

Proceedings e report

96



L'edilizia rurale tra sviluppo tecnologico e tutela del territorio

Convegno della II Sezione AIIA
Firenze, 20 - 22 settembre 2012

a cura di
MATTEO BARBARI
FRANCESCO SORBETTI GUERRI

FIRENZE UNIVERSITY PRESS

2013

L'edilizia rurale tra sviluppo tecnologico e tutela del territorio
: Convegno della II Sezione AIIA Firenze, 20-22 settembre
2012 / a cura di Matteo Barbari, Francesco Sorbetti Guerri.
– Firenze : Firenze University Press, 2013.
(Proceedings e report ; 96)

<http://digital.casalini.it/9788866553946>

ISBN 978-88-6655-394-6

Progetto grafico di Alberto Pizarro Fernández, Pagina Maestra snc
Immagine di copertina: © Alisa Foytik | Dreamstime.com

Con il patrocinio di:



Certificazione scientifica delle Opere

Tutti i volumi pubblicati sono soggetti ad un processo di referaggio esterno di cui sono responsabili il Consiglio editoriale della FUP e i Consigli scientifici delle singole collane. Le opere pubblicate nel catalogo della FUP sono valutate e approvate dal Consiglio editoriale della casa editrice. Per una descrizione più analitica del processo di referaggio si rimanda ai documenti ufficiali pubblicati sul catalogo on-line della casa editrice (www.fupress.com).

Consiglio editoriale Firenze University Press

G. Nigro (Coordinatore), M. T. Bartoli, M. Boddi, R. Casalbuoni, C. Ciappei, R. Del Punta, A. Dolfi, V. Fargion, S. Ferrone, M. Garzaniti, P. Guarnieri, A. Mariani, M. Marini, A. Novelli, M. Verga, A. Zorzi.

© 2013 Firenze University Press
Università degli Studi di Firenze
Firenze University Press
Borgo Albizi, 28, 50122 Firenze, Italy
<http://www.fupress.com/>
Printed in Italy

SOMMARIO

PRESENTAZIONE	xi
1 ^A SESSIONE	
INTEGRAZIONE DI SISTEMI TECNOLOGICI INNOVATIVI PER IL MONITORAGGIO A DISTANZA DI ANIMALI	
Utilizzo di un sistema RFID a tag attivi per il monitoraggio di suini allevati in box collettivi in ambiente chiuso	3
<i>M. Barbari, G. Rossi, S. Simonini, F. Sorbetti Guerri</i>	
Utilizzo di un sistema UWB per il monitoraggio di suini allevati in recinti all'aperto	19
<i>M. Barbari, S. Camiciottoli, L. Leso, S. Simonini, F. Sorbetti Guerri</i>	
Bioacustica applicata alle produzioni animali come strumento di monitoraggio del benessere, salute e identificazione animale	
Task 1: Creazione di un sistema automatico di riconoscimento delle patologie respiratorie dall'analisi di tossi registrate on-line in porcilaia	31
<i>S. Ferrari, M. Guarino</i>	
Task 2: Studiare le vocalizzazioni del suino esposto a stressors di natura gestionale nella realtà dell'allevamento intensivo	47
<i>S. Ferrari, M. Guarino</i>	
Task 3: Riconoscimento vocale individuale di ungulati selvatici, in particolare di cervi maschi in situazioni di corteggiamento tramite l'analisi acustica dei bramiti	59
<i>S. Ferrari, M. Guarino, C. Trunfio, M. P. Ponzetta</i>	
Indici di stress termico e comportamentali per bovine da latte in una stalla a stabulazione libera dotata di due differenti impianti di raffrescamento	73
<i>S.M.C. Porto, A. D'Emilio, U. Anguzza, G. Agosta, G. Cascone</i>	

Sistema automatico per il riconoscimento della presenza di bovine da latte in posizione di decubito all'interno di cuccette <i>S.M.C. Porto, C. Arcidiacono, U. Anguzza, A. Giummarra, G. Cascone</i>	89
Monitoraggio a distanza di ungulati selvatici e domestici in ambiente appenninico <i>M.P. Ponzetta, V. Becciolini, C. Trunfio, F. Cervasio, A. Bocci, L. Conti</i>	103
2 ^A SESSIONE L'INNOVAZIONE TECNOLOGICA NEGLI EDIFICI AGRICOLI	
L'innovazione tecnologica negli edifici agricoli <i>P. Zappavigna</i>	139
La stalla ecosostenibile <i>E. Frazzi, F. Calegari, P. D'Alessio</i>	163
Simulazione termoenergetica dinamica di un edificio per l'allevamento suinicolo: strategie edilizie e impiantistiche per l'ottimizzazione del benessere termoigrometrico <i>E. Fabrizio, G. Airoidi, R. Chiabrando</i>	175
Aspetti ambientali critici nelle strutture per il post-svezzamento dei suinetti <i>F. Da Borso, F. Teri, M. Mezzadri</i>	191
Efficientamento dei sistemi di gestione anaerobica <i>S. Ragone, R. Capobianco, P. Picuno</i>	201
Applicazione in agricoltura di materiali polimerici biodegradabili basati su idrolizzati proteici <i>G. Scarascia Mugnozza, G. Vox, L. Sartore, E. Schettini</i>	211
Analisi LCA (Life Cycle Assessment) delle infrastrutture per il verde urbano <i>G. Russo, A. Grassi, S. Castellano</i>	219
Analisi del comportamento di bovine da latte in relazione al sistema di ventilazione <i>M. Barbari, L. Leso, G. Rossi, S. Simonini</i>	229
Studio di filiere agricole sostenibili per la produzione di balle di paglia da costruzione – risultati preliminari <i>L. Conti, R. Dainelli, P. Pellegrini, L. Bonotti, P. Spugnoli</i>	239

Influenza del layout di ventilazione sulla qualità dell'aria e sull'emissione dei gas in allevamenti intensivi di conigli <i>F. Da Borso, F. Teri, M. Mezzadri, F. Agnoletti, M. Bonci</i>	251
Confronto tra due sistemi di raffrescamento in una stalla per bovine da latte in clima mediterraneo <i>A. D'Emilio, G. Licitra, R. Mazzearella, G. Cascone</i>	263
Prospettive di utilizzo dell'analisi spaziale e del trattamento termico per il controllo degli insetti infestanti nell'industria molitoria <i>C. Arcidiacono, A. D'Emilio, S.M.C. Porto, G. Cascone</i>	275
L'analisi delle prestazioni energetiche nella progettazione delle cantine. Primi risultati di un progetto di ricerca <i>S. Benni, D. Torreggiani, A. Barbaresi, P. Tassinari</i>	287
Limiti e prospettive delle coperture fotovoltaiche nelle serre mediterranee <i>A. Marucci, A. Gusman, B. Pagniello, A. Cappuccini</i>	297
Impianto sperimentale geotermico a bassa entalpia per il riscaldamento serricolo: valutazioni ambientali <i>G. Scarascia Mugnozza, S. Pascuzzi, G. Russo, A. Anifantis, G. Verdiani</i>	313
Un nuovo approccio metodologico nella costruzione delle strutture agro-zootecniche secondo la Fire Safety Engineering <i>S. Cividino, R. Gubiani, A. Benedetti, M. Vello, M. Fanzago, G. Pergher, I. Snidero, A. Collantoni</i>	323
Metodologie di bioarchitettura per il recupero sostenibile delle costruzioni rurali <i>A. Lista, C. Sica, P. Picuno</i>	333
 3 ^A SESSIONE TENDENZE NELLA PROGETTAZIONE DI EDIFICI AGRICOLI PER UN USO SOSTENIBILE DEL TERRITORIO	
Approccio parametrico alla progettazione dell'edilizia rurale con il modello Farmbuild <i>D. Torreggiani, S. Benni, E. Dall'Ara, P. Tassinari</i>	347
Antropizzazioni decostruibili per il non-consumo del territorio rurale: progettazione per la decostruibilità <i>M. Barbari, L. Conti, M. Monti, P. Pellegrini, G. Rossi, S. Simonini, F. Sorbetti Guerri</i>	359

Il recupero dei fabbricati rurali in ambito europeo: una proposta di linee guida	371
<i>A. De Montis, P. Farina, M. Barra, S. De Montis</i>	
Procedimenti manuali per la produzione di mattoni in terra cruda	381
<i>M. Barbari, M. Monti, G. Rossi, F. Sorbetti Guerri</i>	
Analisi G.I.S. per l'individuazione di zone di stress ambientale in aree protette	393
<i>E. Carbone, A. Tortora, P. Picuno</i>	
Analisi di visibilità con tecniche GIS per la valutazione paesistica	403
<i>E. Fabrizio, G. Garnero</i>	
Caratterizzazione e percezione del paesaggio: un approccio integrato alla definizione di linee guida per lo sviluppo del territorio	413
<i>S. Artemi, F. Gobattoni, R. Pelorosso, M.N. Ripa</i>	
Fotovoltaico su suolo agricolo, potenzialità e conflittualità con nuovi modelli aziendali : il caso marchigiano	423
<i>E. Marcheggiani, A. Galli, V. Piselli</i>	
Antropizzazioni decostruibili per il non-consumo del territorio rurale: dallo sviluppo sostenibile alle antropizzazioni decostruibili	431
<i>M. Barbari, L. Conti, M. Monti, P. Pellegrini, G. Rossi, S. Simonini, F. Sorbetti Guerri</i>	
L'edificio cantina come sistema: un approccio di studio integrato per la realtà della Regione Friuli Venezia Giulia	441
<i>M. Sigura, R. Gubiani, S. Cividino, P. Bonfanti</i>	
La via Francigena Toscana: idee e soluzioni progettuali per la promozione e lo sviluppo del turismo rurale ed escursionistico	455
<i>G. Bambi, M. Barbari</i>	
Gestione dei reflui zootecnici di origine suina: un modello multicriteri per la valutazione dell'efficienza ambientale	463
<i>M. Vizzari, G. Modica</i>	
La VAS dei PTCP: un'analisi dello stato dell'arte	473
<i>A. De Montis, A. Ledda, M. Barra, S. De Montis</i>	

Studi e strumenti per la pianificazione attuativa del recupero dell'edilizia rurale alpina <i>B. Drusi, G. Airoidi, M. Chiabrando</i>	485
Sostenibilità ambientale e valutazione tecnologica della filiera corta bosco legno edilizia <i>M. Marra, S. Guercini, A. Bordin</i>	497
Carico antropico e sostenibilità: un data-base a scala aziendale del rischio ambientale <i>F. Recanatesi, M.N. Ripa, A. Leone</i>	509
Ubicazione ottimale degli impianti consortili per il trattamento degli effluenti di allevamento <i>F. Volontè, F. Perazzolo, G. Sali, G. Provolo</i>	517
Classificazione di vocazionalità all'impiego di energie rinnovabili mediante Grid Multi-Layer <i>D. Statuto, A. Tortora, P. Picuno</i>	527

PRESENTAZIONE

La necessità di assicurare al settore agricolo-forestale nuove e concrete opportunità di sviluppo implica la promozione dell'innovazione nel campo delle metodologie e delle tecnologie delle produzioni, ma anche l'ampliamento e lo sviluppo delle dotazioni strutturali e impiantistiche delle aziende. Nel contempo, affinché le proposte operative risultanti dalla ricerca siano effettivamente applicabili, è sempre più necessario che questa si muova nell'ambito delle condizioni al contorno dettate dall'attenta considerazione dei bilanci energetici, dei cicli di vita, dell'annullamento, o almeno della limitazione, del consumo del territorio.

Sempre più rilevante appare inoltre l'orientamento degli indirizzi di assetto aziendale verso la multifunzionalità che, in molte realtà territoriali, appare oggi elemento indispensabile per la sopravvivenza delle imprese agricole.

Si aprono così nuovi scenari per lo sviluppo e l'ammodernamento delle realtà produttive agricole, anche nella prospettiva del potenziamento delle loro funzioni di presidio del territorio rurale, volto sia all'ordinaria manutenzione, altrimenti non sostenibile, sia alla conservazione e al recupero dei valori ambientali e paesaggistici.

Per l'individuazione e la promozione di soluzioni progettuali ed operative in grado di conciliare le esigenze dello sviluppo tecnologico con quelle della tutela del territorio ha fondamentale importanza il contributo alla ricerca dato dall'Ingegneria agraria, forestale e dei biosistemi, in particolare nel settore delle Costruzioni e in quello del Rilevamento e dell'Analisi dei sistemi agricoli e forestali.

La II Sezione dell'Associazione Italiana di Ingegneria Agraria ha deciso di promuovere un'occasione di incontro, confronto e riflessione sul tema "L'edilizia rurale tra sviluppo tecnologico e tutela del territorio" attraverso l'esposizione dei risultati delle più recenti ricerche condotte sull'argomento dai ricercatori del settore scientifico disciplinare "Costruzioni rurali e territorio agroforestale".

I lavori del Convegno si sono articolati in tre diverse sessioni: la prima ha riguardato la presentazione dei risultati del Programma di Ricerca di Interesse Nazionale 2008 sul tema "Integrazione di sistemi tecnolo-

gici innovativi per il monitoraggio a distanza di animali” con interventi specifici delle diverse Unità Operative coinvolte. La seconda e la terza sessione sono state finalizzate alla presentazione dei risultati scientifici delle ricerche sui temi dell’Innovazione tecnologica negli edifici agricoli e delle Tendenze nella progettazione di edifici agricoli per un uso sostenibile del territorio.

COMITATI E SEGRETERIA

Comitato Scientifico

Giacomo Scarascia Mugnozza
Alessandro Toccolini
Matteo Barbari
Giovanni Cascone
Marcella Guarino
Maria Paola Ponzetta

Comitato Organizzatore

Matteo Barbari
Francesco Sorbetti Guerri
Paolo Pellegrini
Leonardo Conti
Stefano Camiciottoli

Segreteria

Stefano Camiciottoli
Annamaria Cruciani

1ª SESSIONE

INTEGRAZIONE DI SISTEMI TECNOLOGICI INNOVATIVI
PER IL MONITORAGGIO A DISTANZA DI ANIMALI

UTILIZZO DI UN SISTEMA RFID A TAG ATTIVI PER IL MONITORAGGIO DI SUINI ALLEVATI IN BOX COLLETTIVI IN AMBIENTE CHIUSO

M. Barbari, G. Rossi, S. Simonini, F. Sorbetti Guerri

*Dipartimento di Economia, Ingegneria, Scienze e Tecnologie Agrarie e Forestali -
Università degli Studi di Firenze*

Riassunto. Il rilevamento del comportamento negli allevamenti suinicoli è una pratica sempre più importante, per definire il grado di benessere animale, per garantire sicurezza alimentare e per migliorare la gestione aziendale. Per questa ragione è necessario poter disporre di sistemi per l'individuazione precoce di problematiche connesse allo stato fisico e sanitario dei singoli animali.

In questo lavoro è stata esaminata una soluzione RFID con tag attivi e delimitatori d'area (Marker) per analizzare la posizione di suini allevati in box collettivi in ambiente chiuso, al fine di verificarne il comportamento. Nella sperimentazione è stata valutata la capacità del sistema RFID di individuare la presenza di animali in tre aree d'interesse. I risultati mostrano una buona precisione generale di rilevazione, ma con diversità di funzionamento nelle differenti aree monitorate. In particolare, le maggiori problematiche si sono evidenziate nella zona di alimentazione quando si verificavano eventi rapidi e di breve durata.

Parole chiave: Monitoraggio animale, RFID attivo, Tag, Localizzazione

Abstract. The behavior detection in pig farming is a practice more and more important to assess the level of animal welfare, to ensure food security and to improve the farm management. For this reason it is necessary to have available early warning systems for problems related to the physical state and health of the single animal. In this work, a solution with RFID active tags and markers of areas was examined to analyze the position of pigs reared in indoor collective pens, in order to verify behavioral patterns. In the trial, the ability of the RFID system to detect the presence of animals in three areas of interest was evaluated. The results show a good overall accuracy of detection, but with different ways of work in different areas monitored. In particular, the main problems have been highlighted in the feeding zone with quick events and of short duration.

Keywords: Animal monitoring, UWB, Tag, Tracking

Introduzione

In un contesto di elevati costi per il monitoraggio individuale degli animali da parte dell'uomo, nella zootecnia moderna la conoscenza da parte dell'allevatore del proprio bestiame è sempre più ridotta. Sono privilegiati la standardizzazione degli animali, delle produzioni e gli interventi di massa per la gestione fisiologico-sanitaria della mandria. Inoltre si è progressivamente diminuita la pratica dell'allevamento all'aperto e in forma estensiva. Il primo fenomeno ha esasperato la profilassi sanitaria

aumentando i costi di produzione e compromettendo, in alcuni casi, la qualità dei prodotti. Il secondo ha causato il peggioramento nell'utilizzo dei pascoli e delle terre marginali riducendo il "presidio del territorio" e la conservazione del paesaggio.

In alcune situazioni estreme, oggi, l'allevatore conosce molto bene la quantità di input forniti all'allevamento e la quantità di output che ne risultano, mentre ha sempre meno consapevolezza di quanto accade nell'arco giornaliero dell'animale, soprattutto in relazione ai singoli capi.

Per questo motivo diventa molto difficile sia per l'allevatore sia per il ricercatore correlare lo stato dell'animale con gli output che ne derivano. La conoscenza del comportamento animale all'interno dello spazio di allevamento è però fondamentale per sviluppare miglioramenti nelle pratiche di gestione e introdurre innovazioni costruttive e impiantistiche volte sia all'aumento e all'ottimizzazione delle produzioni sia al miglioramento del benessere animale.

Poter ritornare a guardare da vicino il singolo animale a costi sostenibili è la chiave per lo sviluppo della zootecnia futura. I parametri comportamentali possono essere misurati utilizzando diversi tipi di sensori e conseguentemente diverse strategie (Baronti *et al.*, 2007; Nadimi *et al.*, 2009; Schwager *et al.*, 2007; Yun *et al.*, 2009). Tuttavia, in uno spazio suddiviso in aree funzionali come quello di un allevamento moderno la maggior parte dell'informazione individuale è in relazione alla posizione che l'animale occupa all'interno dell'area a sua disposizione: se è nella corsia di alimentazione probabilmente sta mangiando, se è in quella di riposo probabilmente sta riposando, ecc. Il tempo speso da esso nelle varie zone, in relazione al periodo della giornata, determina la maggior parte dell'informazioni utili riguardo il suo stato fisiologico, il suo stato di salute e le sue preferenze comportamentali relative ai fattori di condizionamento esterni (Barbari *et al.*, 2008a).

Alcune tecnologie informatiche possono adempiere lo scopo sopra citato, cioè possono identificare il singolo animale e individuarne la posizione all'interno dello spazio di allevamento in tempo reale. Ai fini del progetto PRIN2008 sono state investigate le potenzialità delle tecnologie wireless basate su tag attivo da collegare all'animale e testate in due situazioni di allevamento differenti. Nella prima parte della relazione è illustrata la tecnologia RFID attivo con utilizzo di Marker d'area e il suo impiego nell'esperimento che ha coinvolto suini allevati in box collettivi al chiuso, nella seconda parte invece viene presentata la tecnologia UWB e il suo utilizzo in un allevamento di suini all'aperto

Materiali e Metodi

Il sistema utilizzato per la ricerca è un prodotto commerciale già disponibile sul mercato, utilizzato per il tracking di asset di valore nella

logistica e per la sicurezza umana sul lavoro. È una soluzione modulare progettata e realizzata dalla IDENTEC SolutionTM ed è basata sulla tecnologia RFID attivo accoppiata a dei marcatori di area ad induzione chiamati Marker (Figura 3). Utilizzando le librerie fornite dal produttore per la programmazione della componentistica l'Unità di Catania ha realizzato dei software specifici al fine di memorizzare le posizioni degli animali e poterle analizzare per le finalità della ricerca.

Descrizione e funzionamento del sistema

Il sistema è composto da tag attivi, definiti beacon (italiano: faro) che trasmettono una stringa informativa a distanza, a intervalli di tempo regolari senza bisogno di essere interrogati. La stringa è composta dal codice identificativo del tag e da altre informazioni utili. In particolare se un tag si trova nel raggio di influenza di un Marker questo registra il numero identificativo di esso e lo trasmette all'interno della stringa.

Questi tag trasmettono utilizzando la frequenza UHF (frequenze di banda 868 MHz per la comunità europea EC e 915 MHz per il nord America NA) inviando il segnale a distanze superiori i 100 m verso reader di tipo fisso. La frequenza di trasmissione delle informazioni può essere regolata a intervalli definiti configurabili da 1 secondo a 4 minuti. Di conseguenza la durata della batteria al litio installata nel tag dipende dall'intervallo con cui è inviato il segnale e può arrivare fino a 4 anni di vita. I tag hanno dimensioni commerciali di 131 x 28 x 21 mm di grandezza e 50 g di peso e sono predisposti con una protezione agli agenti esterni IP65 o IP67. Possono operare in un range di temperature che varia dai - 40°C ai + 70°C.

I reader sono in grado di leggere il segnale del tag a distanze che variano dai pochi centimetri ai 100 m in aree che non presentino ostacoli. A ogni reader possono essere collegate una o due antenne (Figura 2). Il reader è connesso al computer e riceve i segnali dall'antenna/e. Può gestire i dati di 100 tag contemporaneamente. L'elevata frequenza di trasmissione permette di comunicare anche con tag in movimento veloce.

L'antenna ha una polarizzazione ellittica. La robusta ma leggera struttura (circa 430 gr) di questa antenna, la rendono veloce e facile da installare anche in situazioni di ambienti difficili (-40 °C to +70 °C). Siccome ha un angolo d'irradiazione ampio (120°), può leggere un'area relativamente estesa, il che è desiderabile quando un considerevole numero di tag devono essere letti nello stesso momento o quando essi si muovono a velocità notevoli.

L'area totale che può essere coperta dal sistema è proporzionale al numero di reader/antenne collegabili a un hub fino a un massimo di 8 unità.

Il dispositivo Marker rappresenta il valore aggiunto di questo sistema RFID in quanto permette la localizzazione dei tag in una determinata

area dello spazio monitorato. Questa possibilità conferisce la caratteristica commerciale di RTLS a questo sistema. In realtà lo studio condotto dall'unità di Catania ha dimostrato che è possibile ottenere la funzione RTLS anche senza l'utilizzo di Marker, sfruttando la RSSI (Receive signal strength indicator) con precisioni tuttavia inferiori.

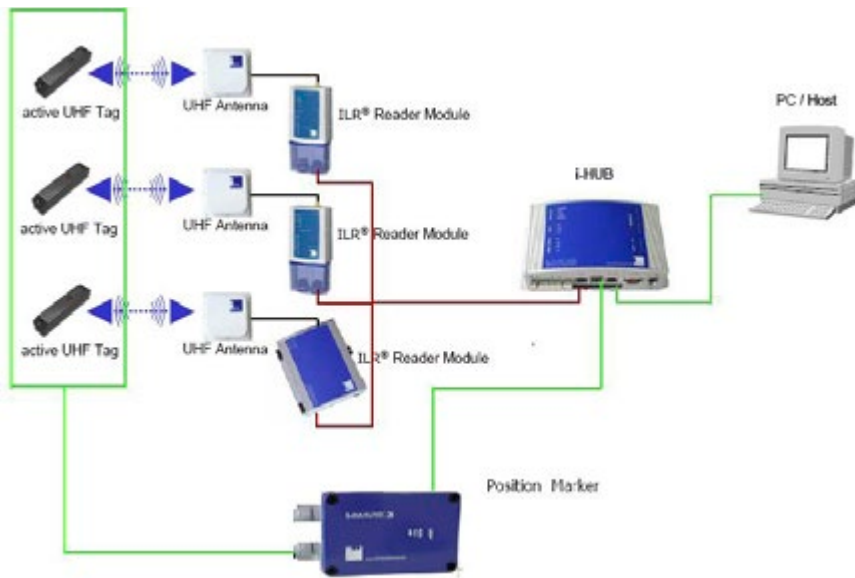


Fig. 1. Schema di funzionamento del sistema RFID attivo con Marker

Il Marker d'area è commercialmente è chiamato i-MarkTM. Le temperature di funzionamento variano da $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ai $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$, leggermente inferiori a quelle degli altri componenti del sistema. Ha dimensioni $285 \times 202 \times 60\text{ mm}$ con l'antenna integrata e $94 \times 170 \times 86\text{ mm}$ per la versione che necessita di un'antenna loop esterna. Il peso delle due versioni disponibili è 800 g e 650 g . Nella versione del Marker che non ha l'antenna integrata, essa deve essere aggiunta utilizzando un cavo elettrico di pochi mm di diametro per creare aree di influenza di dimensioni variabili, da pochi cm^2 fino a 100 m^2 .

Per il suo funzionamento non richiede di essere connesso al resto sistema, ma solamente a una fonte di energia elettrica. La quantità di aree delimitabili dipende solo dal numero di Marker in funzione. Un punto di forza di questo dispositivo è la possibilità di poter regolare il campo induttivo dell'antenna così da creare un'area di influenza molto precisa. È possibile visualizzare tale campo e correggerne l'intensità utilizzando

un tag apposito dotato di led che si illumina quando entra nella zona di induzione del loop.

Il funzionamento dei Marker associato al sistema RFID attivo della IDENTEC è il seguente: il Marker induce un campo elettromagnetico che delimita l'area circoscritta dall'antenna loop. Quando il tag entra in quest'area esso viene attivato (inglese: "woken up") e memorizza nella stringa dati che trasmette al reader il numero di Marker nel quale si trova. In questo modo, se il tag è associato a un animale il computer può determinare dove esso si trova e il tempo speso in quella zona specifica.

Il Marker può essere utilizzato in due modi: può controllare l'accesso da parte del tag a un'area oppure può registrare il passaggio da un'area ad un'altra controllando il varco che le divide. Ai fini del monitoraggio animale la prima configurazione è utile per controllare la presenza di animali in una certa area alla quale possono accedere da più vie, come ad esempio la corsia di alimentazione e la zona di riposo. Per fare questo è necessario installare il Marker e disporre l'antenna loop lungo il perimetro dell'area interessata. La seconda configurazione è più adatta a monitorare aree nelle quali l'animale accede solo per una via, ad esempio il paddock esterno o la sala di mungitura nel caso di bovini. In questo caso l'installazione del Marker e della sua antenna avviene sul varco della zona da monitorare.



Fig. 2. Vista dell'antenne (laterali) e del reader (al centro)



Fig. 3. Vista del Marker con loop esterno

I componenti del sistema RFID utilizzati nel test con suini allevati in box collettivi al chiuso sono stati: 2 reader, 2 antenne per ciascun reader per un totale di 4 antenne, un computer per l'acquisizione dati (Figura 4), 3 Marker d'area e 4 tag, uno per ciascun animale. Il software per l'acquisizione dati rilasciato dall'azienda non è stato utilizzato in quanto sia l'interfaccia che il file di log non erano pensati per lo scopo specifico della localizzazione di animali. È stato invece utilizzato un software sviluppato appositamente dall'Unità di Catania (Porto *et al.*, 2011).



Fig. 4. Stazione di registrazione RFID e Video

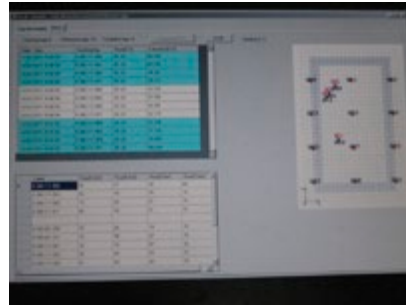


Fig. 5. Particolare del software realizzato dall'Unità di Catania

Il test è stato effettuato dal 9 febbraio 2011 al 25 febbraio 2011 nell'area sperimentale della Facoltà di Agraria dell'Università degli Studi di Firenze, Italia ($43^{\circ}47'5.88''N$, $11^{\circ}13'17.18''E$). Un piccolo paddock a pavimento pieno in battuto cementizio (Figure 7 e 8) è stato preparato per ospitare 4 maiali in ingrasso, un maschio e 3 femmine. Esso misurava circa 35.25 m^2 con i lati minori irregolari (Figure 6 e 11). Così come mostrato in Figura 9, l'area era recintata con una rete metallica, fornita di una capannina in legno quale zona di riposo (Figura 7) e un abbeveratoio nell'area aperta (Figura 8). Il rimanente spazio era dedicato all'area di alimentazione e a quella di defecazione. Sono stati montati 3 Marker dotati di antenne loop esterne per monitorare la permanenza nella zona di riposo, in quella di alimentazione e all'abbeveratoio.

I maiali sono stati preparati per l'esperienza applicando loro un collare contenente il tag RFID attivo. Sono stati marcati tracciando simboli colorati sul dorso per favorire il riconoscimento individuale durante la visualizzazione delle riprese (Figura 9); anche i tag sono stati colorati per aiutare l'identificazione.

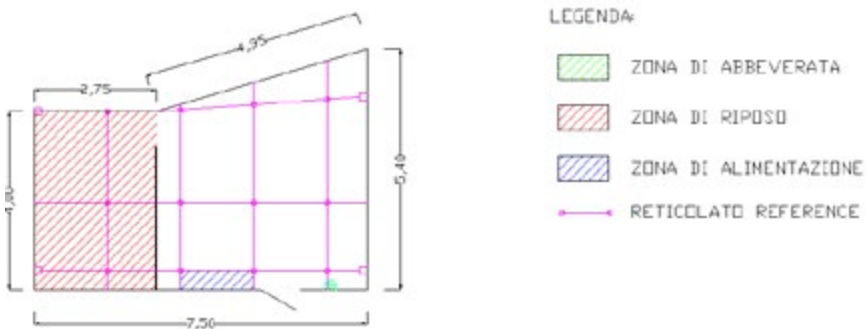


Fig. 6. Planimetria del box sperimentale



Fig. 7. Vista della zona di riposo



Fig. 8. Vista della zona di abbeverata (destra) e di alimentazione (sinistra)



Fig. 9. Maiali contrassegnati per le riprese



Fig. 10. Maiali all'abbeveratoio in attesa dell'operatore

Come mezzo di riferimento per verificare la precisione del sistema RFID nel registrare la durata delle permanenze nelle diverse aree è stato utilizzato un sistema di videosorveglianza. Esso era composto di 2 telecamere a colori Sony™ 1/3" ad alta risoluzione dotate di lente a focale variabile, sistema di visione diurna e notturna e involucro impermeabile, e un videoregistratore con hard disk da un Terabyte.

Queste telecamere sono state installate una all'interno della capannina e una nella zona all'aperto in modo da controllare l'accesso degli animali alle tre aree delimitate dai Marker.

In alcuni casi l'identificazione dei maiali è stata molto difficile, specialmente durante il periodo notturno e nei giorni piovosi. Altre volte il riflesso della luce solare sul dorso dei maiali ha ostacolato la vista del simbolo disegnato sull'animale.

Questi problemi hanno reso il processo di trascrizione dei dati video particolarmente difficoltoso, richiedendo molto tempo per essere completato.

Un operatore ha trascritto tutti i movimenti effettuati dai maiali nelle aree di interesse. Ogni evento è stato classificato per animale, localizzazione e durata. Eventi registrati solo dal sistema RFID, ma non osservati a video a causa di difficili interpretazioni, non sono stati presi in considerazione al fine di non invalidare la metodologia utilizzata.

Mentre per i dati video è stato necessario trascrivere le durate degli eventi, quelli registrati utilizzando il sistema RFID a tag attivi erano subito disponibili nel file di log generato dal software di acquisizione. Il file conteneva l'orario di ricezione del segnale, l'identificativo del tag e l'eventuale identificativo del marker. L'unica operazione svolta è stata quella di calcolare a livello software i tempi di permanenza nelle aree e allinearli con quelli registrati con il sistema di videosorveglianza.

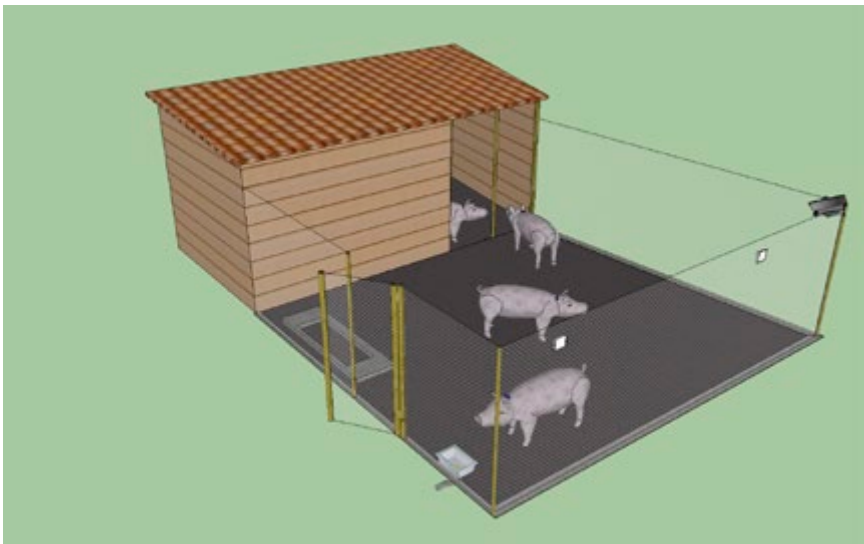


Fig. 11. Rendering del box sperimentale

Le registrazioni video sono state utilizzate per valutare la precisione del sistema RFID in situazioni di lavoro differenti rappresentate dalle 3 aree monitorate. La durata in secondi degli eventi osservati tramite video (asse x) e quella dei dati registrati dal sistema RFID (asse y) sono state messe a confronto in un grafico a dispersione. Se il sistema RFID lavorasse perfettamente, la relazione tra i dati sarebbe una funzione lineare con coefficiente angolare pari a 1 e intercetta uguale a 0. Altrimenti, a causa della perdita di secondi nelle registrazione con il sistema RFID i vari risultati delle regressioni lineari sono funzioni con coefficiente an-

golare inferiore a 1. Pertanto il range di variazione dei coefficienti angolari varia da 0 a 1 a seconda della precisione del sistema RFID nelle varie situazioni. Più le registrazioni sono precise, più il coefficiente angolare tende a 1.

Una linea con coefficiente angolare pari a 1 è stata disegnata in tutti i grafici per avere un segno di confronto con la linea di regressione generata dai dati RFID nelle varie situazioni.

È stato inserito anche l'indice di correlazione di Pearson (r) per misurare l'indice di bontà dell'equazione ai dati. Quindi mentre diversi coefficienti angolari spiegano diversi livelli di accuratezza di registrazione del sistema RFID con Marker a seconda delle diverse aree, differenti coefficienti r potrebbero spiegare alcune problematiche verificatesi durante l'esperimento nelle medesime aree.

Risultati

Di 16 giorni di registrazione i migliori 4 sono stati selezionati scegliendo i periodi nei quali il sistema RFID ha lavorato propriamente durante l'intera giornata. Infatti, il sistema era affetto da un problema tecnico hardware o software che sovraccaricava la memoria RAM del computer compromettendo l'acquisizione dati. Nonostante ciò, 841 eventi relativi ai 4 maiali durante 4 giorni nelle 3 aree monitorate sono disponibili.

Considerando tutti gli 841 eventi, la linea di regressione dei secondi registrati dal sistema RFID (Figura 12) mostra un coefficiente angolare di 0,95 ($r = 0,99$). Il sistema RFID ha registrato costantemente con precisione molto vicino al riferimento.

Questi risultato significherebbe che non si sono verificati particolari problemi. Solo dividendo la collezione di dati per aree funzionali è possibile investigare malfunzionamenti del sistema e comprendere le loro motivazioni.

La Figura 13, per esempio, mostra i dati RFID dell'utilizzazione della sola area di alimentazione. Questo spazio veniva utilizzato dai maiali durante la somministrazione del mangime. Sfortunatamente, siccome la razione era la stessa per tutti i capi ed era somministrata a terra, durante i 10 minuti necessari per consumarla, nell'area c'era molta confusione con lotte tra animali e spostamento del mangime. Gli animali andavano dentro e fuori dall'area molto velocemente. Inoltre, consumata la razione alcuni maiali tornavano a grufolare sul cemento in cerca di residui entrando e uscendo continuamente dall'area.

Per questa ragione è stato difficile distinguere questi eventi in video. Anche il sistema RFID non ha raggiunto l'obiettivo molto bene. Il coefficiente angolare dei dati RFID registrati nella zona di alimentazione è 0,68 ($r = 0,86$) con un numero notevole di sottostime e fallimenti. Molte

di queste sono dovute al fatto che l'antenna non era sistemata sul terreno ma in posizione verticale sul muro vicino la zona di alimentazione. Questa soluzione è stata adottata con lo scopo di proteggere l'antenna loop del Marker dal danneggiamento da parte dei suini. Purtroppo in questo modo si è formata una ristretta zona di influenza del marcatore, che non ha ben raggiunto gli animali durante l'alimentazione.

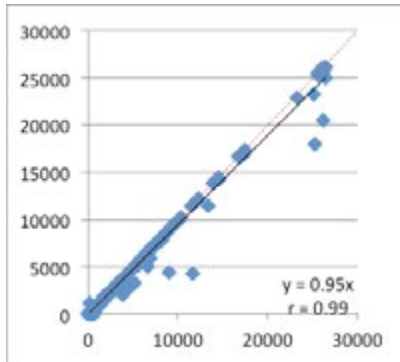


Fig. 12. Comparazione RFID/video – Dati totali (durata eventi video – asse - x; durata eventi RFID – asse - y, in secondi)

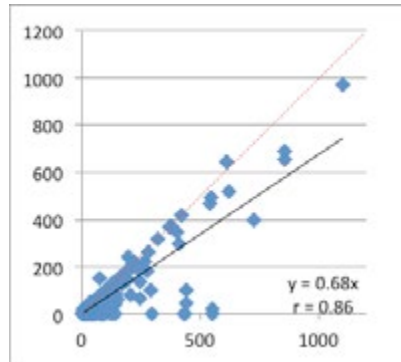


Fig. 13. Comparazione RFID/video – Area di alimentazione (durata eventi video – asse - x; durata eventi RFID – asse - y, in secondi)

Il Marker nella zona di abbeverata ha lavorato meglio (Figura 14) ma il coefficiente angolare della linea di regressione degli eventi registrati nell'area è 0,90 ($r = 0,84$), il quale significa che il sistema RFID non sempre ha rilevato la posizione del maiale. L'antenna loop che circondava la vaschetta dell'acqua era molto piccola, solo qualche cm, quindi l'area che delimitava era estremamente ridotta. Solo quando l'animale metteva il muso all'interno dell'abbeveratoio, il sistema iniziava a registrare. Non stato possibile raggiungere la stessa precisione dalle immagini video, quindi probabilmente c'è stata una sovrastima della durata degli eventi in quell'area nei dati video. Un'ulteriore fonte di erronee interpretazioni si è verificata anche quando i maiali in attesa del pasto aspettavano l'operatore di fronte alla vaschetta dell'acqua, l'unico posto del recinto nel quale potevano avere un contatto visivo con l'esterno (Figura 10).

Nella zona di riposo il sistema RFID ha fatto registrare la sua migliore performance (Figura 15). Il coefficiente angolare dei dati RFID è di 0,95 ($r = 0,99$). Il Marker ha funzionato bene sia negli eventi brevi che nei lunghi periodi. L'antenna loop è stata installata creando una grande areola sopra gli animali. Essa aveva dimensioni leggermente inferiori

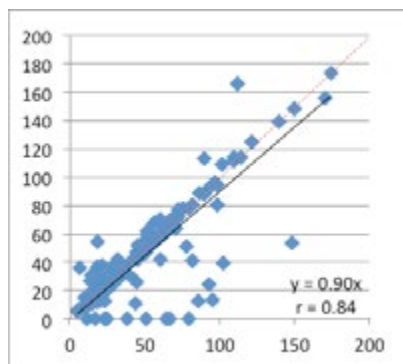


Fig. 14. Comparazione RFID/video – Area di abbeverata (durata eventi video – asse - x; durata eventi RFID – asse - y, in secondi)

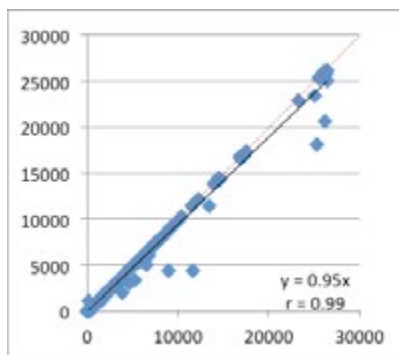


Fig. 15. Comparazione RFID/video – Area di riposo (durata eventi video – asse - x; durata eventi RFID – asse - y, in secondi)

ri rispetto alla dimensione della capannina, 4.00 x 2.75 m. Nonostante i buoni risultati il grafico mostra alcuni punti in cui il sistema ha perso diversi secondi nella lunghezza degli eventi, in alcuni casi minuti e ore. Due motivi hanno determinato queste perdite di dati: il primo era che i maiali si sono avvalsi dello stipite della porta per grattarsi il dorso, portando a una cattiva interpretazione della loro posizione con entrambi i sistemi di monitoraggio, video e RFID. Il secondo è che a volte, durante il lungo periodo di riposo, la testa dei suini schermava il tag arrestando la trasmissione dei dati.

Discussione e considerazioni

Le performance del sistema di localizzazione animale analizzato in questo esperimento hanno mostrato una sottostima totale del 5%. In molti casi pratici, specialmente per applicazioni che riguardano esperimenti di comportamento animale che implicano diversi giorni di analisi dei dati video (Barbari *et al.*, 2008b), questa sottostima è accettabile a livello applicativo. Per esempio, il sistema RFID attivo con Marker può già essere lo strumento apposito per stimare la preferenza animale nell'uso di 2 o più aree o dispositivi. Per lavorare appropriatamente il sistema necessita che le aree da monitorare siano relativamente grandi, pari alla maggiore delle grandezze dell'animale (lunghezza, larghezza, altezza) e adeguatamente separate l'una dall'altra con distanze minime pari al valore precedente.

Analizzando i dati per singole aree funzionali, i problemi che il sistema RFID evidenzia sono di natura diversa. Il problema maggiore è

causato dalla difficoltà di adattare il sistema alle condizioni operative. In generale gli ambienti di allevamento non sono propriamente adatti a ospitare l'installazione di tecnologie wireless. La prima ragione è dovuta alla notevole presenza in questi spazi di materiale metallico, che riflette e distorce i segnali radio. La seconda e più specifica per questo sistema riguarda la mancanza di strutture alle quali fissare propriamente l'antenna loop in modo che non intralci il movimento degli animali e degli operatori e non sia danneggiata dagli stessi. È possibile individuare queste problematiche in maniera distinta in relazione alle caratteristiche dell'area. Se si comparano i dati dell'area di alimentazione (coefficiente angolare = 0.68, $r = 0.86$) con quelli dell'abbeveratoio (coefficiente angolare = 0.90, $r = 0.84$) e della zona di riposo (coefficiente angolare = 0.95, $r = 0.99$) la differenza è chiara. L'area di alimentazione non era sufficientemente definita nello spazio come quella di abbeverata e non aveva le caratteristiche (pavimento in calcestruzzo) affinché l'antenna loop del Marker potesse essere propriamente fissata come nell'area di riposo.

I coefficienti di Pearson delle equazioni di regressione lineare dell'area di alimentazione ($r = 0.86$) e dell'abbeveratoio ($r = 0.84$) sono simili, nonostante coefficienti angolari molto diversi fra loro. Guardando i grafici è possibile notare che in entrambi i casi molti eventi di breve durata sono andati persi o sottostimati dal sistema RFID, probabilmente a causa delle interferenze con la rete metallica sulla quale erano posizionate le rispettive antenne loop.

La perdita di dati durante gli eventi di lunga durata, invece è dovuta alla forma del tag e alla fisionomia dell'animale. Confrontando i risultati di questo esperimento con quelli ottenuti in altre prove in aree simili coinvolgendo animali diversi, bovini ed equini (Barbari *et al.*, 2008a; 2008b), si è riscontrato che una componente della sottostima è dovuta proprio al tipo di animale e al relativo comportamento. Più in particolare si è osservato che il posizionamento del tag su alcuni animali, in modo che fosse sempre libero di ricevere e trasmettere i dati, era più facile per alcune specie che per altre (in ordine: bovini, equini, suini). Nell'esperimento di progetto, la maggior parte delle perdite di secondi nell'area di riposo si sono verificate quando l'animale si coricava e schermava il tag con il suo corpo. Per la stessa ragione, i dati persi all'abbeveratoio erano dovuti a un posizionamento del tag non in linea con il muso. Entrambe questo tipo di perdite potrebbero essere ridotte sviluppando un tag attivo che si adatti in modo appropriato alla conformazione dei vari animali. Nel caso specifico del maiale da attaccare all'orecchio. Ci sono diversi studi di progettazione di tag specifici per suini (Ng *et al.*, 2005; Silva *et al.*, 2006), anche per particolari condizioni ambientali (Caya *et al.*, 2005), che indicano l'orecchio quale luogo ideale per l'applicazione di tag per i suini.

Infine, una causa di sottostima del sistema RFID, anche se di minore importanza, è stata la non perfetta calibrazione, durante le prove peri-

mentali, della sensibilità dell'hardware e del software. Questa carenza è facilmente migliorabile con installazioni e regolazioni più precise. Tuttavia una maggiore affidabilità di hardware e software è necessaria per aumentare l'efficienza complessiva del sistema.

Nonostante le problematiche sopra elencate, il sistema ha determinato risultati di rilievo. Anzi in alcuni casi il sistema RFID ha dimostrato un'affidabilità maggiore del video. Nei 4 giorni di videoriprese esaminate, 58 eventi, molti dei quali nel periodo notturno, sono stati identificati solo dal sistema RFID. Come in precedenza dichiarato, questi eventi non sono stati presi in considerazione nei calcoli per non invalidare la metodologia utilizzata. Ciononostante dimostrano come anche le registrazioni video accoppiate all'osservazione umana, in determinate condizioni, portino ad una sottostima della realtà.

Conclusioni

Questo studio ha dimostrato il potenziale che il sistema RFID attivo con Marker ha nel fornire i dati per il monitoraggio animale. Nonostante alcune limitazioni individuate, in particolare riguardo il posizionamento delle antenne e il modo in cui il tag è fissato all'animale, il grado di accuratezza ottenuto suggerisce che ulteriori affinamenti del sistema potrebbero produrre un sistema promettente di monitoraggio spaziale per animali in allevamento, sia per fini di ricerca sia per il supporto gestionale della attività economica.

Sebbene molte altre prove sul campo siano necessarie, in alcuni casi il sistema RFID può già essere un valido sostituto ai sistemi di videosorveglianza: in particolare laddove le aree da monitorare sono ben definite, ben separate tra loro e dove è possibile stendere precisamente l'antenna loop intorno il perimetro. Questo sistema è adatto ad ambienti di allevamento nei quali la superficie è suddivisa in aree funzionali circoscritte; non è appropriato, invece, per sistemi di allevamento nei quali le attività dell'animale si svolgano nello stesso spazio. In questi casi sono più adatte altre tecnologie wireless, come quella UWB, oggetto di verifiche sperimentali nell'ambito del progetto PRIN 2008.

Ricerca finanziata dal MIUR nell'ambito del PRIN 2008 - Integrazione di sistemi tecnologici innovativi per il monitoraggio a distanza di animali.

Bibliografia

Baggio, A., Langendoen, K. (2008). Monte Carlo localization for mobile wireless sensor networks. *Ad Hoc Netw.* **6**: 718 – 733.

- Baronti, P., Pillai, P., Chook, V. W. C., Chessa, S., Gotta, A., Fun Hu, Y. (2007). Wireless sensor networks; a survey on the state of the art and the 802.15.4 and ZigBee standards. *Comput. Commun.* **30**: 1655 – 1695.
- Barbari, M., Conti, L., Simonini, S., Sorbetti Guerri F. (2008). Feeding behaviour of pregnant sows monitored by means of RFID active tags. *Proceedings of the Conference CIGR V and AIIA*. Ragusa, Italy, 15-17 September 2008, p. 1-6.
- Barbari, M., Conti, L., Simonini, S. (2008). Spatial identification of animals in different breeding systems to monitor behaviour. *Proceedings of the Livestock Environment VIII*. Iguassu Falls, Brazil, 31 August - 4 September 2008, vol. VIII, p. 1-6, ISBN/ISSN: 1982-3797.
- Caja, G., Hernandez-Jover, M., Collin, C., Garin, D., Albern, X., Farriol, B., Ghirardi, J. (2005). Use of ear tags and injectable transponders for the identification and traceability of pigs from birth to the end of the slaughter line. *Journal of Animal Sciences* **83**, 2215-2224.
- Camilli, A., Cugnasca, C. E., Saravia, A. M., Hirakawa, A. R., Corrêa, P. L. P. (2007). From wireless sensors to field mapping: anatomy of an application for precision agriculture. *Comput. Electron. Agric.* **58**: 25 – 36.
- Grant, R. J., Albright, J. L. (1995). Feeding behavior and management factors during the transition period in dairy cattle. *Journal of Animal Sciences* **1995**, **73**: 2791 – 2803.
- Huircán, J. I., Muñoz C., Young H., Von Dossow L., Bustos J., Vivallo G., Toneatti M. (2010) ZigBee-based wireless sensor network localization for cattle monitoring in grazing fields. *Comput. Electron. Agric.* doi: 10.1016/j.compag.2010.08.014.
- Nadimi, E. S., Søgaard, H. T. (2009). Observer Kalman filter identification and multiple-model adaptive estimation technique for classifying animal behavior using wireless sensor networks. *Comput. Electron. Agric.* **68**: 9 – 17.
- Ng, M. L., Leong, K. S., Hall, D., Cole, P. (2005). A small passive UHF RFID tag for livestock identification. *Proceedings of the IEEE International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications (MAPE)*. vol. 1, p. 67 – 70.
- Porto, S.M.C., Cascone, G., Arcidiacono, C., Anguzza, U., Barbari, M., Simonini, S. (2011). Validazione di un sistema RFID a tag attivi per la localizzazione di suini in box multipli. *Proceedings of AIIA Symposium*. Belgirate, Italy, 22-24 September 2011.
- Schwager, M., Anderson, D. M., Butler, Z., Rus, D. (2007). Robust classification of animal tracking data. *Comput. Electron. Agric.* **56**: 46 – 59.
- Silva, K. O., Naas, I. (2006). Evaluating the use of electronic identification in swine. *Engenharia Agrícola*. **26** (1), 11 – 19.
- Voulodimos, A. S., Patrikakis, C. Z., Sideridis, A. B., Ntafis, V. A., Xylouri, E. M. (2009). A complete farm management system based on animal identification using RFID technology. *Comput. Electron. Agric.* doi: 10.1016/j.compag.2009.07.009.
- Wang, N., Zhang N., Wang, M. (2006). Wireless sensors in agriculture and food industry: recent developments and future perspective,

- Comput. Electron. Agric.* **50**: 1–14.
- Yun, S., Lee, J., Chung, W., Kim, E., Kim, S. (2009). A soft computing approach to localization in wireless sensor networks. *Expert Syst. Appl.* **36**: 7552 – 7561.

UTILIZZO DI UN SISTEMA UWB PER IL MONITORAGGIO DI SUINI ALLEVATI IN RECINTI ALL'APERTO

M. Barbari, S. Camiciottoli, L. Leso, S. Simonini, F. Sorbetti Guerri.

Dipartimento di Economia, Ingegneria, Scienze e Tecnologie Agrarie e Forestali - Università degli Studi di Firenze

Riassunto. L'allevamento di suini all'aperto è una pratica zootecnica che negli ultimi anni si è diffusa in varie zone d'Italia, prevalentemente legata all'utilizzo di terreni di scarso interesse dal punto di vista agricolo, quali terreni marginali in zone collinari e montane. Per favorirne lo sviluppo, a tale pratica andrebbe associato un sistema di monitoraggio animale automatico a basso impiego di manodopera, che valuti benessere animale e prevenga i rischi legati all'ambiente esterno. La tecnologia a radio frequenze Ultra Wide Band (UWB) si presta come una soluzione per l'implementazione di un sistema basato sulla localizzazione animale in tempo reale in grado di adempiere tale scopo. Questo lavoro si propone di investigarne la possibile applicazione per il monitoraggio di suini allevati in recinti all'aperto.

Un primo esperimento ha coinvolto un gruppo di scrofe, stabulate in recinti all'aperto appositamente allestiti, cui è stato applicato un collare contenente il tag UWB per il rilevamento.

I risultati della prova iniziale hanno evidenziato una scarsa affidabilità del sistema in questo contesto operativo, con sottostima nei rilevamenti da parte del sistema e errori sistematici di posizionamento. Il sistema si è dimostrato particolarmente complesso e difficilmente utilizzabile in ambienti esterni, influenzato da molte variabili esogene non facilmente controllabili.

Parole chiave: Monitoraggio animale, UWB, Tag, Localizzazione

Abstract. In recent years the outdoor pig farming has spread throughout various parts of Italy, where the value of the land for agriculture uses is low, such as marginal land in hilly and mountainous areas. To enhance its development, this practice should be associated with a low-labor automatic system for animal monitoring, to assess animal welfare and to prevent the risks of the external environment.

The Ultra Wide Band (UWB) radio frequencies technology could be used for the implementation of an animal monitoring system based on real time localization. This work aimed at evaluates the performances of an UWB monitoring system for pigs kept in outdoor pens.

A first experiment involved a group of sows kept in outdoor nursing pens provided with a real time location system. A neck collar containing an UWB tag was applied to each sow.

The results of the early test showed a poor reliability of the system in this operational context, with underestimations and systematic errors in positioning. The system has been influenced by many external factors and proved to be particularly difficult to use in outdoor conditions.

Keywords: Animal monitoring, UWB, Tag, Tracking

Introduzione

La tecnologia a radio frequenza Ultra Wide Band (UWB) per il monitoraggio di persone e di asset ha visto negli ultimi anni una vasta gamma di applicazioni, ad esempio in manifattura, in campo militare, nei trasporti, nell'assistenza all'infanzia, nella localizzazione del bestiame e per usi sportivi (Mandeljc *et al.*, 2010). Grazie al notevole livello di precisione conseguibile (10 – 30 cm di errore teorico), sono stati sviluppati sistemi che utilizzano questo spettro di banda per il monitoraggio dei movimenti posturali dell'uomo (Mekonnen *et al.*, 2010) al fine di rilevare dati importanti per la scienza medica, per usi nella riabilitazione post-trauma e per la creazione di avatar tridimensionali in movimento nell'industria dell'intrattenimento, videogiochi e film in 3D.

Per quanto riguarda la localizzazione del bestiame, esistono già alcune applicazioni commerciali che fanno uso di questa tecnologia. In particolare, sono disponibili sul mercato due prodotti UWB per il rilevamento e l'analisi del movimento di bovini in stalla: il CattleTraq® negli Stati Uniti e CowDetected™ rinominato CowView® in Europa, presentato il 14 novembre 2012 all'Eurotier 2012 dalla GEA Farm Technologies.

Quest'ultimo registra la posizione dei bovini e esaminando i dati fornisce informazioni relative a 14 parametri di benessere animale. Le prime installazioni sono state realizzate in Danimarca, alcuni allevamenti di vacche da latte utilizzano questo sistema UWB che permette all'allevatore di analizzare i movimenti animali e in questo modo prevedere quale individuo sta sviluppando una patologia o è in fase di calore (O'Connor, 2009).

Nonostante i costi elevati di questi sistemi le aziende fornitrici promettono un ritorno sostenibile dell'investimento. La tecnologia UWB ha costi di implementazione superiori a quelli della tecnologia RFID a tag attivi, tuttavia, come per molti dispositivi elettronici-informatici, i prezzi di entrambi sono in sensibile diminuzione come conseguenza dell'evoluzione tecnica e della produzione seriale. Allo stato attuale non esistono esperienze in merito l'impiego di sistemi UWB per il monitoraggio di suini. La diversa forma, fisiologia e valore commerciale per capo limitano lo sviluppo di applicazioni definite per questa specie. In questo lavoro si propone una prima esplorazione della tecnologia UWB per questo scopo. In particolare l'esperienza ha coinvolto suini in un ambiente di allevamento all'aperto. Negli ultimi anni questa pratica si è riaffermata nelle zone collinari o di montagna utilizzando terreni marginali. La tipologia di prodotto realizzato ha caratteristiche di pregio sia per il sistema di allevamento adottato che per l'utilizzo di razze suine antiche con qualità organolettiche ricercate dal mercato (cinta senese, mora romagnola, suini neri, ecc.). Il valore commerciale superiore di questi animali determina l'esigenza di disporre di un sistema di monitoraggio moderno a basso impiego di manodopera. Per questo motivo è stata analizzata la possibile applicazione di un sistema

UWB per la localizzazione di suini, per valutare il loro stato di salute in relazione ai movimenti giornalieri e per rilevare stati di agitazione inconsueti legati a fonti di pericolo esterne, in particolare predatori.

Materiali e Metodi

Allo stato attuale esistono pochi produttori di sistemi Real-Time Locating System (RTLS basati su tecnologia UWB. Nella sperimentazione è stato utilizzato un sistema della Ubisense Group, una versione per finalità accademiche composta da 4 antenne, 12 tag e dal software di funzionamento. Ubisense è l'unico fornitore di tecnologia UWB per lo sviluppo di sistemi di localizzazione con certificazione di utilizzo sia in Europa che negli Stati Uniti ed è l'unico disponibile in Europa.



Fig. 1. Componenti sistema UWB Ubisense (da sinistra): Tag “Compact”, Sensore, Computer

Descrizione e funzionamento del sistema

Il metodo di rilevamento della posizione del tag UWB si basa su quattro antenne disposte a delimitare una determinata area. Il tag posto all'interno dell'area trasmette regolarmente un segnale radio a bassa intensità. Questo segnale copre 200 m di distanza in ambienti aperti e 50 m in presenza di ostacoli e viene ricevuto dalle antenne che lo trasmettono ad un computer. Un'antenna principale, chiamata “Master” è utilizzata per sincronizzare i segnali ricevuti da tutte le altre antenne. Il computer utilizza le informazioni ricevute per calcolare la posizione del tag.

I tag trasmettono utilizzando la radio frequenza 6-8 GHz. Nella ricerca è stato utilizzato il tag “compact” (Figura 1) con dimensioni 40 x 40 x 20 mm, alimentato da una batteria a bottone da 3V e contenuto in un involucro con protezione IP67 con temperature operative da -20 °C a + 85 °C.

I sensori (Figura 1) sono composti da un'antenna e da un ricevitore di segnale UWB. La comunicazione con il tag è bidirezionale. Sono da

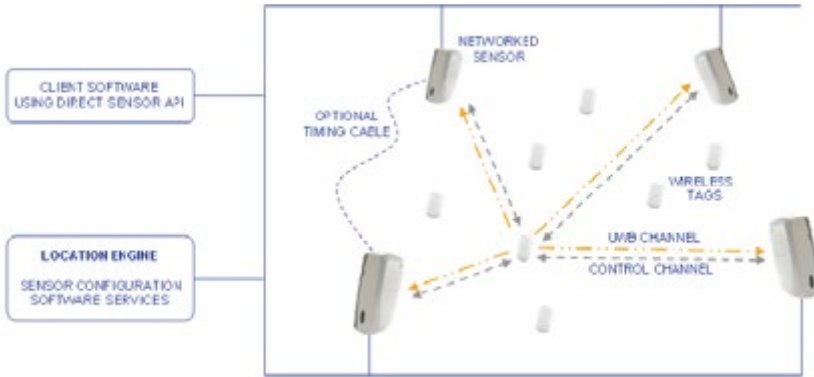


Fig. 2. Schema di funzionamento del sistema UWB Ubisense

installare in una postazione fissa, possibilmente disposti a configurazione rettangolare per massimizzare l'area coperta. Ogni sensore è collegato a un sensore Master a cui trasmette le proprie informazioni attraverso un cavo Ethernet, prende energia via cavo Power-over-Ethernet (PoE) da un hub e riceve il segnale dal tag UWB (Figura 2). Per il calcolo della posizione il sistema usa sia il metodo Angle-of-Arrival (AoA) che il metodo Time-Difference-of-Arrival (TDoA). Il metodo AoA misura sia l'angolo azimutale di arrivo del segnale sia l'angolo di elevazione e tramite calcoli trigonometrici individua il punto. Il metodo TDoA utilizza il tempo di arrivo del segnale per stimare la posizione. Una posizione può essere ottenuta combinando due informazioni AoA o un'informazione TDoA e una AoA (Figura 3).

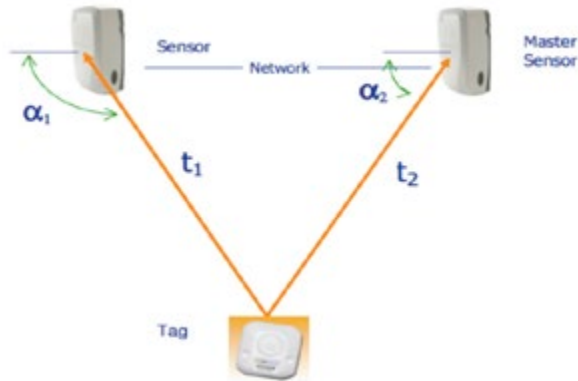


Fig. 3. Esempio di rilevamento AoA e TDoA

In teoria, sarebbero necessari solo 2 sensori per individuare la posizione del tag, in ogni caso ogni sensore in più aggiunge maggiori informazioni e riduce l'errore. Il computer che riceve i segnali da parte del sensore Master deve essere configurato per comunicare attraverso il protocollo DHCP. Il programma rilasciato da Ubisense è il centro di controllo per inizializzare e monitorare i tag e i sensori. Nella sua versione base, per scopi accademici, è configurato nella sola versione per utilizzi puramente RTLS e quindi non prevede la memorizzazione delle posizioni dei tag nel tempo. A esso, è stata quindi affiancata un'ulteriore applicazione software elaborata dall'Unità di Catania che genera un file di dati necessario per una successiva elaborazione per i fini della ricerca.



Fig. 4. Vista dei recinti oggetti di studio e di un sensore UWB in primo piano



Fig. 5. Stazione di registrazione UWB e Video

La sperimentazione

Il test in campo del sistema è stato effettuato dal 16 gennaio 2012 al 24 gennaio 2012 in una azienda agricola nella frazione di Borassi, Roccaforte ligure (44.669141 "N, 9.019812 "E). Sono stati scelti due tra i diversi recinti per la gestione delle scrofe gravide e del post-parto delle scrofe con i suinetti. L'area totale oggetto di studio aveva le dimensioni di circa 180 m² (Figura 6). Ogni recinto misurava circa 8,9 metri di lunghezza e 10,2 metri di larghezza.

Uno dei lati era recintato con una staccionata di legno mentre i rimanenti erano delimitati con filo metallico elettrificato. La capannina (Figura 7) per il riposo si trovava al centro di ogni recinto (in rosso in Figura 6), la zona di alimentazione era a terra (Figura 8), adiacente alla capannina, mentre la zona di abbeverata si trovava in uno degli angoli dell'area delimitata. La scrofa e i suinetti avevano uno spazio adeguato a disposizione per il movimento. Nello specifico è stato monitorato il mo-

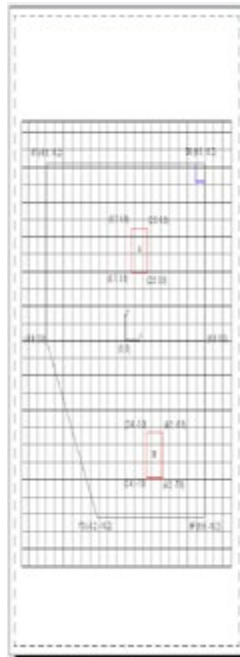


Fig. 6. Planimetria dell'area monitorata



Fig. 7. Vista della zona di riposo



Fig. 8. Vista della zona di alimentazione

vimento di due scrofe all'interno di due recinti. Esse sono state preparate per l'esperimento applicando loro un collare contenente il tag UWB.

Come mezzo di riferimento per verificare la precisione del sistema RFID nel registrare la durata delle permanenze nelle diverse aree è stato utilizzato un sistema di videosorveglianza. Esso era composto di 2 telecamere a colori Sony™ 1/3" ad alta risoluzione dotate di lenti a focale variabile, sistema di visione diurna e notturna e involucro impermeabile,

e un videoregistratore con hard disk da un Terabyte. Le telecamere sono state installate sulla staccionata in legno, ciascuna a monitorare rispettivamente un recinto. La visuale permetteva di vedere ogni spostamento dell'animale nelle tre aree funzionali monitorate.

A causa di una forte oscurità notturna dovuta a un'area di studio particolarmente lontana dai centri abitati e circondata da alture, il sistema di illuminazione delle telecamere non ha permesso di individuare lo spostamento degli animali dopo le 17.00. Ciononostante la medesima ragione e le temperature esterne molto basse inducevano gli animali a rifugiarsi nella zona di riposo e di limitare le attività esterne nello stesso orario. Si sono verificate, inoltre, alcune interruzioni delle registrazioni video dipendenti da black out nella linea elettrica che però non hanno compromesso la regolarità delle osservazioni.

Al termine del periodo di rilevamento dei dati, un operatore ha guardato le riprese video e segnato la presenza delle scrofe nelle 3 aree monitorate. Il software associato al sistema UWB invece ha generato un file di log contenente il codice identificativo del tag e le coordinate x, y, z della sua posizione all'interno del recinto. Per ogni rilevazione è stato necessario determinare se l'animale si trovasse all'interno di una delle aree monitorate e calcolare il tempo di permanenza nella stessa. Gli eventi monitorati a video e quelli rilevati con il sistema UWB sono stati allineati in termini di tempo per poterli analizzare.



Fig. 9. Particolare del collare con tag



Fig. 10. Punto di vista di una telecamera

Al fine di valutare la precisione del sistema di posizionamento, tramite tecniche di analisi della regressione, è stata valutata la relazione tra la durata degli eventi rilevata con sistema UWB e quella determinata tramite registrazione video. Ai fini di questa analisi, si è considerato che, in caso di perfetto funzionamento del sistema, la durata degli eventi rilevata con i due metodi sarebbe uguale e, di conseguenza, la relazione tra le variabili poste a confronto assumerebbe la forma di una funzione deterministica lineare con coefficiente angolare pari ad 1 ed intercetta nulla.

Lo scostamento del coefficiente angolare rispetto all'unità, infatti, è stato utilizzato come parametro per valutare la componente sistematica dell'errore di posizionamento mentre l'indice di correlazione di Pearson è stato considerato rappresentativo delle componenti puntuale e stocastica di tale errore.

Inoltre, all'interno dell'area monitorata sono stati inseriti due tag in postazione fissa, uno sopra la capannina A (fig. 6) e uno in testa a un pannello sul perimetro del recinto. Le coordinate cartesiane dei due tag sono state confrontate con quelle rilevate dal sistema UWB ed è stato analizzato l'errore di posizionamento (media, distribuzione, deviazione standard).

Risultati

Dei 9 giorni di sperimentazioni sono stati utilizzati i 7 giorni centrali dal 18 al 24 gennaio, escludendo il primo e l'ultimo giorno che non rappresentavano tutto l'arco della giornata. Nell'area di riposo il sistema UWB non ha registrato nessun evento nonostante l'animale utilizzasse normalmente la capannina nel periodo notturno e nel periodo centrale del giorno. Anche nell'area di abbeverata gli eventi registrati dal sistema UWB non sono stati quantitativamente apprezzabili, poche unità, di brevissima durata. Anche in questo caso l'animale utilizzava regolarmente l'area durante il giorno. L'unica area in cui il sistema ha registrato con una certa continuità è stata quella di alimentazione. In totale sono stati registrati 259 eventi nell'area. Come mostrato in Figura 11, la linea di regressione dei secondi rilevati dal sistema UWB mostra un coefficiente angolare di 0,48 ($r=0,83$). Il sistema UWB ha generalmente sottostimato gli eventi della metà della durata reale, con molte perdite.

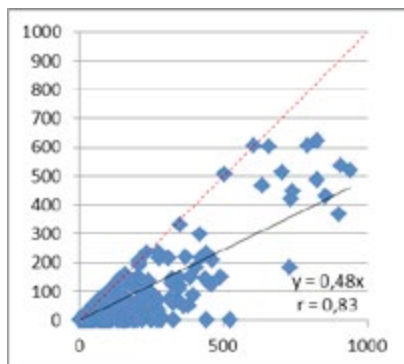


Fig. 11. Comparazione UWB/video – Area di alimentazione (durata eventi video – asse - x; durata eventi UWB – asse - y, in secondi)

I risultati ottenuti nella rilevazione della posizione di due punti fissi non sono stati migliori. Il sistema UWB, con tag posizionato su un pannello di legno a bordo del recinto (tag 026), su un totale di 424.000 rilevazioni, ha presentato un errore medio di stima della posizione di 1,48 m (Figure 12 e 13), con deviazione standard di 0,66 m. Con tag posizionato sul bordo della capannina (tag 187), su un totale di 582.000 rilevazioni, il sistema ha presentato un errore medio di stima della posizione di 2,38 m, con deviazione standard di 0,60 m (Figure 14 e 15).

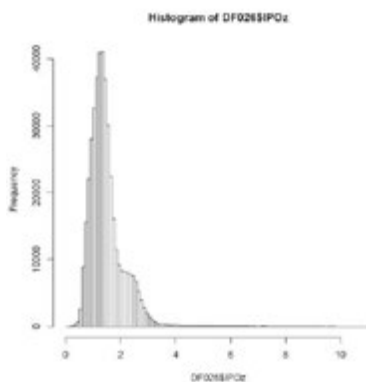
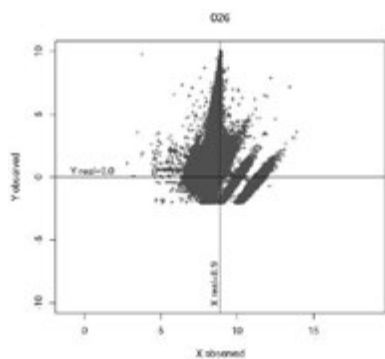


Fig. 12. Posizionamento nel piano del punto fisso (tag 026) con sistema UWB (metri)

Fig. 13. Distribuzione dell'errore di posizionamento del tag 026 con il sistema UWB

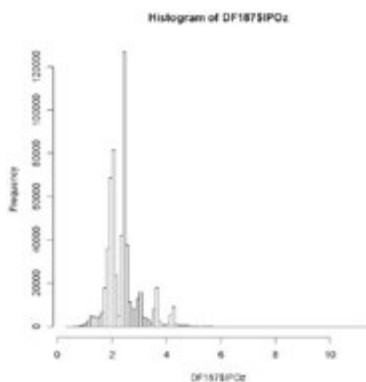
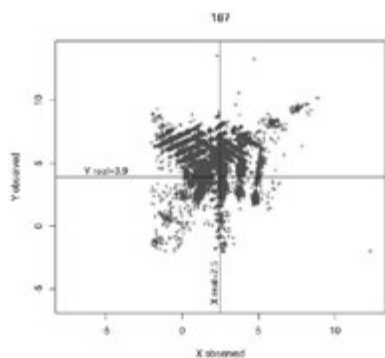


Fig. 14. Posizionamento nel piano del punto fisso (tag 187) con sistema UWB (metri)

Fig. 15. Distribuzione dell'errore di posizionamento del tag 187 con il sistema UWB

Discussione e considerazioni

Dall'analisi dei disegni di posizionamento dei punti fissi rilevati con il sistema UWB non è stato possibile individuare una ragione di errori così marcati. In un caso la componente maggiore dell'errore si verificava su una delle dimensioni, la *y*, nell'altro era più equilibrato. Sono state ipotizzate influenze da parte del vento o da parte del recinto elettrificato. Anche l'eventuale spostamento dell'antenna durante l'esperimento può avere modificato il rilevamento. L'errore sui punti fissi particolarmente elevato spiega anche gli scarsi risultati ottenuti nella zona di alimentazione e in quella di abbeverata. Con un errore di stima medio così elevato, minore era la dimensione dell'area e quindi la possibilità che l'animale si trovasse sul perimetro, maggiore era la probabilità che venisse localizzato fuori. Nel caso della zona di alimentazione, il sistema UWB ha registrato con una sottostima maggiore della metà degli eventi individuati a video. Nel caso della zona di abbeverata, di piccole dimensioni e ai margini del recinto, non sono state rilevate alcune posizioni all'interno del perimetro considerato.

La totale non rilevazione di dati nell'area di riposo ha invece ragioni differenti. L'area è sufficientemente grande e l'animale vi permaneva per un tempo abbastanza lungo per determinare almeno il rilievo di eventi, eventualmente sottostimati in durata. Il fatto che non si siano registrati dati di nessuna entità lascia invece pensare che la struttura della capannine essendo in metallo abbia lavorato come gabbia di Faraday schermando completamente il segnale del tag.

Conclusioni

Il sistema UWB è particolarmente complesso, richiede un cablaggio notevole, un collegamento che colleghi ogni antenna a un hub centrale e l'antenna Master a ogni altra antenna. Per soli pochi metri quadrati di superficie sono necessari notevoli metri di cavo ethernet. Per la calibrazione del sistema è necessario che ogni antenna mantenga la sua angolazione e la sua altezza in modo costante nel tempo. Poche variazioni di gradi nel tempo possono influire sulla precisione del posizionamento. Queste caratteristiche ne rendono difficile l'applicazione in ambienti aperti in situazioni reali che coinvolgono animali, in particolare suini e condizioni ambientali esterne. Per scopi di posizionamento animale, molti fattori difficilmente controllabili influenzano l'affidabilità del sistema all'aperto.

Ricerca finanziata dal MIUR nell'ambito del PRIN 2008 - Integrazione di sistemi tecnologici innovativi per il monitoraggio a distanza di animali.

Bibliografia

- Mandeljc, R., Perš, J., Kristan, M., Kovačič, S. (2010). An alternative way to calibrate ubisense real-time location system via multi-camera calibration methods. In: Baldomir Zajc, Andrej Trost (eds.), Proceedings of the 19th International Electrotechnical and Computer Science Conference, ERK 2010, p. 249-252. September 2010.
- Mekonnen Z. W., Slotke E., Luecken H., Steiner C., and A. Wittneben, (2010). Constrained maximum likelihood positioning for UWB based human motion tracking. In: Proceedings of the International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), Zurich, Switzerland, September 2010.
- O'Connor M. C. (2009). Danish Dairies Adopt RFID to Improve Yield. RFID Journal. <http://www.rfidjournal.com/article/view/5083>
- Ubisense. LocationEngineConfig User Manual, October 2007

BIOACUSTICA APPLICATA ALLE PRODUZIONI ANIMALI COME STRUMENTO DI MONITORAGGIO DEL BENESSERE, SALUTE E IDENTIFICAZIONE ANIMALE

TASK 1: CREAZIONE DI UN SISTEMA AUTOMATICO DI RICONOSCIMENTO DELLE PATOLOGIE RESPIRATORIE DALL'ANALISI DI TOSSI REGISTRATE ON-LINE IN PORCILAIA

S. Ferrari, M. Guarino

Dipartimento di Scienze Veterinarie per la Salute, la Produzione Animale e la Sicurezza Alimentare (VESPA), Università degli Studi di Milano.

Riassunto. L'obiettivo principale del progetto è stato definire e verificare un sistema diagnostico integrato che individui precocemente l'insorgere delle patologie respiratorie e le situazioni di compromissione del benessere animale. La ricerca si è basata sullo studio delle caratteristiche bioacustiche delle tossi registrate nei vari allevamenti, con l'integrazione e il supporto dell'analisi dei parametri ambientali e del monitoraggio sanitario, condotti applicando metodologie già consolidate e regolarmente applicate nei laboratori coinvolti. Lo scopo della classificazione di suoni è di preparare un sistema d'intelligenza artificiale basato su di un algoritmo che classifichi i suoni fornendo anche automaticamente un'analisi quali/quantitativa che possa aiutare le scelte gestionali e sanitarie dell'azienda suinicola. Oggigiorno il benessere animale è considerato un fattore in termini di sicurezza alimentare rivolto a migliorare i parametri di qualità delle produzioni animali inoltre il consumatore cerca garanzie circa la provenienza delle carni a lui destinate in termini di salubrità e il benessere animale è percepito come qualità e motivo di scelta per lui.

Parole chiave: zootecnia di precisione, analisi sonora, suini, malattie respiratorie.

Summary. Respiratory disease assessments for fattening swine were conducted using cough sound analysis. In particular, microbiotic and environmental factors predisposing animals to disease were investigated. Using cough recordings from pigs fattening cycles it was possible to evaluate the dynamics of cough sounds and specific respiratory diseases. The bioacoustic analysis included sound duration, amplitude, and frequency. Environmental measurements of temperature, relative humidity, gaseous ammonia, and particulate matter concentrations were recorded. Diagnostic testing on cultures for the presence of infectious agents and serum analyses for immunological health were used to evaluate how farming conditions may affect animal health and welfare. The correlations of all parameters allowed estimation of the weight of agents on the type of respiratory disease and estimation of which are useful acoustics parameters to be monitored for early diagnosis of respiratory hazards assessing that sound analysis is a useful tool for respiratory disease monitoring.

Animal sound analysis allows a non invasive health and welfare monitoring by recording sounds from a stable. Health and welfare are nowadays considered as factors involved in quality improvement of animal productions for feed security. The consumer is searching for traceability in buying animals product and the perception of animal welfare is a means of his choice.

Keywords: Precision livestock farming, sound analysis, swine, respiratory diseases.

Introduzione

Le patologie respiratorie sono tra le maggiori cause di malattia dell'allevamento suino, soprattutto nelle fasi di magronaggio e ingrasso, la loro presenza è associata a mortalità nel 15% dei casi e a un generale peggioramento della produzione a causa dell'abbassamento degli indici di conversione dovuto all'abbattimento del sensorio e all'inappetenza che colpisce i soggetti infetti. Numerosi sono gli agenti eziologici coinvolti sia di natura batterica che virale. Le infezioni sono inoltre, molto spesso, multifattoriali e possono essere amplificate da una mal gestione sia microclimatica dell'allevamento che degli animali intesi come gruppi vaccinali. A causa della loro alta incidenza si reputa interessante studiare un metodo non invasivo e obiettivo per una loro precoce diagnosi o per capirne la diffusione e l'evoluzione.

Avvalersi dello studio acustico del suono della tosse, loro sintomo patognomonico, potrebbe costituire un nuovo sistema efficace e preciso.

L'importanza del suono della tosse come mezzo di prognosi, infatti, non è solo utile in medicina umana ma anche in quella veterinaria. È stata, infatti, dimostrata una stretta correlazione tra i suoni animali e degli stati di malessere (Marx et al. 2003) questo ha permesso di associare all'etogramma le vocalizzazioni corrispondenti. Anche i veterinari in condizioni di campo utilizzano l'analisi uditiva delle tossi come primo screening diagnostico e a questo proposito si è provato a identificare le caratteristiche specifiche della tosse negli animali (Van Hirtum and Berckmans 2002 a, b) e a identificare automaticamente i suoni appartenenti a tossi da registrazioni in continuo della realtà di campo (Aerts and others 2005, Van Hirtum and Berckmans 2003 a, b).

Poiché l'impiego di antibiotici ha raggiunto un livello inaccettabile a garantirne l'utilizzo degli stessi con successo in futuro, a causa dell'aumento della resistenza nelle specie, è particolarmente raccomandata, anche da normative europee, la diminuzione del loro impiego in tutti i campi coinvolti. A questo proposito, volendosi avvalere di strumenti diagnostici come l'analisi del suono, sono necessari alcuni accorgimenti per preparare il sistema di riconoscimento di tossi automatico: la classificazione di suoni appartenenti a tossi di natura patologica/infettiva e la localizzazione degli animali malati all'interno di ricoveri zootecnici. L'obiettivo della prima area di ricerca, di questo progetto Prin, è stato la creazione di un sistema automatico di riconoscimento delle patologie respiratorie dall'analisi sonora di colpi di tosse registrate on-line in porcilaia.

La sperimentazione ha previsto la registrazione di colpi di tosse in aziende suinicole affette da patologie respiratorie in atto. Gli allevamenti sono stati scelti sulla base dell'incidenza delle patologie respiratorie e grazie alla collaborazione dei veterinari aziendali che hanno confermato tramite l'analisi sanitaria o autoptica il reale stato di malattia degli ani-

mali. Sono state raccolte tossi provenienti da quattro allevamenti seguiti durante un ciclo di ingrasso. Questo è servito ad ampliare il database di tossi infettive di modo da affinare lo studio delle caratteristiche fisiche di tali tossi e permettere così all'algoritmo di riconoscimento di lavorare con maggiore accuratezza. Le prove per testare l'algoritmo sono state effettuate in primo luogo offline e sono servite a valutare se il sistema automatico fosse in grado di catalogare e localizzare le tossi effettivamente raccolte da registrazioni in precedenza ascoltate dall'operatore. La catalogazione manuale dell'operatore è servita da riferimento su cui basare, almeno nei primi esperimenti, l'attendibilità del sistema automatico.

Materiali e metodi

Il lavoro ha coinvolto 4 aziende suinicole da ingrasso con sede in Lombardia. I cicli monitorati per il primo e il secondo anno di monitoraggio, sono indicati nella seguente tabella.

Tab. 1. Allevamenti selezionati per il progetto.

Azienda	Provincia	Periodo	Fase
Suini 1	Milano	Settembre 2009- Marzo 2010	Ingrasso
Suini 2	Milano	Ottobre 2010- Febbraio 2011	Ingrasso
Suini 3	Bergamo	Aprile- Dicembre 2009	Ingrasso
Suini 4	Bergamo	Dicembre 2009-Luglio 2010	Ingrasso

In tali aziende i dati audio sono stati raccolti con la stessa metodologia e con la stessa strumentazione in tutti gli allevamenti studiati. Per le registrazioni sono stati utilizzati due tipi di microfoni: uno direzionale (Sennheiser K6) e uno omnidirezionale (ElectretMonacor ECM 3005), entrambi con una risposta in frequenza di 50-16000Hz. I microfoni sono sempre stati posizionati in un'area al di sopra dei box ad un'altezza tale da non rischiare di essere urtati dagli animali e comunque in loro prossimità così da permettere l'effettuazione di registrazioni di qualità. Essi erano inoltre collegati a un Pc Laptop che ha utilizzato il programma di registrazione Adobe® Audition® 3. Le registrazioni sono state effettuate con un tasso di campionamento di 44,1 KHz per circa 30 minuti una volta alla settimana per tutta la durata dei cicli presi in esame. La possibilità di lavorare con un singolo microfono selezionando un'area dell'allevamento con un numero di animali rappresentativo del gruppo

d'ingrasso in esame, è stata valutata all'inizio della ricerca. Questa decisione tecnica si è basata anche sui criteri epidemiologici che definiscono come rappresentativo dell'allevamento un numero di animali derivanti dalla seguente formula. $[1 - (1 - a)^{1/D}] \times [N - (D - 1/2)]$

Dove: a = livello di confidenza (es. 95%); D = numero di soggetti pre-sunti ammalati; N = popolazione totale.

Si è considerato inoltre di registrare solo le tossi provenienti dagli animali appartenenti ai gruppi che sarebbero poi stati in seguito sottoposti al controllo sanitario.

In seguito è stata effettuata la procedura del Labelling che consiste nella classificazione sonora delle tossi. Partendo dai files audio pre registrati e utilizzando un programma specifico di riproduzione sonora come ad esempio Adobe® Audition® un operatore riconosce i suoni d'interesse e manualmente li isola dal contesto e li rinomina. Questo tipo di procedura è effettuabile anche in maniera semi automatica utilizzando un programma ideato e sviluppato dai gruppi di ricerca del VSA e del M3-Biores (Università Cattolica di Leuven - Belgio; <http://lab.eazign.be/>). Questo strumento denominato "labelling tool" (fig. 1) permette di estrarre automaticamente tutti i singoli suoni presenti in una registrazione. Lo strumento è stato studiato per estrarre soprattutto suoni di derivazione animale pertanto è in grado di captare suoni di una determinata ampiezza evitando all'operatore l'ascolto d'interi file audio che spesso contengono momenti di silenzio che non vengono considerati dallo strumento semi automatico. E' compito dell'operatore, invece, ascoltare i suoni captati dal sistema e selezionare il loro gruppo di appartenenza direttamente dall'interfaccia del programma.



Fig. 1. Interfaccia per utilizzo del "labelling tool" per la classificazione delle tossi. La pulsantiera riportata permette di selezionare la cartella di destinazione del suono identificato. Questo esempio mostra la possibilità di classificare una tosse: cough, uno starnuto: sneeze, un urlo animale: scream, un grugnito: grunt oppure altri suoni di diversa natura.

Le tossi sono state raccolte con entrambe le procedure di labelling (manuale e semi automatica) e successivamente suddivise in gruppi, a seconda dell'allevamento e del giorno di campionamento per poter effettuare in seguito l'analisi sonora.

Attraverso l'uso sia di programmi di analisi e raccolta sonora come Adobe Audition e Matlab (che permettono di avere una visione grafica del suono nei domini di tempo e frequenza), è stato possibile analizzare i suoni e conoscerne le loro caratteristiche acustiche.

In dettaglio le singole tossi raccolte sono state in seguito analizzate in termini di:

- Durata del segnale - S - (secondi)
- Frequenza fondamentale - F0 - (energia contenuta nel segnale)
- Peak frequency - PF - (picchi di frequenza)
- RMS valore medio del livello sonoro (ampiezza)

Per ogni caratteristica acustica sono stati calcolati come analisi preliminare la media, i valori minimi, i massimi, la Deviazione Standard (DS) e l'Errore Standard della Media (SEM). I suoni sono stati classificati quindi in termini di parametri acustici e per data di raccolta sonora corrispondente al giorno di registrazione. Le caratteristiche acustiche sono state inoltre utilizzate per preparare un algoritmo di riconoscimento sonoro che sarà alla base del sistema automatico di diagnosi delle malattie respiratorie, messo a punto a seguito dei risultati ottenuti con il progetto. L'algoritmo di riferimento è quello messo a punto da Exadaktylos et al. (2008; Online pig cough recognition and localization) che utilizza l'estrazione automatica e il riconoscimento sonoro sulla base delle caratteristiche di frequenza e ampiezza dell'onda, ricavate dall'analisi preliminare.

Per quanto riguarda invece la conferma della presenza di agenti eziologici, il veterinario aziendale ha condotto screening siero-epidemiologici, per valutare entità e tempi della diffusione di patogeni correlati al danno clinico e a minor produzione: PRRSV, Mycoplasma hyopneumoniae, Salmonella spp. e Actinobacillus pleuropneumoniae. Per la valutazione della reattività immunitaria degli animali e del loro stato di "benessere zootecnico" sono stati considerati i parametri correlati all'immunità aspecifica che comprendono l'attività battericida del siero, il complemento emolitico totale (CH 50/100 mcl) e il lisozima sierico.

Infine, per analizzare la relazione tra il numero e le caratteristiche delle tossi registrate e i parametri sanitari rilevati (circolazione di PRRS, Micoplasmosi, Actinobacillosi, IBR, BRSV, BVDV, PI3), è stata condotta l'Analisi della varianza con il pacchetto statistico SAS (Proc GLM, SAS 9.2, 2011) discriminando i risultati in base al mese, alla stagione di rilievo e all'allevamento. L'analisi ha previsto la trasformazione del numero di colpi di tosse, rilevati al minuto, in classi di numero, ovvero le classi di numero comprese tra 0 e 0.5 sono state denominate "1", le clas-

si di numero comprese tra 0.5 e 1 sono state denominate “2” e così via, in modo da ottenere una classificazione obiettiva dei dati analizzati. La classificazione riportata in tabella nasce dalla necessità di avere categorie numeriche di tosse, interpretate non come eventi fisici ma numerici, utili per la creazione dell’algoritmo descrittivo e predittivo. Per validare ulteriormente i risultati è stata condotta, in seconda indagine, un’analisi di correlazione Proc CORR (SAS 9.2; 2011) tra tutti i parametri rilevati. I parametri risultati statisticamente significativi dalla correlazione di Pearson sono stati utilizzati nell’elaborazione di una regressione descrittiva e predittiva delle patologie in dipendenza dei vari parametri.

Risultati e discussione

Le singole tosse, classificate per allevamento di provenienza e data di registrazione, sono state studiate in termini di durata (Sound duration: S), ampiezza sonora (Root Mean Square: RMS), frequenza fondamentale (Fundamental Frequency: F0) e frequenza del picco (Peak Frequency: PF). Sono stati inoltre calcolati i rapporti tra numero di tosse e tempo di registrazione espressi come tosse al minuto (C/min dove C=coughs).

Dalla tabella 2 e dal rispettivo grafico (fig. 2), si evince come nell’allevamento SUINI 1 il numero maggiore di tosse sia stato registrato nei mesi di Gennaio e Febbraio, in concomitanza con l’ultimo periodo del secondo ciclo d’ingrasso (media 5 C/min).

Questo trend in continua crescita della tosse al minuto è indubbiamente indice di un serio problema sanitario generale nel ciclo in questione poiché normalmente a quest’età gli animali sono generalmente usciti dal periodo critico per la malattia respiratoria e dovrebbero manifestare un buon livello sanitario e di adattamento ambientale anche grazie agli interventi manageriali e di profilassi fin qui messi in atto.

A conferma di quanto esposto, infatti, negli altri allevamenti esaminati, il numero delle C/min è in progressivo calo con l’avvicinarsi del periodo di macellazione. Nell’allevamento SUINI 4 si è assistito ad un progressivo calo delle C/min come risultato dell’inserimento della vaccinazione e della medicazione suggerita come intervento correttivo. In quest’allevamento i parametri valutati si sono mantenuti generalmente più bassi, con la presenza di un solo picco nel mese di Maggio (3.27 C/min).

L’analisi preliminare delle caratteristiche acustiche riportata in tab.1 ci ha permesso di osservare l’andamento di parametri necessari per stabilire i valori di calcolo che dovevano essere inseriti nell’algoritmo di riconoscimento sonoro automatico. L’analisi acustica così condotta tramite Matlab ha stabilito quindi i range e ha diviso ulteriormente i suoni in classi non imputabili meramente alla data di raccolta o all’allevamento. Le prove effettuate hanno permesso di impostare l’algoritmo sui diversi

Tab. 2. Caratteristiche bioacustiche delle tossi registrate negli allevamenti suinicoli durante i due anni di ricerca (* in questa sessione i suoni sono stati contati manualmente dall'operatore, pertanto è stato possibile solo ricavare il numero di C/min).

Ciclo	Mese	C/min	S	RMS	F0	PF
Suini 1	Sett 2009	1.08	0.202	0.236	739	840
	Ott	1.81	0.457	0.223	1362	790
	Nov	0.75	0.419	0.223	1421	1003
	Dic	0.41	0.366	0.203	793	933
	Gen	1.01	0.221	0.249	1067	634
	Feb	0.22	0.424	0.246	204	459
Suini 2	Ott 2010	0.03	*	*	*	*
	Nov	2.78	0.615	0.201	717	678
	Dic	4.03	0.483	0.228	1404	747
	Gen	5.00	0.412	0.218	815	774
	Feb	5.00	0.465	0.242	527	727
Suini 3	Mag 2009	2.38	0.369	0.203	1406	1164
	Giu	2.05	0.446	0.208	886	924
	Lug	4.85	0.392	0.217	697	759
	Ago	4.14	0.428	0.199	1176	837
	Sett	0.82	0.546	0.207	1115	853
	Ott	0.37	0.506	0.205	741	852
	Nov	0.96	0.507	0.197	515	744
	Dic	1.14	0.420	0.230	817	967
Suini 4	Gen 2010	1.09	0.302	0.235	1262	1004
	Feb	1.74	0.364	0.223	910	805
	Mar	2.42	0.350	0.225	914	792
	Apr	2.63	0.323	0.219	3126	783
	Mag	3.27	0.331	0.228	1253	813
	Giu	2.38	0.367	0.222	660	806
	Lug	1.08	0.348	0.230	773	782

suoni di tossi studiate. Nei suini, infatti, la distribuzione dei parametri acustici era riconducibile a un modello.

Sono stati anche resi disponibili per la ricerca i referti derivanti dallo screening sierologico che hanno evidenziato il coinvolgimento di fattori eziologici sulla malattia respiratoria dei gruppi di suini considerati.

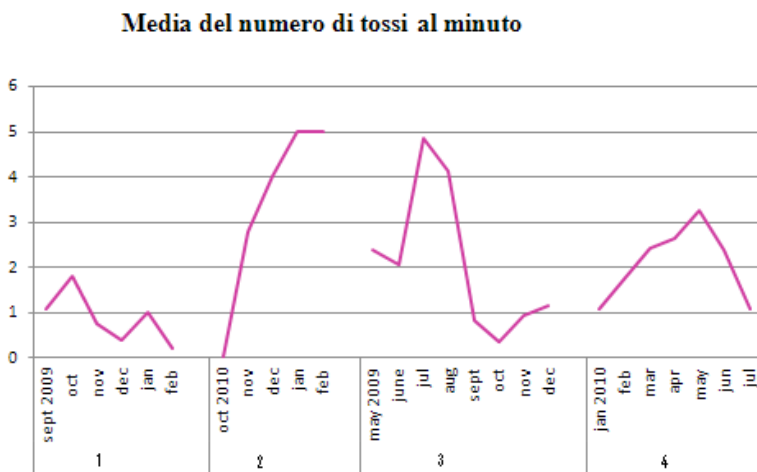


Fig. 2. Andamento dei colpi di tosse/min durante i cicli monitorati.

I risultati sono stati analizzati dal punto di vista statistico riunendo tutti i parametri acustici e sanitari. Il database ha previsto l'inserimento dei dati tenendo in considerazione l'allevamento di provenienza, le azioni correttive apportate (ad esempio la vaccinazione) e il mese di raccolta dei dati (tab.2).

L'analisi della varianza condotta su i gruppi di entrambi gli allevamenti (PROC. GLM) ha rilevato che:

- la frequenza fondamentale (F0) varia nelle stagioni di rilievo ($P < 0.01$) essendo maggiore nei mesi estivi;
- F0 varia tra le classi di numero delle tosse: questo parametro risulta tanto maggiore quanto più alto è il numero di tosse al minuto ($P < 0.05$);
- il picco di frequenza (PF) non mostra differenze significative tra gli allevamenti nelle varie stagioni di rilievo ($P = 0.68$);
- la durata (s) delle tosse è influenzata dalla stagione di osservazione e quindi dal microclima ($P < 0,05$) ovvero la durata delle tosse diminuisce con il diminuire della temperatura;
- la durata delle tosse è influenzata dal trattamento correttivo ($P < 0.001$): ad esempio nell'allevamento SUINI 4, che ha ricevuto la vaccinazione contro micoplasma la durata media delle tosse è risultata significativamente minore rispetto al primo ciclo;

Vista la diversa tipologia strutturale dei due allevamenti considerati (ventilazione meccanica nell'allevamento SUINI 1 e suini 2 e naturale

in SUINI 3 e 4) è stata condotta un'ulteriore analisi della varianza, considerando separatamente i dati raccolti nei quattro allevamenti.

SUINI 1 e 2:

- la percentuale di animali infetti da PRRS era maggiore a temperature basse ($P < 0.05$);
- la percentuale di animali infetti da PRRS era maggiore in concomitanza di alte concentrazioni di ammoniaca ($P < 0.01$);
- la relazione tra concentrazione di inquinanti e un basso ricambio di volumi d'aria ($P < 0.01$) è una condizione tipica della stagione invernale;
- la concentrazione di PM10 favorisce la diffusione in allevamento di Salmonelle ($P < 0.01$) e di App ($P < 0.05$).
- lunghezza delle tosse > 0.3 s tipiche di App+ ($P < 0.05$);

SUINI 3 e 4:

- la percentuale di animali infetti da M. Suis era maggiore a temperature basse ($P < 0.05$); la percentuale di animali infetti da Salmonelle era maggiore a temperature basse ($P < 0.001$);
- la percentuale di animali infetti da App era maggiore a temperature basse ($P < 0.001$);
- la temperatura non ha influito sul numero di colpi di tosse al minuto (C/min);
- l'umidità relativa influenza significativamente la percentuale di animali affetti da App ($P < 0.05$);
- la concentrazione di PM10 favorisce la diffusione in allevamento di M.suis e App ($P < 0.05$);

La correlazione di Pearson:

- C/min è aumentato durante il periodo invernale (63 %, $P < 0.01$);
- Associazione negativa tra il numero di C/min e prevalenza di App (-45%, $P < 0.05$).
- Associazione positiva tra numero di C/min e prevalenza di Salmonella (64%, $P < 0.01$);
- Associazione positiva tra lunghezza delle tosse e cause microbiche (+65%, $P < 0.001$).
- minore F0 in presenza di cariche microbiche (-56%; $P < 0.05$).
- minore lunghezza delle tosse dopo trattamenti farmacologici o vaccinazioni (-69%, $P < 0.001$) contro Salmonella (-68%, $P < 0.001$) o App (-75%, $P < 0.001$);
- Associazione positiva tra numero di C/min e aumento della concentrazione di lisozima (+ 64 %, $P < 0.01$).
- Associazione positiva tra aumento dell'età degli animali e lunghezza dei suoni (+ 19 %, $P < 0.001$).

Tabella riassuntiva per l'interpretazione dei fattori di rischio per la malattia respiratoria

Tab. 3. Associazioni e correlazioni, tra i parametri studiati, derivanti dall'analisi statistica.

PARAMETRO	VARIAZIONE	CONSEGUENZA	VALORI SOGLIA
PM10	aumento	Aumento nr tossi/min	> 0,05 mg/m ³
NH3	aumento	Aumento nr tossi/min	> 15 ppm
Durata tosse	diminuisce	Tossi tipo ambientale	<0,2s; RH<60% RH>90%
Durata tosse	aumento	Tossi tipo biotico, Salm.	>0,4s
Durata tosse	diminuisce	> Presenza App.	> 0,2s
Tossi/min	aumenta	> incidenza salmonelle	>3 C/min
Tossi/min	diminuisce	> incidenza App.	1<C/min<2
F0	diminuisce	M.suis	500 Hz
PF	diminuisce	App.	<230 Hz

I risultati ottenuti dall'analisi acustica hanno inoltre permesso la preparazione di un prototipo per il riconoscimento e localizzazione sonora, volto al conteggio delle tossi negli allevamenti. Tale sistema permette di monitorare lo stato sanitario degli animali nelle sue variazioni e la creazione di un database di suoni e d'informazioni utili per gestire correttamente la salute degli animali. Il riconoscimento sonoro è basato sui risultati ottenuti da questo studio, pertanto le caratteristiche acustiche delle tossi monitorate e rilevate contengono anche importanti informazioni riguardo alle concause della malattia, siano esse di natura ambientale o microbica. Infine, dal prototipo si potrebbe sviluppare uno strumento che permetterà la gestione integrata della diagnosi precoce e supporterà, sia in prevenzione sia in monitoraggio, le scelte di allevatori, veterinari ed esperti del settore.

Il sistema per il rilevamento sonoro comprende un box a chiusura ermetica contenente il sistema di riconoscimento, classificazione e localizzazione sonora (fig.3).

L'impianto permette la registrazione con un singolo microfono oppure con configurazioni multiple di microfoni per permettere la localizzazione sonora.

Installazione:

Per le caratteristiche strutturali del sistema esso può essere introdotto nei ricoveri di allevamento in una posizione tale da permettere al mi-



Fig. 3. Apparecchiatura per il monitoraggio sonoro della tosse in allevamento.

crofono collegato di essere sospeso sopra gli animali.

Il microfono non deve essere sospeso a meno di 1 m dagli animali poiché potrebbero raggiungerlo e danneggiarlo inoltre una posizione troppo prossima agli animali escluderebbe la ricezione di segnali esterni al box. Il cavo del microfono non deve essere inoltre più lungo di 5 metri per non deteriorare il segnale in entrata. Il microfono è di tipo direzionale e quindi capta in maniera ottimale soprattutto i suoni che provengono anteriormente escludendo quasi completamente gli altri. Per questo motivo è molto importante scegliere il gruppo di animali che deve essere rappresentativo del ciclo intero e posizionare il microfono in maniera da ricevere correttamente i suoni dal gruppo stesso. Una posizione agli angoli della stalla è spesso preferibile con tali strumenti.

Il box contenente il sistema è protetto da un involucro che permette la protezione dei circuiti da polvere, umidità e ammoniacca.

Funzionamento:

Il sistema è munito di un software di riferimento. L'interfaccia è interattiva e, attraverso un sistema di log in personale (fig. 4) permette di introdurre nuovi dati anamnestici. Questi dati introdotti supporteranno la raccolta dati audio che è automatica e non modificabile dall'utente. È compito dell'utente compilare nelle impostazioni gli eventi occorsi durante il ciclo di allevamento ad esempio interventi vaccinali e terapie così come eventuali problemi insorti sia a livello sanitario che a livello climatico/ambientale.

Lettura dei risultati ed interpretazione

Il prototipo di sistema permette di storare i suoni raccolti, di analizzarli ai fini di ricerca (F0, PF, RMS, S) e di verificare lo stato di occupazione

My SoundTalks
Milan University
21/06/2011

Settings

Existing Events:

Name	Date	Time	Description	Remove
Normal situation	06/02/2011	10:00	new group animals start fattening	delete
ventilation failure	11/04/2011	11:00	manual windering opening	delete
cough increase	13/04/2011	7:00	increase in coughing animals	delete
Medication	12/04/2011	10:00	Antibiotic	delete

Create new event

Actions

- Monitor
- Drive status
- Settings
- Logout

Fig. 4. Interfaccia del sistema di riconoscimento sonoro delle tossi in allevamento. La schermata mostra come dal log in, nella pagina personale, l'utente interessato può etichettare momenti tipici del ciclo di allevamento permettendo quindi un follow up dei propri animali e ricostruire un'attenta anamnesi.

della memoria degli hard disk collegati. I suoni raccolti possono, infatti, sia dare un'indicazione quantitativa (fig.5, fig.6) del problema respiratorio sia essere indice qualitativo poiché, come dimostrato dai risultati di questa ricerca, al suono spesso sono associati parametri ambientali o sanitari potenzialmente rischiosi per la salute degli animali.

Il grafico superiore indica l'ipotetico andamento delle tossi nell'evoluzione della malattia respiratoria in una porcilaia mentre il grafico inferiore mostra le tossi individuate dallo strumento in una finestra temporale di 20 minuti.

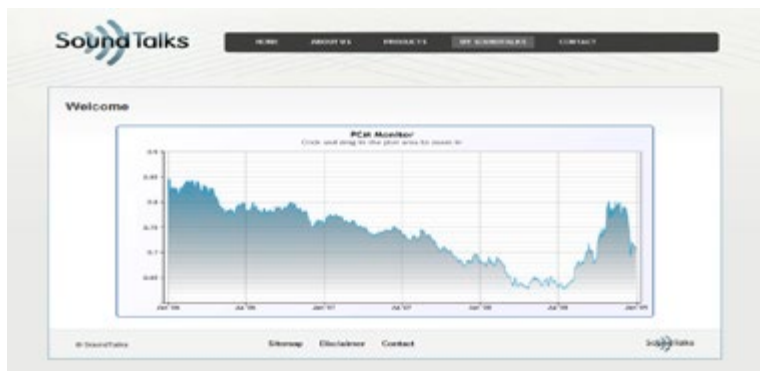


Fig. 5. PCM (pigcoughmonitoring) la schermata mostra il grafico prodotto dall'algorithmo di riconoscimento sonoro. Il grafico indica l'ipotetico andamento delle tossi in relazione all'evoluzione della malattia respiratoria in una porcilaia.

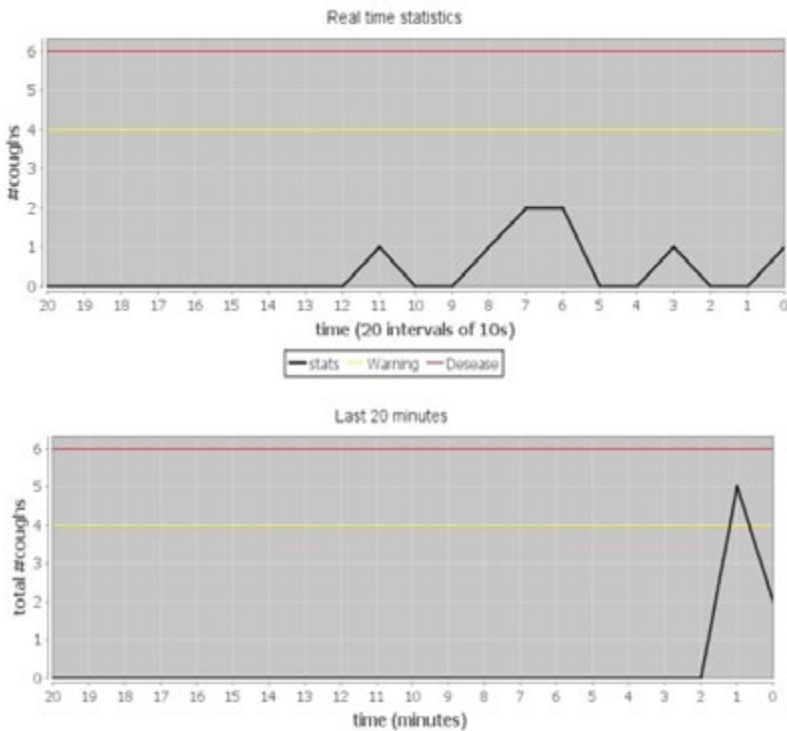


Fig. 6. Le due schermate mostrano il grafico prodotto dall'algoritmo di riconoscimento sonoro.

Conclusioni

Lo studio della bioacustica applicata ha permesso di ottenere nuove indicazioni per le pratiche di biosicurezza e di impiegare le informazioni ottenute per creare uno strumento di monitoraggio non invasivo, attraverso l'analisi del suono, che funga da campanello d'allarme per tutte quelle realtà dove la numerosità del bestiame allevato interferisce con la valutazione puntuale dello stato di salute globale effettuata con i metodi convenzionali (osservazione degli animali nel momento del pasto, periodici screening sanitari). Sono state studiate le relazioni che intercorrono tra i suoni della tosse e gli agenti eziologici ed è stato studiato come i microrganismi influenzino le sonorità delle tossi e quindi le loro caratteristiche acustiche intrinseche. La conoscenza di tutti questi fattori e delle possibili combinazioni critiche tra di essi permette la cosiddetta diagnosi integrata indispensabile per verificare le condizioni di benessere, per individuare l'insorgenza di patologie respiratorie e apportare in seguito le opportune azioni correttive. Il metodo oggettivo

vo inoltre, fornito dal prototipo del sistema di riconoscimento automatico, permetterà ad allevatori, tecnici di settore e medici veterinari di avere facilmente una panoramica della situazione sanitaria del bestiame in tutti i compartimenti aziendali dove il sistema è applicato. L'informaticizzazione delle aziende e l'applicazione di sistemi tecnologici permetteranno quindi di creare una rete tra le aziende grazie alla quale i contenuti potranno essere condivisi per migliorare le conoscenze e diffondere informazioni in tempo reale.

Ricerca finanzia dal MIUR nell'ambito del PRIN 2008 - Integrazione di sistemi tecnologici innovativi per il monitoraggio a distanza di animali.

Bibliografia

- Aerts, J.M., P. Jans, D. Halloy. 2005. Labelling of cough data from pigs for on-line disease monitoring by sound analysis. *Trans. ASAE* 48 (1): 351-354.
- Exadaktylos V., Silva M., Ferrari S., Guarino M., Aerts JM, Berckmans D. 2009. Time-series analysis for online recognition and localization of sick pig (*Susscrofa*) cough sounds. *J.Acoust. Soc. Am.* 124 (6),3803-3809.
- Ferrari S., Costa A., Guarino M. 2006. Zootecnia di precisione, la bioacustica identifica in porcilaia la posizione degli animali malati. *Rivista di Suinicultura.* (12) p. 107-110.
- Ferrari S., Costa A., Guarino M.,(2006) Zootecnia di precisione, la bioacustica identifica in porcilaia la posizione degli animali malati 47:12, 107-110 *Rivista di Suinicultura.* Edagricole-Bologna.
- Ferrari S., Silva M., Guarino M., Aerts J.M, Berckmans D. 2008b. Cough sound analysis to identify respiratory infection in pigs. *Computers and electronics in agriculture.* (6 4) 318-325.
- Ferrari S., Silva M., Guarino M., Berckmans D. 2008a. Analysis OF Cough Sounds for Diagnosis of Respiratory infections in Intensive Pig Farming. *Transaction of the Asabe.* 51(3), 1051-1055(6).
- Guarino M., Costa A., Van Hirtum A., Jans P., Ghesquiere K., Aerts J.- M., Berckmans D..2004. Field tests of an algorithm to predict infected pig coughing. *Annals of Animal Science.* Suppl.,1, 61-65.
- Guarino M., Costa A., Van Hirtum A., Jans P., Ghesquiere K., Aerts J.M., Navarotto Pl., Berckmans D. 2004. Automatic detection of infective pig coughing from continuous recording in field situations. *Rivista di Ingegneria Agraria.* 4, 69, 73.
- Moreaux B., D. Beerens and P. Gustin.1999. Development of a cough induction test in pigs: effects of SR 48968 and enalapril. *J. Vet. Pharmacol. Ther.* 22: 387-389.
- Naguib M. E Wiley H. (2001). Estimating The Distance To A Source Of Sound: Mechanisms And Adaptations For Long-Range Communication. *Animal Behaviour,* 2001, 62, 825-837. (Doi:10.1006/Anbe.2001.1860).

- Silva M., Ferrari S., Costa A., Aerts J.M., Guarino M., Berckmans D. 2008. Cough localization for the detection of respiratory diseases in pig houses. *Computers and Electronics in Agriculture*. 64: 286–292.
- Van Hirtum, A., Berckmans, D., 2002a. Assessing the sound of cough towards vocality. *Medical Engineering & Physics*. 24 (7–8), 535–540.
- Van Hirtum, A., Berckmans, D., 2003a. Considering the influence of artificial environmental noise to study cough time–frequency features. *Journal of Sound and Vibration*. 266 (3), 667–675.
- Van Hirtum, A., Berckmans, D., 2003b. Fuzzy approach for improved recognition of citric acid induced piglet coughing from continuous registration. *Journal of Sound and Vibration*. 266 (3), 677–686.
- Van Hirtum, A., Berckmans, D., 2004. Objective recognition of cough sound as biomarker for aerial pollutants. *Indoor Air* 14 (1), 10–15.
- Van Hirtum, A., D. Berckmans. 2002b. Automated recognition of spontaneous versus voluntary cough. *Med. Eng. Phys.* 24 (7–8): 541–545.

BIOACUSTICA APPLICATA ALLE PRODUZIONI ANIMALI COME STRUMENTO DI MONITORAGGIO DEL BENESSERE, SALUTE E IDENTIFICAZIONE ANIMALE

TASK 2: STUDIARE LE VOCALIZZAZIONI DEL SUINO ESPOSTO A STRESSORS DI NATURA GESTIONALE NELLA REALTÀ DELL'ALLEVAMENTO INTENSIVO

S. Ferrari, M. Guarino

Dipartimento di Scienze Veterinarie per la Salute, la Produzione Animale e la Sicurezza Alimentare (VESPA), Università degli Studi di Milano.

Riassunto. Nell'allevamento suinicolo intensivo si possono presentare, nella stagione calda, situazioni di stress da calore che influenzano il benessere e il comportamento degli animali. Il suino nelle suddette condizioni non è in grado né di adattarsi al calore né di adottare misure fisiologiche di compensazione tali da apportare un raffrescamento corporeo, inoltre la densità di animali peggiora ulteriormente questa situazione. Lo studio qui riportato ambiva a determinare se lo stress da calore potesse indurre i suini a vocalizzare in maniera particolare e se queste vocalizzazioni differiscono significativamente da quelle emesse dai suini in condizioni "normali". L'incremento di temperatura è stato indotto sperimentalmente, le reazioni fisiologiche degli animali sono state osservate e le loro vocalizzazioni registrate. La risposta fisiologica dei suini è stata studiata: la frequenza respiratoria (RR) e la temperatura rettale (RT) hanno mostrato di comportarsi come previsto ovvero aumentando all'aumentare della temperatura. Le vocalizzazioni analizzate sono state divise nel gruppo di controllo e nel gruppo stress da calore e hanno evidenziato differenze acustiche significative per tutti i parametri acustici indagati. Dall'analisi statistica emerge che i suoni con frequenze superiori ai 1000 Hz non rappresentano un campione significativo per la condizione di stress da caldo, di contro, i suoni con frequenze inferiori sono positivamente correlati con la temperatura rettale e con l'aumento di temperatura del test e possono essere dunque catalogati come indicatori di stress da caldo.

I risultati ottenuti dimostrano che lo stress è associato a particolari vocalizzazioni e suggerisce un approccio all'interpretazione del linguaggio animale attraverso la bioacustica. Lo studio porterà allo sviluppo di un algoritmo per il riconoscimento in real time di tali suoni che permetterà un controllo maggiore del benessere degli animali allevati.

Parole chiave: analisi suono, fisiologia, onde di calore, stress da calore, vocalizzazioni.

Summary. In intensive swine farms, stressful conditions in the climate, namely heat stress, affect animal behaviour and welfare. Pigs reared in commercial fattening housing suffer from temperature increases and from their inability to get free to refresh themselves any time they need to. The closed and dense environment further worsens this condition.

This particular study was conducted to determine whether heat stress induces specific vocalisations in a group of piglets bred in standard intensive conditions and whether these vocalizations are acoustically different from other swine normal

vocalizations. The temperature increase was aimed to stimulate heat-stress-specific behaviours and vocalisations. For this purpose, the vocal calls were coupled with environmental and physiological parameters (rectal temperature and respiration rate) collected during the temperature-increasing tests. The study of sound acoustic features such as frequency, duration and amplitude, together with the analysis of the environmental parameters, showed a clear difference between heat-stress-related sounds and other types of vocal calls recorded while the piglets were not stressed by environmental insults. This result shows how animals can communicate emitting specific calls and provides a deeper knowledge of animal behaviour, thereby providing a means toward better animal welfare.

Keywords: heat waves, heat stress, physiology, sound analysis, vocalisations

Introduzione

Studiare le vocalizzazioni e i comportamenti reattivi di un gruppo di suini permette l'interpretazione e la correlazione tra benessere animale ed emissioni vocali a seguito dei più comuni stressors di natura microclimatica e manageriale al fine di creare un database di suoni relativi alle svariate vocalizzazioni dei suini in situazioni di allevamento intensivo. Le variazioni del microclima saranno registrate da uno psicrometro che è uno strumento che misurando la temperatura dal bulbo umido tiene conto di diversi parametri ambientali quali la ventilazione, la temperatura, l'irraggiamento solare e perciò parrebbe un buon indicatore della temperatura percepita da un organismo. Le variazioni manageriali saranno invece indotte dagli sperimentatori i quali gestiranno con movimenti gli animali e opereranno ritardi nella somministrazione di cibo o acqua. L'analisi delle vocalizzazioni animali permette l'interpretazione dell'andamento del benessere animale in maniera non invasiva non solo per gli animali ma anche per l'operatore che con un semplice strumento di registrazione all'interno della porcilaia potrà monitorare i suoni degli animali e trarre importanti conclusioni sul loro stato sociale, di adattamento o patologico durante le loro fasi di crescita. Le vocalizzazioni animali avvengono infatti a seconda di schemi comportamentali sviluppati durante la filogenesi e fissati ontogenicamente specie per specie. Per questo motivo nelle specie animali a specifiche vocalizzazioni sono associati particolari comportamenti e stati emotivi spesso inequivocabili. Lo scopo della classificazione di suoni è di preparare un sistema d'intelligenza artificiale basato su di un algoritmo che classifichi automaticamente i suoni fornendo anche automaticamente un'analisi quali/quantitativa che possa aiutare le scelte gestionali dell'azienda suinicola. Oggigiorno il benessere animale è considerato un fattore in termini di sicurezza alimentare rivolto a migliorare i parametri di qualità delle produzioni animali. Il consumatore cerca garanzie circa la provenienza delle carni a lui destinate in termini di salubrità e il benessere è percepi-

to come qualità e motivo di scelta per lui. Il secondo progetto di ricerca era rivolto allo studio delle vocalizzazioni dei suini esposti a stressors di natura gestionale nella realtà dell'allevamento intensivo. In particolare il focus era sull'osservazione e la misura della reazione degli animali allo stress da caldo e a identificare se le vocalizzazioni fossero indicative di un oggettivo malessere.

La ricerca ha permesso di valutare lo stress termico di un gruppo di suinetti applicando un incremento di temperatura nella gabbia di ricovero e registrando le vocalizzazioni conseguenti

Materiali e metodi

La parte sperimentale di questo studio si è svolta presso il Centro Zootecnico Didattico Sperimentale di Lodi della Facoltà di Medicina Veterinaria di Milano. La sala utilizzata era fornita di tre box verri di cui uno solo preposto per alloggiare il gruppo sperimentale, di 2,1 m x 2,5 m (fig.1). Nel box è stata montata una pavimentazione di PVC, fessurata, con ampiezza massima delle aperture di 14 mm, infine, oltre a tre mangiatoie a campana e lineari (fig.2), il box era munito di un abbeveratoio antispreco a pressione.

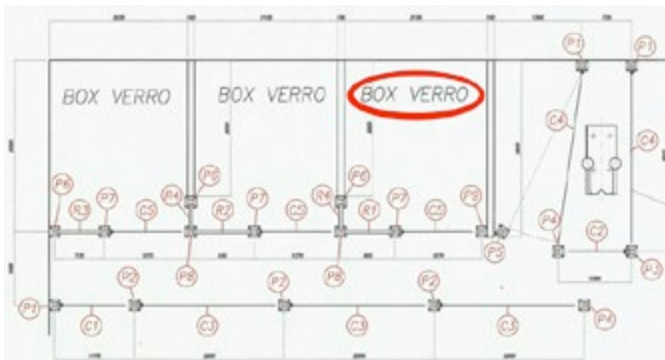


Fig. 1: Piantina sala

La sala era dotata di un sistema di controllo di temperatura e umidità relativa, con stufe a metano, nonché di un sistema di ventilazione.

Inoltre è stato fornito ai suinetti un arricchimento ambientale che consisteva in bottiglie di plastica vuote e in bastoncini di legno. Due lampade a infrarossi (150 watt) erano predisposte per sottoporre i suini allo stress da calore. I suinetti sono stati osservati anche nella fase pre-

cedente e successiva la prova stessa; così facendo si sono potuti annotare specifici comportamenti.

La temperatura della sala è stata mantenuta in un range compreso tra i 32,2° C quando gli animali avevano un peso di $4,92 \pm 0,35$ kg, e 25,2° C nell'ultima settimana di prova. Le temperature scelte per la sala sono conformi alle zone di comfort termico proposte da Le Dividich ed Herpin (1994). Il range di umidità relativa oscillava tra il 20 e il 30% con una ventilazione di 3 m³/h. Tali parametri climatici erano facilmente disponibili attraverso un pannello di controllo on-line posizionato al di fuori della sala.

In questo studio sono stati impiegati 7 suinetti ibridi commerciali (Large White x Landrace) di circa 20 giorni di età, maschi e femmine, con un peso iniziale di $4,92 \pm 0,35$ kg (fig. 2).

L'alimento, somministrato due volte al giorno, consisteva in un mangime formulato, contenente tutti i nutrienti necessari ai suinetti in svezamento, secondo le raccomandazioni dell'NRC(1998). Gli animali avevano libero accesso all'abbeverata.

Di ogni suinetto è stato misurato il peso all'inizio e alla fine della sperimentazione (tab.1) con l'ausilio di una pesa (176 x 65 cm) mod. BF/EC, indicatore di peso LCD, con piattaforma di capacità di carico di 300 kg. Temperatura rettale (RT- rectal temperature) e frequenza respiratoria (RR- respiration rate) sono stati misurati durante l'esposizione alle alte temperature.

Tab. 1: Pesì suinetti inizio-fine sperimentazione

n ° suinetto	kg inizio	kg fine
151	5,200	18,500
131	5,150	25,000
153	5,150	23,500
116	4,300	14,000
143	4,600	24,000
145	5,200	21,500
111	4,700	24,500

La sperimentazione si è articolata fondamentalmente in 11 giornate in cui sono state effettuate le registrazioni. Gruppi di due o tre suinetti sono stati isolati in un angolo del box con l'ausilio di pannelli di plastica ricreando così uno spazio, test crate, delle dimensioni di 0,5 x 0,5 m.

Al di sopra questa superficie, ad un'altezza di 50 cm dal suolo, sono state poste le due lampade a infrarossi (fig. 3). Tale spazio era pre-riscaldato per circa 10 minuti prima di introdurre gli animali.



Fig. 2: Suinetti e box



Fig. 3: Test crate, lampade e microfono

La prova prevedeva che i gruppi di due-tre suinetti, posti nella test crate, fossero esposti ad alte temperature (da 29° a 41° C) per un'ora, al fine di simulare il clima diurno estivo. Nel corso della prova, la temperatura all'interno di questo spazio era misurata al tempo 0 (t0), dopo 20 minuti (t1), dopo 40 minuti (t2) e infine dopo 60 minuti (t3) con un termometro a mercurio posizionato sulla parete del box a livello del pavimento. La frequenza respiratoria è stata determinata contando i movimenti del fianco e registrandoli come frequenza per minuto al t1, t2, e t3, assumendo come normale e fisiologica frequenza quella di 35/40 atti /minuto (Brown-Brandl et al. 2001; Renadeau 2007).

All'inizio, durante e alla fine di ogni registrazione sono stati rilevati dati ambientali e parametri relativi ai suinetti;

- ambientali: umidità relativa, temperatura sala, temperatura sotto lampada (con termometro a mercurio)

- suinetti: temperatura rettale RT (con termometro digitale), frequenza respiratoria RR (atti respiratori per minuto).

Le registrazioni sono state eseguite tramite un registratore portatile (mod. MARANTZ PMD-620) con supporto SD collegato a un microfono direzionale (Shenneider ME 67) posto a un'altezza di circa 50 cm al di sopra degli animali. La registrazione è avvenuta mediante una microfona stereofonica a condensatore a 44,1 kHz con una risoluzione di 24 bit. Le vocalizzazioni dei suinetti nel box, durante l'esposizione al calore, sono state registrate per un periodo di un'ora; sono stati registrati anche i suoni derivanti dalle normali attività quali gioco e socializzazione, con la solita procedura, nell'ora precedente la prova da stress da caldo.

Dalle registrazioni ottenute nel corso della sperimentazione, sono state ricavate 11 tracce audio, dal riascolto delle quali, sono state identificate e catalogate manualmente tutte le vocalizzazioni emesse dai suinetti coinvolti nella specifica prova.

Il labelling (classificazione) dei suoni è stato eseguito con il programma professionale Adobe® Audition® che combina il playback sonoro sia in formato audio sia in formato spettrale permettendo di vedere graficamente il suono e di estrarre precisamente i singoli suoni, di nostro interesse, presenti all'interno dell'intera registrazione escludendo invece tutti quelli di natura diversa e quindi non utili alle successive analisi (fig.4).

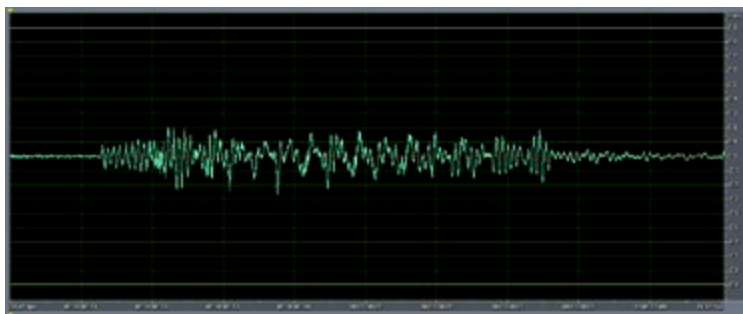


Fig. 4: Esempio di suono presentato nel “dominio di tempo”.

Le vocalizzazioni sono state suddivise in due principali gruppi: stress da caldo (HS- heat stress) registrate durante i 60 minuti della prova e non stress (NS- non stress) registrate in momenti precedenti o successivi alla prova. Lo studio delle caratteristiche acustiche dei due gruppi di suoni ci ha permesso di indagare parametri come la peak frequency (picchi di frequenza).

Il calcolo della frequenza è stato studiato tramite l'AR spectrum (autoregressione) (fig.5) generato in MatLab® e per ogni suono, è stata selezionata la frequenza con il valore più alto (HZ).

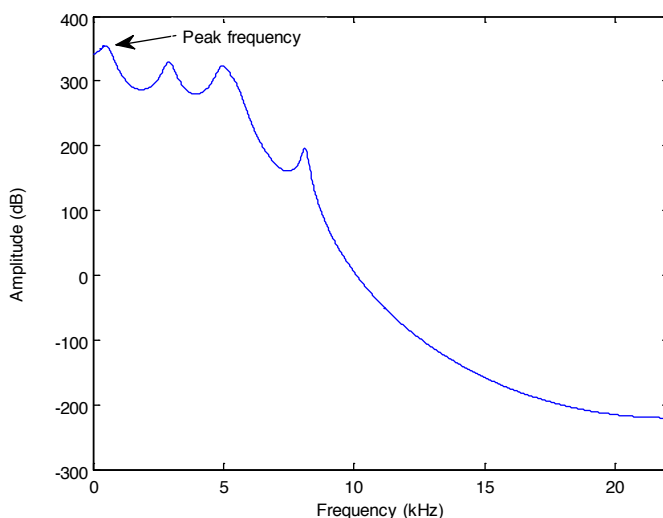


Fig. 5: AR spectrum del suono per l'estrazione automatica della peakfrequency.

I dati climatici e acustici sono stati analizzati utilizzando la correlazione di Pearson (SAS 9.2, 2011). È stato eseguito anche il test dell'ANOVA sulla peakfrequency dei suoni derivanti da HS e NS per esaminare gli effetti dell'esposizione ad alte temperature sulla qualità delle vocalizzazioni e comprendere se vi era differenza significativa tra i due gruppi al fine di identificare un discriminante acustico per una classificazione automatica del suono.

Risultati e discussione

La temperatura rettale misurata a t0 e t3 della prova di stress da caldo (HS), mostra un aumento medio di 0,41°C, da 39,3 a 39,71° C. Questo incremento della temperatura corporea è positivamente associato ($P < 0,05$) ad un aumento della temperatura dell'aria da t0 a t3 ($\mu \Delta t = 5 \pm 3$) nel corso della prova e con la frequenza respiratoria (RR) ($P < 0,05$). La frequenza respiratoria è aumentata da t1 a t3 fino ad un massimo di 120 bpm passando in media da 34 a una media di 116 bpm.

RR misurata al t2 è stata usata per capire se quest'aumento di atti respiratori era costante, stabile o in diminuzione con l'aumentare della temperatura. La frequenza respiratoria (RR) e l'aumento di Δt è positivamente correlato al 91% $P(<0,001)$ nella prova di stress da caldo. RR è inoltre correlata ($P<0,05$) con il peso degli animali mostrando un incremento in battiti per minuto quando gli animali erano cresciuti (52%; $P<0,05$).

Nelle 11 prove di stress da caldo sono stati raccolti 991 suoni e 442 vocalizzazioni provenienti dalle registrazioni effettuate prima del test quando gli animali erano nella normale condizione di allevamento (tab.2). L'analisi del suono ci ha permesso di distinguere due tipi di suoni in base alla loro peakfrequency. Un gruppo di suoni avente picchi di energia inferiore ai 1000 Hz e un gruppo superiore ai 1000 Hz (fig. 6; fig. 7).

Un ampio numero di suoni analizzati ha una frequenza inferiore a 1 kHz sia nel caso di suoni HS che di suoni NS, rispettivamente 89% e 93,5%; e sono stati classificati come "grunts".

La frequenza media è di 445 ± 132 Hz per HS e 407 ± 144 Hz per NS. I suoni che superavano 1 kHz erano meno numerosi rispetto a quelli con basse frequenze 11% e 6,5% e per la loro alta frequenza sono stati definiti "screams". La loro frequenza media era di $3,309 \pm 1,393$ kHz per HS e $2,432 \pm 1,366$ kHz per NS. I "grunts" appartenenti al gruppo HS (prova di stress da caldo) sono positivamente correlati con RT e con l'aumento di temperatura nella test crate ($P<.001$) mostrando un aumento lineare dell' 80% da t0 a t3. Gli "screams" della prova di stress da caldo sono stati registrati soprattutto nei 20 minuti centrali della prova (dal

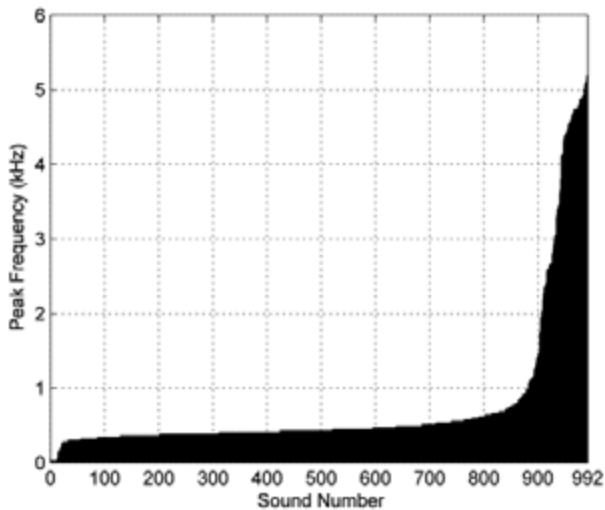


Fig. 6: Peakfrequency per le vocalizzazioni HS

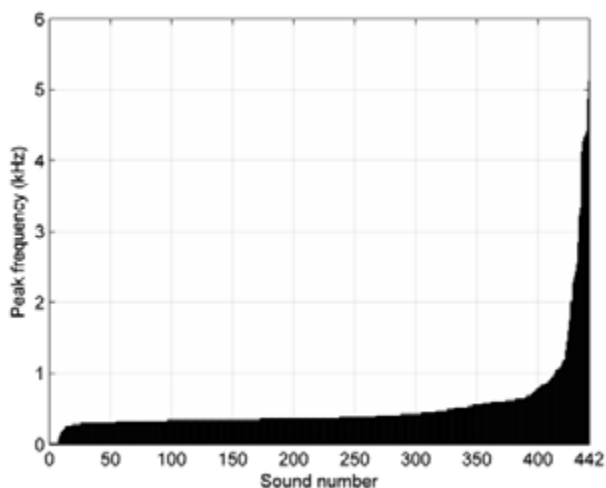


Fig. 7: Peakfrequency per le vocalizzazioni NS

20° al 40° minuto) e sono correlati negativamente ($P < 0,001$; -78%) alla temperatura della sala la quale è tenuta a livelli di comfort termico per l'età e il peso dei suinetti. Pertanto gli "screams" non mostrano rilevanti correlazioni con i parametri climatici coinvolti con lo stress da caldo.

Tab. 2: Numero di suoni di HS e NS classificati in base alla loro frequenza

tipo	n ° suoni	>1000 hz	<1000 hz
HS	991	110	881
NS	442	29	413

Il confronto della peakfrequency tra HS e NS dimostra una significativa differenza tra le due classi di suoni (tab.3).

Tab. 3: Studio dei valori medi di peakfrequency per HS e NS e risultati dell'anova.

tipo	Peakfreq. LSMeans (Hz)	SEM	P
HS	745	28	<.001
NS	563	42	

Discussione

Le prove da stress da calore sono state eseguite per simulare una reale condizione di clima caldo tipica della stagione estiva. In molti studi pubblicati sugli effetti dello stress termico sulle performance del suino, le misurazioni fatte sugli animali venivano precedute da 4-20 giorni di acclimatamento alle alte temperature sperimentali come suggerito da Renaudeau (et al., 2008). Tuttavia, in realtà, le ondate di caldo estivo, specialmente nei climi temperati, espongono i suini ad alte temperature con conseguenze negative sia sulla loro salute che sulle loro performance (Nienaber e Hahn, 2007).

La risposta fisiologica dei suini è stata studiata: la frequenza respiratoria (RR) e la temperatura rettale (RT) hanno mostrato di comportarsi come previsto ovvero aumentando all'aumentare della temperatura (Liao e Veum, 1994; Brown-Brandl 1998). Considerando che i suini non possono sudare, essi affidano il loro raffreddamento attraverso la respirazione, quindi la conta degli atti respiratori fornisce una semplice e osservabile misura dello stato termico dell'animale.

Inoltre, gli atti respiratori possono essere considerati un parametro fisiologico di grande valore associato ad informazioni quali la temperatura dell'ambiente, la temperatura rettale, l'umidità, la velocità dell'aria, l'età e il peso degli animali. Nel corso della prova l'incremento della temperatura rettale si è mostrato direttamente associato con le alte temperature del test crate e con gli atti respiratori, evidenziando così l'efficacia di questo metodo nell'indurre stress da caldo nei suinetti. La temperatura rettale è aumentata durante il periodo del test dimostrando che i meccanismi adottati per la dispersione del calore non sono stati comunque sufficienti a prevenire un aumento della temperatura corporea.

Precedenti studi hanno dimostrato una diminuzione della temperatura corporea durante una prolungata esposizione ad aumento della temperatura. Per ovviare a questo problema gli animali sono stati esposti a ondate di calore di breve durata e, a supporto di ciò, la misurazione degli atti respiratori è stata compiuta in tre differenti momenti per monitorare l'andamento della respirazione per minuto.

La correlazione tra la frequenza respiratoria (RR) e la Δt dell'esperimento ($P < 0,001$) esclude un adattamento termico in tale tipo di prova. Poiché i parametri fisiologici mostrano una condizione stressante nei suinetti, possiamo quindi confermare che le vocalizzazioni registrate nel corso delle prove sono tipiche dello stress da caldo. Le analisi dei picchi di frequenza mostrano una certa percentuale di suoni aventi un'energia superiore ai 1000 Hz, tuttavia questi suoni non sembrano essere un campione rappresentativo della condizione di stress da caldo.

Dall'altra parte, la correlazione positiva tra il numero delle vocalizzazioni e la temperatura rettale (RT), mostra che gli animali in una situa-

zione di stress emettono una grande quantità di suoni specifici (991 HS vs 442 NS) e il confronto della peakfrequency tra i suoni HS e i suoni NS (che sono stati registrati a temperature neutrali) spiega le differenze acustiche tra stress e non stress.

La netta differenza acustica rilevata tra le due classi di suoni dimostra la validità del sistema di riconoscimento sonoro e pone le basi per la scrittura di algoritmi che automaticamente continuo e classifichino i suoni da stress da calore.

Conclusioni

Avvalendoci del supporto dell'analisi del suono, si è potuto indagare e approfondire l'effetto delle alte temperature come fonte di stress su un gruppo di suinetti.

Ricreando una situazione ambientale che replicasse quelle che sono le elevate temperature estive si è cercato di identificare e registrare la presenza di vocalizzazioni rappresentative di una situazione di disagio termico, associate alla misurazione di parametri fisiologici.

Proprio dalla misurazione di tali parametri, quale frequenza respiratoria e temperatura rettale, si è notato un rilevante aumento sull'incremento della temperatura del test crate permettendo di definire questo metodo adeguato, al fine di indurre stress da caldo.

Analizzando le registrazioni raccolte in campo è emerso che i suinetti hanno emesso una grande quantità di vocalizzazioni (991) in condizioni di stress da caldo che risultano essere più del doppio delle vocalizzazioni rilevate in condizioni di temperatura neutra (442); la correlazione positiva tra il numero delle vocalizzazioni e la temperatura rettale (rt), mostra che gli animali in una situazione di stress emettono una grande quantità di suoni specifici (991 vs 442).

Di queste 991 vocalizzazioni 110 avevano una frequenza superiore ai 1000 hz e le restanti 891, una frequenza inferiore ai 1000 hz. Dall'analisi statistica emerge che i suoni con frequenze superiori ai 1000 hz non rappresentano un campione significativo per la condizione di stress da caldo, di contro, i suoni con frequenze inferiori sono positivamente correlati con la temperatura rettale e con l'aumento di temperatura del test e possono essere dunque catalogati come indicatori di stress da caldo.

L'applicazione di tale metodica, nell'ambito della zootecnia di precisione, sarebbe uno strumento prezioso nelle mani dell'allevatore che potrebbe avere una panoramica più dettagliata delle condizioni dei suoi animali attraverso questo tipo di monitoraggio in real-time.

Studi precedenti hanno già dimostrato l'efficacia di una registrazione in continuo per quanto riguarda la presenza e l'identificazione delle tossi in porcilaia (ferrari et al.; 2006). La bioacustica deve inoltre essere

valutata come strumento economicamente vantaggioso a supporto delle decisioni della gestione dell'allevamento, stando quindi a dimostrare l'utilità e la poliedricità di una tecnica innovativa e assolutamente non invasiva di indagine sul benessere degli animali allevati.

L'analisi del suono applicata all'allevamento suino intensivo può migliorarne la gestione, utilizzando questo specifico tipo di vocalizzazione, come avvertimento per l'allevatore.

Ricerca finanzia dal MIUR nell'ambito del PRIN 2008 - Integrazione di sistemi tecnologici innovativi per il monitoraggio a distanza di animali.

Bibliografia

- Brown-Brandl, T.M., Nienaber, J.A., eigenberg, R.A., Kachman, S.D. (2001) Thermoregulatory profile of a newer genetic line of pig. *Livestock Production Science*. 71 253-260.
- Brown-Brandl, T.M., Nienaber, J.A., Turner, L.W. (1998) Acute heat stress effects on heat production and respiration rate in swine. *Trans. ASAE* 41(3) 789-793.
- Fitch W.T. E Reby D. (2001). The Descended Larynx Is Not Uniquely Human. *Biological Sciences*, Vol. 268, No. 1477. (Aug. 22, 2001), Pp. 1669-1675. (Doi: 10.1098/Rspb.2001.1704).
- Reby D. E Mc Comb K. (2003). Anatomical Constraints Generate Honesty: Acoustic Cues To Age And Weight In The Roars Of Red Deer Stags. *Animal Behaviour* 65, 519-530. (Doi: 10.1006/Anbe.2003.2078).
- Reby D., Mc Comb K., Cargnelutti B., Darwin C., Fitch W. T. E Clutton-Brock T.H. (2005). Red Deer Stags Use Formants As Assessment Cues During Intrasexual Agonistic Interactions. *ProceedingsRoyalSociety London. Biological Series* 272, 941-947. (Doi: 10.1098/Rspb.2004.2954).

BIOACUSTICA APPLICATA ALLE PRODUZIONI ANIMALI COME STRUMENTO DI MONITORAGGIO DEL BENESSERE, SALUTE E IDENTIFICAZIONE ANIMALE

TASK 3: RICONOSCIMENTO VOCALE INDIVIDUALE DI UNGULATI SELVATICI, IN PARTICOLARE DI CERVI MASCHI IN SITUAZIONI DI CORTEGGIAMENTO TRAMITE L'ANALISI ACUSTICA DEI BRAMITI.

S. Ferrari¹, M. Guarino¹, C. Trunfio², M. P. Ponzetta²

¹Dipartimento di Scienze Veterinarie per la Salute, la Produzione Animale e la Sicurezza Alimentare (VESPA), Università degli Studi di Milano.

²Dipartimento di Biotecnologie Agrarie, Università degli Studi di Firenze.

Riassunto. Il censimento della fauna selvatica del cervo rosso (*Cervus elaphus*) necessita accorgimenti tecnici per migliorare l'affidabilità del metodo e semplificarne l'esecuzione. Uno degli strumenti che si sta cercando di adottare è l'impiego dell'analisi del suono. In questa ricerca sono, infatti, presentati i risultati preliminari dell'impiego della bioacustica applicata alle vocalizzazioni emesse dai cervi maschi durante la stagione riproduttiva. L'analisi ha dimostrato come il numero e il tipo di bramito cambi in base all'età del soggetto, delle caratteristiche individuali morfologiche e in base all'habitat confermando come il suono possa codificare e trasmettere una varietà d'informazioni di rilevanza biologica come ad esempio lo sviluppo corporeo, le condizioni fisiche e il successo riproduttivo attraverso le caratteristiche spettrali marker di individualità come ad esempio la frequenza.

Parole chiave: bioacustica, censimento, cervi, individualità.

Summary. Different strategies should be adopted to adjust red deer (*Cervus elaphus*) population density according to different habitats and ecosystems. The first action to take, is the population census which involves manpower, financial resources and cooperation of forestal and urban entities. Few attempts have been made in the past, to evaluate the reliability of audio techniques for population census. In this research are presented the results of a bioacoustics analysis applied to directly male deer vocalizations sounds. The analysis showed us the sound variation in terms of quality and quantity of sounds according to age of subject, individual characteristics and habitat. Acoustic signals were already studied on how they can encode and transmit a variety of biologically significant information such as age, size, physical condition, competitive ability and mating success and here it is indirectly confirmed how individual morphology of deer vocal apparatus influences spectral features of acoustic signals that are pre-requisite for individual recognition.

Keywords: bioacoustics, census, deer, individuality.

Introduzione

La terza area di ricerca sviluppata dall'unità di Milano è stata la ricerca dei fattori acustici chiave per studiare l'individualità delle vocalizzazioni di cervi maschi. Lo scopo di tale ricerca è fornire uno strumento di conteggio oggettivo a supporto del censimento della popolazione dei selvatici in questione.

Per quanto riguarda l'applicazione di sistemi di registrazione ambientale per l'identificazione individuale di cervi maschi adulti nel periodo del bramito (in collaborazione con l'U.O. di Firenze 2) il piano di ricerca è stato evidenziare l'esistenza di possibili differenze tra i bramiti dei cervi maschi utilizzando le registrazioni eseguite nel territorio Alpino e nell'Appennino settentrionale durante la stagione riproduttiva del cervo, con lo scopo di creare le basi per la realizzazione di un sistema di censimento supportato da un campionamento automatizzato o semi-automatizzato dei bramiti e dalla loro successiva analisi scientifica mediante programmi informatici in grado di dare risultati univoci e obiettivi per ogni individuo.

Materiali e metodi

La registrazione dei bramiti dei cervi si è svolta dalla fine di Agosto 2010 fino a fine Ottobre 2010. Si è potuto campionare i suoni solo durante l'intervallo che coincideva con il periodo degli accoppiamenti in cui i maschi adulti emettono queste vocalizzazioni tipiche.

Le aree interessate dalla presente ricerca hanno considerato riserve naturali e allevamenti dislocati sulle Alpi e sugli Appennini settentrionali. In particolare, i campionamenti si sono svolti sulle Alpi nella provincia di Sondrio e Como per quanto riguarda la Lombardia, nel territorio collinare a sud della provincia di Torino per quanto riguarda il Piemonte, nelle provincie di Prato e Firenze per quanto riguarda l'Appennino settentrionale toscano e nella provincia di Bologna sull'Appennino settentrionale emiliano.

Per la registrazione dei bramiti è stato usato un microfono direzionale "shotgun" Sennheiser ME 67 (Fig. 1) che è stato ricoperto con uno strato di gommapiuma dello spessore di 1 cm per ridurre il più possibile le interferenze e rendere il suono più nitido e meno disturbato. Questo sensore è stato poi collegato ad un registratore portatile Marantz PMD 620 che permette di registrare sia in formato MP3 sia in WAV con la possibilità di scegliere una risoluzione di 16 o 24 bit. Il formato MP3 consente registrazioni a 192 kbps, 128 kbps o 64 kbps, mentre il formato WAV ne offre a 44.1 kHz o a 48 kHz. Per la ricerca i dati sono stati raccolti in formato WAV, non compresso, su un supporto di memoria "SD flash media" registrando file a 24 bit e 44.1 kHz.

Il campionamento dei suoni è avvenuto ad una distanza di almeno 50 m dagli animali, direzionando lo shotgun verso i bramiti (Fig.1).



Fig. 1: Campionamento presso Riserva Naturale lago di Piano.

I suoni sono stati raccolti in condizioni ambientali e climatiche differenti e tutti i dati relativi sono stati annotati considerando diversi parametri: condizioni metereologiche (con relative scale d'intensità) tra cui la nuvolosità, la visibilità, la presenza di eventuali fattori di disturbo (precipitazioni e vento), le caratteristiche orografiche del terreno, la distanza dell'animale dal punto di ascolto, la presenza di altri animali, il luogo, la data e la durata delle registrazioni più eventuali note riguardo alle condizioni di registrazione e al soggetto (Fig. 2).

Per la nostra ricerca sono stati registrati i bramiti di 14 animali provenienti dalle Alpi e dagli Appennini settentrionali, sia selvatici che allevati all'interno di recinzioni (tab. 1)

I suoni sono stati classificati manualmente tramite il programma Adobe® Audition® 3 che permette il playback e la visione dei suoni sia nel dominio di tempo sia in quello di frequenza.

Sono stati scartati, per le analisi successive, i bramiti risultati incompleti (a causa delle registrazioni), quelli troppo disturbati e quelli che non erano dei soggetti analizzati. Tutti i suoni ottenuti sono stati quindi analizzati con altri due programmi: Praat (5.2.22) (Fig.3) e Matlab® 2009b (fig. 4).

REGISTRAZIONE BRAMETO 2010

SERVIZIO

DATA _____ CONGREGAZIONE METEOROLOGICA _____

ORA (MINI) _____ 11:30

(registrazione)

FILE _____ 6001 NO: 6002 NO: 6003 NO _____

CREATORE _____ Stefano B. _____

AZIENDA Società, Paschiera (SO) _____

ABBIATO _____

LUOGO (SP3) _____

ESTERANZA (y/meschi) _____ NO _____

CUBAIA _____

ACCESSIONE _____ 0 1 2 3

SESTO _____ 0 1 2

REGISTRAZIONE _____ 0 1 2 3 4 5 6

RAVVISAZIONE _____ 0 1 2 3 4

STABILITA' _____ 0 1 2

SESTO _____ 0 1 2 3 4 5

T°C _____

GRADITA' _____

INDICAZIONE PRESENTE NEL RANGIO DE SO:

TOT	END	K	QS	QA	QV	SDND	OT	OS	CA	OV	SDND
7		2		4					1		

NOTE

Il record N° 1 è un maschio di circa 7 anni.

Si trova in un recinto di 60 x 60 m circa.

Il suino è terrazzato esposto a Sud-Sud-Est e ci sono 7 alberi di latifoglie. Il punto di registrazione si trova a livello del primo terrazzamento superiore del recinto.

Nel record tot su sono presenti 4 femmine adulte, 1 femmina giovane dell'anno e 1 maschio giovane dell'anno.

ORA _____

TOT	END	K	QS	QA	QV	SDND	OT	OS	CA	OV	SDND

ORA _____

TOT	END	K	QS	QA	QV	SDND	OT	OS	CA	OV	SDND

Fig. 2: Esempio di scheda di catalogazione dei dati di registrazione.

Tab. 1: Riassunto degli animali registrati e loro habitat.

Soggetto	N° suoni	Habitat	Presenza altri individui	Presenza maschi	Presenza femmine
1	31	recinto	si	no	si
2	30	bosco	si	si	si
3	5	bosco	si	si	no
4	20	bosco	si	si	no
5	49	recinto	si	no	si
6	49	recinto	si	no	si
7	33	bosco	si	si	no
8	29	bosco	si	si	no
9	21	recinto	no	no	no
10	46	bosco	si	no	si
11	33	recinto	si	si	no
12	28	recinto	si	si	si
13	11	recinto	si	si	si
14	17	recinto	si	si	si

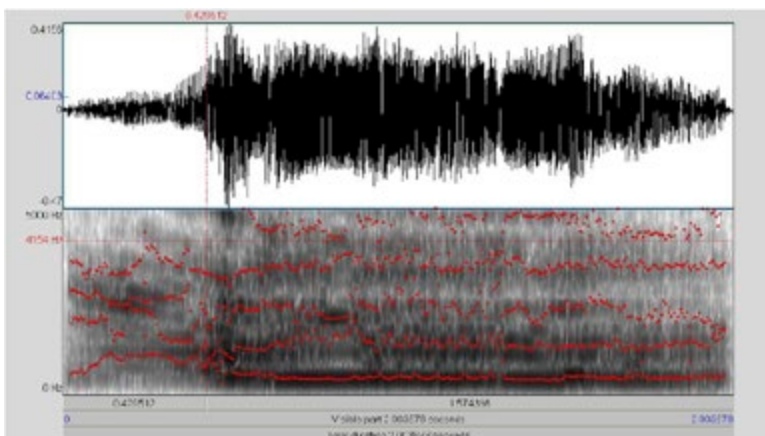


Fig. 3: Labeling e controllo visivo degli spettri sonori di un bramito in Praat5.2.22.

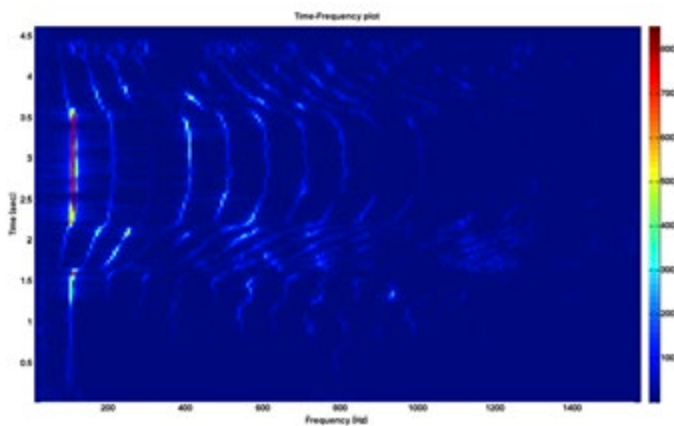


Fig. 4: Waterfall plot di un bramito per lo studio della frequenza fondamentale.

In seguito è stato calcolato l'AveragePowerSpectrum (Hanningwindow, frequencyresolution of 173.9Hz, FFT size 253) per ogni soggetto, ossia la potenza media del bramito (Fig. 6, fig.7).

La trasformazione ha generato 24 variabili (F1 e F2 fino a F24 da 500 a 4.000 Hz: limite per i suoni definibili “vocali”) che rappresentano la distribuzione del suono per tutta la durata del segnale (ossia i formanti del suono). L'analisi acustica condotta in secondo luogo, sui suoni classificati per singolo animale, ha previsto l'indagine di ampiezza (RMS), della durata sonora (s) e della frequenza (Hz).

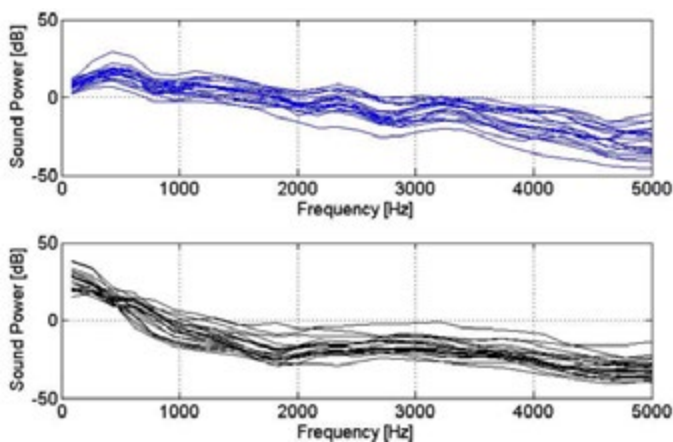


Fig. 6: Esempio di AveragePowerSpectrum di due bramiti appartenenti a due diversi soggetti.

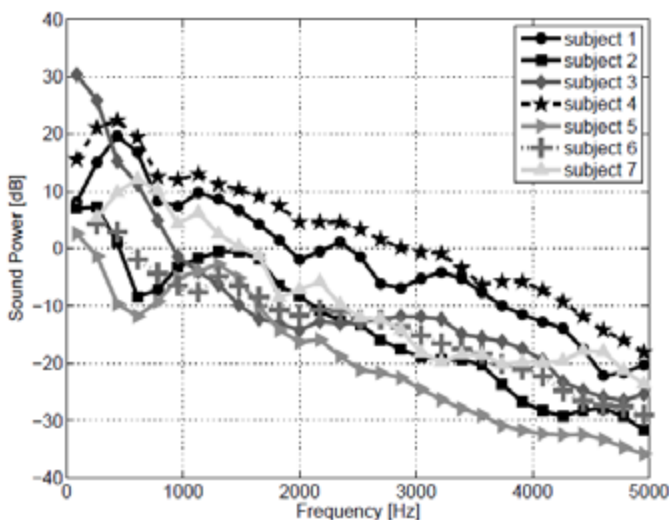


Fig. 7: Rappresentazione della media dell'APS di 7 cervi bramitanti.

E' stata eseguita un'analisi della Varianza (sas Proc GLM) su tutti i soggetti per verificare le differenze tra le caratteristiche audio (APS, lunghezza del suono, frequenza e variazione tra le 24 variabili). La medesima analisi è stata poi condotta anche sulle vocalizzazioni di soggetti di età nota, utile a capire come il suono potesse essere influenzato dall'età e quindi dalla mole dell'animale o dal suo stato gerarchico. Infine, con lo

stesso tipo di analisi è stato verificato se ci fosse correlazione tra gli individui oggetto di studio e l'habitat in cui sono stati campionati i suoni e la presenza o meno di altri individui, sia maschi sia femmine, adulti.

Risultati e discussione

I risultati, riguardo al labelling e all'analisi sonora, sono riassunti nella tabella 2. Sono state registrate le vocalizzazioni provenienti da 14 soggetti per un totale di 490 suoni di cui 400 sono stati ritenuti idonei per l'analisi sonora successiva.

Tab. 2: Risultati del labelling e dell'analisi sonora ("nr": Non rilevata).

Soggetto	Età	N° suoni	μ Freq. (Hz)	μ Durata (s)	μ Ampiezza (RMS)
1	7	33	273	2.06	0.23
2	4	28	905	1.97	21
3	nr	20	251	1.52	0.22
4	nr	5	202	1.4	0.2
5	8	30	283	2.6	0.25
6	5	29	305	1.75	0.23
7	nr	49	592	1.35	0.23
8	nr	31	582	1.5	0.21
9	nr	21	1036	2.8	0.18
10	6	11	304	2.4	0.17
11	nr	46	870	1.27	0.19
12	nr	33	258	1.36	0.23
13	nr	49	216	1.4	0.27
14	nr	17	1166	1.34	0.21

Tutti i parametri acustici studiati hanno dimostrato significative differenze statistiche riportabili all'individualità di ogni singolo soggetto. I risultati dell'ANOVA, eseguita sui formanti F, hanno mostrato che i formanti F1 e dall' F7 all' F24 variavano in modo significativo ($P < 0.001$) tra gli animali analizzati; mentre per quanto riguarda i bramiti di uno stesso cervo, i formanti erano tutti omogenei ($P < 0.001$). I dati riportati nella seguente tabella (Tab. 3) sono risultati dalla PROC MEANS del pacchetto statistico SAS 9.2 e riguardano tutto il database senza distinzione dei singoli soggetti.

Tab. 3: Analisi dell'individualità in rapporto a tutte le variabili considerate.

Variabile	Media	Devstd	Min.	Max.	P
Soggetto	7.256219	3.645313	1.0000000	14.0000000	<0.001
Durata	1.693804	0.74779	0.2641043	5.5056916	<0.001
RMS	0.226015	0.052809	0.0596344	0.4885424	<0.001
FO	517.5962	456.3783	3.0000000	2321.00	<0.001
PF	413.8786	448.4695	21.3662791	1965.70	<0.001

Tab. 4: Analisi statistica rispetto alla sola variabile "Soggetto".

Variabile	Durata	RMS	F0	PF
Soggetto	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

L'analisi della varianza PROC GLM del pacchetto statistico SAS ha dimostrato (Tab. 4):

L'analisi statistica ha dunque dimostrato, per tutti i parametri analizzati, la differenza significativa ($P < 0.001$) che si riscontra nei bramiti di soggetti diversi. Questo dovuto, appunto, all'individualità delle vocalizzazioni. Quest'univocità può essere dovuta, come già dimostrato da altri autori (Charlton et al. 2007; Charlton et al. 2008; , Reby et al. 2005; Reby e Mc Comb 2003) alle diverse dimensioni corporee dei soggetti, che sono in grado di influenzare i diversi parametri che caratterizzano gli spettri sonori di ogni individuo. Questa diretta correlazione con le dimensioni corporee può essere meglio spiegata dalla ricerca condotta da Fitch e Reby nel 2001 che ha provato che anche i cervi rossi (*Cervus elaphus*) posseggono la cosiddetta "discendedlarynx"; una laringe, simile a quella umana, con particolari caratteristiche anatomiche che gli permettono di modulare il suono e in particolare di ridurre la frequenza del tratto vocale. La modulazione è resa possibile abbassando la laringe verso lo sterno, per cui gli animali con un torace più ampio avranno la possibilità di spingere la laringe più in profondità modificando così la frequenza del bramito.

Tutto questo può essere verificato anche in senso pratico riferendoci a uno studio condotto da Reby et al. nel 2001 che ha documentato che le femmine adulte, durante la stagione riproduttiva, indirizzano le loro scelte, ai fini dell'accoppiamento, verso i maschi che a loro sono più "familiari" dimostrando così che sono in grado di discriminare le caratteristiche individuali dei singoli bramiti di ogni soggetto. Inoltre le femmine indirizzano queste scelte verso i maschi di dimensioni corporee maggiori ai fini di ottenere il miglior successo riproduttivo.

I risultati della GLM, volta a studiare le relazioni tra età degli animali e cambiamenti nelle caratteristiche sonore, hanno evidenziato che la lunghezza dei suoni non ha mostrato una differenza significativa tra tutte le classi di età tuttavia è risultata significativa la differenza tra la lunghezza di bramiti tra animali giovani (4anni) e animali più adulti (8anni) essendo in media 1.95s nei giovani e in media 2.6s negli animali più anziani. L'RMS, stima dell'ampiezza sonora, è invece variato significativamente nelle varie classi di età per $P < 0.001$ dimostrando in generale minore potenza in soggetti giovani e verosimilmente maggiore potenza in soggetti più adulti. Un outlier è risultato il soggetto di 6 anni che ha dimostrato valori nettamente inferiori rispetto anche a quelli dei soggetti più giovani.

L'analisi della frequenza ha dimostrato sia per la PF sia per la Fund. Freq. lo stesso trend: entrambe hanno valori molto alti nel soggetto più giovane raggiungendo valori rispettivamente di 882 Hz e di 905 Hz contro una media di rispettivamente 290Hz e 320 Hz. Questo è spiegabile con il fatto che un soggetto di 4 anni non ha ancora raggiunto la maturità sessuale e pertanto le sue vocalizzazioni hanno uno scopo non veramente indispensabile al suo successo riproduttivo.

È stata condotta una successiva analisi per verificare come il suono emesso dai cervi bramitanti fosse associato al tipo di luogo in cui essi vivevano. I risultati sono riportati nella seguente tabella (Tab. 5):

Tab. 5: Analisi statistica delle variabili in relazione al tipo di habitat in cui si trovavano i soggetti. "ns": non significativo.

HABITAT	LENGHT (s)	RMS	PF (Hz)	F0 (Hz)
Bosco	1.80643669	0.20534861	780.848082	889.553459
Recinto	1.91399978	0.23393031	152.631481	276.744595
p	ns	<.0001	<.0001	<.0001

Dalla tabella è chiaro come la lunghezza del suono non sia influenzata dal tipo di habitat mentre lo sono ampiezza e frequenza sonora che si sono dimostrati rispettivamente più corti e notevolmente più lunghi negli animali non allevati in recinti. Questo può essere dovuto alle caratteristiche orografiche del territorio: i recinti di allevamento si trovano in zone che generalmente hanno pochi ostacoli (vegetazione, avvallamenti, promontori) per cui ai cervi è meno faticosa una comunicazione anche a distanze maggiori poiché il suono può viaggiare in maniera più lineare; allo stato selvatico, al contrario, le caratteristiche del territorio influenzano molto la propagazione del suono data la maggior presenza di fonti

di disturbo che possono deviare o smorzare le vocalizzazioni rendendo inefficiente la comunicazione, per cui gli animali devono modulare il suono in modo tale che l'influenza negativa ambientale sulla propagazione risulti il meno inficiante possibile.

Una successiva analisi è stata fatta per verificare se il bramito fosse associato alla presenza di altri individui adulti sia maschi sia femmine.

Riguardo alla presenza di altri soggetti maschi nelle prossimità dei soggetti bramitanti registrati, la seguente tabella (Tab. 6) mostra come solo la lunghezza delle vocalizzazioni è significativamente variata, diminuendo allorché il soggetto maschio si trovava in presenza di altri maschi.

Tab. 6: Analisi statistica delle variabili in relazione alla presenza/assenza di altri maschi adulti.

DENSITÀ	LENGHT	RMS	PF	F0
Assenza Maschi	2.27701009	0.21773298	454.865096	584.932587
Presenza Maschi	1.44342637	0.22154595	478.614467	581.365467
P	<.0001	NS	NS	NS

Reby et al. (2005) ha condotto una ricerca che ha dato risultati in parte simili a quelli ottenuti con il nostro studio dimostrando che i maschi maturi, in presenza di rivali, aumentano il numero di bramiti prodotti; al contrario del nostro studio, però, la lunghezza delle singole vocalizzazioni non varierebbe significativamente. In presenza di femmine (Tab. 7), invece, il suono ha presentato ampiezza e frequenze maggiori mentre la lunghezza non è stata sostanzialmente modificata pertanto la differenza non è risultata statisticamente significativa.

Tab. 7: Analisi statistica delle variabili in relazione alla presenza/assenza di femmine adulte.

DENSITÀ	LENGHT	RMS	PF	F0
Assenza Femmine	1.90739123	0.21146882	354.541398	519.273151
Presenza Femmine	1.81304523	0.22781011	578.938165	647.024903
P	0.2485	<0.05	<.0001	<0.001

Conclusioni

Il presente lavoro aveva lo scopo di individuare eventuali differenze tra i bramiti di maschi adulti al fine di porre le basi per un metodo di

censimento e analisi dei dati che dia risultati obiettivi per ogni individuo. Lo studio è stato condotto basandosi su campionamenti fatti mediante un registratore portatile e un microfono direzionale durante il picco della stagione riproduttiva 2010 (Agosto/Ottobre).

L'indagine è stata incentrata sull'analisi degli spettri sonori e quindi dei formanti dei bramiti di diversi soggetti per provare l'esistenza di un'individualità dei suoni. Inoltre, le vocalizzazioni sono state messe in relazione con le caratteristiche dell'habitat in cui i soggetti sono stati campionati, alla classe d'età e quindi allo stato gerarchico e alla maturità sessuale e alla presenza o meno di altri individui adulti sia maschi sia femmine. Le analisi hanno dimostrato che i formanti dei bramiti di un soggetto sono simili da un suono all'altro dello stesso individuo non mostrando una variabilità significativa, mentre per quanto riguarda i formanti dei bramiti di soggetti diversi è stata documentata una variabilità significativa ($P < 0.001$) il che proverebbe la reale individualità delle vocalizzazioni nella specie studiata (*Cervuselaphus*). I confronti fatti tra classi d'età hanno mostrato una variabilità significativa ($P < 0.001$) per quanto riguarda la lunghezza dei bramiti e l'ampiezza sonora (RMS) dimostrando che i soggetti giovani (4 anni) emettevano bramiti caratterizzati da una durata e un'ampiezza sonora inferiori rispetto ai soggetti adulti (8 anni), questo dovuto probabilmente al fatto che i capi giovani non avevano ancora raggiunto la piena maturità sessuale.

Anche l'habitat ha influenzato i bramiti dei soggetti analizzati, i capi che si trovavano allo stato selvatico emettevano suoni caratterizzati da ampiezza ridotta, ma da elevate frequenza; questa variabilità, risultata dunque significativa, tra gli individui nei recinti e quelle selvatici e sembra essere dovuta alle caratteristiche orografiche dei territori che sono in grado di penalizzare maggiormente i suoni prodotti dai cervi selvatici rispetto a quelli allevati ha causa delle distorsioni e delle deviazioni che un suono può subire in presenza di determinati ostacoli.

Dal nostro studio è inoltre emerso che anche la presenza di altri individui influenza le caratteristiche delle vocalizzazioni che diminuiscono di lunghezza, aumentando però di numero, quando sono presenti altri maschi adulti e aumentano di ampiezza e frequenza alla presenza di femmine adulte probabilmente per attirare maggiormente l'attenzione di queste ultime per consolidare il controllo sull'harem oppure per costituirne uno.

Il nostro lavoro ha quindi comprovato l'esistenza di un'individualità dei bramiti che, dunque, variano da un soggetto all'altro. Il censimento al bramito ha, come già detto, diversi limiti: deve essere preceduto da un censimento primaverile a vista condotto da personale esperto; richiede l'impiego di molti addetti soprattutto in aree con elevate superfici (esempio parchi naturalistici); spesso il personale fornisce informazioni soggettive; le caratteristiche del territorio in cui viene eseguito il censimento (elevata copertura vegetazionale, presenza di promontori, ecc);

per tutti questi motivi possiamo, quindi, avere frequenti problemi di sottostima o sovrastima.

Lo studio condotto potrebbe essere utilizzato come base per risolvere tutti questi problemi. Data l'individualità del suono, possono essere messi appunto programmi che, grazie all'utilizzo di determinati algoritmi che tengono in considerazione sia le caratteristiche del territorio sia eventuali fonti di disturbo, siano in grado di fornire in tempi molto ridotti risultati univoci e inequivocabili che diano una stima verosimile della popolazione. Si potrebbero utilizzare, per il campionamento ambientale, microfoni fissi posti in punti specifici del territorio frequentato dai cervi durante il picco del periodo riproduttivo anche in luoghi che per le loro caratteristiche influenzano negativamente la stima o sono difficili da raggiungere; questi microfoni potrebbero essere collegati a sistemi portatili di memorizzazione dati (es: hard disc, schede e micro schede SD) o addirittura a dispositivi in grado di inviare direttamente i campioni a un sistema informatico centralizzato in grado di elaborare in pochissimo tempo una grande quantità dati e comunicare velocemente informazioni più dettagliate e precise di quelle fornite dai censori riguardo l'età, la presenza di altri individui e sullo stato della popolazione in modo da programmare gli interventi di gestione faunistica necessari.

Secondo uno studio condotto da Naguib e Wiley nel 2001 sarebbe possibile stimare la distanza da cui proviene un suono definendo, considerando anche le caratteristiche ambientali, il "degrado" che questo subisce a causa della distanza stessa da cui proviene. Per cui, riferendoci a questa ricerca, sarebbe possibile definire anche la distanza da cui provengono i bramiti stabilendo così la posizione con l'aiuto di un sistema di posizionamento terrestre avendo, inoltre, informazione sull' utilizzo di un territorio da parte dei cervi. Questo progetto non mira, però, a sostituire il lavoro dei censori bensì deve essere considerato un sistema di supporto. Per fornire una stima ancor più verosimile potrebbero utilizzare anche microfoni collegati a registratori portatili o meglio ancora a piccoli sistemi di rilevamento ed elaborazione diretta dei dati quali netbook, i-pad e i-phone che, caricando il programma, darebbero immediatamente e sul campo i dati al censitore.

Ricerca finanzia dal MIUR nell'ambito del PRIN 2008 - Integrazione di sistemi tecnologici innovativi per il monitoraggio a distanza di animali.

Bibliografia

Charlton B.D., Reby D E Mc Comb K. (2007). Female Red Deer Prefer The Roars Of Lager Males. *Biol. Lett.* 2007 3, 382-385 (Doi: 10.1098/Rsbl.2007.0244).

- Charlton B.D., Reby D E Mc Comb K. (2008). Free-Ranging Red Deer Hinds Show Greater Attentiveness To Roars With Formant Frequencies Typical Of Young Males. *Ethology* 114 (2008) 1023–1031 A 2008 The Authors Journal Compilation A 2008 Blackwell Verlag, Berlin. (Doi: 10.1111/J.1439-0310.2008.01539.X).
- Fitch W.T. E Reby D. (2001). The Descended Larynx Is Not Uniquely Human. *Biological Sciences*, Vol. 268, No. 1477. (Aug. 22, 2001), Pp. 1669–1675. (Doi: 10.1098/R.spb.2001.1704)
- Reby D. E Mc Comb K. (2003). Anatomical Constraints Generate Honesty: Acoustic Cues To Age And Weight In The Roars Of Red Deer Stags. *Animal Behaviour* 65, 519–530. (Doi: 10.1006/Anbe.2003.2078).
- Reby D., Mc Comb K., Cargnelutti B., Darwin C., Fitch W. T. E Clutton-Brock T.H. (2005). Red Deer Stags Use Formants As Assessment Cues During Intrasexual Agonistic Interactions. *ProceedingsRoyalSociety London. Biological Series* 272, 941–947. (Doi: 10.1098/R.spb.2004.2954).

INDICI DI STRESS TERMICO E COMPORTAMENTALI PER BOVINE DA LATTE IN UNA STALLA A STABULAZIONE LIBERA DOTATA DI DUE DIFFERENTI IMPIANTI DI RAFFRESCAMENTO

S. M. C. Porto, A. D'Emilio, U. Anguzza, G. Agosta, G. Cascone

*Dipartimento di Gestione dei Sistemi Agroalimentari e Ambientali (DiGeSA)
Sezione Costruzioni e Territorio, Università degli Studi di Catania.*

Riassunto. La ricerca riportata nel presente studio ha riguardato l'analisi del comportamento di un gruppo di bovine da latte allevate in una stalla a stabulazione libera in relazione alle condizioni microclimatiche interne e al funzionamento di due differenti impianti di raffrescamento: un impianto di raffrescamento evaporativo dell'aria, costituito da erogatori d'acqua nebulizzata e ventilatori, localizzato nella zona di riposo a cuccette e un impianto di bagnatura diretta del corpo delle bovine associato a ventilazione forzata installato nella corsia di alimentazione.

Il comportamento delle bovine è stato analizzato mediante l'osservazione di videoriprese provenienti da un sistema costituito da 10 telecamere installate in modo da ottenere la vista planimetrica dell'area di riposo a cuccette, della corsia di alimentazione, della rastrelliera e della mangiatoia.

Si è scelto di analizzare i comportamenti di *feeding*, *standing* e *lying* poiché essi rappresentano quelli più studiati in letteratura e forniscono informazioni aggiuntive sullo stato di comfort e di benessere degli animali. L'analisi visiva delle videoriprese ha permesso di calcolare alcuni indici comportamentali per ciascuna delle attività considerate e di metterli in relazione con gli indici di stress termico THI (*Temperature Humidity Index*) e BGHI (*Black Globe Humidity Index*), frequentemente impiegati in letteratura per la valutazione del livello di stress da caldo delle bovine da latte.

I risultati inducono a ritenere che la gestione dei due sistemi di raffrescamento può influenzare il tempo complessivo dedicato dalle bovine al riposo nelle ore diurne, con conseguenti condizioni di disagio per le bovine e possibili conseguenze negative sulla loro produzione di latte e sul loro stato di salute.

Parole chiave: stress da caldo, benessere animale, controllo microclimatico

Summary. The aim of this research was to analyze the behaviour of a group of dairy cows bred in a free stall barn in relation to both the inside microclimatic conditions and the effects of two different cooling systems: a system for air cooling made by sprinklers and box fans placed above the cubicle area and a sprinkler and radial fan system for animal wetting installed along the feeding alley.

The behaviour of the cows was analyzed by observing video recordings obtained with a 10-camera system installed in order to get the plan view of the cubicles, the feeding alley, the rack and the manger.

Specifically, feeding, standing and lying were analyzed because they are the most studied activities in the literature and provide additional information on the comfort level of the animals. The analysis of the video recordings allowed the computation of some behavioural indices associated to each of the considered activities and to relate them to the thermal stress indices THI (*Temperature Humidity Index*) and BGHI (*Black Globe Humidity Index*), that are widely used to evaluate the heat stress level of dairy cows.

The results suggest that the management of the two cooling systems can affect the overall time spent by cows to rest during daytime. Therefore, this management of the considered cooling systems could cause discomfort for cows with possible negative effects on their milk production and health.

Keywords: heat stress, animal welfare, microclimatic control

Introduzione

Il comportamento e le condizioni di salute di un animale sono indicatori del suo livello di benessere. L'Organizzazione Mondiale per la Salute degli Animali definisce come *benessere animale* lo stato dell'animale sano, a proprio agio, ben nutrito, in grado di esprimere liberamente i suoi comportamenti spontanei e libero da sofferenze provocate da paura, da dolore o da stress (World Organization for Animal Health, 2008).

Negli allevamenti per bovine da latte, l'organizzazione funzionale, la gestione delle stalle e le condizioni di comfort termico degli animali hanno influenza determinante sul loro comportamento, sulla loro salute e sulle loro prestazioni produttive e riproduttive e, quindi, sul profitto aziendale (Armstrong 1994; Kadzere *et al.*, 2002; Bouraoui *et al.*, 2002; West, 2003).

L'analisi di comportamenti quali il *lying*, lo *standing*, il *feeding*, il *drinking*, il *walking* e il *perching* possono fornire informazioni aggiuntive sullo stato di benessere degli animali in allevamento. Ad esempio, il tempo totale trascorso dalla mandria in *lying* e la relativa frequenza, cioè il numero di intervalli tra lo stazionamento e il decubito, sono stati utilizzati come misura del livello di comfort offerto dalla stalla (Haley *et al.*, 2000) e sono indicatori delle condizioni di benessere degli animali (Fregonesi e Leaver, 2001).

Il presente lavoro propone i risultati di uno studio che ha avuto come obiettivo la valutazione dell'influenza delle condizioni microclimatiche estive dell'ambiente di stabulazione sul comportamento di bovine da latte allevate in una stalla a stabulazione libera dotata di impianti di raffrescamento per la riduzione dello stress da caldo degli animali.

L'analisi del comportamento è stata effettuata mediante il calcolo di indici comportamentali relativi alle attività di *feeding*, di *lying* e di *standing*. I dati necessari per la valutazione di tali indici sono stati ottenuti mediante l'analisi di videoriprese realizzate all'interno della stalla. Tale metodo è frequentemente adottato per analizzare il comportamento degli animali in relazione alle condizioni ambientali determinate dalla stalla nonché alle pratiche gestionali attuate dall'allevatore per la conduzione dell'allevamento (Mattachini *et al.*, 2011; Overton *et al.*; 2004; Provolo e Riva, 2009). Gli indici comportamentali sono stati correlati agli indici di stress termico THI (*Temperature Humidity Index*) e BGHI

(*Black Globe Humidity Index*), fra quelli più frequentemente impiegati in letteratura per la valutazione del livello di stress da caldo delle bovine da latte (Buffington *et al.*, 1981; Oliveira e Esmay, 1982; Cook *et al.*, 2007).

Materiali e metodi

La prova è stata svolta durante l'estate dell'anno 2011, in una stalla per bovine da latte a stabulazione libera sita in c.da Pettineo/Pozzilli nel territorio del comune di Vittoria (RG), alla altitudine di 234 m s.l.m. L'edificio ha pianta di forma rettangolare, con lati di dimensioni 55,60 m e 20,75 m e con asse longitudinale orientato in direzione nord-ovest – sud-est. I lati rivolti a sud-est, a nord-est e a nord-ovest sono completamente aperti. Il lato rivolto a sud-ovest, invece, è completamente chiuso. L'edificio ha struttura portante mista, costituita in parte da pilastri e travi in calcestruzzo armato e in parte da pilastri e travi reticolari in profilati di acciaio. La copertura, a due falde simmetriche con apertura di colmo centrale, è costituita da lastre continue in fibrocemento sorrette da arcarecci e travi reticolari di acciaio. La zona di riposo è costituita da 64 cuccette, di dimensioni 1,20 m × 2,15 m, disposte su due file testa a testa, suddivise in 3 aree. Le cuccette sono delimitate a nord-est dalla corsia di servizio e a sud-ovest dalla corsia di alimentazione. Tali due corsie sono messe in comunicazione da 6 corridoi trasversali che separano le 3 aree di riposo.

All'interno della stalla è stata individuata un'area nella quale è stata svolta la sperimentazione oggetto del presente studio (Fig. 1). Tale area, avente lunghezza di 15,40 m, nella direzione parallela all'asse longitudinale della stalla, e larghezza di 11,50 m, comprendeva una zona di riposo costituita da 16 cuccette con le relative corsie di servizio e di alimentazione collegate da due corridoi trasversali. Per l'intera durata della sperimentazione all'interno di tale area sono state stabulate 15 bovine di razza frisona.

Sistemi di raffrescamento

La stalla è dotata di due differenti impianti di raffrescamento. In particolare, in corrispondenza della zona di riposo a cuccette è installato un impianto di raffrescamento evaporativo composto da erogatori d'acqua nebulizzata e ventilatori, mentre in corrispondenza della corsia di alimentazione è presente un impianto a doccia per la bagnatura diretta del corpo degli animali accoppiato a ventilatori. Nell'area scelta per la sperimentazione i due impianti sono composti come descritto nel seguito (Fig. 1).

L'impianto di raffrescamento evaporativo comprende 2 ventilatori assiali del tipo "box fan", di lato 1400 mm, posizionati sopra le cuccette a

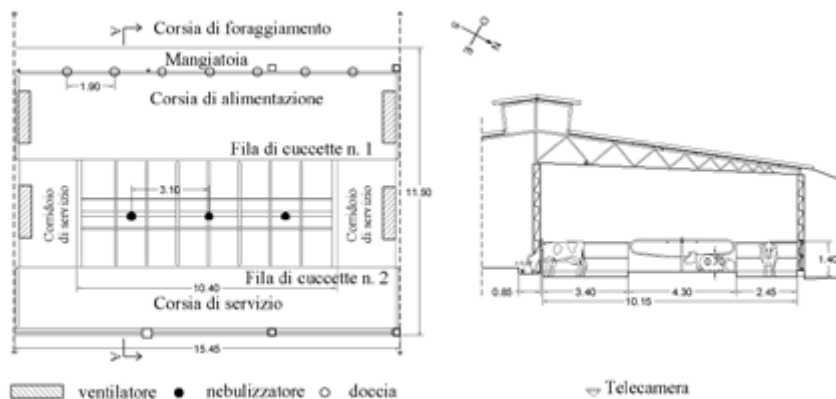


Fig. 1. Pianta e sezione dell'area della stalla in cui è stata svolta la prova.

una distanza di circa 14 m l'uno dall'altro, con l'asse di rotazione posto a un'altezza di circa 2,75 m dal pavimento delle cuccette e parallelo all'asse longitudinale della stalla. La portata di ciascun ventilatore è di 34600 m³/h. Completano l'impianto 3 erogatori d'acqua nebulizzata posizionati a un'altezza di circa 2,9 m dal pavimento delle cuccette con un interasse di 3,10 m (Fig. 1). La pressione di esercizio è pari a 2 bar e la portata è di 1,01 l/min. L'attivazione dei ventilatori e degli erogatori è indipendente.

Il sistema di bagnatura diretta è composto da 7 erogatori semicircolari a doccia posizionati al di sopra della rastrelliera a un'altezza di 2,0 m dal pavimento, con un interasse di 1,90 m e orientati verso l'interno della corsia di alimentazione (Fig. 1). La pressione di esercizio è pari a 2 bar e la portata è di 2,57 l/min. L'impianto è completato da 2 ventilatori assiali di diametro 900 mm, posizionati sopra la corsia di alimentazione a una distanza di circa 14 m l'uno dall'altro, con l'asse di rotazione posto a un'altezza di circa 2,7 m dal pavimento e parallelo all'asse longitudinale della corsia. La portata di ciascun ventilatore è pari a 22250 m³/h. Anche in questo caso l'attivazione degli erogatori e dei ventilatori è indipendente.

Durante lo svolgimento della sperimentazione, il funzionamento degli impianti è stato mantenuto secondo le consuetudini gestionali già adottate nella stalla che ne prevedevano l'attivazione non contemporanea nell'ambito degli intervalli orari riportati in Tabella 1. In particolare, i ventilatori dell'impianto di raffreddamento evaporativo si accendevano per 5 minuti a intervalli di 20 minuti se la temperatura dell'aria era inferiore a 27°C, altrimenti rimanevano sempre accesi. Gli erogatori entravano in funzione a intervalli di 1,5 minuti quando la temperatura dell'aria era maggiore o uguale a 29°C e rimanevano attivi per 15 secondi. Invece, i

ventilatori dell'impianto di bagnatura diretta si accendevano per 5 minuti a intervalli di 20 minuti se la temperatura dell'aria all'interno della stalla era minore di 25°C, altrimenti rimanevano sempre accesi. Gli erogatori entravano in funzione a intervalli di 5 minuti quando la temperatura dell'aria era maggiore o uguale a 29°C e rimanevano attivi per 12 secondi. Durante la bagnatura i ventilatori si spegnevano automaticamente per evitare che l'acqua erogata dalle docce si disperdesse lontano dalla corsia di alimentazione.

Entrambi gli impianti di raffrescamento rimanevano inattivi durante le due mungiture e la pulizia della corsia di alimentazione.

Tab. 1. Intervalli di attivazione degli impianti.

Impianto	Zona	Intervallo di attivazione
Bagnatura diretta	Corsia di alimentazione	09:00 - 11:00
Raffrescamento evaporativo	Cuccette	11:00 - 14:30
Bagnatura diretta	Corsia di alimentazione	14:30 - 17:00
Raffrescamento evaporativo	Cuccette	17:00 - 17:30
Raffrescamento evaporativo	Cuccette	20:00 - 05:30

Sistema di videoripresa

Il comportamento degli animali è stato studiato con l'ausilio di un sistema di videocamere appositamente progettato e installato nella zona della stalla in cui è stata svolta la sperimentazione. Per la realizzazione del sistema di videoripresa sono state scelte telecamere Vivotek FD7131 con risoluzione massima di 640×480 pixel e capacità di acquisizione massima di 30 fps, dotate di interfaccia HTTP e di LED (*light emitting diode*) per l'illuminazione notturna. Al fine di ottenere la vista planimetrica dell'ambiente di stabulazione oggetto della prova, sono state impiegate 10 telecamere, 6 per riprendere la corsia di alimentazione, la rastrelliera e la mangiatoia e 4 per riprendere la zona di riposo. La corsia di servizio adiacente alla fila di cuccette n. 2 (Fig. 1) non è stata ripresa dalle telecamere. Le telecamere sono state montate su travi di acciaio mediante apposite staffe di fissaggio e sono state disposte a interasse regolare in modo da inquadrare la stalla dall'alto e ottenere immagini in pianta.

Un software appositamente sviluppato ha consentito l'acquisizione di *snapshots* con la frequenza di 1 fps per ciascuna telecamera, nell'intervallo orario diurno compreso tra le 6:00 e le 19:50. Il software, utilizzando anche librerie grafiche OPENCV, ha applicato a ciascuna serie di *snapshots* operazioni di sincronizzazione, raddrizzamento, ridimensionamen-

to, rotazione e unione per produrre in output un'immagine panoramica di dimensioni 1044×1920 pixel contenente la vista planimetrica dell'area della stalla in cui è stata svolta la prova. Inoltre, il software ha consentito di ottenere per l'intera durata giornaliera dell'intervallo di acquisizione delle 10 telecamere una sequenza video con frequenza di una immagine panoramica ogni 2 secondi.

L'analisi del comportamento degli animali è stata svolta mediante l'osservazione di tale sequenza video. In particolare, la metodologia utilizzata ha previsto di limitare l'osservazione a un'immagine panoramica ogni 10 minuti, nell'intervallo temporale compreso tra le 6:00 e le 19:50. La scelta di tale tempo di campionamento ha comportato la selezione di 84 immagini panoramiche per ciascuna giornata esaminata.

Indici comportamentali

L'analisi visiva delle immagini panoramiche selezionate ha permesso di analizzare tre comportamenti delle bovine fra quelli più frequentemente oggetto di studio (Bava *et al.*, 2012; DeVries *et al.*, 2003; Fregonesi *et al.*, 2007; Overton *et al.*, 2002; Provolo e Riva, 2009) per la loro elevata relazione con lo stato di benessere delle bovine da latte:

- *feeding*, relativo allo stazionamento in piedi nella corsia di alimentazione con la testa attraverso la rastrelliera (Fig. 2a).
- *standing*, relativo allo stazionamento in piedi nelle corsie, o all'interno delle cuccette, e alla deambulazione.
- *lying*, relativo a tutte le possibili posizioni di decubito della bovina nella cuccetta (Fig. 2b). Le normali posizioni di riposo sono quattro: posizione "lunga" in cui la bovina giace con la testa protesa in avanti; posizione "corta" in cui la bovina giace con la testa piegata lungo un lato del corpo; posizione "stretta" in cui la bovina giace sullo sterno con il collo leggermente piegato e gli arti posteriori vicino al corpo mentre gli arti anteriori possono essere distesi; posizione "larga" in cui la bovina giace su un fianco con gli arti posteriori distesi.

Per ogni giorno di sperimentazione un operatore compilava un'apposita scheda elettronica predisposta all'interno di un database nella quale veniva riportato il numero di animali impegnato nelle diverse attività. Successivamente, sono stati calcolati i seguenti indici comportamentali (Bava *et al.*, 2012; Mattachini *et al.*, 2011; Overton *et al.*, 2004; Provolo e Riva, 2009):

- CLI (*cow lying index*) definito come il rapporto tra il numero di bovine in posizione di decubito all'interno delle cuccette e il numero totale di bovine presenti in stalla:
$$\text{CLI} = \frac{\text{bovine in lying}}{\text{tot. bovine}} \quad (1)$$



a)

b)

Fig. 2. Esempi di comportamento delle bovine: a) bovine nella corsia di alimentazione con la testa attraverso la rastrelliera – b) bovine in posizione di decubito nelle cuccette.

- CSI (*cow standing index*), definito come il rapporto tra il numero di bovine osservate in e il numero totale di bovine presenti in stalla:

$$\text{CSI} = \frac{\text{bovine in standing}}{\text{tot. bovine}} \quad (2)$$
- CFI (*cow feeding index*), ottenuto come rapporto tra il numero di bovine che sono alla mangiatoia e il numero totale delle bovine presenti in stalla:

$$\text{CFI} = \frac{\text{bovine in feeding}}{\text{tot. bovine}} \quad (3)$$

Indici di stress termico

La valutazione delle condizioni di disagio termico delle bovine, oltre che con il rilievo di alcuni parametri fisiologici (temperatura rettale, atti respiratori, ecc.), può essere effettuata indirettamente mediante il calcolo di alcuni indici appositamente sviluppati, basati sui valori dei principali parametri microclimatici misurati all'interno della stalla. Tra i numerosi indici riportati in letteratura (Oliveira e Esmay, 1982), maggiore diffusione ha avuto il THI originariamente sviluppato da Thom (1959) e in seguito modificato nella sua formulazione da altri autori per meglio adattarlo a differenti condizioni climatiche o a diverse specie animali (Bohmanova *et al.*, 2007). Nel presente lavoro, l'indice THI è stato calcolato tramite la formula di Yousef (1985):

$$\text{THI} = T_{\text{db}} + 0,36 T_{\text{dp}} + 41,2 \quad (5)$$

in cui T_{db} [°C] è la temperatura dell'aria al bulbo asciutto e T_{dp} [°C] è la temperatura di rugiada.

L'indice THI, tuttavia, presenta il limite di non considerare il contributo del carico radiativo (solare e termico) e del movimento dell'aria. Pertanto, è stato definito l'indice BGHI sostituendo nella relazione (5)

la temperatura al globotermometro al posto della temperatura dell'aria al bulbo asciutto (Buffington *et al.*, 1981):

$$BGHI = T_{bg} + 0,36 T_{dp} + 41,2 \quad (6)$$

in cui T_{bg} [°C] è la temperatura al globotermometro e T_{dp} [°C] è la temperatura di rugiada.

Nel corso della prova sono state misurate le principali variabili climatiche esterne e microclimatiche all'interno della stalla. In particolare, all'esterno dell'edificio, in corrispondenza della linea di colmo della copertura, sono stati misurati la temperatura e l'umidità relativa dell'aria, la velocità e la direzione del vento, il flusso della radiazione solare globale. All'interno dell'edificio, in corrispondenza della zona di riposo e a una altezza di circa 2,0 m dal pavimento delle cuccette, sono state misurate la temperatura e l'umidità relativa dell'aria, la temperatura al globotermometro, la velocità e la direzione dell'aria. Tutti gli strumenti sono stati collegati a un *data-logger* per l'acquisizione dei dati ogni 5 secondi e la registrazione dei corrispondenti valori medi a intervalli di 5 minuti.

Gli indici di comportamento e gli indici di stress termico sono stati messi in correlazione al fine di individuare l'influenza delle condizioni microclimatiche sul comportamento delle bovine.

Risultati e discussione

I risultati presentati riguardano la settimana dall'1 al 7 e la settimana dal 15 al 21 del mese di agosto 2011 (Tab. 2). Dall'esame dei parametri climatici misurati all'interno della stalla risulta che tali settimane sono rappresentative delle condizioni climatiche estive caratteristiche dell'area in cui è stata svolta la sperimentazione.

In Figura 3 e Figura 4 sono mostrati gli andamenti giornalieri degli indici comportamentali e degli indici di stress termico. In particolare, ciascun diagramma mostra l'andamento dei valori medi settimanali degli indici calcolati ogni 10 minuti nell'intervallo del giorno compreso tra le ore 6:00 e le ore 20:00.

Dall'esame dei diagrammi si rileva che i valori del THI variano, rispettivamente per la prima e per la seconda settimana, da valori minimi di 65,2 e 66,7 registrati nelle prime ore del mattino, a valori massimi di 80,1 e 81,2 registrati nell'intervallo compreso tra le 10:00 e le 17:00. Il BGHI risulta sempre superiore al THI e assume, rispettivamente per la prima e per la seconda settimana, valori minimi pari a 66,8 e 67,6 e valori massimi pari a 81,8 e 83,2. Tra le 17:30 e le 18:50, le curve del BGHI presentano un picco determinato dal riscaldamento del globotermometro per effetto della radiazione solare direttamente incidente su di esso.

Tab. 2. Valori minimi, medi e massimi dei parametri climatici rilevati dall'1 al 7 e dal 15 al 21 del mese di agosto 2011, all'esterno e all'interno della stalla.

	ESTERNO						INTERNO					
	T		Rad		RH		T		Tg		RH%	
	[°C]	[°C]	[Wm ⁻²]	[Wm ⁻²]	[%]	[%]	[°C]	[°C]	[Wm ⁻²]	[Wm ⁻²]	[%]	[%]
	1-7	15-21	1-7	15-21	1-7	15-21	1-7	15-21	1-7	15-21	1-7	15-21
Minimo	16,6	17,1	0,0	0,0	14,6	15,6	17,3	18,1	18,2	19,2	22,6	25,5
Medio	24,3	26,0	335,6	309,0	59,6	50,8	25,2	26,6	26,7	27,8	70,5	62,8
Massimo	31,9	35,2	1078,0	1016,0	90,1	89,5	33,1	36,6	35,8	38,0	97,9	97,7

Tra le 11:00 e le 17:00, entrambi gli indici di stress termico ricadono nell'intervallo di valori compresi tra 80 e 89, indicato da Armstrong (1994) come condizione di moderato stress da caldo.

I grafici relativi agli indici comportamentali non sono stati rappresentati negli intervalli di tempo compresi tra le 8:10 e le 9:30 e tra le ore 17:40 e le 18:10, poiché in tali periodi il comportamento degli animali risultava influenzato dalle attività di gestione della stalla attuate dall'allevatore. In particolare, durante il primo intervallo orario, al fine di consentire la pulizia della corsia di alimentazione, gli animali venivano confinati nell'area comprendente la fila di cuccette n. 2 e la corsia di servizio posta a sud (Fig. 1). Durante il secondo intervallo orario, invece, gli animali si trovavano nella zona di mungitura.

La correlazione tra indici comportamentali e indici di stress termico è stata valutata mediante il calcolo del coefficiente di correlazione di Pearson (r). Nel seguito vengono riportati soltanto i risultati delle correlazioni trovate tra gli indici comportamentali e l'indice BGHI poiché esse sono risultate più elevate di quelle riscontrate per l'indice THI. In particolare, nella prima settimana, il valore di r tra l'indice BGHI e l'indice CLI è risultato pari a 0,520 ($p=0,000$), nella seconda settimana, invece, è risultato pari a 0,439 ($p=0,000$). Tale risultato indica che gli animali sottoposti a moderato stress da caldo preferivano stare in decubito all'interno delle cuccette piuttosto che stare in piedi o alimentarsi. Ciò è confermato dall'esistenza di correlazioni negative, o dalla mancanza di correlazioni statisticamente significative, tra l'indice BGHI e gli altri indici comportamentali. In particolare, i valori dei coefficienti di correlazione tra BGHI e CSI sono risultati pari a $-0,166$ ($p=0,000$) per la prima settimana e $-0,432$ ($p=0,000$) per la seconda settimana. Il valore di r calcolato tra BGHI e CFI, invece, è risultato pari a 0,056 ($p=0,205$) per la prima settimana e $-0,401$ ($p=0,000$) per la seconda settimana.

Dopo le 6:00, completata la mungitura, le bovine rientrando nella stalla accedevano alla rastrelliera per l'alimentazione. Alcune di loro,

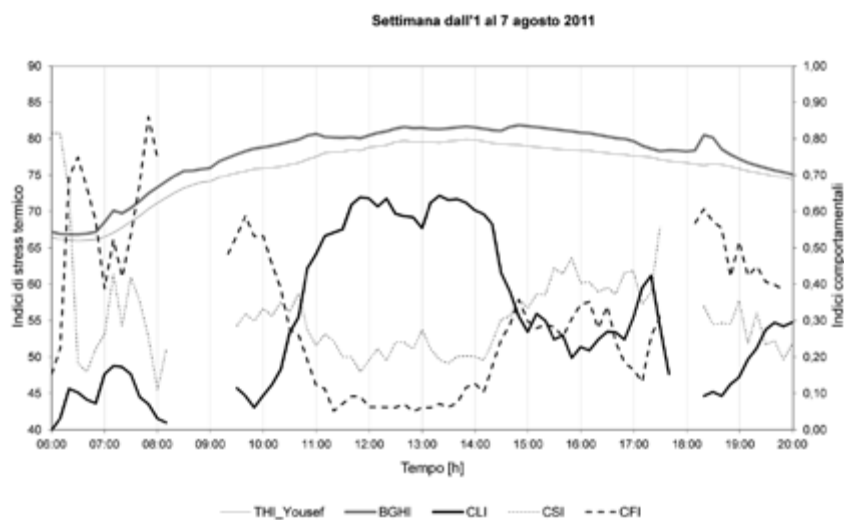


Fig. 3. Andamenti degli indici di stress termico e degli indici comportamentali ottenuti mediando i dati giornalieri calcolati ogni 10 minuti per ciascuno dei giorni compresi tra l'1 e il 7 agosto 2011.

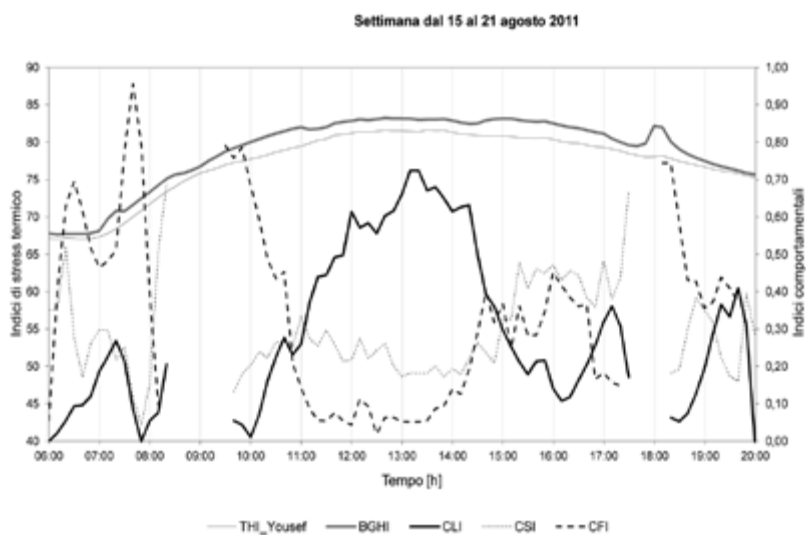


Fig. 4. Andamenti degli indici di stress termico e degli indici comportamentali ottenuti mediando i dati giornalieri calcolati ogni 10 minuti per ciascuno dei giorni compresi tra il 15 e il 21 agosto 2011.

però, non trovando alimento sufficiente nella mangiatoia, si spostavano nelle cuccette o rimanevano a stazionare nella corsia di alimentazione.

La quasi totalità delle bovine accedeva alla mangiatoia intorno alle 7:20, allorché veniva somministrata la razione alimentare. Tale attività ha determinato il picco giornaliero del coefficiente CFI rilevato intorno alle 7:50.

Tra le 9:30 e le 11:00, il comportamento degli animali è risultato fortemente influenzato dalla precedente attività di pulizia della corsia di alimentazione. In particolare, il grafico mostra intorno alle 9:30 un ulteriore valore di picco dell'indice CFI determinato dal rientro degli animali nella corsia di alimentazione. Successivamente, fino alle 11:00 si osserva un incremento del CLI e un contemporaneo decremento del CFI, perché le bovine, completata l'alimentazione, si spostavano dalla mangiatoia verso le cuccette. Nello stesso intervallo di tempo, i valori dell'indice CSI, compresi fra 0,35 e 0,40, mostrano la permanenza di alcuni animali nella corsia di alimentazione. Gli incrementi degli indici di stress termico registrati nell'intervallo considerato inducono a ritenere che tale comportamento delle bovine possa essere stato indotto dall'attivazione del sistema di bagnatura diretta del corpo degli animali. Infatti, dall'esame dei diagrammi riportati in Figura 3 e in Figura 4 e dalla Tabella 1, si rilevano incrementi dell'indice CSI in corrispondenza degli intervalli di attivazione di tale sistema, allorché la temperatura dell'aria all'interno della stalla superava i 29°C. Tuttavia, l'analisi di correlazione tra l'indice CSI e lo stato di attivazione del sistema di bagnatura diretta, effettuata calcolando il coefficiente di Cramér (C), ha mostrato un modesto legame tra le due variabili per entrambe le settimane considerate. In particolare, i valori dei coefficienti C calcolati per la prima e per la seconda settimana sono risultati rispettivamente pari a 0,18 ($\chi^2 = 93,33$; $p=0,001$) e 0,16 ($\chi^2 = 85,06$; $p=0,001$). Tale basso livello di correlazione tra l'indice CSI e lo stato di attivazione del sistema potrebbe essere stato determinato dall'intervento dell'allevatore che disattivava manualmente il sistema di bagnatura allorché constatava che la quantità d'acqua erogata provocava l'allagamento della stessa corsia di alimentazione.

Tra le 11:00 e le 14:30 l'indice CLI assume i valori massimi, l'indice CFI presenta i valori minimi e l'indice CSI si mantiene entro i valori medi (Tab. 3). Tale intervallo orario è caratterizzato dai valori più elevati della temperatura dell'aria all'interno della stalla e, pertanto, dall'attivazione completa (ventilatori ed erogatori) del sistema di raffrescamento evaporativo. Data l'elevata correlazione riscontrata tra l'indice CLI e lo stato di attivazione di tale sistema, $C=0,710$ ($\chi^2=373,17$; $p=0,001$) e $C=0,580$ ($\chi^2=302,78$; $p=0,001$), rispettivamente per la prima e la seconda settimana, è possibile concludere che l'attivazione del sistema di raffrescamento ha favorito il riposo delle bovine nelle cuccette.

Tab. 3. Valori minimi, medi e massimi degli indici comportamentali e degli indici di stress termico nelle settimane considerate.

	CLI		CSI		CFI		THI		BGHI	
	1-7	15-21	1-7	15-21	1-7	15-21	1-7	15-21	1-7	15-21
Minimo	0,00	0,00	0,11	0,04	0,05	0,02	65,3	66,7	66,8	67,6
Medio	0,31	0,29	0,31	0,29	0,32	0,34	76,2	77,3	77,8	78,9
Massimo	0,64	0,72	0,81	0,69	0,86	0,96	80,2	81,3	81,8	83,2

Tale risultato è altresì confermato dal comportamento assunto dalle bovine nell'intervallo di tempo compreso tra le 14:30 e le 17:00, quando non era attivo il sistema di raffrescamento evaporativo e veniva corrispondentemente registrato un decremento dell'indice CLI e un innalzamento dell'indice CSI. Infatti, gli animali, a causa dell'assenza di raffrescamento dell'area di riposo, interrompevano il decubito nelle cuccette per stazionare nella corsia di alimentazione dove, nel frattempo, era attivato il sistema di raffrescamento per bagnatura diretta del loro corpo.

Quando alle 17:00 il sistema di bagnatura veniva disattivato e contemporaneamente veniva riattivato il sistema di raffrescamento evaporativo, si registrava un sostanziale incremento dei valori dell'indice CLI. Tuttavia, il decubito degli animali risultava nuovamente interrotto alle 17:30 per la seconda mungitura.

Nell'ultima parte dei grafici mostrati in Figura 3 e in Figura 4, tra le 18:30 e le 20:00, si riscontra un incremento della curva CFI subito dopo la mungitura, poiché gli animali rientrando in stalla si recavano alla mangiatoia per alimentarsi.

Dall'osservazione complessiva dei diagrammi riportati in Figura 3 e Figura 4 emerge che lo spegnimento dell'impianto di raffrescamento evaporativo e l'attivazione dell'impianto di bagnatura diretta comporta l'interruzione del riposo delle bovine nelle cuccette con conseguente possibile riduzione del tempo complessivamente dedicato al decubito nelle ore diurne. Considerando che in stalle confortevoli le bovine da latte trascorrono circa il 60% del giorno in *lying* (Anderson, 2001), tale situazione potrebbe determinare condizioni di disagio per le bovine con possibili conseguenze negative sulla loro produzione di latte e sul loro stato di salute.

Ringraziamenti

Gli Autori ringraziano l'azienda agricola ALPA S.S. sita in c.da Pettineo/Pozzilli nel Comune di Vittoria per avere messo a disposizione la

stalla in cui è stata svolta la sperimentazione e per aver permesso l'installazione delle attrezzature e dei sistemi informatici.

Conclusioni

L'elevata correlazione riscontrata nelle ore centrali dei giorni delle due settimane analizzate tra l'indice CLI e lo stato di attivazione del sistema di raffrescamento evaporativo nell'area di riposo ha dimostrato che l'impiego di tale sistema favorisce il decubito delle bovine da latte nelle cuccette. Benché subito dopo la disattivazione di tale sistema e la contemporanea attivazione del sistema di raffrescamento per bagnatura diretta del corpo degli animali sia stata osservata la permanenza delle bovine nella corsia di alimentazione in posizione di stazionamento in piedi, tale comportamento non risulta altrettanto positivamente correlato con quest'ultimo sistema di raffrescamento poiché i test statistici condotti hanno evidenziato una bassa correlazione tra l'indice CSI e lo stato di attivazione del sistema di bagnatura nella corsia di alimentazione. Tale bassa correlazione potrebbe essere stata determinata dall'intervento diretto dell'allevatore che manualmente disattivava il sistema di bagnatura allorché la quantità d'acqua erogata provocava l'allagamento della corsia di alimentazione.

I risultati inducono a ritenere che la gestione dei due sistemi di raffrescamento può influenzare il tempo complessivo dedicato dalle bovine al riposo nelle ore diurne, con conseguenti condizioni di disagio per le bovine e possibili conseguenze negative sulla loro produzione di latte e sul loro stato di salute.

Ricerca finanziata dal MIUR nell'ambito del PRIN 2008 - Integrazione di sistemi tecnologici innovativi per il monitoraggio a distanza di animali.

Bibliografia

- Armstrong, D.V., (1994). Heat Stress Interaction with Shade and Cooling. *Journal of Dairy Science*, 77 (7), 2044-2050.
- Anderson, N. G., (2001). Time lapse video opens our eyes to cow comfort and behavior. *Proceedings of the American Association Bovine Practitioners Conference 2001*, 34:35-42.
- Anderson, N. G., (2008). Cow behaviour to judge free-stall and tie-stall barns. *Dairy Cow Behaviour*. January 2008, 1-9.
- Bava, L., Tamburini, A., Penati, C., Riva, E., Mattachini, G., Provolo, G., Sandrucci, A., (2012). Effects of feeding frequency and environmental conditions on dry matter intake, milk yield and behaviour of dairy cows milked in conventional or automatic milking systems. *Italian Journal of Animal Science*, 11, 230-235.

- Bohmanova, J., Misztal, I., Cole, J.B., (2007). Temperature–Humidity Indices as indicators of milk production losses due to heat stress. *Journal of Dairy Science*, 90 (4), 1947–1956.
- Bourauoi, R., Lahmar, M., Majdoub, A., Djemali, M., Belyea, R., (2002). The relationship of temperature–humidity index with milk production of dairy cows in a Mediterranean climate. *Animal Research*, 51 (6), 479–491.
- Buffington, D.E., Collazo-Arocho, A., Canton, G.H., Pitt, D., Thatcher, W.W., Collier, R. J., (1981). Black globe–humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. *Transactions of the ASAE* 24(3):711–714.
- Cook, N.B., Mentink, R.L., Bennett, T.B., Burgi, K., (2007). The effects of heat stress and lameness on time budgets of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 90, 1674–1682.
- DeVries, T. J., von Keyserlingk, M. A. G., Weary, D. M, Beauchemin, K. A., (2003). Technical Note: Validation of a System for Monitoring Feeding Behavior of Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*. 86, 3571–3574.
- Fregonesi, J.A., Leaver, J.D., (2001). Behaviour, performance and health indicators of welfare for dairy cows housed in straw yard or cubicle systems. *Livestock Production Science*. 68, 205–216.
- Fregonesi, J.A., Veira, D. M., von Keyserlingk, M. A. G., Weary, D. M., (2007). Effects of Bedding Quality on Lying Behavior of Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*. 90, 5468–5472.
- Haley, D.B., Rushen, J., de Passillé, A.M., (2000). Behavioural indicators of cow comfort activity and resting behavior of dairy cow in two of housing. *Canadian Journal of Animal Science*, 80, 257–263.
- Kadzere, C.T., Murphy, M.R., Silanikove, N., Maltz, E., (2002). Heat stress in lactating dairy cows: a review. *Livestock Production Science*. 77 (1), 59–91.
- Kliber, H. H., (1964). Environmental physiology and shelter engineering. LXVII. Thermal effects of various temperature–humidity combinations on Holstein cattle as measured by physiological responses. *Res. Bull. Missouri Agric. Exp. Station*: 862.
- Mattachini, G., Riva, E., Provolo, G., (2011). The lying and standing activity indices of dairy in free-stall housing. *Applied Animal Behaviour Science*. 129, 18–27.
- Mitlohner, F.M., Morrow-Tesch, J.L., Wilson, S.C., Dailey, J.W., McGlone, J.J., (2001). Behavioral sampling techniques for feedlot cattle. *Journal of Animal Science*. 79, 1189–1193.
- Oliveira, J.L., Esmay, M. L., (1982). Systems model analysis of hot weather housing for livestock. *Transactions of ASAE*, 1355–1359.
- Overton, M.W., Sisco, W.M., Temple, G.D., Moore, D.A., (2002). Using time-lapse video photography to assess dairy cattle lying behavior in a free-stall barn. *Journal of Dairy Science*. 85, 2407–2413.
- Provolo, G., Riva, E., (2009). One year study of lying and standing behaviour of dairy in freestall barn in Italy. *Journal of Agricultural Engineering*. 2, 27–33
- Riva, E., De Marco, R., Provolo, G., (2005). Analisi degli interventi strutturali finanziati dal piano di sviluppo rurale in provincia di Lodi, *Atti del Convegno “L’ingegneria agraria per lo sviluppo sostenibile dell’area mediterranea”*, Catania.

- Thom, E.C., (1959). The discomfort index. *Weatherwise* 12, 57-60.
- West, J.W., (2003). Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 86 (6), 2131-2144.
- World Organization for Animal Health. (2008). Introduction to the recommendations for animal welfare. Article 7.1.1. Pages 235-236 in Terrestrial Animal Health Code 2008. *World Organization for Animal Health (OIE)*, Paris, France.
- Yousef, M. K., (1985). Stress physiology in livestock. *CRC Press, Boca Raton, FL*.

SISTEMA AUTOMATICO PER IL RICONOSCIMENTO DELLA PRESENZA DI BOVINE DA LATTE IN POSIZIONE DI DECUBITO ALL'INTERNO DI CUCCHETTE

S.M.C. Porto, C. Arcidiacono, U. Anguzza, A. Giummarra, G. Cascone

Dipartimento di Gestione dei Sistemi Agroalimentari e Ambientali (DiGeSA), Sezione Costruzioni e Territorio, Università degli Studi di Catania.

Riassunto. La ricerca descritta nel presente lavoro ha avuto come obiettivo la realizzazione di un sistema automatico per il riconoscimento della presenza di bovine da latte in posizione di decubito all'interno di cuccette costituenti l'area di riposo di stalle a stabulazione libera. In particolare, è stata verificata la possibilità di applicare l'algoritmo proposto da Viola e Jones, originariamente elaborato per il riconoscimento di volti umani, modellando un classificatore di immagini per ciascuna fila di cuccette costituente l'area di riposo. Dalle elaborazioni svolte per ciascun classificatore è emerso che la fase di allenamento ha richiesto l'impiego di un numero contenuto di immagini positive e negative, rispetto a quello impiegato da Viola e Jones, mentre la fase di test ha prodotto un *hit rate* pari a circa 0,88, un *miss rate* pari a circa 0,12 e un *false positive rate* pari a circa 0,08. I classificatori sono stati implementati all'interno di un software che, oltre all'esecuzione simultanea dei classificatori stessi, ha permesso la validazione del sistema mediante il confronto dei risultati ottenuti dai classificatori con quelli ricavati dall'analisi visiva condotta da un operatore. Tale confronto ha consentito, tra l'altro, il calcolo dei seguenti indici di accuratezza: *branching factor* (BF), *miss factor* (MF), la percentuale di bovine riconosciute (PBR) e la percentuale corretta di bovine riconosciute (PCBR). I valori ottenuti per gli indici BF e MF hanno rivelato che per ogni 11-13 bovine correttamente riconosciute i classificatori commettono due errori, uno di omissione, cioè non riconoscono una bovina presente nell'area di riposo, e uno di commissione, cioè confondono una porzione dello sfondo dell'immagine con la bovina. L'elevato valore degli indici PBR e PCBR, rispettivamente pari a 0,92 e 0,85, ha dimostrato l'adeguatezza dell'algoritmo adottato per il riconoscimento automatico della presenza di bovine da latte in posizione di decubito all'interno delle cuccette.

Parole chiave: zootecnia di precisione, analisi automatica di immagini digitali, stalla a stabulazione libera.

Summary. The objective of this study was to investigate the applicability of the Viola-Jones algorithm for continuous detection of the presence of dairy cows laying in head-to-head stalls. Since the Viola-Jones algorithm is not invariant to the rotation of the analyzed images, two classifiers were modelled. A methodology was proposed in order to train, test and validate the two classifiers, one for each row of stalls located in barn under study. For both the classifiers, a lower number of positive and negative images than those used by Viola and Jones were required during the training phase. The testing produced the following results: hit rate of about 0.88, miss rate of about 0.12 and false positive rate of about 0.08. The two classifiers were implemented together in a software which also performed the validation of the system by comparing the results obtained from the classifiers with those coming from the visual recognition carried by an operator.

This comparison allowed the computation of the following accuracy indices: the branching factor (BF), the miss factor (MF), the cow behaviour detection percentage (CBDP), and the quality percentage (QP). The MF value of about 0.09 showed that the modelled classifiers missed one cow every 13 well detected cows. Conversely, the BF value of about 0.08 indicated that one false positive was detected every 11 well detected cows. The high value obtained for CBDP of about 0.92 and for QP of about 0.85 revealed the adequacy of Viola-Jones algorithm to detect cows laying in the stalls.

Key words: Precision livestock farming, image analysis, loose housing system.

Introduzione

La possibilità di pandemie provocate dalla diffusione di malattie trasmesse dagli animali agli uomini rappresenta oggi uno dei più grandi rischi per la salute dell'umanità. Pertanto, gli operatori e i ricercatori del settore zootecnico e veterinario e anche l'opinione pubblica attribuiscono grande rilevanza a quelle problematiche specifiche degli allevamenti intensivi che hanno riflessi sul benessere degli animali allevati, sulla qualità dei prodotti e, di conseguenza, sulla salute dei consumatori.

Negli ultimi anni, le moderne applicazioni ICT agli allevamenti animali hanno determinato la nascita e lo sviluppo della cosiddetta zootecnia di precisione che studia i sistemi e i metodi per monitorare, registrare e valutare con continuità i dati relativi a processi riguardanti l'animale e l'ambiente di allevamento. La modellazione di tali dati consente di ottenere informazioni utili per valutare lo stato di salute, di benessere e di produttività degli animali e adottare in tempo reale protocolli di gestione intelligente dell'allevamento (Berckmans, 2004).

Negli allevamenti di bovine da latte, la zootecnia di precisione può trovare utile applicazione nello studio del comportamento degli animali. In tale contesto, il presente studio ha avuto come obiettivo la realizzazione di un sistema basato sull'analisi automatica di immagini digitali finalizzato al riconoscimento di alcuni comportamenti di bovine da latte allevate in stalle a stabulazione libera.

L'analisi automatica di immagini digitali è stata impiegata in numerose ricerche (Noldus *et al.*, 2001; Shao *et al.*, 1998; Shao e Xin, 2008) aventi come obiettivo il monitoraggio del comportamento degli animali allevati in differenti ambienti di allevamento. I sistemi automatici di riconoscimento basati su tale tecnica richiedono l'adozione di algoritmi di processamento delle immagini allorché variazioni significative della luminosità e dello sfondo (*background*) rendano poco distinguibile il contenuto di interesse dell'immagine (*foreground*), cioè la presenza degli animali e le attività che essi svolgono. Inoltre, le metodologie proposte negli studi suddetti hanno riguardato esperienze di laboratorio o prove in ambienti di allevamento di dimensioni modeste. Ciò ha comportato una

notevole semplificazione sia nell'installazione del sistema di videoripresa, costituito da un'unica telecamera o fotocamera, sia nella realizzazione del sistema automatico di riconoscimento, dedicato all'elaborazione di immagini provenienti da una sola sorgente di acquisizione.

L'obiettivo della ricerca condotta nell'ambito di un progetto più ampio (PRIN 2008 - Integrazione di sistemi tecnologici innovativi per il monitoraggio a distanza di animali) è stato quello di conseguire il riconoscimento automatico di alcuni comportamenti di bovine da latte allevate in una stalla a stabulazione libera con zona di riposo a cuccette impiegando classificatori basati sull'algoritmo proposto da Viola e Jones (2001; 2004). Originariamente elaborato per il riconoscimento di volti umani, tale algoritmo può consentire di ottenere riconoscimenti accurati anche in presenza di variazioni significative della luminosità e del *background* nella sequenza delle immagini analizzate.

I comportamenti delle bovine da latte presi in considerazione nella suddetta ricerca sono stati: alimentazione alla mangiatoia, decubito all'interno delle cuccette, stazionamento e deambulazione nella corsia di alimentazione e nelle corsie di servizio. Per ciascuno di tali comportamenti sono stati modellati uno o più classificatori.

Considerate le dimensioni e le caratteristiche dell'ambiente di stabulazione oggetto della prova, è stata messa a punto una metodologia per la progettazione di un sistema di videoripresa costituito da più telecamere, idoneo alla restituzione della vista planimetrica della porzione di stalla utilizzata per la sperimentazione mediante la calibrazione, la sincronizzazione e l'unione delle immagini acquisite dalle telecamere.

In questo lavoro sono riportate le informazioni principali relative alla modellazione dei classificatori messi a punto per il riconoscimento della presenza di bovine da latte in posizione di decubito all'interno delle cuccette. Per quanto riguarda la progettazione del sistema di videoripresa, sono riportati soltanto i dati essenziali per la descrizione del sistema di riconoscimento automatico.

Materiali e metodi

L'area di stabulazione oggetto della prova

La ricerca è stata condotta in una stalla per bovine da latte a stabulazione libera ubicata sull'Altopiano Ibleo, in provincia di Ragusa, all'interno della quale è stato osservato il comportamento di 15 animali. L'ambiente di stabulazione preso in considerazione ai fini della prova è costituito da un'area di riposo suddivisa in cuccette con lettiera in sabbia disposte testa a testa, da una corsia di alimentazione adiacente all'area di riposo, da una corsia di servizio e da due corridoi di servizio (Fig. 1).

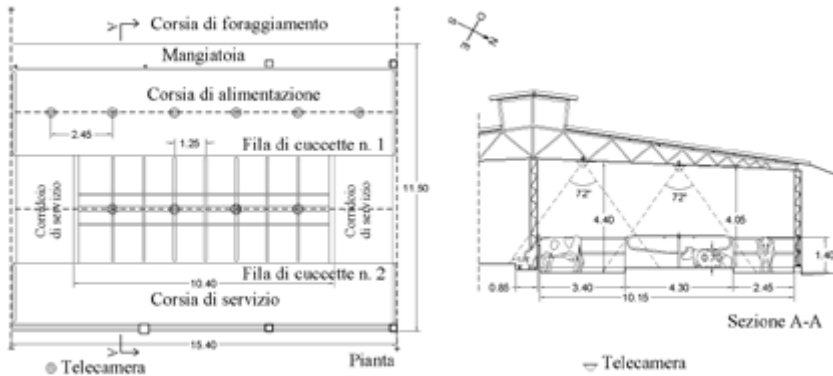


Fig. 1. Pianta e sezione dell'area della stalla utilizzata per la prova.

In tale ambiente di stabulazione, i fattori che possono rendere complesso il riconoscimento automatico della presenza delle bovine in posizione di decubito all'interno delle cuccette sono: la variazione delle tonalità di colore della sabbia costituente la superficie di decubito delle cuccette; l'elevata variazione di luminosità dell'ambiente in prossimità del lato aperto; l'elevata radiazione solare riflessa dalla sabbia e dalle superfici metalliche dei battifianchi; la disomogeneità dei colori e della riflettanza delle superfici delle corsie determinata dalla presenza delle deiezioni.

Allenamento ed esecuzione dell'algoritmo di Viola e Jones

Il classificatore basato sull'impiego dell'algoritmo di Viola e Jones (2001; 2004) ha la forma di una cascata di *stage*, ciascuno dei quali è un classificatore forte ottenuto dalla combinazione di più classificatori deboli. Un classificatore debole utilizza una sola *feature* per classificare il contenuto presente in un'immagine. Una *feature* è una funzione reale di una matrice contenente i valori dell'intensità dei pixel di un'immagine. Nella pratica una sola *feature* non può classificare il contenuto presente in un'immagine, pertanto, è necessaria la costruzione di un classificatore forte costituito da una combinazione di classificatori deboli. Nell'algoritmo proposto da Viola e Jones, la modellazione di tali classificatori forti avviene attraverso un processo di allenamento attuato impiegando l'insieme di *Haar-like features* proposte da Lienhart e Maydit (2002) e una versione modificata dell'algoritmo AdaBoost sviluppato da Freund e Schapire (1997).

Nella fase di allenamento il classificatore richiede campioni di immagini positive e campioni di immagini negative, di dimensioni $w \times h$ pixel. Al fine di costituire tali campioni, un operatore deve ritagliare dai frame

ripresi dalle telecamere un insieme di immagini positive di dimensioni $W \times H$ pixel e un insieme di immagini negative di dimensioni $W' \times H'$ pixel. Un'immagine positiva contiene l'oggetto da riconoscere, invece un'immagine negativa contiene soltanto porzioni degli oggetti che costituiscono il *background* dell'immagine. Tutte le immagini positive devono essere ritagliate mantenendo lo stesso rapporto d'aspetto pari a w/h . Le immagini negative, invece, non devono avere dimensioni inferiori a quelle dell'immagine positiva di maggiori dimensioni.

Il campione di immagini positive è ottenuto riducendo automaticamente alle dimensioni di $w \times h$ pixel tutte le immagini positive selezionate dall'operatore. Il campione di immagini negative, invece, è generato dall'algoritmo attraverso l'esecuzione automatica di scansioni delle immagini negative selezionate dall'operatore. In particolare, una prima scansione viene effettuata utilizzando una finestra di dimensioni $w \times h$ pixel. Per ogni riga dell'immagine, l'algoritmo posiziona l'angolo in alto a sinistra della finestra di scansione in corrispondenza di ogni pixel della riga stessa, a partire dal primo pixel a sinistra. Per ogni posizione successiva della finestra di scansione, ottenuta spostando di un pixel verso destra l'angolo in alto a sinistra della finestra, l'algoritmo effettua il ritaglio della porzione di immagine contenuta nella finestra stessa.

Pertanto, il numero di immagini negative ottenuto da questa prima scansione è dato dalla seguente relazione:

$$N = \sum_{i=1}^n (W'_i - w + 1) \cdot (H'_i - h + 1) \quad (1)$$

in cui n è il numero delle immagini negative selezionate dall'operatore e, W'_i e H'_i rappresentano, rispettivamente, la larghezza e l'altezza di ciascuna di esse. Ad ogni scansione successiva le dimensioni w e h della finestra vengono ingrandite di un fattore z rispetto ai valori della scansione precedente. Il processo termina quando una delle dimensioni della finestra di scansione supera la corrispondente dimensione dell'immagine negativa analizzata.

Nel corso dell'allenamento, l'algoritmo classifica un'immagine negativa come "falso positivo" se in essa ha riconosciuto erroneamente l'oggetto da individuare. Analogamente, l'algoritmo classifica un'immagine positiva come "vero positivo" se in essa ha riconosciuto correttamente l'oggetto da individuare. Pertanto, la fase di allenamento richiede di definire, oltre al numero massimo di *stage* (ns) che formano la cascata, il massimo valore ammesso per la percentuale di falsi positivi (*MaxFPR*) e il minimo valore ammesso per la percentuale di veri positivi (*MinTPR*). I valori assegnati a *MaxFPR* e *MinTPR* devono essere uguali per tutti gli *stage*. Il parametro *MinTPR* si ottiene mediante la seguente relazione:

$$\text{MinTPR} = (\text{TPR}_{\text{cas}})^{1/ns} \quad (2)$$

fissando il valore minimo della percentuale di veri positivi che deve produrre la cascata (TPR_{cas}) e il valore massimo di ns .

Durante la fase di allenamento il campione di immagini positive è lo stesso per ogni *stage*, mentre il campione di immagini negative per uno *stage* intermedio è costituito da tutte le immagini negative contenenti dei falsi positivi provenienti dagli *stage* precedenti e da ulteriori immagini negative non ancora classificate dagli *stage* precedenti. Alla fine dell'allenamento, in seguito alla costruzione di tutti gli *stage* della cascata, si ottiene il valore minimo della percentuale di falsi positivi (FPR_{cas}) che, se dell'ordine di 10^{-6} (Viola e Jones, 2001; Viola e Jones, 2004), indica la buona capacità del classificatore di discriminare gli oggetti del *background* dal contenuto informativo ricercato nell'immagine.

Nella fase di esecuzione l'algoritmo di riconoscimento di Viola e Jones impiega un processo di scansione e una finestra scorrevole analoghi a quelli impiegati nella fase di allenamento. In definitiva, la funzione di ciascuno *stage* costituente la cascata è quella di stabilire se la porzione di immagine contenuta nella finestra di scansione è classificabile come "non è un oggetto" o come "probabilmente è un oggetto". Se uno degli *stage* stabilisce che il contenuto è classificato come "non è un oggetto" la porzione di immagine viene definitivamente scartata e classificata come *background*, altrimenti lo *stage* successivo analizzerà il contenuto. Maggiore è il numero di *stage* che valutano il contenuto della finestra di scansione, maggiore è la possibilità che questa effettivamente contenga l'oggetto da riconoscere.

Allenamento del classificatore

Per la realizzazione del sistema di videoripresa sono state scelte telecamere Vivotek FD7131 aventi risoluzione massima di 640×480 pixel e capacità di acquisizione massima di 30 fps, dotate di interfaccia HTTP e di LED (*light emitting diode*) per l'illuminazione notturna. Al fine di ottenere la vista planimetrica dell'ambiente di stabilizzazione oggetto della prova, sono state impiegate 10 telecamere, 6 delle quali installate al di sopra della corsia di alimentazione a un'altezza di 4,40 m dal pavimento e 4 installate al di sopra dell'area di riposo a un'altezza di 4,05 m dal piano delle cuccette (Fig. 1). L'acquisizione delle immagini è stata effettuata mediante un software appositamente sviluppato in ambiente Microsoft® Visual C# Express che ha consentito l'acquisizione di 1 *snapshot* per ciascuna telecamera con la frequenza di 1 fps. Il software, utilizzando anche librerie grafiche OPENCV, ha applicato alle 10 *snapshots* così ottenute operazioni di sincronizzazione, calibrazione, rotazione, ridimensionamento e unione per produrre in output un'immagine di dimensioni 1044×1920 pixel contenente la vista planimetrica. Per effetto delle sud-

dette operazioni è stata ottenuta una sequenza di immagini panoramiche con una frequenza di 0,5 fps.

Le immagini panoramiche impiegate per l'allenamento del classificatore finalizzato al riconoscimento delle bovine da latte in posizione di decubito all'interno delle cuccette sono state estratte da riprese video effettuate dall'1 al 7 agosto 2011.

Benché il modello di telecamera fosse dotato di illuminatori a LED, questi non hanno consentito una sufficiente illuminazione dell'ambiente di stabulazione nelle ore serali e notturne. Pertanto, le immagini panoramiche impiegate per l'allenamento hanno riguardato gli intervalli diurni tra le ore 6:00 e le ore 20:00. L'impossibilità di considerare le riprese notturne non ha rappresentato un limite per la modellazione del classificatore poiché nell'intervallo diurno esaminato si svolgevano le principali attività di gestione della stalla che influenzavano il contenuto delle scene riprese dalle telecamere. In particolare, veniva distribuita la razione alimentare in mangiatoia e venivano eseguite le due mungiture giornaliere, con conseguente assenza degli animali dall'area di riposo, venivano attivati gli impianti di raffrescamento evaporativo dell'aria e di bagnatura diretta del corpo degli animali, che producevano una significativa variazione della tonalità del colore della sabbia delle cuccette, veniva effettuata la pulizia della corsia di alimentazione, che determinava una variazione dell'aspetto della superficie delle pavimentazioni, si verificavano rilevanti variazioni dell'intensità di illuminazione delle varie zone dell'ambiente di stabulazione in conseguenza del trascorrere della giornata.

Poiché le cuccette sono disposte testa a testa e poiché l'algoritmo in fase di esecuzione non è capace di riconoscere gli oggetti le cui immagini appaiono ruotate rispetto a quelle utilizzate per l'allenamento, sono stati modellati due classificatori: il classificatore *1a* per il riconoscimento della presenza di bovine in posizione di decubito nella prima fila di cuccette, con accesso dalla corsia di alimentazione, e il classificatore *1b* per il riconoscimento della presenza di bovine in posizione di decubito nella seconda fila di cuccette con accesso dalla corsia di servizio.

Applicando un tempo di campionamento pari a 10 minuti, per ciascuno dei 7 giorni considerati sono state selezionate 84 immagini planimetriche panoramiche dell'area di riposo a cuccette oggetto della prova. Da tali panoramiche un operatore ha selezionato immagini positive e negative per l'allenamento dei classificatori.

Test dei classificatori

L'obiettivo della fase di test è stato quello di verificare il funzionamento di ciascun classificatore senza far ricorso all'oneroso riconoscimento visivo dei comportamenti effettuato da operatori allo scopo di validare i risultati del riconoscimento.

Anche per questa fase di test le immagini panoramiche sono state estratte da riprese video effettuate dall'1 al 7 agosto 2011 dalle ore 6:00 alle ore 20:00, adottando un tempo di campionamento di 10 minuti. L'istante di acquisizione, però, è stato posticipato di 5 minuti rispetto a quello usato per la fase di allenamento. Per ciascun classificatore e per ciascun istante di acquisizione, è stata selezionata l'immagine panoramica caratterizzata dal livello di luminosità media dell'area delle cuccette più prossimo a quello ottenuto mediando i dati di luminosità media relativi allo stesso istante di acquisizione per ciascuno dei sette giorni considerati.

Come per la fase di allenamento, un operatore ha selezionato un insieme di immagini positive e un insieme di immagini negative. Le immagini utilizzate per il test sono state create da un software che ha consentito la sovrapposizione di ciascuna immagine positiva in ognuna delle immagini panoramiche negative, cioè scelte fra quelle in cui le bovine non erano presenti nell'area di riposo. L'area di sovrapposizione è stata scelta casualmente tra le regioni delle immagini negative corrispondenti ai piani di decubito delle cuccette. Infine, le immagini di test così ottenute sono state oggetto di tre operazioni di alterazione dell'immagine: sfocatura, erosione e dilatazione. Infine, il software memorizzava le coordinate dei vertici di ciascuna immagine positiva adottando come origine del sistema di riferimento uno dei vertici delle immagini panoramiche negative.

Nell'ambito dello stesso software sono stati implementati i due classificatori al fine di valutare l'accuratezza del riconoscimento delle bovine presenti nelle immagini di test. Durante l'esecuzione dei classificatori, il software etichettava un'immagine di test come *true positive* (TP) se la bovina veniva riconosciuta nella posizione esatta, o come *false negative* (FN) se la bovina, pur essendo presente nell'immagine di test, non veniva riconosciuta dal classificatore. Inoltre, il software assegnava a ciascuna immagine di test un valore numerico pari al numero di *false positive* (FP) eventualmente riscontrati, cioè aree del *background* che venivano riconosciute erroneamente come bovine. Successivamente, il software effettuava il conteggio di tutte le immagini etichettate come TP e come FN, calcolava la somma di tutti i FP riscontrati nelle immagini e quantificava i seguenti indici di accuratezza:

- *Hit rate* (HR): rapporto tra il numero complessivo TP e il numero totale delle immagini usate per il test;
- *Miss rate* (MR): rapporto tra il numero complessivo di FN e il numero totale delle immagini usate per il test;
- *False positive rate* (FPR): rapporto tra il numero complessivo di FP e il numero totale delle immagini usate per il test.

Validazione dei classificatori

Una volta verificato il funzionamento dei due classificatori mediante

la fase di test, le prestazioni complessive del sistema automatico di riconoscimento sono state valutate localizzando le bovine visualizzate nella sequenza di immagini panoramiche. A tal fine è stato elaborato un ulteriore software che ha consentito di confrontare i dati ottenuti dall'esecuzione contemporanea dei classificatori con quelli ricavati dall'analisi visiva delle panoramiche condotta da un operatore. Il confronto ha consentito di calcolare gli indici di accuratezza di seguito elencati:

- *Branching factor* (BF): rapporto tra il numero complessivo di FP e il numero totale di TP rilevati nelle panoramiche. Valori bassi dell'indice BF denotano la buona capacità del classificatore di distinguere le bovine dal *background*:

$$BF = \frac{FP}{TP} \quad (3)$$

- *Miss factor* (MF): rapporto tra il numero complessivo di FN e il numero totale di TP rilevati nelle panoramiche. Valori bassi dell'indice dimostrano la buona capacità del classificatore di riconoscere le bovine:

$$MF = \frac{FN}{TP} \quad (4)$$

- *Percentuale di bovine riconosciute* (PBR): percentuale di bovine correttamente classificate, cioè di veri positivi, sul numero complessivo di bovine realmente presenti nelle panoramiche:

$$PBR = \frac{TP}{TP + FN} \times 100 \quad (5)$$

- *Percentuale corretta di bovine riconosciute* (PCBR): rispetto all'indice PBR tiene conto della presenza di falsi positivi nella panoramica analizzata, cioè di aree del *background* erroneamente classificate come bovine:

$$PCBR = \frac{TP}{TP + FN + FP} \times 100 \quad (6)$$

La fase di validazione è stata condotta utilizzando le riprese video relative alla settimana compresa tra l'8 e il 14 agosto 2011, nell'intervallo diurno tra le ore 6:00 e le ore 20:00. Un operatore mediante il software eseguiva l'analisi visiva delle videoriprese e contrassegnava le cuccette occupate dagli animali selezionando con il puntatore del *mouse* un punto al loro interno. Tali informazioni venivano memorizzate in un *database*. Al fine di ridurre il tempo necessario per l'interpretazione visiva, le immagini panoramiche sono state selezionate con intervalli di campionamento pari a 10 minuti.

Risultati e discussione

Il numero di immagini positive impiegato nella fase di allenamento è stato pari a 600 ed è stato ottenuto ritagliando da ciascuna panoramica le porzioni di immagine corrispondenti a tutte le superfici rettangolari di dimensioni 224×140 pixel, relative a piani di cuccette occupate da bovine (Fig. 2a). Analogamente, il numero di immagini negative è stato pari a 600 ed è stato ottenuto ritagliando superfici corrispondenti a cuccette non occupate da bovine (Fig. 2b). La finestra di scansione impiegata è stata impostata a 40×25 pixel in modo da mantenere il medesimo rapporto di aspetto pari a 1,6 delle immagini positive estratte dalle panoramiche. Il fattore di ingrandimento z della finestra è stato impostato pari a 5%. In totale sono stati ottenuti 600 campioni di immagini positive e circa 25×10^7 campioni di immagini negative di dimensioni 40×25 pixel.

Per entrambi i classificatori è stato assegnato il valore $MaxFPR = 0,5$ che ha consentito un rapido decremento del valore FPR_{cas} all'aumentare del numero di *stage*, il cui massimo è stato fissato pari a $ns=30$. Mediante la formula (2) è stato calcolato il parametro $MinTPR = 0,9965$, avendo ipotizzato che il valore di TPR_{cas} fosse almeno pari a 0,90. L'allenamento del classificatore è stato interrotto al 27° *stage* allorché i valori di FPR_{cas} hanno raggiunto l'ordine di 10^{-7} per entrambi i classificatori.

Analogamente a quanto evidenziato in un precedente studio condotto per il riconoscimento della presenza delle bovine alla mangiatoia (Porto *et al.*, 2011), anche in questa prova un numero contenuto sia di immagini positive sia di immagini negative, rispetto a quello impiegato da Viola e Jones (2001; 2004) per il riconoscimento dei volti umani, ha consentito di ottenere valori molto bassi di FPR_{cas} pari a $3,09 \times 10^{-7}$ e a $7,93 \times 10^{-7}$, rispettivamente per il classificatore *1a* e per il classificatore *1b*, garantendo nel contempo valori abbastanza elevati di TPR_{cas} pari a circa 0,90 per entrambi i classificatori. Tale risultato può essere giustificato dal fatto che i classificatori modellati in questo studio impiegando l'algoritmo di Viola e Jones si sono dimostrati robusti nei confronti delle variazioni del *background*, benché nell'ambiente di allevamento si siano verificate significative variazioni. Durante la fase di test, impiegando i dati settimanali di luminosità media dei pixel delle porzioni delle immagini relative alla prima e alla seconda fila di cuccette (Fig. 3), è stata ottenuta una sequenza di riprese video costituita da 84 panoramiche dalla quale sono state estratte 346 immagini positive di dimensioni 224×140 pixel. In particolare, 274 immagini, ottenute selezionando tutte le bovine presenti in posizione di decubito nelle cuccette della prima fila, impiegate per testare il classificatore *1a*. Le ulteriori 72 immagini, invece, ottenute selezionando immagini in cui si riscontrava la presenza di bovine nelle cuccette della seconda fila, sono state utilizzate per testare il classificatore *1b*. Per quanto riguarda il numero di immagini negative, due sono state



Fig. 2. a) Esempio di immagine positiva; b) Esempio di immagine negativa.

selezionate alle ore 6:30 e alle ore 18:30, quando le bovine si trovavano nell'area di mungitura, altre due sono state selezionate rispettivamente appena prima e subito dopo la pulizia della corsia di alimentazione che avveniva intorno alle ore 8:00, allorché le bovine venivano confinate nella zona comprendente la corsia di servizio e la fila di cuccette n. 2 (Fig. 1).

Le operazioni di sovrapposizione e alterazione delle immagini hanno comportato l'impiego di 4384 immagini di test per il classificatore *1a* e 1152 per il classificatore *1b*. Dato l'elevato valore di HR, circa pari a 0,88 per entrambi i classificatori, i risultati della fase di test dimostrano che i due classificatori possiedono un'elevata capacità di individuare le bovine anche in presenza di disturbi nelle immagini processate, mantenendo basso il numero di FPR che è risultato circa pari 0,08 per entrambi i classificatori. Tale risultato conferma il valore molto basso di FPR_{cas} ottenuto nella fase di allenamento.

Nella fase di validazione sono state analizzate 589 riprese panoramiche nelle quali erano presenti 2281 immagini di bovine da latte in posizione di decubito all'interno delle cuccette. Il numero complessivo di bovine riconosciute correttamente è stato di 2088 unità e, di conseguenza, quello relativo alle bovine non classificate è stato di 193 unità. Il numero di falsi positivi introdotti dal sistema è stato di 167 unità. Con tali valori sono stati calcolati i seguenti indici di accuratezza: BF=0,08; MF=0,09; PBR=0,92; PCBR=0,85.

I valori ottenuti per gli indici BF e MF denotano che per ogni 11-13 bovine correttamente individuate i classificatori commettono due errori, uno di omissione, cioè non riconoscono una bovina presente nell'area di riposo, e uno di commissione, cioè introducono un falso positivo. La buona capacità del classificatore di riconoscere le bovine è comunque dimostrata dall'elevato valore ottenuto dell'indice PBR. Quest'ultimo, direttamente confrontabile con il valore di HR ottenuto nella fase di test, dimostra che nella fase di validazione entrambi i classificatori hanno migliorato, rispetto alla fase di test, di circa il 4% la loro capacità di ricono-

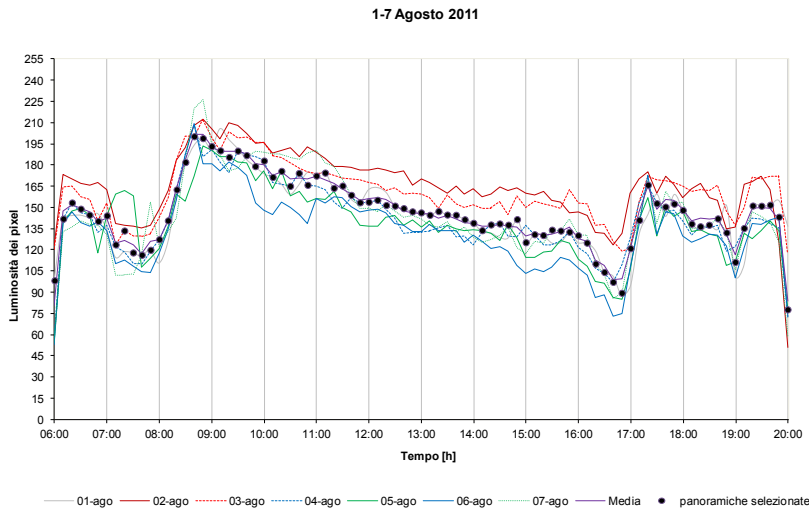


Fig. 3. Il grafico mostra: l'andamento diurno della luminosità media dei pixel costituenti le regioni delle immagini panoramiche contenenti la seconda fila di cuccette, calcolato a intervalli di 10 minuti e per gli stessi istanti di acquisizione delle telecamere per ciascuno dei sette giorni considerati; i valori della luminosità media dei pixel caratterizzanti la seconda fila di cuccette riprese nelle immagini panoramiche selezionate per ottenere la sequenza video giornaliera impiegata per estrarre le immagini positive.

scere le bovine. Tale miglioramento nella fase di validazione non è stato riscontrato in una prova condotta in uno studio precedente finalizzata al riconoscimento della presenza delle bovine alla mangiatoia (Porto *et al.*, 2011). Ciò può essere giustificato dal minore numero di posture che gli animali assumono quando sono in posizione di decubito all'interno delle cuccette, rispetto a quello riscontrato nella corsia di alimentazione in prossimità della rastrelliera. Inoltre, le cuccette delimitano geometricamente l'area in cui è possibile riscontrare la presenza delle bovine facilitando la selezione di immagini positive contenenti esclusivamente il corpo di un solo animale.

Considerato che le operazioni effettuate al fine di ottenere la vista planimetrica della zona di riposo a cuccette hanno prodotto sequenze di immagini panoramiche con frequenza di 0,5 fps e che il tempo necessario per classificare il contenuto di una panoramica è stato di circa 320 msec impiegando un processore Intel® Core (TM) 2 Quad CPU Q670, il riconoscimento automatico della presenza delle bovine nelle cuccette può essere considerato in tempo reale. Durante l'esecuzione dei classificatori, tale caratteristica consente la memorizzazione dei risultati all'interno di file di testo, o in database, senza richiedere l'archiviazione delle videoriprese.

Conclusioni

Lo studio ha avuto l'obiettivo di mettere a punto un sistema automatico per il riconoscimento della presenza delle bovine in posizione di decubito all'interno di cuccette. A tal fine sono stati modellati due classificatori basati sull'algoritmo proposto da Viola and Jones. La buona capacità dei classificatori di riconoscere le bovine durante la fase di validazione ha dimostrato l'adeguatezza dell'algoritmo adottato.

Poiché sia nella fase di allenamento sia nella fase di esecuzione il sistema proposto non ha richiesto l'applicazione di tecniche di miglioramento della qualità delle immagini processate dai classificatori, la sua applicazione può essere vantaggiosa rispetto ad altri sistemi proposti in letteratura allorché le immagini dell'ambiente di stabulazione non consentono un'agevole estrazione della sagoma degli animali dal *background*.

I risultati ottenuti nella fase di allenamento dimostrano come l'impiego di un numero contenuto sia di immagini positive sia di immagini negative consente di ottenere una bassa percentuale di falsi positivi, mantenendo nel contempo una buona capacità di riconoscimento della presenza delle bovine nelle cuccette. L'importanza di tale risultato consiste nella riduzione dell'onere di lavoro necessario per la selezione delle immagini positive e negative da impiegare per l'allenamento dei classificatori.

I risultati della fase di test dimostrano che i due classificatori possiedono un'elevata capacità di individuare le bovine anche in presenza di disturbi nelle immagini processate, mantenendo basso il numero degli errori commessi nel *background*.

Infine, poiché la velocità di classificazione del contenuto delle immagini panoramiche permette il riconoscimento delle bovine da latte in tempo reale, il sistema può consentire la memorizzazione dei risultati del riconoscimento in file di testo o in database di facile gestione evitando, pertanto, l'onerosa archiviazione delle videoriprese.

Ricerca finanzia dal MIUR nell'ambito del PRIN 2008 - Integrazione di sistemi tecnologici innovativi per il monitoraggio a distanza di animali.

Ringraziamenti

Gli Autori ringraziano l'azienda agricola ALPA S.S. sita in c.da Pettineo/Pozzilli nel Comune di Vittoria per avere messo a disposizione la stalla in cui è stata svolta la sperimentazione e per aver permesso l'installazione delle attrezzature e dei sistemi informatici.

Bibliografia

- Cangar, Ö., Leroy, T., Guarino, M., Vranken, E., Fallon, R., Lenehan, J., Mee, J., Berckmans D. (2008). Automatic real-time monitoring of locomotion and posture behaviour of pregnant cows prior to calving using online image analysis. *Computers and electronics in agriculture*, 64, 53-60.
- Lienhart, R., Maydit, J. (2002). An extended set of haar-like features for rapid object detection. *Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing*, Rochester, New York, 1, 900-903.
- Freund, Y., Schapire, R.E. (1997). A decision-theoretic generalization of on-line learning and an application to boosting. *Journal of Computer and System Sciences*, 55(1), 119-139.
- Noldus, L. P. J. J., Spink, A. J., Tegelenbosch, R. A. J. (2001). Ethovision: a versatile video tracking system for automation of behavioral experiments. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 33(3), 398-414.
- Porto, S.M.C., Arcidiacono, C., Guarnera, G. C., Cascone, G. (2011). Preliminary study for the implementation of an image analysis algorithm to detect dairy cow presence at the feed barrier. *Journal of Agricultural Engineering*, 4, 17-23.
- Shao, B., Xin, H., Harmon, J.D. (1998). Comparison of image feature extraction for classification of swine thermal comfort behaviour. *Computers and Electronics in Agriculture*, 19, 223-232.
- Shao, B., Xin, H. (2008). A real-time computer vision assessment and control of thermal comfort for group-housed pigs. *Computers and electronics in agriculture*, 2008, 62, 15- 21.
- Viola, P., Jones, M. (2001). Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. In: *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 1, 511-518.
- Viola, P., Jones, M. (2004). Robust real-time face detection. *International Journal of Computer Vision*, 2004, 57(2), 137-154.

MONITORAGGIO A DISTANZA DI UNGULATI SELVATICI E DOMESTICI IN AMBIENTE APPENNINICO

M. P. Ponzetta¹, V. Becciolini¹, C. Trunfio¹, F. Cervasio¹,
A. Bocci¹, L. Conti²

¹ *Dipartimento di Biotecnologie Agrarie, Sezione Scienze Animali – Università di Firenze*

² *Dipartimento di Economia, Ingegneria, Scienze e Tecnologie Agrarie e Forestali - Università di Firenze*

Riassunto. Obiettivo della ricerca è stata l'identificazione e la valutazione di nuove metodologie per il monitoraggio a distanza di animali selvatici e domestici, come strumenti atti ad accrescere le conoscenze sulle specie monitorate e ad offrire un valido supporto alle attività di gestione delle stesse. In particolare è stata valutata la possibilità di studiare il comportamento spaziale e l'utilizzo dell'habitat da parte del cervo (*Cervus elaphus*) in ambiente appenninico attraverso l'impiego di collari dotati di tecnologia GPS/GSM; l'utilizzo della stessa tipologia di collare è stato testato anche su due bovine allevate allo stato semibrado per indagare sulla mobilità e sull'attività degli animali. Inoltre è stata valutata la possibilità di ottenere l'identificazione individuale di cervi maschi adulti attraverso l'analisi acustica del bramito, allo scopo di incrementare l'accuratezza del conteggio durante il censimento. I dati registrati dai collari (fix position) hanno permesso di localizzare e calcolare l'estensione degli *home range* totali (185,8 ha; 142,4 ha) e stagionali delle due cerva monitorate, che sono risultate tendenzialmente stanziali, come emerge dalla sovrapposizione fra *home range* estivi ed invernali. È stato inoltre possibile mettere in evidenza la composizione ambientale dei territori frequentati dalle due cerva e applicare le metodologie per lo studio della selezione dell'habitat. Relativamente alle bovine, monitorate nella sola stagione primaverile-estiva del 2012, sono state finora rilevate variazioni nella mobilità e nei livelli di attività su scala mensile e nelle fasce orarie in due soggetti di razza diversa. L'analisi acustica del bramito ha permesso, attraverso l'analisi discriminante di alcune variabili, di riclassificare correttamente il 52% dei bramiti analizzati, riconosciuti come appartenenti all'individuo che li aveva emessi; nel nostro caso, le variabili maggiormente legate all'individualità sembrano quelle temporali (durata totale del bramito, durata di una singola ripetizione) e quelle relative alla frequenza (range iniziale delle frequenze).

Parole chiave: ungulati, collari gps/gsm, analisi acustica del bramito,

Summary. The aim of this work has been to identify new animal distance monitoring techniques, as a support for the correct management of wildlife and of the domestics in extensive farmin.

We tested GPS/GSM collars on two hinds (*Cervus elaphus*) living in the Apennine mountains in order to study spatial behaviour and habitat selection; we also tested the same model of collars on two cows at pasture, to investigate their mobility and activity pattern.

It was also evaluated the possibility to identify individual *Cervus elaphus* stags by the acoustic analysis of the rutting calls (roars), as a mean to improve the estimate of population by means of counting the adult males .

The position fixes recorded by the collars on the hinds were used to calculate the size of their total (185,8 ha; 142,4 ha) and seasonal home range. The obtained values resulted very similar to the ones of Alpine deer population, but our animals appeared basically resident, as is clear from the home range overlap between summer and winter. Moreover home range composition and position data were used to apply habitat selection methods.

The monitoring of the cows behaviour (1Limousine and 1 Chianina) showed a different monthly and daily mobility, so as activity variations over the time. The acoustic analysis of the stags roars allowed, through the discriminant analysis of chose parameters, to correctly reclassify 52% of the analysed roars, recognized as belonging to the subject which had issued them; in our case, the parameters most closely related to individuality seem to be the time (total duration of bel-lowing, duration of a single repetition) and the ones related to the frequency (initial range of frequencies).

Key words: ungulates, gps/gsm collars, red deer roars acoustic analysis

Introduzione

La fauna selvatica e quella domestica costituiscono una risorsa fondamentale per il nostro territorio, e la conservazione di tale patrimonio è di grande interesse per la collettività e per la comunità scientifica. Grande importanza assume perciò una corretta gestione che miri alla conservazione e valorizzazione di tali risorse, sebbene gli interventi necessari siano condizionati dalle diverse criticità che le caratterizzano.

Infatti negli ultimi decenni la consistenza delle popolazioni di animali selvatici, in modo particolare di ungulati, è significativamente aumentata determinando in alcuni contesti un notevole impatto sulle attività produttive e sull'ambiente. Per quanto poi riguarda il settore zootecnico, in particolare l'allevamento estensivo, la possibilità di mantenere ed incrementare le attività produttive è legata all'utilizzazione di ambienti marginali che devono essere gestiti in modo tale da ottimizzare l'impiego delle risorse naturali disponibili, preservandone la struttura e la produttività. Risulta perciò fondamentale imprimere un impulso alle ricerche finalizzate ad accrescere le conoscenze sul comportamento degli animali allo stato libero e sulle loro risposte al variare delle pratiche gestionali applicate. A tal fine, la determinazione della collocazione spaziale degli animali attraverso diverse metodologie di rilevamento appare basilare per conoscere la mobilità e l'uso dello spazio delle popolazioni animali, influenzate da fattori ambientali e antropici.

A tal fine sono state progressivamente sviluppate e migliorate numerose tecniche di monitoraggio. Le prime tecniche di osservazione indiretta, utilizzate per monitorare presenza e distribuzione di mammiferi selvatici (Murie, 1936), prevedevano il riconoscimento di segni di presenza e di piste lasciate sulla sabbia o sulla neve; per rilevare informazioni sugli animali monitorati, si catturavano e marcavano alcuni soggetti,

in seguito ricatturati. A partire dagli anni '50 vi furono sperimentate la marcatura con radioisotopi (Godfrey, 1954) o con pigmenti fluorescenti (Lemen, 1985), l'utilizzo di radar per lo studio del volo e del comportamento migratorio degli uccelli (Eastwood, 1967) e successivamente metodologie per l'identificazione acustica di specie pelagiche.

L'utilizzo delle prime trappole fotografiche (Pearson, 1960) e soprattutto lo sviluppo della radio-telemetria (primi anni '50) hanno rappresentato un grande progresso tecnologico, permettendo maggiore precisione e minor sforzo nello studio delle specie selvatiche, soprattutto riguardo all'utilizzazione spaziale e temporale del territorio da parte della fauna.

Fra i più recenti settori tecnologici utilizzati nella ricerca, le applicazioni della telemetria satellitare (collari GPS integrati con sensori di attività) e della bioacustica (la registrazione sonografica finalizzata all'analisi delle vocalizzazioni animali) risultano di notevole interesse, permettendo di ricavare informazioni in modo non invasivo e senza influenzare o modificare le abitudini dei soggetti studiati.

La telemetria satellitare mediante GPS (Global Positioning System) è una tecnologia particolarmente interessante per la ricerca in campo faunistico, perché permette di collezionare una notevole quantità di dati (Rodgers, 2001; D'Eon, 2003), e di ottenere, rispetto ai tradizionali metodi di radiotelemetria-VHF, un numero molto più elevato di fix per ogni animale durante il periodo di osservazione. La disponibilità di un elevato numero di localizzazioni consente un più puntuale calcolo degli home range individuali e una migliore descrizione dell'uso dello spazio e della selezione ambientale (Pedrotti *et al.*, 1995; Otis & White, 1999). La tecnica è particolarmente indicata per specie che, come il cervo, possono effettuare spostamenti anche notevoli, rendendo difficile la loro localizzazione da terra. Il suo impiego risulta inoltre vantaggioso in aree frammentate come quella appenninica, per meglio definire le modalità di spostamento, la selezione di habitat, i periodi di utilizzo delle diverse risorse alimentari disponibili (spontanee o coltivati), l'eventuale interazione con animali domestici.

L'utilizzo del GPS può fornire inoltre ulteriori informazioni sulle abitudini e sul comportamento alimentare di animali domestici e/o selvatici in allevamento semiestensivo, consentendo all'allevatore di attuare i più appropriati interventi gestionali.

Anche l'analisi acustica rappresenta un utile strumento per lo studio del cervo, le cui vocalizzazioni (bramiti) sono utilizzate nell'ambiente appenninico per stimare la numerosità dei maschi in riproduzione (censimenti al bramito) al fine di definire la consistenza numerica delle popolazioni. Il bramito, infatti, è una tipica espressione dei maschi adulti di cervo, è costituita da una sequenza di vocalizz i e rappresenta una forma di avvertimento onesto (Clutton-Brock & Albon, 1979), svolge una funzione di minaccia verso i possibili competitori e anti-

cipa l'ovulazione nelle femmine (McComb, 1987), che sono in grado di distinguere tra i bramiti di differenti individui (Reby et al. 2001) e di scegliere tra questi il partner ritenuto migliore. L'identificazione individuale dei maschi adulti nel periodo riproduttivo in base alle caratteristiche acustiche delle loro vocalizzazioni (Favaretto *et al.* 2006) potrebbe permettere di seguire la "carriera riproduttiva" e gli eventuali spostamenti dei maschi adulti verso nuovi quartieri riproduttivi; potrebbe inoltre contribuire a rendere più semplice ed affidabile l'attuale sistema di censimento al bramito.

Finalità del progetto

Nell'ambito del Progetto di Ricerca di Interesse Nazionale *Integrazione di sistemi tecnologici innovativi per il monitoraggio a distanza di animali*, l'unità Firenze 2 si è occupata della valutazione di metodologie per il monitoraggio a distanza di ungulati selvatici e domestici in ambiente appenninico.

Le attività di ricerca svolte hanno mirato a identificare e testare idonei sistemi di monitoraggio a distanza di animali selvatici e domestici, mettendone in luce le potenzialità e le prospettive di impiego, nonché le eventuali reciproche integrazioni, per individuare soluzioni tecniche e metodologiche a supporto delle attività umane nella gestione della fauna selvatica e nella conduzione dell'azienda zootecnica, in modo particolare per animali allevati all'aperto. A tal fine, la ricerca è strutturata in tre fasi:

- Monitoraggio mediante telemetria satellitare (collari GPS/GSM) di cervi (*Cervus elaphus*) a vita libera, catturati nella Riserva Naturale dell'Acquerino-Cantagallo (PO), per studiarne l'*home-range* e per valutare l'utilizzo dei diversi habitat frequentati.
- Applicazione di sistemi di registrazione ambientale per l'identificazione individuale di cervi maschi adulti nel periodo del bramito (in collaborazione con l'U.R. di Milano) al fine di semplificare la tecnica di conteggio del censimento al bramito e migliorare l'accuratezza della stima di popolazione ottenuta anche in relazione al numero di maschi bramitati contati.
- Monitoraggio di bovini al pascolo in allevamento semibrado (in collaborazione con l'U.R. Firenze 1), situato in ambiente appenninico nella medesima area geografica occupata dai cervi, per indagare sulla distribuzione spaziale degli animali e sulla localizzazione temporale delle principali attività funzionali (alimentazione, movimento, riposo, etc.).

Monitoraggio mediante telemetria satellitare di cervi (Cervus elaphus) a vita libera

Una parte del progetto ha previsto dunque il monitoraggio di alcune femmine di Cervo (*Cervus elaphus*) per studiare i movimenti degli animali e le loro preferenze ambientali nella zona dell'Appennino Tosco-Emiliano che comprende la Riserva Naturale Acquerino-Cantagallo (PO) e le aree collinari appenniniche adiacenti. L'area di studio scelta rappresenta bene il territorio appenninico, sia per le caratteristiche stazionali che faunistiche e vegetazionali. Vede inoltre la presenza di una delle principali popolazioni appenniniche di Cervo e offre la possibilità di analizzare realtà ecologiche e territoriali diverse, (aree soggette a prelievo venatorio e aree protette).

Materiali e metodi

Durante il primo anno della ricerca è stata effettuata, in via preliminare, una indagine sui diversi sistemi di posizionamento presenti in commercio per il monitoraggio spaziale di animali selvatici in diversi ambienti. In accordo con la letteratura, per le esigenze specifiche della ricerca, per l'elusività e le abitudini crepuscolari e notturne della specie studiata e per le caratteristiche morfologico-vegetazionali dell'area di studio, che non permettono l'osservazione diretta e prolungata di animali marcati, è stata scelta la tecnica del rilevamento tramite dispositivi telemetrici satellitari, collari GPS GSM.

Ad Aprile 2010 nell'area di studio prescelta sono state catturate, tramite telesedazione, due cervi adulte (F1 e F2), alle quali, dopo registrazione di dati morfo-fisiologici (età, stato riproduttivo, sanitario, nutrizionale, ecc.) e misurazione di dati biometrici, sono stati applicati tag auricolari e i collari-GPS/GSM modello Pro-light 4 della Vectronic Aerospace® (Berlin). Al termine delle operazioni gli animali sono stati risvegliati con antidoto al narcotico e rilasciati. Il buon funzionamento dei collari e la copertura GSM della zona erano stati testati preliminarmente.

I collari utilizzati, del peso di circa 980 g, dovuto in gran parte alle dimensioni della batteria, che ne condizionano la durata, rilevano le localizzazioni (fix) degli animali secondo una programmazione da noi stabilita di 1fix/ora. Per alcune elaborazioni sono stati successivamente selezionati 1fix/7 ore, per testare due diverse possibilità di acquisizione dati e le eventuali differenze nella completezza delle informazioni ricavabili.

Ogni ora il collare registra la localizzazione geo-referenziata dell'animale (longitudine, latitudine e altitudine), la temperatura ambientale (probabilmente falsata dalla temperatura corporea dell'animale), data, ora e copertura satellitare al momento del rilievo del fix (validità del segnale e numero di satelliti orbitanti). I collari sono inoltre muniti di: sensori di attività (accelerazione nei tre assi cartesiani esaminati dal sensore); sen-

sore di mortalità (invia uno specifico SMS dopo un periodo di assenza di movimenti di 24 ore); trasmettente VHF; indicatore dello stato della batteria e sistema di *drop-off* (meccanismo a tempo che permette lo sgancio automatico del collare).

I dati sono stati trasmessi (con invio di un SMS ogni 7 fix rilevati) direttamente ad una *ground station* ricevente, situata presso la Sezione Scienze Animali del Dipartimento di Biotecnologie Agrarie di Firenze, che permette anche di modificare la programmazione GPS e VHF quando il collare è sull'animale.

Da aprile 2010 a febbraio 2012 sono state raccolte circa 16.200 localizzazioni, delle quali quelle ritenute valide (rilevate in presenza di 5 o più satelliti) sono state esportate in formato DBF e raccolte in un database Excel, per poi essere elaborate.

La mobilità dei soggetti monitorati è stata ottenuta calcolando la distanza tra due successive localizzazioni valide (distanza interfix) come approssimazione della reale distanza percorsa dall'animale nell'intervallo di tempo considerato, e valutata attraverso le medie mensili, stagionali ed in vari momenti della giornata del periodo di studio di ciascun animale, identificando le classi: giorno, notte, crepuscolo alba, crepuscolo tramonto.

Per ottenere informazioni su distanze inter-fix, superfici occupate e utilizzo delle diverse categorie di uso del suolo, per il calcolo degli home range con il metodo Kernel (Van Winckle, 1975) è stata utilizzata l'estensione Animal Movement SA v 2.04 (Hooge & Eichenlaub, 2000) del software ArcView GIS 3.2. Il software statistico R 2.9.1. è stato usato per il calcolo degli *home range* occupati dagli animali con il metodo LoCoH (Getz & Wilmers, 2004). Per valutare il comportamento spaziale stagionale è stata utilizzata una versione modificata dell'indice di Minta (Minta, 1992).

Per le elaborazioni dei dati relativi alle localizzazioni degli animali e per descrivere la composizione degli HR è stata utilizzata una carta dell'uso del suolo fornita dalla provincia di Prato, integrata con cartografia fornita dalla Regione Toscana (CTR 1:10.000) e modificata, operando un accorpamento di alcune classi di uso del suolo, in modo che le categorie ambientali rispondessero alle specifiche esigenze delle analisi.

Per valutare la selezione dell'habitat è stato usato l'indice (D_i) di Jacobs (Jacobs, 1974):

$$D_i = (r_i - p_i) / (r_i + p_i - 2 r_i p_i)$$

dove

r_i = proporzione di utilizzo dell' habitat i

p_i = proporzione disponibile dell' habitat i

Per valutare la frequentazione della rete viaria, ricavata dalla Carta Tecnica Regionale 1:10.000, da parte delle cerva, sono stati creati attorno alle singole strade dei buffer, ciascuno di ampiezza di 10m, alle distanze di 10, 20, 30, 40 e 50 metri da ciascuna strada ricadente all'interno degli HR totali calcolati con LoCoH (95%). E' stata quindi calcolata la densità di fix per buffer come numero di fix rispettivamente presenti in ciascun buffer/estensione del buffer all'interno dell'home range (in ettari), in modo tale da poter confrontare i valori per le due cerva indipendentemente dall'estensione della rete viaria in ciascun home range.

A causa dello scarso numero degli animali monitorati non sono state eseguite elaborazioni statistiche dei dati. Del resto, obiettivo dello studio è stato quello di mettere in luce ed indicare le diverse potenzialità del sistema di monitoraggio a distanza utilizzato nonché la varietà di informazioni ricavabili dal suo impiego.

Infine, non è stato possibile utilizzare i dati sull'attività, in quanto questi vengono memorizzati nei collari, attualmente ancora attivi sugli animali, e possono essere scaricati solo direttamente, attraverso un apposito cavetto da collegare al collare.

Risultati e discussione

Mobilità

Il confronto tra la frequenza di acquisizione delle localizzazioni (figura 1) mette in evidenza, come era da attendersi, maggiori distanze interfix percorse dai due animali nel periodo più lungo (7 ore), ma nel complesso le distanze percorse risultano relativamente costanti e contenute nell'intervallo di un'ora tra due successivi rilievi. Per entrambi gli animali si riscontra una tendenza all'aumento della mobilità media nei mesi finali dell'anno, comportamento evidenziato con ambedue le frequenze di rilevamento.

La cerva F1 mostra inoltre una maggiore mobilità rispetto all'altra, osservabile anche dal confronto stagionale (figura 2); entrambi gli animali sembrano inoltre mostrare una mobilità più accentuata nelle stagioni autunnali ed invernali, in accordo con quanto rilevato a proposito della mobilità media mensile.

Questo comportamento appare abbastanza spiegabile in quanto comincia ad evidenziarsi a fine estate, in corrispondenza del bramito, e persiste, aumentando di valore, per tutto il periodo di attività prevista dal calendario venatorio, in particolare in coincidenza sia con alcuni momenti del prelievo selettivo del cervo stesso, ma soprattutto con il picco del prelievo del cinghiale, le cui modalità sono particolarmente impattanti sulle normali attività anche delle altre specie selvatiche presenti sul territorio.

È stata inoltre considerata la mobilità in diverse fasce orarie della giornata, classificate come giorno, notte, crepuscolo alba e crepuscolo tra-

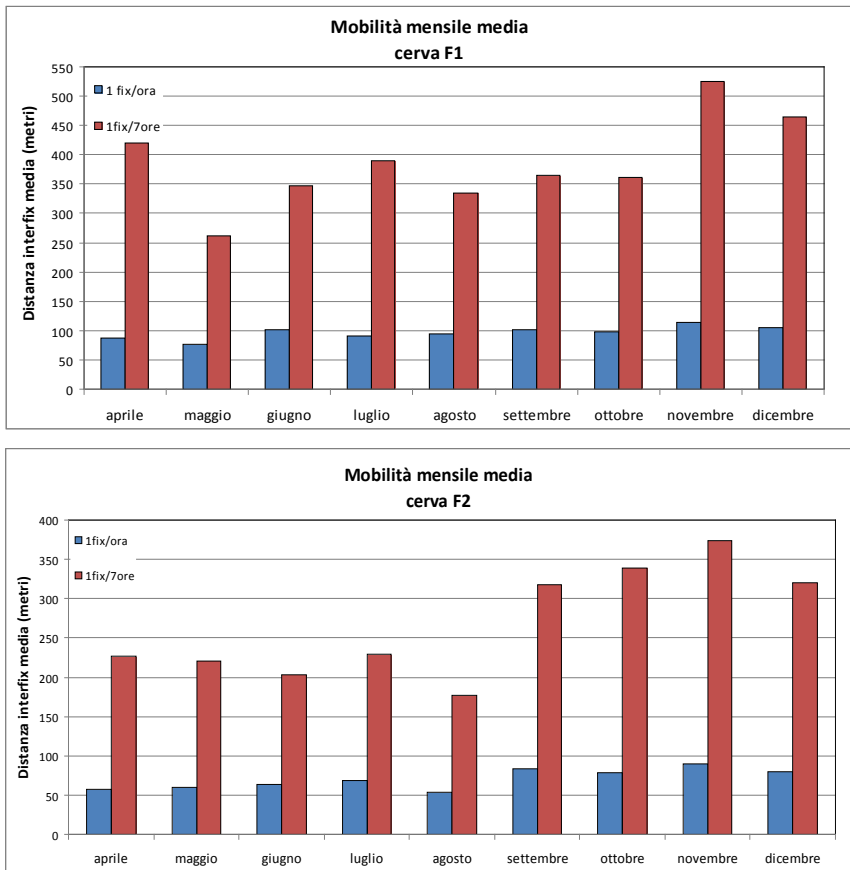


Fig. 1. Mobilità mensile media delle due cerva. Confronto fra i dati ottenuti con due diverse frequenze di rilevamento fix: 1 fix ora/1 fix 7 ore (ottenuti da selezione sui dati 1 fix ora). Periodo 01/04/2010 – 31/12/2010

mento. Per l'attribuzione dei fix position alle classi definite, sono state ricavate le informazioni relative agli orari di alba e tramonto dell'area di studio (US Naval Observatory – Astronomical Applications Department). È stato considerato crepuscolo relativo all'alba il periodo compreso tra un'ora prima dell'alba e l'alba; crepuscolo relativo al tramonto il periodo compreso tra il tramonto ed un'ora dopo il tramonto; giorno il periodo compreso tra alba e tramonto; notte il periodo compreso tra crepuscolo del tramonto e crepuscolo dell'alba.

La figura 3 illustra gli spostamenti compiuti nei diversi momenti della giornata. Ferma restando una maggiore mobilità della cerva F1, entrambi gli animali si sono mossi in particolare nelle ore del crepuscolo,

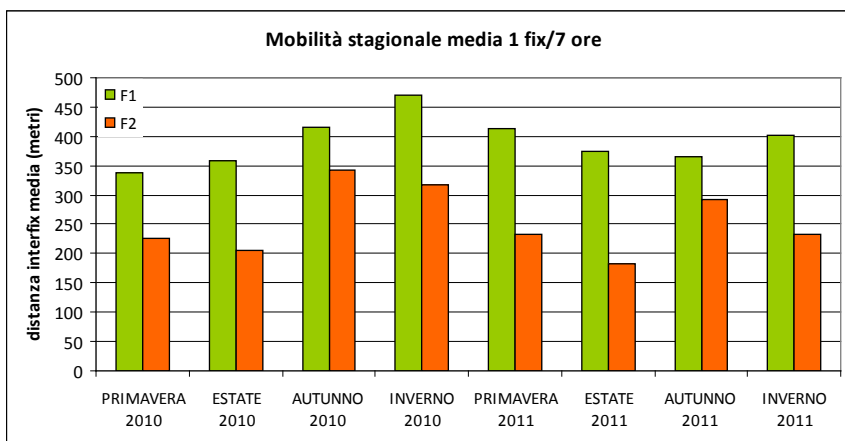


Fig. 2. Mobilità stagionale media delle cervi. 1 fix/7 ore (ottenuti da selezione sui dati 1 fix ora). Periodo di riferimento: 01/04/2010 – 09/02/2012

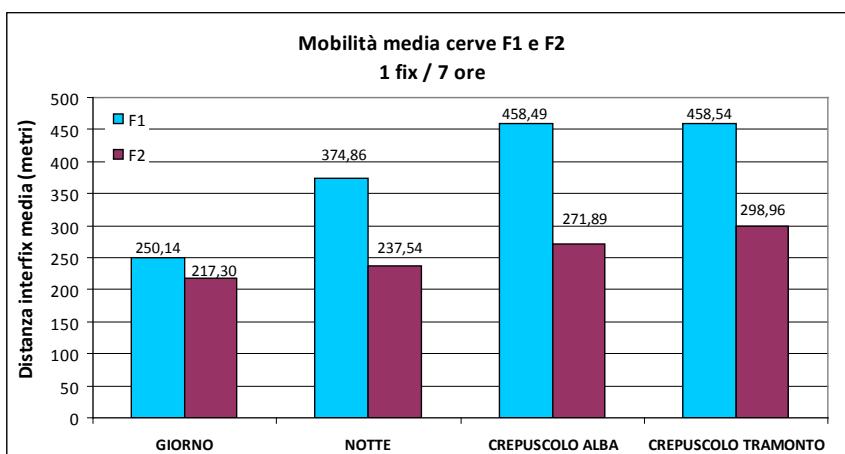


Fig. 3. Mobilità media delle cervi in diverse fasce orarie della giornata. 1 fix/7 ore (ottenuti da selezione sui dati 1 fix ora). Periodo di riferimento: 01/04/2010 – 09/02/2012

quando di solito, secondo la biologia della specie, è più attiva la ricerca dell'alimento.

Calcolo degli home range

Con il termine di *home range* (HR) viene definita un'area familiare che ogni animale occupa e nella quale si muove, svolgendo le proprie nor-

mali attività di ricerca del cibo, riproduzione e allevamento della prole (Burt, 1943). L'utilizzo dello spazio viene modificato nel corso delle stagioni o del ciclo biologico dell'individuo in funzione della disponibilità, della distribuzione e della qualità delle risorse (alimentari, *partner* per la riproduzione, siti di rifugio).

Per individuare i comportamenti stagionali e valutare ipotesi di stanzialità delle femmine nell'area di studio, sono stati calcolati gli home range degli animali monitorati. Poiché i dati di posizione rilevati ogni ora possono essere correlati tra loro, è stata fatta una selezione sui fix disponibili, allo scopo di considerare solamente localizzazioni tra loro indipendenti, utilizzando 1 fix ogni 5 ore. Per la stima della localizzazione spaziale e delle dimensioni degli HR sono stati utilizzati due metodi:

- il metodo KERNEL, molto diffuso in letteratura soprattutto nelle telemetria tradizionale, che si basa sulla definizione di HR come “distribuzione di utilizzo” (Van Winckle, 1975), cioè la distribuzione relativa di frequenza nel piano delle localizzazioni degli animali. Essa descrive quindi la probabilità che un animale sia in un determinato punto del suo home range in un dato periodo di tempo (Powell, 2000) e può essere utilizzata per determinare le aree occupate dall'animale anche se non vi è stato osservato; in particolare abbiamo utilizzato il metodo *adaptive kernel* al 95%, che definisce le aree nelle quali vi è una probabilità del 95% di trovare l'animale; si escludono così possibili escursioni occasionali che non andrebbero considerate come parte degli home range (Burt, 1943).
- il metodo del Local Convex Hull (LoCoH), un metodo innovativo proposto da Getz & Wilmers nel 2004, generalizza il metodo del MCP (Mohr, 1947) unendo tutte le aree costruite entro un numero predefinito di localizzazioni intorno a ciascun fix con numero fisso di localizzazioni: k-LoCoH; con numero variabile di localizzazioni, dato dalla distanza tra i singoli fix: a-LoCoH; (Getz *et al.*, 2004). Anche con questo metodo, come nel Kernel, l'unione dei poligoni ottenuti permette di descrivere la “distribuzione di utilizzo”.

In questo studio è stato utilizzato il metodo del a-LoCoH (*adaptive Local Convex Hull*): i poligoni intorno a ciascuna localizzazione sono stati creati includendo successivamente fix più vicini compresi entro una distanza massima predefinita, variabile “a”, che abbiamo scelto come il massimo valore interfix registrato per ogni animale, ottenendo così un valore diverso e specifico per ciascuna cerva.

Nella tabella 1 sono riportate le dimensioni in ettari degli HR dei due animali in due annate successive di osservazioni.

A fronte di una certa variabilità di ampiezza delle superfici degli home range, rilevabili per ciascun animale sia tra le stagioni che tra i due anni di monitoraggio, si evidenzia una maggiore dimensione per l'HR

Tab. 1. Dimensioni in ettari degli home range stagionali e totali delle due cerva.

Kernel 95%									
	2010				2011				
	prima- verile	estivo	autun- nale	invernale	prima- verile	estivo	autun- nale	invernale	totale
F1	147,60	97,56	101,18	307,84	139,68	89,92	57,66	108,95	183,80
F2	69,31	50,60	173,65	211,57	60,26	32,00	90,13	56,94	106,69

LoCoH 95%									
	2010				2011				
	prima- verile	estivo	autun- nale	invernale	prima- verile	estivo	autun- nale	invernale	totale
F1	115,32	102,96	119,36	304,76	141,56	55,06	55,41	94,67	185,80
F2	38,27	45,61	105,33	114,15	36,04	44,59	83,85	84,91	142,42

totale della cerva F1, che aveva anche mostrato una maggiore mobilità. Per entrambi gli animali, che hanno avuto una strategia spaziale tendenzialmente stanziale, come vedremo più avanti, è osservabile nel 2010 un incremento degli HR autunnale e invernale che potrebbe essere legato all'inizio della stagione venatoria con il conseguente spostamento degli animali dall'area di estivazione verso la Riserva Naturale (cerva F2), ma anche alla maggiore disponibilità locale di frutti secchi e freschi a maturazione scalare durante l'autunno (castagne). Tale disponibilità può aver indotto le Cerve ad ampliare i propri home range includendo temporaneamente quelle aree che offrivano l'alimento migliore o più appetibile, anche se questa tendenza all'ampliamento del territorio utilizzato non si mantiene in maniera analoga nell'anno seguente.

Il confronto tra i risultati ottenuti con i due diversi metodi di calcolo permette di osservare una notevole differenza nelle dimensioni di HR corrispondenti per la cerva F2, che mostra valori di ampiezza notevolmente più elevati quando calcolati con il metodo Kernel; una maggiore uniformità di valori tra i due differenti metodi di calcolo si rileva invece per la F1.

I valori di ampiezza degli HR primaverili e invernali appaiono comunque relativamente inferiori rispetto a quelli ricavati per altre popolazioni europee, che mostrano home dimensioni superiori anche a 400 ha (Mitchell *et al.*, 1977; Szemethy *et al.*, 1998; Bocci A., 2009, comunicazione personale), mentre risultano paragonabili a quelli registrati sulle Alpi (Luccarini & Mauri, 2000; Chiarenzi *et al.*; 2002) e in ambiente mediterraneo (Carranza *et al.*, 1990).

Localizzazione degli home range

Nella figura 4 è illustrata la localizzazione degli HR totali delle due cerva sul territorio, come appaiono in base alla loro definizione con i due diversi metodi di calcolo. I dati rilevati hanno permesso di osservare che i due animali hanno occupato siti diversi, in particolare la F1 frequenta un'area a nord dell'abitato di Montemurlo, mentre la F2 si trova in un territorio adiacente alla Riserva Naturale dell'Acquerino-Cantagallo ed in parte in essa ricadente.

Dalla figura 4 è inoltre possibile osservare che gli HR totali dei due di animali sono risultati di simile conformazione con entrambi i metodi di calcolo utilizzati, che dunque, nel caso specifico, possono essere considerati di analoga validità.

Fedeltà stagionale al sito

Per valutare la fedeltà al sito ed evidenziare eventuali casi di comportamento migratorio o semi-migratorio degli animali che hanno utilizzato ambienti diversi nel corso dell'anno, sono state confrontate le sovrapposizioni stagionali degli home range calcolati.

Come periodi di riferimento sono state considerate le stagioni inverno ed estate.

Il comportamento spaziale stagionale è stato determinato utilizzando una versione modificata dell'indice di Minta (Minta, 1992).

Nel dettaglio, per ciascuna cerva è stata calcolata l'estensione della superficie di sovrapposizione fra home range estivo ed invernale (calcolati con il metodo LoCoH 95%) dello stesso anno; è stato quindi calcolato il "peso" dell'area di sovrapposizione rispettivamente su HR estivo e invernale:

- (area sovrapposizione/HR estivo)*100;
- (area sovrapposizione/HR invernale)*100.

Infine è stata calcolata la media dei due valori ottenendo una percentuale di sovrapposizione media, i cui valori sono riportati nella tabella 2.

Le percentuali di sovrapposizione tra gli HR nelle due stagioni considerate sono risultate alquanto diverse tra i due animali; in particolare la cerva F1, nonostante più elevata mobilità, ha mostrato una maggiore sovrapposizione dei due home range, così che quello invernale appare un ampliamento di quello estivo (figura 5); per la F2 si osserva invece uno spostamento più netto nell'area utilizzata in inverno, che si allunga maggiormente a sud-ovest verso la Riserva Naturale (figura 5) probabilmente sia per l'esigenza di reperire alimento migliore o più abbondante che a causa del disturbo venatorio.

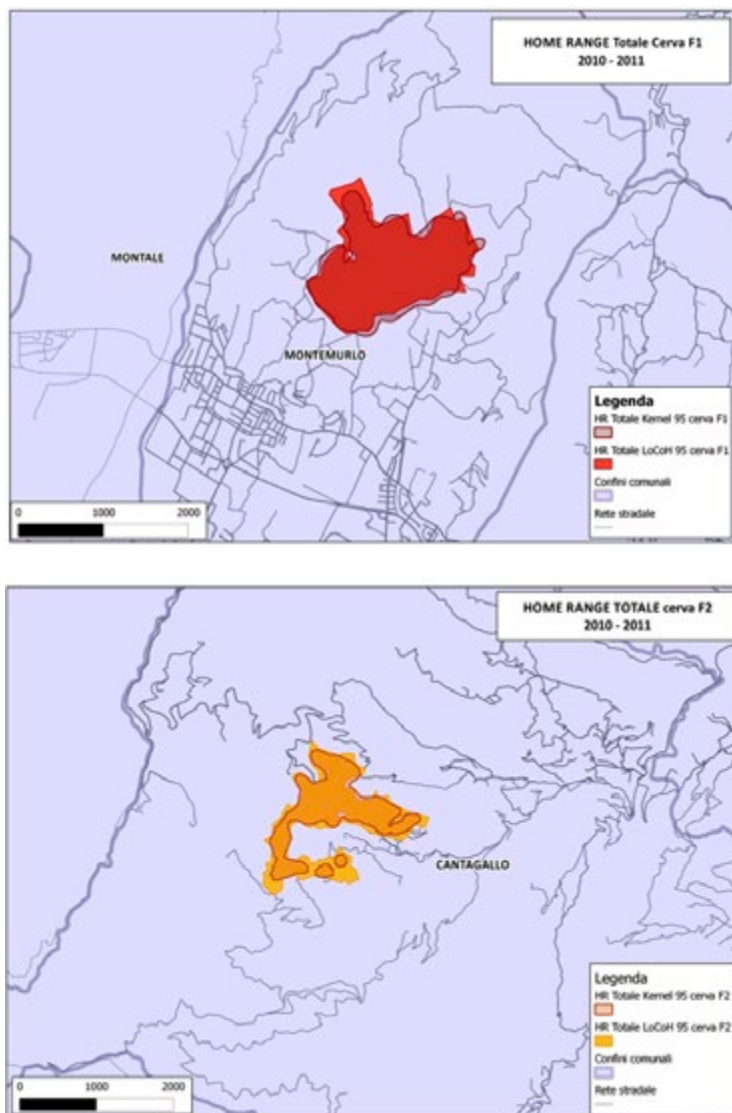


Fig. 4. Localizzazione degli home range totali delle due cerva sul territorio

Per entrambe le cerva tuttavia non si osservano soluzioni di continuità tra gli home range delle due stagioni considerate e le percentuali medie di sovrapposizione risultano comunque rilevanti, pertanto è possibile inquadrare la loro strategia di uso dello spazio come sostanzialmente stanziale.

Tab. 2. Sovrapposizione percentuale media degli home range estivi delle due cerva con quelli invernali

	2010	2011
F1	59%	66%
F2	32%	46%

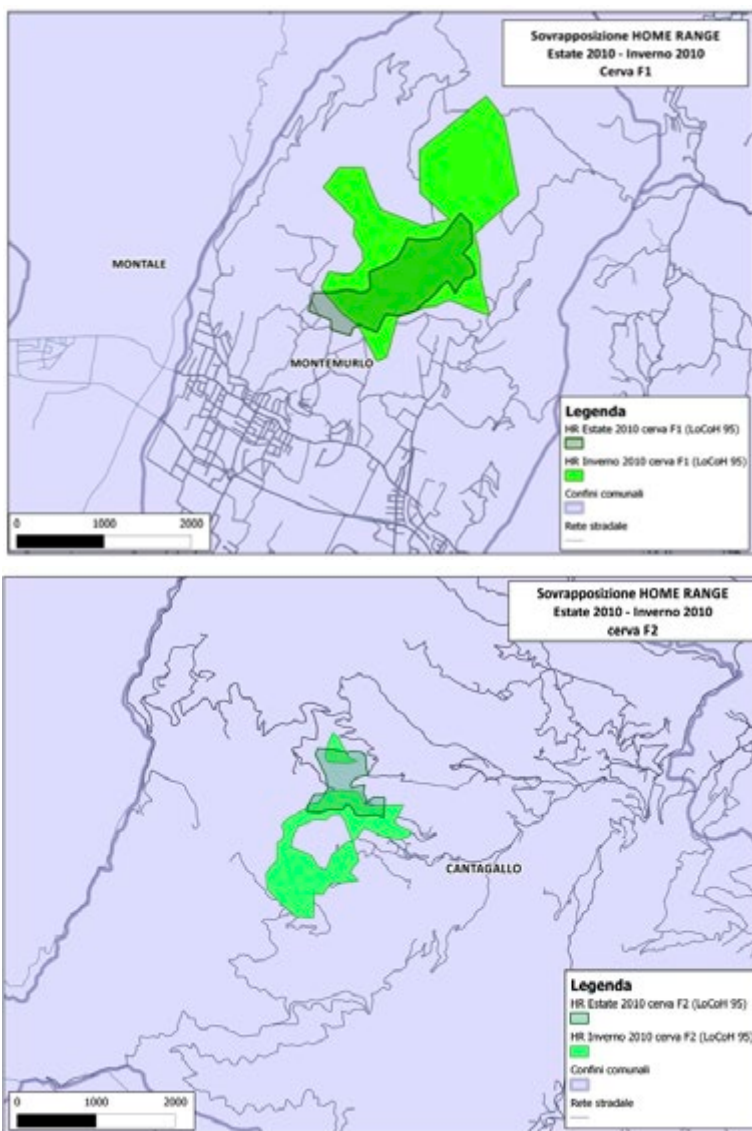


Fig. 5. Localizzazione degli home range totali delle due cerva sul territorio

Composizione degli home range e selezione dell'habitat

Per evidenziare le diverse caratteristiche ambientali dei territori frequentati dai due animali e la loro variazione stagionale è stata rappresentata la composizione degli HR, considerando le seguenti classi di uso del suolo: Edificati e infrastrutture, Strade, Risorse idriche, Arbusteti, Castagneti da frutto, Boschi di conifere, Querceti, Robinieti, Faggete, Altre latifoglie, Oliveti e vigneti, Prati e pascoli, Seminativi, Colture in abbandono.

Le metodiche utilizzate per studiare la selezione dell'habitat si propongono di confrontare l'utilizzazione di una risorsa da parte della specie oggetto di studio in relazione alla sua abbondanza nell'ambiente considerato; l'uso di una risorsa è considerato selettivo se questa viene utilizzata in modo non proporzionato alla sua disponibilità (Johnson, 1980).

Per sottolineare la natura gerarchica della selezione, è stato introdotto il concetto di ordine di selezione (Johnson, 1980): la selezione di primo ordine è definita come la selezione dell'area geografica operata da una specie; la selezione di secondo ordine riguarda la scelta dell'home range all'interno dell'areale selezionato; la selezione di terzo ordine riguarda l'utilizzo delle varie componenti ambientali all'interno dell'home range.

Lo studio della selezione di terzo ordine è stato effettuato per le due cerva considerando separatamente gli home range stagionali calcolati con il metodo LoCoH (95%) negli anni 2010 e 2011. La proporzione di habitat disponibile è espressa come rapporto fra l'estensione di ogni classe considerata e l'estensione dell'home range stagionale

È stato inoltre operato un ulteriore accorpamento delle classi di uso del suolo, per ridurre il numero di habitat da confrontare e per comparare solo le classi più rappresentative, eliminando così gli ambienti poco rappresentati; le categorie presenti all'interno degli home range delle due cerva, dopo la semplificazione, sono le seguenti: Conifere, Castagneto, Faggeta, Querceto, Altre latifoglie, Oliveti e vigneti, Aree aperte.

La composizione ambientale degli home range (valori percentuali) è illustrata nelle figure 6 (cerva F1) e 7 (cerva F2); indipendentemente dalle variazioni stagionali, risulta marcatamente diversa per i due animali che frequentano territori con caratteristiche ambientali differenti. La cerva F1 occupa un territorio a quote comprese tra i 200 ed i 450 m s.l.m., dove sono presenti oliveti e vigneti e la superficie boscata è prevalentemente costituita da querceti e da boschi misti di latifoglie, con una rilevante presenza di prati e pascoli (aree aperte); la cerva F2 frequenta un territorio tra i 600 ed i 1000 m s.l.m., caratterizzato dalla presenza di faggete, querceti, castagneti ed altre latifoglie, con una modesta presenza di prati e pascoli.

Le variazioni stagionali sono principalmente dovute, per la cerva F1, alla frequentazione più assidua di oliveti e vigneti nel periodo autunnale.

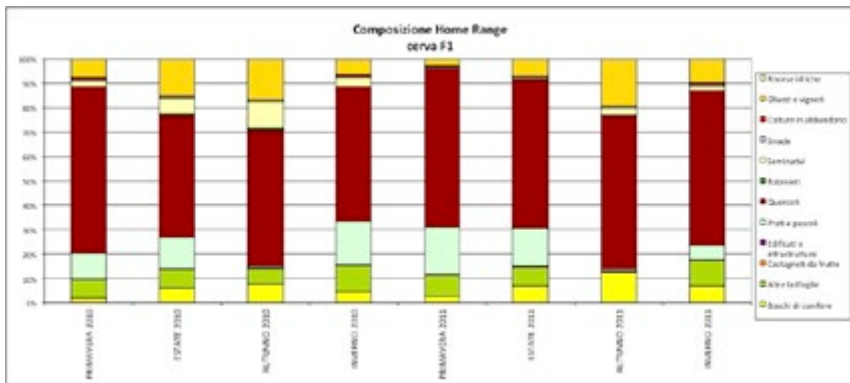


Fig. 7. Composizione degli home range stagionali della cervo F2

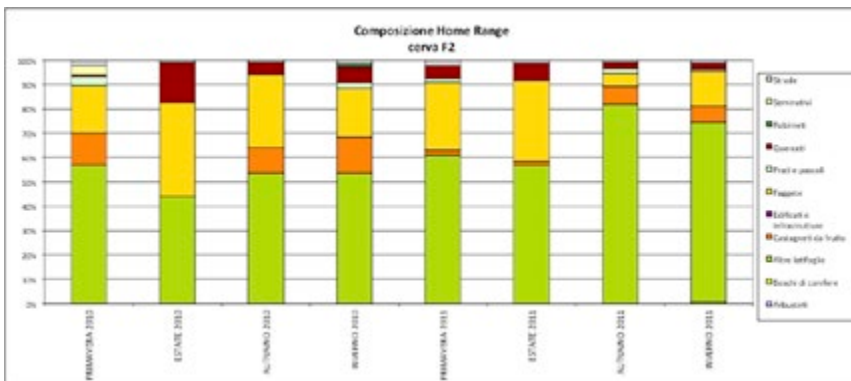


Fig. 6. Composizione degli home range stagionali della cervo F1

La proporzione di utilizzo dei diversi habitat è espressa come rapporto fra il numero di fix rilevati in ciascuna tipologia ambientale ed il numero totale di localizzazioni dell'HR stagionale. Per la valutazione della selezione dell'habitat, i metodi proposti sono molteplici e si basano sul calcolo di indici (Ivlev, 1961; Jacobs, 1974; Strauss, 1979) oppure su analisi effettuate per confrontare disponibilità ed utilizzo, come quella dei limiti fiduciali di Bonferroni (Neu *et al.*, 1974).

Nel nostro caso, la limitatezza del campione non ha consentito di utilizzare alcuni metodi (*Compositional analysis* di Aebischer *et al.*, 1993; Friedman, 1937); è stato perciò scelto di utilizzare l'indice di Jacobs (D_j), in grado di fornire i risultati più aderenti alla situazione reale visibile graficamente dalla sovrapposizione dei fix con le categorie ambientali presenti negli home range stagionali:

$$D_i = (r_i - p_i) / (r_i + p_i - 2 r_i p_i)$$

dove: r_i = proporzione di utilizzo dell' habitat i
 p_i = proporzione disponibile dell' habitat i

L'indice di Jacobs varia da -1 (habitat completamente evitato) a +1 (habitat preferito). Un habitat è stato considerato preferito per valori dell'indice superiori a +0.5 ed evitato per valori inferiori a -0.5.

Nelle tabelle 3 e 4 è riportato per ogni stagione l'ordine di preferenza degli habitat, in base ai valori calcolati con l'indice di Jacobs.

Tab. 3. Ordine stagionale di preferenza degli habitat della cerva F1. In grassetto gli habitat evitati.

	Conifere	Querceto	Altre latifoglie	Aree aperte	Oliveto e vigneto
Primavera 2010	5	1	3	4	2
Primavera 2011	5	2	1	4	3
Estate 2010	4	1	3	2	5
Estate 2011	1	4	5	3	2
Autunno 2010	1	4	5	3	2
Autunno 2011	3	2	5	4	1
Inverno 2010	2	1	5	3	3
Inverno 2011	1	2	5	4	3

Tab. 4. Ordine stagionale di preferenza degli habitat della cerva F2. In grassetto gli habitat evitati.

	Conifere	Querceto	Altre latifoglie	Aree aperte	Castagneto	Faggeta
Primavera 2010	-	5	1	4	3	2
Primavera 2011	-	2	4	3	5	1
Estate 2010	-	3	1	-	-	2
Estate 2011	-	3	1	-	3	2
Autunno 2010	-	4	1	-	3	2
Autunno 2011	-	2	3	1	5	4
Inverno 2010	-	5	4	3	1	2
Inverno 2011	3	5	2	4	6	1

Per semplificare la lettura della tabella, per ogni stagione è stata compilata una graduatoria di preferenza, assegnando posizione 1 al valore più elevato dell'indice D_i , non necessariamente corrispondente al valore massimo +1 che caratterizza gli habitat preferiti; nel caso in cui due o più habitat presentassero lo stesso valore dell'indice D_i , è stata loro assegnata la medesima posizione di preferenza. Sono stati posti in evidenza gli habitat risultati evitati ($D_i < -0.5$); nessun habitat è risultato preferito. Nella tabella è riportato un trattino quando nella stagione considerata non sono stati rilevati fix ricadenti in quello specifico habitat.

In particolare, la cerva F1 (tabella 3) sembra non frequentare volentieri la categoria delle "altre latifoglie", più o meno evitata in tutte le stagioni, tranne che in primavera, mentre tutte le altre categorie sembrano utilizzate anche se in misura diversa nelle stagioni.

Molto più incostanti sembrerebbero le preferenze della F2 (tabella 4) che ha utilizzato nelle diverse stagioni successive habitat diversi, tra i quali la "faggeta" e le "altre latifoglie" sono sempre presenti negli home range in modo consistente e sembrerebbero maggiormente gradite.

A causa della limitatezza del campione, obbligata dalla richiesta rideeterminazione del piano finanziario, questi risultati possono essere solo indicativi delle potenzialità del metodo di monitoraggio di fornire grande varietà informazioni sul comportamento degli animali.

Tuttavia con l'esperienza finora ottenuta è già possibile affermare che la strumentazione GPS/GSM (collari) in uso è proficuamente utilizzabile anche sotto copertura boschiva, almeno per ciò che concerne le diverse tipologie di bosco presenti nell'area di studio.

Frequentazione delle aree limitrofe alle strade

Infine, per l'importanza sempre crescente del fenomeno degli incidenti stradali che vedono coinvolta la fauna selvatica, ed in particolare gli ungulati, è stata rilevata la frequentazione da parte delle cerva monitorate delle aree limitrofe alle strade presenti nei rispettivi home range.

La cartografia relativa alla rete viaria è stata tratta ricavata dalla Carta Tecnica Regionale 1:10.000; attorno a tale rete sono stati creati dei buffer di 10m di ampiezza, alle distanze rispettivamente di 10, 20, 30, 40 e 50 metri dalle strade.

Come area di riferimento è stato considerato l'HR totale (LoCoH 95%); è stata quindi calcolata l'estensione dei buffer all'interno dell'HR e poi la densità di fix (utilizzando il database totale) ricadenti in ciascun buffer (n° fix nel buffer/estensione del buffer in ettari), in modo tale da poter confrontare i valori per le due cerva indipendentemente dall'estensione della rete viaria presente in ciascun home range.

La figura 8 mostra il diverso comportamento delle cerva rispetto alla frequentazione di aree limitrofe alle strade, quindi al potenziale rischio

che queste ultime siano attraversate dagli animali. elevato rischio di attraversamento improvviso.

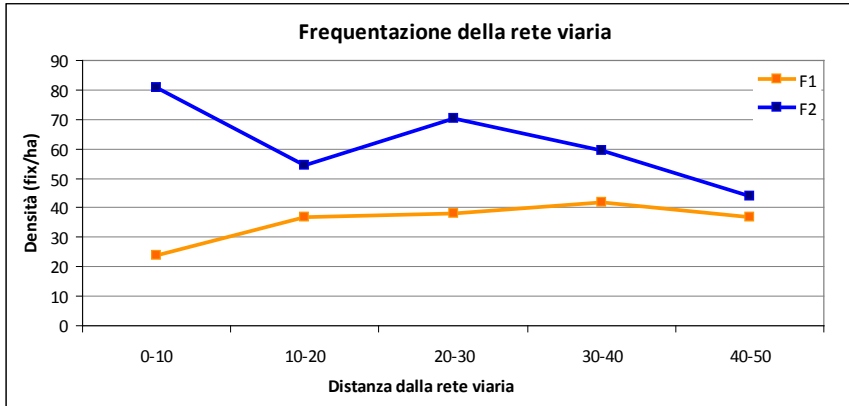


Fig. 8. Frequentazione delle aree contigue alla rete viaria da parte delle cervi.

La cerva F1 risulta presente in maniera piuttosto omogenea entro una fascia compresa tra 0 e 50 metri dalle strade (20-40 fix/ha); per F2 si osservano invece valori generalmente più elevati e, soprattutto una notevole presenza di fix (circa 80 fix/ha) nella fascia compresa tra 0 e 10 metri dalla sede stradale, evidenziando una presenza nettamente maggiore della cerva nelle immediate vicinanze delle strade e dunque un probabile maggiore

Nella figura 9 è illustrata la distribuzione oraria della presenza delle due cervi nella fascia compresa tra 0 e 10 metri dalle strade.

È interessante notare che entrambe le cervi sembrano frequentare maggiormente le aree limitrofe alla sede stradale nelle ore serali e notturne, all'incirca dal crepuscolo del tramonto a quello dell'alba.

Questo risultato conferma quanto già da noi riscontrato in una indagine sugli incidenti provocati dalla fauna selvatica nella regione Toscana, che aveva individuato proprio nelle stesse fasce orarie la maggiore frequenza di incidenti avvenuti (Ponzetta *et al.*, 2009).

Applicazione di sistemi di registrazione ambientale per l'identificazione individuale di cervi maschi adulti nel periodo del bramito

Sempre nell'ambito del monitoraggio a distanza, una seconda parte del progetto, svolta in collaborazione con l'Unità Operativa di Milano,

ha previsto l'applicazione di sistemi di registrazione ambientale per l'identificazione individuale di cervi (*Cervus elaphus*) maschi adulti attraverso l'analisi acustica dalle vocalizzazioni (bramiti) emesse durante il periodo riproduttivo (settembre-ottobre).

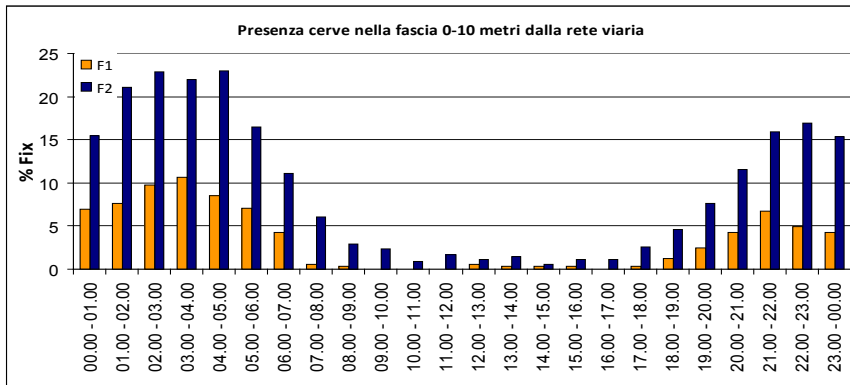


Fig. 9. Distribuzione oraria della presenza delle due cervi nella fascia compresa tra 0 e 10 metri dalle strade.

Infatti, in ambiente appenninico il metodo tradizionale di conteggio per questa specie si basa in autunno sull'ascolto dei maschi bramitanti da parte di operatori dislocati nell'area da censire. Tale metodo, tuttavia, presenta diversi limiti: grande numero di operatori, soggettività nel riconoscimento dei diversi animali bramiti, rischio di doppi conteggi, etc.

Attraverso l'accertamento dell'individualità del bramito, la ricerca rappresenta un primo passo per la proposizione di un sistema informatizzato di riconoscimento dei singoli animali che permetterebbe di semplificare la tecnica di conteggio del censimento al bramito e migliorare l'accuratezza di stima della consistenza della popolazione, ottenuta anche in relazione al numero di maschi bramitati contati.

Materiali e metodi

Durante le due stagioni riproduttive 2010 e 2011 sono stati registrati i bramiti di individui in allevamento, per avere informazioni certe sui singoli soggetti e disporre di maggiori informazioni per ogni singolo animale, e di altri allo stato libero.

Durante ogni registrazione è stata compilata una scheda riportante le condizioni atmosferiche, la composizione del branco e altri dati noti

dell'animale. Sono stati registrati i bramiti emessi durante le ore di luce fino a 30 minuti dopo il tramonto del sole, in modo da poter vedere bene e riconoscere senza dubbi il soggetto che veniva registrato.

Le zone di registrazione hanno compreso comprendono allevamenti e aree aperte, appenniniche e alpine. Per quanto riguarda le zone appenniniche, dal 20/09/2010 al 15/10/2010 sono state effettuate registrazioni individuali di cervi nelle seguenti località (tra parentesi il numero di maschi registrati):

- 5 allevamenti: Galceti, PO (1), Bruscoli, FI (3), Arezzo (1), Panna, FI (2), San Benedetto Val di Sambro, BO (5)
- 3 aree non confinate: Panna, FI (1), Cerreto, PO (1), Poranceto, BO (6)

Per le registrazioni a Poranceto, all'interno del Parco dei Laghi Suviana e Brasimone (BO) sono stati impiegati tre registratori per tre aree confinanti.

La stagione 2011 è risultata poco produttiva in quanto è stata particolare dal punto di vista climatico (caldo fino ai primi giorni di ottobre) ed i cervi hanno bramito più tardi del solito e solo per alcuni giorni. Le registrazioni sono state effettuate dal 7 al 19 ottobre negli allevamenti di Bruscoli (2), Galceti (1), Marradi, FI (1) e Galliano, FI (1). Gli ultimi due allevamenti non erano stati presi in considerazione nella stagione 2010.

I bramiti sono stati registrati utilizzando un registratore portatile digitale (Marantz PMD-620, Marantz®) collegato ad un microfono direzionale professionale (Sennheiser ME67, Sennheiser®). Nell'analisi del bramito sono stati considerati solo i primi 30 minuti di registrazione, cioè fino a quando si riusciva a scorgere l'animale bramitante. Molti bramiti sono risultati inutilizzabili perché sovrapposti oppure con rumori di fondo o non nitidi.

Dalle registrazioni di ogni individuo sono stati "ritagliati" i singoli bramiti (operazione di *labelling*) tramite il programma Adobe Audition, creando nuovi file per ogni bramito e lasciando intatta la sequenza dei *roar* (ogni bramito è composto da uno o più *roar*) per valutare anche le distanze tra questi.

In contemporanea è stato creato un database inserendo, per ogni bramito, il minuto (secondi di inizio e di fine), la durata totale ed eventuali osservazioni (numero di *roar*, *tossi* etc.). I *labelling* così ottenuti, relativi al primo anno di registrazioni, sono stati inviati all'Unità Operativa di Milano che ha operato l'analisi dei sonogrammi, focalizzando la ricerca su 24 variabili dei bramiti, le formanti dalla F1 alla F24.

Con le registrazioni eseguite il secondo anno della ricerca (2011), la U.R. di Firenze ha esteso l'analisi acustica e statistica alla frequenza fondamentale F0 e ad altri fattori quali la durata totale del bramito e la durata di ogni singolo *roar*. Sono stati analizzati 208 bramiti appartenenti a 5 animali diversi.

Per ogni roar del bramito è stata considerata la F0 nell'istante iniziale e finale della ripetizione utilizzando il programma di analisi acustica Avisoft.

I valori ottenuti (in Hz) sono stati analizzati in seguito tramite il software di analisi statistica SPSS, utilizzando l'analisi discriminante DA (McGarigal et al., 2000; Lovari & Rolando, 2004).

Risultati e discussione

I risultati relativi alle registrazioni del primo anno sono riferiti in dettaglio dall'U.R. di Milano: in sintesi, è emersa una differenza interindividuale dei bramiti, anche in base alla presenza di altri soggetti, ai diversi habitat e, come prevedibile, alla classe d'età. Tali primi risultati sono andati dunque a supporto della tesi dell'identificazione vocale.

I vari parametri caratterizzanti le vocalizzazioni ricavate il secondo anno di registrazione sono stati invece sottoposti a *discriminant analysis* (DA), un tipo di elaborazione statistica che, attraverso un'analisi predittiva, riesce ad assegnare l'appartenenza ad un gruppo per le entità di origine ignota e, contemporaneamente, determina quali variabili sono maggiormente correlate con la separazione tra gruppi.

Attraverso l'utilizzo delle nostre variabili discriminanti (frequenza fondamentale F0, durata totale del bramito, durata di ogni singolo roar, etc.) e della natura predittiva della DA, la percentuale di corretta riassegnazione è stata in media del 52%, cioè il 52% dei bramiti sono stati correttamente riclassificati come appartenenti all'individuo che li aveva emessi. La riclassificazione dei bramiti ai diversi individui operata utilizzando le funzioni discriminanti è mostrata nella tabella 5. Il risultato di classificazione corretta delle vocalizzazioni è osservabile lungo la diagonale all'incrocio tra le righe indicanti gli individui e le colonne indicanti la previsione di appartenenza per le rispettive vocalizzazioni.

Le variabili maggiormente legate all'individualità sono risultate, nel nostro caso, quelle temporali (durata totale del bramito, durata di una singola ripetizione) e quelle relative alla frequenza (range iniziale delle frequenze).

Un risultato analogo di corretta riassegnazione (53%) è riferito da Vannoni e McElligott (2007) in un lavoro sulla variabilità acustica dei "common groans" nel daino (*Dama dama*), mentre altri autori, sia per la stessa specie (Reby, 1998; Torriani et al., 2006), che per *Cervus elaphus* (Bocci et al., in press) hanno ottenuto circa il 70%.

In generale gli studi sul riconoscimento vocale condotti per le varie specie hanno dato risultati variabili, e raramente con una corrispondenza completa. Ciò è spiegabile alla luce del fatto che l'individualità vocale è soggetta a una variazione naturale, e che c'è sempre un certo grado di ambiguità nell'identificazione di un individuo. Tuttavia le tecniche di

Tab. 5. Risultati della classificazione dei bramiti operata dalle funzioni discriminanti usate.

	ID cervo	Appartenenza prevista					Totale
		1	2	3	4	5	
conteggio	1	24	6	6	2	0	38
	2	9	16	8	10	10	53
	3	5	2	10	0	4	21
	4	5	3	2	28	13	51
	5	0	4	0	11	26	41
%	1	63,2	15,8	15,8	5,3	0	100
	2	17	30,2	15,1	18,9	18,9	100
	3	23,8	9,5	47,6	0	19	100
	4	9,8	5,9	3,9	54,9	25,5	100
	5	0	9,8	0	26,8	63,4	100

analisi spettrografica e le successive analisi statistiche possono migliorare la capacità di discriminazione (Terry *et al*, 2005).

Da questo studio preliminare sulla possibilità di discriminazione individuale dei cervi bramiti in base alle caratteristiche delle loro vocalizzazioni, emerge l'esistenza di una certa correlazione tra queste e l'individualità dei singoli maschi, anche se i parametri finora individuati non consentono un riconoscimento certo nella totalità dei casi. Inoltre, un importante limite è stato rappresentato dalla numerosità dei soggetti registrati; in future esperienze sarà importante aumentare il numero degli individui campionati e il numero di parametri acustici analizzati.

Nonostante l'obiettivo di un riconoscimento individuale certo non sia stato raggiunto nella totalità dei casi, si può affermare che il metodo individuato rappresenta un buon punto di partenza, soprattutto se impiegato su un più ampio campione di dati rilevati.

Monitoraggio di bovine al pascolo in allevamento semibrado

In analogia al monitoraggio dei selvatici, in collaborazione con l'U.O. Firenze 1, è stato avviato un monitoraggio di bovini al pascolo in allevamento semibrado, situato in ambiente appenninico nella medesima area geografica occupata dai cervi, per indagare sulla distribuzione spaziale degli animali e sulla localizzazione temporale delle principali attività funzionali (alimentazione, movimento, riposo, etc.).

Anche in questo caso sono stati usati collari GPS/GSM, per valutare e quantificare le informazioni ricavabili da questi strumenti tecnologici anche quando applicati agli ungulati domestici. L'utilizzo del GPS può fornire ulteriori informazioni sulle abitudini e sul comportamento alimentare di animali in allevamento semiestensivo, consentendo all'allevatore di attuare i più appropriati interventi gestionali. Il loro impiego risulta inoltre vantaggioso in pascoli disomogenei delle zone collinari e montane appenniniche, per conoscere le modalità di spostamento degli animali, le modalità ed i periodi di utilizzo delle diverse risorse alimentari disponibili, eventuali interazioni con i selvatici.

Materiali e metodi

La sperimentazione si è svolta in una azienda locata nel Comune di San Marcello Pistoiese a nord della località Spignana e a est di Lizzano. L'azienda ha una superficie di circa 80 ettari di cui 25 di prato pascolo artificiale, 35 di pascolo naturale e 29 di bosco.

L'azienda alleva un numero variabile di capi bovini, di razze diverse, oltre a vari soggetti di altre specie domestiche.

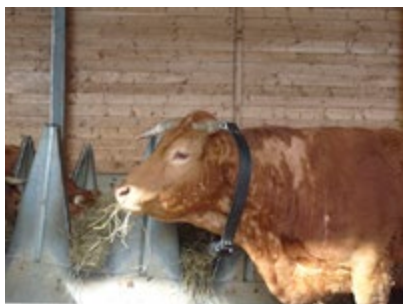
Il pascolo utilizzato si sviluppa a quote comprese tra i 1000 ed i 1200 metri s.l.m., ed è costituito essenzialmente da un mosaico di ambienti aperti come prati e prati-pascolo con diverso grado di copertura arbustiva, in parte ai margini di zone di bosco. I prati-pascolo vengono sfalcati una volta (a giugno) e poi vengono pascolati fino all'autunno, turnando gli appezzamenti; questi vengono utilizzati solitamente prima con le vacche e successivamente con i cavalli e gli asini. Il bosco viene pascolato nel periodo estivo inserendo le superfici boscate nel programma di pascolo per offrire riparo agli animali durante le ore più calde e durante la notte.

Ogni superficie a pascolo è provvista di recinzioni mobili che vengono modificate a seconda delle necessità e delle disponibilità di pascolo o erba da sfalcio. Le vacche, divise in gruppi di razze vengono inserite nel programma di pascolamento da maggio di ogni anno fino a settembre e vengono spostate sulle diverse superfici a seconda del programma di pascolamento e sfalcio previsto, rimanendo comunque sempre libere di muoversi sulla superficie assegnata e quindi allo stato brado per tutta la stagione estiva.

A partire dal 9 maggio 2012, anno in cui sono stati eseguiti i rilievi sperimentali, sono stati portati al pascolo, in alcuni dei recinti aziendali 14 capi bovini, di cui 9 Limousine e 5 Chianine. Pochi giorni prima che gli animali fossero portati al pascolo, è stata eseguita una analisi vegetazionale di tutte le risorse disponibili, con il metodo di Braun-Blanquet, modificato da Pignatti (Pignatti, 1959) che permette anche il calcolo del Valore Pastorale VP (Cavallero et al., 2007) attraverso il contributo percentuale di ogni di ogni singola specie erbacea alla composizione del cotico.

Prima del trasferimento dalla stalla al pascolo, su due bovine, una di razza Limousine ed una di razza Chianina, erano stati applicati i collari GPS/GSM (figura 10), dotati anche di sensori di attività, le cui caratteristiche sono già state descritte in precedenza. I collari, programmati con una frequenza di rilevamento pari ad 1 fix/ora; sono stati attivati nel mese di aprile 2012. I dati rilevati e finora elaborati per entrambi gli animali fanno riferimento al periodo 18 maggio-11 luglio 2012.

B1: Limousine



B2: Chianina



Fig. 10. Le due bovine con radiocollari. B1: Limousine e B2: Chianina

I position fix sono stati ricevuti dalla *ground station*, mentre i dati di attività sono stati scaricati direttamente dai collari, ancora posti sugli animali, tramite un apposito cavetto.

Con i dati delle localizzazioni rilevati nel periodo suddetto è stata eseguita una analisi preliminare della mobilità delle vacche, secondo quanto indicato precedentemente per le cerva.

I collari sono provvisti di sensori che registrano l'attività, misurandola lungo 3 assi x , y , z che rilevano rispettivamente l'accelerazione nei movimenti avanti-indietro, destra-sinistra e alto-basso. L'attività è misurata 4 volte per secondo simultaneamente per i tre assi e viene restituita come valore compreso tra 0 e 255.

In base alla modalità scelta, alla fine di ogni intervallo di tempo pre-stabilito viene calcolato il valore medio dei valori di attività registrati. Per le bovine è stata scelta la modalità che restituisce i valori medi di attività per gli assi x e y ogni 152 secondi.

Per creare alcuni grafici preliminari, relativi all'attività media giornaliera ed oraria degli animali è stato utilizzato il software Activity Pattern (VECTRONIC Aerospace GmbH)

Risultati e discussione

Il gruppo di Limousine, compreso l'animale dotato di radiocollare, è stato portato per la prima volta al pascolo il 09/05/2012., ed è stato inserito in un primo recinto aziendale la cui superficie totale, in base ai rilievi vegetazionali eseguiti in precedenza, è risultata abbastanza eterogenea, costituita per il 40% da una copertura boscosa, per il 5% da copertura arbustiva e la superficie restante da cotico erboso in buone condizioni vegetative e composto da una notevole varietà di specie erbacee.

Nell'insieme il recinto offre un pascolo con un discreto Valore Pastorale, che varia da 29,88 nelle zone parzialmente coperte dal bosco a 55,60 nella parte di pascolo più alta. Nel recinto è inoltre presente un punto acqua nella parte opposta a quella occupata dal bosco.

Dal 25/06/2012 fino al 7/07/2012 le vacche sono state spostate in un recinto provvisorio, che presenta un 10% circa di copertura boscata e per il resto da prato, seminato nel 2011 e sfalcato poco prima di ospitare le vacche. Per questa superficie, che presenta anche un punto acqua nelle vicinanze della superficie boscata, i rilievi hanno permesso di calcolare un buon valore pastorale ($VP = 54,12$).

Successivamente il gruppo di Limousine ha occupato un vasto appezzamento, per circa metà della superficie totale coperto da bosco, che interrompe la continuità nella superficie a pascolo. Le zone di pascolo si distribuiscono per un 20% su un lato del bosco (con basso $VP = 18,60$) mentre la restante parte rimane separata all'estremità opposta e ha presentato un alto valore pastorale ($VP = 62,20$). All'interno del bosco c'è una piccola area aperta, molto frequentata dalle vacche, con un discreto valore pastorale $VP=45,56$. Il punto acqua in questo recinto è un ruscello che scorre sul confine tra il bosco e la superficie a pascolo più povera, quindi le vacche si trovano a dover attraversare il bosco per giungere ai pascoli migliori.

Le vacche Chianine, tra le quali anche il soggetto con radiocollare, sono state introdotte al pascolo dal 18/05/2012, separatamente rispetto alle Limousine, in un recinto che è stato successivamente ampliato nel corso della stagione; l'appezzamento iniziale presenta una superficie boscata (10%) limitata rispetto alla superficie totale di pascolo (40%), ed una zona ampiamente arbustata (50%).

Le superfici migliori di pascolo sono locate nella parte alta della recinzione e hanno presentato un valore pastorale $VP = 29,38$ mentre per le aree più in basso e maggiormente occupate da arbusti e dal bosco il valore pastorale calcolato è risultato inferiore, $VP=19,70$.

Il punto di abbeveraggio si trova in basso, nell'estremità inferiore del recinto, circondato da una piccola superficie erbosa di alto valore pastorale ($VP=54,00$) ma sempre in ombra e quindi non molto utilizzata come pascolo dagli animali stessi.

Questo recinto è stato ampliato il 02/07/2012 quando alla superficie già esistente sono stati aggiunte altre particelle di prato (semina 2011),

sfalciate qualche giorno prima. Per le superfici aggiunte al pascolo sono stati rilevati ottimi valori pastorali (VP variabile da 54,10 a 82,38); questa elevata qualità dell'alimento disponibile attrae maggiormente le vacche verso questi pascoli più alti.

Con i dati relativi alle localizzazioni è stata finora calcolata la mobilità media mensile (figura 11) e giornaliera (figura 12) dei due animali.

Considerando gli spostamenti nei diversi mesi (figura 11) si osserva un incremento della loro ampiezza nel mese di luglio rispetto ai mesi precedenti in entrambi i soggetti. Inoltre la Chianina manifesta una mobilità generalmente maggiore rispetto alla Limousine, anche se la differenza nelle distanze interfix percorse dai due animali diminuisce progressivamente col tempo (la Chianina passa da valori di mobilità di + 31% in maggio rispetto alla Limousine a +9% circa in luglio).

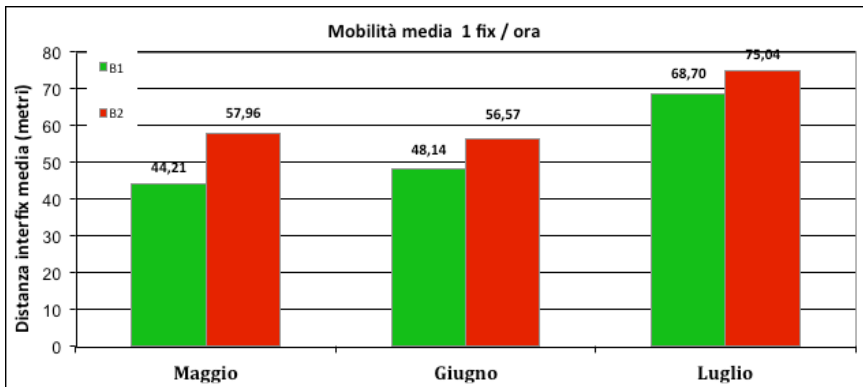


Fig. 11. Mobilità mensile media delle bovine. B1: Limousine; B2: Chianina

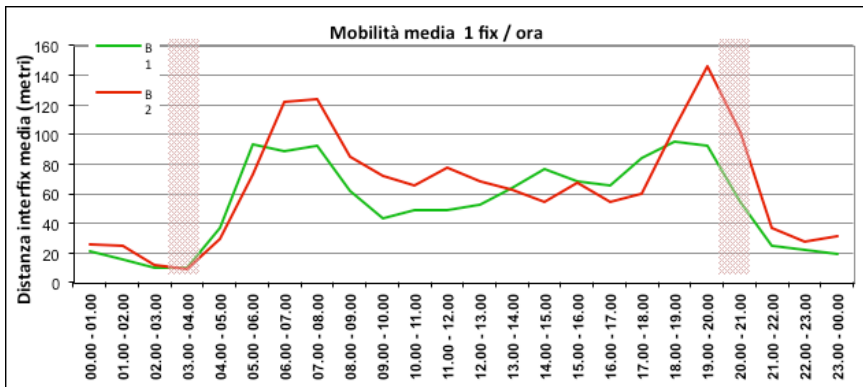


Fig. 12. Mobilità media delle bovine nelle diverse fasce orarie della giornata. B1: Limousine; B2: Chianina. Periodo di riferimento: maggio 2012 – luglio 2012

La mobilità media giornaliera delle due vacche è illustrata nella figura 12. Le fasce orarie evidenziate corrispondono rispettivamente al crepuscolo dell'alba e del tramonto.

Anche da questo grafico appare evidente la maggiore mobilità della bovina Chianina, in particolare in alcuni momenti della giornata. Infatti, se nel periodo tra le 22 circa e le 5 del mattino i valori delle distanze interfix non sono molto dissimili, nel resto della giornata il comportamento degli animali appare alquanto diverso.

Per entrambi i soggetti si rilevano due repentini picchi nella mobilità, in prossimità delle prime ore del mattino (dalle 5 alle 8 circa) e nella prime ore serali, dalle 19 alle 20 circa, picchi che corrispondono probabilmente ad una più intensa attività di pascolo in quei momenti della giornata ed ai quali seguono valori di minore mobilità.

Poiché gli animali sono tuttora al pascolo e non facilmente riconducibili in stalla, solo per la Chianina, che si trovava in un recinto più vicino al centro aziendale, è stato per ora possibile recuperare i dati relativi all'attività, scaricandoli dal collare ancora indossato dall'animale; al rientro definitivo degli animali in stalla verranno recuperati tutti i dati rilevati.

I grafici seguenti (figura 13) riportano l'attività media giornaliera ed oraria della vacca Chianina nel periodo compreso tra il 18 maggio e l'11 luglio 2012. I valori di attività riportati lungo l'asse verticale dei diagrammi sono quelli registrati dal sensore di attività del collare.

Il grafico a sinistra, relativo all'intero periodo maggio-luglio, mette in luce un deciso aumento dell'attività della bovina a partire dalla seconda metà del mese di giugno, che aumenta ancora in corrispondenza dell'inizio di luglio, quando la superficie di pascolo a disposizione delle Chianine è stata ampliata includendo una parte di pascolo di maggior pregio situata in una area più elevata ma distante dal punto di abbeverata.

Questa circostanza ha probabilmente determinato una più intensa attività negli animali, che nel mese di luglio hanno effettuato anche maggiori spostamenti (vedi figura 11).

La distribuzione dell'attività della Chianina nell'arco della giornata (grafico a destra) richiama i risultati ottenuti per la mobilità. Anche in questo caso si rileva un periodo di maggiore attività compreso tra due picchi corrispondenti alle prime ore del mattino (circa le 6) e la sera, tra le 19 e le 20.

Questo risultato, oltre a confermare un comportamento più dinamico degli animali in quegli orari del giorno, legato probabilmente alla più intensa ricerca dei migliori punti di pascolo, mette anche in luce un possibile limite del collare nel rilievo dei dati di attività; le misure di accelerazione rilevate potrebbero infatti essere influenzate dal movimento, in particolare dagli spostamenti del collare sul collo dell'animale mentre questo cammina o corre, a discapito dell'identificazione di altre attività più collegate a movimenti laterali o verticali della testa (alimentazione, ruminazione).

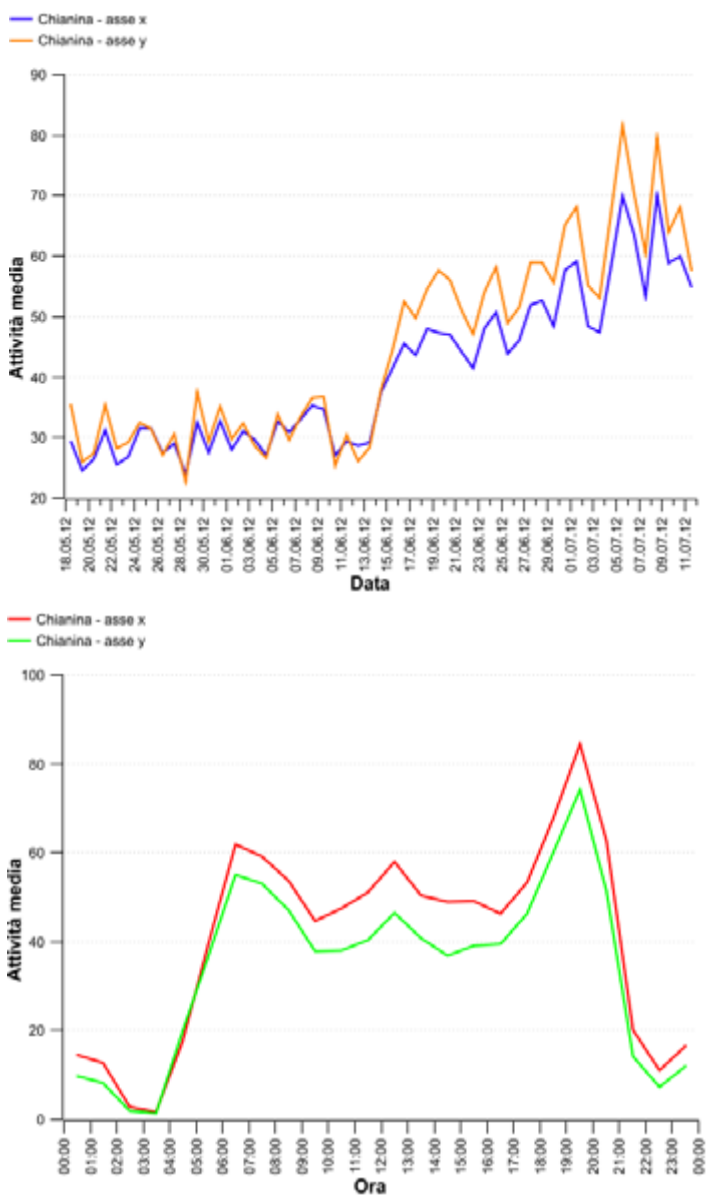


Fig. 13. Attività media giornaliera (a sinistra) e oraria (a destra) della bovina Chianina relativa ai movimenti lungo gli assi. x e y. Periodo di riferimento: maggio 2012 – luglio 2012.

Conclusioni

I metodi testati per il monitoraggio a distanza di ungulati selvatici e domestici hanno fornito risultati interessanti ed evidenziato molte potenzialità di impiego applicato alla gestione tecnica delle risorse faunistiche e zootecniche.

La molteplicità di informazioni ricavabili dai collari GPS/GSM, sia su cervi a vita libera che su bovine al pascolo, potrebbero permettere un concreto passo avanti nella programmazione delle azioni di gestione degli animali. Per fare un esempio, la definizione degli home range dei cervi su un più ampio campione di animali permetterebbe di conoscere la distribuzione spaziale stagionale della popolazione, informazione di fondamentale importanza per dimensionare le unità territoriali di gestione della specie. Altrettanto importante la conoscenza delle preferenze stagionali nell'utilizzo delle diverse categorie di uso del suolo, per attuare interventi localizzati di prevenzione dei danni provocati dalla fauna, sia al settore agro-forestale, che in relazione ad altre tipologie di interazione con le attività antropiche e con l'ambiente (incidenti stradali, problematiche relative a presenza e distribuzione degli ungulati selvatici (ricomparsa dei grandi predatori) danni alla zootecnia estensiva. etc.).

Sempre a fini gestionali, i risultati incoraggianti ottenuti attraverso l'analisi acustica delle vocalizzazioni dei cervi maschi adulti lascia intravedere la possibilità non troppo remota di arrivare mettere a punto un sistema informatizzato di identificazione individuale dei soggetti bramitanti, che porterebbe ad un grande passo avanti nella affidabilità dei risultati ottenuti dai conteggi per le stime della consistenza della popolazione. E' da sottolineare che il metodo non deve essere inteso a sostituzione del censimento tradizionale con operatori, ma come un sistema di supporto da affiancare al primo, in modo da ridurre gli errori che caratterizzano entrambi metodi.

Infine, l'integrazione dei vari metodi proposti potrebbe ampliare notevolmente le conoscenze, in parte ancora carenti, sulla biologia ed etologia sia delle specie considerate che di molte altre.

Naturalmente le ricerche avviate richiedono ulteriori approfondimenti, e, in particolare l'utilizzo di un maggior numero di campioni, aspetto di fondamentale importanza, spesso purtroppo condizionato dalla limitata disponibilità di risorse.

Ricerca finanzia dal MIUR nell'ambito del PRIN 2008 - Integrazione di sistemi tecnologici innovativi per il monitoraggio a distanza di animali.

Ringraziamenti

Gli Autori ringraziano tutte le aziende che hanno permesso il rilievo dei dati sperimentali relativamente ai cervi in allevamento; l'azienda agricola Il Butale per aver permesso l'applicazione dei collari sulle bovine e avere messo a disposizione il personale di stalla per tutte le attività relative alla sperimentazione.

Bibliografia

- Aebischer, N. J., Robertson, P. A., Kenward, R. E. 1993. Compositional analysis of habitat use from animal radio-tracking data. *Ecology*, 74: 1313-1325
- Burt, W.H. 1943. Territoriality and home range as applied to mammals. *Journal of Mammalogy* 24:346-352
- Carranza, J., Hidalgo de Trucios, S.J., Medina, R., Valencia, J., Delgado, J., 1990. Space use by red deer in a Mediterranean ecosystem as determined by radio-tracking. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 30: 363-371.
- Cavallero A., Aceto P., Gorlier A., Lombardi G., Lonati M., Martinasso B. and Tagliatori C. (2007) I tipi pastorali delle Alpi Piemontesi. *Perdisa Ed.*, Bologna, I, pp. 467
- Chiarenzi, B., Macconi, P., Carmignola, G., Pedrotti, L., Mustoni, A., 2002. Studio sulle capacità di spostamento e dispersione del Cervo in Val Venosta. *Istituto Oikos*, Varese.
- Clutton-Brock, T.H., Albon, S.D., 1979. The roaring of red deer and the evolution of honest advertisement. *Behaviour* 69: 145-170.
- D'Eon, R.G., 2003. Effects of a stationary GPS fix-rate bias on habitat-selection analyses. *The Journal of Wildlife Management* 67: 858-863.
- Eastwood, E., 1967. *Radar ornithology*. Methuen, London, United Kingdom, 278 pp.
- Favaretto, A., De Battisti, R., Pavan, G., Piccin, A., 2006. Acoustic features of red deer (*Cervus elaphus*) stags vocalizations in the Cansiglio Forest (NE Italy, 2001-2002). *Razprave IV. Razreda Sazu Lubliana*, 125-138.
- Friedman, M. 1937. The use of ranks to avoid the assumption of normality implicit in the analysis of variance. *Journal of the American Statistical Association* 32: 675-701
- Getz, M., Wilmsers, C.C. 2004. A local nearest-neighbor convex-hull construction of home ranges and utilization distributions. *Ecography* 27: 489-505.
- Godfrey, G.K., 1954. Tracing Field Voles (*Microtus Agrestis*) with a Geiger-Muller Counter. *Ecology* 35:5-10.
- Ivlev, V.S. 1961. *Experimental ecology of the feeding of fishes*. Yale University Press, New Haven, Connecticut.
- Jacobs, J. 1974. Quantitative measurement of food selection. *Oecologia* 14: 413-417

- Johnson D.H., 1980. The comparison of usage and availability measurements for evaluating resource preference. *Ecology* 61(1): 65-71
- Lemen, C.A., Freeman, P.V., 1985. Tracking mammals with fluorescent pigments: a new technique. *Journal of Mammology* 66(1): 134-136.
- Luccarini, S., Mauri, L., 2000. Il cervo in Alta Val di Susa. Comportamento spaziale e uso dell'habitat. Ed. Ananke s.r.l., Torino.
- McComb, K., 1987. Roaring by red deer stags advances the date of oestrus in hinds. *Nature* 330: 648-649
- McGarigal, K., Cushman, S., Stafford, S., 2000. Multivariate statistics for wildlife and ecology research. Ed. Springer
- Minta, S.C., 1992. Testes of spatial and temporal interaction among animals. *Ecological Applications* 2: 178-188
- Mitchell, B., Staines, B.W., Welch, D., 1977. *Ecology of Red Deer*. Institute of Terrestrial Ecology, Cambridge.
- Mohr, C.O., 1947. Table of equivalent populations of North American Mammals. *The American Midland Naturalist journal* 37: 223-249
- Murie, A., 1936. Following fox trails. *University of Michigan Museum Zoology, Misc. Publ.* 32: 1-45
- Neu, C.W., Byers, C.R., Peek, J.M., 1974. A technique for analysis of utilization-availability data. *Journal of Wildlife Management* 38: 541-545
- Otis, D.L., White, G.C., 1999. Autocorrelation of location estimates and the analysis of radiotracking data. *The Journal of Wildlife Management* 63:1039-1044
- Pearson, O.P., 1960. Habits of *Microtus Californicus* revealed by automatic photographic recorders. *Ecological monographs* 30: 231-250
- Pedrotti, L., Tosi, G., Facchetti, R., Piccinini, S., 1995. Organizzazione di uno studio mediante radio-tracking e analisi degli home-range: applicazione agli ungulati selvatici. *Supplemento alle Ricerche di Biologia della Selvaggina* 23: 3-100
- Ponzetta, M.P., Sorbetti Guerri, F., Banti, P., Nuti, S. (a cura di), 2009. Gli incidenti stradali causati dalla fauna selvatica nella Regione Toscana. Analisi del fenomeno nel periodo 2001-2008. Ed. Centro stampa Giunta Regionale Toscana.
- Powell, R.A., 2000. Animal home ranges and territories and home range estimators. In: *Research techniques in animal ecology. Controversies and consequences*. Columbia University Press, New York: pp. 65-110
- Reby, D., 1998. Etude de la communication sonore chez les cervidés. Prise en compte de la dimension individuelle. Thèse de Doctorat de l'Université Paul Sabatier, Toulouse
- Reby, D., Hewison, M., Izquierdo, M., Pépin, D., 2001. Red deer (*Cervus elphus*) hinds discriminate between the roars of their current harem-holder stag and those of neighbouring stags. *Ethology* 107: 951-959
- Rodgers, A.R., 2001. Tracking animals with GPS: the first 10 years. Ontario Ministry of Natural Resources, Centre for Northern Forest Ecosystem Research, Thunder Bay, Ontario
- Strauss, R.E., 1979. Reliability estimates for Ivlev's electivity index, the forage

- ratio, and a proposed linear index of food selection. *Transactions of the American Fisheries Society* 108: 344-352
- Szemethy, L., Heltai, M., Matrai, K., Peto, Z., 1998. Home ranges and habitat selection of red deer (*Cervus elaphus*) on a lowland area. *Gibier Faune Sauvage*, 15 (Hors série Tome 2): 607-615
- Terry, A.M.R., Peak, T.M., McGregor, P.K., 2005. The role of vocal individuality in conservation. *Frontiers in zoology*, 2: 10
- Torriani, M.V., Vannoni, E., McElligott, A.G., 2006. Mother-young recognition in an ungulate hider species: a unidirectional process. *The American Naturalist* 168: 412-420
- Vannoni, E., McElligott, A.G., 2007. Individual acoustic variation in Fallow Deer (*Dama dama*) common and harsh groans: a source-filter theory perspective. *Ethology* 113: 223-234
- Van Winckle, W., 1975. Comparison of several probabilistic home range models. *Journal of wildlife management*, 39: 118-123

2ª SESSIONE

L'INNOVAZIONE TECNOLOGICA
NEGLI EDIFICI AGRICOLI

L'INNOVAZIONE TECNOLOGICA NEGLI EDIFICI AGRICOLI

P. Zappavigna

Dipartimento DIPROVAL, Università di Bologna

Riassunto. Dopo aver individuato alcune problematiche riguardanti le prospettive del settore delle costruzioni all'interno dell'Ingegneria Agraria, viene tracciato un quadro del processo evolutivo che ha interessato, nei vari periodi storici, l'area di ricerca rivolta ai fabbricati per l'allevamento bovino da latte. Questa lettura viene assunta come base per impostare alcune ipotesi circa i possibili sviluppi futuri delle applicazioni ingegneristiche nel campo specifico, da cui vengono individuate alcune linee di tendenza che possono agevolmente estendersi a tutto il settore disciplinare dell'edilizia per l'agricoltura.

Parole chiave: Costruzioni, Agricoltura, Innovazione

Summary. After identifying some issues regarding the prospects of the building sector in Agricultural Engineering, a picture of the evolutionary process that has affected, in different historical periods, the area of research dedicated to dairy housing is outlined. This reading is taken as the basis to set some assumptions about possible future developments of engineering applications in the specific field, from which some trends are identified that can easily be extended to the entire disciplinary sector of the buildings for agriculture.

Key words: Buildings, Agriculture, Innovation

Parlare di innovazione oggi, seppur in un ambito abbastanza circoscritto quale è l'oggetto di questa relazione, risulta particolarmente problematico in quanto lo scenario entro il quale ci stiamo muovendo si presenta molto più ampio e mutevole che in passato. Per un verso, infatti, oltre al fattore utilità d'impresa, che da sempre ha mosso alla ricerca di nuove soluzioni nello svolgimento delle attività umane, pesano oggi, in modo crescente, le attese e le sollecitazioni provenienti dal tessuto sociale; le quali non di rado si pongono in contrasto con l'immediato utile imprenditoriale. D'altro canto la tecnologia, soprattutto quella "fine", produce continuamente accelerazioni che determinano cambiamenti profondi, improvvisi e imprevedibili.

Questi fattori di incertezza accentuano, nel nostro campo specifico, il loro peso in quanto, nello svolgimento dell'attività primaria, all'utile dell'uomo si aggiunge l'utile, per così dire, di un altro organismo viven-

te, animale o vegetale che sia. Del quale le esigenze non sono sempre pienamente note e sono, comunque, mutevoli anch'esse per l'intervento dell'uomo nei processi naturali (caso limite, l'ingegneria genetica).

Questa duplicità di soggetti che compartecipano al processo produttivo, con esigenze alquanto diverse, è d'altro canto l'elemento che da sempre caratterizza (e complica) la nostra disciplina imponendole una visione interdisciplinare che accomuna due campi piuttosto distanti del sapere: il fisico e il biologico. Una specificità che fa del settore dell'ingegneria agraria una scienza di confine, di complessa definizione ma di ampia potenzialità.

Per superare la remora dell'incertezza che grava, per i motivi indicati, sulle prospettive future del nostro settore e dare alla mia relazione una base solida di partenza ho ritenuto utile rifarmi alle nostre radici, partire cioè da una lettura dell'evoluzione avvenuta nel campo delle costruzioni per l'agricoltura e, soprattutto, del percorso fin qui compiuto da quando la disciplina delle costruzioni rurali ha cominciato ad assumere una propria configurazione autonoma. E per dare maggiore concretezza ai miei ragionamenti farò riferimento al mondo della produzione animale, l'ambito della produzione primaria che meglio conosco ed anche quello che per lungo tempo ha assorbito la maggior parte del lavoro scientifico del nostro settore. Una scelta che d'altro canto ritengo pertinente in quanto le considerazioni che verrò sviluppando possono ben attagliarsi, *mutatis mutandis*, anche ai fabbricati per la produzione vegetale fino, al limite, con un piccolo sforzo di adeguamento, agli edifici per la conservazione e la lavorazione dei prodotti. Ogni volta cioè che il biologico si incrocia con il fisico.

Agli inizi dell'edilizia zootecnica troviamo il ricovero. Un termine ancora usato, ma impropriamente in quanto definisce un edificio nelle sue forme più elementari avente la sola funzione di fornire un riparo dalle avversità atmosferiche.

Un concetto superato da parecchi secoli, se non millenni, in quanto già in epoca romana si parlava di stalle come edifici adibiti in modo permanente allo svolgimento della pluralità di attività connesse alla gestione degli animali.

Il passaggio da una semplice tettoia ad un edificio sempre più solido e racchiuso, così da differenziare il clima interno da quello esterno, costituisce il filo conduttore di una storia evolutiva durata millenni. Una evoluzione che per lungo tempo si è svolta secondo una visione antropocentrica, intesa soprattutto a soddisfare i bisogni dell'uomo. Tipico il caso delle condizioni termiche idonee per gli animali, ritenute pressoché identiche a quelle umane e per questo orientate solo alla difesa dal freddo. Altrettanto può dirsi per il passaggio dal pascolo alla stabulazione permanente, motivato non tanto, o non solo, dalla maggiore comodità di gestione della mandria, quanto dall'esigenza di sfruttare al meglio le risorse foraggere.



Fig. 1. Esempio dei primitivi ricoveri per animali (da un affresco del XV secolo)

Già in epoca romana erano tuttavia note, e diffuse in un'ampia trattatistica, molte istruzioni di buone pratiche, relative soprattutto alle condizioni igienico-sanitarie degli animali (molto poco invece ai locali) ritenute valide ancora nel Trecento, tanto che Pier Crescenzi nel suo *Ruralium Commodorum libri*¹ cita spesso Varrone.

Nel Rinascimento troviamo i primi esempi di stalla codificati in una forma edilizia tipizzata, concepiti cioè secondo una visione razionale, "esigenziale", del manufatto edilizio, che tiene maggiormente in conto i bisogni degli animali. Dirà L. B. Alberti: "*si risponderà alle esigenze dei bovini e degli ovini non meno che a quelle di vostra moglie*". In questa fase nasce e si consolida il modello di stalla come tipo edilizio caratterizzato da due file di animali disposti groppa a groppa; probabilmente derivato dalle più pregiate scuderie per cavalli, e inizialmente limitato alle azien-

¹ L'utili stalle son quelle che son poste sopra il sasso, o che son lastricate di pietra, o che hanno suolo di ghiaia o di rena, e che sono alquanto inchinate acciocché l'umor ne possa scolare. Anche deono essere volte al Meriggio per li venti freddi, alli quali dee resistere alcun portico ovvero parato o chiusura... Et deonsi in quelle stalle simigliantemente tenere che di sopra delle vacche si disse cioè nelle stalle lastricate e assettate e ben chiuse, acciocché i loro piedi e l'unghie si conservino senza danno e essi si possano difendere dalle zanzare e mosconi e tafani.

de con disponibilità foraggiere (e fabbisogno di animali da lavoro) tali da giustificare un locale di queste dimensioni. Notevole esempio ne è il progetto, elaborato da Leonardo, di una stalla (o meglio scuderia) con un sistema di caduta del foraggio direttamente in mangiatoia ed abbeveratoi riempiti sfruttando il principio dei vasi comunicanti.



Fig. 2. Progetto di stalla (o scuderia) di Leonardo da Vinci

A questa tipizzazione ha contribuito il continuo perfezionamento delle tecniche costruttive che ha consentito di sovrapporre allo spazio degli animali lo spazio per gli alimenti e i lettini, passando dalle strutture primitive in legname alle più durature strutture in muratura aggregando, in un corpo unico, la stalla e il fienile. La tipologia stalla-fienile si perfeziona e consolida in un organismo edilizio di grande efficienza, sia costruttiva che funzionale, tanto che perdurerà quasi immutato per secoli. Un modello di fabbrica nel quale, come dicevamo all'inizio, prevale ancora decisamente l'esigenza dell'uomo.

L'epoca moderna, con l'avvento di un approccio non più empirico, ma scientifico, aprirà nuovi orizzonti e porterà ad una nuova trattatistica, ove i modelli edilizi risultano ulteriormente perfezionati e consolidati. Una trattatistica più consapevole delle esigenze degli animali. Ad esempio, sul finire del Settecento, F. Milizia scriveva: "*in molte provincie*

avvedutamente si è adottato di rigettare il mal ideato uso di far le stalle basse e pochissimo aerate, e di abbracciar l'altro di costruirle più alte, non a soffitta di legno ma a volta di muro. Non con spiragli, come suol farsi, ma con molte finestre da potersi facilmente chiudere e aprire ”. Già in questo scritto si delinea un altro importante passaggio nell'evoluzione tipologica della stalla, dovuto ad un concomitante progresso sia nella conoscenza dei bisogni degli animali, sia nella tecnica muraria: la stalla a volte con doppio colonnato centrale.



Fig. 3. Stalla ottocentesca con solaio a volta

A questo salto di qualità costruttivo contribuì indubbiamente la concentrazione della proprietà della terra in mano a ricchi possidenti i quali potevano disporre dei capitali necessari per realizzare strutture edilizie indubbiamente assai impegnative per quelle epoche.

A parte alcuni parziali adeguamenti alla continua evoluzione delle tecniche e delle conoscenze, il modello primitivo della stalla a due file “groppe a groppe”, con mangiatoia lungo le pareti, resistette immutato per molti secoli fino al primo Novecento. In effetti esso costituiva una soluzione assai razionale, quantomeno sul piano della funzionalità e della tecnica costruttiva, accorpando in uno spazio minimo tutte le funzioni (alimentazione, mungitura, pulizia, sorveglianza e manipolazione) e tenendo separati i flussi dei diversi materiali: il latte, gli alimenti, le

deiezioni. Non per caso questo modello persiste ancora oggi in varie realtà geografiche italiane e straniere, fra cui gli Stati Uniti ove abbiamo visitato stalle di dimensioni comunemente ritenute non più convenienti. Una tipologia che permetteva altresì di aggregare in un unico volume a due piani, molto efficiente sul piano costruttivo, vari corpi funzionalmente distinti: la stalla (coi diversi reparti), il fienile, l'abitazione, il portico, i locali accessori.

Dovremo attendere l'avvento della meccanizzazione, della mungitura e, soprattutto, del foraggiamento, per trovare una importante modifica della stalla tradizionale, consistente nel ribaltare la posizione degli animali e disporli "testa a testa" in modo da permettere il passaggio dei mezzi di distribuzione del foraggio (e la stesura di quello fresco) in un'unica larga corsia centrale. Una soluzione consentita anche dall'introduzione di nuove tecniche costruttive che, grazie all'impiego di nuovi materiali (acciaio e calcestruzzo armato), permetteva di avere la pianta libera senza più necessità di pilastri intermedie. Tale da rendere obsoleto il vecchio modello a corpi aggregati con il fienile sovrapposto alla stalla.

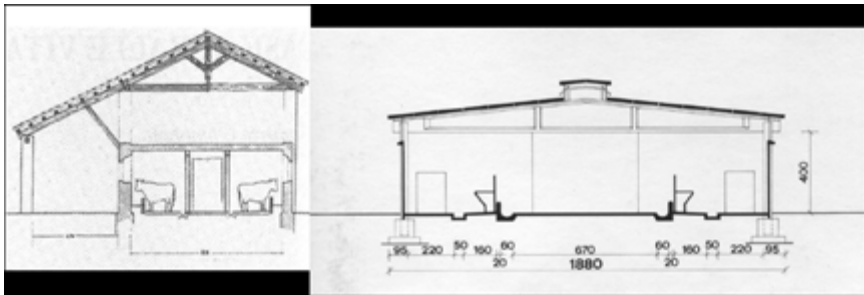


Fig. 4. La stalla fissa nella versione tradizionale e in quella moderna

Questa fase di "prima meccanizzazione", che occupò l'avvio del XX secolo, segna anche la nascita dell'ingegneria agraria come disciplina atta ad abbracciare insieme le diverse competenze: quelle tipicamente ingegneristiche, edilizie e meccaniche, e quelle di tipo biologico, più attente alle esigenze degli animali. Questa nuova disciplina nasce infatti a inizio Novecento nel Nord Europa e negli Stati Uniti e si sviluppa da noi soprattutto nel secondo dopoguerra. Oltre a contribuire alla sostituzione delle ristrette e poco efficienti stalle in muratura con edifici assai più ampi, ariosi e a pianta libera, essa dedicherà una sempre maggiore attenzione all'organizzazione dello spazio interno, curando il dimensionamento preciso delle diverse zone funzionali nonché il miglioramento dei par-

ticolari costruttivi e delle attrezzature (v. il passaggio da posta lunga a posta corta e l'evoluzione degli attacchi "tipo Olanda").

La meccanizzazione della mungitura risultò determinante nella successiva e ben più significativa "rivoluzione" del sistema di stabulazione, consistente nel passaggio dalla stalla "fissa" alla stalla "libera"; dapprima con zona di riposo "a lettiera" e poi "a cuccette". Ancora una volta un progresso guidato dalla ricerca dell'utile dell'uomo (la riduzione del tempo e della fatica) che però, grazie a una intelligente osservazione del modo di comportarsi degli animali (ovvero l'adattamento all'uso di spazi delimitati e il comportamento gregario) coniugava felicemente il soddisfacimento delle esigenze umane con il miglioramento del benessere animale. Un passaggio che potremmo datare, per l'Italia, ai primi anni Sessanta, ancora una volta importandone il modello da antecedenti esperienze nordeuropee e americane.

E' stato per me molto interessante rivedere, per questa occasione, alcuni vecchi testi e atti di Convegni, frutto di un lascito del prof. Pratelli all'allora Istituto di Edilizia Zootecnica di Reggio Emilia. E constatare come, a cavallo del secondo dopoguerra, il nuovo e il vecchio, residuo di una tradizione plurisecolare, abbiano continuato a coesistere prima che il nuovo prendesse il sopravvento. Un "Prontuario dell'agricoltore e dell'ingegnere agrario" (Niccoli, ed. Hoepli) pubblicato nel 1936 esauriva in meno di una pagina l'argomento stalle con solo pochi dati sul dimensionamento e nulla sulla tematica ambientale, tranne indicazioni sulle altezze (fra 2,20 e 3,6 m) e sul volume a capo (22-25 m³).

Ancora nel 1946, A. Edallo, nella sua "Ruralistica", pur affrontando in modo razionale (secondo un principio di modularità) il dimensionamento spaziale, si limitava alle sole stalle fisse (seppur più ampie, con altezze comprese fra 3 e 4 m e un volume a capo di 22-35 m³), segnalando l'esigenza di indirizzare flussi di aria fresca verso la testa dell'animale (senza scendere sotto ai 12 °C) mediante finestre con davanzale molto basso, fino a 30 cm (sic!) dal pavimento della corsia.

L'apertura della cultura scientifica del dopoguerra ai Paesi più avanzati (G. Pratelli andò un anno in America proprio in quel periodo) fece sì che nel 1956 si trovi, nel testo "Costruzioni rurali" di Stefanelli, un'ampia trattazione anche delle stalle a stabulazione libera (definite allora "stalle aperte"), indicate come soluzioni dotate di vari vantaggi (ancora non si parla di cuccette, ma solo di lettiera) e già presenti in Lombardia. Altrettanto fece Pratelli nel 1961 descrivendo, ancor più diffusamente, la stalla libera con zona di riposo a lettiera nel volume "Fabbricati d'esercizio per le aziende agricole", parte del trattato Architettura pratica di P. Carbonara.

Nel 1964 si tenne il Primo Convegno Nazionale di Edilizia Rurale, a Piacenza, promosso dal prof. Pratelli allora direttore dell'istituto di Costruzioni Rurali di quella Facoltà.



Fig. 5. Frontespizio degli Atti del I Convegno Nazionale di Edilizia Rurale

Questo evento costituì un importante punto di sintesi dei notevoli progressi scientifici compiuti nell'arco di un decennio o poco più, ottenuti in buona misura grazie al decisivo contributo di allevatori particolarmente portati all'innovazione. Nella relazione generale il prof. Pratelli indicava la stalla libera (così da lui definita per la prima volta) come un sistema di stabulazione più efficiente ed evidenziava i vantaggi della suddivisione della zona di riposo in cuccette (allora denominate celle). Insieme a questo egli segnalava anche la novità costituita dal pavimento fessurato.

Nello stesso convegno altre relazioni di docenti di Ingegneria Agraria sottolineavano i principali aspetti innovativi: il prof. Ricci (Bari) poneva in luce i notevoli vantaggi della prefabbricazione, soprattutto in ordine alla riduzione dei costi; il prof. Columbo (Milano) presentava una sistematizzazione spaziale della stalla libera fornendo dettagli sulla soluzione a cuccette, allora alle prime esperienze (le prime realizzazioni in Lombardia venivano riferite al 1962). Si trattava però di cuccette molto più corte delle attuali (2,0 x 1,1-1,2 m), senza paglia ed, eventualmente, con pavimento fessurato in corsia, ritenute idonee anche per un adattamento delle stalle fisse.

Nello stesso convegno, un relatore del settore zootecnico, sottolineava come novità il fatto che le bovine resistano bene al freddo. Fatto oggi scontato; ma ancora nell'edizione del 1976 il Manuale dell'Agronomo indicava come fascia ottimale di temperatura per le vacche da latte il *range* 4-21°C.

Gli anni Sessanta costituirono dunque, per il nostro settore, un periodo di intensa attività, di notevoli progressi conoscitivi e di forte innovazione. L'azione dei colleghi pionieri di allora era in quell'epoca rivolta soprattutto agli aspetti dimensionali e costruttivi delle stalle, tanto dello spazio interno (dettagli funzionali, modularità, uso dei materiali), quanto dell'assetto edilizio esterno, con la proposta di nuove soluzioni strutturali basate soprattutto sull'uso di laterizio e calcestruzzo armato (prendeivano piede le volte in latero-cemento) e sull'impiego di materiali isolanti.

Una concezione allora dominata dall'ottica dell'industrializzazione costruttiva e gestionale, che vedeva l'animale quasi come un oggetto seriale e gli allevamenti come una sorta di catena di montaggio. In questa direzione acquisiva importanza il tema della standardizzazione edilizia verso cui spingeva l'incipiente prefabbricazione.

Nello stesso periodo cominciava ad assumere importanza, grazie soprattutto al contributo di studiosi stranieri, il tema del perseguimento delle condizioni ambientali ottimali: temperatura e umidità dell'aria dapprima, gas e polveri successivamente. Pratelli ne fu, in Italia, un precursore. In un articolo pubblicato nel 1954 su *La termotecnica*, frutto della sua permanenza alla Purdue University, egli proponeva un modello di calcolo del bilancio energetico di un edificio impostato in termini di calore sensibile e calore latente.

Un campo di studio che fu proseguito con successo dal prof. Chiappini anche con la sua partecipazione ad importanti Working Group della CIGR.

La crisi petrolifera del 1973 richiamò l'attenzione sul problema dell'approvvigionamento energetico e determinò un fervore di nuove iniziative anche nel nostro settore. Cito, solo come esempio, i lavori di Chiappini (in parte insieme a Barbari) sugli essiccatoi solari per foraggi, sugli scambiatori di calore, sui tubi interrati. Nello stesso periodo nasce l'interesse per il biogas.

Possiamo definire anche questo un passaggio epocale, una svolta nel modello di sviluppo che offriva buone opportunità per la nostra ricerca; ma il nostro settore non ha saputo approfittarne in quanto, dei molti che avevano iniziato, solo pochi hanno continuato ad occuparsene ed oggi del tema si sono appropriati soprattutto talune istituzioni extrauniversitarie e, nell'Università, i colleghi del settore meccanico. Ancor più da rimpiangere questo abbandono in quanto tali tematiche hanno assunto una notevole importanza e sono oggi tra quelle nelle quali si investono le maggiori risorse di ricerca.



Fig. 6. Scambiatore di calore con tubi immersi nel liquame

Spazio, materiali e microclima, i filoni storicamente privilegiati, hanno così continuato a caratterizzare la nostra ricerca per tutti gli anni Settanta e buona parte degli Ottanta. Basti citare, nel campo del dimensionamento spaziale, il continuo aggiornamento dei valori per adeguarli, da un lato, alla crescente taglia degli animali (specialmente le cuccette e i relativi accessori) e, dall'altro, all'introduzione di nuovi apparati meccanizzati (v. l'intensa evoluzione delle sale di mungitura). Per quanto riguarda i materiali e le tecniche costruttive pensiamo alle proposte di strutture semplificate (i cosiddetti *cow kennel*) di possibile autoconstruzione anche grazie ad un rinnovato interesse per l'impiego strutturale del legno (sia in massello che in lamellare), oppure all'introduzione dei materassini sintetici per poste e cuccette.

Nel campo ambientale pensiamo agli studi sui criteri progettuali per la riduzione dello stress da caldo e ai sistemi di raffrescamento degli animali.

Verso la fine degli anni Ottanta intervengono però nuovi potenti *drivers* di innovazione: si tratta delle direttive comunitarie in materia di riduzione dell'inquinamento (reflui ed emissioni gassose), di benessere animale (specialmente vitelli, avicoli e suini), di produzione organica, di sicurezza del lavoro, con le conseguenti leggi nazionali. Sono il frutto



Fig. 7. Stalla in legno autocostruita con materiale aziendale

normativo di una nuova e crescente attenzione sociale verso aspetti qualitativi delle produzioni animali precedentemente ignorati o trascurati: il contenimento dello spreco energetico, la qualità e salubrità dei prodotti, le condizioni di lavoro, la difesa dell'ambiente e del paesaggio, il benessere degli animali. Fattori di cambiamento delle modalità di organizzazione e gestione della stabulazione che da qui in poi agiranno sempre più potentemente nel modo di produrre e che saranno determinanti anche nel prossimo futuro.

Al tempo stesso cominciano ad agire, sul versante tecnologico, altre spinte ancor più potenti verso una trasformazione del modello consolidato di stalla: si tratta dell'introduzione dei sistemi di controllo e gestione degli animali con procedure informatizzate, da un lato, e, dei dispositivi robotizzati per la mungitura, dall'altro, affermatasi a partire dagli anni Novanta.

Ricordo al riguardo un Forum sull'automazione della stalla da latte organizzato nel 1993 dal prof. Chiappini sotto l'egida dell'allora AIGR, e pubblicato su *L'Informatore zootecnico*, in cui alcuni interventi, anche di esponenti del nostro settore, sollevavano ancora dubbi sul successo dei robot di mungitura. E invece possiamo dire che non solo i sistemi informatizzati di monitoraggio e i robot di mungitura hanno conseguito una piena affermazione, ma che questi campi di innovazione si pro-

filano ancora oggi, come riprenderò in seguito, quali protagonisti dello sviluppo futuro.

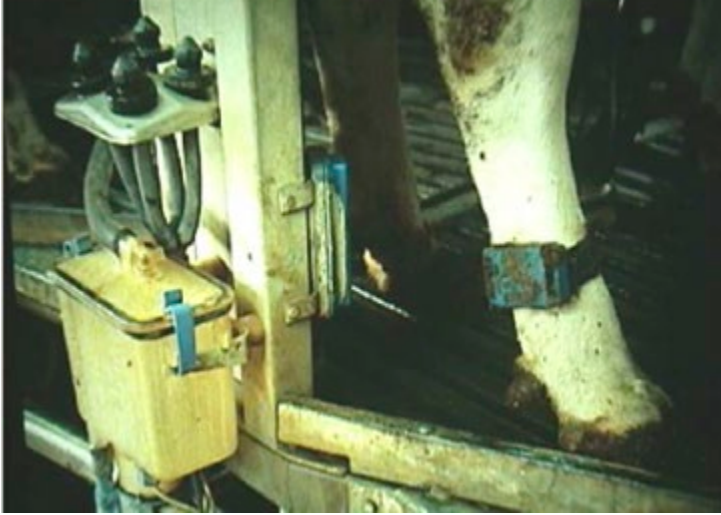


Fig. 8. Pedometro e lattometro

Ciò non significa che perderanno interesse i filoni di ricerca di tipo più tradizionale: le strutture, i materiali costruttivi, il controllo delle condizioni climatiche. Da declinarsi sempre più però, come dicevo all'inizio, in chiave di sostenibilità.

In tema di materiali e strutture resterà ancora importante l'obiettivo del contenimento dei costi, ma esso andrà perseguito non tanto con riguardo al solo investimento iniziale, quanto piuttosto ai costi, o mancati redditi, differiti nel tempo, conseguenti a carenze progettuali o gestionali: insufficienze dimensionali, particolari costruttivi o attrezzature non conformi o traumatici, materiali non confortevoli ecc.

Proprio per questo si va affermando la tendenza ad incrementare sempre più gli spazi interni, specie quelli riservati agli animali. Così un Working Group della CIGR ha in programma l'aumento di tutti i parametri dimensionali riportati nel Dairy Housing Report del 1984 con una nuova versione in via di pubblicazione. Parimenti si tenderà a creare involucri edilizi più ampi per compattare i percorsi dato il continuo aumento delle mandrie stabulate.

In chiave di sostenibilità si farà sempre maggiore attenzione al benessere degli animali studiando materiali di finitura e attrezzature sempre più *animal friendly* (es. divisori di appropriato design, pavimentazioni piene e fessurate in gomma, lettieri-compost).



Fig. 9. Cuccette con divisori e pavimentazioni orientati al benessere animale

Ad ogni nuovo edificio si applicheranno i principi dell'eco-costruzione fra cui il Life Cycle Assessment, al cui riguardo sono particolarmente interessanti alcune esperienze francesi; ed è probabile che si arrivi, anche per questi prodotti, a marchi di certificazione ecologica.

I principi dell'ecologia applicati alla stabulazione porteranno a dare maggiore importanza all'impiego razionale delle risorse: quelle già oggi sottoposte a controllo (alimenti e reflui), ma anche quelle ancora piuttosto soggette a sprechi, in particolare acqua ed energia. Oltre ad un risparmio dei consumi dato da più efficienti impianti (es. illuminazione) e macchine (es. distributori di alimento) si punterà: per l'acqua, al recupero di acque di pioggia e al riuso, con trattamenti appropriati, di acque a bassa concentrazione di inquinanti; per l'energia, alla promozione di fonti rinnovabili (biomasse, solare, eolico ecc.). Per il risparmio energetico sono stati proposti dei metodi di diagnosi atti a valutare i consumi di ogni terminale utilizzatore e, per comparazione con standard ottimali, ad evidenziare i punti più meritevoli di interventi migliorativi. Per la produzione di energia rinnovabile saranno utili modelli previsionali capaci di valutare preventivamente i ritorni delle diverse soluzioni alternative. Un recente studio francese prevede che in futuro le aziende agricole diventeranno produttrici di energia positiva, ossia di surplus energetici da cedere all'esterno.



Fig. 10. Soluzioni edilizie personalizzate, a basso costo, di qualità ed ecosostenibili.



Fig. 11. Accorgimenti strutturali ed impiantistici per la difesa dal caldo.

Il tema dell'energia si incrocia strettamente con il tema, classico, del controllo microclimatico. Infatti, oltre a continuare nella ricerca di sistemi costruttivi a più efficace azione termica, in particolare per la difesa dal caldo (per cui oggi si va verso stalle sempre più alte), si dovranno affinare le ricerche per l'ottimizzazione degli impianti di ventilazione e di raffrescamento artificiali.

Anche in questo campo la produzione di una modellistica atta a simulare gli effetti sull'ambiente e sugli animali costituirebbe un importante ausilio.

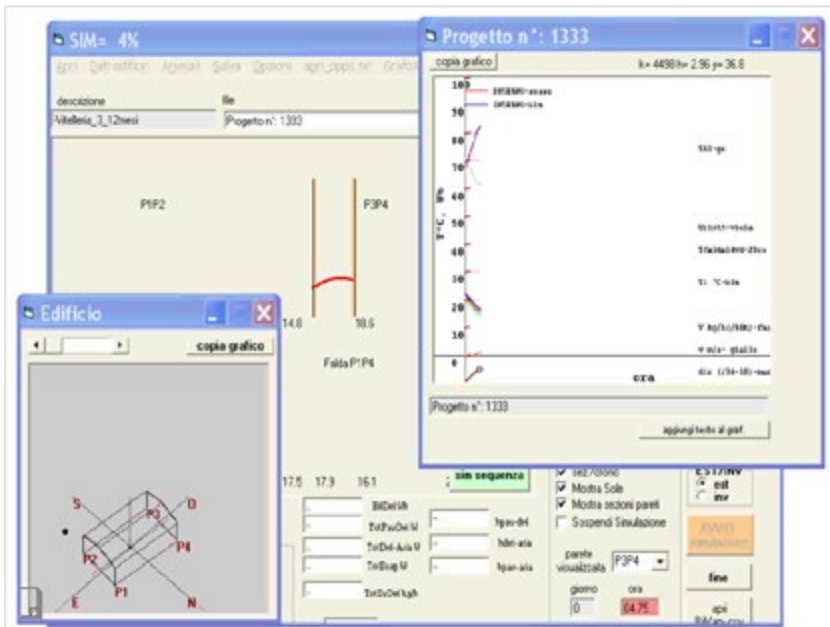


Fig. 12. Schermata di un software per la determinazione dei parametri termoigrometrici interni.

L'uso della ventilazione meccanica, potrà diventare, grazie all'energia prodotta in loco, una scelta conveniente anche nelle stalle per bovini.

Altro importante tema in chiave di sostenibilità è quello della gestione dei reflui e del controllo delle emissioni. Certamente si dovrà lavorare molto nella ricerca di sistemi a bassa emissione di gas clima-alteranti, dalla pulizia allo stoccaggio. Un notevole interesse stanno attualmente riscuotendo, come citavo prima, le zone di riposo su lettiera- compost, in cui lo strato di lettiera (solitamente segatura) anziché addizionato

continuamente di nuovo materiale viene solo rivoltato periodicamente favorendone la fermentazione aerobica. Una soluzione che, se ben funzionante, offrirebbe molti vantaggi associando benessere animale, risparmio di lettimi, eliminazione dei problemi di stoccaggio e di diffusione di odori, facilità di utilizzo agronomico.



Fig. 13. Stalla con lettiera-compost.

La maggior parte dell'innovazione verrà, come si diceva in precedenza, dall'automazione e dalla gestione informatizzata degli animali, grazie ad una sempre più stretta integrazione fra dispositivi di monitoraggio, continuamente implementati (v. il recentissimo NIRS per l'analisi *on line* del latte), apparecchiature robotizzate sempre più efficienti (dopo i robot di mungitura sono venuti i robot per la pulizia e ora stanno arrivando i robot per la distribuzione degli alimenti), e software gestionali sempre più esperti.

Si configura così, in prospettiva, una concezione della stalla non più solo come contenitore, ma come sistema integrato di produzione uomo-macchina-animale grazie ad una totale automazione delle operazioni e ad una gestione personalizzata della mandria (*precision farming*). Questa



Fig. 14. Carro-robot per la preparazione e la distribuzione automatica degli alimenti.

evoluzione sposta inevitabilmente l'attenzione della ricerca dall'edificio come involucro al suo funzionamento interno, governato con sempre maggiore efficienza da macchine ed impianti che fanno ricorso all'elettronica, alla meccanica fine, all'informatica, alle bioscienze, per il quale si impongono approfondite conoscenze sull'animale e sulle sue esigenze. Ciò può risultare spiazzante per molti di noi, formati dall'ingegneria classica (o dall'architettura), e dà a mio parere ragione di un recente affievolimento del nostro impegno in questo campo. Ma tutta la ricerca internazionale di questi ultimi anni va in tale direzione e questo costituisce indubbiamente una sfida per il nostro settore e sollecita un impegno, per chi voglia lavorare ancora in questo campo, ad acquisire sempre maggiori conoscenze specifiche, in proprio e/o con collaborazioni più strette con altri ambiti scientifici.

Nell'edificio-macchina che abbiamo ipotizzato anche il controllo ambientale dovrà essere più efficiente e gestibile in tempo reale: attraverso il controllo automatizzato delle aperture, dei sistemi di ventilazione e degli impianti di raffrescamento, secondo le informazioni ottenute dai sistemi di monitoraggio di cui sopra.

Uno studio Olandese avviato a inizio 2000 prefigurava la stalla del 2025 come una stalla completamente automatizzata, con forte attenzione alle problematiche energetiche e ambientali e alla qualità del lavoro

umano. Una previsione che, grazie all'introduzione recentissima dei robot per l'alimentazione, con cui si completa un quadro di possibile robotizzazione totale, potrebbe effettivamente realizzarsi, quanto ad aspetti tecnologici, nei tempi previsti. Ma più difficilmente si potranno raggiungere i risultati attesi da tale studio sul piano delle ricadute ambientali e sociali (riduzione degli impatti, minori sprechi di risorse, condizioni di lavoro meno faticose e più gratificanti). Probabilmente, infatti, si tratterà per lungo tempo di soluzioni accessibili solo a limitate fasce di allevatori particolarmente dotati economicamente e volti all'innovazione, le quali continueranno a coesistere con sistemi pur a meccanizzazione spinta, ma non automatizzati. Come l'esperienza moderna ci ha rivelato, il fattore tecnologico evolve molto più rapidamente del fattore umano che rimane, in ultima analisi, quello decisivo.

L'obiettivo della sostenibilità ci induce ad auspicare che tali innovazioni non portino ad un ulteriore rafforzamento di quella tendenza spinta alla standardizzazione degli edifici che ha caratterizzato per lungo tempo la ricerca del nostro settore e che è stata portata a un limite estremo nel settore avicolo; ove si è raggiunto un grado pressoché totale di automazione che ha favorito la realizzazione di edifici iper-dimensionati e iper-tecnologici in cui gli animali sono ancora considerati come soggetti passivi e privi di individualità.



Fig. 15. L'interno di un edificio per galline ovaiole in gabbia.

Questa tendenza ha già trovato un certo freno nelle direttive sul benessere e sulla tutela dell'ambiente e potrà subire ulteriori sollecitazioni verso un assetto più equilibrato ed eco-compatibile da nuove e più stringenti condizioni di sostenibilità e dal mutamento dei modelli sociali di consumo.

I fabbricati zootecnici del futuro, per quanto altamente tecnologici, non dovranno essere “macchine di serie”, ma ciascuno un modello unico, personalizzato in ragione delle specifiche esigenze dei fattori produttivi propri di ciascun allevamento (animali, macchine, condizioni locali, condizioni di filiera e di mercato). Una sorta di *precision building* in cui il fattore umano acquisterà sempre più rilevanza: i conduttori d'azienda, in primis, ma anche i progettisti-tecnologi che dovranno parimenti accrescere il proprio bagaglio di competenze. Per cui saranno necessari appropriati strumenti di formazione e assistenza tecnica, oggi assai carenti.

Fra i fattori di specializzazione e personalizzazione dei fabbricati, un'ulteriore tematica che acquisterà importanza in futuro è quella che riguarda il rapporto fra gli edifici e il loro contesto, ambientale e territoriale. Una tematica che molti di noi già coltivano, che non deve però limitarsi agli aspetti estetici o urbanistici trascurando, o sottovalutando, gli aspetti funzionali specifici; pena la perdita di credibilità presso il mondo produttivo.



Fig. 16. L'importanza del rapporto fra edifici rurali e contesto.

Il rapporto con il contesto può essere inteso in una visione circoscritta (l'intorno percettivo e/o di diretta relazione funzionale), che è quello di cui siamo abituati ad occuparci quando parliamo di paesaggio o di governo dei flussi aziendali; ma può anche intendersi in una visione più allargata di sistema, o distretto, territoriale. Questa più estensiva accezione può dare luogo, a mio parere, a nuovi suggestivi filoni di ricerca per chi già lavora sul territorio, sempre in chiave di sostenibilità. Si può infatti cercare di studiare modelli di integrazione, su base territoriale, fra attività produttive di una medesima filiera tali da ridurre gli impatti globali chiudendo quanto più possibile i cicli produttivi; promuovendo cioè il riuso di scarti o sottoprodotto di una data attività come input per attività ad essa complementari. Ad esempio il sistema caseificio-porcilaia, storicamente interconnesso, anche fisicamente, per l'utilizzo del siero di latte come alimento, può intergrarsi ulteriormente sul piano energetico: sfruttando nell'attività casearia l'energia prodotta dalle deiezioni suine (anche quella termica, meno facile da gestire), eventualmente integrata da pannelli solari disposti sui tetti delle porcilaie; mentre il calore rilasciato dal caseificio potrebbe essere utilizzato per riscaldare gli ambienti per i suini, o l'alimento, o la biomassa nel digestore. A questa filiera già ecologicamente (ed economicamente) più efficiente potrebbero utilmente aggregarsi anche l'industria di macellazione e quella di lavorazione delle carni. Creando un sistema di gestione degli scarti che ne consenta una più efficace ed efficiente allocazione anche attraverso poli di trattamento consortili o con piani di utilizzo agronomico di area vasta. Una ipotesi forse un po' astratta, che mi pare però suggestiva in quanto solo in una visione di grandi sistemi si possano risolvere i gravi problemi connessi con il carico sempre meno sostenibile delle attività umane.

Potrei anche andare oltre, nel prefigurare il futuro, citando le proposte, che vengono, soprattutto dal mondo dell'architettura, di megaedifici interamente, o in parte, destinati alla produzione primaria (vegetale o animale) al fine di compensare la incombente scarsità di suolo produttivo (v. Fig. 17). Ma così entrerei in un futuribile ancor più astratto e troppo lontano. Meglio, quindi, non andare oltre.

Come ho detto in premessa ho scelto di sviluppare il tema a me assegnato secondo l'ottica dei fabbricati per l'allevamento di bovini da latte; non solo perché è quella a me più congeniale, ma anche perché in questo modo è possibile apprezzare il percorso evolutivo di tutto il settore dell'edilizia zootecnica nei suoi successivi passaggi. In questo le stalle per bovini da latte sono un paradigma che, oltre ad applicarsi tal quale agli allevamenti da latte bovini e ovi-caprini, può spiegare quanto già da tempo realizzato nel settore avicolo, di gran lunga quello più avanzato, ma anche quanto può avvenire nei settori dell'allevamento suinicolo o dei bovini da ingrasso, indubbiamente i meno tecnologizzati.



Fig. 17 Progetto di edificio destinato alla piscicoltura.

Certamente negli allevamenti in cui gli animali restano in stalla per periodi abbastanza brevi (come nelle linee da ingrasso) la tendenza ad una zootecnia di precisione, da attuare con impiego di alta tecnologia ed elevati investimenti iniziali, sarà più lenta ad affermarsi, e l'interesse per la parte edilizia potrà risultare ancora prevalente per lungo tempo. Tuttavia anche per queste produzioni verranno disponibili, e in parte già lo sono, sistemi di monitoraggio che permettono di individuare, anche in grandi gruppi, anomalie individuali nel comportamento o nello stato sanitario che indirizzino l'operatore verso i necessari interventi (es. analisi delle immagini o dello spettro sonoro). Cui si aggiungono comunque sistemi esperti di gestione che possono regolare le dosi alimentari o la climatizzazione a seguire curve di accrescimento prestabilite (es. mediante pesatura su base statistica). Se poi pensiamo che i costi delle tecnologie elettroniche andranno progressivamente diminuendo, possiamo ipotizzare che anche nei settori che allevano animali meno pregiati l'automazione troverà una larga e piena affermazione.

Pure se guardiamo al campo delle colture vegetali protette possiamo ritrovare una storia analoga a quella descritta e una medesima tendenza all'innovazione. Anche le serre hanno infatti visto una notevole evoluzione, sia per gli aspetti edilizi in senso stretto, sia con riguardo ai sistemi di gestione. Da un lato strutture e materiali sempre più efficienti e a rendimenti energetici elevati, dall'altro dispositivi di monitoraggio ed automatismi per svolgere varie operazioni quali la somministrazione controllata di nutrienti, la climatizzazione, la regolazione dell'illuminazione. Identica, infine, è la prospettiva della sostenibilità, con analoghi obiettivi di risparmio energetico, uso di fonti rinnovabili, riduzione degli impatti ambientali (inquinamento, paesaggio, contenimento degli sprechi e riciclo).

Ho detto, all'inizio, che con un piccolo sforzo si può individuare una simile traiettoria anche per i fabbricati destinati alla lavorazione dei prodotti. Certamente in questi casi le condizioni sono molto diverse, non fosse altro per il fatto che non abbiamo a che fare con organismi viventi diversi dall'uomo. Tuttavia possiamo anche qui tracciare un percorso evolutivo simile a quello già descritto, che vede procedere di pari passo l'innovazione nelle strutture, soprattutto nei materiali (v. effetti dell'introduzione dell'HACCP), e l'innovazione nello svolgimento delle operazioni di lavoro, ove ancora una volta l'elettronica, l'automazione e l'informatizzazione svolgono un ruolo sempre più determinante. E anche in questo campo sarà la sostenibilità a guidare lo sviluppo con sempre maggiore attenzione agli impatti ambientali (inquinamento, sprechi, scarti e sottoprodotti), alla qualità dei prodotti, alle condizioni di lavoro.

Nello scenario descritto, sia nel passato che nel possibile futuro, gli sforzi dell'ingegneria agraria appaiono rivolti soprattutto all'*utilitas*, obiettivo certamente predominante, per non dire esclusivo, del nostro settore fra quelli indicati nella nota triade vitruviana.

L'obiettivo della *firmitas* è stato invece delegato quasi totalmente ad altre competenze disciplinari e ritenuto soddisfatto con l'avvento dei sempre più affinati metodi di calcolo offerti dalla scienza e dalla tecnica delle costruzioni. Purtroppo i recenti eventi sismici occorsi in Emilia ci hanno dimostrato che anche in questo campo non si può dare nulla per acquisito definitivamente. E se risulta a noi forse poco consoni l'intervenire sui processi dell'industrializzazione edilizia, dovremmo comunque sentirci più impegnati nell'istruire i giovani circa i problemi statici connessi con le strutture tradizionali in muratura o quelle autocostituite.

Certamente assai poco soddisfatto è stato il requisito della *venustas*. Obiettivo molto trascurato nel passato in quanto ritenuto in contrasto con il contenimento dei costi, ma che oggi, fortunatamente, trova una crescente attenzione da parte della società e riceve una giusta dedizione da parte di alcuni di noi. Compito del nostro settore, e in questo ci possiamo differenziare dai colleghi architetti, è quello di assumere tale obiettivo in una accezione più ampia e moderna; che non guardi solo all'effetto estetico, ma consideri la globalità delle complesse problematiche connesse all'esercizio dell'attività produttiva primaria, secondo una concezione organica per cui la bellezza dei manufatti non è soltanto l'esito di una creazione formale, ma è l'espressione visibile di una armonia complessiva che si instaura nel rapporto fra l'uomo e la natura.

Solo chi possiede un elevato livello di conoscenza delle varie componenti di ogni attività, delle relazioni tra di esse e dei rapporti con l'esterno può contemperare in modo armonico le diverse esigenze funzionali, territoriali, ambientali, sociali e culturali che si concentrano in un fabbricato agricolo. Questo, a mio parere, è il compito futuro più nobile dell'ingegnere agrario.



Fig. 18. Un buon progetto deve tenere in considerazione anche il rapporto con il contesto.

LA STALLA ECOSOTENIBILE

E. Frazzi, F. Calegari, P. D'Alessio

CRAST – Centro Ricerche Analisi Geospaziale e Telerilevamento, Università Cattolica del Sacro Cuore

Riassunto. Vengono illustrati nuovi criteri di progettazione della stalla da latte improntati ad una migliore sostenibilità energetica ed ambientale dell'allevamento. Viene presa in esame una stalla di 150 capi nella quale si prevedono alcune innovazioni tecnologiche ed impiantistiche tra cui l'installazione di una serie di pannelli fotovoltaici, sensori per un controllo individuale della ventilazione e dell'aspersione e l'utilizzo degli effluenti in un processo integrato fra trattamento anaerobico e compostaggio. Se gli impianti di climatizzazione e i pannelli fotovoltaici sono installati e dimensionati correttamente, nonostante il forte assorbimento di energia che si registra durante il periodo estivo per la ventilazione, la quantità di energia elettrica prodotta dalla stalla in ogni momento dell'anno può superare di gran lunga quella consumata.

L'impiego di materiali ad alto contenuto in fibra, all'interno della stalla come substrato nelle aree di riposo, ma anche all'esterno come componente strutturale nei processi di compostaggio, consente di ottenere biomasse solide ad elevato potere fertilizzante, con azoto in forma quasi completamente organica, in grado di mantenere alto il tenore di humus del terreno e di ridurre l'impatto sull'ambiente.

Parole chiave: Sostenibilità energetica, Stalle per vacche da latte, Compostaggio

Summary. This work discusses some prospects for designing the barn in order to improve the energy sustainability and environmental consequences of the dairy breeding. A free stall of 150 dairy cows with some technological innovations is considered. The innovations include: on the roof, the installation of photovoltaic panels; in the barn, the use of automatic sensors for individual control of ventilation and sprinkling of the animals and, finally, the valorisation of the animal wastes in a process integrated between composting and anaerobic treatment. If the conditioning system of the animals and solar panels are installed and sized properly, despite the high consumption of electric energy during the summer, the amount of energy produced all year round can be far greater than that consumed. The use of materials with high fibre content as a substrate in the resting area of the barn, but also as a structural component in the final process of composting of the animal wastes, allows to obtain a solid biomass very interesting as fertilizer, with nitrogen almost completely organic, able to maintain an high content of humus in the soils, reducing the impact on the environment.

Key words: Sustainable energy, Dairy barn, Composting

Introduzione

Gli aspetti connessi alla sostenibilità energetica ed ambientale che, negli ultimi anni, si sono aggiunti con maggiore forza a quelli più conclamati

del benessere animale, nelle stalle da latte, comportano una revisione e per certi versi una cambiamento sostanziale dei criteri che dovrebbero essere alla base della progettazione e realizzazione delle strutture per la stabulazione dei bovini da latte. La climatizzazione della stalla non può essere disgiunta dalla necessità di utilizzare la copertura dell'edificio per la produzione di energia rinnovabile, attraverso la posa di pannelli solari fotovoltaici. Si tratta tuttavia da stabilire sino a che punto le esigenze di ottimizzazione dell'impianto fotoelettrico sono compatibili con quelle di climatizzazione della stalla. L'orientamento dell'edificio necessario per ottimizzare l'irraggiamento solare del manto fotovoltaico posto sulla copertura confligge o è compatibile con quello suggerito ai fini microclimatici interni all'edificio?

Vedremo che con alcuni accorgimenti di carattere tecnico non solo i due obiettivi sono tra loro compatibili, ma nonostante il forte assorbimento di energia che si registra durante il periodo estivo per le esigenze di ventilazione, la quantità di energia elettrica prodotta in ogni momento dell'anno può superare di gran lunga quella consumata. Ciò contribuisce a ridurre notevolmente i costi di gestione e a migliorare la sostenibilità energetica dell'allevamento.

Per quello che attiene alla compatibilità ambientale e paesaggistica va osservato che la presenza dei pannelli fotovoltaici sul tetto dell'edificio, date la tonalità scura e la bassa riflessività che generalmente caratterizza queste superfici, oltre a mantenere fresco l'ambiente interno, conferisce all'edificio una migliore qualità estetica e un più corretto inserimento nel paesaggio rurale.

Vi è poi il grosso problema delle emissioni in atmosfera e dell'inquinamento degli acquiferi reso ancora più stridente dalle nuove tecnologie in materia di rimozione e trattamento dei reflui zootecnici. L'eliminazione delle lettiere e l'impiego di sistemi idraulico-meccanici per la raccolta e il trasporto delle deiezioni rende il problema reflui di particolare gravità e complessità. L'aspetto ambientale spesso confligge con quello organizzativo e con il benessere e l'igiene animale. Riteniamo che una gestione di tipo eminentemente idraulico-meccanica delle deiezioni, che escluda completamente l'impiego di materiali lignocellulosici di apporto esterno (paglie e altro), sia inefficiente da un punto di vista organizzativo e insostenibile sul piano ambientale.

La climatizzazione della stalla

Nella progettazione di una stalla per bovine da latte, alle nostre latitudini e nella stragrande maggioranza delle zone climatiche italiane, il problema della climatizzazione degli ambienti di allevamento è senz'altro uno degli aspetti da considerare con maggiore attenzione, vuoi per

le implicazioni sul benessere animale e più in generale sulle performances dei soggetti allevati, vuoi per le conseguenze sul piano strutturale e impiantistico. Non si può negare che da questo punto di vista i criteri di progettazione della stalla da latte, in particolare l'involucro edilizio destinato alle bovine in lattazione, siano cambiati in maniera radicale.

Dalle megastrutture in cemento armato degli anni settanta-ottanta, quando si riteneva che l'aumento di spazio e l'inerzia termica dell'edificio fossero sufficienti ad assicurare il giusto comfort termico agli animali, si è passati già a partire dagli anni novanta ma più intensamente nell'ultimo decennio alle coperture attrezzate, in cui l'edificio perde in gran parte della sua funzione per diventare una semplice tettoia sotto la quale riparare dal sole e dalla pioggia le diverse aree funzionali della stalla. Forse l'unica struttura che per certi versi ha conservato in maniera più marcata la vecchia impostazione è la sala di mungitura con relativi annessi. Ma anche in questo distretto i mutamenti nell'impianto edilizio e nelle attrezzature sono stati assai importanti. Meno significativi invece i cambiamenti nei reparti destinati all'allevamento dei giovani animali da rimonta e per certi versi anche delle bovine in asciutta. Ciò è perfettamente giustificato se si considera la ragione principale che ha determinato i cambiamenti nella stalla delle lattifere, ovvero le maggiori esigenze in fatto di climatizzazione dovute ad un aumento continuo e significativo dei livelli produttivi. Livelli che in quarant'anni sono più che raddoppiati. L'animale che produce molto latte ha bisogno di disperdere nell'ambiente elevati quantitativi di calore sicché manifesta un'alta adattabilità al freddo mentre è molto più sensibile al caldo. Da qui l'esigenza di assicurare alle lattifere di alta produttività elevati comfort termici durante i periodi caldi. Comfort termici che nelle aree più calde del globo si possono ottenere in maniera efficace soltanto attraverso il cosiddetto *cooling by surface*, ossia il condizionamento diretto dell'animale mediante bagnatura e ventilazione artificiali. Questo tipo di trattamento permette alla bovina di disperdere notevoli quantitativi di calore anche in condizioni di temperature molto elevate, prossime o superiori a quella corporea, senza essere costretta attraverso complessi quanto negativi meccanismi neuromorali a ridurre la produzione. Naturalmente il fattore fondamentale che condiziona questo tipo di trattamento è l'umidità che per consentire alti livelli di evaporazione deve essere mantenuta bassa. Da qui l'esigenza di favorire al massimo la ventilazione della stalla e quindi la creazione di ampie aperture nell'involucro edilizio. Le stalle migliori sono quelle completamente aperte e con una copertura che oltre a ombreggiare sia in grado di favorire la circolazione dell'aria. Questo risultato si ottiene con tetti relativamente leggeri, alti, con falde ad elevata pendenza dotate di aperture di ventilazione ad effetto camino. Importante è anche l'orientamento dell'edificio sia per meglio gestire la radiazione solare sia per favorire la ventilazione naturale e di conseguenza i ricambi di aria all'interno della stalla (Frazzi *et al.*, 2008).

Tetto fotovoltaico e produzione di energia rinnovabile

Se vogliamo dotare il tetto di una serie di pannelli solari fotovoltaici al fine di produrre una significativa quantità di energia elettrica, cosa quanto mai auspicabile, l'orientamento dell'edificio deve essere studiato tenendo conto anche della necessità di ottimizzare la radiazione solare dal punto di vista fotoelettrico. Poiché le condizioni climatiche nel nostro paese cambiano tantissimo a seconda dell'area geografica considerata, fornire un modello che possa andar bene in tutte le situazioni è difficile se non impossibile. Si possono tuttavia fornire delle indicazioni di massima.

Nelle aree padane, dove abbiamo la massima concentrazione di bovini da latte nel nostro paese, nel caso di stalle con tetti a doppia falda l'orientamento dell'edificio per ottimizzare la produzione di energia fotovoltaica potrebbe essere sia quello con il lato maggiore disposto secondo la direzione Est-Ovest sia quello con disposizione Nord-Sud. Nel primo caso i pannelli sono presenti soltanto sulla falda esposta a Sud mentre nel secondo la superficie fotovoltaica può essere doppia interessando entrambe le falde. La produzione complessiva di energia è certamente superiore nel secondo caso mentre nel primo abbiamo la massima resa elettrica per unità di superficie fotovoltaica per la migliore esposizione alla radiazione solare (Fig. 1).

Questo tipo orientamento (asse maggiore dell'edificio secondo la direzione Est-Ovest) è compatibile anche con la necessità di ombreggiare le aree interne alla stalla d'estate e di consentire la penetrazione più ampia possibile della radiazione solare nel periodo invernale, sfruttando al meglio la diversa altezza del sole sull'orizzonte nelle diverse stagioni dell'anno. Ovviamente va studiata con attenzione la disposizione delle aree interne alla stalla avendo l'accortezza di utilizzare soluzioni asimmetriche, ad ala semplice (come quella indicata in Fig. 1), in cui il sole nel periodo estivo non interessi le aree occupate dagli animali.

Un aspetto da considerare con attenzione è l'inclinazione e la tipologia costruttiva del tetto. Va sottolineata la necessità di dotare le stalle da latte di tetti leggeri, alti, con un'apertura al colmo e con le falde notevolmente inclinate al fine di favorire i ricambi di aria sfruttando l'effetto camino. Ebbene nel caso di una stalla con tetto a doppia falda, con orientamento Est-Ovest, la presenza di un manto di pannelli fotovoltaici nella falda rivolta a sud non solo non contrasta con le esigenze di climatizzazione interne alla stalla che anzi risultano agevolate, ma realizza la massima efficienza del pannello stesso nella produzione di energia rinnovabile. Si dice che la pendenza ottimale della superficie sia di 10° in meno rispetto alla latitudine del luogo. Nel caso delle stalle padane si può ritenere che un pendenza del tetto di 30° (57%) sia il giusto compromesso fra le esigenze costruttive e quelle di ottimizzazione della resa elettrica. Fra l'altro l'elevata pendenza favorisce lo scivolamento del

manto nevoso mantenendo libero il tetto anche nel caso di abbondanti nevicate. Questo può scongiurare possibili crolli e riduzioni della resa elettrica nei periodi invernali.

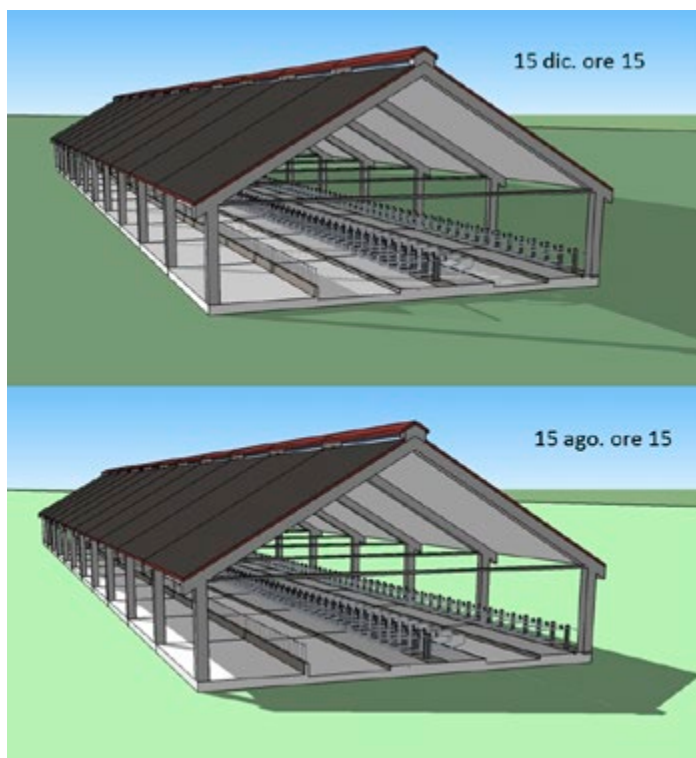


Fig. 1. Simulazione al computer dell'ombreggiamento interno della stalla nel caso di edificio aperto con una delle due falde del tetto, quella con i pannelli fotovoltaici, rivolta a Sud. Ciò alla latitudine di Piacenza-Cremona (45°). Questo particolare orientamento, unito all'elevata pendenza della copertura, consente di ottimizzare la resa elettrica del pannello fotovoltaico e contemporaneamente di sfruttare al meglio l'ombreggiamento delle aree interne alla stalla che come si può vedere dalle due immagini è minimo d'inverno (in alto), quando il sole è debole e quindi utile per il benessere degli animali, e massimo d'estate (in basso) quando bisogna difendere gli animali dal caldo.

D'estate, la presenza del pannello fotovoltaico nella falda del tetto esposta a sud, riduce il riscaldamento della superficie interna della copertura contribuendo a mantenere fresca la stalla. Fra l'altro la colorazione scura che accompagna il pannello conferisce al tetto della stalla una minore visibilità contribuendo a rendere più gradevole e meno impattante l'inserimento della costruzione nel paesaggio rurale.

Ma un tetto di questo genere quanta energia elettrica può produrre? Molta, superiore a quella consumata dalle esigenze organizzative interne alla stalla. Una stalla di 150 capi con una superficie fotovoltaica di 1150 m² (pari a 145 kWp) può produrre in un anno, alle latitudini padane, 150.000 kWh di energia elettrica, pari a 1000 kWh/capo. Se si considera che il consumo di energia elettrica (esclusa quella termica) per le normali operazioni di stalla (mungitura, climatizzazione, alimentazione, pulizia, illuminazione, ecc.) è stimato in un massimo di 700 kWh/anno per capo si può ben capire quanto importante e significativo sia il contributo dei pannelli solari (Zappavigna, 2010).

Ma la cosa più interessante è considerare, sia nell'arco temporale di una giornata che in quello annuale, le variazioni dei fabbisogni elettrici rispetto ai livelli di produzione (Fig. 2). Poiché il grosso dei consumi elettrici sono dovuti alle esigenze di climatizzazione e queste a loro volta sono determinate dall'intensità della radiazione solare, ad un aumento dei fabbisogni elettrici corrisponde generalmente anche un incremento della produzione.

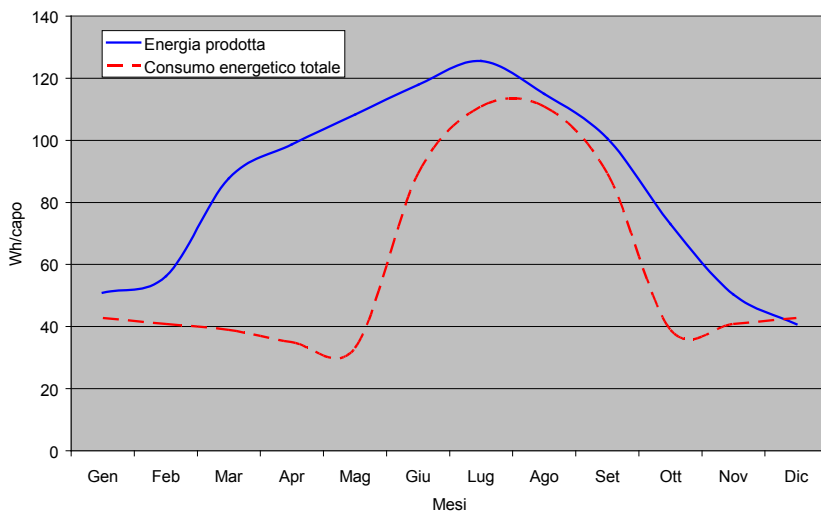


Fig. 2. Confronto fra consumo e produzione elettrica annuale in una stalla da latte con una potenza fotovoltaica installata di un kWp/capo. Da notare che d'estate, nonostante l'elevato consumo di elettricità per le esigenze di climatizzazione, il bilancio giornaliero si mantiene complessivamente attivo con un surplus di 1 kWh/capo. Nell'anno la produzione è di 1000 kWh/capo a fronte di un consumo di 700kWh.

Ciò rende l'installazione dei pannelli solari sul tetto della stalla non solo possibile ma anche auspicabile al fine di coprire i fabbisogni elettrici

dell'allevamento. L'opzione "scambio sul posto" permette all'allevatore di utilizzare per i fabbisogni della stalla la stessa elettricità prodotta dai propri pannelli solari riducendo in questo modo il picco di potenza installabile da fornitore esterno, con una maggiore efficienza energetica e un minor costo di gestione. Naturalmente ciò non impedisce all'allevatore di ottenere per la parte di energia prodotta da fonte rinnovabile tutti gli incentivi previsti dalla legge.

Il problema dei liquami

E' sicuro che uno altro grosso problema da risolvere in un'azienda zootecnica sia quello di una corretta gestione dei liquami. L'impiego di lettiere in grado di assorbire le deiezioni è stato in passato e in alcuni casi lo è ancora oggi il rimedio più semplice ed efficace per ridurre al minimo la produzioni di liquami e raccogliere il grosso delle deiezioni in forma solida per poi trasformarle nel classico letame. Quando, viceversa, le deiezioni vengono raccolte allo stato puro, il materiale che si ottiene, il cosiddetto liquiletame, non è dei più facili da gestire perché presenta dal punto di vista fisico caratteristiche intermedie fra quelle di un solido e quelle di un liquido. Una delle pratiche più diffuse soprattutto nei grandi allevamenti è quello della separazione liquido-solido in modo da avere da una parte una frazione solida palabile e dall'altra un liquido a bassa viscosità da gestire con pompe e altre attrezzature specifiche. In genere da questa separazione si ottiene un 20% in peso di materiale solido e un 80% di separato liquido. Il primo è di facile gestione in quanto basta una platea su cui collocarlo. Il liquame, viceversa, contiene azoto in forma prevalentemente ammoniacale sicché la possibilità che vi possano essere emissioni in atmosfera e perdite per dilavamento al momento dell'applicazione al terreno è quanto mai elevata. Il liquame andrebbe distribuito al momento in cui la coltura presenta il massimo assorbimento di azoto. Nel caso del mais il periodo ottimale è concentrato nei due mesi più caldi e siccitosi dell'anno: da metà giugno a metà agosto. In questo periodo la distribuzione potrebbe essere effettuata unitamente all'acqua attraverso interventi di fertirrigazione. Distribuire liquame negli altri periodi dell'anno significa liberare nell'ambiente grandi quantitativi di azoto che possono dare origine ad emissioni tossiche in atmosfera (ammoniaca e ossidi di azoto) e lisciviazione nelle falde (nitrati). D'altra parte conservare i liquami per 10 mesi significa dover realizzare un volume di vasche superiore di 2,5 volte il volume imposto dalla normativa. Il problema è analogo nel caso in cui le deiezioni siano state sottoposte a digestione anaerobica per la produzione di biogas. I digestati, per effetto del trattamento anaerobico, oltre a contenere tutto l'azoto di partenza, su un quantitativo di sostanza organica ridotto, pre-

sentano contenuti di azoto ammoniacale più elevati dei liquami freschi sicché il pericolo di perdite d'azoto al momento della loro applicazione è ancora più elevato. Da qui la necessità di sottoporre questi materiali a trattamenti volti a ridurre la componente azotata. Questi trattamenti possono essere di tipo fisico-chimico come lo strippaggio dell'ammoniaca o l'essiccazione su letti di assorbimento e di tipo microbiologico come il nitro-denitro, l'annamox, ecc. Vi è tuttavia un trattamento che permette di risolvere questo problema in maniera efficace e a costi tutto sommato sostenibili, questo trattamento è il compostaggio (Calegari et al., 2009; Gómez-Brandón et al., 2008).

Il compostaggio dei reflui zootecnici

Se relativamente semplice è il compostaggio della frazione solida (ottenuta a seguito di intervento di separazione liquido-solido su deiezioni bovine), non altrettanto si può dire della frazione liquida. Evidentemente pensare di compostare liquami con un contenuto di umidità superiore al 95% può sembrare impresa ardua e comunque di dubbia realizzazione.

In realtà da qualche anno a questa parte sono comparsi impianti di compostaggio dotati di apparecchiatura meccanica in grado di distribuire piccole dosi, ripetute nel tempo, di liquame zootecnico su un substrato lignocellulosico. In sostanza il liquame, anziché essere aggiunto in un'unica soluzione all'inizio del processo come succede nella pratica comune, viene somministrato in un lungo lasso di tempo (2-3 mesi, durante l'intera fase attiva di compostaggio) in modo da fornire il combustibile necessario alla digestione aerobica che si sviluppa all'interno del substrato. Il notevole riscaldamento che la biomassa subisce per effetto delle reazioni ossidative consente l'evaporazione di elevati quantitativi d'acqua contenuti nel liquame. Si può parlare a ragione di *compostaggio evaporativo* (Frazzi et al., 2009).

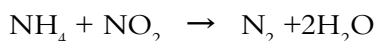
A fine ciclo si ottiene una sorta di materiale organico, il compost, appunto, molto simile al letame tradizionale. La componente lignocellulosica, il cosiddetto costrutturante, può derivare da sottoprodotti di varia origine: paglie, stocchi, pule, residui della lavorazione del legno, ma anche dalla frazione solida delle stesse deiezioni. Interessante è il compostaggio dei digestati che fuoriescono dai digestori anaerobici degli impianti a biogas. In questi casi una volta che il digestato è stato sottoposto a separazione liquido-solido, la parte palabile viene introdotta come substrato (costrutturante) nelle vasche di compostaggio, mentre quella liquida distribuita in superficie a piccole dosi ripetute nel tempo (2-3 mesi). Naturalmente per mantenere "acceso il fuoco" e favorire l'evaporazione, oltre a distribuire giornalmente una certa quantità di liquame, è necessario arieggiare e rimescolare continuamente la massa.

Esistono impianti dove le due operazioni fondamentali: l'immissione di liquame nel substrato e il rimescolamento e arieggiamento periodico della massa (azione fondamentale poiché il compostaggio è un processo aerobico), sono svolte in maniera completamente automatica da macchinari che lavorano in continuo.

L'impianto consta di una o più vasche in cemento, a sezione rettangolare o anche circolare, non molto profonde (max. 2 m), dove viene collocato il materiale assorbente, e di un'apparecchiatura meccanica che effettua periodicamente (praticamente ogni giorno) la distribuzione di liquame e il rivoltamento e arieggiamento della massa (Gómez-Brandón *et al.*, 2008).

Questo tipo di trattamento se eseguito a regola d'arte è privo di odori sgradevoli e anche le emissioni in atmosfera di gas tossici come ammoniaca e ossidi d'azoto sono ridotte al minimo.

Il materiale che si ottiene a fine ciclo è un compost a tutti gli effetti, con un 50% si S.S., con azoto organico superiore all'80% e con un'elevata presenza di acidi umici e fulvici a dimostrazione del fatto che il processo di compostaggio si è svolto regolarmente. Durante l'intera fase di trattamento il peso dei materiali di partenza si riduce dell'80%, la sostanza secca del 40% e l'azoto del 60%. Naturalmente con differenze dovute alla composizione e alla natura dei prodotti trattati. Di particolare interesse è la riduzione dell'azoto che stando alle ultime ricerche condotte su questo tipo di processo sembra dovuto ad un'azione combinata di Sharon-Anammox (ossidazione anaerobica dell'ammoniaca) ad opera di batteri specializzati come il *Brocadia anammoxidans* che sarebbero in grado di convertire lo ione nitroso in azoto molecolare secondo la seguente reazione:



La prima fase (Sharon) richiederebbe un ambiente aerobico necessario alla parziale ossidazione dell'ammoniaca e alla formazione dello ione nitroso, mentre la fase successiva (Anammox) avverrebbe in ambiente anossico utilizzando come accettore finale di elettroni lo stesso ione nitroso (Canfield *et al.*, 2010). Il particolare tipo di trattamento che viene effettuato all'interno delle vasche di compostaggio, dove l'ambiente aerobico si alterna a quello anaerobico per un lungo lasso di tempo, sarebbe la condizione che permette un abbattimento ecologico dell'azoto (Molinuevo *et al.*, 2009). I vantaggi sono duplici: primo perché nel compost la presenza di azoto in forma ammoniacale è minima e questo riduce i rischi di perdite di quest'elemento nell'ecosistema agrario; secondo, perché l'abbattimento di azoto va incontro a quegli allevatori che dovendo operare su terreni vulnerabili sono costretti a ridurre i carichi di azoto al campo.

Il sequestro di carbonio nei suoli

Un secondo aspetto non secondario, anche se spesso trascurato dagli allevatori perché non sottoposto a normative specifiche, è quello del bilancio del carbonio nei terreni. Aspetto che influisce da una parte sulla fertilità e lavorabilità dei suoli e dall'altra sui cambiamenti climatici al pari delle bioenergie. Va detto che dal punto di vista ambientale aumentare il contenuto di sostanza organica dei terreni, specie se si tratta di humus, equivale dal punto di vista delle emissioni in atmosfera di CO₂, alla produzione di biogas (Rattan L., 2002). Fra l'altro il protocollo di Kyoto prevede espressamente che il sequestro di carbonio nei suoli, ottenuto attraverso pratiche agronomiche virtuose, debba avere lo stesso tipo di sostegno e riconoscimenti (certificati verdi) concessi a tutte le altre forme di energie rinnovabili (biomasse, solare, eolico, ecc.). Peccato che in Italia questo aspetto sia largamente trascurato. Tuttavia, indipendentemente dalle implicazioni climatiche, vi è un interesse da parte degli agricoltori-allevatori i quali attraverso il ripristino e il mantenimento della sostanza organica nei terreni possono migliorare la fertilità e la lavorabilità dei suoli. Va sottolineato che certe tecniche di lavorazioni minime o di non lavorazioni, con risvolti importanti sul versante dei consumi energetici e dei costi, hanno come presupposto una elevata dotazione di humus nei terreni, senza la quale queste pratiche, che si basano sulla sofficità e sulla buona struttura fisica dello strato lavorato, non avrebbero alcuna possibilità di realizzazione (Rossi et al., 2008; Tabaglio et al., 2010 e 2011).

Nel grafico allegato (Fig. 3) sono riportati i risultati di alcune elaborazioni, da noi eseguite sulla base di dati disponibili in letteratura, relativi al bilancio dell'humus nel terreno e del carbonio sottratto all'atmosfera (humus+biogas).

Nel caso di un alto carico di bestiame (4 capi/ha), si può notare che i trattamenti in grado di mantenere in equilibrio la dotazione di humus dei terreni sono quelli che prevedono il compostaggio dei reflui o in alternativa l'impiego di lettiere con produzione di letame. La pratica di sottoporre i reflui a trattamento anaerobico con produzione di biogas e successivo spandimento del digestato tal quale, se dal punto di vista del carbonio complessivamente sequestrato (ossia sottratto all'atmosfera) il bilancio è attivo, dal punto di vista del bilancio umico riferito al terreno presenta un deficit di circa 1 t/ha e questo per la scarsa resa in humus dei digestati. Se, però, i digestati vengono sottoposti a compostaggio, con aggiunta nella fase di compostaggio di un adeguato quantitativo di materiale lignocellulosico (paglie e/o stocchi, per un quantitativo di circa 3 t/ha), il bilancio dell'humus nel terreno ritorna in equilibrio.

Nel caso di un carico di bestiame dimezzato rispetto al caso precedente (2 capi/ha), la sola pratica in grado di mantenere in equilibrio la

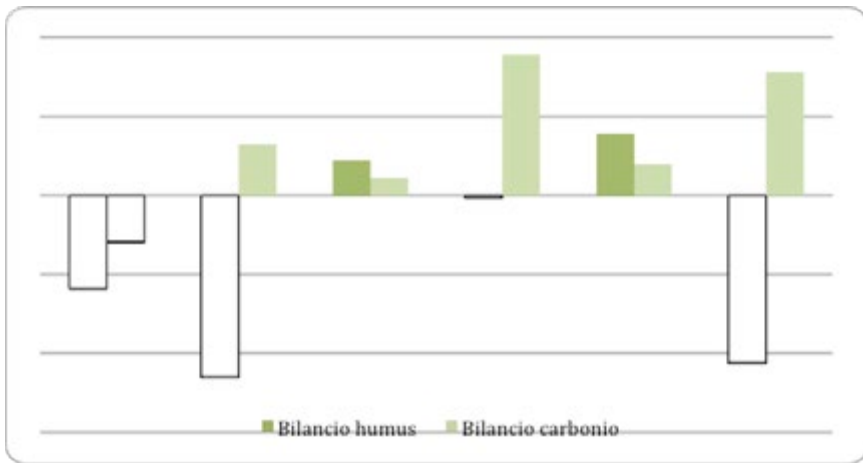


Fig. 3. Bilancio dell'humus nel terreno e del carbonio sottratto all'atmosfera espressi in t/ha per un carico di bestiame di 4 capi/ha (340 kg d'azoto al campo) per le seguenti diverse ipotesi di trattamento dei reflui: Convenz (spandimento dei liquami tal quali); Biogas (con trattamento anaerobico e produzione di biogas); Compostaggio (con separazione liquido e solido dei reflui e successivo compostaggio senza aggiunta di altre biomasse); Biogas+compostaggio (digestione anaerobica dei reflui, separazione liquido-solido del digestato e compostaggio di quest'ultimo con aggiunta di biomassa); Letame (impiego di lettiera e produzione di letame classico); Letame+biogas (trattamento anaerobico del letame con produzione di biogas e successivo impiego agronomico del digestato tal quale).

dotazione di humus dei terreni è quella dell'impiego di un adeguato quantitativo di lettiera all'interno della stalla, oppure, in alternativa, il compostaggio dei reflui con aggiunta di materiali lignocellulosici negli stessi quantitativi durante la fase di compostaggio. Quest'ultima soluzione potrebbe essere consigliabile nelle aree di produzione del Parmigiano-Reggiano dove il carico di bestiame è più basso e dove, oltre ai foraggi, si produce anche una discreta quantità di paglia.

Per un corretto trattamento dei reflui e altri tipi di biomasse, in un centro zootecnico, privato o consortile che sia, dovrebbe sempre essere presente sia il digestore anaerobico per la produzione di biogas sia l'impianto di compostaggio. Questa integrazione permette di ottimizzare a seconda dei materiali disponibili il trattamento cui sottoporre le biomasse e conseguentemente la loro valorizzazione. L'obiettivo non deve essere solo quello di massimizzare la produzione di biogas come spesso accade, ma quello di produrre energia rinnovabile nel rispetto dell'ambiente, tenendo conto del fabbisogno chimico delle colture e della necessità di mantenere alto il livello di sostanza organica dei terreni.

Bibliografia

- Calegari F., Frazzi E., D'Alessio P., (2009) – *Il compostaggio di liquami suinicoli su lettiere avicole*. IX Convegno Nazionale AIIA 2009, “Ricerca e innovazione nell’ingegneria dei biosistemi agro-forestali”, Ischia Porto (NA) 12-16 Settembre, memoria 4-16, pagg.1-8.
- Canfield D. E., Glazer A.N., Falkowski P.G., (2010) – The evaluation and future of earth’s nitrogen cycle. *Science*, vol 330, 192-196.
- Frazzi E., Calegari F., D'Alessio P., (2008) – *Ventilazione, docce e sabbia la formula contro il caldo*. *L'Informatore Agrario* supp. 1 (11):33-36.
- Frazzi E., Amaducci S., Prandini A., D'Alessio P., Calegari F., (2009) – *Le biomasse per l'ambiente contro i cambiamenti climatici*. Educatt, Milano.
- Gómez-Brandón M., Lazcano C., Dominguez J., (2008) – *The evaluation of stability and maturity during the composting of cattle manure*. *Chemosphere* 70:436-444.
- Molinuevo B., García M. C., Karakashev D., Angelidaki I., (2009) – *Anammox for ammonia removal from pig manure effluents: effect of organic matter content on process performance*. *Bioresource Technology* 100: 2171-2175.
- Rattan L., (2002) – *Soil Carbon Sequestration Impact on Global Climate and Food Security*. *Science*, Vol 304, 1623-1627.
- Rossi L., Piccinini S., Tabaglio V., (2008) – *Effetti dell’ammendante compostato sul suolo: risultati di sei anni di prove*. 10° Conferenza Nazionale sul compost, Rimini 7/12/2008.
- Tabaglio V., Bortolazzo E., Ligabue M., Rossi L., (2010) – *Fertilità del terreno recuperata con ammendanti compostati*. *L'informatore Agrario*,
- Tabaglio V., Grandi M., (2011) – *L'agricoltura sostenibile è un'agricoltura BLU*, <http://agronotizie.imagelinenetwork.com/agrimeccanica/2011/07/28/l-agricoltura-sostenibile-e-un-agricoltura-blu-13804.cfm>
- Zappavigna P., (2010) – *Consumi di energia in stalla, quanto si può risparmiare*. *L'Informatore Agrario*, 48 Suppl.:40-43.

SIMULAZIONE TERMOENERGETICA DINAMICA DI UN EDIFICIO PER L'ALLEVAMENTO SUINICOLO: STRATEGIE EDILIZIE E IMPIANTISTICHE PER L'OTTIMIZZAZIONE DEL BENESSERE TERMOIGROMETRICO

E. Fabrizio¹, G. Airoidi¹, R. Chiabrando²

¹ *Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari, Università degli Studi di Torino*

² *Dipartimento di Scienze, Progetto e Politiche per il Territorio, Università Politecnica di Torino*

Riassunto. Nel presente lavoro viene applicata la simulazione dinamica delle prestazioni termoenergetiche degli edifici ad un fabbricato adibito a sala parto e post-svezzamento dei suini e vengono indagati gli effetti di alcune importanti scelte edilizie e impiantistiche influenzanti le condizioni termoigrometriche ed il benessere degli animali. Su un edificio di riferimento costituito da una stanza di una sala parto e post-svezzamento di un allevamento di suini da riproduzione dotata di ventilazione forzata, per un totale di 10 posti scrofa e circa 80 m², è stata svolta la simulazione termoenergetica dinamica attraverso il codice di calcolo EnergyPlus. È stato risolto sia il bilancio termico sensibile sull'aria ambiente, sia il bilancio igrico in condizioni dinamiche lungo tutto l'arco dell'anno per la località climatica di Torino. Sono state prese inoltre in considerazione diverse stratigrafie dei componenti di involucro e di gestione dell'impianto di ventilazione. Dai risultati emerge come sicuramente promettente l'utilizzo di ventilatori a portata variabile in grado di attuare nella stagione estiva free cooling con aria esterna accoppiati ad una struttura edilizia sufficientemente massiva per sfruttare l'effetto di raffreddamento della ventilazione. L'isolamento termico, in special modo quello della copertura, risulta utile per contenere i consumi per riscaldamento invernali e non incide significativamente sul surriscaldamento estivo della struttura. La "solarizzazione" della copertura con un impianto fotovoltaico consente sicuramente di produrre l'energia elettrica necessaria per la movimentazione dell'aria, tuttavia la percentuale di autoconsumo risulta ridotta a causa della non corrispondenza tra domanda ed offerta dell'energia.

Parole chiave: simulazione termoenergetica dinamica, allevamento suinicolo, sala parto.

Summary. In the present work, the dynamic building simulation is applied to a building used as a sow farrowing room and weaned pigs nursery, where the effects of some major construction and plant choices that influence the temperature and humidity conditions and sow comfort were investigated. On a reference building that consists of a sow farrowing room and weaned pigs nursery in a swine breeding unit, equipped with forced ventilation, for a total of 10 sows and about 80 m², the dynamic energy simulation was carried through the EnergyPlus program. Both the sensible heat balance on the ambient air, and the latent heat balance under dynamic conditions throughout a reference year were solved for the Torino locatio. Different constructions of the envelope components and controls of the ventilation system were also taken into consideration. The results show the use variable flow rate fans, able to implement in the summer season the free

cooling with the outside air, coupled to a building structure sufficiently massive to exploit the effect ventilation cooling, is surely promising. The thermal insulation, especially that of the roof, is useful to reduce the energy consumption for heating in winter and does not affect the summer overheating. PV panels on the roof structure surely produce more energy than the energy that is necessary for the ventilation, but the on site consumption is limited.

Key words: buiding dynamic energy simulation, swine farm, sow farrowing room.

Introduzione

La simulazione numerica delle prestazioni degli edifici, in particolare la simulazione termoenergetica dinamica, in grado di verificare le prestazioni energetiche degli edifici in condizioni di esercizio e valutare gli effetti delle più svariate scelte progettuali, edilizie e impiantistiche, sta riscuotendo un sempre maggiore interesse in ambito scientifico ed una maggiore applicazione in ambito professionale nel settore dell'edilizia civile (Fabrizio 2009; Fabrizio 2012a). Ciò è dovuto a molti fattori, tra cui la diffusione di codici di calcolo sempre più dettagliati e liberamente disponibili in rete, lo studio di modelli di simulazione di componenti edilizi e impiantistici innovativi, l'esigenza di rispettare requisiti di prestazione energetica di lungo periodo imposti dalla legge o tali da attribuire un punteggio all'interno delle procedure di valutazione della sostenibilità delle costruzioni (per un inquadramento generale Fabrizio & Filippi 2012).

Viceversa, l'uso della simulazione dinamica appare limitato per quanto riguarda le costruzioni di tipo produttivo come quelle per la produzione vegetale e animale. In tali casi, in cui il ricorso al controllo climatico attivo (impianti) è limitato per ragioni di opportunità tecnologica ed economica, l'uso di strumenti che consentano la valutazione di strategie di controllo climatico passivo (legati alla struttura edilizia) quali la simulazione energetica dinamica sarebbe invece particolarmente indicato.

Nel presente lavoro viene svolta la simulazione termoenergetica dinamica di un fabbricato adibito al parto e post-svezzamento dei suini e vengono indagati gli effetti di alcune importanti scelte edilizie e impiantistiche influenzanti le condizioni termoigrometriche per il benessere degli animali.

Materiali e metodi

Il modello di calcolo

La simulazione della sala parto e post-svezzamento oggetto di studio è stata svolta attraverso il software di simulazione termoenergetica di-

namica EnergyPlus (www.apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus), uno dei più recenti ed aggiornati software per la simulazione dinamica delle prestazioni energetiche degli edifici, degli impianti di climatizzazione e dei sistemi energetici a servizio degli edifici, ampiamente utilizzato a livello internazionale. Anche se il software non è specificatamente pensato per la simulazione di costruzioni per la produzione animale o vegetale come stalle e serre agricole, la simulazione è stata condotta sfruttando le potenzialità del software e adottando le opportune assunzioni. Un esempio di applicazione relativo ad una serra agricola si può trovare su (Fabrizio 2012b).

In tale software, il calcolo dei carichi termici di ogni zona termica è basato sul bilancio termico sull'aria ambiente (Air Heat Balance, risolto nel dominio del tempo attraverso una differenza finita all'indietro del terzo ordine) che tiene conto della capacità termica dell'aria e di tutto ciò che è in equilibrio con l'aria ambiente. Il passo di tempo di calcolo è stato fissato a 1/6 h. La quota convettiva tra l'aria e le superfici adiacenti è valutata attraverso coefficienti di scambio termico convettivo variabili nel tempo. Lo scambio termico per conduzione attraverso le superfici di involucro è trattato attraverso il metodo dei fattori di risposta (CTF – conduction transfer function – series) e tiene conto della resistenza e della capacità termica dei vari strati di parete. Lo scambio radiativo è valutato in maniera dettagliata tra tutte le superfici di ogni zona termica, trattando separatamente la quota ad alta lunghezza d'onda e quella a bassa lunghezza d'onda.

Dal momento che si sono indagate nella simulazione anche le condizioni di umidità relativa dell'ambiente, è stato preso in considerazione l'effetto di inerzia igrica degli strati superficiali delle pareti interne attraverso il modello EMPD (*effective moisture penetration deph*).

È anche possibile impostare la risoluzione di un bilancio di massa di aria basato sugli inquinanti interni.

L'edificio di riferimento

Si è assunto un edificio di riferimento costituito da una stanza di una sala parto e post-svezzamento di un allevamento di suini da riproduzione dotata di ventilazione forzata, per un totale di 10 posti scrofa e 84 m² (figura 1 sx). Le caratteristiche dimensionali sono riportate nella figura 1 dx; la stanza si configura come una porzione di un edificio il cui asse longitudinale è orientato secondo la direzione est-ovest; le pareti laterali risultano pertanto adiabatiche. La copertura ad una falda è orientata verso sud. Il modello geometrico termoenergetico è riportato nella figura 2.

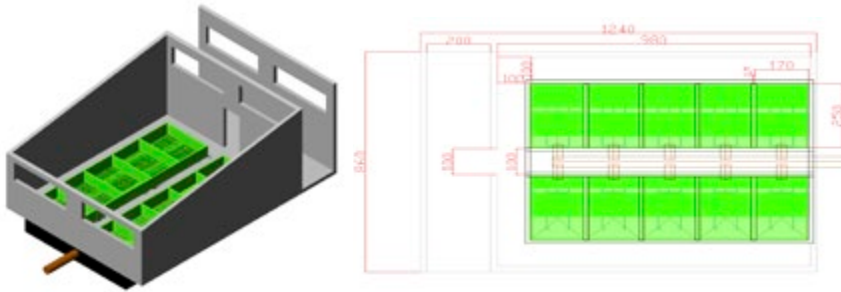


Fig. 1. Vista assonometrica e caratteristiche dimensionali della stanza sala parto considerata

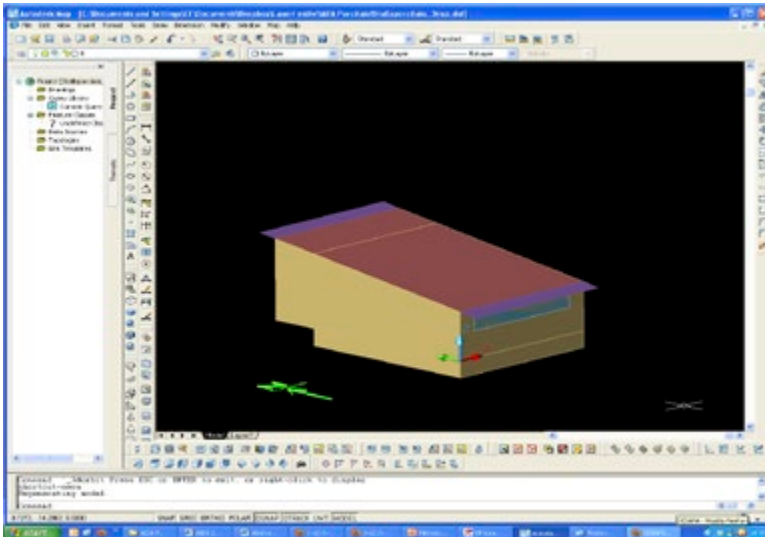


Fig. 2. Vista del modello energetico della stanza sala parto considerata

Nella configurazione iniziale i componenti di involucro sono realizzati in gascemento (30 cm) intonacato per le pareti d'ambito, lamiera isolata (10 cm) per la copertura e policarbonato a lastra singola per le aperture. Il pavimento è un grigliato plastico che separa l'ambiente dalla fossa dei liquami, profonda 90 cm e realizzata in calcestruzzo.

È stato assunto un impianto di termo-ventilazione ad aria, con riscaldamento nel periodo invernale. La mitigazione delle condizioni termiche

estive è stata effettuata tramite l'incremento della portata di aria esterna di ventilazione (*free cooling*).

Le condizioni al contorno

Il sistema di gestione della sala parto preso in esame è il seguente:

- 7 gg: presenza di una scrofa gestante per recinto;
- 28 gg: presenza di una scrofa allattante per recinto e 11 suinetti per nidiata;
- 7 gg: vuoto sanitario.

Il ciclo suddetto si ripete per 8,7 volte durante un anno solare. I carichi termici sensibile e latente dovuti alla presenza degli animali sono stati stimati sulla base dei dati CIGR 1998 assumendo una peso vivo della scrofa gestante ed allattante di 200 kg e un peso dei suinetti da 1,2 kg – al parto – ad 8 kg al termine dello svezzamento con incremento medio di peso giornaliero di 240 g. Per valutare il carico totale e la ripartizione tra quota sensibile e latente sono state individuate una stagione invernale, una estiva ed una intermedia. I profili dei carichi termici sensibile e latente dovuti agli animali sono riportati nella figura 3; i profili sono stati normalizzati rispetto ad un valore massimo di 6190 W per quello sensibile e 6500 W per quello latente.

Il contributo al bilancio termoisometrico dovuto alle deiezioni è stato stimato a partire dai dati di deiezione giornaliera C.I.G.R. (*Bartali et al. 1999*), valutando la deiezione liquida cumulata e l'evaporazione della stessa proporzionalmente alla differenza tra la pressione di vapore saturo alla temperatura superficiale del pavimento e la pressione di vapore dell'aria interna, così come riportato in (*Liberati e Zappavigna 2006*) e nei riferimenti lì citati.

In regime di riscaldamento è stato fissato un set point di temperatura dell'aria pari a 18 °C; per il riscaldamento dei suinetti a temperature adeguate nelle prime settimane di vita si sono considerate lampade ad emissione prevalentemente radiativa. In condizioni estive, la temperatura interna di attivazione del *free cooling* è stata fissata a 26 °C, temperatura al di sopra della quale viene incrementata la portata di aria esterna, allorquando essa si trovi a temperatura a bulbo secco opportunamente inferiore, per riportare l'ambiente a 26 °C (si vedano in proposito i successivi grafici della figura 6).

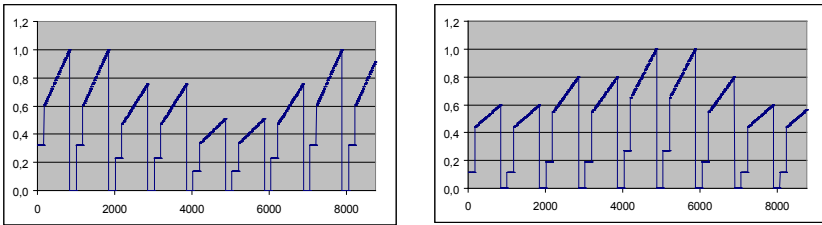


Fig. 3. Profili normalizzati dei carichi termici sensibile (sx) e latente (dx) dovuti alla presenza degli animali

Sulla base della produzione di anidride carbonica massima raggiunta durante il ciclo di occupazione degli animali (1647 l/h) è stata stimata la portata di ventilazione minima imposta all'impianto come

$$\dot{V} = \frac{\dot{q}_{CO_2}}{C_{in} - C_{out}} = \frac{1647 \cdot 10^{-3}}{0,032} = 514,79 \text{ m}^3/\text{h} = 0,143 \text{ m}^3/\text{s}$$

La portata di ventilazione massima è stata stimata sulla base del carico termico estivo dell'edificio ed è stata fissata pari a 10 volte quella minima. Sono state svolte simulazioni diverse adottando ventilatori a due velocità o ventilatori a portata variabile.

Le grandezze analizzate nelle varie simulazioni sono state:

- il fabbisogno di energia termica per riscaldamento (set point 18 °C);
- il fabbisogno di energia elettrica per movimentazione dell'aria (termoventilazione in inverno e ventilazione estiva con eventuale *free cooling*);
- la somma dei due precedenti fabbisogni in termini di energia primaria, avendo adottato un fattore di peso pari ad 1 per l'energia termica e 2,17 per l'energia elettrica;
- un indice di surriscaldamento della struttura edilizia in periodo estivo I_s .

In assenza di un controllo meccanico della temperatura interna, tale indice di surriscaldamento è un parametro per la valutazione delle diverse soluzioni progettuali indagate ed è stato definito come

$$I_s = \sum_j (t_{i,j} - t_R) = \sum_j (t_{i,j} - 26) \quad [^\circ\text{C} \cdot \text{h}]$$

ovvero la somma delle differenze positive tra la temperatura oraria dell'aria interna ed una temperatura di riferimento fissata convenzionalmente

pari a 26 °C (analogamente alla temperatura di attivazione del *free cooling*). La sommatoria di gradi ora rappresenta il tempo in cui la temperatura dell'aria interna supera la temperatura limite, pesata per l'entità del suo scostamento.

Le condizioni al contorno meteorologiche si riferiscono all'anno tipo IWEC (International Weather for Energy Calculation) della località di Torino.

La simulazione è stata svolta su un periodo di tempo di un anno.

Sono stati analizzati i seguenti scenari:

caso 1) struttura edilizia come indicato al § 2.2, ventilatore a due velocità (step 1 di portata 0,715 m³/s; step 2 di portata: 1,43 m³/s) con regolazione della portata di aria esterna tramite deflettore;

caso 2) struttura edilizia come indicato al § 2.2, ventilatore a portata variabile a tutta aria esterna regolante da una portata minima di 0,143 m³/s ad una portata massima di 1,43 m³/s;

casi 2.1-2.2-2.3) come caso 2) con incremento dell'isolamento termico (10 cm, 15 cm, 20 cm) della copertura in lamiera isolata;

caso 3) sostituzione delle pareti d'ambito (disperdenti e non disperdenti verso l'esterno) in gasbeton con pareti in calcestruzzo (20 cm, massa volumica 1200 kg/m³, conducibilità termica 0,39 W/mK), impianto di ventilazione come nel caso 2);

casi 3.1-3.2-3.3-3.4-3.5) come caso 3) con isolamento termico dall'esterno rispettivamente di 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm;

caso 4) struttura edilizia con pareti d'ambito (disperdenti e non disperdenti verso l'esterno) in calcestruzzo e debolmente isolate – come nel caso 3.1) – e copertura isolata come nel caso 2.2.

È infine stata stimata la producibilità oraria di energia elettrica di un impianto fotovoltaico in silicio monocristallino (efficienza di progetto dei moduli 18%) collocato sull'unica falda di copertura orientata a sud dell'edificio ed ipotizzando l'autoconsumo a servizio dei ventilatori e la vendita dell'energia eccedente.

Risultati

Nella figure 4, 5 e 8 sono rappresentati i profili orari della temperatura media dell'aria all'interno della sala, della portata di ventilazione con aria esterna; per maggiore chiarezza è riportato anche sullo sfondo l'andamento della temperatura dell'aria esterna. Nel caso 1), in cui la portata di ventilazione è pari a due soli valori, si nota come sia necessario attivare la portata superiore già all'inizio del mese di maggio, e mantenerla fino a metà settembre. I consumi energetici di tale configurazione e delle successive sono riportati nella Tabella 1.

Nel grafico della figura 5 si nota invece come con il ventilatore a portata variabile sia possibile ridurre nel periodo invernale al minimo la portata, con conseguente riduzione dei consumi elettrici per movimentazione dell'aria (da 6478 kWh a 3757 kWh) mentre la portata massima viene raggiunta per effettuare il *free cooling*. Tale soluzione è invece confrontabile con quella relativa al caso 1) per quanto riguarda le altre grandezze.

Tab. 1. Riepilogo dei casi analizzati e delle grandezze di interesse (con esclusione delle analisi di sensibilità all'incremento dell'isolamento termico)

	Caso 1)	Caso 2)	Caso 3)	Caso 4)
Ventilatore	Portata costante (2 step)	Portata variabile	Portata variabile	Portata variabile
Free cooling	no	sì	sì	sì
Energia termica per riscaldamento [kWh _t]	10143	10150	13328	11148
Energia elettrica per movimentazione dell'aria [kWh _e]	6478	3757	3728	2951
Energia primaria [kWh]	24200	18302	21418	17552
Indice di surriscaldamento della struttura [°C h]	1053	1164	293	255

Per meglio comprendere il funzionamento del *free cooling*, nella figura 6 è riportato un andamento settimanale delle grandezze richieste in due periodi di attivazione del *free cooling* in modalità diverse. In entrambi i casi si riconoscono i periodi di attivazione dall'innalzamento della portata di aria di ventilazione al di sopra del valore limite inferiore (curva fuxia). Nella settimana riportata nel grafico a sinistra, con temperature dell'aria esterna inferiori a quella fissata come set point interno (26 °C), si nota come il *free cooling* si attivi durante il giorno, e renda quasi sempre possibile il contenimento della temperatura dell'aria interna entro i 26 °C (tratti orizzontali della curva blu); di notte viceversa vi è un abbassamento delle temperature dovuto alla ventilazione di base. Nella settimana riportata nel grafico a destra invece, in cui le temperature dell'aria esterna sono spesso più elevate di 26 °C, si nota come la portata di ventilazione sia quasi sempre al valore massimo ammissibile e tenda a scendere – anche se senza mai portarsi ai valori della ventilazione di base – solo di notte, allorchè è possibile tenere una temperatura interna pari al set point impostato (26 °C) per il raffrescamento attraverso *free cooling*; durante le ore centrali della giornata l'impianto di ventilazione non riesce a far altro che mantenere la temperatura dell'aria

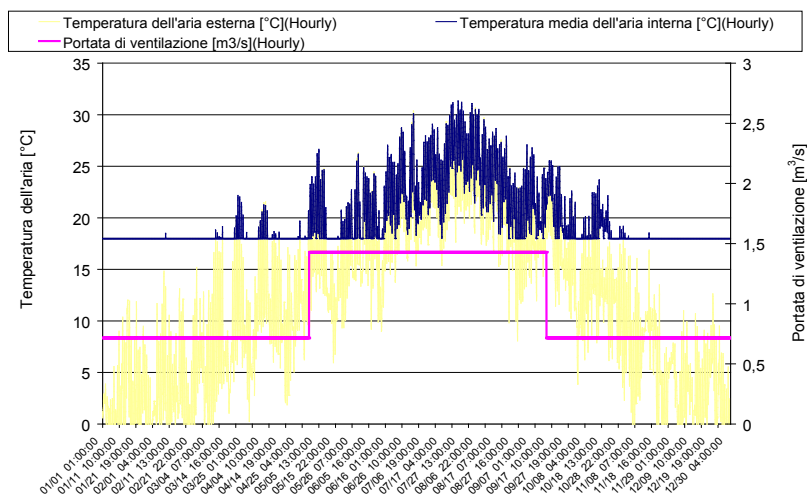


Fig. 4. Andamento orario della temperatura interna e della portata di ventilazione per il caso 1

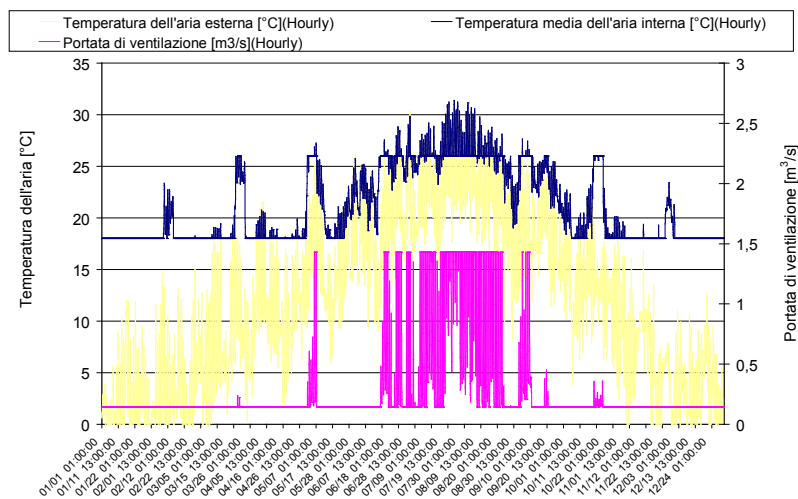


Fig. 5. Andamento orario della temperatura interna e della portata di ventilazione per il caso 2

interna di 1-2 °C al di sopra della temperatura dell'aria esterna. In entrambi i grafici si nota poi come la temperatura dell'aria interna si collochi sempre al di sopra dell'aria esterna, per effetto dei carichi interni e del carico solare.

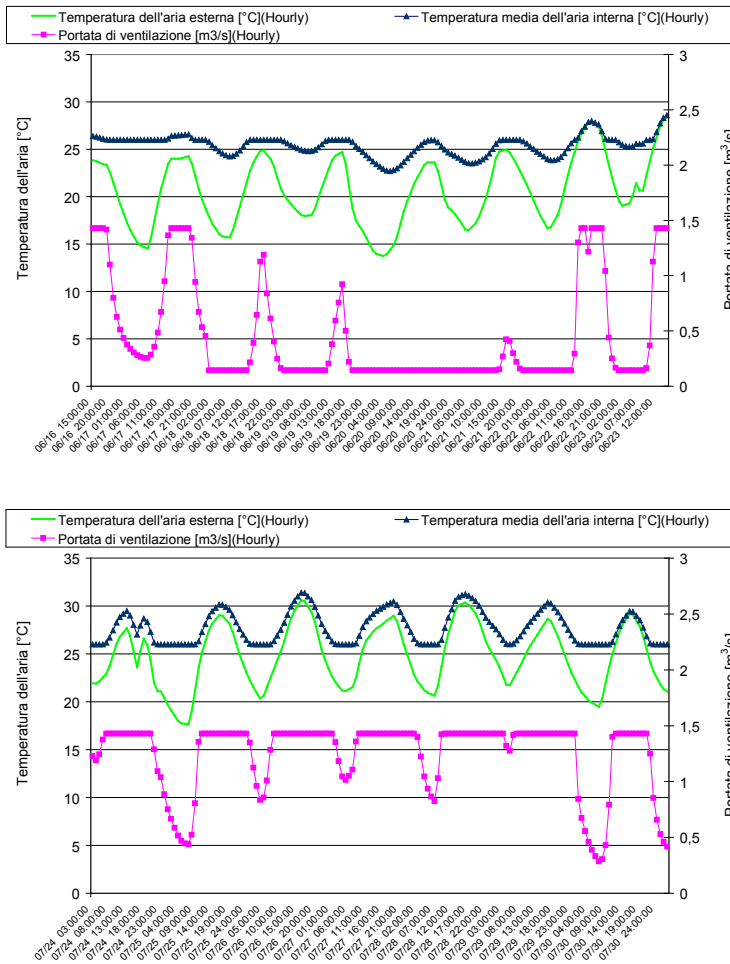


Fig. 6. Andamento orario della temperatura interna e della portata di ventilazione per il caso 2 in una settimana del mese di giugno (sopra) ed una del mese di agosto (sotto)

L'adozione delle pareti d'ambito in calcestruzzo del caso 3) permette di ridurre notevolmente l'indice di surriscaldamento della struttura, a fronte di un modesto incremento del consumo per riscaldamento, che in ogni caso può essere ridotto attraverso l'isolamento termico.

Nei grafici della figura 7 è riportata l'indagine relativa all'effetto dell'isolamento termico sulle pareti perimetrali (grafico a destra) e sulla copertura (grafico a sinistra). Si può notare come l'isolamento delle pareti incide esclusivamente sul fabbisogno per riscaldamento e che al di là di uno

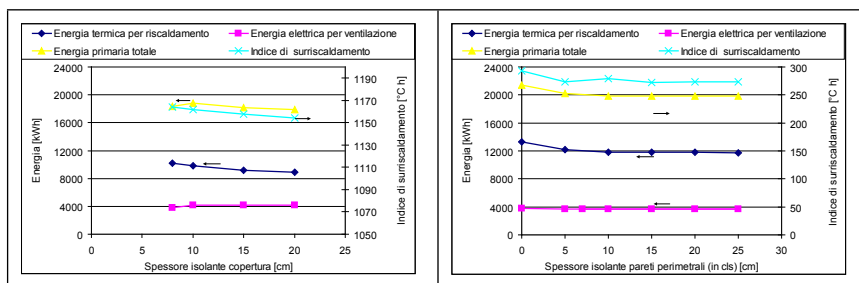


Fig. 7. Andamento dei consumi energetici e dell'indice di surriscaldamento della struttura al variare dello spessore di isolante termico e della copertura, ovvero casi 2.1-2.2-2.3 (sx) e delle pareti perimetrali esterne in cls, ovvero casi 3.1 e successivi (dx)

spessore di 5-10 cm non porti alcun ulteriore beneficio; anche l'effetto sul comportamento estivo è trascurabile. Molto più marcata la riduzione del fabbisogno per riscaldamento conseguente all'incremento di isolamento termico della copertura nel caso 2, che fa riferimento alla configurazione edilizia di riferimento dell'edificio, in quanto la copertura risulta essere la superficie di scambio termico più estesa. Nuovamente trascurabile l'effetto dell'isolamento sul comportamento estivo della struttura.

Alla luce dei precedenti risultati, è stata analizzata un'ulteriore configurazione (caso 4) caratterizzata dall'impiego di pareti in calcestruzzo, debolmente isolate (5 cm) e copertura isolata con 15 cm di isolante termico. Ciò dà luogo ad una struttura che ha un consumo energetico per riscaldamento contenuto (11148 kWh), un consumo energetico per ventilazione non eccessivamente elevato (2951 kWh), ed un comportamento estivo che limita notevolmente il surriscaldamento oltre i 26 °C (indice pari a 255 °C·h). L'andamento orario della temperatura interna e della portata di ventilazione di tale soluzione è riportato nella figura 8, da cui risulta evidente l'effetto di riduzione delle sovratemperature, soprattutto nelle mezze stagioni, ed una attivazione del free cooling concentrata nei momenti in cui il carico interno è massimo. A ciò consegue anche un risparmio energetico per movimentazione dell'aria.

Nei grafici della figura 9 sono riportati i profili della temperatura interna ed esterna per alcune giornate estive; nel grafico sopra sono riportate due giornate estive non estremamente calde (in cui la temperatura non supera i 26 °C) e si può notare come il caso 1), ovvero quello in cui il ventilatore è a portata costante pari alla portata massima, il profilo di temperatura segua, pur se su qualche grado in più di temperatura, quello dell'aria esterna. Nel caso 2) si ha una limitazione entro i 26 °C ma a causa del sottoraffreddamento relativo durante le ore notturne il profilo tende a restare sempre molto elevato; i casi 3) e 4) sono quelli che presentano uno sfasamento di un'ora tra il valore massimo della temperatura interna e quello della temperatura esterna.

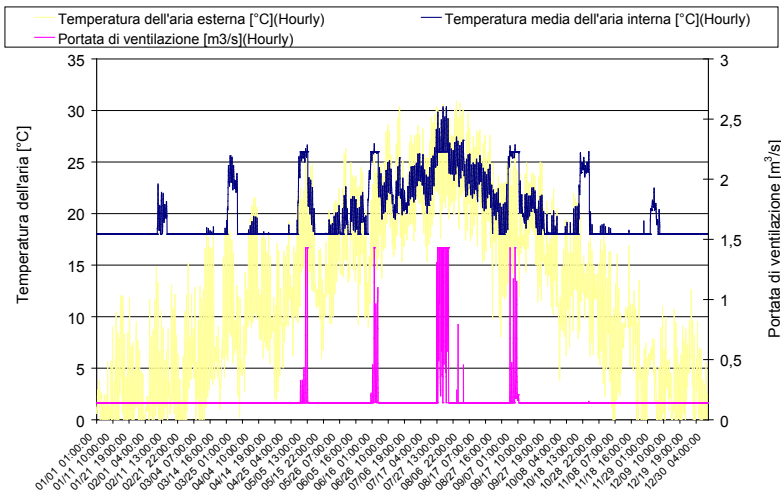


Fig. 8. Andamento orario della temperatura interna e della portata di ventilazione per il caso 4

Nel grafico sotto è invece riportata una giornata estiva in cui la temperatura dell'aria raggiunge i 29 °C e la temperatura interna, in ogni configurazione, ne è superiore. Le elevate portate di ventilazione fanno sì che i profili di temperatura interna ricalchino quelli della temperatura esterna. A parte il caso 1), in cui la portata non è regolabile, in tutti gli altri casi la temperatura è fissa sui 26 °C quando si può attivare il *free cooling*.

Infine, l'ultima valutazione condotta riguarda l'installazione di un impianto fotovoltaico in silicio monocristallino sulla falda di copertura, orientata a sud, della sala parto. È emerso come data l'ampia superficie disponibile (oltre 90 m²) la producibilità totale di energia elettrica annua è elevata (14788 kWh_e/anno), e pari a circa 4 volte il consumo per ventilazione (del caso 2), tuttavia, analizzando gli andamenti orari della produzione di energia elettrica del fotovoltaico e di richiesta dei ventilatori, è emerso come venga autoconsumata solo una modesta quantità di energia elettrica prodotta dal fotovoltaico (1795 kWh_e ovvero il 12%), e pertanto sia comunque necessario richiedere alla rete il 52% dell'energia elettrica richiesta per ventilazione (1962 kWh_e). Le curve cumulate di frequenza dell'energia elettrica autoconsumata per alimentare i ventilatori e di quella richiesta alla rete sono riportati nella figura 10.

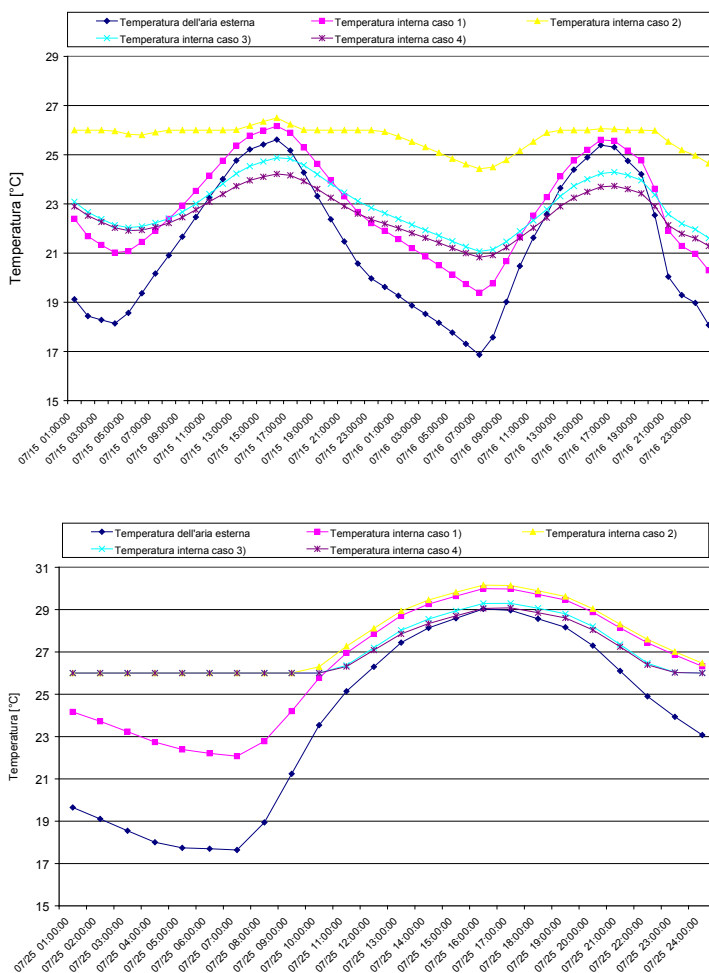


Fig. 9. Andamento orario in alcuni giorni estivi della temperatura interna rispetto alla temperatura esterna per varie configurazioni e diverse giornate

Conclusioni

Nel presente lavoro sono state applicate le metodologie che fanno uso della simulazione termoenergetica dinamica, ampiamente sviluppate per l'analisi energetica dei fabbricati civili, ad una costruzione per la produzione animale caratterizzata da un alto grado di standardizzazione nei caratteri distributivi, morfologici e impiantistici. Pur con tali limitazioni, sono emerse una serie di criticità che meritano ulteriori indagini, per esempio quelle riguardanti la corretta presa in considerazione del cari-

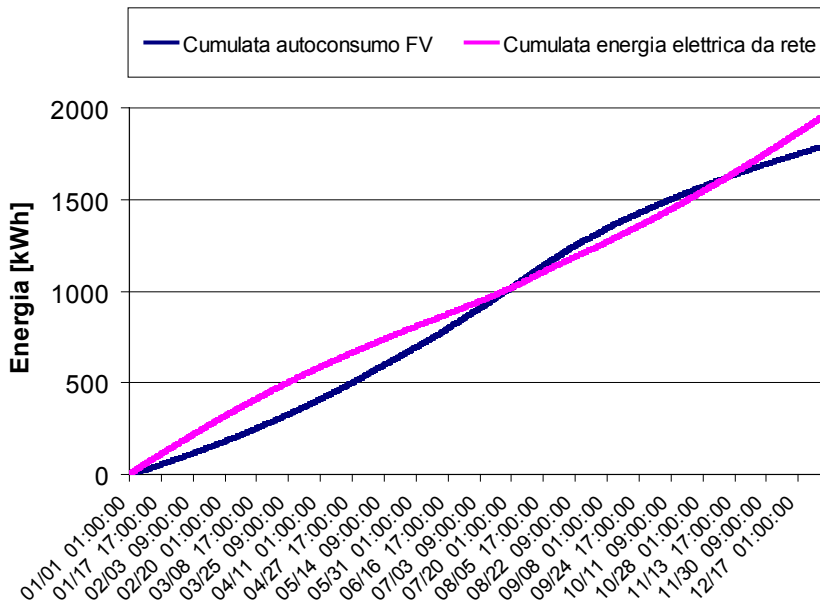


Fig. 10. Curve cumulate di frequenza dell'energia elettrica da fotovoltaico autoconsumata e di quella prelevata dalla rete.

co latente dovuto agli animali e alle deiezioni degli animali, i cui valori sono dipendenti dai valori di temperatura ed umidità relative interne, a loro volta incognite ad ogni passo di tempo di calcolo della simulazione.

Nello specifico, i risultati emersi da questo studio ricalcano quanto riportato da numerose altre ricerche, ad esempio (Candura *et al.* 2006), ovvero la necessità di utilizzare materiali da costruzione con una sufficiente capacità termica in grado di garantire lo sfasamento dell'onda termica dovuta alla conduzione attraverso le superfici disperdenti e favorire pertanto un raffrescamento della struttura attraverso la ventilazione artificiale con aria esterna. All'ottimizzazione della struttura edilizia saranno poi associate le opportune misure di raffrescamento puntuale delle scrofe ove necessario (Barbari *et al.* 2006; Barbari e Conti 2009). Lo studio ha inoltre messo in luce come sia necessario passare dall'analisi su alcuni punti di progetto o tutt'al più su giorni di progetto estivi, ad un'analisi di lungo periodo delle condizioni termoigrometriche interne, che prende in conto il comportamento particolarmente critico della struttura e degli impianti nelle stagioni intermedie, in cui possono alternarsi giornate più calde a giornate più fredde.

Infine, è necessario disporre di dati di monitoraggio ambientale dettagliati in locali pilota, per svolgere l'attività di calibrazione dei modelli

di calcolo di questo tipo di strutture, che vengono spesso studiate attraverso modelli di calcolo autoconstruiti proprio per le limitazioni e le problematiche insite nell'utilizzo di software di calcolo termoenergetico.

Bibliografia

- Axaopoulos P., Panagakis P., Kyritsis S. 1992. *Computer simulation assessment of the thermal microenvironment of growing pigs under summer conditions*, Transactions of the ASAE, vol. 35, n. 3 pp. 1005-1009.
- Panagakis P., Axaopoulos P. 2008. *Comparing fogging strategies for pig rearing using simulations to determine apparent heat-stress indices*, Biosystems Engineering, vol. 99, pp. 112-118.
- Barbari M., Bianchi M., Conti L., Sorbetti Guerri F. 2006. *Tecniche di raffrescamento delle scrofe in sala parto*, in G. Cascone (a cura di), Soluzioni edilizie, impianti e attrezzature per il miglioramento del benessere degli animali negli allevamenti intensivi, GeoGrafica, Ragusa, pp. 155-167.
- Barbari M., Conti L. 2009. *Use of different cooling systems by pregnant sows in experimental pen*, Biosystems Engineering, vol. 103, n. 2, pp. 239-244.
- Bartali E.H., et al. 1999. *CIGR Handbook of Agricultural Engineering Volume II Animal Production & Aquacultural Engineering*, ASAE.
- Candura A., Scarascia Mugnozza G. Schettini E., Vox G. 2006. *Contenimento delle temperature e gestione dei reflui nei fabbricati per l'allevamento suinicolo intensivo*, Soluzioni edilizie, impianti e attrezzature per il miglioramento del benessere degli animali negli allevamenti intensivi, GeoGrafica, Ragusa, pp. 155-167
- Fabrizio E. 2009. *Strumenti per la stima dei consumi. Potenzialità, criticità e utilizzo del software di simulazione dinamica EnergyPlus*, Cda (Condizionamento dell'aria, riscaldamento, refrigerazione) ISSN 0373-7772, Milano, n. 2, febbraio 2009, pp. 14-21.
- Fabrizio E. 2012a. *L'energy modelling*, Atti e Rassegna Tecnica della Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino, ISSN 0004-7287, LXVI-1-2-3, aprile-giugno 2012, pp. 263-270.
- Fabrizio E. 2012b. *Energy reduction measures in agricultural greenhouses heating: envelope, systems and solar energy collection*, Energy and Buildings, vol. 53, pp. 57-63.
- Filippi M., Fabrizio E. (a cura di). 2012. *Introduzione alla simulazione termoenergetica dinamica degli edifici*, collana "Guide AiCARR", Editoriale Delfino, Milano, 190 pp.
- Liberati P., Zappavigna P. 2006. *Un software per la simulazione dinamica del clima interno degli edifici zootecnici*, in G. Cascone (a cura di), Soluzioni edilizie, impianti e attrezzature per il miglioramento del benessere degli animali negli allevamenti intensivi, GeoGrafica, Ragusa, pp. 30-44.
- Zulovich J.M., Tubbs R.C. 2007. *Influence of environment and housing on swine reproduction*, in Current Therapy in Large Animal Theriogenology, Elsevier, pp. 812-816.

ASPETTI AMBIENTALI CRITICI NELLE STRUTTURE PER IL POST-SVEZZAMENTO DEI SUINETTI

F. da Borso, F. Teri, M. Mezzadri

Università di Udine, Dipartimento di Scienze agrarie ed ambientali

Riassunto. In una struttura per il post-svezzamento dei suinetti con ventilazione forzata, box con pavimentazione completamente grigliata e *vacuum system* per la gestione dei liquami sono stati rilevati i parametri microclimatici, i flussi di ventilazione e le concentrazioni di gas (NH_3 , CO_2 , N_2O , CH_4) in periodi di monitoraggio corrispondenti a diverse condizioni stagionali (inverno, estate, autunno) ed in diversi momenti del ciclo produttivo.

Le concentrazioni indoor dei gas sono sempre risultate entro livelli ritenuti accettabili; NH_3 è risultata mediamente pari a $4,7 \text{ mg m}^{-3}$, con un valore massimo pari a $8,7 \text{ mg m}^{-3}$. I flussi di emissione di NH_3 sono risultati correlati con il peso vivo degli animali e con il livello di liquami presente nella vasca di accumulo. I valori unitari di emissione di NH_3 ($0,38 \text{ kg anno}^{-1} \text{ capo}^{-1}$, nella fase di accrescimento da 6 a 20 kg capo^{-1}) sono risultati compatibili con quelli indicati per le Migliori Tecniche Disponibili ($<0,60 \text{ kg NH}_3 \text{ anno}^{-1} \text{ posto suino}^{-1}$, D.M. 29 gennaio 2007). Lo svuotamento più frequente delle vasche di accumulo, mantenendo un livello di liquami nella vasca inferiore a 0,4 m, potrebbe contribuire a ridurre ulteriormente le emissioni gassose, quindi l'applicazione del *vacuum system* su canalette a sezione trapezoidale o triangolare rovesciata, accorciando i tempi di riempimento, potrebbe portare ad un ulteriore miglioramento ambientale, in termini di qualità dell'aria indoor e di impatto in atmosfera.

Parole chiave: Suini, Benessere animale, Impatto ambientale, Migliori Tecniche Disponibili

Summary. A building for the post-weaning of piglets with forced ventilation, boxes with completely slatted floor and vacuum system for manure management, was the subject of an environmental monitoring. Microclimatic parameters, ventilation flows and gas concentrations (NH_3 , CO_2 , N_2O , CH_4) were monitored in periods corresponding to different seasonal conditions (winter, summer, autumn) and at different piglet age. The indoor concentrations of gases turned out to be within levels considered acceptable; NH_3 was on average $4,7 \text{ mg m}^{-3}$, with a maximum value of $8,7 \text{ mg m}^{-3}$. The emission flows of NH_3 were related to piglet weight and to manure level in the storage tank. NH_3 emissions ($0,38 \text{ kg year}^{-1} \text{ pig place}^{-1}$, during the first growing phase from 6 to 20 kg pig^{-1}) turned out to be comparable with those stated for the Best Available Techniques ($<0,60 \text{ kg NH}_3 \text{ year}^{-1} \text{ pig place}^{-1}$, Italian D.M. 29 gennaio 2007). A more frequent emptying of storage tanks, keeping a manure level in the tank lower than 0,4 m, could contribute to further reduce gas emissions. Therefore, application of vacuum system on manure channels with trapezoidal or upside-down triangular section, shortening the filling times, could bring a further environmental improvement, in terms of indoor air quality and impact on the atmosphere.

Key words: Swine, Animal welfare, Environmental impact, Best Available Techniques

Introduzione

Gli allevamenti di suini da riproduzione con più di 750 posti-scrofa, comprensivi dei suinetti nati in allevamento e mantenuti fino ad un peso di 30 kg, sono soggetti alla direttiva 96/61/CE riguardante la prevenzione e la riduzione integrate dell'inquinamento, denominata direttiva IPPC. Ruolo centrale nell'applicazione della direttiva IPPC è svolto dalle Migliori Tecniche Disponibili (BAT), le quali sono correlate al tipo di pavimentazione e al sistema di rimozione dei reflui (European Commission DG-JRC, 2003). Per le strutture di post-svezzamento, la tecnica cosiddetta *vacuum system* (stoccaggio temporaneo dei liquami in vasche poco profonde a svuotamento rapido) è stata considerata BAT, attribuendole un fattore di emissione pari a $0,45 \text{ kg NH}_3 \text{ posto}^{-1} \text{ anno}^{-1}$, inferiore rispetto a quello della tecnica di riferimento (vasca di stoccaggio prolungato sottostante la pavimentazione grigliata), pari a $0,60 \text{ kg NH}_3 \text{ posto}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ (DM 29 gennaio 2007).

L'utilizzo del *vacuum system* nel settore di post-svezzamento, tuttavia, può evidenziare alcuni aspetti funzionali e gestionali critici soprattutto in presenza di suinetti ad inizio ciclo, in relazione all'impossibilità di raggiungere gli adeguati battenti idraulici per effettuare lo svuotamento delle vasche in tempi ragionevoli ed in relazione alle difficoltà di climatizzazione invernale, più difficilmente controllabile in presenza di pavimentazione completamente fessurata e ventilazione forzata (da Borso *et al.*, 2009). Per valutare la funzionalità e le prestazioni ambientali della tecnica *vacuum* nella fase di post-svezzamento alle condizioni operative dell'alta pianura friulana, nell'ambito del progetto "Innovazione e ottimizzazione nella filiera del prosciutto crudo tipico", finanziato dalla Regione Friuli Venezia Giulia, è stato condotto uno specifico monitoraggio ambientale: il presente lavoro intende relazionare sui principali risultati ottenuti in termini di qualità dell'aria ed emissioni gassose.



Fig. 1. L'edificio di post-svezzamento (a sinistra) e l'interno di una delle 5 sale di allevamento.

Materiali e metodi

Descrizione della struttura

L'azienda sede delle prove è situata nell'alta pianura friulana, in comune di Fagagna (Ud) ed alleva circa 1000 scrofe da riproduzione a ciclo aperto. I suinetti nati in azienda vengono svezzati ed allevati fino a un peso massimo di 40 kg, in un fabbricato suddiviso in 5 sale di svezzamento, indipendenti e gestite a riempimento scalare con modalità *tutto pieno - tutto vuoto*. Ciascuna sala ha dimensioni pari a 17 m x 9 m e presenta 10 box disposti simmetricamente ai lati di un corridoio centrale di servizio (Fig. 1). La pavimentazione è interamente realizzata con elementi modulari in grigliato di materiale plastico. Ciascuna sala presenta una vasca di accumulo temporaneo dei liquami, caratterizzata da una profondità utile massima di 0,6 m ed un corrispondente volume utile massimo di 97,8 m³. La rimozione dei liquami avviene periodicamente e completamente con un sistema tipo vacuum, attraverso uno scarico comandato dall'apertura di una valvola specifica per ogni vasca.

Il sistema di ventilazione è di tipo forzato in depressione, regolato indipendentemente in ciascuna sala di allevamento per mezzo di centraline elettroniche programmate e sensori di temperatura interna. L'aspirazione dell'aria esausta avviene per mezzo di 4 ventilatori estrattori montati all'interno di camini che prelevano l'aria dallo spazio presente tra pavimento e pelo libero dei liquami nella vasca di accumulo (Fig. 2). L'ingresso dell'aria di ricambio avviene attraverso le finestre laterali che si aprono sul corridoio di servizio del ricovero; dal corridoio l'aria circola nella camera di espansione creata nel controsoffitto e da qui entra nelle sale di allevamento attraverso apposite aperture di ventilazione.

Metodologie di rilievo

Nell'allevamento di prova sono state eseguite 6 sessioni di monitoraggio in diversi periodi dell'anno, in modo da sottendere condizioni climatiche diverse. In particolare, sono state interessate i due periodi climatici "estremi" (inverno ed estate) ed un periodo climatico "intermedio" (autunno). Ad ogni sessione, i rilievi sono stati effettuati in 2 sale di post-svezzamento, selezionate in modo da avere in ciascuna suinetti di peso vivo medio nei range da 6 a 20 kg capo⁻¹ e da 25 a 40 kg capo⁻¹. Ciascuna sessione di monitoraggio ha previsto il posizionamento del sistema automatico di acquisizione dei parametri microclimatici ed ha avuto una durata di 2 settimane. La portata dell'aria di ricambio e la concentrazione dei gas sono state rilevate manualmente ad ogni sessione di monitoraggio nella giornata di posizionamento del sistema di rilievo dei parametri microclimatici e nella giornata della sua disattivazione. Le

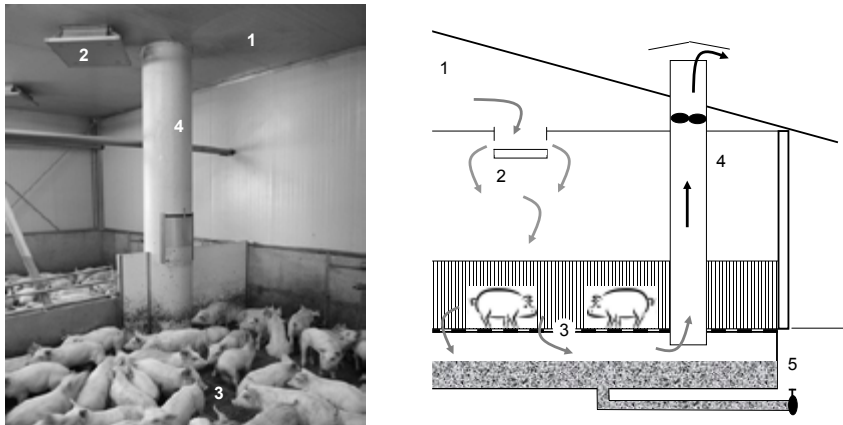


Fig. 2. Descrizione del sistema di ventilazione: 1 controsoffittatura, 2 bocchette di immissione dell'aria, 3 pavimentazione completamente grigliata in materiale plastico, 4 camino di estrazione dell'aria con ventilatore, 5 vasca di accumulo liquami con rimozione vacuum system.

portate dell'aria di ricambio sono state quantificate attraverso la misurazione della velocità dell'aria sui camini di estrazione per mezzo di un anemometro a filo caldo con compensazione termica (LSI Lastem - Babuc M). La concentrazione dei gas (NH_3 , CO_2 , N_2O , CH_4) è stata rilevata con un monitor multigas di tipo fotoacustico (Brüel & Kjær 1302), effettuando i prelievi dell'aria in una posizione centrale della sala (concentrazione *indoor*) e sui camini di estrazione (concentrazione *outlet*). Il flusso di emissione dei gas è stato calcolato come prodotto tra il flusso d'aria nel camino e la concentrazione outlet del gas. È opportuno sottolineare che questo lavoro non tratterà i risultati relativi ai rilievi dei parametri microclimatici, oggetto di altre pubblicazioni (da Borso *et al.*, 2011), ma si concentrerà su qualità dell'aria, emissioni di gas e flusso di ventilazione, parametro al quale i precedenti sono strettamente correlati.

Risultati e discussione

Ventilazione

Il ricambio dell'aria in condizioni invernali ha evidenziato minime variazioni in funzione della categoria di peso vivo ed il valore medio della portata totale è risultato pari a 7263 e 7597 $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$, rispettivamente per le categorie 6-20 e 25-40 kg p.v. La portata di ricambio dell'aria in condizioni estive, invece, è risultata crescente in funzione del peso degli animali, e pari a 9100 e 17401 $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$, rispettivamente per le cate-

gorie 6-20 e 25-40 kg p.v. (Fig 3). In linea generale, la portata totale di ventilazione è risultata abbastanza uniforme nel corso dell'anno per gli animali nella prima parte del ciclo (6-20 kg). Il flusso specifico di ventilazione, tuttavia, è risultato superiore per i suinetti nella prima fase, con valori medi tra loro simili in condizioni invernali ed autunnali (rispettivamente 0,78 e 0,66 $\text{m}^3 \text{h}^{-1} \text{kg}^{-1}$ p.v.) e valori sensibilmente più elevati in estate (2,08 $\text{m}^3 \text{h}^{-1} \text{kg}^{-1}$ p.v.).

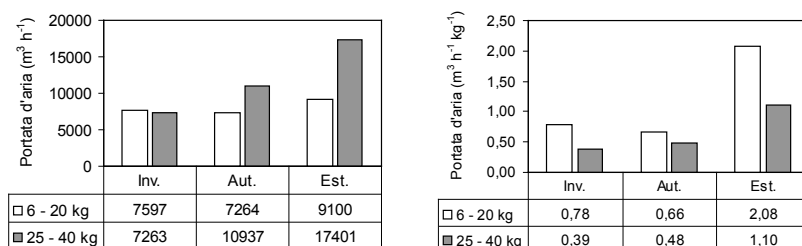


Fig. 3. Portata dell'aria di ricambio totale (a sinistra) e specifica (a destra), in corrispondenza di diversi periodi stagionali ed in funzione della categoria di peso vivo dei suinetti.

Qualità dell'aria indoor

La concentrazione media dei gas nelle sale di allevamento ha evidenziato, come atteso, differenze in relazione alla stagione ed al peso vivo dei suinetti. I valori medi di concentrazione di NH_3 (Fig. 4) sono risultati più elevati in periodo invernale ed autunnale nelle sale di allevamento con suinetti a fine ciclo (6,9 e 7,2 mg m^{-3} , rispettivamente). Il valore massimo rilevato nel corso dell'intera sperimentazione è risultato pari a 8,7 mg m^{-3} (in autunno, con suinetti a fine ciclo). I valori rilevati sono

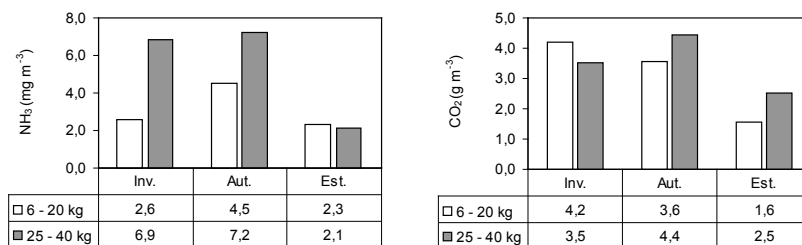


Fig. 4. Concentrazioni indoor di gas (NH_3 , a sinistra e CO_2 , a destra), in corrispondenza di diversi periodi stagionali ed in funzione della categoria di peso vivo dei suinetti.

risultati inferiori alla soglia massima di 20 ppm (pari a $14,2 \text{ mg m}^{-3}$) consigliata da CIGR (1984) per questo gas. Le concentrazioni di CO_2 sono risultate più basse in estate e, rispetto ad NH_3 , sono state caratterizzate da differenze meno marcate in funzione della fase del ciclo di allevamento, soprattutto in condizioni invernali ed autunnali. Le concentrazioni di ammoniaca hanno evidenziato un andamento crescente in funzione del livello di liquami nella vasca di accumulo, rappresentato da una funzione lineare. Gli altri gas, invece, non hanno evidenziato significative correlazioni con il livello di liquame (Fig. 5).

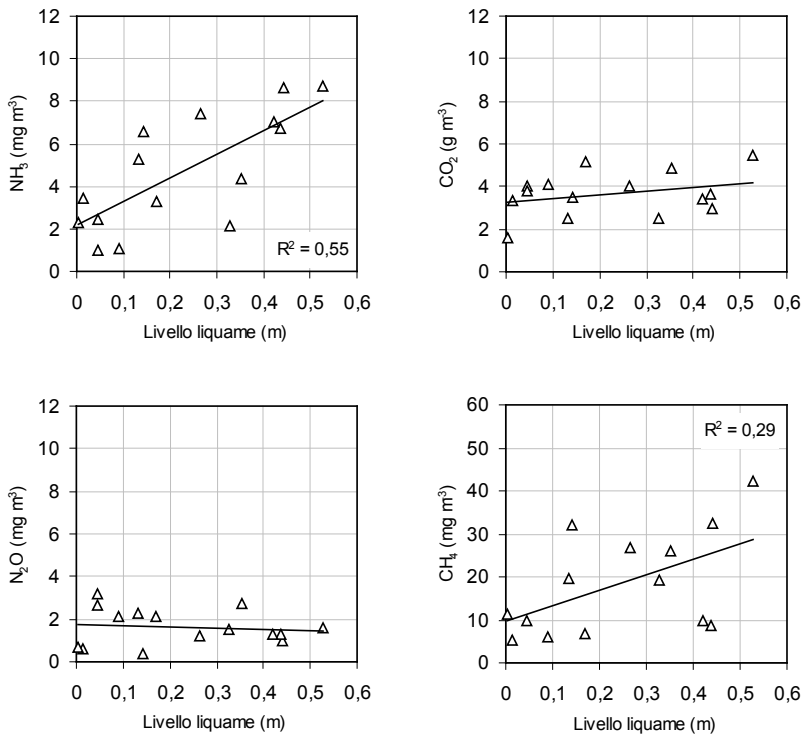


Fig. 5. Correlazioni tra livello del liquame nella vasca di accumulo e concentrazione indoor dei gas.

Emissioni di gas

I valori specifici di emissione dei gas sono risultati mediamente più bassi in condizioni invernali e più elevati in condizioni estive, escludendo CH_4 che invece ha evidenziato i valori più elevati in autunno con

suinetti ad inizio ciclo. I risultati sono riportati in dettaglio nella Fig. 6 e nelle relative tabelle sono espressi anche i dati medi di emissione. In particolare, è possibile osservare che: in estate le emissioni di NH₃ sono risultate più elevate per i suinetti ad inizio ciclo; le emissioni di CO₂ sono risultate più elevate in inverno dai suinetti a inizio ciclo, mentre in estate dai suinetti a fine ciclo; le emissioni di N₂O in inverno ed autunno sono risultate più elevate per i suinetti ad inizio ciclo, mentre in estate per i suinetti a fine ciclo, con una differenza più evidente; le emissioni di CH₄ sono risultate molto basse in inverno, ma nelle altre stagioni hanno raggiunto valori elevati. Considerando il valore medio di emissione di NH₃ dall'intero reparto di post-svezzamento (3,1 mg h⁻¹ kg⁻¹), sulla base di un peso vivo medio presente durante il ciclo pari a 23 kg capo⁻¹, è stato possibile calcolare un valore medio di emissione, riportato su base annua, pari a 0,6 kg anno⁻¹ capo⁻¹, esattamente corrispondente al livello di soglia per l'individuazione delle BAT per le strutture di post-svezzamento, come specificato dalle Linee guida di riferimento (D.M. 29 gennaio 2007). Tuttavia, questo valore limite di riferimento è relativo a suinetti fino ad un peso vivo di 30 kg, inferiore rispetto al peso medio finale ottenuto nell'azienda di prova. Nel caso allo studio, l'emissione media

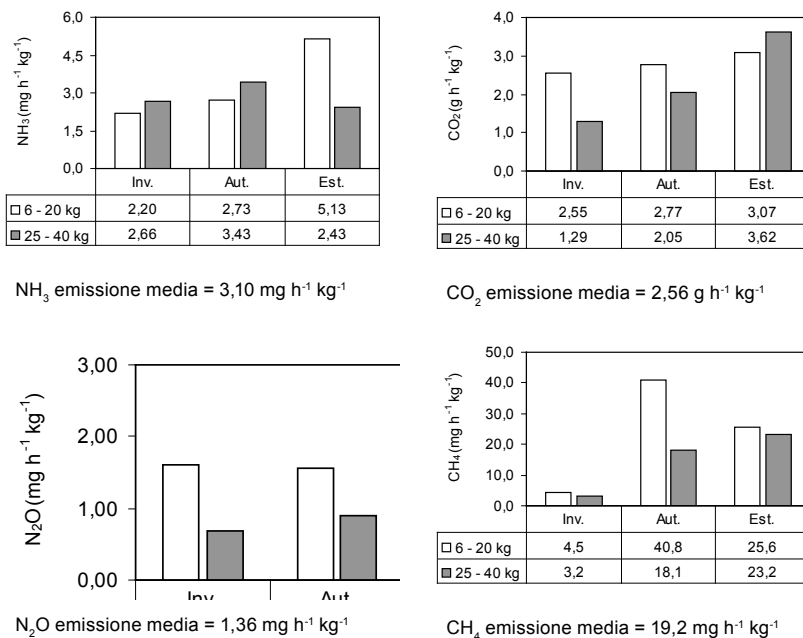


Fig. 6. Flussi di emissione dei gas, in corrispondenza dei diversi periodi ed in funzione della categoria di peso vivo dei suinetti.

per la categoria di peso 6–20 kg, è risultata pari a $0,38 \text{ kg anno}^{-1} \text{ capo}^{-1}$, ricadente, quindi, in ambito BAT e solo leggermente inferiore rispetto a quanto indicato per la tecnica vacuum ($0,45 \text{ kg anno}^{-1} \text{ capo}^{-1}$, D.M. 29 gennaio 2007).

L'emissione di ammoniaca è risultata correlata con il livello di liquami nella vasca di accumulo. In particolare, è risultato un andamento lineare di crescita poco accentuato fino ad un livello di liquami pari a circa 0,40 m, oltre il quale il valore di emissione ha avuto un andamento crescente molto più evidente (Fig. 7).

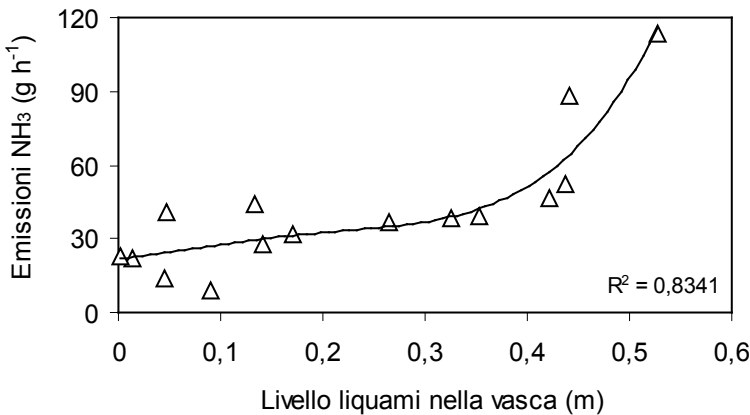


Fig. 7. Emissioni di NH_3 dalle sale di post-svezzamento in funzione del livello dei liquami contenuti nella vasca di accumulo.

Conclusioni

La concentrazione indoor di NH_3 si è mantenuta sempre su valori inferiori a $14,2 \text{ mg m}^{-3}$, indicato come soglia massima da CIGR (1984). Le concentrazioni dei gas sono risultate inversamente correlate alla portata d'aria di ricambio e quindi sono risultate, in generale, più basse in estate rispetto all'inverno, come indicato anche da altri autori (Barbari *et al.*, 1995).

I flussi di emissione specifici di NH_3 sono risultati inferiori rispetto ai livelli indicati nelle Linee guida per l'individuazione delle BAT per la tecnica di riferimento applicata a suinetti fino al peso vivo di 30 kg ($< 0,6 \text{ kg NH}_3 \text{ anno}^{-1} \text{ posto}^{-1}$) (Bonazzi, 2000; CRPA, 2003). I flussi di emissione di NH_3 hanno evidenziato un andamento di crescita lineare fino ad un livello di riempimento della vasca dei liquami pari a 0,4 m. Oltre questo livello di riempimento, i flussi di emissione hanno evi-

denziato un rapido aumento, suggerendo l'opportunità di ricorrere allo svuotamento della vasca già ad un livello inferiore di liquami.

In sede progettuale, la riduzione delle superfici emittenti ed il riempimento più rapido delle vasche per il vacuum system potrebbero essere ottenuti con realizzazioni a pavimentazione parzialmente fessurata e con canalette a sezione triangolare o trapezoidale, come indicato anche da Navarotto (2004). Anche una diversa organizzazione della gestione degli animali, che preveda la movimentazione dei suini in modo da mantenere sempre il carico unitario massimo di peso vivo in ogni sala, contribuirebbe a ridurre i tempi di riempimento delle vasche, ma risulterebbe negativa per le condizioni stressanti determinate dai frequenti spostamenti.

La direttiva IPPC è tuttora in corso di revisione in ambito comunitario: è in discussione l'introduzione, nella definizione delle BAT, di nuovi parametri oltre ad NH_3 , quali ad esempio le polveri PM 2,5; sono allo studio nuove strutture di allevamento, nuove tecniche di stoccaggio e di spandimento dei reflui; potrebbe, infine, essere avviato il processo di ricalcolo per la determinazione dei nuovi fattori di emissione dell'ammoniaca. I risultati del lavoro sperimentale che qui sono stati presentati potrebbero contribuire ad ampliare la conoscenza proprio in tali direzioni.

Ringraziamenti

La ricerca è stata finanziata dalla Regione Friuli Venezia Giulia con contributi LR 26/2005 e DPR Reg. 120/2007, nell'ambito del Progetto "Innovazione ed ottimizzazione nella filiera del prosciutto crudo tipico".

Si ringrazia il sig. Lizzi per la disponibilità e collaborazione.

Bibliografia

- CIGR, 1984. Aerial environment in animal houses: concentrations in and emissions from farm buildings. Report of the CIGR Working Group on Climatisation of animal houses. Disponibile on-line: <http://www.cigr.org>.
- BARBARI M., GASTALDO A., VALLI L., 1995. Gas nocivi, come combatterli. In Rivista di suinicoltura, 8: 14-47.
- BONAZZI G., 2000. Le Migliori Tecniche Disponibili per la riduzione delle emissioni dai ricoveri suinicoli. Le Costruzioni per la produzione Agricola e il Territorio Rurale - Impatto sull'ambiente e tutela del paesaggio, Bologna, 19-20 ottobre 2000, 137-150.
- CRPA, CENTRO RICERCHE PRODUZIONI ANIMALI, 2003. Allevamenti a basso impatto ambientale. Edizioni L'Informatore Agrario, Verona.

- DA BORSO F., MEZZADRI M., 2009. Analisi dei fattori critici per l'ambiente nelle strutture di alcuni allevamenti per l'ingrasso dei suini nel bacino padano e nel distretto di San Daniele (Ud). Qualità e sicurezza nella filiera del prosciutto. Ed. a cura di Piasentier Edi, Università di Udine-Italy, Consorzio Prosciutto San Daniele. ISBN: 978-88-89222-05-8, 69-88.
- DA BORSO F., TERI F., MEZZADRI M. (2011). Migliori tecniche per il post-svezzamento. Rivista di Suinicoltura 12, ISSN: 0035-662X, 44-53.
- DECRETO MINISTERO AMBIENTE 29 GENNAIO 2007. Emanazione di linee guida per l'individuazione e l'utilizzazione delle migliori tecniche disponibili, in materia di allevamenti, macelli e trattamento di carcasse, per le attività elencate nell'allegato I del decreto legislativo 18 febbraio 2005, n. 59. Supplemento Ordinario n.127 alla Gazzetta Ufficiale, Serie Generale n. 125 del 31 maggio 2007.
- DIRETTIVA 2008/1/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 15 gennaio 2008 sulla prevenzione e la riduzione integrate dell'inquinamento (versione codificata). GUCE L 24 del 29.1.2008, 8-29. [Documento online]. <http://eur-lex.europa.eu>.
- DIRETTIVA 96/61/CE del Consiglio del 24 settembre 1996 sulla prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento. GUCE L 257 del 10.10.1996, 26-40. [Documento online]. <http://eur-lex.europa.eu>.
- EUROPEAN COMMISSION – DIRECTORATE GENERAL JOINT RESEARCH CENTRE (JRC), 2003. Reference Document on Best Available Techniques for Intensive Rearing of Poultry and Pigs. Disponibile in: <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/>
- NAVAROTTO P., 2004. I.P.P.C.: La riduzione delle emissioni in atmosfera nel settore zootecnico. Relazione presentata al Convegno: "La zootecnia tra realtà ed evoluzione normativa in campo ambientale", Mantova 4 giugno 2004.

EFFICIENTAMENTO DEI SISTEMI DI DIGESTIONE ANAEROBICA

S. Ragone¹, R. Capobianco², P. Picuno²

Geovis S.r.l. C/O Tecnopolis S.c.a R.l., Parco Scientifico e Tecnologico della Regione Puglia

Dipartimento Tecnico-Economico per la Gestione del Territorio Agricolo-Forestale – DITEC – Università degli Studi della Basilicata

Riassunto. Obiettivo generale della ricerca è la realizzazione di un reattore anaerobico sperimentale che, al fine di incrementare il livello termico complessivo, verrà realizzato all'interno di una serra dotata di un impianto di recupero del calore attraverso scambiatori che permettano il controllo delle temperature interne. Il circuito sarà realizzato col fine di conseguire una accelerazione dei processi di idrolisi e acidogenesi, di acetogenesi e di metanogenesi a carico della frazione liquida del rifiuto organico proveniente dalla raccolta differenziata dei rifiuti urbani di piccole e grandi utenze. Il recupero di calore sarà favorito anche dalla combustione del biogas e dalla sezione di compostaggio.

Nella prima fase della ricerca, sono stati simulati gli andamenti dei processi di digestione anaerobica, che vengono qui presentati. Le simulazioni condotte hanno permesso di evidenziare una maggiore efficienza del processo di digestione condotto a 48°C. L'efficienza è stata determinata in ordine agli aspetti quantitativi della produzione del biogas.

Sulla base di tali risultati preliminare si potrà quindi procedere con la realizzazione dell'impianto pilota, provvisto anche di una sezione per il compostaggio della matrice pre-lavorata e digestata, con il quale si potrà monitorare la produzione e la qualità del biogas in presenza di condizionamenti appositamente predisposti in un ambiente termofilo.

Parole chiave: digestione anaerobica, biogas, metanogenesi

Summary. General aim of the research is the realization of an experimental anaerobic reactor that, in order to increase the global thermal level, will be installed inside a greenhouse provided with an heating system recovering the heat through exchangers that allow the control of the temperature of the reactors. The circuit will be made with a view to achieving an acceleration of the processes of hydrolysis and acidogenesis, methanogenesis and acetogenesis to be borne by the liquid fraction of the organic waste from separate collection of municipal waste from small to large users. The heat recovery will be achieved even from the biogas combustion and from the section of composting.

In the first phase of the research, the trends of the processes of anaerobic digestion, were simulated. The simulations conducted have revealed a greater efficiency in the digestion process conducted at 48 °C. The efficiency was determined in order to the quantitative aspects of the biogas production.

Basing on these results, the research will proceed with the realization of the pilot plant, also fitted with a section for the composting of the matrix after pre-processing and digesting, in order to monitor the production and the quality of the biogas in the presence of conditioning specially crafted in a thermophilic environment.

Key words: Anaerobic digestion, biogas, methanogenesis, greenhouse, thermal efficiency

Introduzione

In Italia, le biomasse disponibili per produrre energia sono principalmente costituite da legna da ardere, residui agricoli, agroindustriali e forestali, nonché dalla frazione biodegradabile dei rifiuti solidi urbani. Il contenuto energetico di queste biorisorse è equivalente a circa 23 milioni di tonnellate di petrolio (Mtep). Non tutta la quantità di biomasse prodotta annualmente è recuperabile, sia perché la materia prima si presenta molto dispersa sul territorio, sia perché sono possibili usi alternativi della biomassa stessa. Si stima che quella recuperabile a fini energetici sia il 45-50% di quella prodotta. In figura 1 viene sinteticamente illustrato il processo produttivo del biogas:

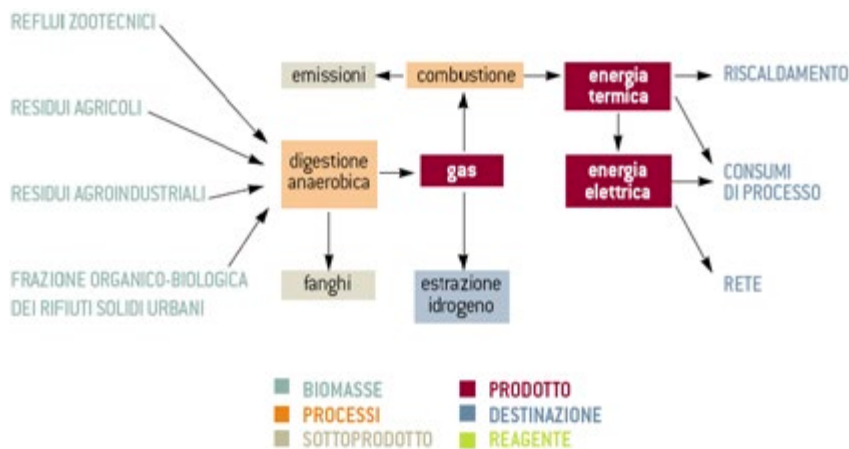


Fig. 1. Layout processo produzione del biogas

Un quadro nazionale di maggior dettaglio deriva da un censimento svolto dal CRPA (Piccinini et al., 2008), Centro Ricerche Produzioni Animali, per conto della Regione Emilia-Romagna sugli impianti di digestione anaerobica operativi nel settore zootecnico ed agro-industriale: “Gli impianti di biogas in Italia: stato dell’arte”. All’inizio del 2008 risultavano installati sul territorio nazionale circa 306 impianti di taglia piccola-media di cui:

- 154 alimentati con effluenti zootecnici, scarti organici, colture energetiche;
- 121 alimentati con fanghi di depurazione civile;
- 9 alimentati da FORSU (frazione organica dei rifiuti solidi urbani);
- 22 impianti da reflui agroindustriali.

A questi vanno aggiunti circa 140 impianti operativi per il recupero del biogas dalle discariche di rifiuti urbani che per ora rappresentano la principale fonte di biogas da biomasse. (ITABIA, 2003).

Metodi biologici anaerobici: test di produzione residua di biogas

La determinazione della produzione residua di gas è uno dei parametri più importanti per caratterizzare i rifiuti residui pretrattati meccanicamente e biologicamente. A seconda delle procedure analitiche adottate, possono essere riprodotte in laboratorio condizioni più o meno naturali utili a misurare la potenziale produzione di biogas di una matrice fermentescibile.

Molti indicatori sono stati proposti per misurare il potenziale peso ecologico dei rifiuti smaltiti in discarica. Particolare attenzione è stata rivolta all'impatto delle matrici organiche ad elevata fermentescibilità contenute nei Rifiuti Urbani (RU) in termini di reattività biologica (Scaglia et al. 2010). I parametri impiegati a tale scopo misurano l'attività respirometrica (APAT Manuali Linee Guida 25/2003), e la capacità potenziale di produzione del biogas (Scaglia e Adani, 2008).

I test respirometrici hanno permesso di misurare l'attività biologica ed il consumo di ossigeno dei microrganismi che degradano la frazione della sostanza organica facilmente putrescibile in condizioni aerobiche (APAT Manuali Linee Guida 25/2003).

La produzione potenziale di biogas si riferisce alla misurazione del biogas prodotto dalle matrici fermentescibili durante un periodo di incubazione in condizioni anaerobiche mediante test di laboratorio in 30-90 giorni (APAT Manuali Linee Guida 25/2003). Quest'ultima procedura è stata utilizzata nel corso della presente sperimentazione.

Come noto, la formazione biologica del metano è il risultato delle attività metaboliche di gruppi batterici altamente specializzati che convertono in metano e anidride carbonica, i prodotti finali delle fermentazioni operate da altri batteri anaerobi. La stima dell'evoluzione temporale del tasso di produzione del biogas in discarica, è un dato basilare per la progettazione dei sistemi di captazione, trasporto e trattamento dello stesso. La successione nel tempo e nello spazio delle varie popolazioni batteriche nella massa dei rifiuti può essere suddivisa in diverse fasi, caratterizzate anche da emissioni qualitativamente e quantitativamente diverse: in anaerobiosi la materia or-

ganica è convertita in 4 fasi successive, che implicano depolimerizzazione, fermentazione, produzione di idrogeno e acetato e metanogenesi.

Nella fase metanigena stabile i gruppi acetogenici e metanogeni sono in equilibrio dinamico e la produzione di metano è pressoché costante, si raggiungono concentrazioni di metano pari al 50–65% in volume (Cossu *et al.*, 1999).

Prove sperimentali di produzione di biogas

Materiali e metodi

Per simulare la produzione di biogas, sono stati adottati gli standard riferiti nei test di incubazione (Adani *et al.* 2000) che prevedono l'utilizzo di vials in vetro ermeticamente chiusi, mantenuti ad una temperatura costante di 35°C per mezzo di un bagno termostato muniti, all'interno dei quali viene posto il campione da analizzare (fig. 2). Questo test risulta molto semplice e funzionale permettendo di eseguire prove con un alto numero di campioni in contemporanea. Con questo test vengono determinati qualitativamente e quantitativamente i biogas prodotti in un periodo di 28 e anche 90 giorni.

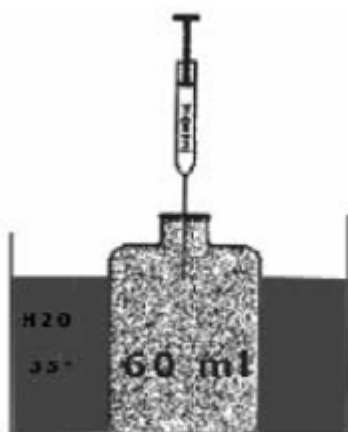


Fig. 2. Test di incubazione (Adani *et al.*, 2000)

Dai rifiuti considerati è stata prelevata una frazione rappresentativa da sottoporsi al test di produzione di biogas. Ciascuna frazione è stata macinata meccanicamente fino al raggiungimento di un diametro pari

a circa 1 mm (pezzatura standard). I campioni di pezzatura 1 mm sono stati introdotti in vials di vetro da 60 ml, sigillati da un tappo a ghiera con setto di silicone perforabile. In tutti i vials sono stati introdotti 4 grammi di materiale secco. Per ottenere questo materiale secco, i differenti campioni sono stati posti in stufa termostata a 105° centigradi per 24 ore, affinché l'umidità residua di ogni matrice risultasse nulla. Ai campioni posti nei vials è stata aggiunta acqua sufficiente a raggiungere un quantitativo di sostanza secca pari al 40%. Al momento della chiusura dei vials si è provveduto ad insufflare azoto in continuo per garantire una perfetta anaerobiosi. Per il campionamento del biogas sono state utilizzate siringhe da 1 ml con stantuffo lubrificato mediante grasso di silicone al fine di permetterne lo scorrimento quando si sviluppa una leggera pressione all'interno dei vials.

I campioni sono stati tenuti in bagno termostato, la temperatura è stata costantemente mantenuta a 35°C sul bianco di prova (una temperatura simile a quella che comunemente si raggiunge all'interno dei digestori) ed a 48°C sul saggio di prova. I vials venivano estratti solamente per le operazioni di misurazione.

Le prove sono state condotte per un periodo di tempo di 90 giorni. I prelievi sono stati effettuati con cadenza settimanale.

La determinazione della produzione di biogas è stata condotta da un punto di vista quantitativo. Le prove sono state eseguite in triplo al fine di ottenere un valore finale dotato di una buona solidità. Si è proceduto all'analisi quantitativa del biogas prodotto mediante l'utilizzo delle siringhe precedentemente descritte. I dati così ottenuti vengono espressi in ml e poi convertiti in l/kg ST (*solidi totali*). Per le prove qualitative sul biogas si è utilizzato un Gascromatografo SHIMADZU GC. Le analisi quantitative hanno evidenziato la produzione di due differenti tipi di biogas: anidride carbonica e metano, mentre altri gas, se presenti, erano rilevabili solamente in tracce.

Risultati e discussione

Dai risultati (Tab. 1) relativi alla produzione di biogas dopo 90 giorni in condizioni anaerobiche, si nota come siano presenti significativi scarti tra la prova a 35°C e la prova a 48°C.

Come numerosi studi hanno più volte evidenziato, la produzione di acidi organici, abbassando il pH, determina un'inibizione della metanogenesi, (*Binner e Zach 1999*). Una bassa produzione di biogas da parte dei rifiuti può essere attribuita ad un effetto di tossicità individuabile con valori anomali del pH. Tra i parametri chimico-fisici che influenzano la produzione di biogas, il più difficilmente controllabile è proprio il pH che, come ampiamente riportato in letteratura, risulta ottimale per la metanogenesi tra 6,4 e 7,2, in un intervallo di tolleranza tra 6 e 9.

Tab. 1. Valori di produzione del biogas espressi in l/kg S.T. in incubatore

	Step 1 30 gg	Media step 1	Step 2 60 gg	Media step 2	Step 3 90 gg	Media step 3
Unità di misura	l/kg s.T.					
Temperatura 35° c	0,77		2,10		3,10	
	0,90	0,83	3,30	2,50	4,70	3,60
	0,82		2,10		3,00	
Temperatura 48° c	1,70		3,50		4,21	
	1,88	1,69	3,20	3,38	3,86	3,99
	1,49		3,44		3,90	

Tipicamente le fasi che caratterizzano il processo di produzione del biogas mostrano una rapida emissione di anidride carbonica e produzione di acidi organici (fase aerobica ed acidogena: fase I e II del modello di produzione di biogas (*Adani et al., 2000*) non accompagnata da produzione di metano, pertanto, le prove a 35°C si caratterizzano per l'acidificazione del mezzo e per la sola presenza di anidride carbonica.

Diversamente, i campioni a 48°C non solo hanno prodotto maggiori volumi di biogas (fig. 3), ma hanno anche fatto registrare l'assenza di una significativa acidificazione del mezzo. Tali condizioni indicano uno stadio del modello di produzione del biogas identificabile con la fase di metanogenesi, che indica uno stadio avanzato di decomposizione chiamata fase metanigena instabile. Durante tale periodo le produzioni di biogas sono significative e tendono ad incrementare come confermato dagli andamenti delle produzioni monitorate.

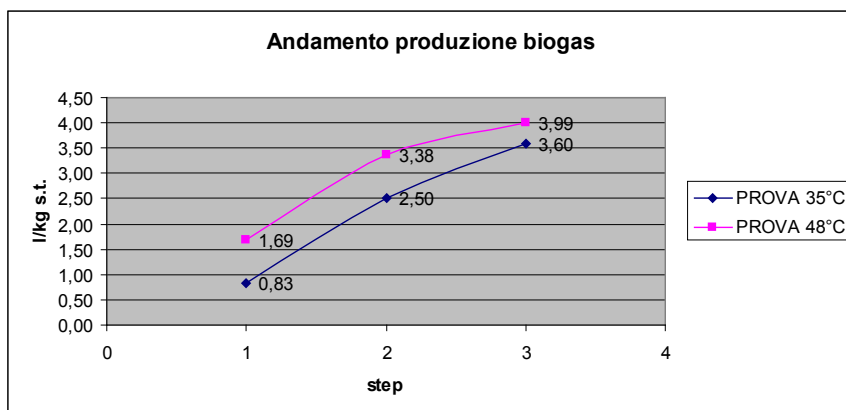


Fig. 3. Andamento grafico della simulazione di produzione del biogas.

Sulla base di tale risultato appare estremamente interessante l'accoppiamento delle fasi di digestione con produzione di biogas con l'ubicazione all'interno di una serra. Tale particolare tipo di fabbricato, infatti, costituisce notoriamente un potente valorizzatore dell'energia solare, che consente un incremento anche notevole del livello termico all'interno del volume confinato da esso definito. Come evidenziato anche da Autori (*Scarascia & Picuno, 2007*), infatti, i livelli termici che vengono raggiunti, a latitudini tipiche dell'Italia Meridionale, possono arrivare a valori talmente elevati da rendere il microclima locale molto interessante per applicazioni quale quella che in tale ricerca sono state ipotizzate.

Le ricerche orientate verso l'interpretazione dei fenomeni fisici in grado di creare in un ambiente confinato condizioni idonee allo sviluppo e alla produzione delle specie vegetali hanno avuto inizio negli anni '50 attraverso modelli empirici fondati su relazioni statistiche ricavate per specifiche tipologie serricole in determinate situazioni climatiche; in seguito (*Businger J. A., 1963*) sono comparsi i primi modelli matematici che hanno introdotto il concetto di modello previsionale dei parametri ambientali interni alle serre costituendo la base per le successive ricerche. A causa dei sopravvenuti problemi collegati alle crisi energetiche degli anni '70 per l'approvvigionamento delle fonti di energia convenzionale, gli studi e le applicazioni si sono orientati anche verso l'ottimizzazione progettuale e gestionale rivolta al conseguimento del risparmio energetico.

Il rinnovato interesse dei ricercatori verso i modelli matematici e le potenzialità offerte dalle considerevoli capacità di calcolo raggiunte con l'introduzione dei nuovi strumenti informatici, hanno al contempo prodotto numerose proposte di interpretazione numerica del funzionamento energetico degli apprestamenti protetti. I modelli di simulazione dei fenomeni fisici inerenti al comportamento globale del sistema serra sono suddivisibili in quattro sotto-modelli (*Takakura T. et al., 1985*) che riguardano:

- la radiazione solare incidente ed entrante nella serra;
- i meccanismi di trasmissione del calore e di trasferimento di massa;
- le funzioni di controllo degli impianti di regolazione dell'ambiente interno;
- i processi di crescita e di sviluppo delle piante.

I modelli numerici descrittivi del microclima in serra comprendono soprattutto i primi due sottosistemi su elencati: radiazione solare incidente e bilancio di energia e di massa, con eventuali riferimenti agli altri due sottosistemi. Nell'ambito della letteratura esistente (*Lacroix R. e Zanghi J. C., 1990*), si possono distinguere i modelli:

- con un componente, generalmente l'aria interna, o con più componenti, quali la copertura, l'aria interna, la vegetazione e il suolo;
- statici, che ipotizzano un regime stazionario, o dinamici, calcolati in regime variabile, in grado quindi di valutare l'accumulo e il ri-

- lascio di energia dei diversi componenti dell'apprestamento aventi inerzia termica non trascurabile quale, soprattutto, il terreno;
- monodimensionali, bidimensionali o tridimensionali, in funzione delle caratteristiche di propagazione considerate per gli scambi energetici, a secondo che queste siano, rispettivamente, unidirezionali, piane o spaziali.

Conclusioni

Dai risultati relativi alla produzione di biogas dopo 90 giorni della matrice sottoposta a condizioni anaerobiche, si nota come dalle due prove di digestione siano emersi due andamenti sostanzialmente differenti in ordine alle cinetiche dei processi. Entrambi i processi sono stati completati ed è stato raggiunto un alto livello di produzione di metano cumulativo nei 90 giorni di prova.

In dette condizioni appare evidente che i 90 giorni considerati per il test proposto non risultano sufficienti per esprimere la totale potenzialità produttiva, come peraltro già osservato in letteratura. Nessuno dei campioni analizzati mostrava produzioni identificabili con la fase metanigena stabile, caratterizzata da pH subalcalini e produzioni di metano superiori al 50 %. L'impiego di una temperatura di processo pari a 48°C ha permesso, tuttavia, di raggiungere un'esasperazione della velocità di metabolizzazione del substrato senza il determinarsi di condizioni avverse alla fase metanigena (abbassamento del pH). In conclusione, mediante l'impiego di calore si ottiene una maggiore produzione di metano in ragione di una efficiente utilizzazione della sostanza secca al punto da realizzare una produzione metanigena prossima alla fase metanigena stabile, in un tempo minore dei 90 giorni. Il ricavo in termini di tempo è stimabile in una riduzione dei tempi di processo pari al 25 %. Detta percentuale è, al momento, del tutto indicativa poiché ricavata da prove su modelli e simulazioni propedeutiche ad una verifica in campo mediante l'allestimento di un impianto pilota.

La realizzazione di un impianto pilota servirà a chiarire se è possibile trasferire su scala industriale le condizioni di processo mantenute nella prova in laboratorio e se il processo così caratterizzato è economicamente sostenibile. L'impianto pilota sarà realizzato ricorrendo alle tecniche costruttive osservate per la costruzione delle serre al fine di ottenere una considerevole riduzione del calore disperso dai digestori. Alle simulazioni numeriche che sono state avviate verranno accoppiate anche le modellizzazioni già proposte in letteratura, atte a definire l'andamento del regime termico all'interno di un apprestamento protetto quale quello nel quale si prevede di realizzare l'impianto pilota di digestione e produzione di biogas.

Bibliografia

- Adani F., 2000. Esperienze di ricerca sulla caratterizzazione biologica dei rifiuti pretrattati. Atti del seminario internazionale: "La progettazione delle nuove discariche e la bonifica delle vecchie". Padova 25-27 settembre 2000.
- Adani F., Scatigna L., Genevini P.L. 2000. Biostabilization of mechanically separated municipal solid waste fraction. *Waste Management & Research*. APAT Manuali Linee Guida 25/2003, Metodi di misura della stabilità biologica dei rifiuti.
- Binner E., Zach A., Lechner P. 1999. Test methods describing the biological reactivity of pretreated residual wastes. Sardinia 99, Atti del settimo simposio internazionale sulla gestione dei rifiuti e sullo scarico controllato, 04 - 08 ottobre 1999, S. Margherita di Pula, Cagliari.
- Businger J. A., (1963) - The greenhouse climate, *Physics of plant environment* - North Holland Publ., Amsterdam, 277-318.
- Cossu R., Raga R., Vascellari V. 1999. Comparison of different stability criteria for MBP waste in view of landfilling. Sardinia 99, Atti del settimo simposio internazionale sulla gestione dei rifiuti e sullo scarico controllato, 04 - 08 ottobre 1999, S. Margherita di Pula, Cagliari.
- ITABIA (Italian Biomass Association), Rapporto 2003: le biomasse per l'energia e l'ambiente, 2003.
- Lacroix R., Zanghi J.C., (1990) - Etude comparative de la structure des modèles de transfert d'énergie et de masse dans les serres - *Can. Agric. Eng.* 32, (2), 269-284.
- Piccinini S., Soldano M., Fabbri C., (2008) - Gli impianti di biogas in Italia: stato dell'arte - *The bioenergy international Italia*, Paulownia Italia S.r.l.
- Scaglia B., Adani F., (2008) - An index for quantifying the aerobic reactivity of municipal solid wastes and derived waste products - *Sci Total Environm.* , 394, 183-191.
- Scaglia B., Confalonieri R., D'Imporzano G., Adani F., (2010) - Estimating biogas production of biologically treated municipal solid waste - *Bioresource Technology*, 101, 945-952.
- Scarascia-Mugnozza G., Picuno P. (2007). L'e- nella modellizzazione per la ricerca, la progettazione e la gestione. Relazione Ufficiale invitata presentata al Congresso AIIA 2007 su: "L'e- nell'ingegneria agraria, forestale e dell'industria agro-alimentare", Firenze, 25-26 ottobre 2007.
- Takakura T., Kurata K., Honjo T., (1985) - Physical models and the greenhouse climate -, *Acta Horticulturae* (174), 97-104.

APPLICAZIONE IN AGRICOLTURA DI MATERIALI POLIMERICI BIODEGRADABILI BASATI SU IDROLIZZATI PROTEICI

G. Scarascia Mugnozza¹, G. Vox¹, L. Sartore², E. Schettini¹

¹ *Dipartimento DISAAT, Università degli Studi di Bari*

² *Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Industriale, Università degli Studi di Brescia*

Riassunto. L'obiettivo della presente ricerca è lo studio e lo sviluppo di nuovi materiali polimerici biodegradabili a base di risorse rinnovabili, in particolare proteine idrolizzate derivate da prodotti di scarto dell'industria conciaria. Tali materiali, completamente biodegradabili e compostabili, sono stati applicati per la realizzazione di teli per la pacciamatura del suolo. I materiali biodegradabili utilizzati per la pacciamatura possono essere addizionati di fibre naturali, fillers, pigmenti e plastificanti, in modo tale da modularne le proprietà fisico-chimiche e meccaniche. Tutti i materiali sono stati realizzati con lo scopo di ottimizzare le loro proprietà fisico-meccaniche per la loro applicazione in campo. Mediante test in serra è stata accertata la loro idoneità e funzionalità, i film di pacciamatura sono stati realizzati direttamente sul suolo agrario mediante tecnica spray a bassa pressione. I film hanno mostrato, in campo, una vita utile di circa 12 mesi e hanno soddisfatto la loro funzione pacciamante, riducendo drasticamente lo sviluppo di erbe infestanti.

Parole chiave: agricoltura sostenibile, materiali a base di risorse rinnovabili, pacciamature

Summary. Aim of the research is the development of biodegradable polymeric materials based on hydrolyzed proteins, derived from waste products of the leather industry. These compostable and biodegradable materials are used in order to made biodegradable mulching films. Fillers, coloured pigments, natural plasticizer and vegetal fibres were opportunely added in order to assure the chemical, physical-mechanical properties of the film during the cultivation time. Soil mulching films, made with the biodegradable materials, were applied to the soil by means of spray techniques; the mulches were tested in an ornamental cultivation carried out inside a greenhouse. The innovative biodegradable spray films lasted in the field up to 12 months, keeping their mulching effect and guarantying weed suppression.

Key words: sustainable agriculture, renewable raw materials, mulching films

Introduzione

L'uso di materiali plastici derivati dal petrolio è uno dei fattori che limitano la sostenibilità ambientale di molteplici attività umane in quanto tali materiali sono realizzati con materie prime non rinno-

vabili generando, al termine della loro vita utile, ingenti quantitativi di plastica post-consumo da smaltire. La corretta gestione dei rifiuti plastici richiede la realizzazione di centri di raccolta, smaltimento e riciclo con costi che incidono sull'intera collettività. Una soluzione sostenibile dal punto di vista ambientale è rappresentata dall'uso di materiali biodegradabili (Bastioli 1998; Briassoulis, 2004; Kyrikou and Briassoulis, 2007; Scarascia-Mugnozza et al., 2004; Russo et al., 2005; Scarascia-Mugnozza et al., 2006; Tzankova Dintcheva et al., 2007; Vox and Schettini, 2007; Malinconico et al., 2008) i quali, al termine della loro vita utile, possono essere smaltiti mediante compostaggio o interrimento. I materiali biodegradabili, infatti, possono essere smaltiti mediante il processo di biodegradazione, attivato dalla flora batterica, ottenendo infine, come prodotti ultimi della degradazione, CO₂ o metano, acqua e biomassa. I materiali biodegradabili possono quindi essere realizzati utilizzando risorse naturali e rinnovabili che, dalla fase di produzione della materia prima fino al loro smaltimento per biodegradazione, consentono una ridotta produzione di CO₂ nel ciclo del carbonio, rappresentando una soluzione eco-compatibile alla produzione di ingenti quantitativi di plastica post-consumo di origine fossile da smaltire in molteplici attività.

Un'ingente quantità di plastiche destinate all'agricoltura riguarda i film per la pacciamatura che, utilizzati per periodi relativamente brevi e correlati con la durata della coltura, comportano la produzione di grandi quantità di materiali di scarto sprochi di terra e di residui vegetali, e spesso contaminati con pesticidi.

Una nuova generazione di materiali biodegradabili ed ecologicamente sicuri, realizzati con materie prime di origine rinnovabile e naturale, può essere una valida soluzione a numerose problematiche ambientali. Tali materiali dovrebbero essere competitivi sia dal punto di vista funzionale che economico con le plastiche tradizionali derivate dal petrolio ed inoltre dovrebbero degradare naturalmente alla fine del loro periodo di vita funzionale.

A tal proposito, i materiali proteici da sottoprodotti delle industrie conciarie o agroalimentari suscitano un crescente interesse per il loro valore agronomico intrinseco legato all'elevato tenore di azoto in essi presente. In particolare l'idrolizzato proteico (IP), prodotto di scarto dell'industria conciaria, è composto da una miscela di oligopeptidi facilmente disponibili a basso costo e completamente biodegradabili. Nel presente lavoro di ricerca sono stati messi a punto nuovi formulati a base di idrolizzati proteici e polietilenglicol (PEG) idonei per la produzione di film biodegradabili ed è stata studiata la possibilità di modulare le proprietà biotecnologiche di tali film mediante reticolazione e/o aggiunta di plastificanti, o filler e fibre naturali. Nella ricerca è proposta l'applicazione, mediante tecnica spray, di tali materiali per la pacciamatura al terreno,

così come sperimentato con pacciamatura realizzate a base di polisaccaridi (Schettini et al., 2007).

Materiali and metodi

La ricerca ha visto lo sviluppo delle soluzioni da applicare al suolo e la loro successiva applicazione presso il campo sperimentale.

L'idrolizzato proteico (IP), ottenuto da idrolisi chimica di scarti della filiera conciaria, è stato fornito da SICIT Chemitech (Italia). Poli(ethylene glycol) (PEG) è stato fornito da Sigma-Aldrich e utilizzato tal quale; poly(ethylene glycol) diglycidyl ether aveva peso molecolare pari a 526 D; poly(ethylene glycol) diacrylate aveva due differenti pesi molecolari: 258 D e 700 D.

Il Carbon Black è stato fornito da Degussa-Hüls con dimensione principale della particella media di 23 nm. Microfibre di cellulosa-legno SP, con una dimensione delle particelle di 200-300 nm sono state fornite da Gurit; microfibre di cellulosa con particelle di dimensioni di 400-500 nm sono state fornite da West System e usate entrambe tal quali. È stato utilizzato, inoltre, come filler organico a basso costo della segatura, prodotto commerciale di uso comune.

Le pacciamature spray biodegradabili sono state testate presso il Centro didattico sperimentale "Martucci" della Facoltà di Agraria dell'Università di Bari, sito in Valenzano (Bari), latitudine 41° N. Le prove sono state condotte all'interno di una serra senza suolo, caratterizzata da dimensione in pianta di 30.00 m x 10.00 m, altezza di gronda di 4.45 m e altezza di colmo pari a 2.45 m. Il film di copertura utilizzato per la serra era un film in ethylene vinyl acetato (EVA) (PATILUX, Pati Co., Treviso), con uno spessore pari a 200 µm e avente le seguenti caratteristiche radiometriche: coefficiente di trasmissività totale nel range del solare (200-2500 nm) pari a 90.9%, coefficiente di trasmissività diretta nel range del solare pari a 56.7%, e coefficiente di trasmissività nell'intervallo di lunghezze d'onda dell'IR lungo (LWIR, 7500-12500 nm) pari a 22.5%.

La temperatura dell'aria interna alla serra è stata controllata mediante ventilazione naturale e forzata, i ventilatori si accendevano automaticamente quando la temperatura interna superava i 27 °C.

Le pacciamature biodegradabili sono state testate in una coltivazione di *Ligustrum Ovalifolium*; le piante sono state allevate in vasi di plastica con substrato di coltivazione costituito da una miscela di terreno e torba.

Quattro pacciamature biodegradabili sono state realizzate sul substrato di coltivazione utilizzando la tecnica spray, mentre il *Ligustrum* era stato piantato precedentemente nei vasi. Un vaso non pacciamato è stato usato come controllo. Le soluzioni sono state distribuite sulla superficie utilizzando un aerografo, connesso a un compressore che lavorava

ad una pressione di 0.9 MPa (Fig. 1). La quantità di soluzione applicata influenza lo spessore e la durata della pellicola.



Fig. 1. Applicazione della pacciamatura biodegradabile spray presso il campo sperimentale dell'Università di Bari.

Risultati e discussione

La ricerca si poneva l'obiettivo di verificare la possibilità di ottenere e modulare la durata dei film biodegradabili a base di proteine attraverso la derivatizzazione con polietilenglicol (PEG), un polimero solubile in acqua largamente utilizzato nella modifica di proteine. Infatti, la modifica di enzimi e peptidi con PEG è una tecnologia che è stata ampiamente sviluppata per ottenere biomateriali aventi proprietà valide per l'impiego sia nel campo biomedico sia come nuovi biocatalizzatori, grazie alla presenza di catene di polietilenglicol legate alla superficie.

Derivati a base di IP-PEG sono stati preparati in soluzione acquosa seguendo una procedura di sintesi basata sulla reazione tra gruppi amminici delle proteine idrolizzate o gelatine con i gruppi terminali del PEG (Sartore et al., 2006; Sartore et al., 2008). Al fine di mantenere un certo numero di gruppi terminali reattivi in grado di produrre reticolazione, sono stati impiegati PEG bifunzionali, in particolare sono stati utilizzati PEG con gruppi terminali diglicidile e diacrilato.

Derivati IP-PEG sono stati prodotti con composizioni quantitative e qualitative diverse di PEG, sia per tipologia che per pesi molecolari. Questi parametri sono fondamentali per l'utilizzo ottimale dei prodotti in particolare attraverso la deposizione spray e per modulare le proprietà fisico meccaniche e la durata del film. Un modo per migliorare le proprietà termomeccaniche e abbassare la solubilità dei materiali biodegradabili scarsamente versatili in diverse applicazioni, preservando allo stesso tempo la biodegradabilità, consiste nell'utilizzare fibre naturali come fillers biodegradabili.

Infatti, le proprietà e i costi dei polimeri biodegradabili possono essere modificati e migliorati attraverso procedure di blending, crosslinking e grafting, ma anche attraverso l'aggiunta di fillers da risorse rinnovabili come fibre ligneo-cellulosiche al fine di ottenere biocompositi.

Infine, per poter ottenere materiali insolubili con buone proprietà meccaniche è stato aggiunto uno specifico agente reticolante.

I film possono essere preparati aggiungendo a derivati IP-PEG fibre o filler naturali per incrementare sia le proprietà meccaniche sia l'effetto pacciamante. Possono inoltre essere aggiunti anche plastificanti, pigmenti e prodotti comunemente utilizzati nelle pratiche agronomiche.

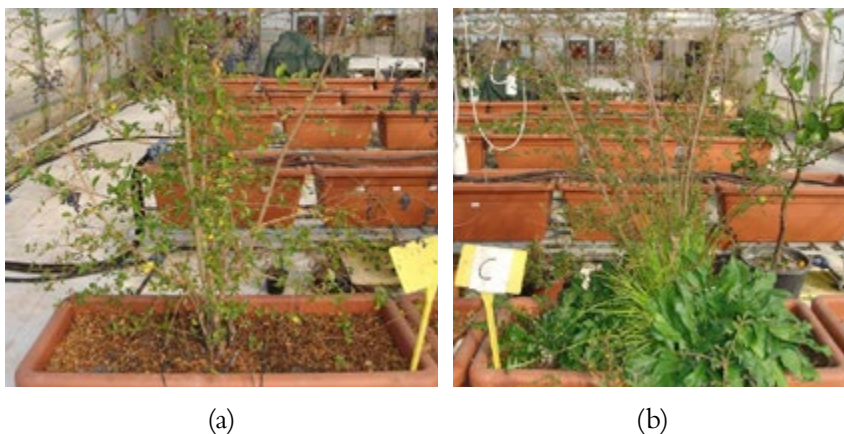


Fig. 2. Pacciamatura biodegradabile spray (a) e testimone non pacciamato (b).

I materiali sono infine stati applicati in prove in campo realizzate in serra. I risultati hanno mostrato che i film, depositati in vaso con tecnica spray, hanno mantenuto la loro capacità pacciamante per 12 mesi. Alcune irregolarità sono comparse sulla superficie delle pacciamature biodegradabili spray a causa dell'irrigazione effettuata con tubicini goc-

ciolanti. Le zone delle pacciamature lontane dai tubicini gocciolanti sono durate oltre 18 mesi. Le pacciamature hanno assolto al loro compito di limitare la crescita delle erbe infestanti, mentre al contrario queste si sono sviluppate nei vasi, non pacciamati, usati come testimone (Fig. 2). Durante il ciclo di coltivazione non sono stati evidenziati segni visibili di biodegradazione.

Conclusioni

I film plastici utilizzati attualmente per la pacciamatura del suolo presentano 2 aspetti negativi: sono realizzati con materie prime non rinnovabili e generano grandi quantità di rifiuti da smaltire con conseguenze spesso negative per l'ambiente. I materiali biodegradabili in generale rappresentano una valida alternativa ambientalmente sostenibile rappresentando un'eccellente soluzione dal punto di vista tecnologico ed economico.

Film biodegradabili a base di IP-PEG sono stati ottenuti mediante tecnica spray; tali materiali, testati quali teli per la pacciamatura del terreno, hanno presentato caratteristiche tecnologiche analoghe a quelle dei film plastici, inoltre la loro applicazione richiede, in presenza di vasi, meno lavoro poiché evita operazioni manuali come il taglio e l'allestimento del film di plastica. Al termine del periodo di vita funzionale il materiale degrada naturalmente rilasciando sostanze a riconosciuta azione fertilizzante.

La pacciamatura biodegradabile spray realizzata a base di proteine idrolizzate rappresenta un valido sistema di coltivazione eco-sostenibile, consente la tutela del paesaggio, limitando l'inquinamento nelle zone rurali, e promuove l'uso di materie prime rinnovabili non derivate da fonti fossili.

Ringraziamenti

La ricerca è stata realizzata nell'ambito del progetto "Studio, sviluppo e prototipazione di biomateriali polimerici innovativi ottenuti da sottoprodotti dell'industria conciaria", finanziato dal Ministero dello Sviluppo Economico - Nuove Tecnologie per il Made in Italy, Project MI01_00059.

I test sperimentali, l'elaborazione dei dati ed il lavoro editoriale sono stati equamente divisi fra gli autori nell'ambito delle proprie competenze: gli aspetti concernenti l'ingegneria agraria sono stati seguiti da Scarascia, Schettini, Vox, quelli inerenti l'ingegneria dei materiali da Sartore.

Bibliografia

- Bastioli C. Properties and applications of Mater-Bi starch-based materials. *Polym Degrad Stab* 1998; 59: 263-272.
- Briassoulis D. An overview on the mechanical behaviour of biodegradable agricultural films. *J Polym Environ* 2004; 12 (2): 65-81.
- Kyrikou I, Briassoulis D. Biodegradation of agricultural plastic films: a critical review. *J Polym Environ* 2007; 15 (2): 125-150.
- Malinconico M, Immirzi B, Santagata G, Schettini E, Vox G, Scarascia Mugnozza G. In: Moeller H W, editor. *Progress in Polymer Degradation and Stability Research*. Chapter 3: An overview on innovative biodegradable materials for agricultural applications. Nova Science Publishers, Inc. NY USA, 2008: 69-114.
- Russo R, Malinconico M, Petti L, Romano G. Physical behaviour of biodegradable alginate-poly(vinyl alcohol) bend film. *J Polym Sci Pol Phys* 2005; 43: 1205-1213.
- Sartore L., Penco M., Sassi A., Candido M.C. "New Biodegradable Polymeric Derivates" International Patent n° PCT/IB2007/055167, RM 2006A000682 (2006) Sicit Chemitech S.p.A. -
- Sartore L., Sassi A., Neresini M., Candido M.C. "Biodegradable Blends Based on Hydrolysed Proteins and Functionalised Ethylene Copolymers" International Patent n° PCT/EP2008/002838 -Sicit Chemitech S.p.A .
- Scarascia-Mugnozza G, Schettini E, Vox G. Effects of the solar radiation on the radiometric properties of biodegradable films for agricultural applications. *Biosyst Eng* 2004; 87 (4): 479-487.
- Scarascia-Mugnozza G, Schettini E, Vox G, Malinconico M, Immirzi B, Pagliara S. Mechanical properties decay and morphological behaviour of biodegradable films for agricultural mulching in real scale experiment. *Polym Degrad Stab* 2006; 91 (11): 2801-2808.
- Schettini E, Vox G, De Lucia B. (2007). Effects of the radiometric properties of innovative biodegradable mulching materials on snapdragon cultivation. *Sci Hortic-Amsterdam* 2007; 112 (4): 456-461.
- Tzankova Dintcheva N, La Mantia F P. Durability of a starch-based biodegradable polymer. *Polym Degrad Stab* 2007; 92: 630-634.
- Vox G, Schettini E. Evaluation of the radiometric properties of starch-based biodegradable films for crop protection. *Polym Test* 2007; 26 (5): 639-651.

ANALISI LCA (LIFE CYCLE ASSESSMENT) DELLE INFRASTRUTTURE PER IL VERDE URBANO

G. Russo¹, A. Grassi¹, S. Castellano²

¹ *Università degli Studi di Bari Aldo Moro, Dip. Scienze Agro-Ambientali e Territoriali*

² *Università degli Studi di Foggia, Dip. PRIME*

Riassunto. La crescente consapevolezza dell'importanza del verde all'interno del tessuto urbano si esplicita con la richiesta ed il bisogno sempre più pressante di sviluppare un modello urbano più vivibile e sostenibile. Da ciò scaturisce anche la necessità di ottimizzare e rendere efficiente l'aspetto progettuale di tale risorsa, optando già in fase progettuale per scelte di materiali e tecnologie più sostenibili. Nel presente lavoro si è posto a confronto, con l'ausilio della metodologia LCA, la realizzazione di sistemi infrastrutturali, quali strade, cordoli e recinzioni per aree verdi urbane, allo scopo di verificare le scelte che producono un minore carico ambientale. Dall'esame dei diversi scenari ipotizzati è emerso con chiarezza come alcune scelte costruttive, come la sostituzione dei cordoli in calcestruzzo o delle strade con manto bituminoso, siano senz'altro migliorative per i carichi ambientali prodotti dalle sistemazioni a verde pubblico. Per altri scenari, come ad esempio la sostituzione delle recinzioni tradizionali con siepi verdi, i risultati non sono quelli auspicati ed anzi, in virtù del tempo di vita utile assegnato a tali sistemazioni, non sono consigliabili.

Parole chiave: Analisi LCA, Aree verdi, Impatto ambientale

Summary. The growing awareness of the importance of greening within the urban areas is shown through the demand and the increasingly pressing need to develop a more livable and more sustainable model of city. This creates the need to streamline and make efficient the project issues of this resource, choosing, in the designing phase, material and technologies more sustainable. In this paper we compared, with the help of LCA method, the implementation of infrastructural systems, such as roads, curbs and barriers for urban green areas, in order to verify the choices that produce a lower environmental load. An examination of the different scenarios clarifies how some design choices, such as the replacement of concrete curbs or streets with bituminous, are certainly an improvement for environmental loads produced in a public green area. For other scenarios, such as the replacement of traditional fences with vegetable hedges, the results are not those desired, and indeed, on the basis of the end life time assigned to such arrangements, they are not advisable.

Key words: Life Cycle Assessment LCA, Green areas, Environmental impact

Obiettivo della ricerca

Il presente lavoro ha come obiettivo quello di verificare scelte progettuali (materiali e tecnologie) differenti con la finalità di individuare quali

producano producano un minore carico ambientale. In particolare si è posto a confronto, con l'ausilio della metodologia LCA, la realizzazione di sistemi infrastrutturali, quali strade, cordoli e recinzioni per aree verdi urbane, allo scopo di verificare le scelte che producono un minore carico ambientale in tale ambito.

Materiali e metodi

La metodologia LCA (lyfe cycle assessment)

Nel presente lavoro è stata utilizzata la metodologia LCA (Life Cycle Assessment). Tale metodologia permette di evidenziare le fasi produttive che creano maggiore impatto ambientale e risulta particolarmente idonea per confrontare processi differenti di uno stesso bene al fine di poter ridurre le emissioni nell'ambiente e contenere l'uso di risorse.

In origine, lo strumento LCA è stato sviluppato con lo scopo di determinare la durata massima della vita di un prodotto. I primi sistemi di analisi comparativa di prodotti – soprattutto dei contenitori per le bevande – hanno fatto il loro debutto attorno agli anni '70 negli Stati Uniti e in Germania; tematiche come le materie prime, la richiesta di energia, il problema delle emissioni e lo smaltimento dei rifiuti erano già allora molto importanti e sono state quindi introdotte all'interno del bilancio complessivo. A quel tempo, erano già stati intrapresi i primi passi per valutare determinati flussi di materiale con un occhio di riguardo ai loro effetti ambientali: il profondo significato di queste procedure, tuttavia, non è stato subito colto e non c'è stato alcuno sviluppo in questo senso prima degli anni '80 (Agenzia Ambientale Tedesca, 1996).

Dopo anni di progressi, dal 1997 è disponibile un protocollo molto dettagliato e largamente riconosciuto per LCA (ISO/EN/DIN 14040, 1997); allo stesso tempo, è stato raggiunto un ampio consenso circa la definizione precisa delle parti individuali del metodo (ad esempio: la definizione dell'obiettivo e dell'estensione del bilancio, così come l'analisi dell'inventario) grazie a notevoli sforzi volti alla standardizzazione a livello internazionale (ISO/EN/DIN 14041, 1998). Altre parti, come la stima dell'impatto (ISO/EN/DIN 14042, 2000) o la valutazione (ISO/EN/DIS 14043, 2000), invece, sono tuttora al centro di numerose discussioni e sviluppi.

L'idea di base del metodo LCA è la registrazione di tutti i flussi di materia ed energia connessi con un prodotto, un processo o un servizio. L'intera vita di un composto o di un sistema viene considerata "dalla culla fino alla tomba". Questo significa che non vengono presi in considerazione solo gli effetti ambientali a livello dell'impianto di produzione, bensì l'intero processo che porta ad un prodotto, a partire

dall'approvvigionamento delle materie prime, fino allo smaltimento, passando attraverso l'utilizzo e il consumo. Questo approccio di tipo estensivo è molto importante in quanto, se si considerasse un panorama troppo ristretto, si potrebbe arrivare a delle conclusioni distorte a proposito di vantaggi o svantaggi; in questo modo, invece, è possibile spingere l'ottimizzazione fino a raggiungere il reale minimo scientifico del soggetto dell'indagine.

Applicazione della metodologia LCA

Lo studio di LCA è stato effettuato secondo la norma ISO 14040-44 standard (ISO, 2006). L'analisi della costruzione ed installazione dei prodotti utilizzati ha suggerito l'adozione delle seguenti unità funzionali a cui si fa riferimento per i principali flussi di materiali e di energia: 1 metro lineare per cordoli e recinzioni e 1 m² di superficie per le strade. I confini del sistema definiscono le unità di processo da includere nello studio LCA. I limiti adottati in questo studio comprendono le seguenti fasi: produzione ed installazione dei materiali e dei prodotti utilizzati. La fase di fine vita è stata inclusa nello studio. Per modellare il sistema e di valutare l'impatto ambientale è stato utilizzato il GaBi 4 software. Il metodo scelto per la classificazione e caratterizzazione degli ingressi e delle uscite del magazzino è la CML-2001. I dati in materia di energia, acqua, materiali di consumo e attrezzature sono stati raccolti dalle ditte produttrici e si riferiscono agli anni 2009-2010; i dati secondari provengono inoltre da varie fonti (banche dati commerciali, letteratura, schede tecniche dei prodotti, ecc.)

Per applicare la metodologia sono stati raccolti dati (primari e secondari) ed è stata impostata l'analisi relativamente alla realizzazione di diverse tipologie costruttive di strade, cordoli e recinzioni, utilizzati frequentemente nelle aree verdi urbane.

Si è scelto di effettuare i seguenti confronti:

- cordoli in cls/cordoli in tondini di ferro/cordoli in pietra naturale
- recinzioni in muretto di cls e barre di acciaio/recinzioni verdi
- viabilità asfaltata/sentieri in stabilizzato/viabilità in mattoncini autobloccanti

Confronto cordoli

Per prima cosa si è ipotizzata la sostituzione dei cordoli in calcestruzzo di dimensioni 0,25 x 0,15 x 1 (m) con cordoli in tondini di ferro arcuati con base in calcestruzzo di dimensioni 0,10 x 0,10 x 1 (m) e con cordoli in pietra naturale aventi dimensioni di 1 x 0,15 x 0,15 (m) circa. Per i tre manufatti è stato confrontato 1 m lineare di cordolo. Dall'analisi del confronto sono scaturiti i risultati di cui in Fig. 1.

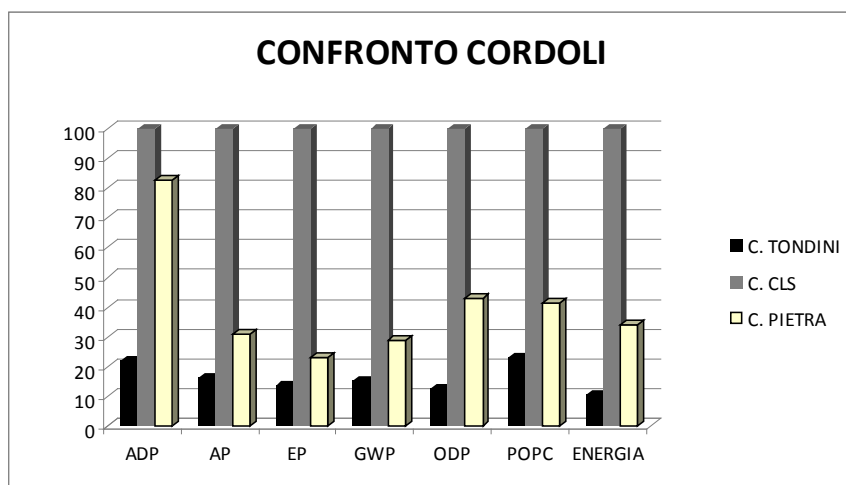


Fig. 1. Risultati analisi di LCA: confronto fra le tre tipologie di cordoli

Confronto recinzioni

È stato ipotizzato il confronto fra 1 m lineare di recinzione in muretto di calcestruzzo armato e sovrastante ringhiera in ferro con 1 m lineare di recinzione verde con arbusti e rete metallica zincata elettrosaldata. I risultati tengono conto che la vita utile della recinzione in calcestruzzo è fissata in 40 anni mentre per la recinzione con rete metallica (vita utile pari a 40 anni) e arbusti sono stati considerati i consumi relativi alla coltivazione e alla parziale sostituzione delle piante con percentuale del 5% annuo.

Poiché i manufatti in calcestruzzo armato in presenza di fessurazioni che ossidano le armature potrebbero avere una durata inferiore, si è ripetuto il confronto precedente ipotizzando un tempo di vita utile inferiore pari a 20 anni.

I risultati sono mostrati alle Figg. 2-3.

Confronto strade

È stato ipotizzato il confronto fra 1 m² di strada asfaltata in manto bituminoso, e la stessa superficie di strada in mattoncini di calcestruzzo prefabbricati su strato di sabbia e di strada in stabilizzato convenzionale (Fig. 4).

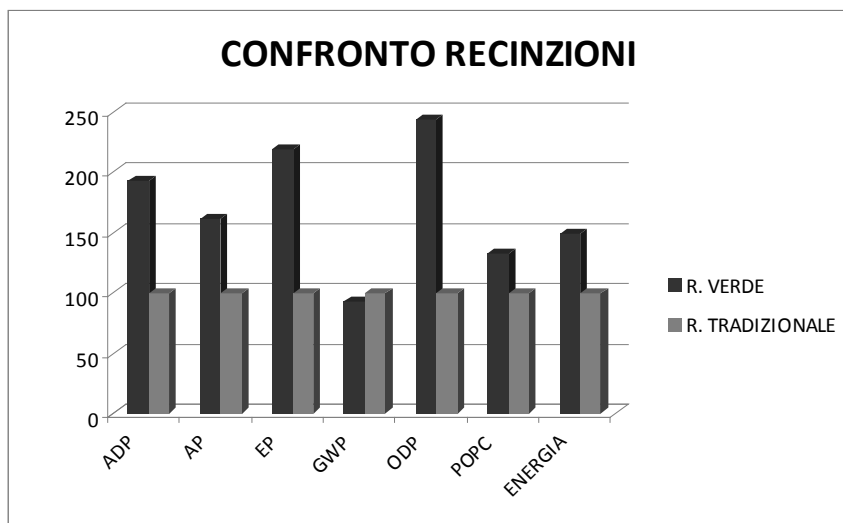


Fig. 2. Risultati analisi di LCA: confronto fra le due tipologie di recinzioni (confronto a 40 anni)

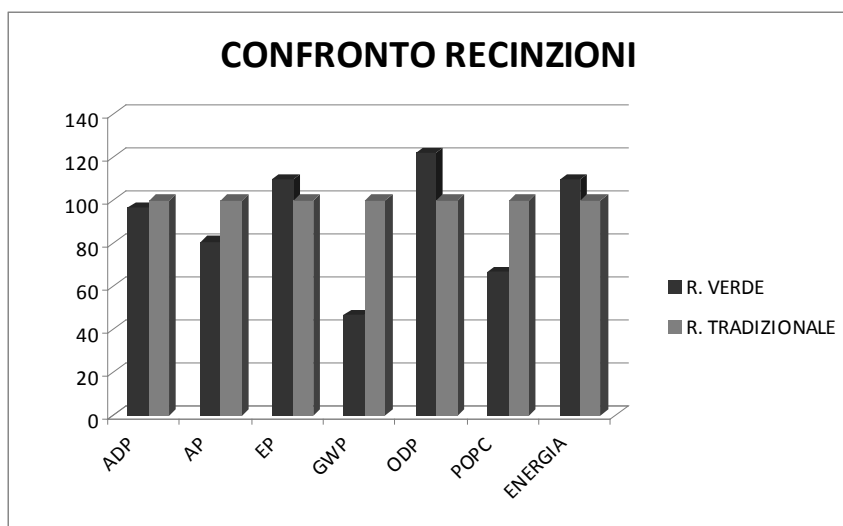


Fig. 3. Risultati analisi di LCA: confronto fra le due tipologie di recinzioni (confronto a 20 anni)

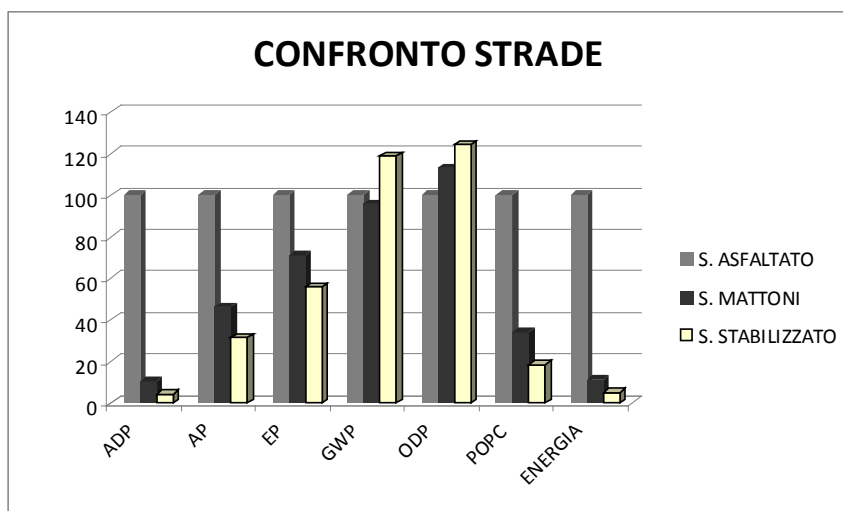


Fig. 4. Risultati analisi di LCA: confronto fra le tre tipologie di strade

Risultati ed interpretazione

Per quanto concerne i cordoli, dal confronto percentuale tra i tre elementi (calcestruzzo, tondini di ferro e pietra naturale), posto 100 l'impatto del cordolo interamente in calcestruzzo, si osserva che l'impatto degli altri tipi di cordolo è sempre minore per tutti gli indici. Inoltre il cordolo in tondini di ferro risulta sempre migliorativo rispetto anche a quello di pietra naturale e pertanto tale soluzione potrebbe essere integrata nella costruzione delle aree verdi andando a diminuire il carico ambientale totale. Si deve comunque considerare che non è stata considerata la verniciatura dei tondini di ferro e la protezione antiruggine.

Per le recinzioni dal diagramma si deduce che è maggiormente impattante la recinzione con rete metallica e piante perché tutti gli indici sono superiori ad eccezione dell'indice GWP.

Anche analizzando il grafico elaborato ponendo tempo di vita utile pari a 20 anni si osserva che per tutti gli indici le due soluzioni si equivalgono ad eccezione dell'indice GWP che ha, come nel caso precedente, maggiore impatto nel caso della recinzione in calcestruzzo e acciaio.

Poiché con entrambi gli intervalli temporali scelti come tempo di vita utile la soluzione con piante e rete elettrosaldata manifesta carichi ambientali complessivi superiori, tale scenario non viene proposto e le recinzioni con basamento in calcestruzzo e aste in acciaio rimangono la soluzione con minore impatto ambientale.

Dall'analisi dei risultati per le strade è evidente come le opere in mattoni ed ancor più quelle in stabilizzato siano migliorative per tutti gli indici ad eccezione degli indici GWP ed ODP. Per questi due indici infatti le strade in stabilizzato influiscono maggiormente rispetto a quelle in asfalto e a quelle in mattoni e questo probabilmente è dovuto all'utilizzo di calcestruzzo e collante.

Sarebbe stato utile confrontare anche le strade in materiale tipo glorit®, attualmente molto utilizzate nelle aree verdi perché considerate meno impattanti visivamente ed ugualmente resistenti alla compressione ed agli agenti atmosferici, ma non è stato possibile reperire i dati di produzione della resina utilizzata come legante.

Conclusioni

Nel presente lavoro si è posto a confronto, con l'ausilio della metodologia LCA, la realizzazione di sistemi infrastrutturali, quali strade, cordoli e recinzioni per aree verdi urbane, allo scopo di verificare le scelte che producono un minore carico ambientale. Dall'esame dei diversi scenari ipotizzati è emerso con chiarezza come alcune scelte costruttive, come la sostituzione dei cordoli in calcestruzzo o delle strade con manto bituminoso, siano senz'altro migliorative per i carichi ambientali prodotti dalle sistemazioni a verde pubblico. Per altri scenari, come ad esempio la sostituzione delle recinzioni tradizionali con siepi verdi, i risultati non sono quelli auspicati ed anzi, in virtù del tempo di vita utile assegnato a tali sistemazioni, non sono consigliabili.

Bibliografia

- Agenzia Ambientale Tedesca, 1992. LCA dei prodotti: progressi e prospettive. Ed. Agenzia Ambientale Tedesca, Berlino (in tedesco).
- Agenzia Ambientale Tedesca, 1992. LCA dei prodotti: progressi e prospettive. Ed. Agenzia Ambientale Tedesca, Berlino (in tedesco).
- Agenzia Ambientale Tedesca, 1996. Metodologia LCA per i prodotti: valutazione di impatto. Ed. Agenzia Ambientale Tedesca, Berlino (in tedesco).
- Audsley A, Alber S, Clift R, Cowell S, Crettaz R, Gaillard G, Hausheer J, Jolliett O, Kleijn R, Mortensen B, Pearce D, Roger E, Teulon H, Weidema B, Zeijts H van (1997): Harmonisation of environmental Life Cycle Assessment for agriculture. Final report, concerted action AIR3-CT94-2028, European commission DG VI, Brussels, Belgium, p 139
- ISO 1998. ISO 14041. Environment management – Life Cycle Assessment – Goal and scope definition and inventory analysis. International Organization of Standardization. Geneva, Switzerland.

- ISO 2000a. ISO 14042. Environment management – Life Cycle Assessment –Life Cycle Impact Assessment. International Organization of Standardization. Geneva, Switzerland.
- ISO 2000b ISO 14043. Environment management – Life Cycle Assessment –Life Cycle Interpretation. International Organization of Standardization. Geneva, Switzerland.
- ISO 2006b ISO 14044. Environmental management - Life cycle assessment -Requirements and guidelines. International Organization of Standardization. Geneva, Switzerland.
- ISO, 2006a. ISO 14040. Environment management – Life Cycle Assessment –Principles and framework. International Organization of Standardization. Geneva, Switzerland.
- Jungbluth N., Nathani C., Stucki M. and Leuenberger M. (2010). Environmental impacts of production and consumption in Switzerland: environmentally extended input-output-analysis. (under preparation). ESU-services GmbH & Rütter+Partner, im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), Bern, CH.
- Martinez-Blanco, J., Colon, J., Gabarrell, X., Font, X., Sanchez, A., Artola, A., Rieradevall, J., 2010. The use of life-cycle assessment for the comparison of biowaste composting at home and full-scale. *Waste Management*, 30: 983-994.
- Nemecek T. e Kägi T. (2007). Life Cycle Inventories of Swiss European Agricultural Production System. Final report ecoinvent v2.0 No. 15a. Agroscope Reckenholz-Taenikon Research Station ART, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Zurich e Dübendorf, CH, retrieved.
- Ramjeawon, T. (2004). Life Cycle Assessment of Cane-sugar on the Island of Mauritius. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 9(4): 254-260.
- Russo G. 2008: Report LCA: http://www.ecodap.it/public/Documenti/LCA_summary_report_task3_Rev0.pdf; 2007. (pp. 1-49). “Progetto dimostrativo per la DAP: i fiori di Terlizzi ed il marchio ecologico locale Ecoflower Terlizzi” finanziato dalla CE.
- Russo G., Buttol P, Tarantini M. 2007: “LCA (Life Cycle Assessment) of roses and cyclamens in greenhouse cultivation” In: Proceedings International Symposium Greensys2007 on “High Technology for Greenhouse System Management”. International Symposium Greensys2007. Napoli (Italia). 4-6 ottobre 2007. (pp. 296-297).
- Russo G., De Lucia Zeller B, Scarascia Mugnozza G. 2008:“LCA methodology application in flower protected cultivation” *ACTA HORTICULTURAE*. vol. 1, pp. 625-632
- Russo G., De Lucia Zeller B. 2007:“Environmental evaluation by means of LCA regarding the ornamental nursery production in rose and sowbread greenhouse cultivation” In: Proceedings International Symposium Greensys2007 on “High Technology for Greenhouse System Management”. International Symposium Greensys2007. Napoli (Italia). 4-6 ottobre 2007. (pp. 406-407).

- Russo G., Scarascia Mugnozza G. 2005:“LCA methodology applied to various typology of greenhouses” ACTA HORTICULTURAE. vol. 691 (2), pp. 837-843
- Scarascia Mugnozza G., Russo G. 2001:“La valutazione del ciclo di vita (L.C.A.): uno strumento per analizzare la compatibilità ambientale delle costruzioni rurali” Ingegneria Agraria per lo sviluppo dei paesi del mediterraneo. Vieste (Fg), 11,14 settembre 2001. Congresso A.I.I.A.
- Van Woerden S., 2001. The application of Life Cycle Analysis in glasshouse horticulture. En. International Conference LCA in Foods. (ed). Gothenburg, 136-140.
- Wegener Sleswijk A., Kleijn R., van Zeijts H., Reus, J.A. W. A., Meusen van Onna H., Leneman H. and Sengers H.H.W.J.M. 1996: Application of LCA to Agricultural Products. In CML Rep. 130, Centre of Environmental Science Leiden University (CML), Leiden.
- Weidema B.P.; Mortensen, B. (2005) Preliminary life cycle inventory for wheat production. International Journal of Agricultural Resources, Governance and Ecology, 4, (2), 113-122.
- <http://www.kuleuven.be/english>
www.ec.europa.eu/environment/life/project/EcoflowerTerlizzi

ANALISI DEL COMPORTAMENTO DI BOVINE DA LATTE IN RELAZIONE AL SISTEMA DI VENTILAZIONE

M. Barbari, L. Leso, G. Rossi, S. Simonini.

*Dipartimento di Economia, Ingegneria, Scienze e Tecnologie Agrarie e Forestali -
Università degli Studi di Firenze*

Riassunto. Le condizioni di caldo estivo rappresentano una delle più importanti limitazioni al benessere delle vacche da latte. L'obiettivo del lavoro è valutare l'effetto di un sistema supplementare di ventilazione installato in zona di riposo nei confronti del comportamento delle bovine in condizioni di stress da caldo. La sperimentazione è stata condotta in un allevamento sito nel comune di Mantova. I risultati ottenuti indicano che l'adozione di sistemi di ventilazione del tipo High Volume Low Speed (HVLS) in zona di riposo possono incrementare significativamente il tempo giornaliero dedicato dagli animali al riposo.

Parole chiave: Vacche da latte, raffrescamento, tempo di riposo

Summary. In Mediterranean climate, during summer period, the typical hot weather makes a very uncomfortable environment for lactating dairy cows. The work presented is aimed at testing the effect on the behaviour of dairy cows of a ventilation system installed in resting area. The survey was carried out in a dairy farm located near Mantua, in the Po Plain. Results achieved show that High Volume Low Speed fans (HVLS) can increase significantly the resting time of dairy cows housed in free stall barn.

Key words: Dairy cows, cooling, time budget

Introduzione

In climi caldo-temperati come quello italiano, le condizioni climatiche estive rappresentano una delle più importanti limitazioni nei confronti della produttività degli allevamenti di vacche da latte. Il livello di benessere animale, il comportamento, la capacità produttiva e riproduttiva, infatti, sono influenzati dalle condizioni ambientali a cui sono esposte le bovine (Bianca, 1965). In particolare, durante il periodo caldo, gli animali attivano adattamenti fisiologici e comportamentali mirati alla limitazione della produzione di calore endogeno ed alla massimizzazione della dispersione termica verso l'ambiente che li circonda. Come ampiamente documentato in letteratura, lo stress da caldo, specie se prolungato, determina una riduzione dell'ingestione di alimento, un declino anche significativo della produzione di latte, un'alterazione delle capacità riproduttive ed un incremento della predisposizione alle patologie (West, 2003). Anche il comportamento delle bovine subisce evidenti alterazioni durante i periodi di stress da caldo.

Le modificazioni del time budget giornaliero delle bovine sono una delle più evidenti modificazioni comportamentali conseguenti all'esposizione degli animali a condizioni termiche stressorie. Il tempo dedicato dagli animali al riposo può essere considerato come un indicatore del livello di benessere delle vacche da latte (Haley *et al.*, 2000). In condizioni di termoneutralità, le bovine in produzione trascorrono circa 12 ore al giorno sdraiate (Weiher e Flor, 2003). Uzal e Uruglu (2010), in un'indagine sul comportamento di vacche da latte in stabulazione libera su cuccetta, hanno determinato la quota di tempo dedicato dalle bovine alle diverse attività durante un periodo di osservazione di un anno. Dai risultati di questo studio è emerso come il 45,4% del tempo sia dedicato al riposo, il 25,4% all'alimentazione, il 13,7% allo stazionamento in posizione eretta ed il 9,9% alla deambulazione. Le quote di tempo rimanenti sono invece dedicate alla mungitura (2,6%), all'abbeverata (1,7%) e ad altre attività (1,3%). Tuttavia, all'aumentare delle temperature ambientali l'occupazione delle aree di riposo decresce (Enders *et al.*, 2006). In uno studio condotto da ricercatori italiani in allevamenti di vacche da latte siti in Pianura Padana, è emerso come la percentuale di occupazione delle cuccette possa variare dal 75% durante il periodo invernale fino al 30% durante il periodo estivo (Provolo e Riva, 2009). Anche Barbari *et al.* (2010) in un'indagine condotta nella zona della Pianura Padana hanno evidenziato come all'interno dello stesso allevamento il comportamento delle vacche, con particolare riferimento al tempo di riposo, sia chiaramente influenzato dalle temperature interne al ricovero. La percentuale media di bovine in decubito rispetto al totale della mandria, infatti, è passata dal 51,5%, durante il periodo invernale, al 40,5%, durante il periodo estivo. A fronte di questo decremento dell'utilizzazione delle aree di riposo durante il periodo caldo, è stato osservato un incremento significativo della percentuale media di animali in corsia di alimentazione (35,5% in estate; 23,8% in inverno). Tale effetto nei confronti del time budget, tuttavia, non è stato attribuito solamente alla modificazione delle condizioni microclimatiche interne, ma anche alla presenza di un sistema di raffrescamento in corsia di alimentazione.

Come ampiamente documentato in letteratura, i sistemi di ventilazione e raffrescamento all'interno del ricovero possono avere importanti effetti nei confronti del benessere animale e del comportamento delle bovine (Frazzi *et al.*, 2000; Legrand *et al.*, 2011). Se adeguatamente progettati e gestiti, i sistemi di raffrescamento possono limitare sensibilmente il declino nella produzione di latte (Moss *et al.*, 1998). Un'indagine condotta recentemente in Israele (Flamenbaum e Galon, 2010) ha evidenziato un incremento delle performance riproduttive, oltre che di quelle produttive, in bovine stabulate in ricoveri dotati di sistemi di raffrescamento efficienti.

Le tecniche per la ventilazione ed il raffrescamento delle bovine da latte sono molteplici; tuttavia, negli ultimi anni, la soluzione che sem-

bra avere conosciuto la maggiore diffusione, almeno negli allevamenti italiani, è rappresentata da sistemi di raffrescamento ad acqua installati nella corsia di alimentazione. Tali tipologie impiantistiche si compongono tipicamente di ventilatori assiali di piccolo o medio diametro disposti al di sopra dell'area adiacente alla mangiatoia, a cui sono abbinati sistemi per l'aspersione di acqua sulla superficie corporea degli animali, siano essi nebulizzatori funzionanti con acqua pressurizzata o semplici aspersori. Sebbene tali sistemi possano limitare sensibilmente gli effetti negativi dello stress da caldo, la loro installazione localizzata nella corsia di alimentazione è destinata a generare un'alterazione del time budget delle bovine che durante il periodo estivo limitano il tempo dedicato al riposo in favore dello stazionamento in corsia di alimentazione.

Recenti studi condotti negli Stati Uniti hanno messo in evidenza una relazione tra tempo di riposo, livello di benessere degli animali e produzione di latte. Per ogni ora aggiuntiva trascorsa dalla vacca in decubito, infatti, è stato osservato un incremento medio nella produzione di latte pari a circa 1,6 kg (Grant, 2007). L'adozione di sistemi di ventilazione supplementari, disposti in zona di riposo, può contribuire ad incrementare il tempo giornaliero dedicato dalle bovine al riposo.

L'obiettivo di questa indagine è valutare gli effetti, nei confronti del time budget delle bovine da latte, derivanti dall'installazione di un sistema supplementare di ventilazione in zona di riposo. Tale sistema è composto da ventilatori del tipo HVLS (High Volume Low Speed).

Materiali e metodi

Le prove sono state condotte in una stalla a stabulazione libera su cuccetta sita nel comune di Mantova, nella zona della Pianura Padana ed all'interno dell'areale di produzione del Grana Padano. La stalla in cui sono state svolte le prove si avvale di un sistema di stabulazione libera su cuccetta con paglia. La corsia di alimentazione e le corsie di smistamento sono realizzate in calcestruzzo rigato. In corsia di alimentazione è presente un sistema a raschiatore meccanico per l'asportazione automatica delle deiezioni, mentre per la pulizia delle corsie di smistamento è utilizzato, per due volte al giorno, un mezzo meccanico. La mungitura delle bovine avviene, due volte al giorno, in una sala di mungitura "a pettine" con 16 poste (8+8). L'alimentazione è gestita con sistema unifeed e l'alimento è distribuito una sola volta al giorno, dopo la mungitura della mattina.

La sperimentazione è stata svolta all'interno del medesimo allevamento in due periodi separati e successivi, localizzati rispettivamente nelle estati 2009 e 2010. In entrambi i periodi in cui si è svolta la sperimentazione, il gruppo di bovine sottoposto ad indagine era composto da 40 capi in produzione, i quali disponevano di 50 cuccette.

Durante il primo periodo di osservazione (dal 29/07/2009 al 18/08/2009), la ventilazione ed il raffrescamento delle bovine erano affidati ad un sistema di raffrescamento ad acqua installato in corsia di alimentazione. Tale sistema si componeva di ventilatori assiali di diametro pari a 1,5 m, di potenza unitaria pari a 0,56 kW, posti ad un'altezza di 2,5 m rispetto alla pavimentazione della corsia e ad una distanza di 5 m l'uno dall'altro. Ai ventilatori era abbinato un sistema per l'aspersione di acqua in bassa pressione (doccette) disposto al di sopra dell'area adiacente alla mangiatoia, in modo da bagnare la parte centrale del corpo degli animali durante l'assunzione dell'alimento. Durante l'estate 2009 non erano presenti sistemi di ventilazione attiva in zona di riposo (controllo).

Durante il secondo periodo di osservazione (dal 14/08/2010 al 27/08/2010), mantenendo inalterate le caratteristiche impiantistiche, strutturali e gestionali dell'allevamento, al sistema di raffrescamento evaporativo in corsia di alimentazione è stato abbinato un sistema supplementare di ventilazione attiva disposto in zona di riposo (trattamento). Tale sistema supplementare si componeva di ventilatori assiali di grande diametro del tipo HVLS. I ventilatori HVLS sono stati montati ad un'altezza di 4 m al di sopra del livello delle cuccette e ad una distanza l'uno dall'altro di circa 10 m; ognuno di essi dispone di 5 pale, per un diametro di 6 m ed una potenza pari a 1,5 kW. Tale tipologia di ventilatori, secondo dati dichiarati dalla casa costruttrice (CMP Impianti, Viadana di Calvisano, BS), è in grado di generare una portata d'aria pari a 420.000 m³/h (20°C, 70% UR).

Durante entrambi i periodi della sperimentazione, sono stati monitorati in continuo, oltre al comportamento delle bovine, temperatura ed umidità relativa dell'ambiente interno ed esterno al ricovero. Per queste misurazioni è stato utilizzato un data logger (Metos Compac, Pessl Instruments) dotato di due sonde termoigrometriche, disposte una all'esterno ed una all'interno della stalla. La sonda interna, sia durante il periodo dell'estate 2009 che dell'estate 2010, è stata posizionata all'interno dell'area di riposo ad un'altezza di 1 m. La velocità dell'aria in zona di riposo ed in corsia di alimentazione è stata misurata puntualmente con un anemometro a ventolina (DO9847, Delta Ohm).

Il monitoraggio del comportamento delle vacche è stato effettuato in continuo tramite un sistema di registrazione video a circuito chiuso. L'osservazione delle registrazioni video ha consentito di valutare il comportamento delle bovine sia durante i periodi diurni che notturni ed in entrambi i periodi della sperimentazione, appartenenti rispettivamente all'estate 2009 (controllo) ed all'estate 2010 (trattamento). Con intervalli di 36 minuti è stato effettuato un conteggio delle vacche "in riposo" e di quelle "in alimentazione". In questa indagine, sono state considerate "in riposo" solamente le bovine sdraiate all'interno delle cuccette, mentre per il conteggio dei capi "in alimentazione" si sono considerati

solamente gli animali in posizione eretta con il capo oltre la rastrelliera che separa la corsia di alimentazione dalla mangiatoia. Per ottenere un parametro in grado di sintetizzare efficacemente il livello di benessere termico degli animali, i dati di temperatura ed umidità relativa misurati all'interno della stalla sono stati utilizzati per il calcolo del THI (Temperature Humidity Index) secondo l'equazione (ASAE, 1986):

$$THI = DBT + 0,36 DPT + 41,2 \quad (1)$$

dove:

DBT = Temperatura di bulbo secco

DPT = Temperatura di rugiada (calcolata secondo l'approssimazione di Magnus-Tetens)

Per l'analisi dei dati ambientali, in particolare per il THI, nonché per la valutazione dell'omogeneità di questi nei periodi sperimentali di controllo e trattamento, sono state utilizzate tecniche di statistica descrittiva (media aritmetica, deviazione standard, quantili). Sono state utilizzate analisi della regressione lineare per valutare le relazioni tra la percentuale di vacche in riposo, in alimentazione e THI. Nelle analisi della regressione effettuate, i campioni presi in esame sono stati depurati dalle osservazioni ottenute durante i periodi della mungitura (dalle 05:30 alle 07:30 e dalle 16:30 alle 18:30) con il fine di eliminare fonti di variazioni nei confronti del comportamento delle bovine non imputabili al trattamento. Per saggiare la dipendenza lineare tra coppie di variabili è stato utilizzato il coefficiente di correlazione di Pearson (r). Al fine di validare l'ipotesi H_1 di efficacia del trattamento nei confronti del comportamento delle bovine, analizzato tramite percentuali di vacche in riposo ed in alimentazione rispetto al totale della mandria, sono stati effettuati test t ponendo come ipotesi nulla H_0 l'uguaglianza delle medie dei campioni di controllo e trattamento.

Risultati

Ponendo in relazione i dati relativi al THI interno al ricovero (calcolato secondo l'equazione 1) e percentuali di bovine in riposo osservati durante il periodo dell'estate 2009 e dell'estate 2010, è possibile rilevare una correlazione negativa. Sebbene la dipendenza lineare tra tali variabili osservata durante l'estate 2010 ($r = -0,30$) sia meno evidente rispetto a quella relativa all'anno 2009 ($r = -0,46$), appare evidente, in entrambi i periodi sperimentali, come ad un incremento di THI corrisponda un decremento della percentuale di capi in riposo (figura 1). Assumendo che la percentuale di bovine in cuccetta sia espressione del

tempo dedicato dalle bovine al riposo, alla luce delle informazioni ottenute, è possibile concludere che, nelle condizioni in cui si è svolta questa indagine, ad un incremento di THI, corrisponde una diminuzione evidente del tempo di riposo. In situazioni di stress da caldo la bovina è costretta ad attivare meccanismi volti a massimizzare il trasferimento, verso l'ambiente esterno, dell'abbondante calore prodotto a livello endogeno (Collier *et al.*, 1982). Durante il decubito, gli scambi termici a carico della superficie corporea a contatto con la lettiera sono inibiti. Tale limitazione alla dispersione termica è più marcata in lettiere realizzate con materiali caratterizzati da scarse capacità di scambio termico. Le proprietà isolanti della paglia, materiale con cui sono realizzate le lettiere nella stalla oggetto di questo studio, la rendono un materiale poco apprezzato dalle bovine durante il periodo estivo. Inoltre, i processi microbiologici di degradazione della sostanza organica che avvengono all'interno di questo tipo di lettiere, producendo calore, contribuiscono a limitare il comfort offerto agli animali durante il decubito. Tali aspetti possono contribuire a spiegare la contrazione nel tempo di riposo associata all'incremento di THI.

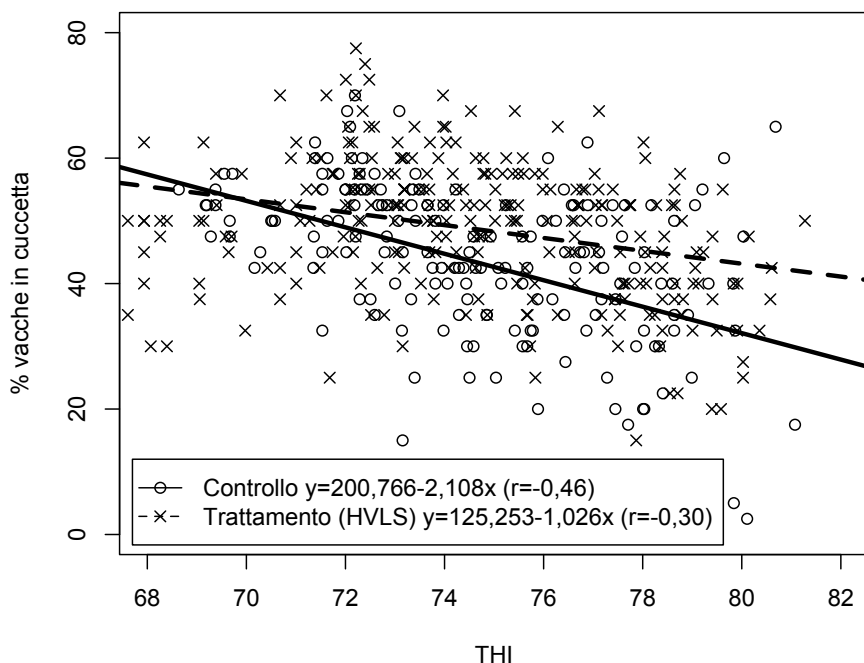


Fig. 1. Relazioni tra THI e percentuale di vacche in cuccetta o in riposo (rispetto al totale dei capi presenti) per i periodi 2009 (controllo) e 2010 (trattamento).

Un altro elemento che può contribuire all'interpretazione della correlazione negativa tra THI e tempo di riposo è da ricercare nella presenza, sia durante l'estate 2009 che 2010, di un sistema di raffrescamento in corsia di alimentazione. Il sollievo dallo stress termico, offerto dall'evaporazione forzata di acqua sulla superficie corporea degli animali, può indurre le bovine a trascorrere, specie durante i periodi più caldi, molto tempo nelle aree del ricovero dotate di sistemi di raffrescamento ad acqua, nel caso oggetto di questa indagine la corsia di alimentazione, limitando di conseguenza il tempo dedicato al riposo. A supporto di tale valutazione è l'analisi della relazione tra THI e percentuale di capi in alimentazione. Il livello di THI misurato all'interno della stalla ed il numero di capi in alimentazione rispetto al totale, infatti, risultano correlati positivamente (figura 2). La dipendenza lineare tra tali variabili è apprezzabile sia per quanto riguarda le osservazioni ottenute nel periodo dell'estate 2009 ($r = 0,61$) che per quelle ottenute nel periodo dell'estate 2010 ($r = 0,55$).

La relazione tra THI interno e percentuale di capi in alimentazione relativa all'anno 2009 (controllo), tuttavia, differisce sensibilmente rispetto a quella relativa all'anno 2010 (trattamento). Durante l'estate 2010 ($y = -110,892 + 1,733x$) l'incremento della presenza di capi in corsia

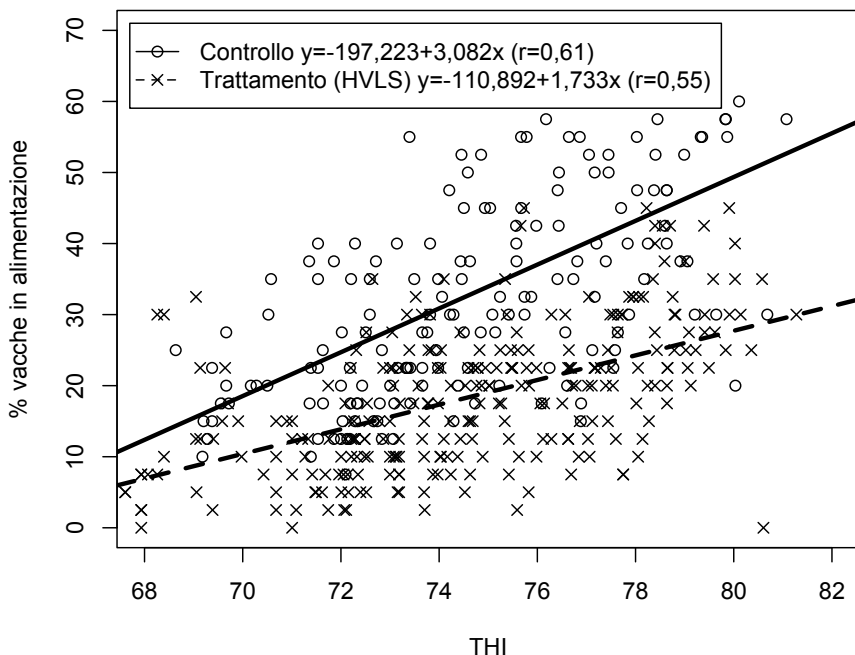


Fig. 2. Relazioni tra THI e percentuale di vacche in alimentazione (rispetto al totale dei capi presenti) per i periodi 2009 (controllo) e 2010 (trattamento).

di alimentazione associato all'incremento di THI si è rivelato sostanzialmente inferiore rispetto a quello osservato durante l'estate 2009 ($y = -197,223 + 3,082x$). Anche le relazioni tra THI e percentuale di vacche in riposo relative alle osservazioni ottenute nell'anno 2009 (controllo) e 2010 (trattamento) differiscono in modo apprezzabile. Durante l'estate 2010 ($y = 125,253 - 1,026x$) la diminuzione del numero di vacche in riposo associata all'incremento del livello di THI interno è stata inferiore rispetto a quella rilevata nel corso del periodo estivo dell'anno 2009 ($y = 200,766 - 2,108x$).

Nelle condizioni in cui è stata condotta questa sperimentazione, dunque, l'adozione di un sistema supplementare di ventilazione HVLS in zona di riposo si è rivelata in grado di attenuare le modificazioni comportamentali delle bovine da latte in relazione all'incremento di THI all'interno del ricovero.

Analizzando le distribuzioni dei valori di THI rilevati all'interno della stalla durante i periodi dell'estate 2009 e 2010, è possibile individuare una buona omogeneità tra le condizioni ambientali dei due periodi sperimentali (tabella 1). La differenza tra le medie dei due campioni di THI, infatti, è risultata insignificante ($P = 0,5077$). Considerando trascurabile la differenza tra i livelli di THI dei due periodi sperimentali, è stato possibile effettuare un confronto diretto tra le medie delle osservazioni relative al numero di vacche in riposo ed in alimentazione rilevate prima e dopo l'installazione del sistema di ventilazione supplementare HVLS in zona di riposo (tabella 2).

La quota media di vacche in riposo, rispetto al totale dei capi presenti, è passata dal 40,5% nel periodo dell'estate 2009 (controllo) al 43,8% nel periodo dell'estate 2010 (trattamento), facendo rilevare una differenza altamente significativa ($P > 0,001$). È stato possibile attribuire un alto livello di significatività anche alla differenza tra le quote medie di vacche in alimentazione osservate durante i due periodi sperimentali ($P > 0,001$). La percentuale media di bovine in alimentazione, rispetto al totale dei capi presenti, è passata dal 35,5% nel periodo dell'estate 2009 (controllo) al 22,3% nel periodo dell'estate 2010 (trattamento).

Sulla base delle osservazioni concernenti il numero di capi in riposo ed in alimentazione, è stato possibile stimare il tempo giornaliero dedicato mediamente dalle bovine al riposo ed allo stazionamento in corsia di alimentazione. Il tempo di stazionamento medio in corsia di alimentazione, per il campione di vacche considerato, è passato da 8,41 ore/gg*capo nell'estate 2009 a 5,35 ore/gg*capo nel periodo estivo dell'anno 2010. Anche il tempo di riposo medio è risultato sensibilmente modificato in seguito all'installazione del sistema di ventilazione supplementare in zona di riposo, passando da un valore medio di 9,64 ore/gg*capo, rilevato nell'estate 2009, ad uno di 10,51 ore/gg*capo rilevato nell'estate 2010.

Tab. 1. Analisi delle distribuzioni del livello di THI interno durante i periodi sperimentali dell'estate 2009 e dell'estate 2010

Periodo sperimentale	Media (SD)	Min	Q _{0,25}	Q _{0,50}	Q _{0,75}	Max
Estate 2009 (THI)	74,77 (3,12)	68,31	72,21	74,50	77,39	81,07
Estete 2010 (THI)	74,57 (3,39)	66,95	72,21	74,43	77,54	81,28

Tab. 2. Confronto tra le percentuali medie di capi in riposo ed in alimentazione rilevate durante l'estate 2009 e 2010

Periodo sperimentale	Estate 2009 (controllo)	Estete 2010 (trattamento)	p-value ¹
THI medio interno ²	74,77	74,57	0.5077
Capi in riposo (%)	40,5	43,8	<0.001
Capi in alimentazione (%)	35,3	22,3	<0.001

(1) P-value ottenuto tramite test t eseguito per coppie di variabili ponendo come ipotesi nulla H_0 l'uguaglianza delle medie

(2) THI calcolato secondo l'equazione (ASAE, 1986): $THI = DBT + 0,36 DPI + 41,2$

Conclusioni

Il comportamento delle bovine da latte è influenzato dalle condizioni microclimatiche all'interno della stalla. Ad un incremento del livello di THI, infatti, corrisponde un decremento del tempo dedicato dalle bovine al riposo. Negli allevamenti a stabulazione libera, però, anche i sistemi di ventilazione e raffrescamento possono avere un importante effetto nei confronti del time budget delle bovine. L'adozione di sistemi di raffrescamento ad acqua localizzati in corsia di alimentazione può contribuire, durante il periodo estivo, a limitare l'utilizzazione delle cuccette. L'installazione, in zona di riposo, di sistemi supplementari di ventilazione si è rivelata in grado di mitigare le modificazioni comportamentali delle vacche da latte associate a condizioni di stress a caldo, incrementando l'utilizzazione delle cuccette ed il tempo di riposo.

Bibliografia

- ASAE. 1986. ASAE Standards. Design of ventilation systems for poultry and livestock shelters. ASAE, 2950 Niles Roa, St. Joseph, MI 49085-9659.
- Barbari, M., L. Leso, G. Rossi, A. Scaramelli, S. Simonini. 2010. Influence of cooling systems on the behaviour of dairy cows housed in cubicle barn. In 17th World Congress Inter. Commission Agricultural Engineering. Québec City, Canada, June 13-17.

- Bianca, W. 1965. Reviews of the progress in dairy science. Cattle in hot environment. *J Dairy Res.* 32: 291-345.
- Collier, R.J., O.K. Beede, W.W. Thatcher, L.A. Israel, C.J. Wilcox. 1982. Influences of environment and its modification on dairy animal health and production. *J Dairy Sci.* 65: 2213-2227.
- Enders, S., J. Macuhova, B. Haidn. 2006. Influence of house climate on the lying behaviour of dairy cows. *Landtechnik.* 61 (2): 94-95.
- Flamenbaum, I., N. Galon. 2010. Management of heat stress to improve fertility in dairy cows in Israel. *J Reprod Develop.* 56: supplement 36-41.
- Frazzi, E., L. Calamari, F. Calegari, L. Stefanini. 2000. Behavior of dairy cows in response to different barn cooling systems. *T ASAE.* 43 (2): 387-394.
- Grant, R. 2007. Tacking advantage of natural behavior improves dairy cows performance. In *Proc. Western Dairy Management Conf.* Reno, NV: 225-236.
- Haley, D.B., J. Rushen, A.M. de Passille. 2000. Behavioural indicators of cow comfort: activity and resting behaviour of dairy cows in two types of housing. *Can J Anim Sci.* 80 (2): 257-263.
- Legrand, A., K. E. Schutz, C. B. Tucker. 2011. Using water to cool cattle: behavioural and physiological changes associated with voluntary use of cow showers. *J Dairy Sci.* 94 (7): 3376-3386.
- Moss, B. R., J. L. Koon, C. A. Flood, R. C. Smith, K. A. Cummins, D. A. Coleman. 1998. Comparison of various fan, sprinkler, and mister systems in reducing heat stress in dairy cows. *Appl Eng Agric.* 14 (2): 177-182.
- Provolo, G., E. Riva. 2009. One year study of lying and standing behavior of dairy cows in a freestall barn in Italy. *J Agr Eng.* 40 (2): 27-33.
- Uzal, S., Ugurlu, N. 2010. The dairy cattle behaviors and time budget and barn area usage in freestall housing. *J Anim Vet Adv.* 9 (2): 248-254.
- Weiher, O., J. Flor. 2003. Influence of temperature on milk yield. Behaviour norms for cattle husbandry. *Milchpraxi.* 41 (3): 128-131.
- West, J. W. 2003. Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *J Dairy Sci.* 86: 2131-2144.

STUDIO DI FILIERE AGRICOLE SOSTENIBILI PER LA PRODUZIONE DI BALLE DI PAGLIA DA COSTRUZIONE – RISULTATI PRELIMINARI

L. Conti, R. Dainelli, P. Pellegrini, L. Bonotti, P. Spugnoli

*Dipartimento di Economia, Ingegneria, Scienze e Tecnologie Agrarie e Forestali
(DEISTAF), Università degli Studi di Firenze*

Riassunto. Di fronte al contesto economico attuale di forte recessione e alla contemporanea presa di coscienza delle problematiche ambientali connesse all'utilizzo razionale delle risorse naturali, la ricerca si pone l'obiettivo di perseguire l'impiego della paglia compressa in balle come materiale da costruzione e di trovare una collocazione diversa sul mercato.

Al fine di pianificare percorsi strategici in grado di massimizzare l'utilizzo della materia prima agricola "paglia" nel settore edilizio, il presente studio intende analizzare l'offerta della risorsa con un censimento delle produzioni su scala regionale (Toscana). L'indagine rivolta alle aziende agricole ad indirizzo cerealicolo, consentirà di sensibilizzare gli agricoltori e di fornire un quadro esaustivo sulle prospettive di attivazione di un mercato della paglia. In tal senso, la predisposizione di un questionario è stata finalizzata a raccogliere informazioni sui principali indirizzi culturali aziendali, sulle modalità di raccolta e stoccaggio del materiale e sul grado di conoscenza da parte degli imprenditori agricoli dei biomateriali per uso costruttivo.

La verifica di un utilizzo alternativo di un prodotto ormai di scarsa remunerazione per le aziende agricole, potrebbe rappresentare, da un lato una fonte di reddito aggiuntiva, creando nuove opportunità commerciali e permettendo di colmare il gap con altri paesi UE, sostenitori, da anni, di sistemi costruttivi combinati in paglia per l'edilizia residenziale e produttiva, e dall'altro un'opportunità di diffusione dell'impiego di tale materiale nell'ambito delle stesse aziende, per la realizzazione di fabbricati di esercizio per le produzioni agricole.

Parole chiave: Bio-materiali, Sostenibilità ambientale, Censimento produzioni, Edifici a basso consumo di energia

Summary. Facing the economic context of recession and the strong awareness of environmental issues related to a rational exploitation of natural resources, the research aims to place on the market cereal straw as a renewable building material. In order to plan strategic pathways that develop the use of this raw material in the construction sector, this study aims to analyze the supply of straw through a regional scale census of cereal yield. The survey addresses cereal farms to raise awareness among farmers and to provide a comprehensive perspective on a straw-targeted market. In this context, an online questionnaire is aimed at gathering information on key farm businesses, on straw collection and storage and on the knowledge among farmers of biomaterials available for construction.

The alternative use of a product, that has a low return for farmers, could be a source of additional income, creating new business opportunities with limited technological investments. Such a new market could also make it possible to bridge the gap with other EU countries, in which combined wood and straw

building systems for residential and productive purposes (e.g. agricultural sector) have spread for years.

Key words: Biomaterials, Environmental sustainability, Straw yield census, Low energy buildings

Introduzione

Negli ultimi anni si sta diffondendo il concetto di tutela ambientale e di conservazione del paesaggio da attuare attraverso una pianificazione equilibrata del territorio fondata sull'utilizzo sostenibile delle risorse naturali. In questa ottica va inteso il previsto impiego nelle costruzioni e nelle infrastrutture per l'edilizia abitativa e produttiva di materiali naturali, quali il legno massiccio, la paglia, la terra cruda e di tutti quei materiali poveri nei quali la distanza energetica tra la materia prima e il semilavorato pronto all'impiego è ridotta ai minimi termini (Sorbetto Guerri et al., 2009; Conti et al., 2010). L'utilizzo di materiali rinnovabili di antica tradizione, in particolare nelle costruzioni agricole, richiede di essere attualizzato, creando solide basi tecnico-scientifiche e modalità d'impiego tecnicamente corrette e ripetibili. Negli anni sono state individuate le più opportune e convenienti combinazioni fra i vari materiali, al fine di dar luogo ad una caratterizzazione tecnica relativa alle peculiari proprietà dei materiali locali, e ad una definizione razionale e sistematica dei processi produttivi e costruttivi (King, 1997; Steen Swentzell et al., 1995; Lacinski et al., 2000; Jones, 2006).

In alcuni Paesi (Stati Uniti, Gran Bretagna, Francia, ecc.), dove le potenzialità costruttive della paglia sono conosciute e comprovate, si costruiscono circa 1000 nuovi edifici l'anno in paglia; in particolare, in California, New Mexico ed Arizona sono state emanate norme tecniche che equiparano la paglia ai materiali costruttivi tradizionali (Eisemberg, 1996; King, 2001 e 2006). In Italia la modesta conoscenza tecnica del materiale e di conseguenza le limitatissime progettazioni esecutive dei manufatti, ha determinato l'assenza di un'effettiva filiera per la produzione di balle ad uso costruttivo. L'impiego marginale della paglia anche per uso agro-zootecnico ha determinato un'evidente dismissione funzionale delle presse raccogliatrici a stantuffo in favore di imballatrici per balle prismatiche di grandi dimensioni o di rotoimballatrici (Sokhansanj et al., 2008). Tali macchinari rappresentano, attualmente, le soluzioni più diffuse per la raccolta della paglia, in quanto garantiscono elevati rendimenti in tutte le fasi di lavorazione oltre ad un contenuto fabbisogno di manodopera. Negli anni si sono evoluti cantieri di meccanizzazione per lo stoccaggio e il trasporto di grandi quantitativi di paglia (Kadam et al., 2000), che ottimizzano l'impiego delle macchine e della manodopera (Nilsson, 1999) ma che non si prestano per la raccolta di balle prismatiche di modeste dimensioni come quelle idonee agli impieghi edilizi.

In Italia la coltivazione dei cereali occupa una superficie di circa 3 milioni di ettari; il frumento duro è la coltivazione più diffusa, seguita da mais, frumento tenero e orzo. Da qualche anno si assiste a una crisi crescente del settore cerealicolo dovuta all'aumento dei costi di produzione e al calo dei prezzi di mercato all'origine. Ciò che accade per la granella, si verifica ancor più per il prodotto paglia, considerato un materiale di scarto della filiera. Lo scarso reimpiego per esigenze agronomiche e zootecniche, ha determinato quindi una contrazione del mercato della paglia con oscillanti quotazioni economiche, rafforzate da modeste prospettive di convenienza nelle fasi di raccolta e post-raccolta. Per un'accurata razionalizzazione di queste fasi è fondamentale conoscere la quantità di paglia prodotta (Allen, 1988) e le caratteristiche delle balle richieste per un'ottimale messa in opera. In generale, gli studi che analizzano le caratteristiche delle balle non sono numerosi, quasi inesistenti a livello nazionale, e si limitano alla stima del peso delle balle direttamente in campo (Maguire et al., 2007), dell'umidità e della densità (Sultana e Kumar, 2011): nessuna di queste proprietà è messa però in relazione con l'idoneità delle balle per utilizzo costruttivo.

Per quanto riguarda la sostenibilità del ciclo di vita dei prodotti agricoli è ampiamente usata la metodologia *Life Cycle Assessment* (Schmidt, 2008; Spugnoli et al., 2009), sia nel classico approccio attribuzionale (Spugnoli et al., 2010) sia nel cosiddetto approccio consequenziale (Kimming et al., 2011), teso a valutare le conseguenze ambientali indirette di un uso alternativo di un prodotto (Finnveden et al., 2009). I carichi ambientali sono stati valutati soprattutto per quanto riguarda l'uso della paglia a scopi energetici (Gabrielle e Gagnaire, 2008) o come materia prima per bioraffineria (Cherubini e Ulgiati, 2010). In letteratura non si trovano studi LCA sull'utilizzo delle balle di paglia come materiale edile; la valutazione di materiali ecocompatibili è limitata a strutture residenziali in pannelli modulari in legno (Monahan e Powell, 2011).

Si ritiene pertanto necessario analizzare la peculiarità toscana, al fine di verificare l'effettiva potenzialità di filiere agricole sostenibili complete, al pari di quelle già attive in alcuni paesi europei (King, 2006), per la produzione e commercializzazione di balle di paglia come materiale da costruzione.

Metodologia

Indagine sull'utilizzo della paglia in toscana

Il presente studio si pone l'obiettivo di analizzare l'offerta della risorsa "paglia" con un censimento delle produzioni su scala regionale (Toscana). L'indagine conoscitiva e informativa rivolta alle aziende agricole ad indirizzo cerealicolo, consente di sensibilizzare gli agricoltori e for-

nire un quadro esaustivo sulle prospettive di attivazione di un mercato della paglia. Tale indagine, tuttora in corso di svolgimento, è condotta attraverso la distribuzione alle aziende agricole di un questionario *online* (Fig. 1), al fine di creare un *database* dinamico rappresentativo degli scenari produttivi attuali e potenziali.

A tal riguardo il censimento, attraverso un approccio partecipato e condiviso, coinvolgerà, oltre alle imprese anche tecnici e operatori di settore, anche le principali associazioni agricole di categoria e le più importanti organizzazioni di produttori di cereali del territorio regionale. Il questionario è strutturato in tre parti, relative all'identificazione della tipologia aziendale, ai principali indirizzi colturali e al grado di conoscenza da parte degli imprenditori agricoli dei materiali da costruzione di origine biologica. In particolare, saranno raccolte informazioni sulle tipologie colturali, sui quantitativi prodotti, sulle modalità di raccolta e stoccaggio, oltre che sugli utilizzi stessi della materia prima (uso aziendale, cessione a terzi, inutilizzo, ecc.). Le azioni di informazione e la successiva raccolta e gestione dati saranno effettuate attraverso l'utilizzo di *Adobe Acrobat X Pro*, un software dedicato che permetterà di monitorare con facilità la compilazione del modulo e di esportarne i dati sotto forma di *report* per valutazioni quantitative, anche in termini previsionali, delle risorse prodotte.

The image shows a screenshot of an online questionnaire. At the top, it identifies the organization as 'Università degli studi di firenze Facoltà di agraria - DISTAF' and mentions 'Edilpaglia - Associazione Italiana edicole in paglia'. The main title is 'QUESTIONARIO' and it describes the survey's purpose: 'Questionario mirato alla realizzazione di un'indagine conoscitiva, sul territorio regionale toscano, della produzione di paglia e del suo possibile utilizzo come materiale costruttivo ed isolante.' Below this, there are sections for 'DATI PERSONALI' (Name, Address, City, Province, Region, Telephone) and 'LA TUA AZIENDA' (Company Type, Straw Production, and Straw Use). The questions are numbered 1 through 8.

Fig. 1. Format del questionario sulla produzione, gestione e utilizzo della paglia

Nel contempo, sarà valutato anche il grado di interesse delle singole aziende a partecipare concretamente alle fasi operative di cantiere, di-

ventando partner esecutive nella messa a punto di processi produttivi codificati per la produzione di balle di paglia da costruzione con specifici requisiti fisico-meccanici.

Valutazione ambientale di usi alternativi della paglia

La valenza ambientale della paglia come materiale da costruzione è la caratteristica fondante per tale impiego. Per quanto riguarda la sostenibilità del ciclo di vita della paglia è utilizzata la metodologia LCA, ed in particolare il metodo consequenziale (*consequential LCA*), che valuta le conseguenze ambientali indirette di un uso alternativo del prodotto. La LCA analizza tutti i processi, dalla fase di raccolta in campo fino all'uscita delle balle dai cancelli aziendali (*from cradle to gate*). La metodologia LCA è utilizzata per valutare i vantaggi effettivi dell'uso della paglia rispetto ai materiali convenzionali sostituiti, ma anche per quantificare gli impatti aggiunti o sottratti come conseguenza di un suo utilizzo alternativo. Quest'attività prevede sia un raffronto rispetto ad un uso tradizionale, come l'interramento in campo o come lettiera per animali in allevamento, sia rispetto ad un uso per scopi energetici (combustibile).

Possibili scenari di utilizzazione e progettazione

Risultati preliminari sulle produzioni di paglia in toscana

Il questionario sulla produzione, gestione e utilizzo della paglia è stato inviato ad un numero consistente di aziende agricole toscane, fra cui 44 hanno fornito risposte dettagliate.

Quasi il 70% delle aziende intervistate produce paglia e, tra queste, la maggior parte è localizzata nelle province a più elevata vocazione cerealicola, quali Siena e Grosseto. Tra queste la coltura prevalente è il frumento (in particolare grano duro) seguito a distanza da orzo e avena. La raccolta della paglia è svolta in proprio e tramite contoterzisti in uguale proporzione. Lo stoccaggio della paglia, quando non è trinciata direttamente in campo, avviene in rotoballe, *jumbo bales*, piccole balle prismatiche (con peso di 20-30 kg) e in un caso in sacchetti da 10 kg. Nel caso di piccole balle, potenzialmente utilizzabili per scopi costruttivi, 4 aziende su 7 effettuano la raccolta in proprio. La Figura 2 mostra le principali destinazioni della paglia prodotta: quasi la metà della produzione è interamente ceduta a terzi (41%) mentre circa il 26% è riutilizzato all'interno dell'azienda agricola; marginale è la quota non utilizzata e trinciata direttamente in campo. La paglia ceduta a terzi è, per circa i tre quarti, raccolta in balle di grandi dimensioni (cilindriche e prismatiche).

I sopralluoghi effettuati direttamente presso alcune aziende della provincia di Siena hanno evidenziato come la meccanizzazione della raccolta della paglia sia effettuata con cantieri di grandi dimensioni, al fine di massimizzare la produttività (circa 50 ha/giorno pari a 400 grandi balle prismatiche al giorno), la capacità di lavoro e la manodopera impiegata.

Dalle interviste è emerso come alcuni agricoltori siano disponibili a produrre piccole balle adatte per scopi costruttivi, utilizzando soluzioni innovative rappresentate da macchine raccogli-imbaltatrici capaci di produrre *Jumbo bales* suddivisi a loro volta in piccole balle (Fig. 3), qualora il prezzo di mercato divenga conveniente (8-9 €/q) rispetto all'incerta e poco remunerativa situazione attuale (3-4 €/q).

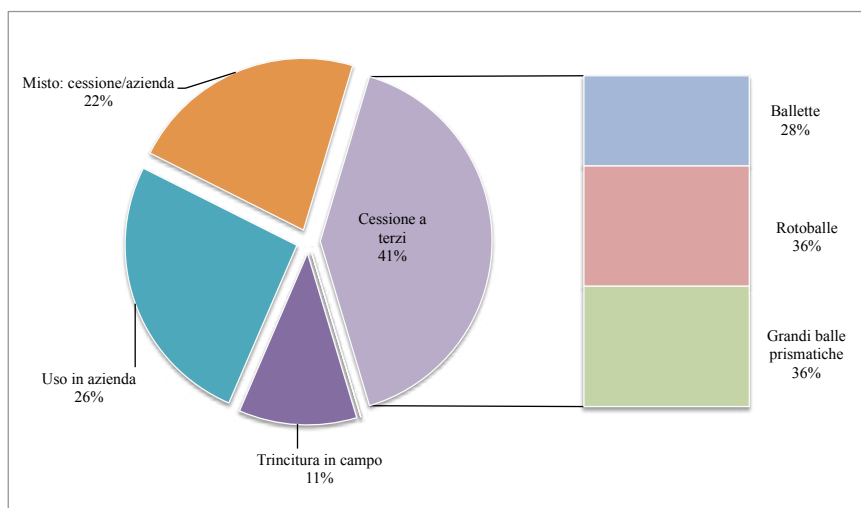


Fig. 2. Destinazione della paglia prodotta in azienda

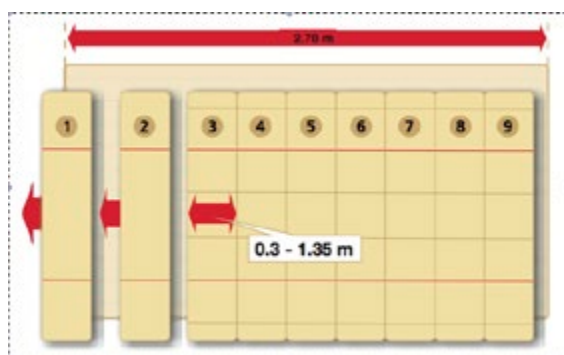


Fig. 3. Jumbo bale suddivisa in numerose piccole balle di larghezza variabile

Valutazioni ambientali sugli utilizzi alternativi della paglia

È di fondamentale importanza valutare la convenienza ambientale dell'impiego della paglia in raffronto all'uso tradizionale o per scopi energetici e al suo impiego come materiale da costruzione (Fig. 4).

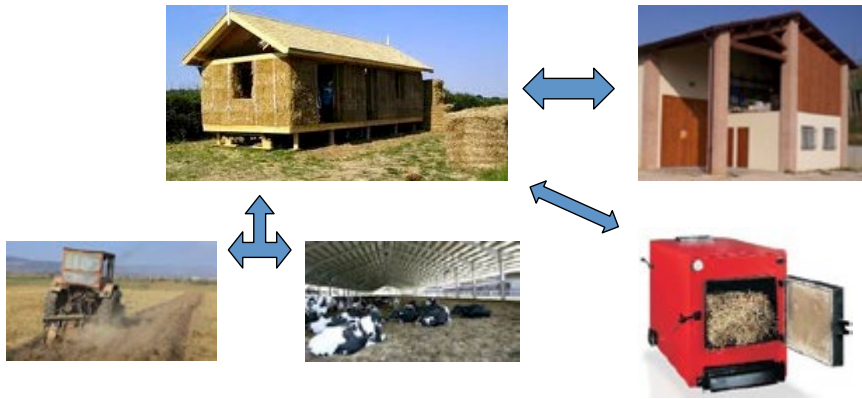


Fig. 4. Possibili scenari di utilizzo della risorsa paglia

In Toscana si producono circa 400.000 t di paglia su una superficie a cereali di 132.000 ha principalmente investiti a frumento, orzo e avena (Mipaaf, 2010).

Scenario "Interramento in campo". Un importante servizio ambientale che l'agricoltura può svolgere consiste nell'assorbimento di rilevanti quantità di anidride carbonica dall'atmosfera, anche attraverso lo stoccaggio di carbonio contenuto nella paglia. Considerando un coefficiente di umificazione della paglia pari a 0,15 k_1 (Katterer et al., 2011) e un contenuto di sostanza secca di 85%, l'interramento di 1 q di paglia produce circa 17 kg di humus che equivalgono ad una quantità di CO₂ immobilizzata nel terreno pari a 36 kg. Se interrata, la produzione di 1 ha può sequestrare fino a 1 t CO₂. Compiendo tale operazione, si deve fare attenzione però all'elevato rapporto carbonio/azoto della paglia (C/N = 110-130), che richiede un apporto esterno di azoto ("costo occulto") al fine di non intaccare le riserve del suolo.

Scenario "Utilizzo energetico". La paglia può essere utilizzata anche per scopi energetici in differenti filiere. Se la paglia è utilizzata per la produzione di etanolo (biocarburante di II^a generazione) si ha una riduzione standard delle emissioni di gas a effetto serra rispetto ai combustibili fossili di riferimento che è dell'85% (Direttiva RED, 2009/28/CE). Se

utilizzata come biomassa solida in processi di combustione, la paglia ha emissioni medie di filiera – dalla raccolta all’immissione in caldaia – di 2 g CO₂eq/MJ, mentre le emissioni di una fonte fossile potenzialmente sostituibile come il carbone sono pari a 217–253 g CO₂eq/MJ.

Scenario “Sostituzione di laterizi”. Uno scenario del tutto alternativo è quello che prevede la paglia come materiale da costruzione in sostituzione ai comuni laterizi. Ipotizzando che la produzione di paglia su scala regionale toscana sia ripartita equamente tra le diverse modalità d’impiego – interrimento in campo, lettiera in allevamenti zootecnici, produzione di energia e materiale da costruzione – circa 100.000 t di paglia potrebbero essere destinate ad usi edili. Tale quantità contiene un equivalente di circa 158.000 t CO₂ che può essere immobilizzata per un periodo di tempo pari alla vita attesa d’esercizio dell’edificio, che si può estendere oltre i cento anni (i primi edifici in paglia costruiti in Nebraska risalgono al 1903 e sono tuttora efficienti). A titolo esemplificativo, la paglia utilizzata potrebbe compensare le emissioni di gas serra di 45.000 t di gasolio (3,5 kg CO₂/kg gasolio), che sono pari a circa il 2‰ del fabbisogno nazionale italiano.

Nella sostituzione dei laterizi con balle di paglia, oltre al carbonio stoccato nei culmi dei cereali, si devono considerare anche i carichi ambientali evitati derivati dalla non produzione dei tradizionali materiali da costruzione sostituiti. Ipotizzando che 1 m² di muratura in laterizi sia realizzato con 134 elementi (Mattoni Comune Doppio UNI 12x12x25 cm, peso 2,75 kg) e che abbia emissioni medie di produzione pari a 0,4 kg CO₂/kg, i carichi ambientali da sottrarre all’impatto di un tipo di muro realizzato in paglia con le stesse caratteristiche di coibenza termica (K= 0,09 W/m²°C) sono di 147,4 kg CO₂/m².

Applicazioni nei fabbricati agricoli

In ambito progettuale particolare attenzione dovrà essere posta alle attuali richieste di miglioramento e di sviluppo sostenibile delle attività produttive agricole, promuovendo la progettazione di strutture funzionali alle esigenze aziendali caratterizzate da elevata modularità. In tal senso, per i fabbricati agricoli d’esercizio, l’applicazione del bio-materiale da costruzione abbinato a materiali aventi funzione portante (legno, acciaio, ecc.), può rappresentare la riattivazione di una filiera completa, con la produzione della materia prima fino al suo utilizzo finale.

A tal riguardo sono tuttora in corso di studio sia lo sviluppo di sistemi costruttivi innovativi sia la proposta di interventi di riqualificazione energetica su fabbricati rurali esistenti. I criteri progettuali di funzionalità, modularità e sostenibilità ambientale ed economica saranno i principi fondativi adottati nello studio di soluzioni costruttive-pilota ad uso agricolo. Nello specifico la realizzazione di un magazzino per lo stoc-

caggio di prodotti di circa 150 m² avrà le seguenti caratteristiche: tipologia strutturale in pilastri in legno (interasse di 1,80 – 2,00 m) con tamponamenti in paglia nelle partizioni verticali ed orizzontali. Il solaio di copertura sarà costituito da travi in legno (interasse di 1,00 m), doppio tavolato incrociato superiore e tavolato scempio inferiore. Tra i due ordini di tavolati saranno collocate balle di paglia per l'isolamento termico e strati di terra paglia con funzione di barriera al vapore; la copertura sarà munita di camera di ventilazione. Il sistema di fondazione sarà costituito da un cordolo perimetrale in c.a., mentre per la pavimentazione interna, laddove non sia previsto l'accesso di macchine agricole, sarà scelto un vespaio isolante con finitura in terra battuta. In termini di aspetto architettonico, gli intonaci naturali a base di terra o terra e calce aerea da applicare a supporti in paglia, il manto di copertura in tegole e coppi, associati alla semplicità delle forme, rendono l'edificio collocabile in qualunque contesto rurale toscano.

Interventi-pilota di riqualificazione energetica e funzionale di un fabbricato agricolo esistente (es. cantina fuori terra), prevederanno la realizzazione di cappotti interni o preferibilmente esterni in balle di paglia o in terra-paglia, al fine di garantire elevate prestazioni termiche al fabbricato stesso. In particolare, i cappotti esterni saranno costituiti da balle di paglia contenute da montanti in legno vincolati alla muratura e successivamente rivestiti con impasti di calce aeree e/o terre, escludendo l'uso di leganti idraulici moderni, che richiedono elevati quantitativi di energia per la produzione. I cappotti interni invece saranno in terra-paglia, messi in opera con tecniche costruttive diverse, per mezzo di casseri oppure prefabbricati e semplicemente assemblati in cantiere. L'utilizzo dei sistemi sovraesposti comporta costi notevolmente inferiori rispetto ai sistemi attualmente in uso, sia per la reperibilità in situ dei materiali utilizzati sia per la facile messa in opera degli stessi.

Conclusioni

Il presente lavoro si pone l'obiettivo di contribuire alla creazione di basi tecnico-scientifiche per l'attivazione di una filiera di balle di paglia da costruzione; ciò consentirebbe alle aziende agricole di differenziare ulteriormente il proprio reddito, valorizzando un sottoprodotto della filiera cerealicola.

In quest'ottica, deve essere ancora svolto un intenso lavoro di ricerca mirato alla caratterizzazione tecnica delle attitudini delle specie cereali-cole a paglia e alla definizione dei principali parametri qualitativi della balla sia in fase di raccolta sia in opera. Per quanto riguarda la sostenibilità ambientale dell'utilizzo della paglia per scopi costruttivi, analisi preliminari evidenziano come questa sia un materiale che consente una

riduzione di emissioni nell'ambiente rispetto ai materiali tradizionali.

Simili considerazioni riguardano anche l'utilizzo di tecniche costruttive con materiali naturali di antica tradizione per la progettazione e il recupero di fabbricati di esercizio per le produzioni agricole; la definizione rigorosa e scientifica delle tecniche costruttive ottimali e degli opportuni accoppiamenti dei materiali consentirà di redigere disciplinari tecnico-pratici per progettisti e maestranze, promuovendo l'adozione di tali tecniche soprattutto in contesti rurali di edilizia residenziale e produttiva.

Allo stato attuale la filiera agricola per la produzione di balle di paglia da costruzione non è ancora presente sul territorio nazionale e la sua attivazione non può prescindere da una convenienza economica e quindi sociale. In attesa della creazione di un mercato stabile, è auspicabile uno scenario che preveda utilizzi differenziati della risorsa paglia.

Bibliografia

- ALLEN R.R. (1988). Straw recovery as affected by wheat harvest method. *Transactions of the ASAE*, 31 (6): 1656-1659.
- CHERUBINI F., ULGIATI S. (2010). Crop residues as raw materials for biorefinery systems - A LCA case study. *Applied Energy*, 87: 47-57. doi:10.1016/j.apenergy.2009.08.024.
- CONTI L., BARBARI M., SORBETTI GUERRI F. (2010). Soluzioni costruttive in balle di paglia per l'edilizia rurale. In: *Overview di Architettura del paesaggio. AIIA - Ruralia*, Imola, 4-5 marzo 2010, vol. 5, pp. 1-5. ISSN: 1125-0259.
- FINNVEDEN G., HAUSCHILD M.Z., EKVALL T., GUINEE J., HEIJUNGS R., HELLWEG S., KOEHLER A., PENNINGTON D., SUH S. (2009). Recent developments in Life Cycle Assessment. *Journal of Environmental Management*, 91: 1-21. ISSN:0301-4797.
- GABRIELLE B., GAGNAIRE N. (2008). Life-cycle assessment of straw use in bio-ethanol production: A case study based on biophysical modelling. *Biomass and Bioenergy*, 32: 431-441. ISSN: 0961-9534.
- JONES B. (2006). *Costruire con le balle di paglia: manuale pratico per la progettazione e la costruzione*, Aam Terra Nuova, Firenze. ISBN: 88-88819-07-X.
- KADAM K.L., FORREST L.H., JACOBSON W.A. (2000). Rice straw as a lignocellulosic resource: collection, processing, transportation, and environmental aspects. *Biomass and Bioenergy*, 18: 369-389. ISSN: 0961-9534.
- KATTERER T., BOLINDER M.A., ANDREN O., KIRCHMANN H., MENICHETTI L. (2011). Roots contribute more to refractory soil organic matter than above-ground crop residues, as revealed by a long-term field experiment. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 14: 184-192. ISSN: 0167-8809.

- KIMMING M., SUNDBERG C., NORDBERG A., BAKY A., BERNESSEON S., NORÉN O., HANSSON P.A. (2011). Life cycle assessment of energy self-sufficiency systems based on agricultural residues for organic arable farms. *Bioresource Technology*, 102: 1425-1432. ISSN: 0960-8524.
- KING B. (1997). *Buildings of earth and straw: structural design for rammed earth and straw bale architecture*, Chelsea Green Publishing Company. ISBN: 0930031701-7.
- KING B. (2001). California straw bale code, BIETEC Symposium.
- KING B. (2006). *Design of Straw Bale Buildings; The State of the Art*, Green Building Press. ISBN:978-0-9764911-1-8.
- LACINSKI P., BERGERON M. (2000). *Serious straw bale: a home construction guide for all climates*, Chelsea Green Publishing Company. ISBN:1-890132-64-0.
- MAGUIRE S.M., GODWIN R.J., O'DOHERTY M.J., BLACKBURN K. (2007). A dynamic weighing system for determining individual square bale weights during harvesting. *Biosystems Engineering*, 98: 138-145. ISSN: 1537-5110.
- MINISTERO DELLE POLITICHE AGRICOLE ALIMENTARI E FORESTALI (2010). *Piano di Settore Cerealicolo – Parte Prima*.
- MONAHAN J., POWELL J.C. (2011). An embodied carbon and energy analysis of modern methods of construction in housing: A case study using a lifecycle assessment framework. *Energy and Buildings*, 43: 179-188. ISSN: 0378-7788.
- NILSSON D. (1999). SHAM – a simulation model for designing straw fuel delivery systems. Part 2: model applications. *Biomass and Bioenergy*, 16: 39-50. ISSN: 0961-9534.
- SCHMIDT J.H. (2008). System delimitation in agricultural consequential LCA. Outline of methodology and illustrative case study of wheat in Denmark. *International Journal Life Cycle Assessment*, 13: 350-364. ISSN: 0948-3349.
- SOKHANSANJ S., TURHOLOW A.F., STEPHEN J., STUMBORG M., FENTON J., MANI S. (2008). Analysis of five simulated straw harvest scenarios. *Canadian Biosystems Engineering*, 50: 227-235. ISSN: 1492-9058.
- SORBETTI GUERRI F., CONTI L., MONTI M., PINI L., BARBARI M. (2009). Razionalizzazione ed ingegnerizzazione dell'utilizzo di materiali naturali locali per l'impiego in costruzione ed infrastrutture in ambiente agricolo e perturbano toscano, *Atti del Convegno IX AIIA - "Ricerca e innovazione nell'ingegneria dei biosistemi agro-territoriali"* - Ischia Porto, 12-16 settembre 2009. ISBN:978-88-89972-13-7
- SPUGNOLI P., BALDI F., PARENTI A. (2009). An LCA model to assess the environmental improvement of new farming systems. *Journal Of Agricultural Engineering*, 4: 27-33. ISSN:1974-7071.
- SPUGNOLI P., DAINELLI R., D'AVINO L., MAZZONCINI M., LAZZERI L. (2010). Energy and CO₂eq analysis of the agricultural

phase in the sunflower biodiesel chain. XVIIth World Congress of the International Commission of Agricultural and Biosystem Engineering (CIGR), Québec City, Canada, June 13-17, 2010. Book of abstracts, ISBN 978-2-9811062-1-6.

STEEN SWENTZELL A., STEEN B., BAINBRIDGE D., EISENBERG D. (1995). The straw bale house, Chelsea Green Publishing Company. ISBN: 0930031701-7.

SULTANA A., KUMAR A. (2011). Optimal configuration and combination of multiple lignocellulosic biomass feedstocks delivery to a biorefinery. *Bioresource Technology*, 102: 9947-9956. ISSN: 0960-8524.

INFLUENZA DEL *LAYOUT* DI VENTILAZIONE SULLA QUALITÀ DELL'ARIA E SULL'EMISSIONE DEI GAS IN ALLEVAMENTI INTENSIVI DI CONIGLI

F. da Borso¹, F. Teri¹, M. Mezzadri¹, F. Agnoletti², M. Bonci²

¹Università di Udine, Dipartimento di Scienze agrarie ed ambientali

²Istituto Zooprofilattico delle Venezie, Sezione di Treviso

Riassunto. Due allevamenti di conigli all'ingrasso, diversi per sistema di ventilazione forzata trasversale (allevamento A) e longitudinale (allevamento B), sono stati sottoposti a cicli di monitoraggio di durata settimanale in diverse stagioni e a diversi stadi di accrescimento degli animali. Sono stati rilevati i principali parametri impiantistici, microclimatici, ambientali, zootecnici e sanitari; nel presente lavoro vengono presentati i risultati relativi al monitoraggio della qualità dell'aria (concentrazioni ed emissioni di NH₃, CO₂, CH₄). Le concentrazioni indoor di NH₃ sono risultate più elevate in inverno, raggiungendo valori medi di 12,9 - 30,7 mg m⁻³, rispettivamente nell'allevamento B e A. L'andamento giornaliero della concentrazione dei gas è risultato di tipo sinusoidale, con valori massimi per NH₃ nelle ore diurne e per gli altri gas nelle ore notturne. La distribuzione spaziale della concentrazione di NH₃ ha evidenziato *patterns* chiaramente influenzati dalla direzione trasversale o longitudinale del flusso di ventilazione, con i valori massimi di concentrazione verso il lato di estrazione dell'aria. I flussi medi di emissione di NH₃ sono risultati pari a 13,2 e 11,3 mg h⁻¹ kg⁻¹ p.v., mentre quelli di CO₂ pari a 2,7 e 4,6 g h⁻¹ kg⁻¹ p.v., rispettivamente per l'allevamento A e B. L'emissione di CH₄ è risultata più elevata in estate, con flussi di 45,1 e 39,8 mg h⁻¹ kg⁻¹ p.v., rispettivamente dall'allevamento A e B.

Parole chiave: Conigli, Ventilazione, Ammoniaca, Anidride carbonica, Metano, Emissioni

Summary. Two fattening rabbit houses with forced ventilation system and different layouts (transverse, "unit A" and longitudinal, "unit B"), were subjected to cycles of monitoring on a weekly basis in different seasons and different growing phases. The main structural, microclimatic, environmental, productive and sanitary parameters were detected; the results concerning the monitoring of air quality (concentrations and emissions of NH₃, CO₂, CH₄) are described in detail in this piece of work. The indoor concentrations of NH₃ turned out to be higher in winter conditions, reaching average values of 12,9 and 30,7 mg m⁻³ (unit B and unit A, respectively). The daily trend of gas concentration turned out to be of sinusoidal pattern, with the highest values during the day for NH₃ and during the night for the other gases. The spatial distribution of NH₃ concentration showed patterns clearly influenced by the transverse or longitudinal direction of ventilation flow, with the maximum concentration values on the side of air outlet. NH₃ emissions were on average 13,2 and 11,3 mg h⁻¹ kg⁻¹ l.w. (unit A and unit B) and CO₂ emissions were 2,7 and 4,6 g h⁻¹ kg⁻¹ l.w. (unit A and unit B). The emissions of CH₄ were higher in summer, when flows reached 45,1 and 39,8 mg h⁻¹ kg⁻¹ l.w., respectively from the unit A and B.

Key words: Rabbits, ventilation, ammonia, carbon dioxide, methane, emissions

Introduzione

I sistemi di ventilazione adottati negli allevamenti intensivi di conigli sono molto diversificati e riconducibili alle principali tipologie di ventilazione naturale, ventilazione forzata in depressione con *layout* trasversale, longitudinale o misto. L'effetto del layout di ventilazione sulle concentrazioni di gas indoor è ad oggi poco noto, ma determinante per l'ottimizzazione funzionale del sistema di ventilazione nelle diverse strutture di allevamento, nei diversi periodi dell'anno e nelle diverse ore della giornata. Le informazioni relative alle emissioni di gas ad effetto acidificante (NH_3) sono ampiamente disponibili per suini ed avicoli, ma alquanto carenti per i conigli; le conoscenze relative alle emissioni di gas ad effetto serra (CO_2 , CH_4 , N_2O), in generale poco sviluppate per tutti gli allevamenti intensivi, sono ancora completamente da acquisire per i conigli.

Per contribuire ad allargare il quadro di conoscenze in relazione a tali tematiche, il presente contributo intende esporre alcuni risultati specifici ottenuti da un progetto di ricerca coordinato dall'Istituto Zooprofilattico Sperimentale delle Venezie e finanziato dal Ministero del Lavoro, della Salute e delle Politiche Sociali.

Materiali e metodi

Strutture di allevamento

I rilievi sperimentali sono stati effettuati in due allevamenti omogenei per tipo genetico e per ciclo produttivo, ma differenziati per le caratteristiche strutturali ed impiantistiche. In questi allevamenti, la gestione dei cicli produttivi prevede l'accrescimento e l'ingrasso dei coniglietti nello stesso fabbricato di nascita e lo spostamento delle fattrici in un altro fabbricato dopo lo svezzamento, in modo da consentire periodi di vuoto tra un ciclo e l'altro, con la possibilità di attuare pratiche di pulizia e disinfezione.

L'allevamento A è ubicato in Veneto, in provincia di Treviso. L'edificio sottoposto a monitoraggio (Fig. 1A) ha una superficie di 560 m^2 (40 m di lunghezza x 14 m di larghezza), un'altezza in gronda di 2,60 m e un'altezza al colmo di 3,30 m, per un volume totale di 1.652 m^3 (Tab. 1). L'edificio è caratterizzato da ventilazione forzata di tipo trasversale: le aperture di ingresso dell'aria sono localizzate sul lato maggiore orientato S-E, mentre i ventilatori estrattori (in numero di 7) sono disposti sul lato maggiore orientato N-W. La ventilazione è regolata automaticamente, per mezzo di una centralina elettronica comandata da un sensore di temperatura localizzato al centro del capannone. Le finestre laterali sono dotate di pannelli in cellulosa umidificati per il raffrescamento evaporativo nel periodo critico estivo. Le deiezioni vengono accumulate su



Fig. 1. I due allevamenti sede di monitoraggio sperimentale: a sinistra edificio con ventilazione forzata trasversale (allevamento A), a destra longitudinale (allevamento B).

canalette sotto le batterie e la loro rimozione avviene quotidianamente tramite raschiatori meccanici. L'edificio accoglie cinque file di batterie di gabbie per un totale di 651 fori fattrice ed una capienza massima di 5700 conigli all'ingrasso, per un carico massimo su superficie totale coperta corrispondente a $10,2$ capi m^{-2} , ovvero a $26,5$ kg m^{-2} . Gli animali sono svezzati all'età di 39 giorni e sono macellati a 77 giorni, quando raggiungono un peso medio di circa $2,6$ kg capo⁻¹.

L'allevamento B è ubicato in Friuli Venezia Giulia, in provincia di Udine. L'edificio di prova (Fig. 1B) ha una superficie di 513 m² (57 m di lunghezza x 9 m di larghezza), l'altezza è di 3,50 m in gronda e di 4,60 m al colmo, il volume totale è di 2.077 m³ (Tab. 1). L'edificio è caratterizzato

Tab. 1. Principali parametri descrittivi e differenziali dei due allevamenti sede di monitoraggio.

Caratteristiche strutturali e impiantistiche	Allevamento A	Allevamento B
Lunghezza x larghezza x altezza media	40,0 m x 14,0 m x 2,9 m	57,0 m x 9,0 m x 4,1 m
Superficie totale / volume totale	560 m ² / 1610,7 m ³	513 m ² / 2077,6 m ³
Batterie di gabbie	5 file a 1 piano	3 file a 2 piani
Tipo di ventilazione	Trasversale	Longitudinale
Ventilatori, n. [diametro]	7 [0,65 m]	2 [1,30 m] + 2 [0,80 m]
Caratteristiche zootecniche		
Numero di conigli allevati	651 fattrici + 5700 ingrasso	828 fattrici + 6500 ingrasso
Durata media del ciclo di ingrasso	38 giorni	42 giorni
Peso medio di macellazione	2,6 kg capo ⁻¹	2,8 kg capo ⁻¹

da ventilazione forzata di tipo longitudinale; i 4 ventilatori estrattori sono disposti sulla testata N, mentre le aperture di ingresso dell'aria sono localizzate sulla parte mediana e terminale opposta delle pareti laterali. In condizioni invernali, per brevi periodi, è attuato un parziale ricambio d'aria naturale in abbinamento alla ventilazione forzata. La ventilazione è regolata automaticamente per mezzo di una centralina elettronica comandata da un sensore di temperatura localizzato al centro del capannone e per la climatizzazione estiva sono previsti pannelli umidificati per il raffrescamento evaporativo. Le deiezioni sono accumulate nelle canalette di raccolta sotto le gabbie e sono rimosse quotidianamente, la mattina, per mezzo di raschiatori meccanici. Le batterie di gabbie sono disposte su 3 file, per un totale di 828 fori fattrice ed una capienza massima di 6500 conigli all'ingrasso. Il carico massimo sulla superficie totale coperta corrisponde a 12,7 conigli m⁻² ovvero a 35,6 kg m⁻². Gli animali sono svezzati all'età di 42 giorni e sono macellati a 84 giorni d'età, quando hanno raggiunto un peso medio di circa 2,8 kg capo⁻¹.

Metodologie di rilievo

L'attività sperimentale nei due allevamenti si è protratta per un intero anno, in modo da interessare un ciclo di ingrasso completo per ogni stagione climatica. In ciascun ciclo di ingrasso sono state individuate 2 settimane di monitoraggio, corrispondenti alle fasi di post-svezzamento (una settimana dopo lo svezzamento) e di pre-macellazione (ultima settimana prima della vendita). Tali fasi di allevamento sono caratterizzate spesso da criticità legate, nel post-svezzamento, a fenomeni di stress dovuti alla separazione della nidiata dalla madre e al cambio di alimentazione e, nel periodo precedente la macellazione, all'elevato carico animale che può determinare ripercussioni negative proprio sulla qualità dell'ambiente. Durante le settimane di monitoraggio sono stati effettuati rilievi in continuo dei parametri termo-igrometrici e dei gas (monitoraggio *in continuo*). Inoltre, sono stati effettuati rilievi manuali della velocità dell'aria e delle concentrazioni dei gas in diversi punti degli allevamenti nei momenti coincidenti con l'inizio e la fine di ciascuna settimana di monitoraggio (rilievi *spaziali*). La completa attività di monitoraggio nell'ambito del progetto di ricerca ha interessato anche altri parametri ambientali quali le polveri totali, la carica batterica e la carica di spore fungine, nonché ha interessato parametri produttivi, lo stato sanitario, gli esami anatomopatologici e i rilievi comportamentali, che non verranno discussi in questo lavoro.

La temperatura è stata rilevata con sensori a termoresistenza posizionati centralmente e collegati a mini-datalogger (Econorma FT-102) per la registrazione dei dati ogni 30 minuti. La concentrazione dei gas (NH₃, CO₂, CH₄) è stata rilevata con analizzatori multigas di tipo foto-acustico

ad infrarosso (Photoacoustic Field Gas-Monitor 1412, Innova AirTech Instruments e Brüel & Kjær 1302). Il monitoraggio in continuo è avvenuto posizionando il punto di aspirazione dello strumento in una posizione centrale degli edifici, a livello della parte superiore delle gabbie di allevamento ed effettuando prelievi automatici dell'aria ogni 30 minuti per tutta la settimana. Il monitoraggio spaziale, invece, è avvenuto in punti prestabiliti equidistanti lungo le file di batterie a livello della parte superiore delle gabbie di allevamento (13 punti per l'allevamento A e 11 punti per l'allevamento B). Questi rilievi sono stati ripetuti il primo e l'ultimo giorno della settimana di monitoraggio in continuo. La portata dell'aria di ricambio è stata calcolata come prodotto delle velocità dell'aria sui ventilatori per le relative superfici di espulsione dell'aria, utilizzando un anemometro a filo caldo e compensazione termica (Babuc M, LSI-Lastem). I flussi di emissione dei gas sono stati calcolati come prodotto della portata dell'aria per il valore di concentrazione dei gas in prossimità dei ventilatori sul lato di aspirazione dell'aria.

Risultati e discussione

Condizioni ambientali

La temperatura media interna nei periodi di monitoraggio è variata da valori minimi di 16,3 °C a valori massimi di 27,5 °C nell'allevamento A e da valori minimi di 13,0 °C a valori massimi di 27,0 °C nell'allevamento B (Fig. 2). La portata specifica di ventilazione è variata da valori minimi invernali di 0,9 - 0,7 m³ h⁻¹ kg⁻¹ p.v., rispettivamente per l'allevamento A e B, a valori massimi estivi di 3,7 - 3,9 m³ h⁻¹ kg⁻¹ p.v., rispettivamente per l'allevamento A e B. E' opportuno sottolineare che il ricambio d'aria minimo invernale dell'allevamento B potrebbe essere risultato lievemente sottostimato, essendo attuato anche un parziale ricambio d'aria naturale attraverso le aperture di colmo del tetto, non direttamente quantificabile.

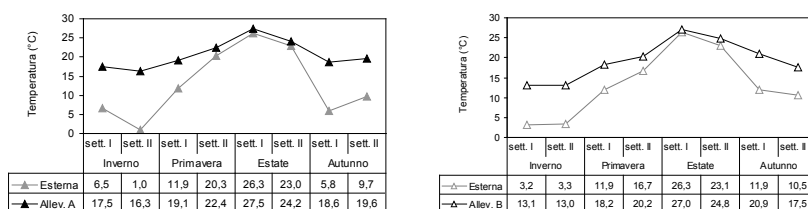


Fig. 2. Temperatura media interna ed esterna nei diversi periodi di monitoraggio dei due allevamenti.

Concentrazione dei gas

La concentrazione media indoor dei gas è risultata più elevata nei periodi di monitoraggio invernale ed autunnale ed in linea generale più elevata nell'allevamento A. I valori medi di NH_3 pari a 30,7 e 15,2 mg m^{-3} rilevati nei suddetti periodi sono risultati superiori al limite massimo di 14,2 mg m^{-3} (pari a 20 ppm) consigliato dalla *Commission International du Genie Rural* per questo gas (CIGR, 1984). La concentrazione di CO_2 rilevata negli stessi periodi, invece, è risultata inferiore al limite massimo consigliato dalla stessa CIGR (3000 ppm, pari a 5,490 g m^{-3} , contro il valore massimo rilevato in inverno, sempre nell'allevamento A, pari a 3,091 g m^{-3}). La concentrazione media di CH_4 nei diversi periodi è risultata compresa tra il valore minimo di 0,6 mg m^{-3} (allevamento B, in autunno) e il valore massimo di 8,2 mg m^{-3} (allevamento A, sempre in autunno). Nell'allevamento B la concentrazione media di CH_4 è risultata più elevata in estate rispetto agli altri periodi dell'anno.

Nei periodi invernali ed autunnali, la concentrazione indoor di NH_3 ha evidenziato un andamento di tipo sinusoidale, progressivamente cre-

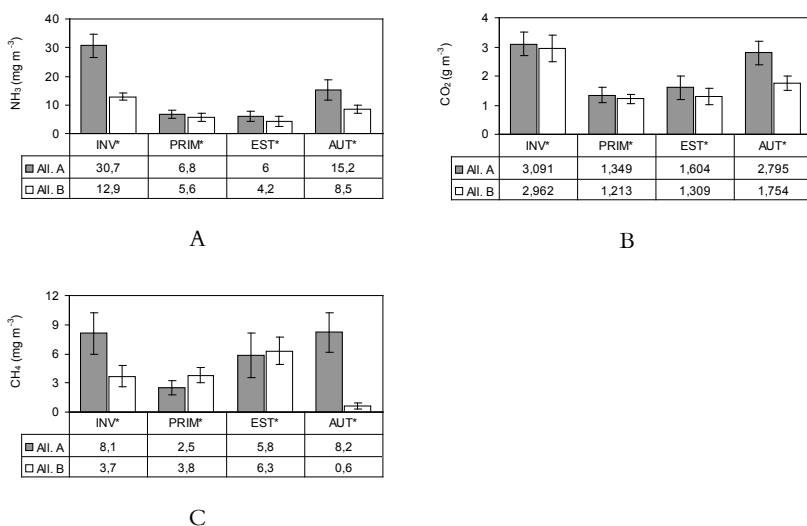


Fig. 3. Concentrazioni medie dei gas nei 4 periodi stagionali di monitoraggio e nei 2 allevamenti (A - ammoniaca, B - anidride carbonica, C - metano).

* I dati stagionali riportati sono riferiti alla media dei dati rilevati nelle fasi di monitoraggio di post-svezzamento e di pre-macellazione, ciascuna delle quali condotta per 6 giorni effettivi di rilievo in continuo.

Le barre di errore riportate negli istogrammi indicano i valori di deviazione standard di tutte le misure effettuate nel periodo corrispondente.

scente nel corso della notte e durante la mattina. Questa tendenza è risultata più accentuata nell'allevamento A, nel quale i valori massimi di concentrazione sono stati raggiunti intorno alle ore 12:00, per poi diminuire progressivamente nel corso delle ore pomeridiane e serali. Simili patterns di andamento della concentrazione di NH_3 sono stati descritti da Calvet *et al.* (2011), i quali tuttavia hanno rilevato valori massimi di concentrazione leggermente anticipati, intorno alle ore 10:00.

L'andamento giornaliero della concentrazione di CO_2 è risultato sempre di tipo sinusoidale, lievemente sfasato rispetto a quello dell' NH_3 , con valori minimi e massimi anticipati di qualche ora. Lo sfasamento tra i patterns sinusoidali dei due gas è stato descritto anche da Calvet *et al.* (2011). L'allevamento B ha manifestato una escursione dei valori di concentrazione della CO_2 più accentuata, soprattutto nel periodo invernale, con i valori medi più elevati nel corso delle ore notturne; l'allevamento A ha manifestato patterns invernali ed autunnali tra loro simili, mentre

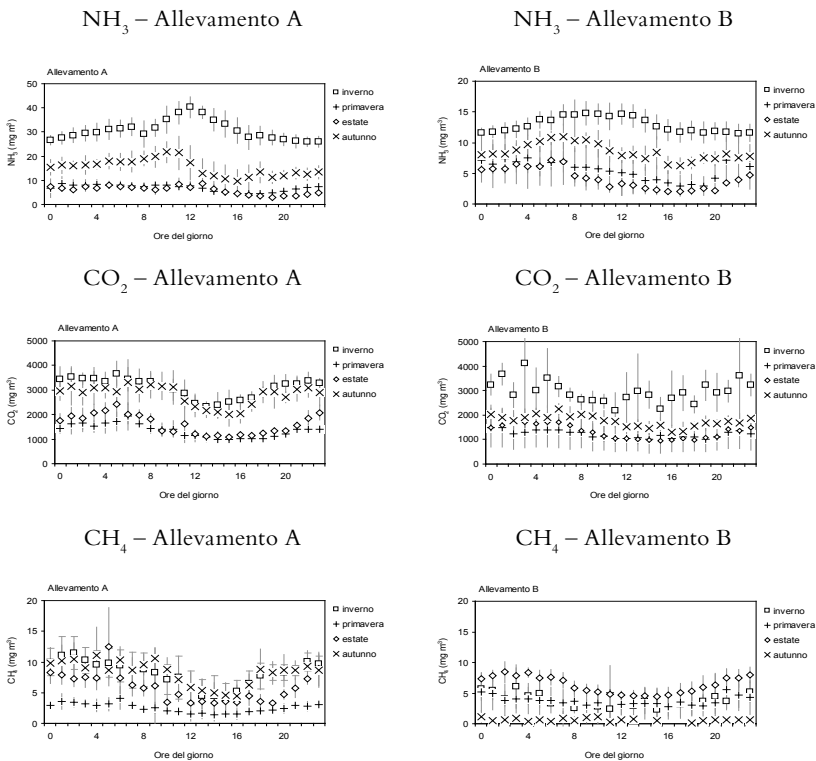


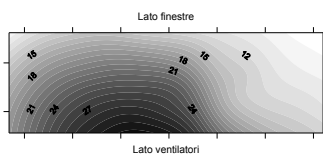
Fig. 4. Andamento della concentrazione dei gas alle diverse ore del giorno e nei diversi periodi stagionali (dati medi e deviazione standard per 6 giorni di monitoraggio in continuo in ciascun periodo stagionale).

una evidente similitudine tra gli andamenti primaverili ed estivi è stata riscontrata in entrambi gli allevamenti.

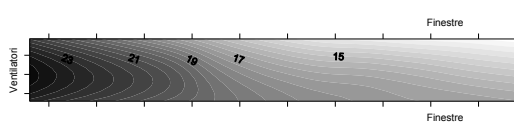
Infine, la concentrazione di CH_4 ha evidenziato comportamenti stagionali diversi rispetto agli altri gas: nell'allevamento A la concentrazione primaverile è risultata molto bassa ed uniforme nelle diverse ore, mentre nelle altre stagioni ha avuto un andamento sinusoidale simile a quello della CO_2 . Nell'allevamento B, invece, sono stati rilevati i valori minimi in autunno, molto uniformi nelle 24 ore, mentre i valori massimi sono stati verificati in estate e soprattutto nel corso delle ore notturne.

La concentrazione dei gas all'interno degli allevamenti è risultata distribuita con gradienti spaziali più o meno evidenti in funzione di gas, stagione ed allevamento. Pur avendo considerato la casistica completa, nell'ambito di questo lavoro si è ritenuto maggiormente significativo concentrare l'attenzione sul comportamento di NH_3 e CO_2 in condizioni invernali e sul comportamento di CH_4 in condizioni estive. In entrambi gli allevamenti la concentrazione invernale di NH_3 ha evidenziato gradienti crescenti verso il settore centrale della parete dove erano posizionati i ventilatori di estrazione dell'aria, con range di variazione di concentrazione molto estesi (22,2 e 13,8 mg m^{-3} , rispettivamente nell'allevamento A e B). Nella stessa stagione, le differenze spaziali di concentrazione

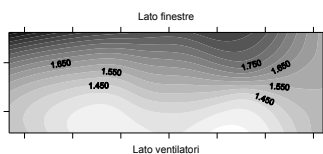
NH_3 – inverno – allevamento A



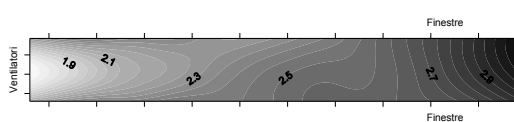
NH_3 – inverno – allevamento B



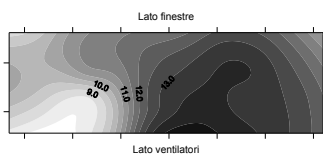
CO_2 – inverno – allevamento A



CO_2 – inverno – allevamento B



CH_4 – estate – allevamento A



CH_4 – estate – allevamento B

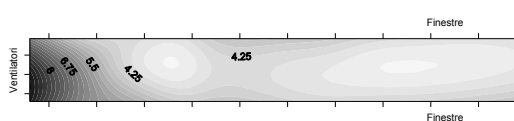


Fig. 5. Mappe di rappresentazione dei patterns spaziali di concentrazione dei gas (i valori per NH_3 e CH_4 sono espressi in mg m^{-3} , mentre per la CO_2 sono espressi in g m^{-3}).

della CO_2 sono risultate evidenti (circa 1,5 e 1,9 g m^{-3} , rispettivamente per l'allevamento A e B), ma il gradiente è risultato diversificato rispetto all' NH_3 , con i valori minimi di concentrazione verificati verso il lato di estrazione dell'aria sia nell'allevamento A (con un evidente gradiente trasversale), sia nell'allevamento B (con un evidente gradiente longitudinale). La concentrazione di CH_4 ha manifestato patterns spaziali simili a quelli dell' NH_3 , ma in questo caso solo nella stagione estiva, quando le concentrazioni di CH_4 sono risultate più elevate.

Emissione dei gas

I valori medi annuali di emissione di NH_3 sono risultati pari a 13,2 $\text{mg h}^{-1} \text{kg}^{-1}$ p.v. e 11,3 $\text{mg h}^{-1} \text{kg}^{-1}$ p.v. dall'allevamento A e B rispettivamente. I valori di emissione invernali e primaverili sono risultati più elevati rispetto a quelli estivi ed autunnali. I valori di emissione di NH_3 sono risultati superiori a quelli calcolati da Calvet *et al.* (2011) per i conigli all'ingrasso (8,6 $\text{mg NH}_3 \text{ h}^{-1} \text{kg}^{-1}$ p.v.) e lievemente inferiori a quelli riportati dagli stessi autori per le fattrici (14,0 $\text{mg h}^{-1} \text{kg}^{-1}$ p.v.). I valori di emissione degli altri gas sono risultati più elevati in condizioni primaverili ed estive, con valori medi annuali relativi alla CO_2 pari a 2,7 e 4,6 $\text{g h}^{-1} \text{kg}^{-1}$ p.v., rispettivamente per l'allevamento A e B. Tali valori di emissione risultano più elevati rispetto a quelli calcolati da CIGR (2002), pari a 1,55 $\text{g h}^{-1} \text{kg}^{-1}$ p.v. ed Estelles *et al.* (2010), pari a 2,55 $\text{g h}^{-1} \text{kg}^{-1}$ p.v. Tuttavia i valori di emissione ottenuti da questi autori si riferiscono alla sola produzione di CO_2 metabolica e non considerano le emissioni determinate da fermentazioni a carico delle deiezioni animali. Infine, il

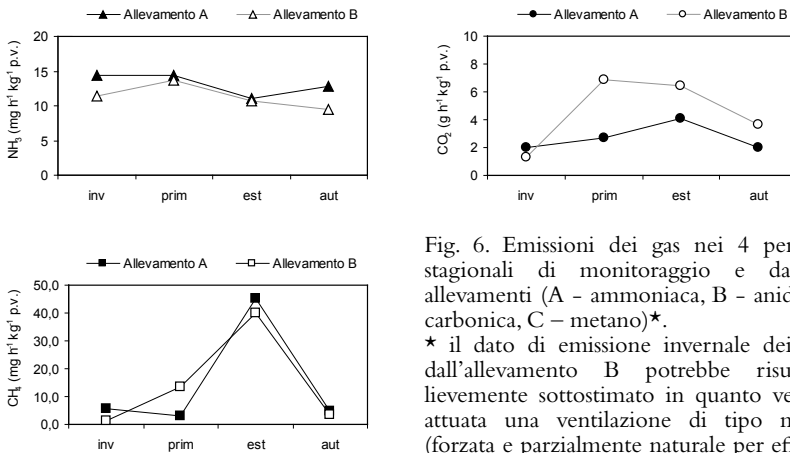


Fig. 6. Emissioni dei gas nei 4 periodi stagionali di monitoraggio e dai 2 allevamenti (A - ammoniaca, B - anidride carbonica, C - metano)*.

* il dato di emissione invernale dei gas dall'allevamento B potrebbe risultare lievemente sottostimato in quanto veniva attuata una ventilazione di tipo misto (forzata e parzialmente naturale per effetto camino).

valore di emissione di CH_4 è risultato sensibilmente superiore in periodo estivo rispetto agli altri periodi, compreso tra 45,1 e 39,8 $\text{mg h}^{-1} \text{kg}^{-1}$ p.v. (rispettivamente per l'allevamento A e B).

Conclusioni

Negli allevamenti intensivi di conigli il *layout* di ventilazione ha influenzato i gradienti di concentrazione dei gas, ma non sembra aver comportato sostanziali differenze in termini di qualità media dell'aria e di emissione dei gas. Su questi fattori hanno maggiormente influito i parametri dimensionali e funzionali degli impianti di ventilazione. Il dimensionamento dell'impianto di ventilazione ed il suo controllo automatico, soprattutto in condizioni invernali, primaverili ed autunnali, sarebbe auspicabile si basasse non solo sul parametro temperatura, ma prendesse in considerazione anche i livelli massimi di concentrazione dei gas che si desidera non superare nelle diverse zone dell'allevamento. Da questo punto di vista, il solo controllo di CO_2 , come suggerito da CIGR (2002), potrebbe non essere sufficiente per gli allevamenti intensivi di conigli e dovrebbe essere prestata attenzione anche ai livelli di NH_3 e CH_4 .

Le emissioni di NH_3 , ampiamente indagate negli allevamenti intensivi suini ed avicoli, solo di recente sono state studiate negli allevamenti di conigli. Il presente lavoro ha permesso di stimare flussi di emissione di 11,3 – 13,2 $\text{mg h}^{-1} \text{kg}^{-1}$ p.v., superiori a quelli riportati per i suini e nello stesso range di quelli riportati per gli avicoli (Groot Koerkamp, 1994), come osservato anche da Calvet *et al.* (2011), i quali tuttavia hanno misurato i valori più elevati di emissione nei reparti delle fattrici in riproduzione.

In relazione a CH_4 , gas finora poco studiato negli allevamenti di conigli all'ingrasso, sono stati evidenziati aspetti peculiari ed importanti: la concentrazione minima indoor si è verificata in inverno, contrariamente agli altri gas, mentre i flussi di emissione in estate hanno raggiunto valori molto superiori a quelli di NH_3 (39,8 – 45,1 $\text{mg h}^{-1} \text{kg}^{-1}$ p.v.).

Ringraziamenti

La ricerca è stata finanziata dal Ministero del Lavoro, della Salute e delle Politiche Sociali, Dipartimento per la Sanità Pubblica Veterinaria, la Nutrizione e la Sicurezza degli Alimenti, nell'ambito del progetto IZS VE 01/08 RC "Valutazione di alcuni parametri ambientali in allevamenti di conigli da carne e correlazione con il benessere animale", coordinato dall'Istituto Zooprofilattico Sperimentale delle Venezie.

Si ringraziano gli allevatori, sig. Cristiano Diotto e sig. Zeno Roma, per la disponibilità e collaborazione.

Bibliografia

- CIGR, 1984. Aerial environment in animal houses: concentrations in and emissions from farm buildings. Report of the CIGR Working Group on Climatization of animal houses. Disponibile on-line: <http://www.cigr.org>.
- CIGR, 2002. Climatization of animal houses. Ed. Pedersen S., Sallvik K., Danish Institute of Agricultural Sciences, Horsens, Denmark. Disponibile on-line: <http://www.cigr.org>.
- GROOT KOERKAMP P.W.G., 1994. Review on Emissions of Ammonia from Housing Systems for Laying Hens in Relation to Sources, Processes, Building Design and Manure Handling. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 59: 73-87, doi: 10.1006/jaer.1998.0275.
- CALVET S., CAMBRA-LOPEZ M., ESTELLES F., TORRES A.G., 2011. Characterisation of the indoor environment and gas emissions in rabbit farms. *Journal of World Rabbit Science*, 19: 49-61, doi: 10.4995/wrs.2011.802.
- ESTELLES F., RODRIGUEZ-LATORRE A.R., CALVET S., VILLAGRA A., TORRES A.G., 2010. Daily carbon dioxide emission and activity of rabbits during the fattening period. *Journal of Biosystems Engineering*, 106: 338-343, doi: 10.1016/j.biosystemseng.2010.02.011.
- BONCIM., DABORSO F., MEZZADRIM., TERI F., BANO L., DRIGO I., AGNOLETTI F., 2011. Annual monitoring of environmental and hygienic parameters in an intensive fattening rabbit farm. In *Proceedings of XV International Congress on Animal Hygiene, ISAH International Society of Animal Hygiene*, pp. 206-213.

CONFRONTO TRA DUE SISTEMI DI RAFFRESCAMENTO IN UNA STALLA PER BOVINE DA LATTE IN CLIMA MEDITERRANEO

A. D'Emilio¹, G. Licitra², R. Mazzarella¹, G. Cascone¹

¹ *Dipartimento di Gestione dei Sistemi Agroalimentari e Ambientali – Sezione Costruzioni e Territorio, Università di Catania*

² *Dipartimento di Scienze delle Produzioni Agrarie e Alimentari – Sezione Produzioni Animali, Università di Catania*

Riassunto. Le soluzioni adottate per ridurre lo stress da caldo degli animali allevati all'interno di stalle per bovine da latte possono essere classificate in sistemi passivi e impianti attivi.

Tra gli impianti attivi, i sistemi basati sulla ventilazione forzata accoppiata con asperzione d'acqua e/o bagnatura diretta degli animali si sono dimostrati efficaci in diverse condizioni climatiche.

Il presente lavoro riporta i risultati di una prova biennale condotta in una stalla per bovine da latte sita nel territorio di Acate (provincia di Ragusa) finalizzata a confrontare gli effetti sulle condizioni microclimatiche e sulla risposta fisiologica delle bovine determinati dall'esistente sistema di raffrescamento dell'aria, costituito da ventilatori assiali accoppiati a erogatori d'acqua installato al di sopra della zona di riposo a cuccette, con gli effetti ottenuti mediante un impianto per la bagnatura diretta degli animali accoppiato a ventilazione forzata appositamente progettato e installato lungo la corsia di alimentazione.

Nel corso della prova sono stati misurati i principali parametri climatici esterni e microclimatici interni all'ambiente di stabulazione. Inoltre sono stati calcolati gli indici THI e BGHI comunemente utilizzati per la valutazione dello stress da caldo delle bovine da latte. Infine, per ciascuna delle bovine considerate nella sperimentazione, sono stati misurati la temperatura rettale, gli atti respiratori e la quantità di latte prodotto.

I risultati mostrano che l'impianto per la bagnatura diretta degli animali, sebbene induca modesti cambiamenti delle condizioni microclimatiche all'interno della stalla, è più efficace dell'esistente impianto di raffrescamento.

In particolare, l'impianto per la bagnatura diretta degli animali ha determinato valori di temperatura al globotermometro nella corsia di alimentazione inferiori di quelli registrati nella zona di riposo a cuccette, consentendo condizioni microclimatiche più confortevoli vicino alla rastrelliera. Gli effetti positivi dell'impianto di bagnatura rispetto all'impianto preesistente sulla risposta fisiologica e produttiva degli animali sono mostrati dai più bassi valori medi della temperatura rettale e degli atti respiratori e dalla maggiore produzione di latte.

Parole chiave: Stalle per bovine da latte, stress da caldo, impianti di raffrescamento.

Summary. The solutions aiming to defend cows from heat stress inside dairy houses can be classified into passive systems and active plants.

Among the active plants, different systems based on ventilation coupled with sprinkling and/or direct wetting of animals were proved to be efficacy under various conditions in defending cows from heat inside dairy houses.

This work shows the results of a two years trial carried out in a commercial dairy house sited in Vittoria (Ragusa, Italy) to compare an existing cooling system made by sprinklers and box fans placed above the cubicle area with a sprinkler and radial fan system for animal wetting installed along the feeding alley. The results show the effects of the two different cooling systems on the microclimatic conditions inside the dairy house and on the physiological response of the cows. During the trial, the main climatic parameters were measured outside and inside the barn. Thermal Humidity Index (THI) and Black Globe Humidity Index (BGHI) were calculated. Rectal temperature, respiratory rate and milk yield were measured on two 30 lactating Holstein Friesian cows.

The results show that the sprinkler and radial-fan system for wetting cows, although it produced small changes in microclimatic conditions inside the barn, was more effective than the sprinkler and box-fan system.

Specifically, black-globe temperatures in feeding alley obtained by the sprinkler and radial-fan system were slight lower than in the cubicle area, allowing more comfortable conditions near the rack. The positive effect of this cooling system compared to the existing one on the physiological and productive response of cows was shown by the lower mean values of rectal temperature and respiration rate and by the higher milk yield.

Key words: Dairy house, heat stress, cooling systems

Introduzione

Le condizioni microclimatiche dell'ambiente di stabulazione rappresentano uno dei fattori che influenzano maggiormente il benessere delle bovine da latte e, di conseguenza, la quantità e qualità del latte prodotto.

Questo aspetto ha assunto negli ultimi anni un interesse crescente nelle aree a clima caldo poiché i miglioramenti genetici hanno spostato il limite superiore della zona di termoneutralità delle bovine verso valori di temperatura più bassi, aumentando così la sensibilità degli animali allo stress da caldo (Khongdee *et al.*, 2006; Kadzere *et al.*, 2002).

Numerosi studi hanno dimostrato l'efficacia nella difesa dal caldo di varie tipologie di impianti basati sulla ventilazione forzata accoppiata a pannelli evaporativi, spruzzatori, e/o bagnatura diretta degli animali, in diverse condizioni climatiche e di stabulazione.

Ryan *et al.* (1992) hanno riscontrato una maggiore efficacia del raffrescamento evaporativo rispetto ad un impianto di raffrescamento dell'aria, costituito da ventilatori accoppiati a erogatori d'acqua su vacche Holstein stabulate in clima caldo secco. L'utilizzo del raffrescamento evaporativo può consentire un miglioramento dei parametri fisiologici e un incremento delle prestazioni produttive e riproduttive anche in vacche stabulate in clima caldo-umido (Khongdee *et al.*, 2006).

Effetti fisiologici benefici su vacche Jersey, oltre che vantaggi economici per l'azienda, sono stati dimostrati in allevamenti sotto tettoie dotate di raffrescamento evaporativo (Keister *et al.*, 2002). Analogamente, Correa-Calderon *et al.* (2004) hanno verificato l'efficacia del raffresca-

mento evaporativo e di un impianto di raffrescamento dell'aria, costituito da ventilatori accoppiati a erogatori d'acqua nel migliorare il comfort termico durante la stagione estiva di vacche di razza Holstein e Brown Swiss stabulate in un'area caratterizzata da clima caldo-secco.

Anche l'installazione in sala di attesa di un impianto di raffrescamento dell'aria, costituito da ventilatori accoppiati a erogatori d'acqua si è dimostrato efficace nel ridurre lo stress da caldo di vacche Holstein in clima caldo-secco (Avendano-Reyes *et al.*, 2010).

Il presente lavoro mostra i risultati di una prova condotta nel corso di due anni in una stalla per bovine da latte al fine di confrontare gli effetti sulle condizioni microclimatiche e sulla risposta fisiologica delle bovine determinati da un impianto di raffrescamento dell'aria, costituito da ventilatori assiali accoppiati a erogatori d'acqua installato al di sopra della zona di riposo, con gli effetti ottenuti mediante un impianto per la bagnatura diretta degli animali accoppiato a ventilazione forzata, appositamente progettato e installato lungo la corsia di alimentazione.

Materiali e metodi

La prova è stata effettuata in una stalla per bovine da latte sita nel territorio del comune di Vittoria (RG), (37°01'N, 14°32'E), ad una altitudine di 234 m s.l.m. La stalla (fig. 1) era a stabulazione libera con una corsia di foraggiamento centrale che serviva da un lato una zona di riposo a box multipli con lettiera in paglia e dall'altro una zona di riposo a cuccette con lettiera in sabbia. La zona di riposo a cuccette, destinata ad ospitare le bovine in lattazione, è stata scelta per lo svolgimento della prova.

La struttura in elevazione dell'edificio era di tipo intelaiato, realizzata parte in calcestruzzo armato e parte in acciaio. La copertura, a doppia falda simmetrica con apertura di colmo centrale, era realizzata con struttura portante in travi reticolari in acciaio e manto in lastre ondulate di fibrocemento. L'altezza al colmo era pari a 7,0 m. La stalla era completamente priva di murature perimetrali ad eccezione del lato maggiore della zona di riposo a box multipli che era in aderenza ad un altro fabbricato aziendale.

La zona di riposo, comprendente 64 cuccette disposte su due file testa a testa, era suddivisa in tre zone indipendenti mediante recinzioni in tubolari di acciaio poste sulle corsie di servizio e di alimentazione in corrispondenza dei corridoi di collegamento.

La prova è stata svolta in due zone adiacenti comprendenti ciascuna un gruppo di cuccette e le relative corsie di alimentazione e di servizio: una di dimensioni 19,90 m × 10,25 m comprendente 24 cuccette, l'altra di dimensioni 15,10 m × 10,25 m comprendente 16 cuccette. Le due zone erano caratterizzate da una differente tipologia di pavimentazione

delle corsie. Gli effetti della diversa tipologia di pavimentazione corsie non sono riportati nel presente lavoro. In ciascuna zona sono stati rilevati i principali parametri fisiologici di 15 vacche Frisone in lattazione con le seguenti caratteristiche produttive medie: 33 l/g di latte con contenuto di grasso 3,5%, proteine 3,3%, SCC 280.000 e urea 27 mg/dl; 166 giorni di lattazione.

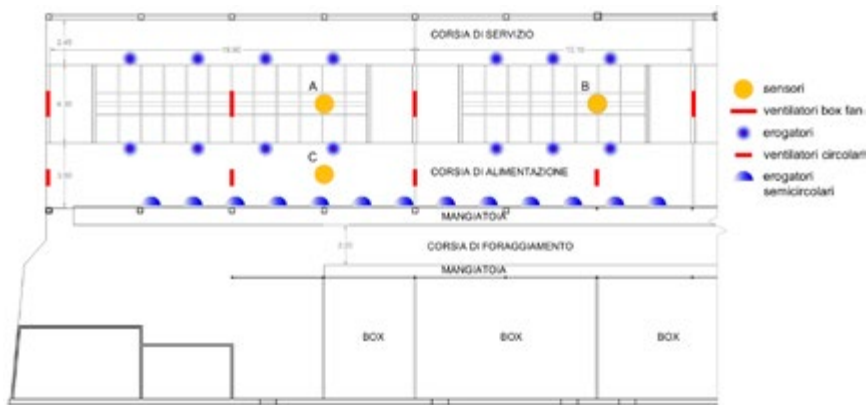


Fig. 1. Planimetria della stalla dove è stata svolta la prova con la posizione degli erogatori, dei ventilatori e dei sensori.

La prova è stata articolata in due anni (2009 e 2010) al fine di confrontare gli effetti dell'esistente impianto di raffrescamento dell'aria composto da erogatori d'acqua e ventilatori posizionati in corrispondenza della zona di riposo, con gli effetti di un impianto per la bagnatura diretta degli animali accoppiato a ventilazione forzata, appositamente progettato ed installato in corrispondenza della corsia di alimentazione.

L'impianto utilizzato durante il primo anno della prova (fig.1) era composto da 14 erogatori disposti su due file ad un interasse di circa 3 m. Entrambe le file di erogatori erano posizionate a circa 30 cm di distanza dalla soglia delle cuccette, una all'interno della corsia di servizio e l'altra all'interno della corsia di alimentazione, ad un'altezza di 2,9 m dal pavimento. La pressione di esercizio era pari a 2 bar e la portata era di 1,01 l/min. L'impianto era completato da 4 ventilatori assiali tipo "box fan" di lato 1400 mm, posizionati sopra le cuccette ad un interasse di 10 m, con l'asse di rotazione posto a 2,75 m dal pavimento delle cuccette e parallelo all'asse longitudinale della stalla. La portata di ciascun ventilatore era pari a 34600 m³/h.

Per la svolgimento della prova nel secondo anno si è proceduto alla progettazione di un impianto di bagnatura diretta degli animali che è sta-

to successivamente installato lungo la corsia di alimentazione. Il sistema di bagnatura era composto da 14 erogatori semicircolari, orientati verso l'interno della corsia e posizionati sulla rastrelliera ad un'altezza di 2,0 dal pavimento e ad un'interasse di 2,3 m. La pressione di esercizio era pari a 2 bar e la portata era di 2,57 l/m. L'impianto era completato da 4 ventilatori circolari di diametro 900 mm, posizionati sopra la corsia di alimentazione ad un'interasse di 10 m, con l'asse di rotazione posto a 2,7 m dal pavimento e parallelo all'asse longitudinale della corsia. La portata di ciascun ventilatore era pari a 22250 m³/h. Erogatori e ventilatori erano gestiti separatamente da una centralina di controllo a due vie. In particolare, sono state adottate le impostazioni di seguito riportate. Se la temperatura dell'aria all'interno della stalla era minore di 22°C, i ventilatori si accendevano per 5 minuti ogni 45 minuti, al solo fine di favorire il ricambio dell'aria. Se la temperatura dell'aria superava 22°C, i ventilatori rimanevano accesi continuamente. Gli erogatori si attivavano quando la temperatura dell'aria raggiungeva 26°C. La durata della bagnatura e l'intervallo tra una bagnatura e la successiva variavano con legge lineare in funzione della temperatura dell'aria. Durante la bagnatura i ventilatori venivano spenti automaticamente per evitare una eccessiva dispersione d'acqua lontano dalla corsia di alimentazione. Inoltre, l'intero impianto veniva spento manualmente durante la mungitura. L'impianto di raffreddamento dell'aria utilizzato nel corso del primo anno di prova è stato disattivato per l'intera durata della prova svolta nel secondo anno.

Nel corso della prova, sono stati acquisiti i dati delle principali variabili climatiche esterne e microclimatiche all'interno della stalla. In particolare, all'esterno dell'edificio, in corrispondenza della linea di colmo della copertura, sono stati misurati la temperatura e l'umidità relativa dell'aria, la velocità e la direzione del vento, il flusso della radiazione solare globale. All'interno dell'edificio, sono state misurate in due diverse posizioni la temperatura e l'umidità relativa dell'aria, la temperatura al globotermometro, la velocità e la direzione dell'aria. In dettaglio, nel corso della prova svolta durante il primo anno, sono stati posizionati due gruppi di sensori in punti differenti della zona di riposo a cuccette al fine di verificare l'uniformità delle condizioni microclimatiche. La localizzazione in pianta dei sensori è indicata in fig.1 con le lettere A e B. Nel corso della prova svolta durante il secondo anno, il gruppo di sensori identificato con la lettera A è stato lasciato nella stessa posizione, al fine di confrontare le condizioni microclimatiche dei due anni, mentre l'altro gruppo di sensori è stato spostato nella corsia di alimentazione (fig.1, lettera C), al fine di valutare gli effetti dell'impianto di bagnatura sul microclima. I sensori posti all'interno della stalla sono stati posizionati ad una altezza di 2,0 m dal pavimento. Tutti gli strumenti sono stati collegati a un data-logger per l'acquisizione dei dati ogni 10 secondi e la registrazione dei corrispondenti valori medi ogni 30 minuti.

I valori dei parametri microclimatici misurati hanno permesso il calcolo degli indici Thermal Humidity Index (THI) (Yousef, 1985) e Black Globe Humidity Index (BGHI) (Buffington, 1981), che sono comunemente utilizzati per valutare le condizioni di stress da caldo delle bovine, attraverso le seguenti relazioni:

$$\text{THI} = T_a + 0,36 T_{dp} + 41,2 \quad (1)$$

$$\text{BGHI} = T_g + 0,36 T_{dp} + 41,2 \quad (2)$$

dove T_a [°C] è la temperatura a bulbo asciutto, T_{dp} [°C] è la temperatura di rugiada e T_g [°C] è la temperatura al globotermometro.

Al fine di verificare l'effetto degli impianti di raffrescamento sui parametri fisiologici relativi alla condizione di stress da caldo degli animali sono state misurate la temperatura rettale, tramite termometro digitale, e la frequenza respiratoria, tramite stetoscopio. Le misure sono state eseguite sugli animali ogni due settimane dal mese di giugno al mese di settembre di ciascun anno di prova. Inoltre, è stata misurata la produzione giornaliera di latte.

Risultati e discussione

La prima fase dell'analisi dei risultati ha riguardato il confronto tra i dati climatici dei due anni di prova. L'analisi dei dati compresi tra il 15 giugno e il 21 settembre di ogni anno ha mostrato che le condizioni climatiche sono state molto simili (tab. 1).

In particolare, Il valore medio della temperatura dell'aria durante la prova del 2009 è risultato superiore di 0,7°C rispetto alla prova del 2010,

Tab. 1. Valori statistici dei parametri climatici registrati dal 15 giugno al 21 settembre di ciascuno dei due anni di prova.

	Anno	$M_{\min}^{(1)}$	Media	$M_{\max}^{(2)}$
T [°C]	2009	18,9	25,0	31,1
	2010	18,0	24,3	30,1
RH [%]	2009	32,3	56,7	78,8
	2010	33,8	57,9	80,2
Rad [Wm^{-2}]	2009	0	311,8	980,5
	2010	0	303,2	929,9

(1) Media dei valori minimi

(2) Media dei valori massimi

mentre il valore medio dell'umidità relativa dell'aria nel 2009 è risultato inferiore dell'1,2% rispetto al 2010. Infine, anche il flusso della radiazione solare globale nei due anni è stato molto simile, con una differenza nei valori medi di soli $8,6 \text{ Wm}^{-2}$.

La verifica della similitudine delle condizioni climatiche nei due anni ha consentito di poter paragonare le condizioni microclimatiche all'interno della stalla al variare dell'impianto di raffrescamento.

La figura 2 riporta i valori medi orari della temperatura e dell'umidità relativa dell'aria e della temperatura al globotermometro all'interno della stalla, nel periodo compreso tra il 15 giugno e il 21 settembre di ciascun anno di prova.

Nel corso del primo anno, all'interno della stalla si sono verificate condizioni microclimatiche uniformi. In particolare, con riferimento ai valori medi orari, la differenza tra i valori di temperatura dell'aria misurati dai sensori nelle posizioni A e B sono risultate comprese tra $0,1$ e $0,6^\circ\text{C}$, mentre la differenza tra i valori di umidità relativa dell'aria misurata in A e in B è risultata compresa tra $-3,7\%$ e $-5,8\%$. La differenza tra i valori della temperatura al globotermometro misurati in A e in B è risultata compresa tra $0,2^\circ\text{C}$ e $1,0^\circ\text{C}$, ad eccezione del valore registrato alle 6.00, pari a $1,4^\circ\text{C}$, conseguente al fatto che a quell'ora il sensore in A veniva colpito dalla radiazione solare diretta.

Nel corso del secondo anno l'impianto di bagnatura diretta degli animali ha determinato lievi modifiche delle condizioni microclimatiche. Con riferimento ai valori medi orari, la figura 2 mostra che durante le ore notturne, la temperatura dell'aria nella corsia di alimentazione (C) si manteneva quasi costantemente inferiore alla temperatura di attivazione degli erogatori (26°C) e, pertanto, era pressoché coincidente con la temperatura dell'aria nella zona a cuccette (A). Quando l'impianto si attivava, la corsia di alimentazione presentava una temperatura dell'aria leggermente inferiore rispetto alla zona a cuccette, con una differenza massima di $0,8^\circ\text{C}$. Più evidente è risultata la differenza tra le temperature al globotermometro che, nelle ore centrali della giornata, ha raggiunto $1,7^\circ\text{C}$. Poiché la temperatura al globotermometro considera gli effetti degli scambi termici convettivi e radiativi, questo risultato evidenzia le conseguenze positive ottenute grazie all'effetto combinato della ventilazione forzata e della riduzione di temperatura delle superfici direttamente irrorate dall'impianto (pavimento, bovine, etc.). Il sistema di erogatori, inoltre, ha avuto un effetto limitato sull'umidità relativa dell'aria. Infatti i valori registrati nella corsia di alimentazione sono stati lievemente più elevati ($5,1\%$ in media) di quelli rilevati nella zona a cuccette. La differenza si è mantenuta pressoché costante per tutte le ore della giornata ed è in parte attribuibile alla frazione liquida delle deiezioni.

I risultati del calcolo degli indici THI e BGHI sono mostrati nella tab.2 che riporta il numero di ore durante le quali sono stati superati i valori di

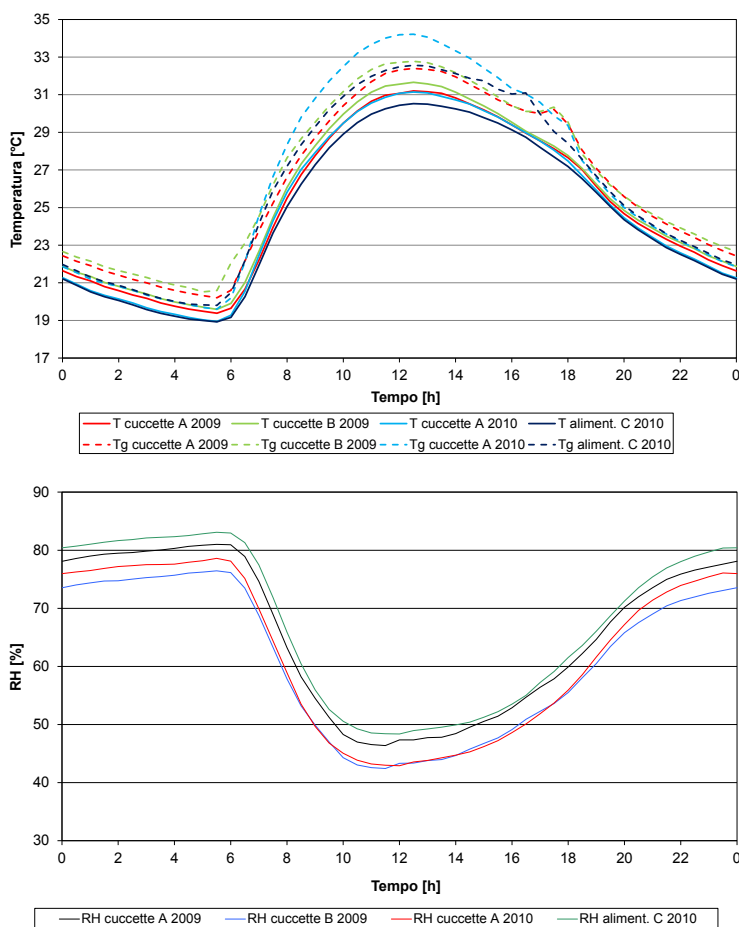


Fig. 2. Valori medi orari della temperatura e dell'umidità relativa dell'aria e della temperatura al globotermometro all'interno della stalla (15 giugno - 21 settembre 2009 e 2010).

soglia che definiscono differenti livelli di stress termico (Armstrong, 1994): stress leggero (72÷78), stress moderato (79÷88), stress severo (89÷98).

La tabella 2 mostra che, in entrambi gli anni di prova, l'indice THI ha raggiunto valori corrispondenti a condizioni di stress leggero per un numero di ore di poco superiore al 50% delle ore totali. Se si considera l'indice BGHI, tale percentuale sale a circa il 60%. Inoltre, l'indice THI ha raggiunto valori corrispondenti a condizioni di stress moderato per un numero di ore pari a circa il 20% delle ore totali nel 2009 e a circa il 17% nel 2010. Se si considera l'indice BGHI, nel 2009 la percentuale sale a circa il 25% in entrambe le posizioni (A e B) della zona a cuccette,

mentre nel 2010 si può notare una leggera differenza tra la zona a cuccette (A) e la corsia di alimentazione (C), poiché le rispettive percentuali sono pari al 28% e al 25%. In entrambi gli anni di prova l'indice THI non ha mai raggiunto valori corrispondenti a condizioni di stress severo, mentre l'indice BGHI ha raggiunto tali valori per un numero molto modesto di ore.

Tab. 2. Numero di ore sul totale di 2376 durante le quali gli indici di stress termico hanno superato i valori di soglia che definiscono differenti livelli di stress.

	2009				2010			
	THI cucchet- te A	THI cucchet- te B	BGHI cucchet- te A	BGHI cucchet- te B	THI cucchet- te A	THI aliment. C	BGHI cucchet- te A	BGHI aliment. C
>72	1277	1270	1443	1445	1208	1194	1362	1397
>78	487	474	616	597	397	394	665	598
>88	0	0	2	3	0	0	1	1

L'effetto positivo dell'impianto di bagnatura diretta degli animali installato lungo la corsia di alimentazione è confermato dall'analisi dei parametri fisiologici e produttivi. In particolare, i risultati hanno mostrato un effetto statisticamente significativo del sistema di raffrescamento (impianto di raffrescamento dell'aria vs. impianto di bagnatura) sulla temperatura rettale (39,3 vs 39,1°C) e sugli atti respiratori (66,2 vs 59,3 atti/min). Tali differenze hanno influenzato anche la produzione di latte che è risultata maggiore nel secondo anno di prova (30,10 vs. 31,18 kg/g).

Conclusioni

Il presente lavoro mostra i risultati del confronto tra due differenti sistemi di raffrescamento installati in una stalla per bovine da latte a cuccette sita in Sicilia.

Il confronto è stato effettuato attraverso una prova articolata in due anni. Durante il primo anno è stato utilizzato un impianto di raffrescamento dell'aria composto da erogatori d'acqua e ventilatori posizionati in corrispondenza della zona a cuccette, mentre nel secondo anno è stato utilizzato un impianto per la bagnatura diretta degli animali accoppiato a ventilazione forzata, appositamente progettato ed installato in corrispondenza della corsia di alimentazione.

I risultati hanno evidenziato che l'impianto per la bagnatura diretta degli animali, sebbene produca lievi cambiamenti nelle condizioni mi-

croclimatiche all'interno della stalla, si è dimostrato più efficace dell'impianto di raffrescamento dell'aria.

In particolare, l'impianto di bagnatura ha indotto temperature al globotermometro nella corsia di alimentazione più basse rispetto a quelle registrate nella zona a cuccette e, pertanto, condizioni più confortevoli vicino alla rastrelliera. Gli effetti positivi di questa tipologia di impianto sono stati confermati anche dai valori dei parametri fisiologici e produttivi, che hanno fatto registrare valori di temperatura rettale e atti respiratori inferiori e una produzione di latte maggiore rispetto a quanto ottenuto con l'utilizzo dell'impianto di raffrescamento dell'aria.

Ulteriori valutazioni dovranno riguardare gli effetti prodotti dalla adozione di diverse impostazioni per il sistema di bagnatura e l'influenza di una maggiore presenza di acqua in corsia di alimentazione sulle malattie podaliche delle bovine.

Ringraziamenti

Si ringrazia l'azienda agricola ALPA S.S. per l'aver messo a disposizione le strutture aziendali per lo svolgimento delle prove.

Bibliografia

- Armstrong D.V. (1994). Heat stress interactions with shade and cooling. *J. Dairy Sci.*, 77, 2044-2050.
- Armstrong D.V., Hillman P.E., Meyer M.J., Smith J.F., Stokes S.R., Harner III J.P. (1999). Heat stress management in freestall barns in the western U.S. In *Proc. of the 1999 Western Dairy Management Conference*, 87-95.
- Avendaño-Reyesnext, L., Álvarez-Valenzuela, F.D., Correa-Calderón, A., Algáandar-Sandoval, A., Rodríguez-González, A., Pérez-Velázquez, R., Macías-Cruz, U., Díaz-Molina, R., Robinson, P.H. and Fadel, J.G. (2010). Comparison of three cooling management systems to reduce heat stress in lactating Holstein cows during hot and dry ambient conditions. *Livest. Sci.*, 132(1-3), 48-52.
- Buffington D.E., Collazo-Arocho A., Canton G. H., Pitt D., Thatcher W. W., Collier R.J. (1981). Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. *Trans. ASAE*, 24, 711-714.
- Correa-Calderon A., Armstrong D., Ray D., DeNise S., Enns M., and Howison C. (2004). Thermoregulatory responses of Holstein and Brown Swiss heat stressed dairy cows to two different cooling systems. *Int. J. Biometeorol.*, 48, 142-148.
- Igono M.O., Bjotvedt G., Sanford-Crane, H.T. (1992). Environmental profile and critical temperature effects on milk production of Holstein cows in desert climate. *Int. J. Biometeorol.*, 36, 77-87.

- Kadzere C.T., Murphy M.R., Silanikove N., Maltz E. (2002). Heat stress in lactating dairy cows: a review. *Livest. Prod. Sci.*, 77, 59-91.
- Keister Z. O., Moss K. D., Zhang H.M., Teegerstrom T., Edling R. A., Collier R. J., Ax L. R. (2002). Physiological Responses in Thermal Stressed Jersey Cows subjected to different management strategies. *J. Dairy Sci.*, 85, 3217-3224.
- Khongdee S., Chaiyabutr N., Hinch. G., Markvichitr K., Vajrabukka C. (2006). Effects of evaporative cooling on reproductive performance and milk production of dairy cows in hot wet conditions. *Int. J. Biometeorol.*, 50, 253-257.
- Ryan D. P., Boland M. P., Kopel E., Armstrong D., Munyakazi L., Godke R. A., Ingraham R. H. (1992). Evaluating two different evaporative cooling management systems for dairy cows in a hot, dry climate. *J. Dairy Sci.*, 5, 1052-1059.
- West W.J. (2003). Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 86, 2131-2144.
- Yousef M. K. (1985). *Stress Physiology in Livestock*. Boca Raton: CRC Press.

PROSPETTIVE DI UTILIZZO DELL'ANALISI SPAZIALE E DEL TRATTAMENTO TERMICO PER IL CONTROLLO DEGLI INSETTI INFESTANTI NELL'INDUSTRIA MOLITORIA

C. Arcidiacono, A. D'Emilio, S.M.C. Porto, G. Cascone

Università degli Studi di Catania, Dipartimento di gestione dei sistemi agroalimentari e ambientali, Sezione Costruzioni e Territorio

Riassunto. La lotta agli insetti infestanti nell'industria molitoria rappresenta un'attività di cruciale importanza poiché essi possono causare contaminazioni in grado di determinare la non conformità delle produzioni rispetto alle norme sanitarie vigenti, con conseguenti rischi per la salute dei consumatori e perdite economiche. In generale, negli edifici per la lavorazione dei prodotti cerealicoli vengono utilizzate trappole per monitorare il livello e la localizzazione dell'infestazione e sistemi basati sull'applicazione periodica di fumiganti per la disinfestazione. Recentemente, al fine di ridurre l'utilizzo di prodotti chimici, sono stati sviluppati metodi di disinfestazione innovativi, come il trattamento termico che consiste nell'innalzamento della temperatura dell'aria all'interno dei locali di lavorazione sino a valori adeguati a determinare una consistente riduzione dell'infestazione presente.

Analogamente, l'esigenza di disporre di procedure di monitoraggio globale per la stima della distribuzione spaziale degli insetti infestanti ha favorito l'uso di tecniche di geostatistica applicate su scala locale. Sebbene sia accertato che la presenza e la distribuzione degli insetti dipende da condizioni ambientali favorevoli, tuttavia in letteratura i dati derivanti dalla conta delle trappole non sono stati analizzati in relazione alle variabili microclimatiche.

Nel presente studio, a seguito dell'esame delle caratteristiche tipologiche dei fabbricati dell'industria molitoria, sono stati considerati i metodi di analisi spaziale generalmente utilizzati, ed è stata analizzata la procedura impiegata per l'esecuzione del trattamento termico. Sulla base dei suddetti approfondimenti, è stata definita una procedura volta all'applicazione delle tecniche di analisi spaziale per la verifica dell'efficacia dei trattamenti termici negli edifici dell'industria molitoria.

Parole chiave: Edifici agroindustriali, geostatistica su scala locale, disinfestazione

Summary. Pest management in flour milling industry represents a crucial activity since insect pests are able to cause food contamination which may determine non conformity of production to the norms, with consequences on human health and economic losses. Usually traps are used to monitor the level and localization of insect infestation and systems based on periodic applications of fumigants to carry out disinfestations. Recently, to reduce the use of chemicals innovative disinfestation methods have been developed, such as the 'thermal treatment' of production environments which involves the increase of indoor air temperature up to threshold values suitable to cause a significant reduction of the actual infestation.

The need to provide for global monitoring techniques of pests' spatial distribution has enhanced the application of geostatistical techniques at the local scale. Though it has been proved that the presence and distribution of insect pests depend on favourable environmental conditions, at present in literature data obtained

from trap counts have not been analyzed in relation to microclimatic variables. In this study the characteristics of the agro-industrial buildings considered, the most used methods of spatial analysis, and the procedure used to carry out the 'thermal treatment' were analyzed. On this basis a protocol aimed at the application of spatial analysis to assess the effectiveness of the 'thermal treatment' in agro-industrial buildings was defined.

Key words: Agro-industrial buildings, geostatistical techniques, disinfestation

Introduzione

Uno dei maggiori problemi che si riscontrano nelle industrie molitorie, e più in generale negli stabilimenti per la lavorazione e conservazione dei prodotti alimentari, riguarda il controllo degli insetti infestanti. Questi trovano un ambiente favorevole all'interno degli edifici agroindustriali dove possono svilupparsi causando contaminazioni in grado di determinare anche la non conformità della produzione rispetto alle norme sanitarie e ai regolamenti comunitari vigenti. Attualmente i metodi maggiormente utilizzati per il controllo degli insetti infestanti si basano principalmente sull'applicazione di prodotti chimici con conseguenti rischi per la salute umana che riguardano sia i lavoratori che sono sottoposti a rischio chimico sia la contaminazione dei prodotti dovuta alla presenza di residui tossici. Inoltre, il rischio di sviluppo di resistenza degli insetti infestanti alle sostanze chimiche più frequentemente utilizzate e, più in generale, al rispetto dell'ambiente, inducono alla riduzione dell'uso di prodotti chimici. La ricerca di metodi alternativi all'impiego di sostanze chimiche ha registrato un ulteriore sviluppo allorché il bromuro di metile, il fumigante più utilizzato per la disinfestazione degli ambienti di lavorazione, è stato messo al bando in Europa e dovrà essere progressivamente abbandonato a livello internazionale (Methyl Bromide Technical Options Committee, 2010). Tra i metodi alternativi che si sono sviluppati recentemente, di particolare interesse è il trattamento termico. Esso consiste nel riscaldare artificialmente l'aria all'interno degli edifici agroindustriali con l'obiettivo di stabilire condizioni microclimatiche letali per gli insetti infestanti. Il trattamento termico, sebbene stia trovando una diffusione sempre maggiore, necessita ancora di verifiche sperimentali da condursi nei vari ambienti di produzione dei diversi edifici agroindustriali per orientare le specifiche scelte tecniche al fine di conseguire un'ottimizzazione della tecnica sia in termini di efficacia sia dal punto di vista del consumo energetico.

L'uso appropriato di metodi per il controllo degli insetti infestanti richiede procedure di monitoraggio globale per stimare il grado e la localizzazione dell'infestazione. Negli ultimi anni, un'attenzione sempre crescente è stata riservata all'analisi spaziale della distribuzione degli insetti, mediante tecniche di geostatistica applicate agli studi entomologici.

L'applicazione di tali tecniche permette di ottenere una rappresentazione a curve di livello del grado di infestazione estesa a tutto l'edificio a partire dai valori puntuali misurati mediante trappole. L'attendibilità della rappresentazione dipende dal numero e dalla distribuzione delle trappole e dal metodo di interpolazione utilizzato. I vantaggi di tali analisi consistono nella possibilità di verificare l'efficacia degli interventi di controllo degli infestanti, stabilirne l'intervallo di applicazione, eliminare i trattamenti preventivi di routine, ridurre l'area da trattare e conseguire una maggiore facilità di applicazione di metodi non chimici.

Il presente studio mira ad analizzare l'applicabilità delle tecniche di analisi spaziale per la verifica dell'efficacia dei trattamenti termici in edifici dell'industria molitoria. A tal fine, dopo avere esaminato le caratteristiche tipologiche principali di tali fabbricati in relazione alla applicabilità della tecnica del trattamento termico, sono stati considerati i metodi di analisi spaziale generalmente utilizzati, ed è stata analizzata la procedura utilizzata per l'esecuzione del trattamento termico. Sulla base di tali approfondimenti, è stata definita una procedura volta all'applicazione delle tecniche di analisi spaziale per la verifica dell'efficacia dei trattamenti termici in edifici dell'industria molitoria.

Gli edifici agroindustriali considerati

Le costruzioni per le industrie molitorie considerate nel presente studio (molini, panifici, pastifici) presentano caratteristiche geometriche e distributivo-funzionali specifiche che differiscono da quelle di altri edifici agroindustriali. Gli stabilimenti per la lavorazione e trasformazione di cereali in sfarinati e sottoprodotti, composti dall'impianto di macinazione e da strutture complementari quali sili, magazzini e locali di servizio, presentano grandi volumetrie su più elevazioni comunicanti tra loro e macchinari collegati reciprocamente da condotte verticali che trasportano i semilavorati dai piani inferiori a quelli superiori e viceversa seguendo il processo produttivo. Gli ambienti, pertanto, non sono separati tra loro con conseguenti possibilità di migrazione degli insetti infestanti. I panifici e i pastifici possono essere integrati nel complesso del molino e sono generalmente costituiti da grandi locali in comunicazione con ambienti sia interni che esterni al fabbricato. A tal proposito grande importanza riveste il livello di ermeticità della costruzione dipendente dal tipo di aperture verso l'esterno (porte dotate di intercapedini, finestre dotate di guarnizioni, etc.) e dalla presenza di aperture prive di infissi verso altri ambienti all'interno della stessa costruzione. Negli edifici il controllo degli infestanti è generalmente condotto effettuando 1-2 trattamenti di fumigazione all'anno e alcuni trattamenti di routine mediante insetticidi per contatto, specialmente durante l'estate (Trematerra e Gentile, 2006).

I metodi di analisi spaziale

L'analisi spaziale permette di studiare l'andamento del valore di una variabile su una superficie piana. E' necessario, anzitutto, individuare sulla superficie da esaminare un numero finito di punti, sufficientemente rappresentativi, di coordinate note (x,y) rispetto ad un sistema di riferimento fissato. Per ogni punto deve quindi essere noto il valore (z) della variabile da analizzare. Quest'ultima può consistere in valori numerici misurati direttamente (numero di insetti catturati, temperatura, umidità, etc.) o valori numerici derivati (differenze, rapporti, probabilità, etc.). A partire dai punti noti di coordinate (x,y,z) così determinate, tramite l'utilizzo di modelli di interpolazione è possibile stimare il valore della variabile nei punti non campionati, creando una superficie continua che rappresenta la distribuzione della variabile sull'intera regione di piano da esaminare. La superficie può essere rappresentata nel piano mediante una mappa a curve di livello (isolinee) che rappresentano l'insieme dei punti aventi stesso valore della variabile e che vengono disegnate a intervalli regolari della variabile. Per interpolare i valori della variabile esistono diversi algoritmi che possono essere classificati in base alle differenti caratteristiche. Una prima distinzione può essere fatta tra algoritmi deterministici, in cui l'interpolazione viene effettuata mediante una legge esplicita i cui parametri hanno significato fisico, e algoritmi stocastici, in cui l'interpolazione si basa su un legame di tipo statistico (covarianza) tra i punti che può non avere significato fisico. Si distinguono, inoltre, metodi globali, che per il calcolo di ciascun punto della superficie utilizzano l'intero insieme di punti misurati, e metodi locali che utilizzano solo i dati dei punti più vicini. Infine, è possibile distinguere i metodi di interpolazione esatta, che generano una superficie passante per i punti noti, dai metodi di approssimazione che minimizzano le differenze tra valori interpolati e valori misurati secondo un criterio prefissato generando una superficie che generalmente non passa per i punti noti.

Tra gli algoritmi deterministici, uno dei più diffusi, basato sulla distanza tra punto incognito e punti noti, è il *radial basis functions*. Il metodo prevede l'utilizzo della funzione interpolante seguente:

$$f(x,y) = p(x,y) + \sum_{i=1}^n w_i \phi(d_i) \quad (1)$$

in cui:

$f(x,y)$ è il valore calcolato della variabile z nel punto di coordinate (x,y) ;
 $p(x,y)$ è un polinomio a scelta i cui coefficienti sono calcolati mediante una regressione polinomiale. In alternativa si può scegliere di non utilizzare alcun polinomio;

w_i è il peso incognito da attribuire al punto noto i ;
 d_i è la distanza tra il punto di coordinate (x, y) e quello di coordinate (x_i, y_i) ;
 $\phi_i(d_i)$ è la *radial basis function*, anch'essa da scegliere tra quelle più comunemente utilizzate (Buhmann, 2003). Dopo avere calcolato il polinomio $p(x, y)$ e scelto la funzione $\phi(d)$ sarà sufficiente sostituire le coordinate (x_i, y_i, z_i) dei punti noti nella (1) per ottenere il seguente sistema di n equazioni nelle n incognite w_i :

$$z_i - p(x_i, y_i) = \sum_{i=1}^n w_i \phi(d_i) \quad i = 1, \dots, n \tag{2}$$

Il metodo *radial basis functions* ha il pregio di restituire una interpolazione esatta e di poter essere implementato facilmente. Tuttavia, esso è indicato per problemi di entità contenuta, poiché per elevati valori di n aumenta notevolmente il tempo computazionale e la possibilità di errori di arrotondamento.

Tra gli algoritmi stocastici, il più utilizzato è il *kriging*. Il principio alla base del metodo prevede la definizione di una variabile aleatoria $Z = Z(\omega, s)$ che associa un valore reale ad ogni coppia (ω, s) , dove ω è un esito in uno spazio di probabilità e $s \in R^d$. Nel caso in esame $d=2$ poiché s rappresenta una coppia di valori planimetrici (x, y) . Si definisce semi-variogramma della variabile aleatoria la metà della varianza dell'incremento della variabile:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} Var([Z(s+h) - Z(s)]) = \frac{1}{2} \left\{ E([Z(s+h) - Z(s)]^2) - \left[E([Z(s+h) - Z(s)]) \right]^2 \right\} \tag{3}$$

avendo indicato con $E(Z)$ il valore atteso. Il variogramma consente di individuare la distanza entro la quale i valori osservati presentano autocorrelazione ovvero il grado di dipendenza reciproco. Se si assume che il valore atteso di Z sia invariante per traslazione, ovvero che il sottraendo nella (3) sia nullo, tale relazione diviene:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} \left(E([Z(s+h) - Z(s)]^2) \right) \tag{4}$$

Se si definisce $N(h)$ l'insieme delle coppie di punti posti a distanza $(h \pm dh)$:

$$N(h) = \left\{ i, j : \left| (X_i, Y_i) - (X_j, Y_j) \right| \in [h - \delta h, h + \delta h] \right\} \quad (5)$$

e $C(N(h))$ il numero di punti così individuati, il semivariogramma può essere calcolato con:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} \left(\sum_{N(h)} (Z_i - Z_j)^2 / C(N(h)) \right) \quad (6)$$

in cui il valore stimato Z della funzione $f(x, y)$ in un punto di coordinate (X, Y) è dato da:

$$Z = \sum z_i w_i \quad (7)$$

Inoltre, si assume che la somma dei pesi w_i sia pari a 1 e che la distorsione sia nulla, cioè che il valore atteso dell'errore di previsione (differenza tra valore della funzione e valore stimato) sia pari a zero. Il calcolo dei pesi avviene imponendo che la varianza dell'errore di previsione sia minima. Si può dimostrare che ciò equivale a rendere minima l'espressione:

$$F(w_1, w_2, \dots, w_n) = 2 \sum_{j=1}^n \frac{1}{2} E \left(\left[f(x, y) - Z_j \right]^2 \right) - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i w_j \frac{1}{2} E \left(\left[Z_i - Z_j \right]^2 \right) \quad (8)$$

La condizione di minimo sarà soddisfatta annullando le derivate parziali rispetto ai pesi ed ottenendo quindi un sistema di n equazioni lineari del tipo:

$$\frac{1}{2} \left(E \left(\left[Z_k - Z_i \right]^2 \right) \right) w_i = \frac{1}{2} \left(E \left(\left[f(x, y) - Z_i \right]^2 \right) \right) \quad k = 1, \dots, n \quad (9)$$

che ricordando la (4) potrà essere scritto utilizzando i semivariogrammi:

$$\gamma \left(\left| (X_k, Y_k) - (X_i, Y_i) \right| \right) w_i = \gamma \left(\left| (x, y) - (X_i, Y_i) \right| \right) \quad k = 1, \dots, n \quad (10)$$

e risolto nelle n incognite w_i . Anche il *kriging* richiede un tempo computazionale elevato, ma ha il pregio di restituire la migliore interpolazione possibile dal punto di vista statistico.

Impiego del trattamento termico per il controllo degli insetti negli stabilimenti agroindustriali

Il trattamento termico è un metodo innovativo per il controllo degli insetti infestanti negli stabilimenti agroindustriali che consiste nell'innalzamento della temperatura dell'aria all'interno dei locali di lavorazione sino a valori adeguati a determinare una consistente riduzione dell'infezione presente. Le temperature ottimali per l'efficacia del trattamento sono comprese tra 47 e 55 °C e devono essere mantenute per 36–48 ore. Tali valori di temperatura permettono di eliminare tutti gli stadi vitali degli insetti infestanti sia per disidratazione che per alterazioni irreversibili a livello lipidico e proteico. I sistemi più diffusamente utilizzati per il trattamento termico negli stabilimenti per la lavorazione e trasformazione di cereali in sfarinati e sottoprodotti, prevedono la produzione di calore da termoconvettori alimentati ad energia elettrica. Questi vengono distribuiti in numero adeguato nei diversi ambienti per ottenere un omogeneo e graduale innalzamento delle temperature all'interno del volume dell'edificio. Solitamente ai termoconvettori sono integrati ventilatori al fine di assicurare un maggiore movimento dell'aria calda in tutte le zone della struttura. Inoltre, essi sono generalmente dotati di tubi verticali che vengono utilizzati per riequilibrare le temperature nelle zone alte dell'ambiente trattato ove l'aria calda tende a migrare. I principali vantaggi di tali sistemi rispetto ai pesticidi chimici riguardano la tutela della salute, non essendo previsto l'utilizzo di formulati o di sostanze tossiche; la possibilità di riutilizzo immediato dei locali trattati senza sospensioni prolungate delle attività produttive; la possibilità di modificare la distribuzione spaziale dei termoconvettori realizzando un'ottima adattabilità della tecnica ad ambienti che presentano caratteristiche spaziali molto differenti tra loro. Altri vantaggi riguardano l'assenza di emissioni di fumi e di rumori all'esterno dell'edificio. Tali sistemi, tuttavia, presentano alcuni limiti, concernenti l'effettiva omogeneità nella distribuzione delle temperature all'interno dell'ambiente che influisce sull'efficacia del trattamento, gli eventuali danni che valori troppo elevati di temperatura potrebbero causare ai macchinari e l'elevato consumo energetico che rappresenta un impatto ambientale indiretto. Pertanto, sono richiesti ulteriori approfondimenti e verifiche sperimentali che consentano l'ottimizzazione della tecnica.

Stato dell'arte dell'applicazione dell'analisi spaziale per il controllo degli infestanti nell'industria molitoria

In un lavoro sperimentale condotto in un silo per cereali (Arbogast e Mankin, 1999) in cui il prodotto infestato da *Psocoptera* è stato sottoposto a fumigazione, l'analisi spaziale è stata applicata per indicare le zone all'interno del silo dove effettuare i trattamenti puntuali successivi alla fumigazione. Poiché i cereali vengono fumigati immediatamente dopo la conservazione e nuovamente allorché si manifestano nuove infestazioni, il lavoro si poneva l'obiettivo di documentare il risultato del primo intervento di controllo degli infestanti e di indicare l'estensione e la localizzazione del fallimento dell'intervento. In tale lavoro è stato utilizzato il metodo di interpolazione *radial basis function*. In particolare, l'analisi spaziale è stata applicata alla sezione appena sottostante la superficie dell'avena conservata in un silo metallico, verificando il livello di infestazione prima della fumigazione e dopo due settimane dall'intervento. Le curve ottenute per differenza tra queste due condizioni hanno consentito di differenziare le zone della superficie interessate da una diminuzione della popolazione da quelle in cui non si è avuta efficacia del trattamento, e di indicare le zone che necessitavano di trattamenti puntuali di fumigazione.

La maggior parte degli studi sulla distribuzione degli insetti negli edifici per la conservazione dei cereali e dei prodotti derivati ha sviluppato statistiche spaziali per la distribuzione orizzontale di tipo bidimensionale. Tuttavia, nel caso di prodotti conservati in silos o in mucchi, gli insetti sono dispersi a varie profondità a causa della distribuzione disomogenea di numerosi fattori che determinano la scala spaziale, quali la sorgente di cibo, la temperatura, l'umidità, etc. Anche nel caso di edifici multipiano, come i molini, la distribuzione degli insetti ai vari piani differisce in relazione a numerosi fattori.

Alcuni autori (Nansen *et al.*, 2004; Athanassiou *et al.*, 2005; Trematerra *et al.*, 2007), pertanto, sottolineano la necessità di analizzare la distribuzione spaziale degli insetti in un contesto tridimensionale. L'analisi geostatistica, in particolare, può essere utilizzata per migliorare l'individuazione dei movimenti di popolazioni di insetti negli edifici. In alcune ricerche condotte in molini per la produzione di semola (Trematerra e Gentile, 2006; Trematerra *et al.*, 2007) e per la produzione di mangimi (Trematerra e Sciarretta, 2004) è stata analizzata la distribuzione spaziotemporale di insetti infestanti mediante l'uso di tecniche geostatistiche applicate ai dati ottenuti da trappole dotate di esche alimentari per alcune specie di coleotteri (*Tribolium castaneum* (Herbst), *T. confusum* du Val e *Typhaea stercorea* (L.), etc.). Tali studi sono stati volti, inoltre, all'analisi dell'efficacia dell'analisi spaziale per il miglioramento delle procedure di gestione degli infestanti, quali le buone pratiche di sanificazione e l'ottimizzazione dei piani di monitoraggio degli infestanti.

A partire dai dati sperimentali sono state ottenute delle mappe a curve di livello utilizzando *kriging* lineare. I risultati hanno dimostrato che la presenza e la distribuzione spaziale degli insetti infestanti all'interno dello stabilimento sono influenzate dalla localizzazione di "aree di interesse" quali i punti di accesso, le aree in cui vi sono grandi quantità di alimento e le aree con condizioni microclimatiche favorevoli. In particolare, i risultati hanno mostrato che la maggior presenza di insetti infestanti si manifesta nelle aree di ingresso e nella zona intorno al nastro trasportatore dei prodotti finiti, nelle zone dell'edificio e nelle parti degli impianti in cui si accumulano polveri e residui delle lavorazioni, nonché dove vi sono valori più elevati di temperatura (ad esempio, le zone del molino esposte a sud) o di umidità (ad esempio, le zone in prossimità dei servizi igienici per i lavoratori). I risultati delle analisi geostatistiche hanno permesso di ottimizzare il piano di campionamento inizialmente messo a punto e di diminuire il numero di trappole da posizionare nonché di adattarne la posizione all'interno dell'edificio.

Verifica dell'efficacia del trattamento termico mediante l'analisi spaziale

Dall'analisi dello stato dell'arte dell'applicazione dell'analisi spaziale per il controllo degli insetti infestanti nei fabbricati agroindustriali emerge che sebbene sia accertato che la presenza e la distribuzione degli insetti possa essere favorita dalle condizioni microclimatiche, in letteratura non sono state condotte sperimentazioni che avessero come obiettivo l'acquisizione di dati termo-igrometrici e di ventilazione degli ambienti da correlare con la presenza di infestanti al fine di individuare le zone in cui è opportuno applicare sistemi di controllo e di segregazione e in cui è necessario pianificare le attività di pulizia e sanificazione.

L'esigenza di una verifica sperimentale che comprenda il monitoraggio dei principali parametri microclimatici, diventa ancor più rilevante se si intende utilizzare l'analisi spaziale per la verifica e l'ottimizzazione dell'efficacia del trattamento termico quale metodo di controllo degli insetti infestanti all'interno degli edifici dell'industria molitoria. In questo caso è possibile individuare le seguenti fasi operative per un'efficace impostazione del protocollo sperimentale:

a) Individuare sulle superfici di calpestio di ciascun piano del molino un numero finito di punti, sufficientemente rappresentativi, di coordinate note (x,y) rispetto ad un sistema di riferimento fissato, in cui verranno posizionate le trappole. Generalmente, per il posizionamento delle trappole sono usati distanziometri portatili che permettono misurazioni precise rispetto ad un punto di riferimento preso come origine del sistema di coordinate dell'ambiente monitorato (Nansen *et al.*, 2004). Al fine di stabilire la densità delle trappole sulle superfici di calpestio di ciascun pia-

no dovranno essere considerate le caratteristiche della specie esaminata, i punti di accumulo dei residui, e la presenza di tubazioni o macchinari.

b) Posizionare in corrispondenza dei punti di coordinate note una stazione di misura composta da sensori di temperatura, umidità relativa, velocità e direzione dell'aria interna all'ambiente confinato. Nella scelta di tali strumentazioni, in relazione alle alte temperature che si raggiungono durante il trattamento, dovrà essere attentamente considerata l'accuratezza del valore misurato in funzione della temperatura dell'aria.

c) Verificare la significatività statistica dei dati raccolti durante il monitoraggio.

d) Effettuare l'analisi spaziale e la scelta dell'algoritmo di interpolazione per studiare l'andamento del valore di ciascuna delle variabili rilevate in ciascun piano del molino.

e) Elaborare i dati relativi alle analisi spaziali delle diverse variabili relativamente all'intero edificio al fine di fornire indicazioni utili all'applicazione del trattamento termico. Tale analisi potrebbe rivelarsi adeguata a selezionare le aree maggiormente interessate dall'infestazione in ciascun piano ovvero potrebbe condurre alla selezione del piano o dei piani in cui è necessario effettuare il trattamento termico in relazione alla maggior presenza di insetti, contribuendo in tal modo a ridurre i costi del trattamento. Di rilevante importanza è la capacità di impedire la migrazione degli insetti durante il trattamento. A tal fine è necessario verificare la necessità di preparazione dei locali: particolari sigillature, eliminazione dei cumuli di polveri e/o sfridi alimentari dove gli insetti possano crearsi un rifugio sufficientemente fresco e umido per superare il trattamento; svuotamento degli impianti e delle celle di stoccaggio dei prodotti e dei sottoprodotti; allontanamento di quei materiali (liquidi e in pressione) che potrebbero risultare sensibili alle elevate temperature.

f) Durante il trattamento termico, condurre un'analisi della distribuzione delle temperature all'interno degli ambienti di produzione, in relazione al numero e al posizionamento dei termoconvettori, al fine di evidenziare eventuali punti di criticità dovuti a valori troppo elevati di temperatura che potrebbero determinare danni ai materiali edilizi degli ambienti di lavorazione o a elementi costituenti parti dei macchinari sensibili al calore (cinghie, guarnizioni, etc.). Usualmente, durante il trattamento è necessario effettuare letture termometriche ai vari piani ed effettuare spostamenti dei termoconvettori e dei ventilatori in quelle zone dove, ai rilievi, si leggono temperature non favorevoli ($< 47^{\circ}\text{C}$). Per evitare tale stress per gli operatori, che sono soggetti a forte disidratazione, lo studio della distribuzione delle temperature negli ambienti prima del trattamento e la simulazione del posizionamento dei termoconvettori in un modello di tipo termo-fluidodinamico (CFD) potrebbero consentire un più corretto posizionamento delle apparecchiature evitando interventi in corso di trattamento.

g) Successivamente al trattamento termico, portare a termine le fasi da b) a d) verificando l'efficacia del trattamento nel tempo, ad intervalli prestabiliti (analisi spazio-temporale), al fine di controllare la capacità di reinfestazione degli ambienti produttivi.

Conclusioni

Le potenzialità dell'analisi spaziale applicata al controllo degli insetti infestanti negli edifici agroindustriali consistono nella capacità di fornire supporto alle decisioni, nel determinare il tipo, la tempistica e l'obiettivo dell'intervento di controllo dell'infestazione. Inoltre, l'analisi spaziale può contribuire ad ottimizzare la disposizione delle trappole comparando l'efficacia di diverse sistemazioni, nonché a distribuire le risorse e il dispendio di tempo in relazione al livello di rischio di ciascuna area.

Nel presente studio è stata verificata la possibilità di valutare i progressi di strategie specifiche di controllo degli infestanti, quale il trattamento termico, mediante l'applicazione dell'analisi spaziale e la definizione di fasi operative specificamente individuate sulla base delle caratteristiche degli edifici considerati e del trattamento stesso. Ulteriori approfondimenti potranno riguardare la verifica dell'applicazione del protocollo sperimentale in varie condizioni di infestazione e per differenti ambienti di produzione.

Il presente lavoro è stato realizzato nell'ambito del progetto "Soluzioni innovative per la sicurezza alimentare nella filiera cerealicola (S.I.S.A.CER)", linea di intervento 4.1.1.1 – obiettivo 4.1.1 - POR FESR Sicilia 2007-2013.

Bibliografia

- Arbogast R.T., Mankin R.W. (1999) The utility of spatial analysis in management of storage pests. Proceedings of the 7th International working conference on Stored-product Protection, Beijing, China, vol.2: 1519-1527.
- Buhmann M.D. (2003), Radial Basis Functions: Theory and Implementations, Cambridge University Press.
- Methyl Bromide Technical Options Committee, 2010. Report of the Methyl Bromide Technical Options Committee. 2010 Assessment. Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer. United Nations Environment Program.
- Trematerra P., Sciarretta. (2004). Spatial distribution of some beetles infesting a feed mill with spatio-temporal dynamics of *Oryzaephilus surinamensis*, *Tribolium castaneum* and *Tribolium confusum*. Journal of Stored Products Research 40: 363-377

- Trematerra P., Gentile P. (2006). Spatial distribution of food trap catches of *Tribolium castaneum*, *T. confusum* and *Typhaea stercorea* and precision Integrated Pest Management in a semolina mill. 9th International Working Conference on Stored Product Protection, 15-18 October 2006, Campinas, São Paulo, Brazil.
- Trematerra P., Gentile P., Brunetti A., Collins L.E., Chambers J. (2007). Spatial-temporal distribution of trap catches of *Tribolium confusum* du Val in a semolina-mill, with a comparison of female and male distributions. *Journal of Stored Products Research* 43: 315–322.
- Williams D.F., Brenner R. J., Milne D. (1999). Precision Targeting: Reduced Pesticide Use Strategy for Pharaoh's Ant (Hymenoptera: Formicidae) Control. Proceedings of the 3rd International Conference on Urban pests, Prague, Czech Republic, 19 - 22 July 1999.

L'ANALISI DELLE PRESTAZIONI ENERGETICHE NELLA PROGETTAZIONE DELLE CANTINE. PRIMI RISULTATI DI UN PROGETTO DI RICERCA

S. Benni, D. Torreggiani, A. Barbaresi, P. Tassinari

Università di Bologna, Dipartimento di Economia e Ingegneria Agrarie

Riassunto. Lo studio si colloca nell'ambito di una più ampia ricerca il cui obiettivo è la formulazione di criteri progettuali finalizzati alla ottimizzazione delle prestazioni energetiche delle cantine di aziende vitivinicole con dimensioni produttive medio-piccole. In particolare la presente ricerca approfondisce gli aspetti relativi a composizione plano-altimetrica, tipologia edilizia e tecnologie costruttive degli edifici di nuova costruzione.

La ricerca è stata condotta con riferimento al caso studio della progettazione di una cantina con capacità produttiva rappresentativa del suddetto comparto nel contesto emiliano-romagnolo. Sono state formulate e valutate in termini di efficienza funzionale, energetica ed economica diverse soluzioni tipologiche, strutturali e di involucro, anche prevedendo locali interrati, in ragione dei noti benefici nel controllo climatico connessi allo sfruttamento dell'inerzia termica del terreno. Tali soluzioni sono state analizzate mediante modellazione digitale tridimensionale con elaborazioni strutturali agli elementi finiti e simulazioni degli scambi termici. La soluzione maggiormente rispondente ai suddetti requisiti è risultata essere quella che prevede un edificio articolato su due piani: uno interrato in c.c.a. e uno fuori terra. È emerso come, al fine di garantire un'efficace riduzione dei picchi di temperatura interna durante il periodo estivo, risultati determinante l'introduzione di schermature solari indipendentemente dalla soluzione scelta per l'involucro, per la cui realizzazione sono disponibili numerose alternative con prestazioni energetiche equivalenti. Le soluzioni progettuali indagate sono state confrontate sul piano economico.

Parole chiave: cantina, efficienza energetica, progettazione

Summary. This study aims to develop design criteria for energy performance maximization for wineries in small-medium wine-growing and producing farms. Specifically the research focuses on the effects coming from plan-elevation composition, building typology and construction technologies for new buildings.

The research has been carried out referring to a case study consisting in a winery with a representative production capacity in the Emilia Romagna Region (Italy). Several structural, envelope and building solutions were considered and analysed through digital 3D modeling energy simulation. Particular importance has been given to architectural solutions containing underground rooms because of the well-know benefits for climate control due to soil thermal inertia.

Among all considered solutions, the most responding to requirements is a two floor building: one underground one aboveground; further studies showed that sun-shading elements insertion is a decisive factor to reduce building energy needs due to summer temperature peak reduction, independently of building envelope solution. Equivalent design solutions in terms of energy efficiency has been compared also on the economic level.

Key words: winery, energy efficiency, design

Introduzione

Le aziende vitivinicole di dimensioni produttive medio-piccole in Italia rivestono un ruolo fondamentale nel settore della vinificazione, in virtù sia dell'incidenza quantitativa complessiva della loro produzione, sia del loro ruolo di promozione e valorizzazione dei prodotti e dei territori e delle loro strette relazioni, anche su scala globale.

Il presente studio si colloca nell'ambito di una più ampia ricerca, che ha l'obiettivo di definire criteri progettuali specifici per tale comparto, per il quale non sono applicabili gli standard consolidati già disponibili in letteratura per le realtà industriali (Ayuga, 1999). Negli ultimi anni, inoltre, l'obiettivo della sostenibilità ambientale, affermatosi nel campo delle costruzioni, ha interessato in misura crescente anche i processi di progettazione e realizzazione degli edifici agricoli, e in particolare delle cantine (Mazarron et al., 2012a). L'integrazione di criteri volti alla massimizzazione dell'efficienza energetica nella progettazione edilizia è pertanto tema di crescente attualità anche nel settore agricolo, sia per le ricadute in termini economici alla scala aziendale sia per i benefici a livello regionale e globale. Le più recenti politiche nei settori della ricerca e dello sviluppo rurale incoraggiano una accelerazione verso l'ulteriore sviluppo e diffusione di idonee tecnologie e modelli progettuali (Commissione Europea, 2011; Consiglio d'Europa, 2005).

Nell'ambito della suddetta più ampia ricerca, il presente studio si pone l'obiettivo specifico della valutazione delle prestazioni energetiche di diverse soluzioni progettuali in termini di composizione plano-altimetrica, schermatura solare e tecnologia costruttiva, corredata da una stima delle relative differenze dei costi di costruzione.

Materiali e metodi

Caso studio

Il presente lavoro si concentra su un caso studio aziendale, con capacità produttiva annua intermedia nell'ambito del segmento considerato (3000 hl), individuato nell'ambito di un campione rappresentativo del comparto vitivinicolo della regione Emilia-Romagna definito, attraverso opportune procedure di campionamento, in fasi precedenti della ricerca (Tassinari et al., 2011). In particolare si fa riferimento alla progettazione di un nuovo edificio, che nel centro aziendale di tale caso studio si ipotizza vada a sostituire, ospitando le diverse fasi del processo produttivo comprese quelle di commercializzazione, gli edifici di servizio esistenti, non più adeguati agli standard produttivi dell'azienda e ad una razionale organizzazione funzionale delle varie attività. I criteri di progettazione

specifici messi a punto per detto edificio, sulla base di risultati di studi precedenti (Torreggiani et al., 2011), sono oggetto di un lavoro in corso di pubblicazione.

L'edificio ha un corpo di fabbrica principale (Fig. 1, a) di pianta rettangolare (40x17m), con copertura a due falde e altezza minima interna di 9 m. Una parte di tale corpo (Fig. 1, a1) non presenta suddivisioni interne orizzontali al fine di ospitare i vasi vinari più alti, mentre la restante parte è suddivisa su due piani: al piano superiore sono collocati uffici (Fig. 1, a2) e aree per la commercializzazione e degustazione (Fig. 1, a3) e al piano inferiore locali per la vinificazione (Fig. 1 a4). Poiché la fase di invecchiamento necessita, come noto, di adeguate condizioni termoigrometriche il più possibile costanti, l'area adibita a tale fase (Fig. 1, b, di dimensioni planimetriche di 40x5 m) è stata giustapposta sul lato nord al corpo di fabbrica principale, con una altezza inferiore allo stesso (4 m) per potere beneficiare del suo ombreggiamento.

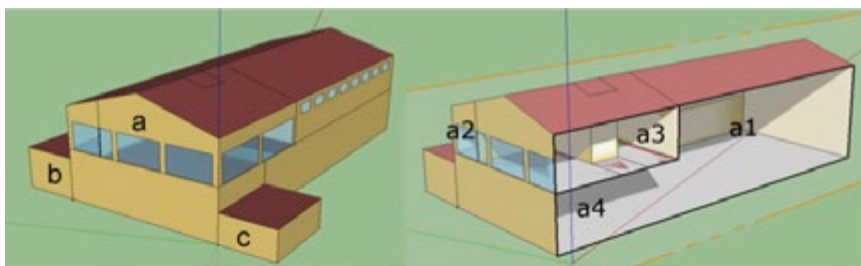


Fig. 1. La cantina progettata per lo studio: a) corpo principale; a1) locale vasi vinari; a2) uffici; a3) commercializzazione e degustazione; a4) vinificazione; b) barriaccia; c) locale impianti.

Le finestre della zona a1 sono state previste su entrambi i lati lunghi, e dimensionate nel rispetto dei requisiti normativi. Per gli uffici e le aree di vendita e degustazione sono state previste finestrate di ampie dimensioni per favorire l'illuminazione naturale e garantire la massima permeabilità visiva tra interno ed esterno. Come noto, questa soluzione può comportare - oltre a fenomeni di abbagliamento - un aumento dell'apporto di calore dovuto all'irraggiamento. Vengono pertanto quantificati, attraverso modellazioni termiche, gli effetti di mitigazione ottenibili con opportuni sistemi di schermatura. Non sono previste aperture all'esterno per il locale di invecchiamento (Fig. 1, b) e il locale tecnico (Fig. 1, c).

Come noto, la scelta del corretto orientamento di un opificio riveste prioritaria importanza nel percorso progettuale. Tuttavia, sono molto frequenti i casi, sia di nuova costruzione che di ricostruzione, in cui l'ubicazione e l'orientamento dell'edificio sono assoggettati a vari vincoli di natura urbanistica e/o di condizioni del sito (rispetto di distanze

da altri edifici, da strade, morfologia, accessibilità, mantenimento del sedime, ecc.), i quali potrebbero non consentire l'adozione delle soluzioni teoriche ottimali. Il presente studio si propone pertanto di approfondire una condizione in cui si mantenga inalterato l'orientamento dell'edificio preesistente (azimuth dell'asse longitudinale pari a 22°), e si valutino diverse alternative per le altre variabili progettuali indicate negli obiettivi al precedente paragrafo.

Modellazione termica

Le prestazioni energetiche delle diverse soluzioni progettuali sono valutate in termini di andamento delle temperature medie interne durante l'anno nei vari locali, e di energia termica annua che è necessario trasferire per mantenere prefissate temperature nei locali in cui sia previsto un controllo termico.

Le analisi sono state condotte attraverso EnergyPlus 7.0 (U.S. Department of Energy, 2011), un software open-source per la simulazione termica e la diagnosi energetica in regime dinamico degli edifici già utilizzato in diversi studi sulle prestazioni energetiche delle cantine (Mazarron et al. 2012b). Le principali assunzioni delle simulazioni sono: distribuzione della temperatura dell'aria uniforme in ciascuna zona, temperatura uniforme di tutte le superfici, irraggiamento uniforme, superfici uniformemente diffondenti; trasmissione del calore per conduzione monodimensionale. I dati meteorologici sono stati acquisiti dalla più vicina stazione di rilevamento disponibile, ubicata nella stessa fascia altimetrica dell'azienda studio.

Per le fasi di preprocessing e postprocessing si è utilizzato OpenStudio (National Renewable Energy Laboratory). La modellazione ha previsto la suddivisione dell'edificio in Zone Termiche (TZ, Thermal Zones), ovvero volumi d'aria a temperatura uniforme comprensivi delle superfici di scambio termico che li delimitano. Sono state definite cinque zone termiche (Fig. 2), corrispondenti alle varie aree funzionali della cantina, qui elencate anche in riferimento alle lettere di Fig. 1, riportate tra parentesi: TZ1 invecchiamento (area b), TZ2 uffici (area a2), TZ3 commercializzazione e degustazione (area a3), TZ4 vinificazione, comprendente anche lo stoccaggio (aree a1 e a4), TZ: centrale termica (area c).

Per alcune Zone Termiche è stato previsto un controllo termico, sia di riscaldamento che di raffrescamento, per mantenere le temperature entro opportuni intervalli (gli intervalli di temperatura e le relative programmazioni sono riportati in Tab. 1). Le simulazioni hanno pertanto consentito di calcolare il calore totale trasferito.

Per i materiali e i sistemi costruttivi dell'involucro esterno, comprese le vetrate, sono state impostate caratteristiche termiche rispondenti alla

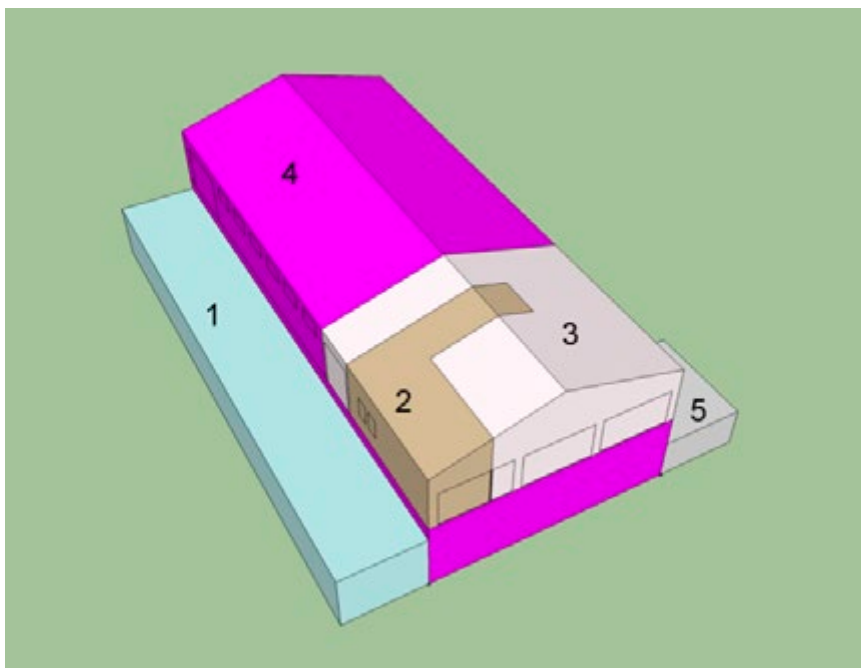


Fig. 2. Zone termiche (TZ): 1) Invecchiamento; 2) Uffici; 3) Commercializzazione; 4) Vinificazione; 5) Impianti

Tab. 1. Sistema di controllo termico - intervalli di temperatura consentiti

TZ	Area m ²	Volume m ³	Contr. Term.	Tmin-Tmax(1)	Tmin-Tmax(2)	Programm.(2)	Programm.(2)
1	225	967	Si	5-17 °C		Sempre	
2	61	326	Si	20-24 °C	15-27°C	Giorni lavor.	altri giorni
3	170	955	Si	20-24 °C	15-27°C	giorni specifici	altri giorni
4	669	5973	No				
5	45	134	No				
TOT	1169	8355					

normativa energetica italiana: si sono adottati valori di resistenza termica incrementati del 10% rispetto ai minimi di legge.

La modellazione dell'andamento annuo della temperatura media giornaliera del terreno in funzione di tempo e profondità è stata effettuata attraverso la seguente formula (Kasuda e Achenbach, 1965):

$$T(x,t) = T_m - A_s \cdot e^{-x\sqrt{\pi/365\alpha}} \cos \left[\frac{2\pi}{365} \left(t - t_0 - \frac{x}{2} \sqrt{\frac{365}{\pi\alpha}} \right) \right] \quad (1)$$

dove:

$T(x,t)$: temperatura media del terreno alla profondità x (m) nel giorno t dell'anno ($^{\circ}\text{C}$) T_m : temperatura media giornaliera del terreno ($^{\circ}\text{C}$)

A_s : differenza della temperatura massima e minima dell'aria su base annua ($^{\circ}\text{C}$)

α : diffusività termica del terreno (m^2/giorno)

t_0 : giorno dell'anno corrispondente alla temperatura minima dell'aria

Soluzioni progettuali alternative

Sono state analizzate e poste confronto tre soluzioni progettuali alternative: edificio fuori terra (I), parzialmente interrato (II), parzialmente interrato con schermature solari (III) (Fig. 3).

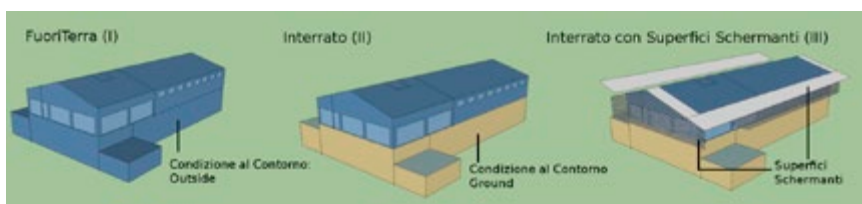


Fig. 3. Soluzioni indagate e principali condizioni al contorno

In ognuna delle tre soluzioni, per le pareti esterne, si è adottato un tamponamento in laterizio leggero con isolamento in poliuretano espanso per le parti fuori terra, e una parete in calcestruzzo armato per le parti interrate. Per le coperture delle parti fuori terra si è adottata una doppia lamiera grecata coibentata, e per i solai di chiusura dei locali interrati una soletta piena in calcestruzzo armato. Le vetrate sono previste con vetrocamera. Le condizioni al contorno relative alla parte interrata sono state valutate attraverso l'equazione (1), e quelle relative alla parte fuori terra tramite i dati meteo sopraccitati.

L'equazione (1) è stata altresì impiegata per valutare la profondità di interramento dell'edificio nelle soluzioni II e III. Si è calcolata la profondità minima in cui il terreno, in condizioni indisturbate, presenta temperature idonee per la conservazione del vino, ossia non superiori a 18°C (Mazarron et al. 2012b). A tale profondità, pari a 4 m, a cui la temperatura presenta variazioni di $\pm 3,5^{\circ}\text{C}$ rispetto alla media annua di $13,6^{\circ}\text{C}$, è stato collocato il piano di lavoro dei locali interrati. Il piano di calpestio di tali locali è stata pertanto fissato a $-5,3$ m. Tale profondità consente inoltre di prevedere un opportuno strato di terreno al di sopra del locale di invecchiamento, la cui altezza interna è pari a 4 m, oltre che una adeguata funzionalità dei locali di vinificazione, completamente

interrati. Il piano di calpestio di uffici e sala degustazione nel corpo principale è infatti a quota 0 m.

Al fine di ridurre l'apporto solare estivo, in particolare sui fronti rivolti a sud e ovest, sono state valutate schermature solari di due tipi: aggetti della copertura ed elementi frangisole orizzontali. Il loro posizionamento e dimensionamento sono stati definiti utilizzando il software Ecotect Analysis (Autodesk).

Valutazione dei costi di costruzione

Il dimensionamento strutturale necessario per la stima delle differenze di costo tra le tre soluzioni costruttive poste a confronto è stato condotto sulla base delle normative tecniche per le costruzioni italiane (Ministero delle Infrastrutture, 2008), tramite il software CDS (STS). Per la parte interrata è stata ipotizzata una struttura in setti in c.c.a. di spessore 30 cm con fondazione a platea in c.c.a. di 50 cm; per la parte fuori terra sono state considerate due possibili soluzioni strutturali: acciaio con copertura in legno e c.a.p. I dati economici di riferimento sono stati desunti dai prezziari ufficiali per le opere pubbliche, con la collaborazione di diverse aziende del settore.

Risultati

Nel grafico di Fig. 4 è rappresentato l'andamento della temperatura media oraria del locale di vinificazione durante l'anno. Si nota come entrambe le soluzioni II e III comportino un aumento delle temperature invernali e una diminuzione delle temperature estive, nonostante l'assenza di impianti di controllo termico. In particolare, nel periodo estivo (Fig. 4) la soluzione III presenta un'ulteriore riduzione della temperatura dell'ordine di grandezza di 1°C rispetto alla soluzione II.

Di seguito si espongono i risultati relativi all'energia termica annua da trasferire per il controllo termico (Tab. 2), utili per quantificare il consumo energetico complessivo dell'edificio.

Per quanto riguarda il locale di invecchiamento sia la soluzione II che la III rendono non necessari impianti di riscaldamento e consentono pressoché lo stesso drastico abbattimento del fabbisogno energetico per il raffrescamento. Tali benefici sono infatti da ricondurre prioritariamente agli effetti dell'interramento, rispetto a quelli della schermatura solare. Il lieve ulteriore beneficio della soluzione III rispetto alla II è da ricondurre alla sopracitata minore temperatura estiva nel locale di vinificazione confinante.

Per quanto concerne gli uffici e i locali di vendita, i benefici derivanti dalle soluzioni II e III risultano più consistenti, in termini relativi, inerentemente ai fabbisogni per il raffrescamento. In termini assoluti

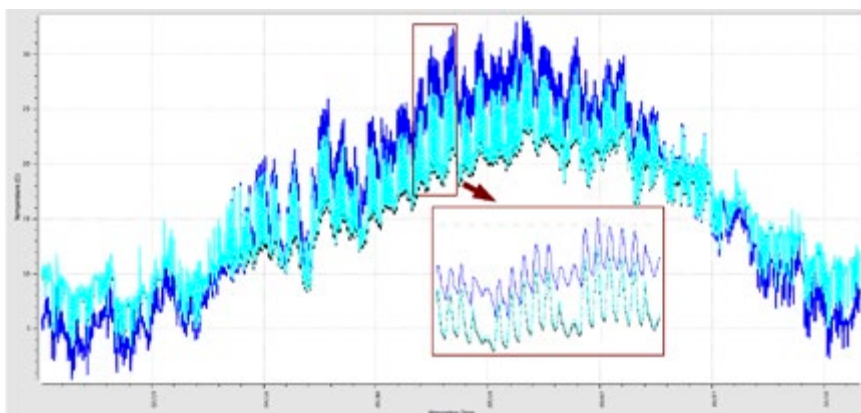


Fig. 4. Temperatura media dell'aria nel Zona Termica Vinificazione: Linea Blu, FuoriTerra (I) – Linea Azzurra, Interrato (II) –Linea Nera, Interrato BS (III)

Tab. 2. Richiesta di energia termica da trasferire in un anno per il mantenimento delle temperature: calore sensibile per il riscaldamento (HVAC H) e per il raffreddamento (HVAC C)

TZ	soluzione I		soluzione II		soluzione III		II vs I		III vs II		III vs I	
	HVAC H GJ	HVAC C GJ	HVAC H GJ	HVAC C GJ	HVAC H GJ	HVAC C GJ	HVAC H %	HVAC C %	HVAC H %	HVAC C %	HVAC H %	HVAC C %
1	4.515	-32.342	0	-8.019	0	-7.928	-100	-75	/	-1	-100	-75
2	41.753	-12.945	39.075	-10.18	40.157	-7.791	-6	-21	3	-23	-4	-40
3	52.064	-18.303	45.33	-13.621	49.113	-7.629	-13	-26	8	-44	-6	-58
Totale	98.332	-63.59	84.405	-31.82	89.27	-23.348	-14	-50	6	-27	-9	-63

Tab. 3. Soluzioni (I), (II) e (III): Costi e confronti

	Struttura	Muri Esterni	Copertura	Superfici Schermanti	Lavori di Finitura	Costo Totale	Costo Unitario	Incremento
	Euro	Euro	Euro	Euro	Euro	Euro	Euro/m ²	%
Struttura fuori terra in c.c.a.								
soluzione I	302200	57630	79100	0	267000	705930	604	0
soluzione II	436400	25500	61600	0	267000	790500	676	12
soluzione III	436400	25500	74600	28000	267000	831500	711	18
Struttura fuori terra in acciaio								
soluzione I	243200	57630	79100	0	267000	646930	553	0
soluzione II	423400	25500	61600	0	267000	777500	665	20
soluzione III	423400	25500	74600	28000	267000	818500	700	27

il beneficio diventa prevalente nella soluzione II rispetto alla I, per il riscaldamento del locale di vendita. Le migliori prestazioni della soluzione II rispetto alla I rilevabili sia per gli uffici sia per i locali di vendita, sono riconducibili alla sopraccitata mitigazione delle temperature sia estive che invernali del locale di vinificazione con essi confinanti. Si nota inoltre un

notevole incremento delle prestazioni nel raffrescamento con l'adozione delle schermature (soluzione III), a fronte di un lieve incremento del fabbisogno per il riscaldamento.

I costi di costruzione delle principali componenti dell'edificio con riferimento alle varie soluzioni poste a confronto, sono riportati in Tab. 3, gli incrementi di costo complessivo comportati dalle soluzioni II e III rispetto alla corrispondente soluzione strutturale I sono rapportati al costo complessivo di detta soluzione.

Conclusioni

Lo studio costituisce un primo contributo finalizzato all'individuazione di indirizzi progettuali volti all'ottimizzazione delle prestazioni energetiche degli edifici per le produzioni vitivinicole e dei relativi involucri.

I risultati ottenuti evidenziano come opportune soluzioni progettuali, le cui prestazioni energetiche sono valutabili durante la fase di progettazione di una tramite modellazioni e simulazioni computerizzate, a fronte di un aumento quantificabile del costo di costruzione, consentano all'azienda una riduzione del fabbisogno energetico, con conseguenti ricadute positive da un punto di vista della minore dipendenza da fonti energetiche esterne, oltre che sull'immagine aziendale, in ragione della crescente sensibilità dei consumatori nei confronti delle tematiche ambientali.

Gli sviluppi futuri della ricerca prevedono ulteriori approfondimenti circa le variabili indagate, oltre alla modellazione di ulteriori variabili e parametri progettuali relativi alla produzione vinicola, all'orientamento, ai sistemi energetici e di controllo termico, nonché una analisi dei relativi aspetti economici, con riferimento sia alla costruzione di nuove cantine sia alla ottimizzazione di realtà esistenti, nonché opportune indagini e monitoraggi sperimentali presso aziende campione al fine di validare e calibrare i modelli di simulazione.

Bibliografia

- Ayuga F., 1999. Wine processing. In F.W. Bakker-Arkema (Ed.) *CIGR Handbook of Agricultural Engineering*. Volume IV Agro-Processing Engineering (pp. 419-446). St. Joseph: ASAE.
- Consiglio d'Europa, 2005. *Regulation No 1698/2005 on support for rural development by the European Agricultural Fund for Rural Development*. Brussels: European Council.
- Commissione Europea, 2011. *Horizon 2020 - The Framework Programme for Research and Innovation*. COM(2011) 808 final. Brussels: European commission.

- Kasuda T., Achenbach P.R., 1965. Earth Temperature and Thermal Diffusivity at Selected Stations in the United States. *National Bureau of Standard Report*, 8972. U.S. Department of Commerce.
- Mazarrón, F.R, Cid-Falceto J., Cañas I., 2012a. Ground thermal inertia for energy efficient building design: A case study on food industry. *Energies*, 5(2): 227-242.
- Mazarrón, F.R, Cid-Falceto J., Cañas I., 2012b. An assessment of using ground thermal inertia as passive thermal technique in the wine industry around the world. *Applied Thermal Engineering*, 33-34(1): 54-61.
- Ministero delle Infrastrutture, 2008. Nuove norme tecniche per le costruzioni. D.M. 14/01/2008.
- Tassinari P., Galassi S., Benni S., Torreggiani D., 2011. The built environment of farm wineries: an analysis methodology for defining meta-design requirements. *Journal of Agricultural Engineering*, 2: 25-31.
- Torreggiani D., Benni S., Corzani V., Tassinari P., Galassi S., 2011. A meta-design approach to agroindustrial buildings: A case study for typical Italian wine productions. *Land Use Policy*, 28: 11-18.
- U.S. Department of Energy, 2011. <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>

LIMITI E PROSPETTIVE DELLE COPERTURE FOTOVOLTAICHE NELLE SERRE MEDITERRANEE

Marucci¹, A. Gusman², B. Pagnello¹, A. Cappuccini¹

¹ *Dipartimento di Scienze e Tecnologie per l'Agricoltura, le Foreste, la Natura e l'Energia Università degli studi della Toscana*

² *Collaboratore esterno*

Riassunto. L'utilizzazione delle coperture in film plastico ha permesso di creare una tipologia, la "serra mediterranea", diversa da quella dei Paesi del centro e nord Europa, è una serra caratterizzata da semplicità strutturale, da coperture economiche e dall'assenza di impianti fissi di climatizzazione invernali perché l'energia solare disponibile è più che sufficiente a coprire i fabbisogni energetici nella stagione fredda.

Durante la stagione estiva, però, si creano alcuni problemi dovuti all'intensa radiazione solare ed agli altrettanto elevati valori della temperatura dell'aria.

Per contrastare questi eccessi di apporti energetici, si può ricorrere sia a mezzi passivi sia a mezzi attivi con conseguenti notevoli costi. Poter utilizzare questi esuberanti per produrre energia elettrica consentirebbe, a nostro parere, di:

1. ricavare un reddito dalla vendita dell'energia elettrica prodotta;
2. utilizzare la struttura serricola per tutto l'anno;
3. contenere i costi per il raffrescamento della serra.

In questo lavoro si è cercato di individuare il surplus di energia che potrebbe essere utilizzato per produrre energia elettrica con i nuovi materiali fotovoltaici disponibili.

La ricerca è stata svolta con riferimento al litorale sud della Regione Lazio eseguendo i bilanci energetici per determinare il surplus di energia solare per una serra coperta con doppio film plastico.

Il surplus dipende, oltre che dalla forma della serra, dal materiale di copertura e dall'ubicazione della stessa, anche dal grado di copertura del cielo e dal tipo coltura presente nell'interno. Si è quindi calcolato il surplus di energia in condizioni estreme: cielo sereno e cielo nuvoloso e con diverse ipotesi di coltivazione (pomodoro 12 mesi, pomodoro 8 mesi, melanzana 12 mesi).

La ricerca ha consentito di determinare:

- il surplus di energia disponibile in serra per la produzione di energia da celle fotovoltaiche di nuova generazione al variare del grado di copertura del cielo e delle specie coltivate;
- i periodi in cui si ha un effettivo surplus di energia;
- i cicli colturali più idonei per ottenere un surplus di energia solare da sfruttare nel modo più conveniente.

Parole chiave: serra mediterranea, energia solare, sistema fotovoltaico

Summary. The use of plastic film covers has greatly contributed to the development of greenhouses in our country and at the same time to the generation of a new class of greenhouses, different from those of Central and Northern Europe, the so called "Mediterranean Greenhouse".

It is characterized by a certain structural simplicity, by cheap covers and by lack of fixed winter conditioning systems as the available solar energy is, in general,

more than sufficient to meet the energy requirements.

During the hot season, however, the greenhouse suffers some problems due to the intense solar radiation and the high air temperature as well.

To counteract this excessive energy intakes are different methods used as active and passive means, with a considerable increase in costs. The use of these surpluses to produce electricity would, in our opinion, the following:

- 1 obtain an income from the sale of electricity;
- 2 use the greenhouse throughout the year;
- 3 limit the costs for the cooling of the greenhouse.

This paper aims at identifying the energy surplus exceeding the cultivated crops needs and how this can be used to produce electrical energy with new and innovative solutions based on flexible and semi-transparent photovoltaic modules. The research was carried out with reference to the southern coast of the Lazio region by performing energy balances to determine the surplus of solar energy for a greenhouse covered with double plastic film. The surplus depends, besides the shape of the greenhouse, the roofing material and the location of the same, also on the degree of coverage of the sky and the type culture present in the interior. It was calculated the surplus energy under extreme conditions: clear sky and cloudy sky and with different assumptions of cultivation (tomatoes 12 months, tomato 8 months, aubergine 12 months).

Research has allowed to determine:

- The surplus of energy available in the greenhouse for the production of energy from new generation of solar cells with varying degree of sky coverage and crop species;
- the periods in which there is an effective surplus of energy;
- the most suitable crop cycles to achieve a surplus of solar energy to be exploited in the most convenient.

Key words: mediterranean greenhouse, solar energy, photovoltaic system

Introduzione

Da alcuni anni vi è un particolare interesse, favorito anche da notevoli incentivi pubblici, verso la realizzazione di impianti di piccola e media grandezza per la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili.

Una certa attenzione ha suscitato l'utilizzazione di pannelli fotovoltaici di apparente semplice gestione che, come è noto, ben si prestano alle diverse situazioni e godono di interessanti incentivi pubblici diversificati in base alla tipologia d'installazione ed alla finalità.

In particolare viene dato un buon contributo qualora i pannelli vengono installati su strutture agricole entro le quali, però, dovrà essere svolta attività produttiva.

Tra le tante possibilità d'installazione di questi pannelli sulle strutture agricole, una delle più accattivanti sembra essere l'impianto serricolo sia perché più di tutte le strutture agricole è concepito per utilizzare al meglio l'energia solare sia perché ha generalmente una grande superficie e, quindi, si presta bene ad accogliere sulle coperture una grande superficie fotovoltaica.

Inoltre, in alcuni periodi dell'anno, soprattutto nelle aree sud del no-

stro Paese, la radiazione solare che incide sulle serre è eccedente rispetto ai fabbisogni, tanto da dovere ricorrere o a mezzi di protezione passivi (reti ombreggianti, schermi termici, ecc.) o a mezzi di protezione dinamici (ventilazione naturale o forzata, nebulizzazione o evaporazione dell'acqua, ecc.) oppure si è costretti alla sospensione dell'attività agricola^{1,2,3,4,5}.

Ciò ha portato a pensare di sfruttare questo surplus di energia solare per produrre energia elettrica da utilizzare in vario modo p.e. per i sistemi di raffrescamento e/o per la vendita diretta alla società di distribuzione, ecc.

Il problema fondamentale, però, è che i pannelli fotovoltaici tradizionali a base di silicio non sono trasparenti per cui, una volta installati, impediscono alla radiazione solare di penetrare nell'interno della serra rendendo problematica la coltivazione delle piante e la creazione dell'effetto serra indispensabile per realizzare le condizioni microclimatiche necessarie per le colture.



Fig. 1. Borgo S. Michele (Latina)

In questi ultimi tempi la tecnologia sta mettendo a punto pannelli con materiali parzialmente trasparenti in teli flessibili o pannelli rigidi semi-trasparenti che lasciano passare una discreta aliquota di energia solare.

Per verificare se questa tecnologia può essere applicata in modo diffuso alle serre di produzione in Italia occorre, a nostro avviso, rispondere ai seguenti quesiti:

- Quanta energia solare può essere utilizzata per la produzione di

energia elettrica senza compromettere la produzione delle piante coltivate nell'ambiente confinato sottostante?

- Per quanti mesi all'anno si ha un surplus utile ed efficace di energia solare?
- Quali colture e quali cicli colturali consentono di avere il maggiore surplus di energia solare da utilizzare per la produzione di energia elettrica?
- Le condizioni climatiche italiane sono adatte alla produzione di energia elettrica fotovoltaica utilizzando l'eccesso di radiazione solare in serra senza compromettere il raccolto?

Per cercare di dare una risposta a queste domande, è stata condotta una specifica ricerca con riferimento alle condizioni climatiche di Borgo San Michele (LT) situato nell'Agro Pontino in una zona a forte vocazione serricola.

Materiali e metodi

La ricerca è stata condotta con riferimento ad una serra per colture orticole ubicata nell'agro di Latina.

Innanzitutto è stata fatta l'analisi climatica dell'area utilizzando i dati climatici (temperatura ed umidità relativa dell'aria, eliofanìa e radiazione solare) della Stazione della Rete Agrometeorologica Nazionale (RAN) di Borgo San Michele (Latina) che è sita a:

- Altitudine: 12 m;
- Latitudine: 42°27' N;
- Longitudine: 12°54' E.

È stata poi presa in considerazione una serra tipica di questa zona avente le seguenti caratteristiche (figura 2):

- Lunghezza: 50 m;
- Larghezza: 12 m;
- Altezza gronda: 3.5 m
- Pendenza falde di copertura: 40% (22°);
- Materiale di copertura: doppio film plastico Polietilene – EVA.

Per questa serra sono stati effettuati i bilanci energetici per le seguenti colture:

- *Pomodoro da mensa* – ciclo annuale – trapianto mese di gennaio
- *Pomodoro da mensa* – ciclo autunno-primaverile – trapianto mese di ottobre e termine mese di aprile;
- *Melanzana* – due cicli semestrali – trapianto mesi di gennaio e luglio.

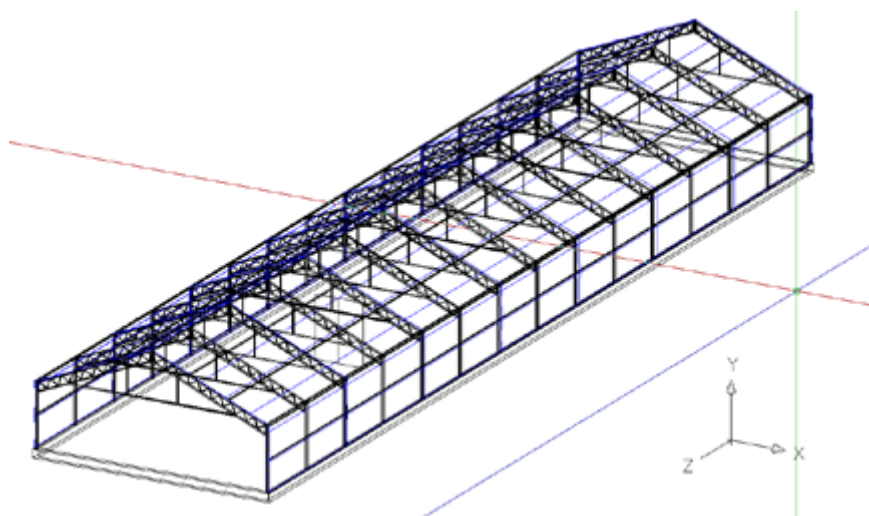


Fig. 2. Serra

Sono stati fissati inoltre i seguenti limiti temici:

Coltura del pomodoro

Da 1 a 90 giorni: $t_{\text{notte}} = 13^{\circ}\text{C}$

$t_{\text{giorno}} = 17^{\circ}$

Oltre 90 giorni

$t_{\text{notte}} = 15^{\circ}\text{C}$

$t_{\text{giorno}} = 24^{\circ}$

Coltura della melanzana

Per tutto il periodo: $t_{\text{notte}} = 13^{\circ}\text{C}$

$t_{\text{giorno}} = 25^{\circ}$

Con questi parametri sono stati eseguiti i bilanci energetici per ogni giornata tipo di ciascun mese ad intervalli di tempo di 15 minuti e nelle seguenti condizioni:

- cielo sereno (radiazione diretta e diffusa);
- cielo nuvoloso (solo radiazione diffusa);
- notte.

Analisi e discussione dei risultati

L'elaborazione dei dati climatici rilevati nella Stazione di Borgo S. Michele dal 2001 al 2010 dall' UCEA (Ufficio Centrale di Ecologia Agraria) del Ministero delle Politiche Agricole e Forestali ha consentito di elaborare la seguente tabella (Tabella 1). Uno degli elementi climatici più importanti per la valutazione delle potenzialità di una località ad ospitare un impianto serricolo è, a nostro avviso, il numero medio di ore

Tab. 1. Valori medi mensili dei parametri climatici di Borgo San Michele.

MESE	T min	T max	UR	Eliofania	Radiazione solare
	°C	°C	%	h/d	MJ/m ² d
1	2.7	13.1	77.2	3.8	4.8
2	3.0	13.9	75.3	4.9	7.4
3	4.9	16.3	77.9	6.3	11.3
4	7.7	19.6	78.2	7.6	15.6
5	11.1	24.2	74.1	9.0	19.6
6	14.8	28.1	72.1	10.9	21.6
7	16.8	30.6	68.8	10.6	22.2
8	17.0	30.5	70.4	9.9	19.0
9	13.8	26.7	73.8	8.3	14.1
10	11.4	23.3	80.9	6.3	9.2
11	7.6	18.4	80.1	4.0	5.5
12	4.4	14.4	76.6	3.2	4.0

giornaliere in cui vi è radiazione diretta solare (eliofania media giornaliera) perché ci offre una indicazione qualitativa e quantitativa delle ore di sole effettivamente disponibili.

Nella località in esame, l'analisi ha evidenziato che la durata media del soleggiamento giornaliero passa da valori minimi del 35-40% della durata totale giorno nei mesi invernali a valori massimi del 72-73% nei mesi estivi (Figura 3). Da aprile ad ottobre, invece le ore di soleggiamento medio giornaliero superano il 50% della lunghezza teorica del giorno. Questa è una caratteristica della località molto importante perché consente di avere a disposizione non meno di 10-12 giorni di cielo sereno nei mesi invernali fino ad arrivare ad oltre 20 giorni nei mesi più caldi. Quanto appena detto trova un positivo riscontro dal

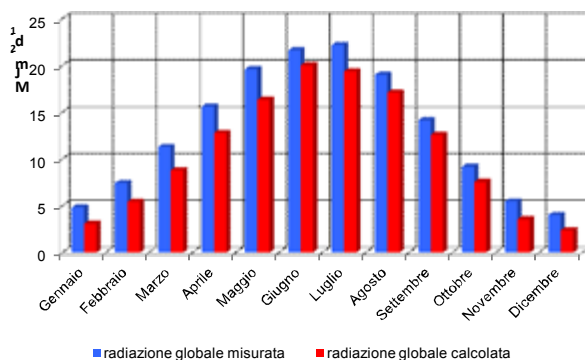


Fig. 3. Confronto tra durata del giorno e eliofania

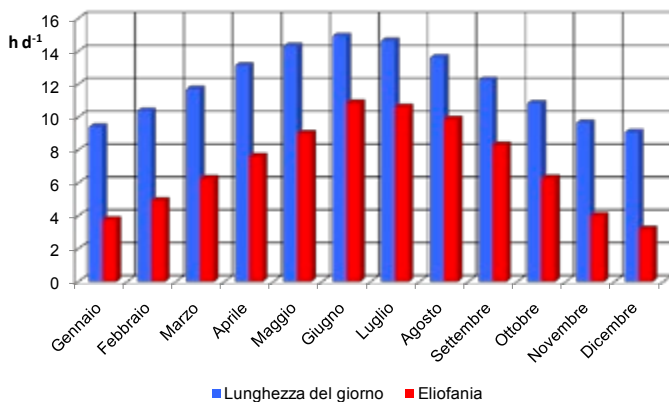


Fig. 4. Confronto tra la radiazione solare calcolata e misurata in Borgio S. Michele

confronto tra la radiazione solare misurata e quella calcolata (Figura 4).

Questo confronto, infatti, ha messo in evidenza una ragionevole corrispondenza tra i due valori, con scarti dell'ordine del 6%.

In altri termini, lo stato del cielo in questa località, anche quando manca la radiazione solare diretta, è tale da lasciar passare una quantità di energia solare superiore, sia pure di poco, a quella stimata.

Bilanci energetici

Come sopra accennato, sono stati effettuati i bilanci energetici della serra per le colture selezionate, adottando i regimi termici specificati al fine di determinare le perdite di energia per trasmissione e per irraggiamento delle colture verso la copertura e la volta celeste e le perdite, sempre per irraggiamento della copertura verso la volta celeste nonché l'energia solare disponibile all'interno della serra. In questa analisi non sono state prese in considerazione le perdite per ventilazione, perché il fine era quello di quantificare il surplus di energia solare che si rende disponibile quando si sono coperte le perdite dovute alle caratteristiche fisiche dei materiali trasparenti di copertura. La ventilazione naturale o forzata ha, come è noto, la principale funzione di cercare di espellere questi surplus di energia termica di origine solare dall'interno delle serre.

POMODORO - COLTURA ANNUALE (12 MESI)

Tenendo conto dei regimi termici richiesti dalla coltura nelle diverse fasi fenologiche, sono stati presi in considerazione i periodi a cielo sereno e quelli a cielo coperto, i risultati sono riportati nei grafici della fig. 5.

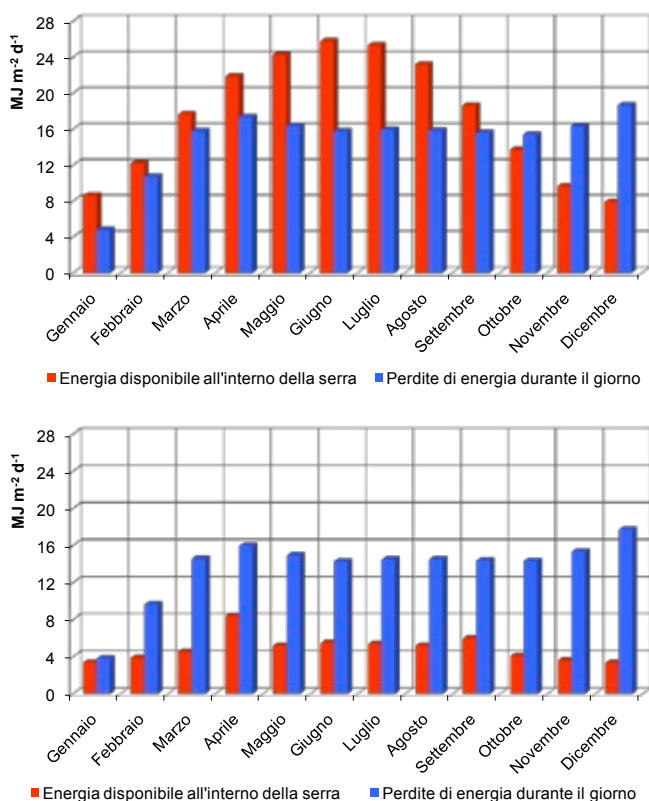


Fig. 5. Confronto tra fabbisogni di energia ed energia disponibile nei giorni sereni e coperti

I surplus di energia solare che si verificano sulle falde all'esterno della serra durante i diversi periodi dell'anno, nei giorni di cielo sereno, quando viene coltivato il pomodoro da mensa per l'intero anno con trapianto nel mese di gennaio, sono riportati nella Fig. 6.

Come era prevedibile, le eccedenze più significative di energia solare si verificano nei mesi estivi, da maggio ad agosto, con valori compresi tra $8 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ e $11 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

Si tratta, comunque, di energia che una volta penetrata nell'interno, seppure ridotta per effetto della trasmittanza della copertura, può essere smaltita con la ventilazione e/o con i sistemi di raffreddamento dell'aria soprattutto durante i mesi estivi.

Sarebbe possibile anche impedire che la parte eccedente dell'energia penetri nell'interno schermando la copertura. Negli altri mesi, sempre nei giorni di cielo sereno, il surplus o non si verifica (mesi di ottobre, novembre e dicembre) o raggiunge valori che, a nostro avviso, sono poco signifi-

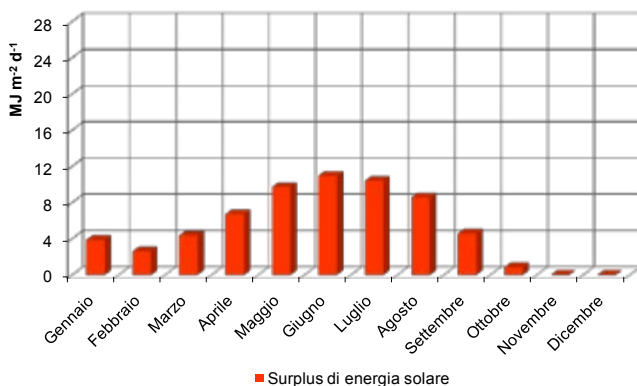


Fig. 6. Surplus di energia solare nei giorni di cielo sereno

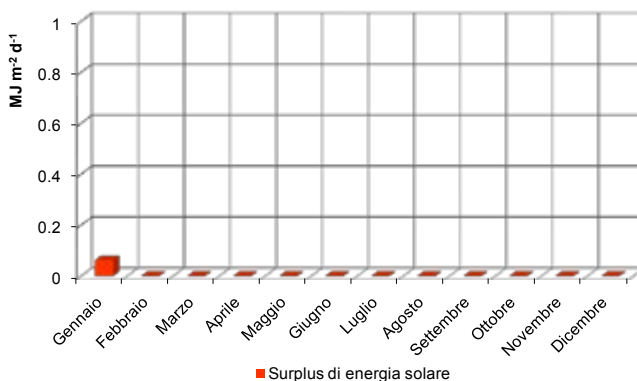


Fig. 7. Surplus di energia solare nei giorni di cielo coperto

ficativi e nella pratica vengono governati facilmente con la ventilazione.

Nei giorni di cielo coperto e senza radiazione solare diretta, non vi è surplus salvo una piccola quantità del mese di gennaio dovuta alle minori esigenze termiche delle piantine appena trapiantate (Fig. 7).

POMODORO - COLTURA AUTUNNO-PRIMAVERILE (8 MESI)

Se la coltivazione del pomodoro viene limitata al periodo da settembre ad aprile p.e. (trapianto a settembre e raccolta fino ad aprile), lasciando la serra non utilizzata nel periodo estivo, si hanno i surplus di energia solare riportati nella (Fig. 8).

Chiaramente, non utilizzando la serra nel periodo estivo, tutta l'energia solare che raggiunge la serra diviene disponibile, anche nei giorni di cielo coperto.

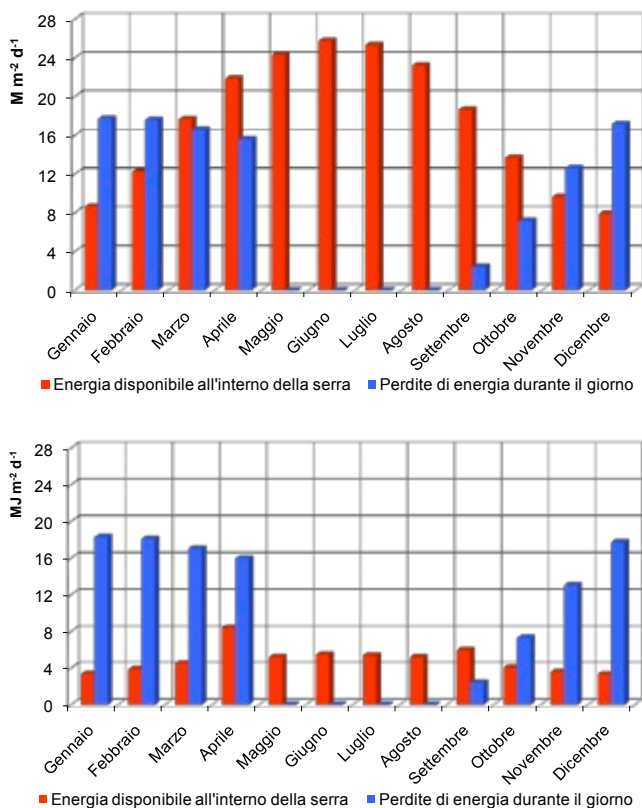


Fig. 8. Confronto tra fabbisogni di energia ed energia disponibile nei giorni sereni e coperti

Ai fini della trasformazione in energia elettrica mediante processo fotovoltaico, come nel caso precedente, solo l'aliquota che incide sulle falde di copertura può essere convenientemente utilizzata a tale scopo (Fig.re 9 e 10).

MELANZANA - DUE CICLI SEMESTRALI

È stata eseguita poi un'altra valutazione sostituendo alla coltura del pomodoro la melanzana, allevata per tutto l'anno con due cicli colturali (trapianto in aprile e ottobre). I risultati delle elaborazioni eseguite sono riportati nella Fig. 11.

Nei giorni di cielo sereno, i surplus di energia solare sono decisamente più interessanti ($13-15 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) rispetto a quelli che si verificano con la coltura del pomodoro ($8-11 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) (Fig. 12). Nei giorni col cielo coperto, il surplus si verifica solo in due mesi e con valori di scarso significato.

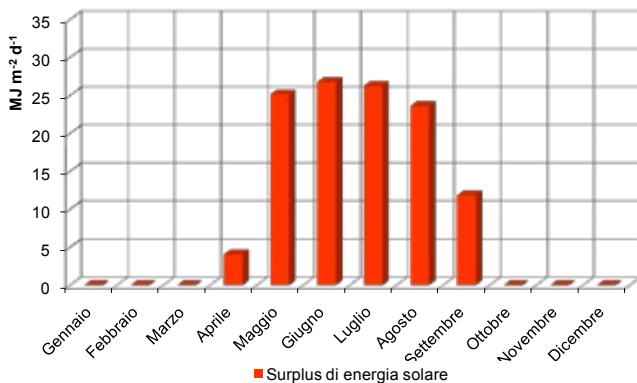


Fig. 9. Surplus di energia solare nei giorni di cielo sereno

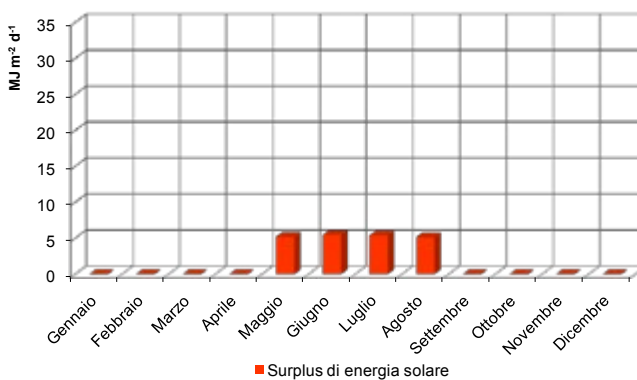


Fig. 10. Surplus di energia solare nei giorni di cielo coperto

Conclusioni

La ricerca effettuata in un'area a forte vocazione serricola, come l'Agro Pontino, ha consentito di ottenere indicazioni utili sulla possibilità di utilizzare le strutture delle comuni e diffuse serre mediterranee destinate alla produzione orticola per sostenere coperture fotovoltaiche. I primi risultati ottenuti dalla ricerca riguardano la disponibilità di surplus di energia solare da utilizzare per la conversione in energia elettrica.

Effettivamente si è constatato che nell'interno della serra non solo nella stagione estiva ma anche in altri periodi dell'anno si possono verificare eccessi di energia solare tali da obbligare l'agricoltore ad adottare sistemi di controllo del microclima interno per non danneggiare le

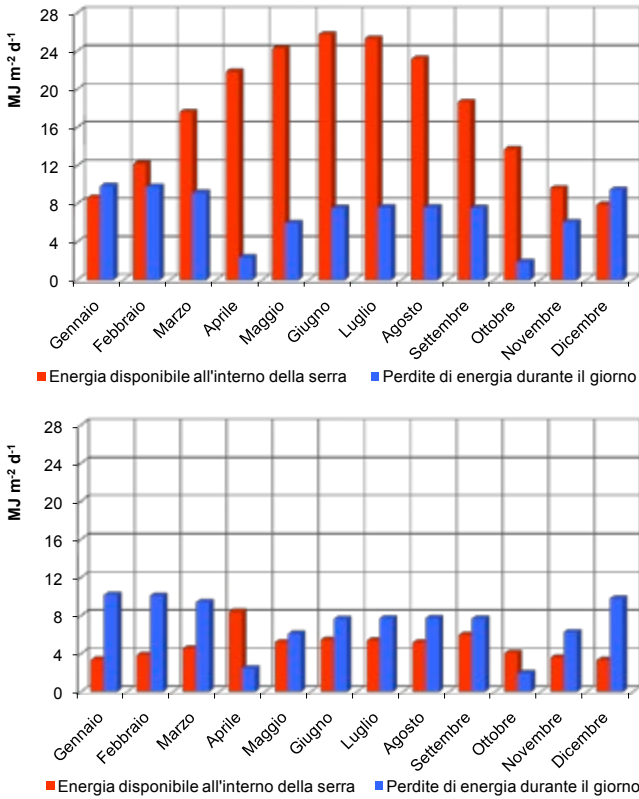


Fig. 11. Confronto tra fabbisogni di energia ed energia disponibile nei giorni sereni e coperti

colture. Tali sistemi diventano spesso onerosi e complessi in quanto alla radiazione solare molto elevata si unisce anche un elevato valore della temperatura dell'aria. L'analisi ha evidenziato che sulle falde, all'esterno della serra, con le colture in atto (melanzana) si possono raggiungere picchi medi giornalieri di circa $15 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (fig.13). Questi picchi si mantengono pressoché costanti durante tutto il periodo estivo nei giorni di cielo sereno.

Nei giorni nuvolosi, ovviamente, questi picchi subiscono una forte riduzione scendendo a circa $5 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (fig. 14), solo per i mesi estivi e in assenza di colture.

Negli altri mesi si ha un modesto surplus (circa $2,5 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) solo nei mesi di aprile ed ottobre in corrispondenza del trapianto della melanzana (due cicli per anno).

Tenendo conto che nella zona in esame, nei mesi estivi, più del 70% dei giorni possono essere considerati "sereni", si deduce facilmente che

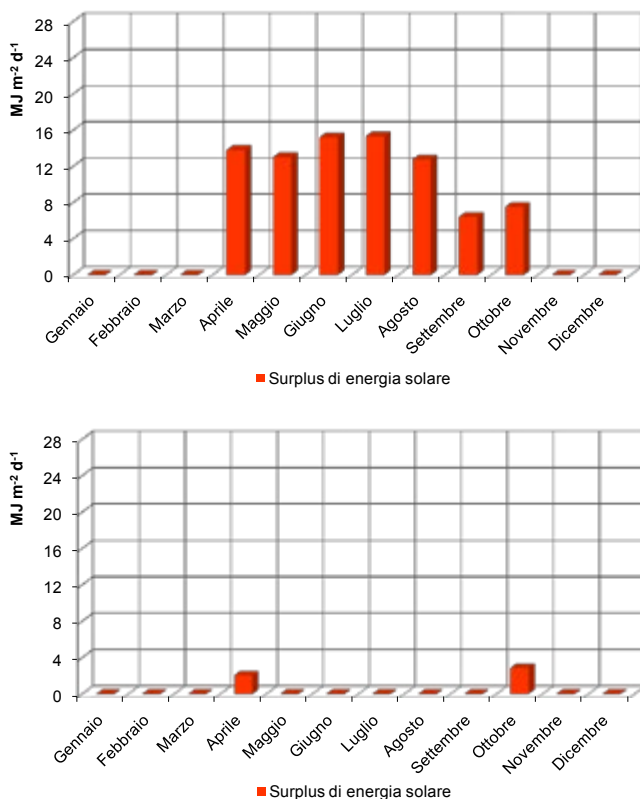


Fig. 12. Surplus di energia solare nei giorni di cielo sereno e coperto

si ha a disposizione per poco più di quattro mesi/anno una interessante disponibilità di energia solare da poter trasformare in energia fotovoltaica.

I dati ricavati mettono in evidenza la necessità di effettuare una corretta programmazione delle colture e dei loro cicli al fine di sfruttare al meglio l'energia solare disponibile non solo per le colture ma anche per la trasformazione in energia elettrica.

Coltivare il pomodoro tutto l'anno o limitarsi ai soli otto mesi autunnali, invernali e primaverili, consente di avere surplus energetici molto diversi, nel rapporto di circa 1:2,5.

Certamente, però, producendo pomodori per 8 mesi invece di 12, si ha una contrazione della produzione e, quindi, un minor reddito.

Sarà necessario effettuare un accurato bilancio economico tra il minor ricavo dalla produzione agricola e le minori spese per il controllo del microclima interno insieme al ricavo proveniente dalla vendita dell'energia elettrica prodotta. Se l'entità di quest'ultimo elemento del bilancio

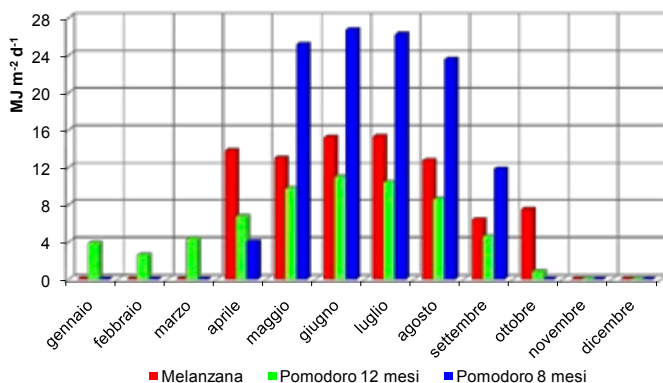


Fig. 13. Surplus di energia nei giorni sereni

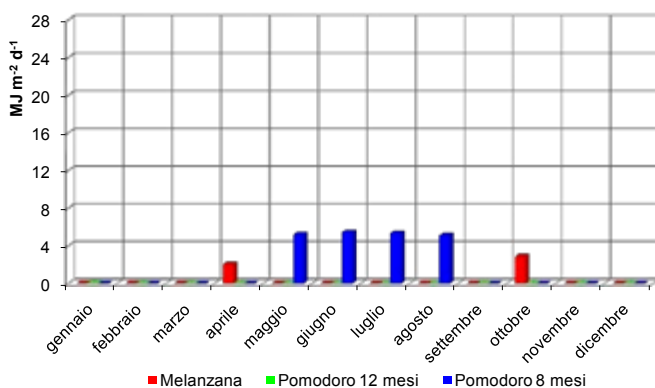


Fig. 14. Surplus di energia nei giorni nuvolosi

riesce a compensare il minor ricavo della produzione agricola, allora si può seriamente pensare di utilizzare la struttura della serra per sostenere elementi fotovoltaici.

Un problema, però, rimane ancora in parte insoluto e riguarda come coprire le falde quando vi è disponibilità di surplus di energia solare. Individuare i periodi utili anche con un ragionevole anticipo non è difficile, disporre tempestivamente le coperture per captare questo surplus è molto più complicato.

Certamente i pannelli rigidi ed opachi (i noti e comuni pannelli solari al silicio) sono, a nostro parere, da escludersi. La soluzione potrebbe essere trovata nell'uso di teli fotovoltaici flessibili e semitrasparenti, questi teli essendo flessibili hanno la possibilità di essere arrotolati e, quindi,

potrebbero essere distesi nei periodi di surplus della giornata abbastanza facilmente come se fossero reti ombreggianti.

Inoltre, questi teli sono semitrasparenti e ciò assicura che nell'interno della serra giunga una aliquota di radiazione solare necessaria per la pianta e per creare l'effetto serra.

Attualmente la ricerca tecnologica sta mettendo a punto questi materiali che hanno, per il momento, un'efficienza nella conversione dell'energia solare in energia elettrica non molto elevata (si è nell'ordine del 5-8%).

Ma la ricerca in questo settore è molto attiva per cui tutto fa sperare che si riescano a realizzare teli fotovoltaici più efficienti.

In questo modo si potrà, con molta probabilità, coniugare l'uso della serra per la produzione agricola e la produzione di energia elettrica mediante celle fotovoltaiche.

Bibliografia

- ¹ Gusman A., Marucci A.: La radiazione solare all'interno di tunnel coperti con film plastico. Lavoro presentato al Convegno AIIA 2001 "Ingegneria Agraria per lo sviluppo dei paesi del mediterraneo". Vieste (Fg), 11-14 settembre 2001
- ² Marucci A. 2006. Materiali di copertura per tunnel e serre. *Informatore agrario* n°33. 62-79
- Marucci A., Boccia L. 1994. Relationship between solar radiation and roofing materials in protected cropping structures. *Atti del XII CIGR World Congress and AGEng '94 Conference on Agricultural Engineering*, pp. 267-277, Milano 29/8 -1/9/94. Codice 94-C-048
- ³ Vox g., Teitel M., Pardossi A., Minuto A., Tinivella F., Schettini E. 2010 Chapter 1: Sustainable Greenhouse Systems in "Sustainable Agriculture: Technology, Planning and Management", Augusto Salazar e Ismael Rios Editors, Nova Science Publishers, Inc. NY USA, ISBN: 978-1-60876-269-9: 1-79.
- ⁴ Scarascia Mugnozza G. 1999 Aspetti strutturali e impiantistici degli apprestamenti per le colture protette: criteri attuali e prospettive. *Atti del Seminario AIIA "Le colture protette: aspetti agronomici, territoriali e tecnico-costruttivi"*, Ragusa, 24-26 Giugno, 35-54.

IMPIANTO SPERIMENTALE GEOTERMICO A BASSA ENTALPIA PER IL RISCALDAMENTO SERRICOLO: VALUTAZIONI AMBIENTALI¹

G. Scarascia Mugnozza, S. Pascuzzi, G. Russo, A. Anifantis, G. Verdiani

Dipartimento di Scienze Agro – Ambientali e Territoriali, Università degli Studi di Bari Aldo Moro

Riassunto. L'uso di combustibili fossili per il riscaldamento invernale delle serre può determinare impatti negativi sullo stato delle matrici ambientali e sulla qualità dell'aria. In questo contesto si inserisce l'opportunità di utilizzare le pompe di calore geotermiche per soddisfare in modo ecosostenibile i fabbisogni energetici del settore serra. Nel presente studio sono state analizzate e confrontate le performance tecniche, energetiche, ambientali ed agronomiche di un impianto pilota "fotovoltaico – pompa di calore geotermica" e di un impianto convenzionale alimentato a GPL a servizio di due serre gemelle. Le prove sperimentali realizzate e l'analisi di ciclo di vita (LCA) dell'energia termica prodotta con i due sistemi di riscaldamento hanno consentito di dimostrare che le pompe di calore geotermiche sono una valida alternativa alle centrali termiche convenzionali poiché garantiscono idonee condizioni microclimatiche per la crescita delle colture in serra con ridotto carico ambientale.

Parole chiave: serra, energia, sostenibilità ambientale

Summary. The use of fossil fuels for greenhouse heating may cause negative impacts on the environmental state and air quality. In this context, geothermal heat pumps can meet the energy needs of the greenhouses with low environmental impact. In this study we have analyzed and compared the technical, energetic, environmental and agricultural performance of a pilot plant "photovoltaic – geothermal heat pump" and a conventional hot air generator fueled by LPG for heating of two experimental greenhouses. The experimental tests performed and the life cycle analysis (LCA) of the thermal energy produced by the two heating systems have made it possible to demonstrate that geothermal heat pumps are an alternative to conventional thermal plant because they provide suitable microclimatic conditions for crop growth in greenhouse with low environmental impact.

Key words: greenhouse, energy, environmental sustainability

Introduzione

L'uso di combustibili fossili per il riscaldamento delle serre è uno dei principali fattori che influenza il costo e la sostenibilità ambientale delle produzioni orto – floro – vivaistiche in ambiente protetto (Scarascia

¹ Il contributo al lavoro è da suddividere in maniera paritetica tra gli Autori.

Mugnozza et al., 2011a; Körner et al., 2004). Un'enorme quantità di combustibili fossili viene infatti consumata per riscaldare le serre nella stagione invernale (Xu e Zhou, 2005) al fine di garantire condizioni microclimatiche ideali alla crescita delle colture e dei prodotti agricoli (Bartzanas et al., 2005).

L'utilizzo delle energie rinnovabili per il riscaldamento delle serre può dare un significativo impulso alla riduzione delle emissioni di gas serra, al raggiungimento degli obiettivi imposti dalla normativa energetico – ambientale vigente ed all'incremento della sostenibilità ambientale del processo di coltivazione in ambiente protetto (Scarascia Mugnozza et al., 2011a; Scarascia Mugnozza e Anifantis, 2009) garantendo condizioni microclimatiche ottimali per la crescita delle colture in serra (Ozgener e Hepbasli, 2005).

In proposito, tra le fonti rinnovabili di energia, la Direttiva Europea 2009/28/CE ha inserito le pompe di calore geotermiche con la condizione che l'output finale di calore sia significativamente superiore all'input di energia elettrica necessario per il loro funzionamento. Le pompe di calore abbinate alle sonde di scambio termico sono la tecnologia più diffusa per l'utilizzo delle risorse geotermiche a bassa entalpia (Lund et al., 2005) anche con temperatura al di sotto di 32 °C (Chiasson, 1999). I vantaggi energetici e funzionali delle pompe di calore geotermiche riconosciuti a livello internazionale (Colangelo et al., 2005) sono i seguenti: ridotti costi di esercizio, assenza di emissioni dirette di gas serra, elevata affidabilità e conseguente scarsa necessità di interventi di manutenzione, possibilità di soddisfare il fabbisogno di climatizzazione sia estiva che invernale degli edifici (Benli, 2012; Colangelo et al., 2012). Un impianto di climatizzazione a pompa di calore geotermica è essenzialmente costituito da tre componenti: sistema di scambio termico (sonde), pompa di calore, sistema di distribuzione del calore all'interno dell'edificio. Il sistema di scambio termico più versatile ed ecocompatibile è rappresentato dalle sonde geotermiche verticali a circuito chiuso (Benli, 2012) che scambiano calore con il terreno per mezzo di un fluido termovettore (acqua o acqua e glicole propilenico) senza effettuare il prelievo e la reimmissione di acque sotterranee. Il terreno è infatti un utile mezzo di scambio termico perché al di sotto di una certa profondità (10 – 12 m) mantiene una temperatura costante pari a quella media annuale dell'aria esterna e connessa alle caratteristiche fisiche e strutturali dello stesso terreno (conducibilità termica, gradiente geotermico e contenuto d'acqua) (Florides et al., 2011).

L'utilizzo delle pompe di calore geotermiche può trovare una proficua applicazione nel settore agricolo e, in particolare, per il riscaldamento delle serre (Dickson et al., 2004) dove risulta essere molto conveniente in termini economici ed ecologici (Benli, 2012; Chai et al., 2012; Scarascia Mugnozza et al., 2011a; Ozgener, 2010; Adaro et al., 1999). In Italia

sono attualmente presenti 39.000 ha di serre di cui solo 46 ha riscaldati con pompe di calore geotermiche (Scarascia Mugnozza et al., 2011b). La limitata applicazione delle pompe di calore geotermiche nel settore serri-colo è dovuta all'elevato costo di installazione ed all'incertezza dell'iter autorizzativo nazionale per la posa in opera delle sonde geotermiche.

L'uso delle pompe di calore geotermiche per il riscaldamento serri-colo può però avere una rapida crescita grazie ai bassi costi di esercizio e manutenzione, alle fluttuazioni del prezzo dei combustibili fossili ed alla diffusione delle certificazioni ambientali dei prodotti e delle aziende agricole richieste dal mercato e dai consumatori. Il rilascio delle certificazioni ambientali è infatti subordinato alla riduzione dell'impronta ecologica dei prodotti e dei processi (Di Donna et al., 2012) di coltivazione. La conversione ecologica degli impianti di riscaldamento delle serre mediante l'uso delle fonti energetiche alternative può ridurre il carico ambientale (Vox e Schettini, 2009) ma è tuttavia necessario valutare gli impatti connessi all'intero ciclo di vita delle tecnologie alimentate da fonti rinnovabili di energia (Cellura et al., 2012).

L'obiettivo del presente lavoro è l'analisi sperimentale ed il successivo confronto delle prestazioni energetico – ambientali di due impianti di riscaldamento per serre. In particolare, sono stati confrontati un impianto pilota “fotovoltaico-pompa di calore geotermica” ed un generatore di aria calda alimentato a GPL (Gas Petrolio Liquefatti).

Materiali e metodi

L'analisi delle prestazioni energetico – ambientali dell'impianto pilota “fotovoltaico-pompa di calore geotermica” e del generatore di aria calda alimentato a GPL rispettivamente a servizio di due serre gemelle è stata effettuata presso il centro didattico – sperimentale “Martucci” della Facoltà di Agraria di Bari (41° di latitudine N).

Le serre predisposte sono state quindi realizzate con le stesse caratteristiche geometriche e costruttive (tipologia a tunnel, orientamento est – ovest, estensione in pianta di 48 mq, altezza al colmo di 3,5 m, struttura in acciaio zincato con sezione tubolare, copertura con film plastico in EVA – Etilene vinilacetato di 200 μm) (Fig. 1) ma riscaldate mediante differenti sistemi energetici. Nelle due serre è stata anche predisposta una prova agronomica su coltura di melanzana (*Solanum melongena* L.) per testare l'efficienza dei sistemi di riscaldamento su cicli di coltivazione reali.

Il sistema pilota “fotovoltaico – pompa di calore geotermica” (Fig. 2) è composto dall'integrazione di cinque impianti distinti fra cui: stringa di pannelli fotovoltaici in silicio monocristallino con potenza complessiva di 1620 W_p, sonda geotermica verticale a circuito chiuso in polietilene ad alta densità con lunghezza di 120 m, pompa di calore con potenza di 7.2

kW, sistema di accumulo dell'acqua calda composto da un boiler dotato di scambiatore di calore, impianto di distribuzione del calore all'interno della serra costituito da elementi radianti (tubi in polietilene) posizionati in prossimità del substrato di coltivazione attraversati da acqua calda.



Fig. 1. Serre gemelle sperimentali



Fig. 2. Pompa di calore geotermica e boiler per l'accumulo dell'acqua calda



Fig. 3. Generatore di aria calda alimentato a GPL

Il sistema di riscaldamento convenzionale è costituito invece da un generatore di aria calda con potenza di 7 kW alimentato a GPL (Fig. 3).

Le differenze tra i due impianti sono quindi riconducibili sia alla fonte energetica utilizzata che alla modalità di distribuzione del calore all'interno della serra.

I due impianti sono stati controllati automaticamente mediante termostati posizionati all'interno delle serre ed impostati alla temperatura di 10 °C al fine di avere analoghe condizioni microclimatiche.

Le prove sperimentali sono state realizzate nel periodo dicembre 2011 - marzo 2012 ed hanno consentito di rilevare ed analizzare i principali parametri fisici ed ambientali necessari allo studio delle condizioni microclimatiche all'interno delle serre sperimentali e delle prestazioni energetico - ambientali dei sistemi di riscaldamento adottati.

Misura delle condizioni microclimatiche nelle serre sperimentali

Le condizioni microclimatiche all'interno delle serre e macroclimatiche esterne sono state analizzate attraverso delle sonde Pt100 schermate con apposite campane ventilate ed i dati sono stati immagazzinati tramite l'uso di due data - logger, Campbell CR10X e Campbell CR1000 Wireless, settati con un tempo di campionamento di 10 s ed un intervallo di memorizzazione di 15 min.

Analisi delle prestazioni energetiche dell'impianto pilota "fotovoltaico - pompa di calore geotermica"

Le prestazioni energetiche dell'impianto pilota "fotovoltaico - pompa di calore geotermica" sono state monitorate mediante un contacalorie digitale SIEMENS Qheat per la misura dell'energia termica prodotta dalla pompa di calore geotermica, un multimetro digitale per la misura dell'energia elettrica assorbita dalla pompa di calore e delle sonde a contatto Pt100 per il rilievo delle temperature su ogni circuito idraulico dell'impianto.

Analisi e confronto delle prestazioni ambientali dei due sistemi di riscaldamento per serre

Le prestazioni ambientali dell'impianto pilota e dell'impianto convenzionale sono state valutate e confrontate mediante l'analisi di ciclo di vita (LCA - Life Cycle Assessment) standardizzata dalla norma ISO 14040. Tale analisi è attualmente lo strumento più adeguato per valutare la sostenibilità dei sistemi energetici in quanto consente di evidenziare ed aggregare sia i carichi ambientali dovuti alle fasi di generazione di energia che quelli legati al ciclo di produzione, installazione e dismissione degli impianti. L'analisi LCA dell'energia prodotta dai due sistemi di riscaldamento delle serre è stata effettuata sulla base delle caratteri-

stiche tecniche degli impianti e dei dati sperimentali registrati nel corso delle prove. La modellazione dei due impianti e la successiva valutazione degli impatti ambientali relativi alla produzione energetica è stata effettuata tramite il software GabiV e l'utilizzo dei database Ecoinvent. Le categorie di impatto considerate per la valutazione dei carichi ambientali sono quelle definite dal metodo CML2001: ADP esaurimento delle risorse abiotiche (kg Sb eq), AP acidificazione potenziale (kg SO₂ eq), EP eutrofizzazione potenziale (kgPO₄³⁻ eq), GWP potenziale di riscaldamento globale (kg CO₂ eq), ODP riduzione della fascia di ozono (kg CFC11 eq) e POPC formazione di ossidanti fotochimici (kg C₂H₄ eq).

Risultati

Condizioni microclimatiche nelle serre sperimentali

I due impianti di riscaldamento hanno garantito analoghe condizioni microclimatiche all'interno delle due serre sperimentali (Fig. 4).

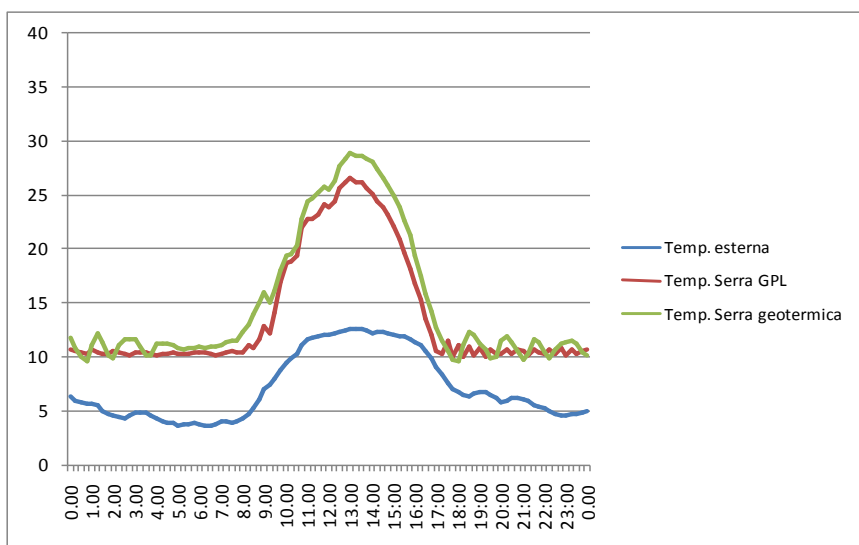


Fig. 4. Temperature registrate in data 12/01/2012

L'impianto pilota "fotovoltaico - pompa di calore geotermica" e l'impianto convenzionale hanno consentito di soddisfare i fabbisogni energetici serricoli garantendo temperature idonee alla crescita della coltura

di melanzana. Dall'analisi dei valori di temperatura registrati è possibile evidenziare una differenza media di temperatura notturna tra serre riscaldate ed aria esterna di circa 7 - 8 °C.

Prestazioni energetiche dell'impianto "fotovoltaico - pompa di calore geotermica"

Nel corso delle prove sperimentali la pompa di calore geotermica ha prodotto mediamente 40 kWh/giorno di energia termica con un consumo medio di 10,5 kWh/giorno di energia elettrica. Durante l'intera durata delle prove sperimentali la pompa di calore ha complessivamente prodotto 3.653 kWh di energia termica ed assorbito 945 kWh di energia elettrica garantendo quindi una resa espressa dal coefficiente di prestazione (COP) pari a 3,8.

L'energia elettrica prodotta su scala annuale dai pannelli fotovoltaici ha consentito di coprire interamente il fabbisogno energetico della pompa di calore geotermica tuttavia è stato necessario prelevare energia elettrica dalla rete elettrica nazionale a causa dello sfasamento temporale tra produzione energetica da fonte fotovoltaica e richiesta energetica notturna. Inoltre l'energia elettrica prodotta dai pannelli fotovoltaici nei mesi della prova sperimentale è stata inferiore rispetto al fabbisogno della pompa di calore geotermica a causa della ridotta radiazione solare che caratterizza i mesi invernali.

Prestazioni ambientali dei due sistemi di riscaldamento per serre

I risultati del confronto tra l'ecoprofilo dell'energia termica prodotta durante le prove sperimentali con l'impianto pilota "fotovoltaico - pompa di calore geotermica" e con il convenzionale generatore di aria calda alimentato a GPL sono esplicitati nella Tab. 1 e nella Fig. 5.

Tab. 1. Valori degli indici ambientali per la produzione dell'energia termica necessaria a soddisfare il fabbisogno energetico delle serre sperimentali

	Generatore di aria calda alimentato a GPL	Pompa di calore geotermica alimentata da pannelli fotovoltaici
ADP [kgSb-eq]	15,97	4,88
AP [kgSO ₂ -eq]	3,68	4,55
EP [kgPhosphate-eq]	0,64	5,18
GWP100 [kgCO ₂ -eq]	2,32	1,30
ODP [kgR11-eq]	0,0005	0,002
POPC [kgEthene-eq]	1,10	0,48

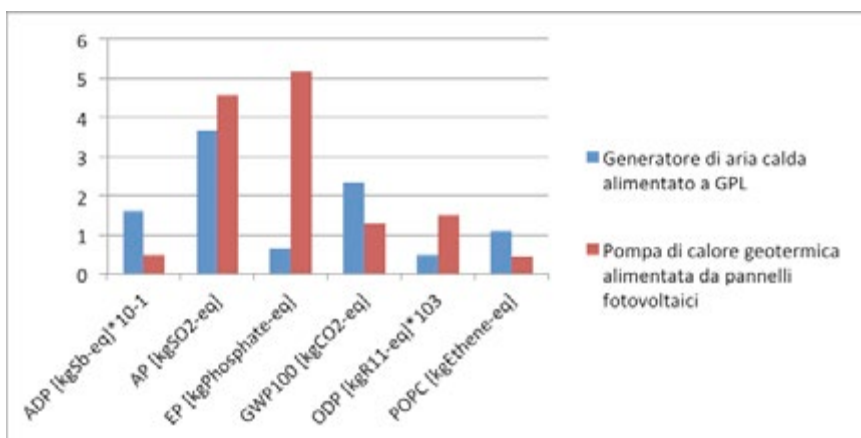


Fig. 5. Categorie di impatto dell'energia termica prodotta dai due sistemi di riscaldamento per serre

Dai risultati si evince che l'energia termica prodotta nel periodo delle prove sperimentali con il generatore di aria calda alimentato a GPL ha impatti ambientali più significativi nelle seguenti categorie: consumo di risorse abiotiche (ADP), potenziale di riscaldamento globale (GWP) e formazione di ossidanti fotochimici (POPC). Il contributo ai carichi ambientali della produzione di energia termica con l'impianto di riscaldamento convenzionale è causato prevalentemente dalle emissioni atmosferiche prodotte dalla combustione del GPL. L'energia termica prodotta con l'impianto pilota "fotovoltaico – pompa di calore geotermica" ha invece impatti ambientali più significativi nelle seguenti categorie: acidificazione potenziale (AP), eutrofizzazione potenziale (EP) e riduzione dello strato di ozono (ODP). Il contributo ai carichi ambientali della produzione di energia termica con l'impianto pilota è dovuto prevalentemente alla fase di scavo propedeutica alla posa in opera delle sonde geotermiche ed alla presenza del fluido frigorifero R410A nella pompa di calore.

Conclusioni

I risultati ottenuti evidenziano in modo chiaro e su basi scientifiche che l'uso del sistema pilota "fotovoltaico – pompa di calore geotermica" riduce il carico ambientale dei processi di coltivazione delle specie orto – floro – vivaistiche in serra garantendo idonee condizioni microclimatiche e, quindi, senza compromettere la resa agronomica.

Le pompe di calore consentono quindi di captare, valorizzare ed utilizzare per la climatizzazione delle serre le risorse geotermiche a bassa entalpia ampiamente diffuse in gran parte del territorio nazionale. L'uso dell'energia geotermica a bassa entalpia è quindi una efficiente, efficace ed ecosostenibile soluzione per la conversione ecologica degli impianti di riscaldamento convenzionali per serre a tutto vantaggio della sostenibilità ambientale del processo di coltivazione.

Bibliografia

- Adaro J. A., Galimberti P. D., Lema A. I., Fasulo A., Barral J. R., 1999, "Geothermal contribution to greenhouse heating", *Applied Energy* 64: 241-249.
- Bartzanas T., Tchamitchian M., Kittas C., 2005, "Influence of the heating method on greenhouse microclimate and energy consumption", *Biosystems Engineering* 91(4):241-249.
- Benli H., 2012, "A performance comparison between a horizontal source and a vertical source heat pump systems for a greenhouse heating in the mild climate Elazig, Turkey", *Applied Thermal Engineering*.
- Cellura M., Longo S., Mistretta M., 2012, "LCA applicata alle tecnologie alimentate da energia solare: peculiarità e limiti metodologici", *Atti del VI Convegno della Rete LCA*, Bari.
- Chai L., Ma C., Ni J.Q., 2012, "Performance evaluation of ground source heat pump system for greenhouse heating in norther China", *Biosystems Engineering* III:107-117.
- Chiasson A., 1999, "Advances in Modeling of Ground-Source Heat Pump Systems", M.S. Thesis, School of Mechanical and Aerospace Engineering, Oklahoma State University.
- Colangelo G., Romano D., De Risi A., Starace G., Laforgia D., 2012, "Un tool in Matlab – Simulink per la simulazione di pompe di calore geotermiche", *La Termotecnica – Aprile 2012* pp. 63-72.
- Colangelo G., Congedo P., Starace G., 2005, "Horizontal heat exchangers for GSHP. efficiency and cost investigation for three different applications", *ECOS2005-18th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems – Norway*.
- Di Donna N., Gasperi G.M., Torraco B., Di Croce S., Verdiani G., 2012, "Strumenti per la gestione sostenibile dei sistemi idrici: ISO 14001 ed EMAS", *L'Acqua*, AII, Suppl. al n. 4 pp 209-216.
- Dickson M., Fanelli M., 2004, "What is geothermal energy?", *Istituto di Geoscienze e Georisorse, CNR*, Pisa, Italy.
- Direttiva Europea 2009/28/CE
- Florides G.A., Pouloupatis P.D. Kalogirou S., Messaritis V., Panayides I., Zomeni Z., Partasides G., Lizides A., Sophocleous E., Koutsoumpas K.,

- 2011, "The geothermal characteristics of the ground and the potential of using ground coupled heat pumps in Cyprus", *Energy* 36:5027-5036.
- ISO 14040
- Körner O., Bakker M.J., Heuvelink E., 2004, "Daily temperature integration: a simulation study to quantify energy consumption", *Biosystems Engineering* 87:333-343.
- Lund J.W., Freeston D.H., Boyd T.L., 2005, "Direct application of geothermal energy: 2005 worldwide review", *Geothermics* 34:691-797.
- Ozgener O., Hepbasli A., 2005, "Performance analysis of a solar assisted ground – source heat pump system for greenhouse heating: an experimental study", *Building and Environment* 40:1040-1050.
- Ozgener O., 2010, "Use of solar assisted geothermal heat pump and small wind turbine systems for heating agricultural and residential buildings", *Energy* 35: 262-268
- Scarascia Mugnozza G., Anifantis A., 2009, "Dal fotovoltaico al termico", *Colture Protette* 6: 40-43.
- Scarascia Mugnozza G., Pascuzzi S., Anifantis A., Verdiani G., 2011a, "Photovoltaic and geothermal integration system for greenhouse heating: an experimental study", *Proceedings of the V International Scientific Symposium "Farm Machinery and Process Management in Sustainable Agriculture" – Lublin, Poland.*
- Scarascia Mugnozza G., Piccinni A.F., Anifantis A., Verdiani G., 2011b, "Uso delle risorse geotermiche a bassa entalpia in agricoltura", *Atti del Convegno "Acqua ed Energia" – Accademia dei Lincei, Roma.*
- Vox G., Schettini E., 2009, "Serre rispettose dell'ambiente", *Colture Protette* 6:44-48.
- Xu G., Zhou C., 2005, "Research and development and performance test of waterproof puffed PE heat preservation quilt for sunlight greenhouse", *Transactions of the CSAE* 21(1):128-131.

UN NUOVO APPROCCIO METODOLOGICO NELLA COSTRUZIONE DELLE STRUTTURE AGRO- ZOOTECNICHE SECONDO LA FIRE SAFETY ENGINEERING

S. Cividino¹, R. Gubiani¹, A. Benedetti¹, M. Vello¹, M. Fanzago¹,
G. Pergher¹, I. Snidero¹, A. Colantoni²

¹DISA: Dipartimento di scienze agrarie ed Ambientali, Univerisità degli Studi di Udine

²Dafne: Università degli studi della Tuscia

Riassunto. Il lavoro propone un attenta analisi delle problematiche relative al rischio incendio all'interno delle aziende agro-zootecniche. Analizzando sia gli elementi strutturali sia le modalità di gestione aziendale vengono evidenziate numerose carenze che portano quasi quotidianamente interventi da parte dei Vigili del Fuoco in aziende agricole. Il risultato del lavoro propone delle soluzioni operative e dei progetti strutturali per la riduzione del rischio sia per gli operatori, per i soccorritori e per gli animali allevati.

Parole chiave: Incendio, Sicurezza, Agricoltura

Summary. This work carefully examines the problems of fire risk in the livestock sector. Analyzing both the structural elements and the management numerous lack, that often lead to increase this risk and the consequent interventions of the Firemen, have been highlighted. The work wants to propose operational solutions with the aim to reduce the risk for the workers, the rescuers and the animals.

Key words: Fire, safety, agriculture

Il rischio incendio in agricoltura; un proble cronico legato alla sottovalutazione del rischio ed alla cattiva gestione delle strutture di produzione

La prevenzione incendi costituisce un servizio d'interesse pubblico, con il fine di perseguire sicurezza e incolumità nell'ambito lavorativo, secondo criteri applicativi uniformati su scala nazionale. I riferimenti normativi necessari a perseguire la prevenzione incendi riguardano: il D.P.R. 29 luglio 1982, n. 577 e il D.P.R. 12 gennaio 1998, n. 37 che chiarisce i procedimenti riguardanti il controllo delle condizioni di sicurezza per la prevenzione incendi. Le aziende agricole, come tali, sono molto assoggettate al rischio incendio a causa dei materiali di consumo presenti in loco, molto spesso a elevata infiammabilità (es. paglia, fieno, ecc.), in genere le quantità di prodotti infiammabili (es. carburanti/combustibili,

fitofarmaci, ecc.) depositate, sono spesso consistenti. Il rischio incendio è poi aggravato dall'esistenza di molte sorgenti d'innesco, prima citate (es. operazioni di saldatura, smerigliatura, cicche di sigarette, ecc.) o in altri casi addirittura di autoinnesco (es. depositi di fieno/paglia, ecc.). Di regola la causa d'incendio può essere legata a varie motivazioni che saranno descritte in seguito e in ordine di importanza. In caso di un'insufficiente essiccazione di paglia e fieno si genera surriscaldamento, che può condurre all'autocombustione. Le aperture di comunicazione tra stalla e fienile devono essere, per questo, protette contro la propagazione degli incendi. La velocità di propagazione dell'incendio è dettata dall'accumulo di sostanze facilmente combustibili provocati un incendio generalizzato. Il tempo che intercorre tra fase iniziale e l'incendio generalizzato è molto breve, pertanto l'intervento con estintori e idranti diventa spesso inefficace (Menin S. 2003). La probabilità d'insorgenza di un incendio, se confrontata con altre attività produttive, diventa maggiore nelle attività agricole, poiché nelle vicinanze delle fonti d'innesco si trovano spesso sostanze facilmente combustibili cosicché le condizioni per un incendio sono sempre presenti (Figura 1): sostanze combustibili, fonti d'innesco e ossigeno. Menin S., 2003 propone, dal punto di vista pratico, le possibili e principali cause d'incendio in azienda agricola, che rappresentano, di fatto, le tipiche lacune che si manifestano sistematicamente:

- carenze costruttive: per la mancanza di pareti tagliafuoco o comparti antincendio, l'incendio si può propagare. Camini difettosi possono causare incendi con gravi danni se le distanze tra gli edifici sono insufficienti. Molto spesso, soprattutto nei vecchi edifici e per motivi di spazio, abitazione e edificio agricolo o stalla sono adiacenti (in questo caso una porta tagliafuoco impedirebbe la

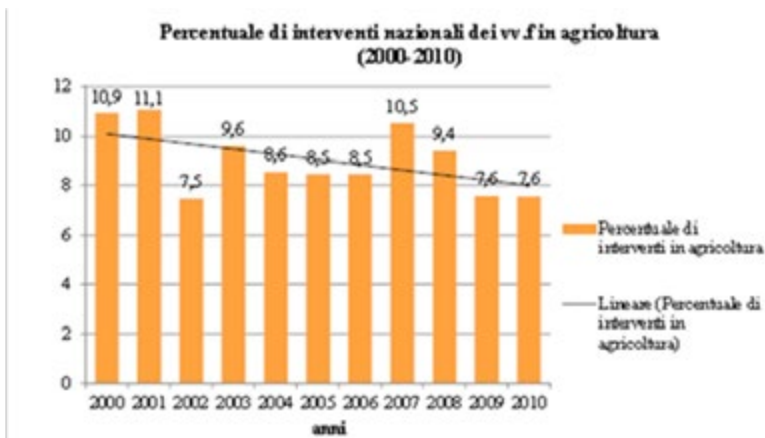


Fig. 1. Andamento degli interventi dei vigili del fuoco nelle aziende agricole (2000-2010)

propagazione); impianti elettrici: molto spesso sono non conformi o difettosi o autocostruiti e possono dare origine a principi d'incendio. Per questo con la legge 5 marzo 1990, n. 46 le ditte installatrici di impianti elettrici sono tenute a rilasciare il certificato di conformità per l'impianto realizzato secondo le norme vigenti e per gli impianti realizzati a regola d'arte;

- schiacciamento di un cavo elettrico: cavi e condotte devono essere protetti da danni meccanici dovuti allo schiacciamento mediante mezzi. Il cortocircuito produce scintille o archi elettrici ripetuti nel tempo, che vicino a sostanze infiammabili presenti comunemente al suolo (es. residui colturali) provoca conseguenze intuibili;
- parcheggio del trattore nel fienile: le trattrici non devono essere parcheggiate nel fienile;
- stoccaggio fienagione ed essiccazione granaglie: la fienagione può essere soggetta ad autocombustione per il calore prodotto nella fermentazione prodotta dai batteri.

Altre cause che possono provocare danni da incendio riguardano operazioni di saldatura, molatura, ecc.;

- lampade in genere: la superficie del bulbo può raggiungere temperature piuttosto elevate, ad esempio come riporta Menin, S., 2003 a seguito di prove, si consideri che una lampadina da 40 W raggiunge una temperatura di circa 155 °C, una da 100 W circa 200 °C;

Fire safety engineering

Con l'emanazione della direttiva 89/106/CEE concernente i prodotti da costruzione e la successiva pubblicazione del documento interpretativo del requisito n.2 (*"Sicurezza in caso d'incendio"*), è stato avviato anche in Europa il processo di sviluppo dei temi inerenti alla *Fire Safety Engineering* (ingegneria della sicurezza antincendio). Si è iniziato ad affermare in questo modo il concetto di approccio ingegneristico alla sicurezza antincendio quale metodo paritetico e alternativo all'approccio tradizionale basato sull'applicazione di regole tecniche che stabiliscono a priori, in maniera deterministica e vincolante, le misure di protezione adottabili (Ascenzi G., et al. 2010). Nell'ultimo decennio l'ingegneria antincendio (FSE) ha tratto vantaggio dal continuo progresso della fluidodinamica computazionale (CFD: *Computational Fluid Dynamics*), sia nell'ambito della ricerca per la modellazione dei fenomeni fisici, che dal punto di vista dell'implementazione tecnologica di tali modelli mediante algoritmi di calcolo. In parallelo numerosi istituti di ricerca e università hanno sviluppato codici di calcolo specifici per l'analisi ad esempio del comportamento degli occupanti di un fabbricato in caso d'incendio. L'approccio basato sulla simulazione del fenomeno d'incendio, grazie al-

la modellistica di calcolo, sta diventando maturo al punto tale da essere impiegato, con discreti risultati, anche nell'ambito della cosiddetta "Fire Investigation" ossia l'analisi forense del fenomeno d'incendio al fine di poter caratterizzare cosa sia accaduto, con buona probabilità, nell'ambito di un determinato incidente.

Obiettivi dello studio

- L'analisi pertanto si propone di sviluppare due tipologie di obiettivi:
- a) obiettivo generale: sviluppo di un'analisi approfondita relativa al rischio incendio nel settore primario;
 - b) obiettivo specifico: indagine sullo stato dell'arte, criticità e casistiche specifiche dell'agricoltura nazionale.

Altri obiettivi di carattere specifico del lavoro riguardano:

- lo sviluppo di uno strumento per il rilievo del rischio incendio in azienda agricola;
- la definizione di modelli per la gestione delle emergenze nello scenario di incendio (applicazione della FSE all'interno del contesto agricolo);
- la progettazione/implementazione di strumenti per il miglioramento delle condizioni di allevamento zootecnico.

Metodologia

Con il fine di analizzare gli aspetti riguardanti la sicurezza antincendio del comparto agricolo, è stata implementata una procedura metodologica suddivisa nelle seguenti fasi (Fig.2.):

1. realizzazione di uno strumento analitico per l'analisi del comparto;
2. creazione metodologia di rilievo all'interno del contesto aziendale;
3. definizione di strumenti operativi in base agli scenari di rischio individuati;
4. progettazione di nuovi strumenti per la gestione delle emergenze.

Per quando riguarda la fase analitica si è sviluppata nell'area del nord est Italia ed ha visto un campionamento di 60 aziende agricole e zootecniche nel periodo compreso tra gennaio 2010 e maggio 2011. nello schema seguente viene sintetizzato il modello utilizzato per il rilievo.

Dal pacchetto informativo fornito con l'analisi dei risultati ottenuti dalla check list (Tab.1.), è scaturita la necessità di creare strumenti pratico/operativi fruibili da molteplici figure, nell'ambito degli allevamenti zootecnici. L'obiettivo in questo senso, è stato quello di sviluppare e im-

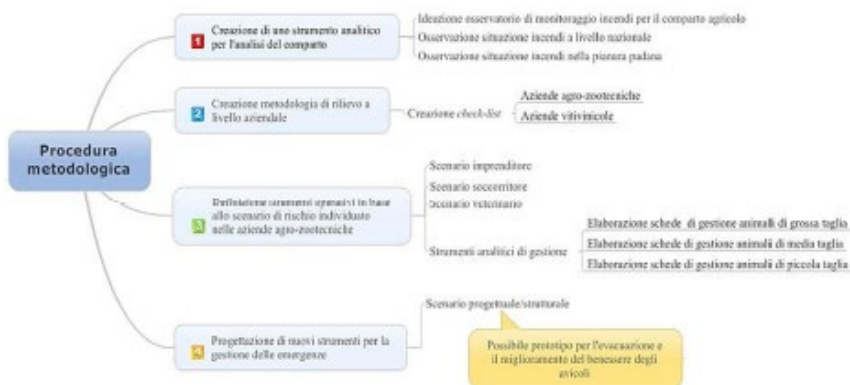


Fig. 2. Metodologia di lavoro

Tab. 1. Moduli di rilievo all'interno per l'analisi del contesto aziendale

Indicatore di modulo	Indicatore di sottomodulo	Note relative
Mod. 1:	- Generalità aziendali	
	1-a)	Anagrafica
	1-b)	Tipologia aziendale
	1-c)	Dimensione aziendale
	1-d)	Zootecnica
	1-e)	Altri animali/insetti presenti in azienda
	1-f)	Indirizzo produttivo prevalente
Mod. 2:	- Adempimenti vari e gestione delle emergenze	
	2-a)	Adempimenti normativi specifici
	2-b)	Impianti elettrici
	2-c)	Figure di riferimento dell'azienda
	2-d)	Documentazione aziendale in caso di emergenza
	2-e)	Altri adempimenti
Mod. 3:	- Fienili, allevamento animali, dotazioni antincendio, assicurazioni, ecc	
	3-a)	Fienili nello specifico
	3-b)	Animali
	3-c)	Aspetti interventistici in caso d'emergenza
	3-d)	Assicurazione eventi incendiari
Mod. 4:	- Fitosanitari	
	4-a)	Generalità
	4-b)	Modalità di stoccaggio
Mod. 5:	- Prodotti per la detersione/lavaggio	
Mod. 6:	- Combustibili	
Mod. 7:	- Aspetti specifici	
Mod. 8:	- Questionario specifico a risposta aperta	

plementare schede tecnico/logiche di comportamento secondo possibili situazioni di rischio in funzione alla realtà operativa considerata. Ogni scheda tecnica è stata concepita mediante il perseguimento di molteplici specifiche operative di realizzazione, a seguito sintetizzate:

- logicità schematica, semplicità, funzionalità;
- presenza di istruzioni operative;
- una scheda operativa per evento di rischio;
- spiegazioni specifiche e puntuali per scenario;
- ipotesi di procedure estreme;

Le figure di riferimento che possono essere coinvolte nell'attività d'intervento in caso di rogo aziendale, nel settore agro-zootecnico, sono:

- il soccorritore (Corpo dei Vigili del Fuoco): figura preparata professionalmente e
- addestrata per affrontare avversità d'incendio che si possono manifestare nel contesto aziendale agricolo ma, di fatto, alla luce dell'approccio con animali irritati o spaventati possono nascere difficoltà di gestione, soprattutto alla presenza di animali di grossa taglia o selvatici;
- l'imprenditore: figura non preparata dal punto di vista tecnico (al massimo con generica preparazione) ad affrontare criticità come un incendio, tuttavia esplica un importante ruolo in situazioni critiche perché dotato di grande familiarità con gli animali di proprietà, conoscendone comportamenti, irascibilità, ecc.;
- il veterinario: figura che conosce in maniera approfondita gli aspetti comportamentali degli animali e che può intervenire nel contesto qualora si verificassero condizioni estreme di non gestibilità da parte delle figure precedenti, a causa di animali spaventati o fortemente suscettibili all'irritazione.

Si pone inoltre in rilievo un concetto caratterizzante che indica come la figura del soccorritore e del veterinario facciano parte del contesto extra aziendale, mentre l'imprenditore ovviamente parte del contesto intra-aziendale.

Risultati

La situazione relativa agli incendi nelle aziende agricole

Dalla conduzione dell'osservatorio incendi emergono importanti informazioni riguardo alle aziende operanti nel settore primario. Il primo risultato analitico raggiunto fa il punto sulle persone coinvolte in

maniera diretta o indiretta, nei sinistri aziendali³³. Il (Grafico 1) rende evidente su base quindicennale e per il periodo indicato, ben 23 persone implicate, comprendenti molteplici figure (titolari, operai, ecc.), con età variabile. Allo stesso modo il numero dei decessi causa carbonizzazione, pari a 8 individui, appare molto rilevante e certamente non trascurabile.

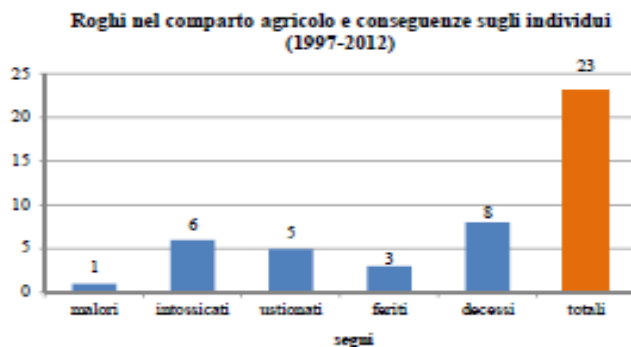


Fig. 3. Eventi lesivi di incendi presso aziende agricole ed agro-zootecniche

Approfondendo il tema riguardante la propagazione degli incendi e sulla base del contesto aziendale e dell'edificio rurale, frequentemente i depositi di materiale facilmente infiammabile (es. fienili), diventano il presupposto per amplificare la propagazione dell'incendio a strutture adiacenti, determinando in certi casi l'incontrollabilità dell'evento da parte delle Autorità locali e costringendole a richiedere unità speciali di appoggio a scala regionale.

Il grafico rappresentato in figura 4 evidenzia la presenza di numerosi ambienti o situazioni che in via diretta o indiretta possono essere implicati in un incendio. Nel periodo temporale indicato i fienili con 47 casi di coinvolgimento, appaiono l'area aziendale più interessata. È evidente che la giustificazione a ciò risieda nella pratica aziendale perseguita. Spesso le metodiche di accatastamento dell'imballato non vengono per nulla curate, anzi per una questione legata a tempi lavorativi, si tende a eseguire l'accasamento del materiale o in maniera disordinata o comunque poco attenta. Durante l'attività di rilievo all'interno del campione si è affermata la necessità di porre particolare attenzione riguardo agli adempimenti normativi delle singole aziende, al fine di dare un maggior rilievo alla tematica cardine oggetto di studio riguardante la sicurezza antincendio. In particolare, l'obbligo di adempimento specifico alla valutazione dei rischi, come da disposizione di legge (d.lgs. 81/2008), non è ottemperato per il 31% delle aziende campionate (Grafico 3). Per contro

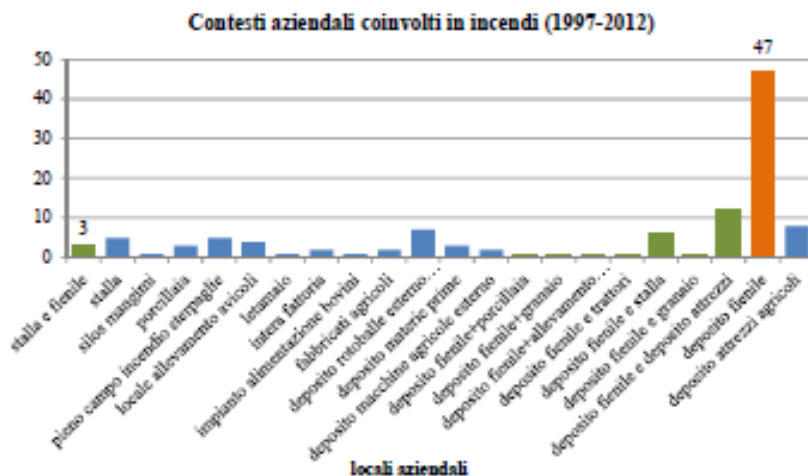


Fig. 4. Eventi per tipologia di aree dell'edificio

il 63% si rivolge a enti preposti, solo il 6% stila una semplice autocertificazione. Le realtà che si rivolgono agli enti preposti autorizzati al fine perseguire gli ordinamenti, riguardano solo le medio-grandi aziende.

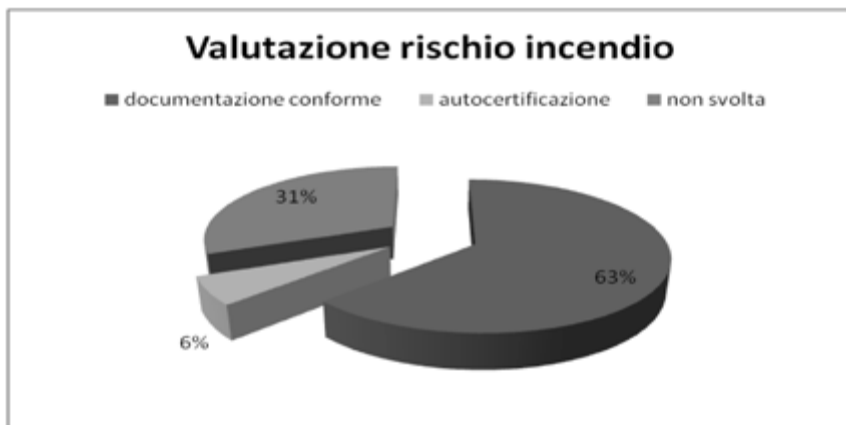


Fig. 5. Valutazione del rischio incendio

Il lavoro sviluppato propone per tanto una nuova tipologia di approccio della sicurezza applicata alle aree di allevamento, infatti, oltre all'aspetto

di management e di benessere animale, occorre soffermarsi su certi elementi specifici di progettazione. Lo studio propone come risultato un intervento per migliorare la gestione dell'emergenza incendio relativa a: 1) area/e di allevamento bovini (sistema di movimentazione);

Di seguito si propone la riprogettazione di una stalla per la diminuzione del rischio incendio e per la diminuzione del rischio interferenza tra animale e uomo nelle fasi dell'emergenza.

- a. sensore/i fumo presente (rilevatore elettronico): per mantenere una certa efficienza di funzionamento si prevede la necessità di pulizia dei sensori dai depositi di polvere;
- b. sensore/i di temperatura (rilevatore elettronico): stesse considerazioni del punto (a.);
- c. attuatore elettroidraulico di apertura dei *paddock* o comunque delle zone di stazionamento;
- d. centralina elettronica di controllo, misura e gestione;
- e. area sicura di sfogo all'esterno con corridoio di connessione, recintato e con sistemi di alimentazione ausiliari.



Fig. 6. Sviluppo e funzionamento del sistema integrato all'interno dell'edificio

La dinamica di sistema può essere così schematicamente riassunta:

- a. rilevazione condizioni di temperatura e presenza fumo;
- b. valori elaborati dalla centralina principale;
- c. determinazione dell'azione da conseguire implementata da un software;
- d. azionamento degli attuatori elettroidraulici.

In presenza di una situazione anomala, il sistema definisce l'apertura di un portone o più (normalmente presenti negli allevamenti zootecnici, permettendo la rapida evacuazione degli animali in maniera automatica e senza l'intervento diretto dell'uomo)

Conclusioni

Il lavoro proposto ha permesso di evidenziare numerose problematiche di settore, sollevando le principali carenze tecnico-pratiche presenti nelle aziende agro-zootecniche. Alla luce delle condizioni preoccupanti rilevate, i dettagli informativi forniti dalla check list applicata su scala aziendale, quindi nella realtà pratica, apportano interessanti informazioni al contesto trattato:

- In particolare sono stati analizzati e rilevati i seguenti punti critici:
 - la valutazione dei rischi: ad oggi, non è ancora perseguita dal 31% delle aziende indagate e nemmeno la valutazione rischio incendio (D.M. 10/3/98). Il 50% indica un livello di rischiosità “basso” e conferma il possesso del certificato di prevenzione incendi;
 - individuazione del personale atto alla gestione delle emergenze: il 53% delle aziende non indica (né forma), nessuna figura;
 - un elemento tecnologico raramente presente ma necessario a scopo di prevenzione incendi, riguarda i rilevatori antincendio: il 73% delle aziende non è dotato;
 - stoccaggio della fienagione: in 4 aziende su 9 si rileva l’assenza di intercapedini per il passaggio dell’aria tra le forme stoccate, con il rischio di autocombustione, inoltre
 - l’82% delle aziende utilizza le aree di deposito dei fienili per il parcheggio/rimessaggio dei mezzi agricoli.
- tra gli aspetti positivi individuati:
 - il deposito attrezzature agricole: nel 69% delle aziende esistono costruzioni rispondenti ai requisiti di legge, disegnando così una situazione di conformità.

Il lavoro pone le basi per sviluppare un ulteriore fase di studio per identificare nel futuro delle buone pratiche e delle linee guida nella gestione della sicurezza nelle aziende agricole, visto e considerato che la maggior parte degli incidenti è cagionato da comportamenti ed usi scorretti.

Bibliografia

- Ascenzi G., Villi G., Vulpiani G. (2010). *Ingegneria della sicurezza antincendio, Guida all’utilizzo di FDS*. Palermo: Flaccovio Editore.
- Businelli S. (2011). *Coltiviamo salute e sicurezza nei luoghi di lavoro*. Università degli Studi di Perugia, Servizio di Prevenzione e Protezione, 1-46.
- Gubiani R., Cividino S., Vello M., Vio C. (2008). *Sino a 100000 € per la sicurezza in stalla*. *IZTecnica bovini*, 18, 60-78.
- Menin S. (2003). *Prevenzione incendi nelle aziende agricole*. *Provincia autonoma di Bolzano –Alto Adige*, 13-32.
- Vega Engineering (2011). *Osservatorio sicurezza sul lavoro: rapporto annuale*. *Vegaengineering*, 1-56.

METODOLOGIE DI BIOARCHITETTURA PER IL RECUPERO SOSTENIBILE DELLE COSTRUZIONI RURALI

A. Lista, C. Sica, P. Picuno

*Dipartimento Tecnico-Economico per la Gestione del Territorio Agricolo-Forestale
- DITEC - Università degli Studi della Basilicata*

Riassunto. Le diverse civiltà di tutto mondo hanno prodotto i loro stili architettonici in base alle condizioni locali, integrando i parametri ambientali nella progettazione. La progettazione bioclimatica utilizza tecnologie e principi di costruzione basati su un nuovo approccio per il clima e l'ambiente. Essa riguarda l'orientamento rispetto al sole e al vento, le proporzioni delle costruzioni, la spaziatura, il movimento dell'aria, le aperture, le pareti, i materiali da costruzione e i dettagli della struttura del tetto. Nel presente studio sono state esaminate le metodologie costruttive tradizionali e la loro risposta al clima, delle costruzioni rurali tradizionali presenti nella Valle del Sinni, nella Regione Basilicata, al fine di analizzare il rapporto tra sito, costruzione e caratteristiche climatiche. Nella maggior parte di queste costruzioni, realizzate utilizzando materiali disponibili in loco come l'argilla, il legno, la canna, la pietra e la calce, sono stati riscontrati dispositivi solari passivi, in grado di consentire un controllo della temperatura ottenuto grazie a soluzioni architettoniche in grado di favorire la ventilazione naturale. Tali costruzioni storiche rappresentano così esempi unici di una progettazione edile sostenibile, che andrebbero oggi valorizzati, anche al fine di promuovere l'impiego di tecniche di bioedilizia nella realizzazione di fabbricati moderni.

Parole chiave: bioarchitettura, edilizia bioclimatica, costruzioni tradizionali, materiali locali.

Summary. The different civilizations around the world have produced their architectural styles according with local conditions, integrating environmental parameters in the design. The bioclimatic design uses technologies and design principles based on a novel approach to the climate and the environment. It refers to the orientation relative to the sun and wind, the proportions of the buildings, spacing, air movement, and doors, walls, building materials and details of the roof structure. In the present study the building methods and their response to climate of some traditional rural buildings in the Valley of Sinni, in the Basilicata Region were examined in order to analyze the relationship between site, building and climatic characteristics. In most of these buildings, constructed using locally available materials such as clay, wood, cane, stone and lime, passive solar devices, capable of allowing a temperature control achieved through architectural solutions able to favor the natural ventilation were found. These historic buildings are therefore unique examples of a sustainable building design, which should be valorized today, even in order to improve the use of green building techniques in modern construction.

Keywords: bioarchitecture, bioclimatism, vernacular buildings, local materials.

Introduzione

L'architettura degli insediamenti rurali di un dato contesto territoriale rispecchia gli aspetti culturali delle popolazioni che lo hanno abitato nel passato, le loro abitudini, le tradizioni e gli aspetti della vita quotidiana. La definizione delle attuali tipologie di architettura rurale è il risultato delle sperimentazioni di diversi metodi costruttivi, rappresentando l'espressione delle soluzioni che meglio hanno saputo rispondere alle funzioni che sono state chiamate ad assolvere, all'andamento delle condizioni climatiche che hanno interessato il luogo, attraverso l'impiego di materiali locali a disposizione dei costruttori e alla semplicità dei metodi costruttivi, fino ad allora conosciuti. Si tratta di metodologie costruttive allo stesso tempo attente dell'estetica ma particolarmente incentrate sull'integrazione del costruito nel paesaggio circostante, soluzioni semplici ed economiche, realizzate attraverso un uso razionale delle risorse disponibili, al fine di garantire un maggiore rispetto per l'ambiente ponendo grande attenzione al controllo del clima per mantenere le condizioni di comfort all'interno dell'edificio.

La bioedilizia costituisce l'espressione di una tipologia costruttiva ecologicamente ed energeticamente sostenibile, basata sullo sfruttamento di principi naturali come la radiazione solare e le proprietà dei materiali localmente disponibili. Evolve nel tempo riflettendo, puntualmente, l'evoluzione dell'ambiente e delle diverse culture rispetto ai mutamenti climatici. Pertanto, si configura come una tipologia architettonica dalla forte adattabilità e propensa alla sostenibilità ambientale.

Il territorio indagato è la Valle del Sinni, a Sud della Regione Basilicata. Esso, per via dell'antica tradizione contadina posseduta, ben si presta allo studio delle metodologie costruttive rurali tradizionali. Semplificata, è anche la comprensione dei meccanismi di progettazione passiva in relazione alla radiazione solare incidente e all'azione dei venti dominanti.

Bioarchitettura e progettazione bioclimatica

La bioarchitettura integra i concetti dell'architettura con il microclima locale e le esigenze di comfort degli abitanti, rispettando l'integrità dell'ambiente (Sayigh *et al.*, 1998).

Altri studi sull'architettura tradizionale hanno rilevato l'importanza della progettazione bioclimatica come garanzia per la sostenibilità della moderna progettazione architettonica (Gallo, 1994).

Gli edifici tradizionali sono spesso considerati come i predecessori della moderna progettazione bioclimatica (Coch, 1996), che tende ad instaurare un rapporto equilibrato tra l'ambiente e il costruito, in modo da esprimere il rispetto ecologico, assicurando, al contempo, la sobrietà

della forma e il funzionamento del sistema costruito. Ricerca soluzioni a risparmio energetico che sappiano superare le problematiche legate al clima a livello locale soddisfacendo anche esigenze di luminosità e acustica degli esseri umani. Si basa sulla fisica delle costruzioni, cioè, sulle caratteristiche che un edificio deve avere per consentire alla luce solare e al flusso dell'aria, quando necessario, di entrare nell'involucro edilizio, in alcune ore del giorno e in determinati periodi dell'anno (Szokolay, 2004).

I moderni materiali da costruzione come il cemento, l'acciaio e i mattoni sono ad alto consumo energetico. Gli studi dimostrano che il costo di energia in essi incorporata, e il loro costo economico possono essere notevolmente ridotti applicando criteri di progettazione reattivi nei confronti dei mutamenti del clima (Gallo, 1998).

La progettazione di un edificio ad alta efficienza energetica ha il potenziale per ridurre le emissioni di anidride carbonica nell'ambiente di oltre il 60%. La progettazione di edifici adattabili al clima diventa una necessità piuttosto che un'opzione ai fini del risparmio energetico e la riduzione delle emissioni di carbonio (Tzikopoulos *et al.*, 2005). Una costruzione bioclimatica dimostra che un edificio può essere considerato come un essere vivente integrato nel paesaggio in cui è inserito (Vissilia, 2009). È generalmente accettato che l'architettura tradizionale ben si adatta al clima dominante dei dintorni. Le strategie bioclimatiche impiegate nelle costruzioni tradizionali rispondono correttamente alle condizioni imposte dal clima (Cañas *et al.*, 2004).

La realizzazione di soluzioni sostenibili vede l'ambiente e le tradizioni non come fattori complementari l'uno all'altro, ma come prerequisiti (Mohammed, 2004).

Pertanto, le soluzioni dell'architettura tradizionale non sono da sottovalutare, ma richiedono una sistematica e dettagliata comprensione scientifica (Coch, 1996). L'orientamento degli edifici che meglio ha saputo sfruttare l'energia solare, è stato impiegato in Grecia già oltre 2500 anni fa. Qualche secolo più tardi, le terme romane sono state progettate in modo da intercettare la massima radiazione solare attraverso la realizzazione di finestre esposte a sud (Tzikopoulos, 2005).

In India *Fatehpur Sikri, Agra e Red Fort, Delhi* sono eccellenti esempi di progettazione architettonica solare passiva. Le civiltà antiche hanno perfezionato la propria tradizione architettonica adattandola alle condizioni locali. Nel tempo hanno definito meccanismi che, senza l'impiego di energia artificiale, garantiscono condizioni di comfort all'interno dei volumi fabbricati (Plemenka, 1982).

L'architettura tradizionale della zona meridionale della Regione Basilicata comprende strutture, funzionali alla vita rurale, progettate e costruite con materiali locali, per soddisfare le esigenze degli abitanti di tali zone. Queste tipologie di edifici, caratteristici nella forma, hanno un costo di produzione assai ridotto essendo realizzati con materiali "pove-

ri” assai diffusi nella zona. Un materiale di sovente utilizzato nella costruzione di case rurali in talune zone, dove vi affiora abbondantemente, è l’argilla, sabbiosa e azzurra, in blocchi asciugati al sole, detti “ciucioli”. La loro diffusione in questo areale è spiegata, oltre che dalla presenza di argilla, anche dalla scarsità di pietrame grezzo e quindi dal suo costo elevato (De Grazia, 2000).

Materiali e metodi

Area di studio: posizione geografica e climatologia

La Regione Basilicata si caratterizza da un clima tipicamente Mediterraneo, con estati calde e inverni piovosi. A parte le isole, è la regione italiana con la più alta radiazione globale al suolo, con un minimo di 6 MJ/m² al giorno nei mesi più freddi, fino a 24 MJ/m² nei mesi caldi. Per quanto riguarda i venti dominanti, in questa zona troviamo venti tirrenici, maestrale e libeccio, che trovano ostacoli parziali da parte della catena appenninica (De Stefano *et al.*, 2000). Ricca di materiali argillosi, pietrosi e legnosi con buone caratteristiche meccaniche, rende possibile la realizzazione di volumi confinati stabili, senza dover importare materiali dall’esterno.

La Valle del Sinni è un’area interna della Regione Basilicata, con una particolare conformazione vallivo - pianeggiante, storicamente vocata alla coltivazione di orticole di grande pregio. Infatti, essa sin dalla scoperta del nuovo continente, ha ospitato, con successo, la coltivazione delle colture orticole di nuova introduzione.

L’areale indagato è il territorio agricolo del Comune di Senise, situato a un’altitudine di 350m sopra il livello del mare, ad una latitudine Nord di 40°8’53” e una longitudine Est di 16°17’24”.

La dotazione di una stazione meteorologica situata in località Piano della Maniche, nel Comune di Senise, ha consentito di ottenere dati climatici locali precisi (Tab.1).

Gli indicatori di Mahoney

Gli indicatori di Mahoney (Vissilia, 2009), attraverso l’impiego di dati climatici locali, sono in grado di fornire delle linee guida sulla progettazione bioclimatica preliminare di una costruzione. Le indicazioni ottenute riguardano: la disposizione, la spaziatura, la ventilazione, le dimensioni e posizione delle aperture, protezione pareti e tetti. L’immissione dei dati meteorologici del Comune di Senise nelle tavole di Mahoney ha restituito le seguenti indicazioni:

- Orientazione: edifici disposti prevalentemente lungo l’asse longitudinale Est -Ovest;

Tab. 1. Dati climatici della stazione metrologica di Semise, località Piano delle Maniche.

	Mese											
	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Temperatura max (°C)	12,1	13,6	14,8	19,5	22,7	28,8	32,6	35,0	30,5	21,6	16,8	14,2
Temperatura media (°C)	6,3	7,3	9,2	12,9	16,3	21,6	24,7	25,7	22,3	15,1	10,9	8,8
Temperatura min (°C)	10,0	11,4	10,1	12,6	12,3	13,4	15,0	17,6	14,5	11,6	10,1	9,7
Umidità relativa max (%)	100	99	99	99	100	96	90	89	95	98	100	98
Umidità relativa media (%)	91	81	84	79	81	72	62	58	71	81	92	83
Umidità relativa min (%)	69	52	58	54	53	44	34	29	40	52	65	59
Q.tà di precipitazione (mm)	47,8	87,4	109,0	57,2	71,0	12,4	48,2	0,4	189,4	145,4	232,8	2,2
Venti prevalenti	W	Var	SW	NE	SW	S	S	S	SW	NW	W	S

Fonte: ALSIA (2011).

- Spaziatura: realizzata secondo volumi compatti;
- Ventilazione: realizzazione di ventilazione di tipo naturale in ambienti unici, senza la presenza di divisione degli spazi interni. Ogni singolo piano è infatti destinato integralmente ad ospitare zona giorno o zona notte;
- Aperture: ampie mediamente il 30 - 50% del totale della parete;
- Posizione delle aperture: aperture esposte a Sud e a Nord, ad altezza dell'occupante in elevazione sopravvento;
- Protezione delle aperture: protezione contro la pioggia;
- Pareti e pavimenti: scarsa luminosità riflessa;
- Tetti: leggeri e ben isolati.

Analisi dell'architettura locale tipica: le costruzioni in "ciucioli" di Senise

Di particolare rilevanza, nello studio della caratterizzazione architettonica rurale locale, si è rilevata la presenza di caratteristiche strutture edilizie costruite con blocchi in argilla cruda unita a paglia: i *ciucioli di Senise* (Fig. 1). Gli elementi costitutivi sono preparati riducendo l'argilla in polvere per poi impastarla con acqua. È frequente l'aggiunta di materiale legnoso fibroso, prevalentemente paglia, per rafforzare i blocchi e impedire loro il facile sfaldamento in caso di frane o di piccoli smottamenti al fine di aumentarne le caratteristiche strutturali e d'isolamento termico. Quando l'argilla assume uno stato abbastanza solido, si confezionano blocchi di forma parallelepipedica, a base rettangolare, messi in seguito a disseccare al sole.

Nella seconda metà del secolo scorso la realizzazione della Diga di Monte Cotugno, nel territorio del Comune di Senise, a valle del Fiume Sinni, dove si concentrava l'attività agricola, cancellò importanti reperti di tale architettura. Importanti ritrovamenti si rinvennero nella parte periferica dell'attuale centro abitato, ma che in passato ospitava l'attività contadina. In contrada Pantanello, in prossimità del Torrente Serrapotamo, si ritrova, anche allo stato attuale, la maggiore concentrazione di costruzioni in ciucioli (Fig. 1)

Al fine di impostare un'analisi tipologica di tali esempi di edilizia rurale tradizionale, sono stati individuati sul territorio alcuni manufatti rurali prescelti in modo da costituire un campione rappresentativo della reale consistenza. Il campione così realizzato indica una forte prevalenza (70% circa del totale) di manufatti di piccole dimensioni, mentre la restante parte è occupata da manufatti maggiormente strutturati, a testimonianza della forte presenza sul territorio di una maggiore concentrazione di piccole realtà contadine. Si è proceduto al loro rilievo, alla misurazione di superfici opache, aperture, spessore muri e pareti interne, all'identificazione dei materiali e metodologie impiegati nelle costruzioni, al fine di comprendere le *performances* energetiche delle costruzioni analizzate



Fig. 1. Fabbricati in “ciucioli” di Senise. In a): manufatto in argilla cruda a un piano. In b): distribuzione case rurali in ciucioli situate in Contrada Pantanello, in agro del Comune di Senise (De Grazia, 1942).

in funzione del loro comportamento rispetto ai movimenti del sole e, quindi, al trasferimento di calore e al passaggio dell’aria.

La consultazione di foto storiche, risalenti alla prima metà del secolo scorso unitamente alla consultazione del materiale bibliografico, disponibile in materia, sono stati utili per individuare gli usi ai quali tali costruzioni erano destinate, dato, questo, importante ai fini della comprensione dell’utilizzazione delle superfici, in termini di divisione degli ambienti.

Risultati e discussione

Un’analisi dettagliata delle abitazioni osservate ha portato all’individuazione di due principali modelli costruttivi, dalle forme semplici ed essenziali, definite principalmente da murature esterne massicce organizzate in strutture e dimensioni diverse in funzione della loro destinazione d’uso. Si tratta di una prima tipologia di manufatti, di piccole dimensioni a un piano, e una seconda tipologia di dimensioni più grandi, a due piani.

La prima tipologia (Figg. 2 e 4) comprende costruzioni composte di un solo vano a piano terra, con pavimento in terra battuta affiancati da piccole strutture con funzione di magazzino o, comunque, di piccoli laboratori ausiliari, all’attività contadina svolta nei mesi che vanno da febbraio a ottobre. Sono presenti muri perimetrali spessi 0,40 - 0,50 m, aperture ampie oltre un terzo della lunghezza del muro, sul lato esposto a Sud. Sulla parete a Sud è collocata un’ampia porta e, a volte, piccoli lucernari. Le pareti esposte a Ovest e a Nord, presentano piccole finestre che, a volte, possono mancare. Il tetto a due falde, unico per l’intero complesso edilizio, presenta ampie gronde che impediscono l’infiltrazione di acqua lungo le pareti. Queste piccole abitazioni svolgono funzione di riparo giornaliero per i contadini impegnati a lavorare nei campi nella colti-

vazione di orticole a ciclo vegetativo primaverile, estivo ed autunnale.

La seconda tipologia di costruzioni (Figg. 3 e 5) comprende manufatti disposti su due piani, destinati a ospitare la vita d'interne famiglie, per tutto l'arco dell'anno. Essi contano superfici più ampie. Il piano terra accoglie la cucina dotata di camino, la stalla e/o il magazzino. Il primo piano, al quale si giunge per via di una scala esterna in legno o in argilla, presenta una o due camere da letto e, a volte, anche il fienile. I divisori interni, quando presenti, sono realizzati con materiali leggeri, come canne e paglia impastate con argilla e rivestite con malta e calce, o in mattoni in terra cotta. Il pavimento al primo piano, al contrario di quello in terra battuta del piano terra, è realizzato con un rivestimento in mattoncini di terracotta per la zona delle camere da letto.

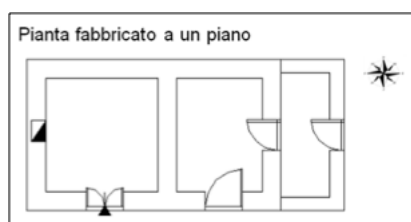


Fig. 2. Pianta di fabbricati in ciucioli di Senise a un piano.

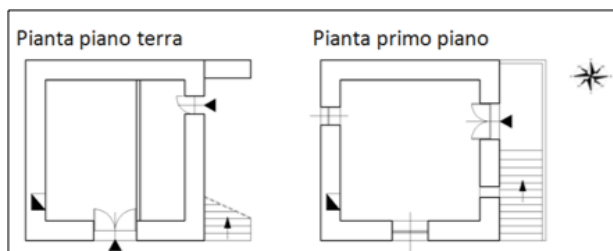


Fig. 3. Pianta di fabbricati in ciucioli di Senise a due piani.

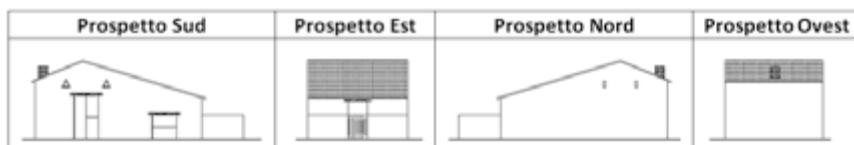


Fig. 4. Prospetti di fabbricati in ciucioli di Senise ad un piano.



Fig. 5. Prospetti di fabbricati in ciucioli di Senise a due piani.

In entrambi i casi, il basamento in pietrame dei muri perimetrali, a diretto contatto con il terreno, supporta il carico della struttura e la isola dall'umidità trasmessa dal terreno.

I materiali impiegati, oltre all'argilla sono pietrame, canna comune, tralci di vite derivante dai residui di potatura e legno di quercia e di abete; tutti ad alta tenuta termica e a basso impatto ambientale.

I movimenti del sole nella volta celeste, nelle varie stagioni, appaiono essere stati adeguatamente considerati e studiati. Le costruzioni in *ciucioli* hanno sezione quadrata o rettangolare. Nel secondo caso, sono disposte prevalentemente secondo un asse longitudinale in direzione E-O, con esposizione dei due lati lunghi a Nord e a Sud. In questo modo è favorita l'intercettazione dell'irraggiamento solare sulle pareti e sulle aperture presenti sul versante esposto a Sud al fine di scaldare e illuminare gli ambienti interni soprattutto in giornate invernali corte e poco interessate da una radiazione solare incisiva. La presenza di murature spesse permette un buon isolamento termico dell'involucro per conservare il calore accumulato.

Sui lati esposti a Nord e a Ovest solo in rari casi, sono presenti aperture di piccole dimensioni, al fine di ridurre l'entrata di radiazione solare nei mesi più caldi. In questo periodo la protezione dell'edificio dal sole è garantita anche dalla realizzazione di ombreggiamento mediata dalla presenza di vite allevata a pergola sul lato esposto a Sud. Tale arbusto rampicante, per la natura a foglia caduca, permette la protezione dall'azione diretta del sole nei mesi estivi, mentre in quelli invernali consente l'intercettazione della radiazione solare per l'assenza delle foglie.

Le porte, a due battenti, orizzontali o verticali, sono ampie ed esposte a Sud.

Le pareti, solo raramente, sono intonacate con malta.

In attenta considerazione sono stati tenuti i venti predominanti della zona in modo da smorzare prevalentemente quelli più caldi d'estate, con la presenza di vegetazione alta sul versante Sud dell'edificio. La presenza del camino, per via della differenza di densità dell'aria, permette la

ventilazione naturale del volume confinato, con un'estrazione dell'aria più calda che, stratificata nei livelli più bassi, è richiamata verso l'alto, con contemporaneo ingresso di aria più fresca dall'esterno. In presenza di una differenza crescente di temperatura tra l'interno e l'esterno, aumenta così il movimento spontaneo dell'aria e, quindi l'effetto camino, che attiva il meccanismo di ventilazione naturale e l'infiltrazione dell'aria all'interno da porte, finestre e prese d'aria diverse.

I tetti sono realizzati internamente a "*incannucciata e fango*" (Fig. 6) per consentire l'isolamento termico, mentre all'esterno sono ricoperti con semplici tegole in laterizio per agevolare il deflusso di pioggia e neve.



Fig. 6. Particolare facciata interna di tetto in cannuce e argilla.

La presenza di prato o comunque di vegetazione nelle immediate vicinanze, contrariamente a quanto accade per l'asfalto urbano, svolge funzioni di raffreddamento dell'aria nelle giornate estive per via dell'evapotraspirazione.

Conclusioni

Le tipiche costruzioni in argilla cruda rappresentano una tipologia costruttiva che, attraverso l'applicazione di materiali naturali e tecnologie costruttive perfezionate in base alle esigenze dettate dal luogo, permette l'isolamento termico favorendo le giuste condizioni di abitabilità e di comfort al suo interno senza dover ricorrere a sistemi meccanici. L'impiego di materiali naturali, riducendo l'impatto ambientale, contribuisce alla realizzazione di un'architettura sostenibile. Tali costruzioni si sono rilevate adatte ai cambiamenti climatici grazie ai criteri di progetta-

zione mirati e, pertanto, potrebbero rappresentare la base costruttiva da tutelare e valorizzare per il recupero sostenibile delle costruzioni rurali.

L'analisi delle metodologie costruttive tradizionali dell'architettura rurale, condotta sulle costruzioni in *ciucioli* di Senise, ha evidenziato una significativa rispondenza tra i criteri progettuali impiegati a livello locale oltre cento anni fa, e le moderne indicazioni progettuali restituite dalle tavole di Mahoney per la progettazione climatica preliminare. La prosecuzione nello studio di tali esempi di edilizia rurale storica prenderà in considerazione ulteriori parametri utili a comprendere meglio tutti i meccanismi coinvolti nella loro progettazione bioclimatica.

Bibliografia

- ALSIA - Agenzia Lucana di Sviluppo e di Innovazione in Agricoltura - 2011. Dati climatici stazione meteorologica di Senise (PZ).
- Cañas I., Martín S., (2004). Recovery of Spanish vernacular construction as a model of bioclimatic architecture. *Building and Environment* 39. 1477 - 1495.
- Coch H., (1996). Bioclimatism in vernacular architecture. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2(1-2):67-87.
- De Grazia P., (2000). La Valle del Sinni, in: *La casa rurale nella Lucania*, Franciosa L. Firenze, CNR, 69-71.
- De Stefano A., Petrullo G., (2000). Cultura e territorio. Regione Basilicata.
- Gallo C., (1994). Bioclimatic architecture. *Renewable Energy*, 5(5-8):1021-7.
- Gallo C., (1998). The utilization of microclimate elements. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2:89-114.
- Mohammed A. E. S., (2004). Learning from tradition: the planning of residential neighborhoods in a changing world. *Habitat International*, 28 (4):625-39.
- Plemenka S., (1982). Vernacular architecture: a lesson of the past for the future. *Energy and Buildings*, 5(1):43-54.
- Sayigh A., Marafia H., (1998). Thermal comfort and the development of bioclimatic concept in building design. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2:3-24.
- Szokolay S., (2004). *Introduction to architectural science: the basis of sustainable design*. London: Elsevier Ltd.
- Tzikopoulos A. F., Karatza M. C., Paravantis J. A., (2005). Modelling energy efficiency of bioclimatic buildings. *Energy and Buildings*, 37(5):529-44.
- Vissilia A. M., (2009). Evaluation of a sustainable Greek vernacular settlement and its landscape: Architectural typology and building physics. *Building and Environment*, 44:1095-1106.

3ª SESSIONE

TENDENZE NELLA PROGETTAZIONE DI EDIFICI
AGRICOLI PER UN USO SOSTENIBILE DEL TERRITORIO

APPROCCIO PARAMETRICO ALLA PROGETTAZIONE DELL'EDILIZIA RURALE CON IL MODELLO FARMBUILD

D. Torreggiani, S. Benni, E. Dall'Ara, P. Tassinari

Sezione di Ingegneria del territorio, Dipartimento di Economia e Ingegneria Agrarie, Alma Mater Studiorum Università di Bologna

Riassunto. La qualità paesaggistica del territorio rurale è fortemente condizionata da quella del suo sistema costruito, non solo laddove le esigenze funzionali dell'attività agricola richiedono edificazioni consistenti, ma anche più in generale data l'elevata densità del sistema insediativo rurale in vasti ambiti del territorio nazionale. A partire da tale consapevolezza, obiettivo dello studio è la formulazione di una serie di parametri sintetici in grado di caratterizzare i principali connotati morfologici degli edifici rurali, al fine di consentire una valutazione del loro grado di coerenza con le tipologie edilizie tradizionali del contesto territoriale, alle quali è universalmente riconosciuto un fondamentale valore storico-culturale e identitario, in ragione dell'innato intimo legame con il paesaggio circostante. Lo studio sviluppa una fase specifica del modello FarmBuiLD, elaborato dagli autori per la formulazione di indirizzi per la progettazione degli edifici rurali con criteri di compatibilità paesaggistica, definiti a partire da obiettivi di coerenza storico-tipologica. Sulla base dell'analisi critica della letteratura scientifica e di approfondimenti sulle tipologie edilizie rurali tradizionali, sono stati definiti i seguenti parametri, riferiti alle principali caratteristiche fisionomiche della forma architettonica: *HW*, rapporto altezza/larghezza; *HL*, rapporto altezza/lunghezza; *EV*, rapporto fra volumi pieni e vuoti; *EW*, incidenza delle muraure perimetrali; *BFO*, rapporto di apertura dei fronti. Tali parametri sono stati sperimentati su campioni di edifici rurali tradizionali attraverso tecniche di rilievo fotogrammetrico. Le analisi della varianza e delle misure di sintesi dei dati hanno consentito una prima validazione dei parametri per la caratterizzazione fisionomica degli edifici rurali.

Parole chiave: progettazione edilizia, fabbricati agricoli, paesaggio rurale

Summary. Rural landscape quality is closely related to that of its built environment, due to the high density of farm buildings over the countryside, and the functional needs of agriculture that call for many new buildings meeting given requirements. The goal of this study is the definition of a set of synthetic parameters, suitable to characterize the main morphological features of rural buildings, in order to allow the assessment of their level of consistency with the traditional building typologies of the landscape context. A fundamental historical-cultural and identity value is indeed acknowledged to such typologies, because of the close innate link with the surrounding landscape. The study develops a specific phase of the FarmBuiLD model, formulated by the authors for the definition of design criteria for landscape compatibility of rural buildings, according to objectives of historic-typological consistency. Based on a critical analysis of the scientific literature and analyses of the rural building typologies, the following parameters have been defined, referred to the main physiognomic features of the architectural form: height-to-width ratio (*HW*); height-to-length ratio (*HL*); enclosed-

to-open volumes ratio (EV); enclosing walls ratio (EW); building front openings ratio (BFO). These parameters have been tested on sample of rural buildings through photogrammetric survey techniques. Analyses of variance and statistic measures allowed a first validation of the parameters for the physiognomic characterization of rural buildings.

Key words: building design, farm buildings, rural landscape

1. Introduzione e obiettivi

È opinione largamente condivisa che l'integrazione degli edifici rurali nel paesaggio rappresenti un aspetto fondamentale della progettazione dei fabbricati agricoli. La qualità paesaggistica del territorio rurale è infatti fortemente condizionata da quella del suo sistema costruito (Ruda, 1998), non solo laddove le esigenze funzionali dell'attività agricola richiedono edificazioni consistenti in termini di numerosità di corpi di fabbrica e di entità dei rispettivi volumi, ma anche più in generale data l'elevata densità del sistema insediativo rurale in vasti ambiti del territorio nazionale. A partire da tale consapevolezza, obiettivo dello studio è la formulazione di una serie di parametri sintetici in grado di caratterizzare i principali connotati morfologici degli edifici rurali, al fine di consentire una valutazione del loro grado di coerenza con le tipologie edilizie tradizionali del contesto territoriale, alle quali è universalmente riconosciuto un fondamentale valore storico-culturale e identitario, in ragione dell'innato intimo legame con il paesaggio circostante.

Lo studio sviluppa una fase specifica del modello FarmBuiLD, elaborato dagli autori (Tassinari et al., 2010) per la formulazione di indirizzi per la progettazione degli edifici rurali con criteri di compatibilità paesaggistica, definiti a partire da obiettivi di coerenza storico-tipologica. Il modello prevede diverse fasi analitiche ed interpretative fortemente interconnesse e a loro volta organizzate in moduli (Fig. 1). Il modulo della caratterizzazione fisionomica dell'edilizia rurale (P) prevede che si giunga all'individuazione dei parametri analitico-progettuali in seguito alla definizione dei tratti fisionomici essenziali - sviluppata mediante l'analisi critica della letteratura scientifica in campo internazionale - ed a successivi approfondimenti di validazione e calibrazione condotti su casi studio specifici. Al modulo P si affianca quello della caratterizzazione funzionale (F), in cui vengono analizzate le esigenze funzionali contemporanee degli edifici a servizio dell'agricoltura.

Gli approfondimenti su un caso di studio (modulo CS) sono quindi finalizzati all'interpretazione delle realtà locali attraverso un'adeguata conoscenza delle specificità dell'architettura e delle esigenze funzionali proprie delle varie aree geografiche di possibile applicazione del modello. Il modulo CS prevede così un'analisi dei tipi architettonici (fase TA)

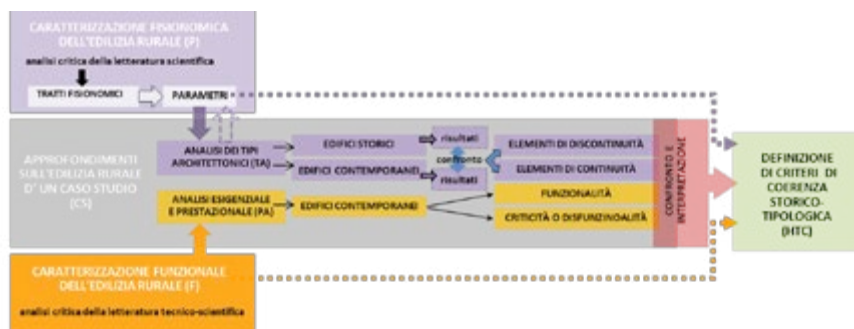


Fig. 1. Struttura del modello d'indagine della ricerca.

ed un'analisi esigenziale e prestazionale (fase PA), condotte congiuntamente data la stretta relazione tra le questioni della forma e quelle della funzione. La fase TA è sviluppata sia su campioni di edifici storici sia su campioni di edifici contemporanei, con gli stessi strumenti e metodologie, per giungere ad un quadro sintetico quali-quantitativo dei rispettivi caratteri architettonici, mentre la fase PA è condotta sui campioni di edifici contemporanei per valutarne le prestazioni funzionali. Obiettivo delle fasi PA e TA è quello di indagare gli aspetti di rottura rispetto alle forme architettoniche tradizionali e le relative motivazioni, così come di verificare se i caratteri di discontinuità tipologica risultino ineludibili in quanto strettamente necessari al soddisfacimento di requisiti funzionali o se, al contrario, sia possibile un progetto che contemperi il rispetto della coerenza storico-tipologica e degli obiettivi di funzionalità, in quale misura e riguardo a quali aspetti formali.

2. Materiali e metodi

2.1 Area studio

L'applicazione del metodo proposto presuppone che siano disponibili, per l'area studio di volta in volta presa in esame, articolate banche dati relative all'edilizia rurale storica, quali quelle derivanti da censimenti sistematici idonei a raccogliere informazioni di carattere architettonico su piattaforme informative georeferenziate. Il gruppo di lavoro degli autori da tempo va conducendo analisi del sistema costruito rurale, anche di interesse storico, su diverse aree studio della regione Emilia-Romagna, con la collaborazione degli enti preposti al suo monitoraggio ed alla disciplina della sua tutela, riuso e valorizzazione (Tassinari e Torreggiani, 2005). Gli esiti di questi approfondimenti hanno dimostrato la propria

valenza non solo sul piano prettamente scientifico, ma anche su quello tecnico-applicativo, considerato il loro successivo impiego quale utile riferimento nell'ambito della costruzione di quadri conoscitivi di strumenti urbanistici e per la messa a punto della loro parte normativa.

Dette analisi hanno consentito al gruppo di lavoro di disporre di ampie banche dati inerenti agli aspetti formali e funzionali dei fabbricati di interesse storico, che si sono dimostrate una base fondamentale per la messa a punto del metodo oggetto del presente lavoro, per il quale si assume a riferimento quale area studio il territorio del Comune di Imola. Tale territorio (205 km²) è stato ritenuto rappresentativo in relazione agli obiettivi dello studio in ragione delle caratteristiche paesaggistiche e del comparto agricolo, nonché della presenza di numerosi edifici rurali storici, in gran parte ancora asserviti al sistema produttivo agricolo, seppure nell'ambito di centri aziendali che hanno subito numerose modifiche ed espansioni. Esso presenta un'ampia porzione pianeggiante ed una significativa parte collinare, con una matrice paesaggistica particolarmente eterogenea, per quanto riguarda sia le componenti fisiche e naturali, sia quelle antropiche.

Le indagini svolte sull'area studio hanno portato all'identificazione delle seguenti principali tipologie edilizie (Comune di Imola, 2005): unità edilizia di base residenziale rurale a fronte bicellulare (BR); unità edilizia di base residenziale rurale a fronte tricellulare (CR); unità edilizia di base residenziale rurale a fronte pluricellulare (DR); unità edilizia rurale a capannone (KR); unità edilizia rurale mista a fronte residenziale monocellulare (AKR); unità edilizia rurale mista a fronte residenziale bicellulare (BKR); unità edilizia rurale mista a fronte residenziale tricellulare (CKR); unità edilizia rurale mista a fronte residenziale pluricellulare (DKR); elemento edilizio non autonomo rurale (NAR); unità edilizia di base residenziale prenovecentesca extraurbana (VE); elemento edilizio non autonomo extraurbano (NAE); unità edilizia di base residenziale novecentesca di interesse storico-testimoniale (Nit); unità edilizia di base residenziale novecentesca ad impianto singolare o non ripetuto (Nis).

2.2 Campionamento e rilievo dell'edilizia rurale storica

Il suddetto procedimento ha condotto alla definizione di un database di 634 edifici rurali di riconosciuto valore storico-testimoniale, dei quali si è inteso analizzare in dettaglio i caratteri fisiognomici mediante i parametri allo scopo definiti. A tale fine si è adottata la tecnica del campionamento casuale stratificato con allocazione proporzionale (Cochran, 1977). La stratificazione è stata condotta sulla base di due variabili, una di carattere architettonico e una di carattere geografico.

La prima è rappresentata dalla classe di tipologia edilizia a cui appartiene il fabbricato, definita come accorpamento delle tipologie sopra

descritte sulla base delle corrispondenti destinazioni d'uso originarie, strettamente correlate con i tipi edilizi rurali storici (Gambi, 1950):

1. edifici a funzione residenziale (comprendente le tipologie BR, CR, DR);
2. edifici a funzione di servizio (KR, NAE e NAR);
3. edifici a funzione mista residenziale e di servizio (AKR, BKR, CKR e DKR);
4. ville extraurbane (VE, Nis e Nit).

In considerazione dell'influenza della localizzazione geografica sui caratteri dei tipi edilizi (Pagano e Daniel, 1936), la seconda variabile adottata per la stratificazione è costituita dalla classe altimetrica di ubicazione di ciascun fabbricato, considerata significativa per cogliere i principali tratti morfologici dell'area (Tassinari et al, 2008), secondo le seguenti definizioni: classe 1, con altimetria fino a 50 m slm, comprendente i terreni di pianura; classe 2, con altitudini comprese fra 50 e 300 m slm, sufficientemente ampia da comprendere integralmente i terreni collinari dell'area studio.

La stratificazione del campione di edifici rurali è stata compiuta secondo le possibili combinazioni delle due variabili di stratificazione descritte e perfezionata accorpendo gli strati non sufficientemente rappresentati (Tab. 1). Il campione è stato selezionato assumendo un tasso di campionamento del 10% e procedendo mediante la tecnica dei numeri casuali permanenti, che consente di ampliare il campione già analizzato nel caso in cui la precisione delle stime ottenute con il campione iniziale non risulti adeguata. Per la stima dei parametri analitici e metaprogettuali è stato utilizzato lo stimatore del rapporto formulato da Frosini et al. (1999).

Tab. 1. Numero di edifici censiti e numero di edifici campione selezionati per ogni strato e sul totale dell'area studio.

Strato	A1,2	B1	B2	C1	C2	D1,2	Total
Numerosità Nh	50	210	76	193	60	45	634
Numerosità campionaria nh	5	20	7	18	6	4	60

La conoscenza dei dati geometrici dei fabbricati campione necessari per l'elaborazione dei parametri è stata acquisita mediante rilevamento fotogrammetrico tramite restituzione prospettica a partire da singoli fotogrammi con riferimenti metrici noti. La restituzione è stata condotta tramite elaborazione di immagini digitali con software PhotoMetric® (GEOPRO). In particolare si è adottato il metodo del raddrizzamento geometrico, per il quale è necessario individuare sull'immagine due linee

che nella realtà sono verticali e due linee che nella realtà sono orizzontali e conoscere la distanza di due coppie di punti lungo dette direzioni. Tale metodo si è dimostrato più efficiente rispetto a quello del raddrizzamento analitico basato sulle coordinate di punti noti rilevati con strumenti topografici ed al contempo in grado di fornire risultati con livelli di precisione compatibili con gli obiettivi dello studio. A tale scopo sono stati svolti sopralluoghi presso tutti i fabbricati selezionati e sono state effettuate riprese fotografiche digitali dei loro prospetti, con la presenza di aste graduate posizionate orizzontalmente e verticalmente nel piano di ciascuna facciata. Per ogni edificio del campione sono state elaborate le immagini raddrizzate e in scala dei prospetti, a partire dalle quali sono state rilevate, tramite digitalizzazione in ambiente CAD, le dimensioni plano-altimetriche complessive dei fabbricati, delle relative parti componenti il sistema dei pieni e dei vuoti e delle aperture.

Il metodo messo a punto e impiegato ha consentito di ottenere i fotopiani in proiezione ortogonale di tutti i singoli prospetti degli edifici, che sono andati a costituire una banca dati dalla quale è possibile ricavare qualsivoglia informazione sugli aspetti dimensionali degli involucri edilizi. Inoltre il database è stato integrato con le documentazioni fotografiche acquisite in occasione delle campagne di censimento sopra descritte, al fine di costituire una documentazione completa sui caratteri dimensionali, formali ed estetici del campione di edifici. Il metodo consente pertanto di contenere ulteriormente gli oneri di rilevamento limitando le fasi in campo alle sole riprese fotografiche e permettendo di ottenere in post-elaborazione a tavolino tutti i dati metrici di interesse, anche in momenti successivi.

3. Risultati

3.1 Parametri analitici e metaprogettuali

A seguito di una approfondita analisi dello stato dell'arte è stata elaborata una possibile orditura dei tratti fisionomici essenziali dell'architettura rurale, intesi come caratteri architettonici oggettivi dell'edificio così come percepiti anche in funzione della morfologia dell'intorno, esprimibili mediante un insieme di considerazioni di carattere quantitativo e qualitativo, non scindibili né interpretabili separatamente ai fini di una lettura architettonica complessiva (Tassinari et al., 2010). I principali aspetti che caratterizzano la forma, che appare essere, fra quelli espressi, il tratto fisionomico di prioritaria importanza nella definizione del tipo architettonico, sono sintetizzabili mediante i seguenti connotati fisionomici: il livello di compattezza/articolazione del volume (F1), funzione del numero e della modalità di aggregazione dei corpi di fabbrica costituenti

l'edificio riconoscibili dall'esterno; l'attributo di orizzontalità/verticalità (F2), da valutare soprattutto in relazione alla direzione di sviluppo prevalente dell'edificio; il rapporto quantitativo e la composizione formale delle parti piene e vuote (F3); il rapporto *figure-ground*, creato dalle aperture sulle superfici perimetrali (F4).

Con riferimento agli obiettivi dello studio, si è ritenuto utile isolare alcuni aspetti quantitativi primari insiti nei tratti fisionomici, operandone una traduzione in termini di parametri numerici di natura strettamente strumentale, tematica e complementare. Ciò non si è però reso possibile per il connotato F1 (compattezza/articolazione del volume), che viene inteso come carattere in primo luogo qualitativo, come approfonditamente discusso in precedenti pubblicazioni (Tassinari et al., 2010; 2011).

I parametri riferiti ai tratti fisionomici F2, F3, F4 vengono descritti di seguito, mentre la loro espressione matematica è riportata in forma sintetica nella Figura 2, dove vengono inoltre rappresentate le variabili geometriche coinvolte, avvalendosi, a titolo puramente esemplificativo, di uno schema di tipologia edilizia rurale tradizionale della Regione Emilia-Romagna.

- Rapporto altezza/larghezza (HW) e rapporto altezza/lunghezza (HL), relativi al connotato di orizzontalità/verticalità (F2). I due parametri considerati congiuntamente sono ritenuti idonei ad esprimere la "tensione" dell'edificio rispetto al piano orizzontale; allo stesso tempo il loro rapporto esprime le proporzioni fra i lati nello sviluppo planimetrico.
- Rapporto fra volumi pieni e vuoti (EV) e incidenza delle murature perimetrali (EW), relativi al tratto fisionomico F3. Il parametro EV rende conto del peso dei volumi delimitati da pareti, piene o con aperture, nel bilancio morfologico d'insieme degli edifici, ovvero dell'incidenza di detti volumi su quello complessivo dell'edificio. Il parametro EW esprime la frazione dei prospetti sul perimetro esterno dell'edificio interessata da pareti che racchiudono spazi interni, siano esse piene o con aperture (porte, finestre o graticci di aerazione).
- Rapporto di apertura dei fronti (BFO), relativo all'incidenza delle aperture sui prospetti degli edifici (F4). È definito dal rapporto tra la superficie complessiva delle aperture di porte e finestre e quella delle pareti dei prospetti esterni, con esclusione delle porzioni porticate o loggiate.

3.2 Analisi parametrica del caso studio

Le analisi svolte sul campione di fabbricati rurali selezionato secondo le modalità sopra illustrate, ha condotto alla stima dei valori delle principali variabili dimensionali e dei parametri analitici e metaprogettuali dell'edilizia tradizionale dell'area studio, che consentono di valutare

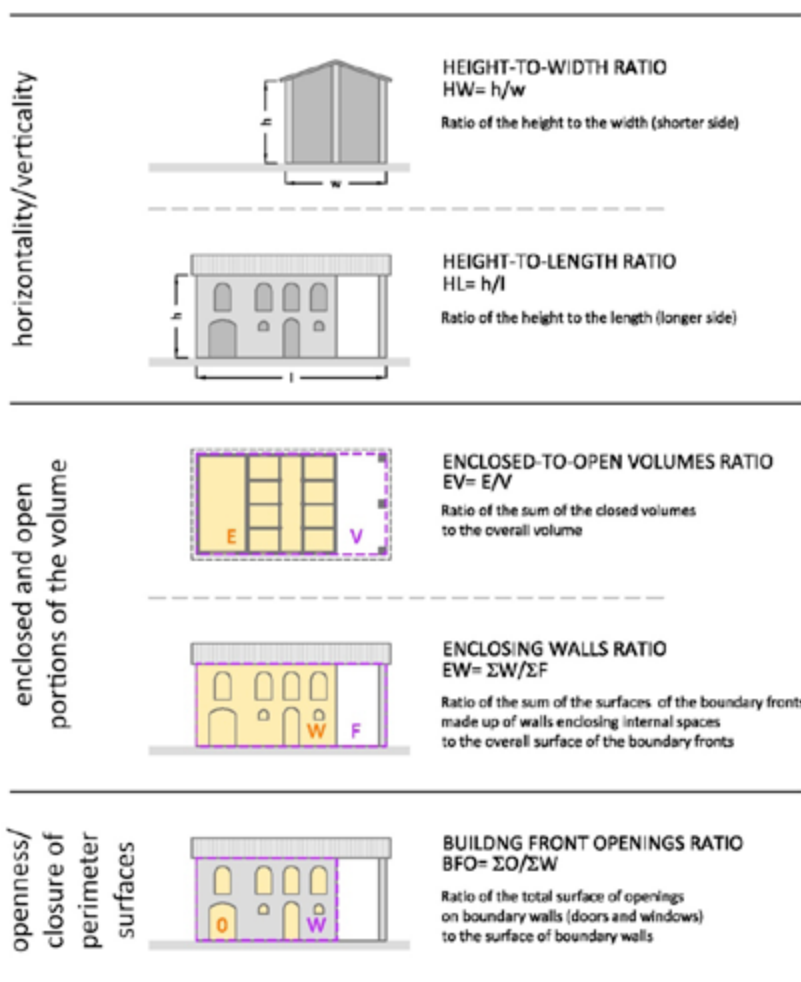


Fig. 2. Schema di definizione dei parametri analitici e metaprogettuali.

l'efficacia del processo adottato e formulare valutazioni preliminari in merito alla caratterizzazione morfologica dell'architettura rurale del caso studio. Per ragioni di sintesi tali valutazioni vengono svolte sulla base dei risultati relativi ai parametri HW e HL , che vengono di seguito riportati, mentre i risultati riguardanti gli altri parametri sono oggetto di trattazione in ulteriori pubblicazioni.

A seguito delle elaborazioni dei dati acquisiti, sono stati stimati i valori medi di HW e HL sull'area studio, pari rispettivamente a 0.356 e 0.590, con coefficienti di variazione rispettivamente di 4.1% e 3.6%. La precisione delle stime risulta quindi ampiamente accettabile, considerando

che il valore di riferimento del coefficiente di variazione comunemente ritenuto indicativo di una sufficiente precisione in ambito statistico è il 10%. L'efficienza della stratificazione è stata valutata mediante calcolo del Design Effect (Kish, 1965), risultato pari a 0.902 per *HW* e 0.819 per *HL*. Ciò significa che per ottenere lo stesso livello di precisione delle stime con un campionamento casuale semplice, sarebbe stato necessario rilevare il 22% di edifici in più.

Le distribuzioni di frequenza dei parametri nei vari strati (Fig. 3) evidenziano una netta differenziazione delle proprietà geometriche d'insieme dei fabbricati, che risultano descritte da valori dei parametri prevalentemente compresi entro intervalli limitati, con l'eccezione dello strato D1,2, per il quale si nota una chiara dispersione dei dati. Tale risultato può essere dovuto alla eterogeneità degli stili architettonici frequentemente impiegati per la progettazione delle ville extraurbane, che risultano per questo meno tipizzate rispetto agli edifici dei restanti strati, originariamente legati direttamente all'attività agricola e alle esigenze della vita contadina. I valori medi dei parametri negli strati sono riportati in Tab. 2, unitamente a quello del loro rapporto, che rende conto delle diverse proporzioni planimetriche dei fabbricati.

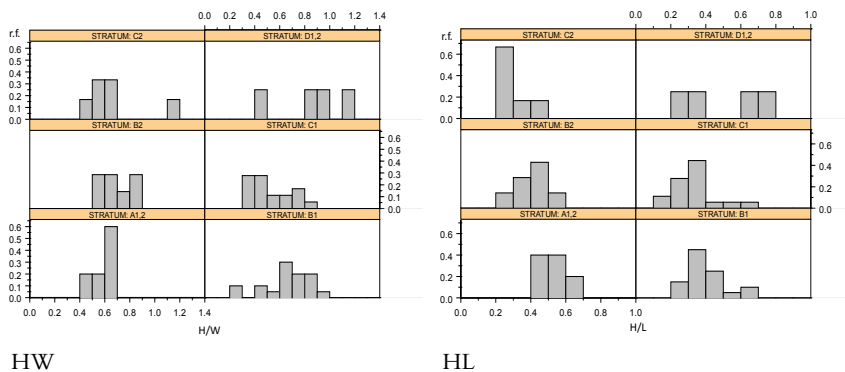


Fig. 3. Distribuzione delle frequenze relative (r.f.) dei parametri HW e HL nei sei strati.

Tab. 2. Valori medi dei parametri negli strati.

Strato	A1,2	B1	B2	C1	C2	D1,2
HW	0.604	0.663	0.700	0.530	0.678	0.846
HL	0.516	0.400	0.390	0.324	0.288	0.521
HL/HW	0.861	0.636	0.569	0.643	0.439	0.618

4. Conclusioni

Il presente contributo ha preso in esame diverse fasi della formulazione del modello di ricerca FarmBuiLD, con particolare attenzione ad una sintesi della definizione dei parametri analitici e metaprogettuali e alla analisi dei caratteri fisionomici dell'architettura rurale tradizionale di un'area studio. I risultati ottenuti hanno consentito di verificare l'efficacia e l'efficienza delle metodologie proposte e di restituire un quadro di sintesi dei risultati preliminari del caso studio.

L'importanza di mettere a punto un modello d'indagine per proporre indirizzi progettuali di coerenza storico-tipologica e l'utilità di ricercare parametri in grado di esprimere i caratteri architettonici essenziali dell'edilizia rurale, quali strumenti analitici e meta-progettuali, dipendono dall'idea di estendere la "formulazione critica" basata sull'"analisi a posteriori" dei tratti identificativi del tipo architettonico anche alla definizione di una "sintesi a priori", ad un "concetto". All'interno di tale approccio teorico e metodologico, i parametri non vengono intesi come strumenti per ricavare dati quantitativi da tradurre in forma automatica in rigide indicazioni progettuali o riferimenti normativi; né per generare processi di replicazione di "oggetti architettonici" con conseguenze di banali standardizzazioni delle soluzioni progettuali. Vengono viceversa preminentemente considerati quali strumenti analitico-interpretativi, da affiancare alle valutazioni qualitative di carattere formale-compositivo, e parte di un quadro conoscitivo finalizzato a supportare, stimolare, suggerire scelte progettuali consapevoli.

Bibliografia

- Comune di Imola, 2005. *Variante Generale al Piano Regolatore Generale. Norme Tecniche di Attuazione. Unità di spazio di interesse storico site nel territorio non urbano.*
- Cochran W.G., 1977. *Sampling Techniques*. 3rd ed. New York, N.Y.: Wiley.
- Frosini, B.V., M. Montinaro, and G. Nicolini. 1999. *Il campionamento da popolazioni finite*. Torino: UTET.
- Gambi, L. La casa rurale nella Romagna, CNR, 1950.
- Kish L., 1965. *Survey Sampling*. New York, N.Y.: Wiley
- Pagano G., Daniel G., 1936. *Architettura rurale Italiana, Quaderni della Triennale*, Milano.
- Ruda, G. Rural buildings and environment, *Landscape and Urban Planning*, 1998, (41), 93-97.
- Tassinari P., Torreggiani D., 2005. La tutela dell'identità culturale nella pianificazione territoriale della regione Emilia-Romagna. In S. Agostini e A. Serra (a cura di), *La tutela dell'architettura rurale nell'evoluzione del sistema produttivo* (pp. 49-68). Milano: R.U.R.A.L.I.A.

- Tassinari P., Carfagna E., Benni S., Torreggiani D., 2008. Wide-area spatial analysis: A first methodological contribution for the study of changes in the rural built environment. *Biosystems Engineering*, 100: 435–44.
- Tassinari P., Torreggiani D., Benni S., Dall’Ara E., 2010. Research model for farm building design: General structure and physiognomic characterization phase. *E-j.-CIGR*, 12: 47-54.
- Tassinari P., Torreggiani D., Benni S., Dall’Ara E., Pollicino G., 2011. The FarmBuiLD model (Farm Building Landscape Design): First definition of parametric tools. *Journal of Cultural Heritage*, 12: 485–493.

ANTROPIZZAZIONI DECONSTRUIBILI PER IL NON- CONSUMO DEL TERRITORIO RURALE: PROGETTAZIONE PER LA DECONSTRUIIBILITÀ

*M. Barbari, L. Conti, M. Monti, P. Pellegrini, G. Rossi, S. Simonini,
F. Sorbetti Guerri.*

*Dipartimento di Economia, Ingegneria, Scienze e Tecnologie Agrarie e Forestali -
Università degli Studi di Firenze*

Riassunto. Da molti anni il gruppo di ricerca di costruzioni rurali, che fa attualmente parte del DEISTAF, effettua progettazioni di opere in ambiente rurale, tese al raggiungimento di elevati gradi di decostruibilità. Alcune di queste opere sono state realizzate, fornendo importanti contributi di esperienza sul campo. Nel presente lavoro sono fornite indicazioni sui materiali da costruzione, sulle tecniche costruttive e presentati alcuni esempi di realizzazione di opere progettate nell'ottica della decostruibilità. Vengono inoltre esposte alcune delle maggiori difficoltà che si sono incontrate nella pratica attuazione dei principi del costruire sostenibile.

Parole chiave: Land Consumption, Decostruzione, Design for Deconstruction

Summary. For many years the research unit on farm buildings, at the moment part of DEISTAF, is carrying out designs of rural constructions, aimed at attaining high deconstruction degrees. Some of these works have been executed, giving important contributions of field experience.

In the present study useful suggestions on building materials and techniques are expounded, and some examples of works designed from the point of view of deconstruction are shown. Some of the major difficulties encountered in the practical implementation of the principles of sustainable building are also shown.

Key words: Land Consumption, Deconstruction, Design for Deconstruction

1. Design for Deconstruction - DfD

La progettazione di antropizzazioni decostruibili richiede un approccio mentale sotto molti aspetti diverso da quello tradizionale. E' da vedere nell'opera non il monumento destinato a servire, e quindi a durare nei secoli, ma lo strumento atto a soddisfare le umane esigenze fin dove queste siano prevedibili, cioè a breve termine, intendendo con questo anni o al massimo pochi decenni. In tal senso quindi il progettista la penserà tecnicamente ed economicamente rimovibile, e definirà fin dall'inizio quanto necessario a tutto il suo ciclo di vita, compreso lo smaltimento finale delle sue componenti ed il ripristino delle condizioni locali.

Tutto questo comporta che la progettazione debba essere accompagnata, in tutte le sue fasi, da analisi del ciclo di vita dell'opera, delle sue componenti, e delle opere accessorie necessarie alla realizzazione.

Generalmente il Committente, sia esso pubblico o privato, basa le sue decisioni sui prevedibili costi economici di realizzazione e di manutenzione, demandando, più o meno consciamente, a chi verrà dopo di lui i problemi relativi alla rimozione dell'opera. Un siffatto processo decisionale conduce molto spesso alla scelta di soluzioni costruttive le quali, al termine della loro vita funzionale, della loro accettabile efficienza, o della loro vita urbanistica, porranno problemi difficili, talvolta praticamente insolubili. Al contrario se venissero invece considerati i costi relativi all'intero ciclo di vita di queste opere, è molto probabile che i materiali e le tecniche costruttive impiegati sarebbero assai diversi. Questo a maggior ragione se il computo dei costi, e non solo economici, che ogni antropizzazione genera viene eseguito correttamente, cioè considerando non solo quelli diretti che gravano sul committente, ma anche quelli indiretti che gravano sulla società nel suo insieme.

Sotto il profilo strutturale si può osservare come l'abbandono, avvenuto sia pur tardivamente anche in Italia, dei metodi di calcolo di tipo deterministico, e il conseguente passaggio a quelli di tipo probabilistico (in realtà semiprobabilistico) abbia condotto a introdurre, fra l'altro, il concetto di "durata della vita utile di progetto" dell'opera: a una minor durata prevista corrispondono minori valori di alcune delle azioni che sollecitano la costruzione e quindi, in ultima analisi, dimensioni relativamente ridotte delle strutture. Ciò è perfettamente coerente con il progettare per la decostruzione.

1.1 Materiali

Alla base del DfD c'è la scelta dei materiali che si prevede di utilizzare, da operare in funzione della loro attitudine all'impiego nelle opere decostruibili. Questa attitudine viene determinata principalmente effettuando in via diretta adeguate analisi del loro ciclo di vita, o utilizzando *LCA* già esistenti, e modificandole per adattarle alle particolari condizioni locali.

D'altra parte, se ci si pongono domande sul perché in molti campi, ad esempio in quello meccanico, viene di regola effettuata l'analisi *LCA* di quanto progettato, mentre nella progettazione civile-edile questo non viene generalmente fatto, si trovano risposte che riguardano l'immediato tornaconto di tutta filiera progettuale e realizzativa, e la profonda insensibilità al problema dei costi economici energetici e ambientali dei cicli di vita.

In questa sede, ovviamente, non può essere fatta una disamina, nemmeno sommaria, di tutti i materiali da costruzione; tuttavia si possono rapidamente descrivere quelli più significativi in questo contesto. È im-

portante operare una distinzione fra i materiali direttamente smaltibili e riciclabili, e quelli riciclabili ma non direttamente smaltibili.

Alcuni materiali da costruzione possono definirsi “naturali” in quanto non sono prodotti industrialmente, ma si trovano direttamente in natura, e necessitano di lavorazioni solo per adattarli all’impiego. I più importanti sono anche i più antichi materiali adoperati dall’uomo per costruire: il legno, la pietra e la terra cruda. Il recupero del loro utilizzo non rappresenta l’andare a ritrovare tecniche costruttive obsolete, attuando una ricerca di tipo anacronostico; significa, invece, rivisitare i materiali da costruzione naturali e i modi di impiegarli, alla luce della scienza e della tecnica contemporanee, così da poterne sfruttare al meglio le caratteristiche meccaniche e costruttive pur mantenendone l’elevato valore ecologico.

Tali materiali sono particolarmente idonei ad essere utilizzati nell’ambito della Autocostruzione Assistita, pratica che si va diffondendo sia in ambito residenziale sia produttivo (es. fabbricati per le produzioni agro-zootecniche).

- Legno massiccio: il legno è un accumulatore di energia solare; è un materiale rinnovabile naturalmente, richiede un basso impegno energetico relativo a tutto il suo ciclo di vita (può anche essere un materiale a km 0), non presenta alcun tipo di problema in sede di smaltimento o riutilizzo, ha ottime prestazioni meccaniche in relazione alla sua massa volumica, possiede buone caratteristiche di isolamento termico.

La durata di un elemento strutturale in legno massiccio non trattato dipende essenzialmente dalle condizioni nelle quali si trova a lavorare, con particolare riguardo all’umidità; un’opera che sia, sotto questo punto di vista, ben progettata, può avere una vita utile di molti decenni e più.

Quanto sopra si riferisce al legno massiccio non trattato, o al massiccio trattato con preservanti che possiedano le sue stesse caratteristiche ecologiche di biodegradabilità e innocua combustibilità, in modo che conservi la sua proprietà di “rifiuto ordinario”.

È importante notare che il legno trattato con adesivi o preservanti sintetici non possiede, in generale, le stesse caratteristiche relative allo smaltimento e al riciclo.

Il legno massiccio può essere impiegato sia negli elementi strutturali portanti che nelle partizioni, orizzontali e verticali. Il legno può dar luogo, grazie al favorevole rapporto fra la sua massa e le sue caratteristiche meccaniche, a strutture aventi un ottimo comportamento in zona sismica. Un edificio agricolo monopiano, per intendersi tipo “capannone”, costruito interamente in legno e con manto di copertura leggero, è in generale insensibile al sisma, in quanto le sollecitazioni orizzontali dovute al vento risultano maggiori di quelle dovute al terremoto; infatti, in questi casi, il dimensionamento della struttura portante, che deve essere effettuato per resistere elasticamente al vento, risulta ridondante per le sollecitazioni da sisma.

Altri materiali di natura fibrosa a base prevalentemente di cellulosa presentano gli stessi caratteri altamente ecologici del legno massiccio: paglia, canne, ramaglie, fibre vegetali, e simili. Questi materiali non hanno, a parte il bamboo e la paglia, funzione propriamente strutturale; tuttavia possono essere impiegati per altre importanti funzioni, quali tamponamenti, coibentazioni e ombreggiamenti, in sostituzione di materiali di produzione industriale: in particolare la paglia può essere utilizzata, sotto forma di balle parallelepipedo, per andare a costituire tamponamenti esterni e tramezzature interne; gli altri materiali possono essere impiegati per coibentazioni e ombreggiamenti, in sostituzione di materiali artificiali.

Infine, è possibile considerare l'impiego strutturale del legno massiccio vivo, ovvero l'albero: molte strutture di sostegno verticali, ad esempio gran parte di quelle che fiancheggiano le strade, potrebbero essere costituite da idonee specie arboree, andando a sostituire pali che non di rado richiedono fondazioni in calcestruzzo (Berti *et al.*, 2004).

- **Terra cruda:** un terreno che sia virtualmente privo di sostanze organiche e contenga una sufficiente componente argillosa (ad esempio quello generalmente cavabile nella piana di Firenze alla profondità di 0,60-0,80 m), presenta, una volta essiccato, caratteristiche meccaniche non trascurabili, che lo rendono idoneo all'impiego nelle costruzioni.

L'utilizzo può avvenire essenzialmente in due modi: sotto forma di blocchi (*Adobe*) murati e intonacati con malta avente composizione uguale a quella dei blocchi, e sotto forma di muri continui ottenuti per compattazione del terreno, opportunamente umidificato, in cassaforme lignee (*Rammed Earth*).

La terra cruda utilizzabile per manufatti strutturali è un materiale largamente disponibile in natura, grazie anche al fatto che la percentuale di argilla necessaria al raggiungimento di opportune proprietà di resistenza meccanica varia in un range relativamente ampio; essa richiede un basso impegno energetico relativo a tutto il suo ciclo di vita (può anche essere un materiale a km 0), non presenta alcun tipo di problema in sede di smaltimento o riutilizzo in quanto può essere dispersa direttamente nell'ambiente o riutilizzata tal quale, ha una notevole inerzia termica che, con una adeguata progettazione, può essere utilmente utilizzata in sede di dimensionamento termico sfruttando il *thermal lag* caratteristico dell'elemento strutturale. Le resistenze meccaniche dei manufatti con essa prodotti sono variabili in funzione del tipo di terreno impiegato, ma in generale sono sufficienti alla costruzione di molti fabbricati, anche in zona sismica.

Come per il legno, la durata di un elemento strutturale in terra cruda dipende essenzialmente dalle condizioni nelle quali si trova a lavorare, con particolare riguardo all'umidità; un'opera che sia, sotto questo punto di vista, ben progettata, può avere una vita utile di molti decenni e più, in particolare quando sia curata la manutenzione degli intonaci esterni. In

Paesi dell'Europa centrale, in zone umide e piovose, esistono fabbricati in terra cruda, a molti piani, risalenti alla prima metà del XIX secolo, che svolgono tuttora regolarmente la funzione originaria.

La terra cruda può essere impiegata sia nelle strutture portanti, sia per tamponamenti esterni e divisori interni.

Anche nel caso della terra cruda, come per il legno massiccio, l'impiego di additivi e trattamenti tesi a migliorarne le prestazioni meccaniche e la durabilità può snaturare in misura decisiva le sue proprietà ecologiche.

- **Pietra naturale:** materiale largamente disponibile in natura, richiede un impegno energetico relativo al suo ciclo di vita maggiore di quello caratteristico dei materiali precedentemente esaminati, ma può essere anch'essa un materiale a km 0. La pietra naturale non presenta grandi problemi in sede di smaltimento o riutilizzo: può essere riutilizzata tal quale e il suo eventuale accantonamento dà luogo a depositi di per sé non inquinanti; ha una notevole inerzia termica che la rende simile, dal punto di vista termodinamico, alla terra cruda. Le resistenze meccaniche del materiale base sono generalmente elevate, mentre quelle dei manufatti con essa prodotti sono molto variabili in funzione dei materiali e metodi impiegati nella loro costruzione; a questi ultimi è strettamente legata anche la durata dei manufatti, che per quanto dipende dal materiale base sarebbe in molti casi assai elevata.

La pietra naturale viene principalmente impiegata nelle strutture portanti e nelle finiture. Anche nel caso della pietra naturale, il grado di decostruibilità delle opere con essa realizzate dipende non tanto dal materiale base, quanto dagli altri materiali impiegati per il suo utilizzo.

Esistono molti altri materiali che possono essere considerati naturali nel senso prima detto, ad esempio fibre di origine animale, colle, sigillanti, preservanti e coloranti di origine sia vegetale sia animale, ecc.; tuttavia essi hanno rilevanza minore e perciò non vengono trattati.

Fra i materiali di origine industriale quelli di maggiore rilevanza, anche per la quantità di impiego, sono l'acciaio, il calcestruzzo, i laterizi.

- **Acciaio:** la grande maggioranza delle strutture non può prescindere, in varia misura, dall'impiego dell'acciaio, sia pure sotto forma di elementi minimi quali chiodi o viti. Pertanto il suo impiego deve essere, volenti o nolenti, contemplato; inoltre la sua alta duttilità lo rende utilissimamente diverso, dal punto di vista strutturale, da tutti gli altri materiali qui esaminati.

L'acciaio è un materiale energeticamente costoso, sia in fase di produzione di elementi strutturali che, pur se in misura significativamente minore, in fase di riciclaggio; tuttavia possiede la caratteristica, decisiva dal punto di vista ecologico, di essere totalmente riciclabile per un numero illimitato di volte; inoltre, questa riciclabilità è economicamente ed energeticamente conveniente: nel mondo oltre il 40% dell'acciaio utilizzato proviene dal riciclo e il risparmio energetico rispetto alla produ-

zione da materiale grezzo è del 65-80 % (fonti: Worldsteel Association, BMRA British Metals Recycling Association, University of Cambridge); in USA il recycling rate (rapporto acciaio riciclato/acciaio rottame generato nello stesso anno) dell'acciaio strutturale è vicina al 100% (fonte: SRI Steel Recycling Institute).

Anche la durata di un elemento strutturale in acciaio dipende essenzialmente dalle condizioni nelle quali si trova a lavorare, con particolare riguardo all'umidità; è inoltre funzione dei suoi spessori e può essere portata a valori altissimi dalla zincatura a caldo. Lo zinco presente sui materiali zincati può essere anch'esso totalmente recuperato e riciclato.

- Calcestruzzo: questo materiale, in particolare quando sia armato, richiede elevatissimi consumi energetici lungo tutto il suo ciclo di vita, e crea gravi, talvolta insolubili, problemi di smaltimento. Per queste ragioni il calcestruzzo è da considerare un materiale che riduce drasticamente, e in alcuni casi annulla, il grado di decostruibilità di un'opera. Questa criticità può essere attenuata con la progettazione e l'impiego di elementi prefabbricati facilmente mobili e riutilizzabili.

Oltre a quanto sopra, si deve considerare che, al contrario di quanto veniva diffusamente creduto fino a qualche decennio fa, il calcestruzzo è un materiale deperibile e per rallentare i suoi processi di degrado vengono frequentemente impiegati prodotti gravemente dannosi per l'ambiente.

- Laterizio: anche le murature in laterizio richiedono elevati consumi energetici lungo tutto il loro ciclo di vita e creano gravi problemi di smaltimento; tali aspetti negativi sono ulteriormente accentuati nelle murature armate, in genere realizzate in funzione antisismica.

Molte delle vecchie costruzioni venivano realizzate con mattoni pieni murati con malta di calce aerea; in questi casi, dalla demolizione risultavano elementi laterizi praticamente puliti e riutilizzabili. Oggi si impiegano generalmente mattoni forati, murati con malte di calce idraulica e cementizia, spesso additivate, che danno luogo a murature assai più robuste e affidabili, e che tendono a comportarsi come un insieme monolitico. Quindi le murature presentano in sede di smaltimento problemi analoghi a quelli del calcestruzzo, mentre in sede di riciclo non si può nemmeno ipotizzare l'impiego di elementi prefabbricati riutilizzabili.

Per queste ragioni è da considerare che la muratura in laterizio sia una tipologia strutturale che tende a rendere nullo il grado di decostruibilità di un'opera.

1.2 Sistemi costruttivi

In questa sede non è possibile esporre una casistica, nemmeno sommaria, dei sistemi costruttivi che conducono ad un alto tasso di decostruibilità, anche perché essi possono variare, di volta in volta, in funzione delle particolari situazioni nelle quali devono essere applicati.

Tuttavia si può affermare che, in generale, la smontabilità in parti convenientemente trasportabili, immagazzinabili, e riutilizzabili senza pesanti interventi di ricondizionamento, rappresenta senz'altro un fattore che può innalzare il grado di decostruibilità anche di elementi realizzati con materiali di per sé poco decostruibili.

2. *Le esperienze del diaf e del deistaf*

Da molti anni il settore costruzioni che fa attualmente parte del DEI-STAF, e precedentemente del DIAF, effettua progettazioni di opere in ambiente rurale, tese al raggiungimento di elevati gradi di decostruibilità. Alcune di queste opere sono state realizzate, fornendo importanti contributi di esperienza sul campo.

In generale, si è dovuto constatare che fra le caratteristiche di decostruibilità previste in sede di progettazione originaria e quelle effettivamente raggiunte in sede di esecuzione, si è verificata una non trascurabile divergenza causata essenzialmente da due fattori: la scarsa sensibilità dei committenti nei confronti di argomentazioni che non avessero un valenza economica a brevissimo termine e la rilevante mancanza di mentalità orientata alla decostruibilità manifestata in sede di realizzazione da parte delle direzioni lavori e degli esecutori. Il primo di questi fattori, peraltro meno atteso quando il committente è un Ente pubblico, ha anche causato la mancata realizzazione di alcuni progetti.

Di seguito si presentano tre esperienze significative. Anche quando non era ancora presente uno Standard Italiano per il calcolo delle strutture in legno, il dimensionamento è stato eseguito secondo Eurocodice 5.

In tutti i casi qui prospettati era previsto l'impiego di legno non trattato, e nell'elaborare le soluzioni progettuali si era tenuto conto di questa scelta; tuttavia in sede di realizzazione sono stati applicati superficialmente preservanti di vario tipo. Questo tipo di trattamenti, mentre ha una scarsissima efficacia preservante, fa compiere al legno il decisivo salto da rifiuto ordinario a rifiuto speciale.

• Stalla libera per l'allevamento di bovini da carne. Questo complesso è stato realizzato a San Piero a Grado (PI), all'interno del Centro Interdipartimentale di Ricerche Agro-Ambientali "Enrico Avanzi" dell'Università di Pisa, sulla base del progetto contenuto nell'opera *Costruire in legno - Progetti tipo di fabbricati ed annessi agricoli* (2 ed.). Firenze ARSIA Regione Toscana (2003).

Nel progetto originario la struttura portante è costituita da pali di legno tondo, semplicemente scortecciato, collegati con piastre in acciaio zincato fissate con chiodi; anche le chiusure verticali e gli accessori sono in legno. Il legname proviene dalle fustaie di duglasia presenti sul ter-



Fig. 1. Stalla a San Piero a Grado (zona di riposo, sinistra; zona di alimentazione, destra).

ritorio toscano; la copertura è realizzata con fogli di lamiera zincata da solaio, coibentata termicamente e insonorizzata con un strato di lastre in sughero naturale, con sovrapposto un manto impermeabile. Lo schema statico è a pilastri incastrati alla base.

La progettazione ed il calcolo dei collegamenti della struttura alle fondazioni, e delle fondazioni stesse, non sono stati eseguiti dal Dipartimento; questo ha dato luogo alla realizzazione di strutture assai poco coerenti con l'obiettivo della decostruibilità; alcuni accorgimenti previsti per la protezione del legno dall'umidità non sono stati realizzati.

- Barriere stradali fonoisolanti e fonoassorbenti. Di queste barriere è stato realizzato un prototipo sperimentale e dimostrativo in comune di Bibbiena (AR), ed un tratto di barriera operativa lungo la Firenze-Siena, sulla base dei progetti contenuti nell'opera *La valorizzazione del legno toscano nella costruzione di barriere stradali antirumore e di sicurezza*. Firenze Arsia Regione Toscana (2004).

Nel progetto originario i pannelli fonoisolanti e fonoassorbenti sono costituiti da una struttura in tavolame di castagno riempita di argilla espansa sciolta contenuta, nella faccia rivolta al rumore, da una rete in acciaio zincato o da una stuoia in fibra di cocco.

La struttura di supporto è costituita da profilati in acciaio zincato ancorati a fondazioni in calcestruzzo armato; queste, a loro volta, sono formate da conci prefabbricati incastrati fra loro e semplicemente appoggiati sul terreno, per cui la fondazione risulta smontabile e riutilizzabile.

Come variante al progetto, fu proposta l'adozione, per la struttura di sostegno, di alberature vive. Questo avrebbe comportato l'effettuazione di ricerche sulle specie arboree adatte allo scopo e sui sistemi di ancoraggio: tali ricerche non vennero commissionate. Il tratto sperimentale è stato rimosso prima che si potessero raccogliere alcune utili informazioni relative al comportamento nel tempo dei materiali impiegati nella configurazione adottata.



Fig. 2. Barriera sperimentale: faccia posteriore e faccia anteriore

Successivamente è stato costruito il tratto operativo, ma in maniera molto difforme dal progetto e dal prototipo, sia nei pannelli che nella struttura portante, le cui fondazioni sono state realizzate con un getto continuo di calcestruzzo armato, effettuato controterra in scavo.

- Rimessa agricola. Questo fabbricato è stato realizzato a Cesa (AR), sulla base del progetto contenuto nell'opera *Costruire in legno - Progetti tipo di fabbricati ed annessi agricoli* precedentemente citata.



Fig. 3. Rimessa agricola a Cesa

Nel progetto originario la struttura portante è costituita da pali di legno Uso Fiume, collegati con piastre in acciaio zincato fissate con chiodi; anche le chiusure verticali e gli accessori sono in legno; la copertura

è realizzata con arcarecci in legno e piano di tavole impermeabilizzato. Lo schema statico è a pilastri incastrati alla base. Le fondazioni erano previste costituite da elementi in calcestruzzo prefabbricati e rimovibili, la pavimentazione interna era prevista in blocchetti di cemento appoggiati su letto di sabbia, e contenuta in un telaio perimetrale in acciaio zincato.

Per motivi di valutazione economica limitata alla spesa a breve termine, il committente ha voluto che le fondazioni e la pavimentazione venissero realizzati in maniera tradizionale (plinti gettati nel terreno e massetto in calcestruzzo armato); inoltre in sede realizzativa la ditta costruttrice ha impiegato legname squadrato di grandi dimensioni di origine non autoctona, bensì di provenienza austriaca, oltre ad omettere o mal realizzare alcune importanti soluzioni costruttive relative alla protezione del legno dall'umidità.

3. Conclusioni

La convinzione che la ricerca della reversibilità sia il futuro della progettazione delle modifiche al territorio si diffonde costantemente; tuttavia questo processo è assai lento per varie ragioni, fra le quali probabilmente la principale è rappresentata dalla reticenza a prendere in considerazione i costi generali relativi ai cicli di vita, anziché quelli solo economici immediati, da parte dei committenti, e non solo privati.

D'altra parte è molto difficile, quando non impossibile, per il singolo progettista, anche se è un Ente di ricerca, imporre al committente scelte non solo innovative, ma che a prima vista possono apparire antieconomiche: salvo lodevoli eccezioni il decisore, sia privato che pubblico, tende a cogliere il facile frutto immediato, demandando a chi verrà le conseguenze delle proprie scelte.

Inoltre, gli stessi responsabili della progettazione si trovano ad operare in un contesto di scelte consolidate dal quale è difficile svincolarsi, anche perché l'adeguarsi ad esse significa, fra l'altro, ottenere non trascurabili vantaggi in termini di semplicità, comodità, e rendimento in termini di tempo dedicato.

Per combattere queste diffuse impostazioni mentali possono essere messi in atto due principali tipi di azione: le prese di posizione e l'attuazione di attività di disseminazione da parte di soggetti ed organizzazioni che possiedono una marcata autorevolezza nell'ambito della ingegneria agraria; il concepimento e l'attuazione, da parte dei pertinenti Enti pubblici, di meccanismi, concernenti sia al campo tecnico sia a quello urbanistico, che premiano le scelte di reversibilità nelle progettazioni degli interventi sul territorio.

In questo modo sarà possibile avvicinarsi, gradualmente ma irreversibilmente, all'attuazione, anche nel campo dell'ingegneria agraria, di uno sviluppo sostenibile.

Bibliografia

- Barbari, M., M. Monti, P. Pellegrini, F. Sorbetti Guerri. 2003. La costruzione di edifici agricoli in legno massiccio sulla base di progetti tipo. In *Costruire in legno - Progetti tipo di fabbricati ed annessi agricoli* (2 ed.). Firenze, Italia: ARSIA Regione Toscana.
- Berti, S., M. Brunetti, M. Monti, P. Pellegrini, F. Sorbetti Guerri. 2004. *La valorizzazione del legno toscano nella costruzione di barriere stradali antirumore e di sicurezza*. Firenze: ARSIA Regione Toscana.

IL RECUPERO DEI FABBRICATI RURALI IN AMBITO EUROPEO: UNA PROPOSTA DI LINEE GUIDA

A. De Montis, P. Farina, M. Barra, S. De Montis

Dipartimento di Agraria, Sezione di Ingegneria del Territorio, Università di Sassari

Riassunto. Nell'era della Convenzione Europea del Paesaggio, si è consolidata un'attenzione sempre più crescente per le aree marginali portando alla ribalta la necessità di una tutela integrata non solo del territorio ma anche del patrimonio edilizio rurale.

In questo paper, si propone un confronto tra le strategie di intervento adottate da alcune istituzioni in ambito europeo in materia di recupero dell'edilizia rurale per la costruzione di una guida di supporto all'azione degli enti locali impegnati nella progettazione e sperimentazione di materiali e tecniche innovative, nel rispetto della valorizzazione e tutela della tradizione costruttiva rurale.

Parole chiave: Convenzione Europea del Paesaggio, linee guida, recupero, fabbricati rurali

Summary. After the signature and acknowledgement of the European Landscape Convention (ELC), EU member states have been focussing on the protection of rural buildings in marginal areas.

The aim of this paper is to compare strategies developed by some European institutions with respect to the recovery of rural buildings and to the design of guidelines to private and public bodies facing recovery projects and inclined to adopt innovative techniques for traditional buildings valorization.

Keywords: European Landscape Convention, guidelines, recovery, rural buildings

1. Introduzione

Nel corso del secolo scorso, sono emerse tendenze sociali ed economiche che hanno modificato profondamente l'assetto urbanistico del territorio europeo e non solo, con la concentrazione delle popolazioni nelle città e l'abbandono delle aree rurali. Negli ultimi anni, a partire dalla Convenzione Europea del Paesaggio, si riscontra un crescente interesse, in letteratura come nella legislazione, nei confronti della tutela e del recupero paesaggistico delle aree marginali, nell'ottica di una tutela paesaggistica che mira a promuovere il paesaggio nella sua interezza e nella sua complessità, facendone altresì uno strumento di rilancio economico e sociale di zone disagiate.

La valorizzazione e il recupero delle aree marginali diventa nel tempo oggetto delle politiche pianificatorie della maggior parte degli Stati

europei i quali, nel tentativo di ridurre i flussi migratori dalle campagne verso le città e di proteggere il patrimonio edilizio rurale esistente, promuovono attraverso le istituzioni locali progetti e linee di azione.

La necessità di ridefinire i contorni del rapporto tra spazio urbano ed agrario, anche ai fini di una valorizzazione turistica delle campagne, ha portato i singoli Stati e regioni europee, spesso con il decisivo impulso degli organismi comunitari, ad analizzare le peculiarità paesaggistiche dei propri spazi agrari e ad ipotizzare progetti di sviluppo sostenibile per queste aree, in perfetta linea con i principi della Convenzione Europea del Paesaggio.

2. Stato dell'arte

Dall'esame della letteratura emergono diverse iniziative a livello europeo¹. Il Consiglio d'Europa attraverso la Conférence Européenne des Ministres Responsables de l'Amenagement du Territoire (CEMAT) ha elaborato le linee guida orientate al recupero dei paesaggi agrari e alla tutela dei fabbricati rurali, facendo emergere una crescente consapevolezza da parte dell'Unione Europea nei confronti di una tutela complessiva del territorio.

Appare in questo senso significativa l'elaborazione da parte dell'English Heritage nel 2006 della guida "*The conversion of traditional farm buildings*" (*English Heritage*, 2006), orientata alla tutela e alla valorizzazione dei fabbricati rurali per garantire un corretto riutilizzo attraverso il mantenimento dei caratteri e del rapporto con il contesto. La guida fornisce, inoltre, indicazioni concernenti le possibili attività di riuso dei fabbricati in rapporto al loro grado di adattabilità e compatibilità a qualsiasi intervento di trasformazione proposto. La Gran Bretagna adotta inoltre la procedura *Village Design Statement (VDS)*, che analizza la percezione dei cittadini nei confronti dei propri villaggi e delle campagne al fine di definire idonee strategie mirate alla tutela dei caratteri identitari (*Countryside Commission*, 1996).

Si evince pertanto una crescente attenzione a livello europeo nei confronti del recupero dei fabbricati rurali, orientata al rispetto dei materiali e delle tecniche di recupero unita a una forte sensibilità nei confronti della sostenibilità dei nuovi interventi e al rapporto di questi con il paesaggio circostante.

L'importanza di analizzare l'edificio nella sua interezza, la necessità di accompagnare ogni intervento ad un'analisi del contesto e a una con-

¹ Branduini P. Compatibilità delle trasformazioni nel paesaggio: metodi e strumenti per i fabbricati rurali. Atti IX Convegno Nazionale dell'Associazione Italiana di Ingegneria Agraria, Ischia Porto 12-16 Settembre 2009.

seguinte valutazione d'impatto, presuppone l'elaborazione di un idoneo strumento di supporto in grado di guidare il progettista nelle fasi di analisi e trasformazione dei fabbricati esistenti.

Sulla base di queste considerazioni viene di seguito proposto uno strumento per la valutazione del sistema fabbricato-contesto in rapporto a possibili interventi futuri.

Lo schema utilizzato si basa su un sistema a piramide rovesciata (vedi Fig.1) articolato in due fasi: l'analisi a grande scala dell'area in cui l'edificio è collocato e lo studio del fabbricato in rapporto ai suoi caratteri e al contesto. Il fine preposto è l'elaborazione di idonee linee guida orientate al recupero e alla tutela e valorizzazione dei fabbricati rurali.



Fig. 1. Strategia di intervento (elaborazione degli autori)

Il lavoro è strutturato in due fasi:

1. Studio delle tendenze europee in ambito di recupero dell'edilizia rurale ed elaborazione di una griglia indicante i fattori di criticità e di sensibilità maggiormente riscontrati e le strategie di intervento mirate alla valorizzazione dell'esistente e all'inserimento di nuovi fabbricati.
2. Determinazione di indici di valutazione di supporto alla griglia, mirati a una corretta analisi pre-intervento.

3. Prima fase

L'elaborazione della griglia è stata preceduta dall'analisi della letteratura vigente, prestando particolare attenzione alle guide per il recupero dell'esistente e per la realizzazione di nuove costruzioni in ambito rura-

le, pubblicate da alcune istituzioni europee in occasione di un progetto europeo chiamato PAYS.DOC.

Il progetto PAYS.DOC “*Buone Pratiche per il Paesaggio*” (*Pays.Doc, 2007* <http://www.paysmed.net/pays-doc/>), sviluppato nell’ambito dell’iniziativa comunitaria INTERREG IIIB MEDOCC e conclusosi nel 2007, si è posto come obiettivo di identificare i paesaggi del Mediterraneo e di valorizzare le esperienze locali affinché si possano costituire “Buone Pratiche” per il paesaggio attraverso l’elaborazione di linee guida per una gestione corretta delle trasformazioni paesaggistiche.

Nell’ambito di questo progetto comunitario, le singole regioni hanno analizzato le peculiarità del loro paesaggio agrario, concentrando l’attenzione su alcuni casi paradigmatici di recupero e riutilizzo dell’architettura rurale tradizionale.

Tra le realtà aderenti all’iniziativa sono stati selezionati per il presente contributo come casi-studio: la Basilicata, i Pays di Monts e Barrages, l’Umbria e la Catalogna.

La prima fase del lavoro è stata dedicata all’esame dei documenti pubblicati dalle quattro realtà europee², al fine di individuare gli elementi di debolezza e di potenzialità dei rispettivi paesaggi di appartenenza. Lo studio ha rilevato la presenza di elementi di criticità ricorrenti, dall’abbandono degli edifici rurali tradizionali alla perdita degli elementi identificativi dell’edilizia tipica rurale, fino alla creazione di nuovi insediamenti slegati dal contesto paesaggistico.

Sulla base delle iniziative promosse dalle istituzioni locali è stata elaborata una griglia contenente come indicatori i fattori di maggiore criticità riscontrati a livello paesaggistico dalle quattro realtà europee, le strategie di recupero promosse e le linee guida suggerite per le nuove costruzioni. Gli indici di comparazione utilizzati per la griglia rispecchiano alcuni degli elementi salienti della fase progettuale: criticità dell’area, strategie di recupero, riconversione dell’esistente e infine linee strategiche per la realizzazione di nuove costruzioni.

Le linee suggerite mirano alla ricerca di un nuovo equilibrio tra nuove e vecchie costruzioni, tra insediamenti e paesaggio, e sottolineano l’esigenza di recuperare a fini turistici gli edifici rurali, unendo così la tutela paesaggistica allo sviluppo di un’economia sostenibile.

2 AA.VV., 2006. Charte architecturale et paysagère, Syndicat Mixte Mont et Barrages.

AA.VV., 2007. Le trasformazioni dei paesaggi agrari in Basilicata: indirizzi per il controllo e la gestione. Linee guida per la gestione paesaggistica del territorio. Progetto PAYS.DOC, INTERREG IIIB MEDOCC, Regione Basilicata.

AA.VV., 2007. Guida alle buone pratiche per il paesaggio rurale. Insediamento. Progetto PAYS.DOC, INTERREG IIIB MEDOCC, Regione Umbria.

ARGIMON X., ARRUFAT M.A., SUNJER M., BUENO J., 2006. Criteris i mesures per a la integració paisatgística de les activitats agràries. Fundació de l’Enginyeria Agrícola Catalana.

Come si evince dalla Tabella 1, il confronto tra i casi studio sulla base degli indicatori proposti permette di elaborare le prescrizioni da seguire per l'analisi a grande scala dell'area in cui è collocato il fabbricato nella fase pre-intervento. La tabella può ovviamente essere estesa a più realtà portando alla definizione di linee prescrittive sempre più dettagliate.

Si ritiene infatti che il sistema di comparazione tra un gran numero di casi studio, possa essere un idoneo strumento per la valutazione degli aspetti salienti di ogni area nella quale è previsto un progetto di intervento.

4. Seconda fase

La seconda fase del lavoro è stata incentrata sull'individuazione di idonei indici di valutazione da prendere in considerazione in ambito di recupero, ripristino e mantenimento dei caratteri tipologici dell'esistente.

Per la determinazione degli indici sono state utilizzate due fonti:

- La Convenzione Europea del Paesaggio
- “The Conversion of Traditional Farm Buildings: A guide to good practice” (*English Heritage*, 2006), documento prodotto nel 2006 dall'English Heritage e dalla Countryside Agency e scaricabile dal sito www.helm.org.uk contenente le linee guida per il recupero delle aziende agricole.

Si ritiene che l'applicazione congiunta degli indici di valutazione, assieme alle linee guida contenute nella griglia proposta in precedenza, possano costituire uno strumento di supporto al progettista nella fase pre-intervento.

Dall'analisi delle linee strategiche suggerite dalla guida inglese e sulla base dei principi prescritti dalla Convenzione, sono stati determinati i seguenti indici:

1. Condizione dell'edificio
2. Localizzazione
3. Struttura socio economica dell'area in esame
4. Presenza di vincoli di tutela
5. Caratteristiche dell'edificio
6. Rapporto con il contesto
7. Sensibilità al cambiamento
8. Cambio di destinazione d'uso

Tab. 1. Linee guida per l'analisi dell'area (elaborazione degli autori)

	BASILICATA	UMBRIA	PAYS DE MONTS ET BARRAGES	CATALOGNA
CRITICITA'	<ul style="list-style-type: none"> • Omologazione tipologica dei nuovi edifici • Manomissione degli edifici rurali minori per carenza di tutela • Rifiuto delle tecniche edilizie tradizionali • Ristrutturazioni non rispettose dell'esistente • Ibridi edilizi 	<ul style="list-style-type: none"> • Nuovi manufatti per la produzione agricola difforni alle tipologie edilizie tradizionali • Abbandono degli edifici rurali nelle aree interne • Perdita dei segni distintivi dell'edilizia tradizionale • Conversione degli spazi aperti in aree parcheggio per i mezzi agricoli 	<ul style="list-style-type: none"> • Rimozione elementi di divisione tradizionale dei terreni, quali siepi, recinzioni e alberi • Espansione edilizia incontrollata nelle campagne (case isolate, lottizzazioni, centri commerciali) • Carenza di strumenti urbanistici • Realizzazione di nuovi edifici con materiali incompatibili (cemento armato) 	<ul style="list-style-type: none"> • Espansione edilizia incontrollata nelle aree periurbane • Realizzazione di manufatti per la produzione agricola disomogenei rispetto al paesaggio tradizionale
STRATEGIE DI RECUPERO	<ul style="list-style-type: none"> • Incentivi per il recupero degli edifici rurali abbandonati • Formazione di manodopera specializzata • Adozione delle tecnologie e dei materiali tradizionali • Mantenimento della compattezza e dell'unitarietà del manufatto • Inserimento di elementi tecnologici innovativi • Catalogazione del patrimonio edilizio tradizionale esistente • Conservazione dell'identità tipologica 	<ul style="list-style-type: none"> • Privilegiare opere di manutenzione • Tutela degli edifici rurali minori • Utilizzo di tecniche compatibili con quelle tradizionali • Riutilizzo del materiale crollato • Istituzione di cantieri laboratori per esemplificare le azioni di intervento • Ricerca di soluzioni eco-compatibili • Incentivi per il recupero degli edifici in terra cruda • Realizzazione impianti all'esterno delle murature storiche per non compromettere i caratteri architettonici e strutturali • Utilizzo di scale cromatiche in linea con il contesto • -Studio delle relazioni morfologiche con il contesto 	<ul style="list-style-type: none"> • Tutela degli spazi aperti • Attività di rimboschimento • Predisposizione di piani urbanistici • Conservazione degli elementi edilizi identitari • Utilizzo di materiali locali 	<ul style="list-style-type: none"> • Conservazione e rispetto per i paesaggi rurali • Recupero e ricostruzione dei manufatti tradizionali • Catalogazione del patrimonio edilizio • Formazione manodopera specializzata • Inserimento di innovazioni tecnologiche compatibili con l'esistente

	BASILICATA	UMBRIA	PAYS DE MONTS ET BARRAGES	CATALOGNA
RICONVERSIONE DELLE ESISTENTE	<ul style="list-style-type: none"> • Conversione edifici rurali in strutture turistico ricettive e residenziali 	<ul style="list-style-type: none"> • Promozione progetti di riutilizzo dell'esistente 	<ul style="list-style-type: none"> • Recupero edifici rurali esistenti con cambi di destinazione d'uso 	<ul style="list-style-type: none"> • Riconversione turistica degli edifici rurali tradizionali
NUOVE COSTRUZIONI	<ul style="list-style-type: none"> • Incentivi allo studio e all'utilizzo di tecniche alternative alla prefabbricazione • Inserimento di nuovi manufatti in rapporto con le preesistenze • Progettazione delle pertinenze nel rispetto delle peculiarità degli spazi aperti 	<ul style="list-style-type: none"> • Valorizzazione delle aree a margine dell'edificio storico • Evitare le intrusioni visive che compromettono il contesto paesaggistico • Sistemare gli spazi esterni mantenendo o recuperando i componenti identitari esistenti • Curare la progettazione attraverso lo studio dei rapporti tra spazio edificato e micro ambiente di pertinenza 	<ul style="list-style-type: none"> • Integrazione paesaggistica delle nuove lottizzazioni • Delimitazione parcellaria delle aree edificabili • Studio dell'impatto visivo 	<ul style="list-style-type: none"> • Realizzazione di nuovi edifici preferibilmente all'interno dei nuclei abitativi, in funzione dei fattori economici, demografici, infrastrutturali e storici • Raggruppamento dell'edificio per minimizzare la dispersione insediativa • Inserimento del nuovo edificio in coerenza con la topografia dei luoghi • Valutazione dell'impatto visivo

4.1 Condizione dell'edificio

Prima di ogni intervento è fondamentale analizzare la condizione dell'edificio in oggetto dal punto di vista sia strutturale sia funzionale, prestando particolare attenzione nei casi in cui questo sia in condizioni critiche e richieda pertanto un alto livello di intervento.

4.2 Localizzazione

L'inquadramento del fabbricato nel contesto in cui è inserito è un requisito fondamentale per l'elaborazione di una proposta progettuale: include l'analisi dell'intorno, la presenza di edifici contigui e lo studio dei percorsi veicolari e dei sistemi infrastrutturali presenti.

4.3 Struttura socio economica dell'area in esame

Con questo indice ci si propone di valutare le condizioni socio economiche dell'area, includendo lo studio delle pressioni abitative e lavorative

e l'analisi dei prezzi di mercato degli immobili. Questa fase è importante soprattutto nell'ipotesi di un cambio di destinazione d'uso del fabbricato.

4.4 Presenza di vincoli di tutela

Nella fase pre-intervento si ritiene fondamentale la consultazione della documentazione inerente l'immobile in oggetto, al fine di segnalare se l'edificio è soggetto a tutela per caratteri storici, culturali e/o architettonici. In tal caso la progettazione dovrà tener conto del grado di protezione elaborando soluzioni funzionali e rispettose allo stesso tempo dei vincoli imposti.

4.5 Caratteristiche dell'edificio

Questa fase di analisi si articola nelle seguenti attività: l'analisi geologica del terreno; lo studio topografico accompagnato dal rilievo; l'analisi della tipologia costruttiva dell'immobile in esame, l'identificazione dello stile architettonico, dei materiali utilizzati e della struttura degli elementi di fabbrica; individuazione della data di costruzione dell'immobile al fine di inquadrare cronologicamente la tipologia in esame.

Questa è forse la fase più critica, in quanto implica un'analisi tipologica attenta ed in grado di individuare i caratteri salienti del contesto e dell'edificio, fattori da tenere in alta considerazione nella successiva fase di intervento.

4.6 Rapporto con il contesto

Con questo indice viene valutato il rapporto tra fabbricato e intorno prestando particolare attenzione alle relazioni intercorrenti tra l'uso dei materiali, le tecniche costruttive e i caratteri storici al fine di valorizzare la tipicità tradizionale del luogo.

4.7 Sensibilità al cambiamento

Con questo indicatore ci si propone di valutare l'idoneità del fabbricato a interventi di trasformazione e di riutilizzo. Rientra in questa fase lo studio di impatto visivo e paesaggistico, al fine di armonizzare i nuovi interventi al contesto esistente e di consolidare il rapporto tra fabbricato e paesaggio.

4.8 Cambio di destinazione d'uso

Le trasformazioni a cui sarà sottoposto l'immobile dovranno essere riportate alla sua destinazione futura. Qualora si ritenga per motivi ad

es socio economici, che non sia più possibile mantenere l'originaria destinazione d'uso agricola del fabbricato, si devono individuare possibili nuove attività in linea con le strategie di sviluppo economico del territorio.

Tra le possibili ipotesi di conversione suggeriamo la realizzazione di strutture turistico ricettive in grado di valorizzare l'esistente in rapporto al contesto e al paesaggio circostante, rilanciando allo stesso tempo il carattere socio economico dell'area.

Si ritiene infatti che lo sviluppo di un sistema turistico di qualità, espressione del territorio e della cultura locale possa incentivare le forme di integrazione tra le offerte e le risorse locali; valorizzare e recuperare il patrimonio storico edilizio; promuovere la conoscenza di attrattive culturali e naturalistiche nonché i prodotti locali e infine incrementare forme di turismo sostenibile con potenzialità di incremento del reddito e dell'occupazione.

5. Conclusioni

Sulla base delle due fasi di lavoro descritte in precedenza è possibile elaborare uno strumento di valutazione del sistema fabbricato-contesto, come idoneo supporto al progettista nella fase pre-intervento.

Lo schema proposto parte dall'analisi a grande scala dell'area nella quale è collocato il fabbricato in esame sulla base degli indicatori identificati nella prima fase, per poi definire le linee di recupero in rapporto agli indici di valutazione delineati nella seconda fase (vedi Fig. 2).



Fig. 2. Strumento di valutazione del sistema fabbricato-contesto (elaborazione degli autori)

La valorizzazione degli edifici rurali nell'era della Convenzione Europea del Paesaggio, non può prescindere dall'analisi del rapporto tra edificio e paesaggio e come tale deve essere accompagnata dallo studio delle

criticità maggiormente riscontrate nel contesto di appartenenza e dall'efficacia delle strategie per il recupero e la realizzazione di nuovi fabbricati promossi dalle istituzioni. L'analisi dei caratteri del fabbricato, della sua sensibilità alle trasformazioni e al cambio di destinazione accompagnata dallo studio dei suoi rapporti con il contesto fornisce una buona base di partenza per la progettazione di possibili interventi futuri.

Ringraziamenti

Le attività di ricerca oggetto di questo paper si sono svolte nell'ambito del corso di dottorato di ricerca in "Analisi e valorizzazione del paesaggio", presso Università del Molise in consorzio con l'Università di Sassari, responsabile scientifico prof. Donatella Cialdea.

Bibliografia

- AA.VV., 2006. Charte architecturale et paysagère, Syndicat Mixte Mont et Barrages.
- AA.VV., 2007. Le trasformazioni dei paesaggi agrari in Basilicata: indirizzi per il controllo e la gestione. Linee guida per la gestione paesaggistica del territorio. Progetto PAYS.DOC, INTERREG IIIB MEDOCC, Regione Basilicata.
- AA.VV., 2007. Guida alle buone pratiche per il paesaggio rurale. Insediamento. Progetto PAYS.DOC, INTERREG IIIB MEDOCC, Regione Umbria.
- ARGIMON X., ARRUFAT M.A., SUNJER M., BUENO J., 2006. Criteris i mesures per a la integració paisatgística de les activitats agràries. Fundació de l'Enginyeria Agrícola Catalana.
- BRANDUINI P., 2009. Compatibilità delle trasformazioni nel paesaggio: metodi e strumenti per i fabbricati rurali. Atti IX Convegno Nazionale dell'Associazione Italiana di Ingegneria Agraria, Ischia Porto 12-16 Settembre.
- CONVENZIONE EUROPEA DEL PAESAGGIO, 2000. Conferenza Ministeriale di Apertura alla Firma della Convenzione europea del Paesaggio, Firenze 20 Ottobre.
- COUNTRYSIDE COMMISSION, 1996, Village Design. Making local character count in new development. Part I and II, Countryside Agency Publications, <http://www.newforestnpa.gov.uk/>
- ENGLISH HERITAGE, 2006. The conversion of traditional farm buildings. A guide to good practice, <http://www.helm.org.uk>
- PAYS.DOC, 2007. Buone pratiche per il paesaggio, <http://www.paysmed.net/pays-doc/>

PROCEDIMENTI MANUALI PER LA PRODUZIONE DI MATTONI IN TERRA CRUDA

M. Barbari, M. Monti, G. Rossi, S. Simonini, F. Sorbetti Guerri

*Dipartimento di Economia, Ingegneria, Scienze e Tecnologie Agrarie e Forestali -
Università degli Studi di Firenze*

Riassunto. Il DEISTAF ha condotto una serie di prove per testare la validità dei diversi procedimenti volti alla produzione di mattoni in terra cruda, sia del tipo Adobe che del tipo CEB (Compressed Earth Block). Per le prove sono stati utilizzati stampi e macchinari appositamente progettati e realizzati.

I prodotti sono stati sottoposti a prove di carico per testarne la validità strutturale. La ricerca ha condotto alla definizione di procedimenti operativi di provata efficienza.

Parole chiave: Terra cruda, Adobe, CEB, Compressed Earth Blocks, CINVA-RAM

Summary. The Department of Agricultural and Forest Economics, Engineering, Sciences and Technologies (DEISTAF) carried out a series of trials to test the validity of various procedures aimed at the production of unfired clay bricks, both type Adobe and type CEB (Compressed Earth Block). For the tests molds and machineries specifically designed and manufactured were used.

The products were subjected to load tests to try their structural strength. The research led to the definition of operational procedures of proven efficiency.

Key words: Raw Earth, Adobe, Mud bricks, CEB, Compressed Earth Blocks, CINVA-RAM

1. Premessa

L'utilizzo della terra cruda per le costruzioni, oltre ad essere largamente diffuso nei Paesi in via di sviluppo (quasi la metà della popolazione mondiale vive in edifici in terra cruda), è presente in misura non marginale anche in Paesi tecnologicamente avanzati quali, ad esempio, Germania, Francia, Regno Unito; fra gli innumerevoli possibili esempi, viene spesso citato l'edificio di sei piani costruito nel 1828 a Weilburg (Hessen), tuttora utilizzato.

In Italia si hanno presenze a "macchia di leopardo", riportate nella classica cartografia del Baldacci (1958); la zona dove si conservano le maggiori tradizioni è probabilmente quella del Piemonte cispadano, e in particolare di Novi Ligure, il cui centro storico è in gran parte costituito da costruzioni in terra cruda.

Su questo argomento si hanno due principali linee di interesse: la prima è volta alla cura, conservazione e recupero degli edifici esistenti, la

seconda all'utilizzo della terra cruda nelle nuove costruzioni.

Il DEISTAF svolge le sue attività di ricerca relative all'impiego dei materiali naturali, e quindi anche della terra cruda, essenzialmente nell'ambito della seconda linea di interesse. La particolare attenzione rivolta alla terra cruda è dovuta al fatto che le sue proprietà nei riguardi della de-costruibilità, dell'efficienza termodinamica, della capacità strutturale, dei bilanci energetici ed economici relativi al ciclo di vita delle costruzioni con esso realizzate, della facilità di lavorazione, ne fanno un materiale che anche in Italia può aspirare a una diffusione enormemente maggiore di quella attuale, anche perché sia il materiale che le relative tecniche costruttive si prestano in modo esemplare alla Autocostruzione Assistita.

2. Obiettivi della ricerca

La ricerca svolta dal DEISTAF nell'ambito dell'utilizzazione dei materiali naturali, e quindi anche della terra cruda, non è intesa in senso antiquario, cioè non mira al recupero di tecniche costruttive obsolete; è volta, invece, al riesaminare questi materiali da costruzione naturali e i modi di impiegarli, alla luce della scienza e della tecnica contemporanee, così da poterne sfruttare al meglio le caratteristiche meccaniche e costruttive, pur mantenendone l'alto valore ecologico.

Muovendosi in questo contesto, è stato affrontato l'argomento della produzione non industriale di blocchi in terra cruda, sia del tipo "Adobe", cioè fango semplicemente gettato in stampi, sia del tipo CEB (Compressed Earth Block), cioè terra umida compressa.

La ricerca è volta alla definizione di sistemi e pratiche produttive che, muovendo dagli innumerevoli modi tradizionali, recepiscono, anche attraverso l'applicazione di contributi originali, le indicazioni della scienza e della tecnica contemporanee, individuando alcune regole di base sempre applicabili, così da razionalizzare la produzione.

3. Materiali e metodi

3.1 Il materiale di base

La terra cruda utilizzabile per manufatti strutturali è un materiale largamente disponibile in natura, grazie anche al fatto che la percentuale di argilla necessaria al raggiungimento di opportune proprietà di resistenza meccanica varia in un range relativamente ampio. Un terreno che sia praticamente privo di sostanze organiche e contenga una sufficiente componente argillosa presenta, una volta essiccato, caratteristiche meccaniche non trascurabili, che lo rendono idoneo all'impiego nelle costruzioni. Le

resistenze meccaniche dei manufatti con essa prodotti sono variabili in funzione del tipo di terreno impiegato, ma in generale sono sufficienti alla costruzione di molte opere, anche in zona sismica.

Nel presente caso si è utilizzato terreno proveniente da un cantiere edile sito in Comune di Firenze, cavato alla profondità di 0,60-0,80 m; il materiale impiegato è rappresentativo del tipo generalmente disponibile nella piana fiorentina.

Si è escluso l'impiego di paglia, additivi e trattamenti tesi a migliorare le prestazioni meccaniche e la durabilità, sia per limitare il numero di variabili da prendere in conto, sia per evitare il pericolo di snaturare in misura decisiva le proprietà ecologiche della terra cruda.

L'idoneità del terreno alla produzione di mattoni di argilla cruda destinati a murature strutturali è stata dapprima valutata con le consuete modalità empiriche idonee per le aree rurali (Touch, Smell, Chewing, Hand-washing, Shine test, Ball forming, Ball dropping, Ribbon test, BRL test, Acid test, Cigar-shape test), che hanno dimostrato la presenza di un'adeguata quantità di argilla.

Successivamente, è stata accertata l'effettiva composizione granulometrica del suolo con metodi ed attrezzature di laboratorio: si è separata la sabbia dalla frazione fine mediante vagliatura meccanica con setaccio ISO da 63 mm [14], e la frazione residua è stata analizzata con il metodo del densimetro Bouyoucos [7] (Tab. 1)

Per la produzione dei blocchi è stato utilizzato il suolo così come ottenuto dallo scavo, semplicemente miscelato con acqua, senza aggiunta di altri materiali.

I risultati delle prove sono riportati in tab.2.

3.2 La produzione di Adobe

Innumerevoli sono i tipi di processo produttivo degli Adobe impiegati in tutto il mondo; quello qui descritto è stato messo a punto sintetizzando le varie conoscenze teoriche e pratiche acquisite dal DEISTAF.

3.2.1 Produzione dell'impasto

Il materiale da ottenere è un fango lavorabile.

a) Si scava una buca a forma di vasca della profondità di circa 30-40 cm, e del diametro necessario a contenere la quantità di terreno desiderata; nel nostro caso il diametro è stato di 2,00 m circa. Per piccole quantità la buca può essere sostituita da un mastello a bordi bassi non forato. La fossa dovrebbe essere posizionata su un terreno la cui morfologia dia luogo all'allontanamento spontaneo delle acque piovane; sul perimetro della vasca può essere ricavata una canaletta di scolo.

Tab. 1. Foglio di calcolo creato dal DEISTAF per la determinazione della percentuale di argilla contenuta nella frazione fine.

Bouyoucos Hydrometer Method Application

Derivations and sources for these equations can be found in Gee and Bauder (1986).
 The calculated value for δ can be used for all time intervals if temperature of samples was kept relatively constant throughout.
 δ provides corrections for the density and viscosity variations of the HMP solution

conventional gravitational constant	g	cm/s^2	980.67	980.67	980.67	980.67	980.67	980.67	980.67		
conventional soil particle density	ρ_s	g/cm^3	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65		
water density at 15 °C	$\rho_{w,15}$	g/cm^3	0.999103	0.999103	0.999103	0.999103	0.999103	0.999103	0.999103		
water density at 20 °C	$\rho_{w,20}$	g/cm^3	0.998207	0.998207	0.998207	0.998207	0.998207	0.998207	0.998207		
water density at 25 °C	$\rho_{w,25}$	g/cm^3	0.997048	0.997048	0.997048	0.997048	0.997048	0.997048	0.997048		
water density at 1 °C 15 ≤ t < 20	$\rho_{w,t}$	g/cm^3	0.999103	0.999138	0.999085	0.999109	0.999085	0.998941	0.998906		
water density at 1 °C 20 ≤ t ≤ 25	$\rho_{w,t}$	g/cm^3	0.999366	0.999413	0.999343	0.999374	0.999343	0.999158	0.999111		
water density at 1 °C calculation value	$\rho_{w,t}$	g/cm^3	0.999103	0.999138	0.999085	0.999109	0.999085	0.998941	0.998906		
	A	$\text{Pa} \cdot \text{s}$	2.414E-05	2.414E-05	2.414E-05	2.414E-05	2.414E-05	2.414E-05	2.414E-05		
	B	$^{\circ}\text{K}$	247.80	247.80	247.80	247.80	247.80	247.80	247.80		
	C	$^{\circ}\text{K}$	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00		
	T	$^{\circ}\text{K}$	288.15	287.95	288.25	288.12	288.25	289.05	289.25		
$[\text{Pa} \cdot \text{s}]$	$\eta_t = A \cdot 10^{\frac{B}{T-C}}$	Water viscosity at t °C	η_t	$\text{Pa} \cdot \text{s}$	0.001136	0.001142	0.001133	0.001137	0.001133	0.001110	0.001104
[Poise]		Water viscosity at t °C	η_t	P	0.01136	0.01142	0.01133	0.01137	0.01133	0.01110	0.01104
		oven-dry weight of soil sample used for test	C_D	g	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
		temperature of the solution	t	$^{\circ}\text{C}$	15.00	14.80	15.10	14.97	15.10	15.90	16.10
		concentration of HMP	C_s	g/cm^3	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
$\rho_t = \rho_{w,t}(1 + 0.630 \cdot C_s)$		HMP solution density at temperature t	ρ_t	g/cm^3	1.0306	1.0306	1.0306	1.0306	1.0306	1.0304	1.0304
$\eta = \eta_t(1 + 4.25 \cdot C_s)$		HMP solution viscosity at temperature t	η	P	0.01377	0.01385	0.01374	0.01379	0.01374	0.01346	0.01339
$\Delta = \frac{30 \eta}{g \cdot (\rho_s - \rho_t)}$		correction factor for the density and viscosity variations of the HMP solution.	Δ		0.000260	0.000262	0.000260	0.000260	0.000260	0.000254	0.000253

Clay Fraction Determination			measur 1	measur 2	measur 3	mean measur	h, 1.5	h, 24	h, 48	
	time	u	min	0.30	0.30	0.30	0.30	90	1.440	2.880
	hydrometer reading of blank solution	R_L		8.5	8.5	8.5	8.5	8.5	8.4	8.4
	uncorrected hydrometer reading at time u	R_u		26.5	26.3	26.3	26.4	18.1	14.1	13.0
$C = R_u - R_L$	concentration of soil in suspension	C	g/l	18.00	17.80	17.80	17.87	9.60	5.70	4.60
$P = 100 \cdot \frac{C}{C_s}$	summation of percentage for given time interval	P	li	90.00	89.00	89.00	89.33	48.00	28.50	23.00
$H' = -0.164 R_u + 16.3$	effective hydrometer depth	H'	cm	11.9540	11.9868	11.9868	11.9759	13.3316	13.9876	14.1680
$\theta = 1000 \cdot \sqrt{\Delta} \cdot H'$	sedimentation parameter	θ		55.77	55.99	55.77	55.85	58.82	59.63	59.86
$X(u) = \theta \cdot \frac{1}{\sqrt{u}}$	mean particle diameter in suspension at time u	$X(u)$	μm	101.82	102.23	101.83	101.96	6.20	1.57	1.12
$m = \frac{P(1.5) - P(24)}{\ln \left(\frac{1.5}{24} \right)}$	slope of the summation percentage curve between X at 1.5 h and X at 24 h	m							14.2061	14.5739
$P_{\text{clay}} = m \cdot \ln \left(\frac{2}{X(24)} \right) + P(24)$	Percent clay	P_c							31.93	31.31
	Percent silt	P_s							68.07	68.69

Tab. 2. Composizione granulometrica totale del terreno utilizzato.

Sand fraction	21.1%
Silt fraction	53.7%
Clay fraction	25.2%

b) E' opportuno disporre sul fondo della vasca un foglio impermeabile, per evitare che l'acqua di bagnatura percoli nel terreno sottostante, e che quest'ultimo possa alterare lo stato fisico-chimico della terra per Adobe.

c) La terra per Adobe viene immessa nella vasca, riempiendola per circa 2/3.

d) La terra viene bagnata con acqua. La quantità di acqua può variare molto con il tipo di terreno impiegato, e quindi deve essere determinata per tentativi; il criterio da seguire è che la quantità di acqua deve essere la minima indispensabile affinché l'impasto risulti lavorabile, cioè gettabile negli stampi con la sola azione manuale dell'operatore.



1 - Vasca di bagnatura della terra



2 - Impermeabilizzazione della vasca



3 - Terra nella vasca



4 - Bagnatura della terra

Fig. 1. Fasi della preparazione del terreno.

e) La terra bagnata viene lasciata riposare per uno o più giorni in modo che assorba l'acqua di bagnatura. L'uniformità della bagnatura viene agevolata pestonando la terra 2 o 3 volte al dì; nel caso di grandi quantità, la pestonatura può essere eseguita transitando ripetutamente nella vasca con un mezzo meccanico; con un motocoltivatore si ha un ulteriore effetto di rimescolamento. Durante la permanenza nella vasca

deve essere disposto sulla terra un foglio impermeabile, così che l'acqua di impasto non diminuisca per evaporazione, e non aumenti per la pioggia.

3.2.2 Produzione degli Adobe

Per la produzione degli Adobe il DEISTAF ha progettato e realizzato alcuni stampi, in legno, le cui caratteristiche non si ritrovano nelle pubblicazioni consultate.

a) Prima dell'impiego, i componenti dello stampo devono essere mantenuti bagnati per alcune ore.

b) Lo stampo deve essere posto su un terreno piano e non drenante, eventualmente su un foglio di materiale impermeabile.

c) Il fondo dello stampo deve essere cosparso di sabbia fine, così che il blocco non si attacchi al fondo.

d) L'impasto viene gettato negli stampi, curando che li riempia completamente, in particolare lungo gli spigoli.

e) I blocchi devono essere protetti dalla radiazione solare diretta, particolarmente in estate, per mezzo di ombreggianti quali frasche, cannicci, tessuto-non-tessuto, e simili. Questa protezione deve essere mantenuta per tutta la durata del periodo di essiccazione.

f) I blocchi devono essere protetti dall'azione dilavante della pioggia, mediante fogli impermeabili, lamiere e simili per tutta la durata dell'essiccazione e dell'immagazzinamento. Questa protezione è necessaria anche quando sono in opera: essa verrà ottenuta con la morfologia della costruzione (es. gronde) e con intonaco di sacrificio in terra cruda.

g) Il disarmo dei blocchi deve avvenire non appena, a causa del ritiro, iniziano a staccarsi dalle pareti dello stampo. Il ritiro totale in fase di asciugatura si aggira intorno al 5%: per ottenere blocchi di 300x300 mm si sono impiegati stampi di 315x315 mm.



1 - Sabbatura del fondo



2 - I blocchi disarmati

Fig. 2. Fasi della produzione degli Adobe.

h) Non appena i blocchi hanno raggiunto una sufficiente resistenza meccanica devono essere posti in verticale, al fine di migliorare la velocità e la uniformità di essiccazione. Questa operazione può essere effettuata dopo 1 o 2 giorni dal getto, a seconda delle condizioni climatiche locali.

i) Per l'immagazzinamento i blocchi devono essere disposti in posizione verticale. Nel corso di questa operazione possono essere scartati i manufatti difettosi: è opportuno che ciascun mattone non presenti più di tre fessurazioni, la cui lunghezza deve essere non superiore a 60 mm e la cui larghezza deve essere non superiore a 3 mm.

3.3 La produzione di CEB

Nell'ambito delle costruzioni in terra, la tecnica CEB è di recente introduzione. Essa è stata sviluppata negli anni '50 del secolo scorso da Raul Ramirez nell'ambito di un progetto di ricerca sugli edifici rurali in Colombia. Con questo metodo, anziché essere gettati in stampi in legno, i blocchi vengono prodotti comprimendo la terra, leggermente inumidita, in una pressa in acciaio.

3.3.1 Produzione dell'impasto

Il materiale da ottenere è una terra umida.

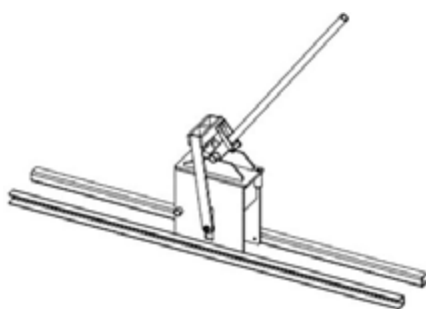
a) La terra deve essere disposta in luogo asciutto e lasciata asciugare praticamente fino a completa essiccazione; per accorciare i tempi, è opportuno che il luogo sia ventilato e che la terra venga distesa.

b) Il terreno essiccato deve essere frantumato in parti il più possibile piccole, agendo con mezzi manuali o a motore. Successivamente, qualora sia presente una rilevante frazione di ghiaia grossa, si deve procedere ad una setacciatura con rete avente maglia di 15-20 mm.

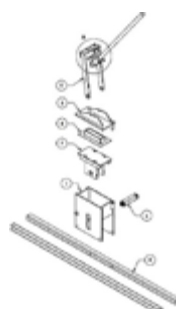
c) Il materiale così ottenuto deve essere inumidito, in misura tale che mantenga la consistenza di terra umida; per l'operazione è opportuno l'impiego di uno spruzzatore fine (ad esempio macchina per irrorazione), da azionare mentre la terra viene rimescolata. La percentuale di acqua necessaria varia molto col tipo di terreno; in generale può variare fra il 4% e il 12% in peso.

3.3.2 Produzione dei CEB

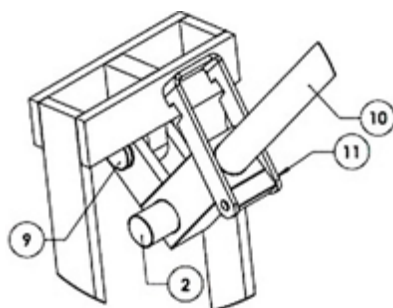
Per la produzione dei CEB il DEISTAF ha realizzato un modello di CINVA-RAM, modificando opportunamente progetti esistenti.



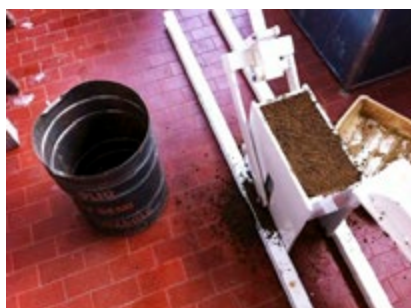
La pressa realizzata



Esploso della pressa



Particolare della pressa



Terra nella pressa



Terra nella pressa



Uscita di un blocco prodotto

Fig. 3. CINVA-RAM del DEISTAF e produzione di un blocco.

La pressa costruita dal DEISTAF ha dimostrato un ottimo funzionamento; tuttavia, essendo derivata, come si è detto, dalla parziale modifica di modelli esistenti, presenta il difetto originario di poter essere realizzata solo da officine meccaniche che possiedano attrezzature relativamente costose: ad esempio, trapani in grado di praticare fori $\varnothing 32$ mm, tranciatrici o tagliatrici per lamiere spesse, ecc.

Per questa ragione il DEISTAF ha sviluppato un progetto che, pur

mantenendo l'efficienza funzionale del prototipo realizzato, possa essere costruito in una officina di fabbro dotata solo delle attrezzature minime di base: trapano a colonna per fori fino a Ø 13 mm, normale troncatrice per profilati in acciaio, saldatrice ad elettrodi. Questo amplia in maniera decisiva le zone del mondo nelle quali la macchina può essere effettivamente realizzata.

4. Risultati

I processi produttivi utilizzati, sia per gli Adobe che per i CEB, consentono di ottenere blocchi di qualità soddisfacente, praticamente senza dare origine a scarti.

I blocchi prodotti, dopo la loro completa essiccazione, sono stati oggetto di prove al fine di accertare le caratteristiche meccaniche raggiunte. A tal fine si sono ricavati, per segazione dei blocchi (si possono impiegare seghe da legno), cubetti aventi lato di circa 40 mm, che sono stati schiacciati alla pressa idraulica per prove sui materiali in dotazione al Dipartimento. Di seguito si presentano alcuni dei risultati ottenuti.

4.1 Prove su cubetti da Adobe

Tab. 3. Risultati di alcune prove significative su cubetti da Adobe.

date	tool	type	n°	a	b	assumed	h	volume	weight	density	mean	ultimate	ultimate	mean	min.		
				mm	mm	cross										u. s.	div. by
				mm	mm	section	mm	mm ³	N	kg/m ³	density	load	stress	u. s.	0.8		
				mm	mm	mm ²	mm	mm ³	N	kg/m ³	density	N	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	
22-feb-2012	HYDRAULIC	PRESS	B 1	38.0	41.5	1577.0	41.0	6.47E+04	1.25	1933		10 900	6.91				
			B 2	38.0	41.0	1558.0	41.0	6.39E+04	1.21	1886		11 200	7.19				
			B 3	40.0	41.5	1660.0	41.5	6.89E+04	1.29	1865		11 300	6.81				
			B 4	41.0	42.0	1722.0	41.0	7.06E+04	1.34	1891		11 500	6.68				
			B 5	39.5	42.0	1659.0	39.5	6.55E+04	1.22	1866		10 700	6.45				
			B 6	37.5	39.0	1462.5	39.0	5.70E+04	1.07	1871		10 600	7.25				
			B 7	38.5	39.0	1501.5	39.5	5.93E+04	1.14	1925		10 700	7.13				
			B 8	38.0	42.0	1596.0	38.5	6.14E+04	1.16	1891		10 900	6.83				
			B 9	38.0	41.5	1577.0	39.5	6.23E+04	1.18	1900		10 900	6.91				
			B 10	40.0	40.0	1600.0	39.5	6.32E+04	1.20	1895		10 100	6.31				
			B 11	38.0	41.5	1577.0	40.0	6.31E+04	1.19	1888		10 400	6.59				
			B 12	41.0	41.0	1681.0	39.0	6.56E+04	1.26	1917	1894	10 400	6.19	6.77	7.73		

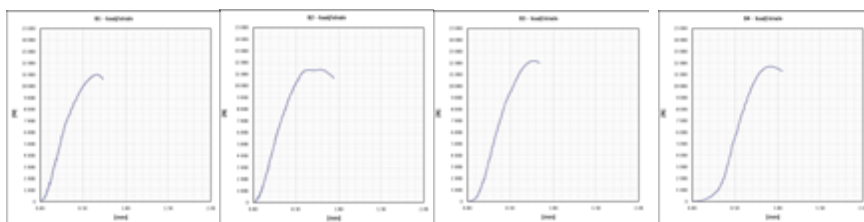


Fig. 4. Grafici sforzo/deformazione relativi ad alcuni provini da Adobe.

Le caratteristiche meccaniche rilevate consentono, in zone sismiche del livello di quella intorno a Firenze, la realizzazione di edifici di 2 piani fuori terra.

4.3 Prove su cubetti da CEB

Tab. 4. Risultati di alcune prove significative su cubetti da CEB.

date	tool	type	n°	a	b	assumed mean cross section	h	volume	weight	density	mean density	ultimate load	ultimate stress	mean u. s.	min. u. s. div. by 0.8
				mm	mm	mm ²	mm	mm ³	N	kg/m ³		N	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
22-feb-2012	HYDRAULIC PRESS	CRA	1	39.7	39.5	1568.2	37.0	5.80E+04	1.08	1861		7134	4.55		
			2	37.9	39.7	1504.6	39.0	5.87E+04	1.10	1875		6418	4.27		
			3	39.2	39.7	1556.2	38.5	5.99E+04	1.11	1853		6865	4.41		
			4	40.1	39.8	1596.0	38.5	6.14E+04	1.14	1855	1861	6885	4.31	4.39	5.33

5. Conclusioni

L'analisi e la diretta sperimentazione di vari procedimenti produttivi ha condotto all'individuazione e alla definizione di prassi operative semplici e relativamente veloci.

Le scabrosità e le irregolarità superficiali, anche molto rilevanti, dei blocchi Adobe, lungi dal rappresentare un difetto, generano una migliore resistenza delle murature alle azioni orizzontali ed una migliore aderenza dell'intonaco.

Fra i provini ricavati da Adobe e quelli ricavati da CEB è stato rilevato un marcato divario prestazionale, in termini sia di resistenza sia di rigidezza, a svantaggio dei secondi. Dato che il terreno utilizzato è il

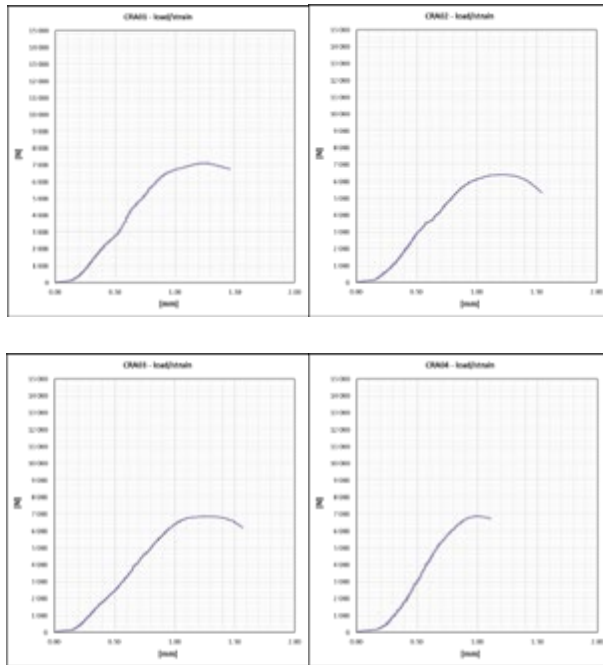


Fig. 5. Grafici sforzo/deformazione relativi ad alcuni provini da CEB.

medesimo, si poteva ritenere che l'azione di pressatura avrebbe condotto a prodotti aventi qualità meccaniche superiori. La principale variabile in gioco è la quantità di acqua presente nell'impasto, per cui si può ipotizzare che essa non sia stata sufficiente a far sviluppare totalmente le qualità leganti dell'argilla. Per accertare le cause di quanto esposto, sono necessarie ulteriori prove di produzione di blocchi con la Cinva-Ram.

Bibliografia

- Andrews, R. 1996. Mud Brick Making Techniques. The Owner Builder, 78: 25-29.
- Anger, R., L. Fontaine. 2009. Bâtir en terre. France: Belin.
- Arya, A., T. Boen, Y. Ishiyama. 2012. Guidelines for earthquake resistant non-engineered construction. Feb: IAEE; UNESCO; IISEE.
- ASTM - American Society for Testing Materials. 2010. E2392/E2392M - 10'1. Standard Guide for Design of Earthen Wall Building Systems. USA: ASTM - American Society for Testing Materials.
- ASTM. 2002. D 422 - 63 (Reapproved 2002). Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils. West Conshohocken, Pennsylvania, USA.

- Baldacci, O. 1958. L'ambiente geografico della casa in terra cruda in Italia. *Rivista geografica italiana* - Firenze, LXV.
- Bouyoucos, G. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. USA: Agron.
- California Building Standards Commission. 2011. California Historical Building Code. USA: International Code Council.
- Dethier, J. Down to earth-Mud architecture: old idea, a new future. London, UK: Thames and Hudson.
- Doat, P., A. Hays, H. Houben, S. Matuk, F. Vituox. 1991. Building with Earth. (F. CRATerre, Ed.) New Delhi, India: The Mud Village Society.
- EN. 2002. EN ISO 14688-1. Geotechnical investigation and testing - Identification and classification of soil.
- EN. 2011. EN 772 - Methods of test for masonry units. Part 1 - Determination of compressive strength.
- Gee, G., J. Bauder. 1986. Particle-size Analysis. In V.A., Methods of soil analysis, Part 1, Physical and mineralogical methods: 383-411. USA: A.L. Page.
- ISO - International Organization for Standardization. 2000. ISO 3310-1:2000. Test sieves - Technical requirements and testing - Part 1: Test sieves of metal wire cloth.
- McHenry, P. G. 1989. Adobe and Rammed Earth Buildings: Design and Construction. Tucson, Arizona, USA: The University of Arizona Press.
- Ministero per le Politiche Agricole. 1999. DM 13/09/1999 - Metodi ufficiali di analisi chimica del suolo. Roma, Italia: Gazz. Uff. Suppl. Ordin. n° 248 del 21/10/1999.
- NMAC - New Mexico Administrative Code. 2011. New Mexico Earthen Building Materials Code. Santa Fe, USA: NMAC - New Mexico Administrative Code.
- Norton, J. 1997. Building with earth (II ed.). London, UK: IT Publications.
- NZS - New Zealand Standards. 1998. NZS 4298 Materials and workmanship for earth buildings. New Zealand: New Zealand Standards.
- Walker, P. 2002. The Australian earth building handbook. Sidney, Australia: Standards Australia International Ltd.

ANALISI G.I.S. PER L'INDIVIDUAZIONE DI ZONE DI STRESS AMBIENTALE IN AREE PROTETTE

E. Carbone, A. Tortora, P. Picuno

Dipartimento Tecnico-Economico per la Gestione del Territorio Agricolo-Forestale - DITEC - Università degli Studi della Basilicata

Riassunto. I processi di urbanizzazione causano notevoli danni all'ambiente anche a causa della riduzione degli spazi vitali per le popolazioni animali e vegetali autoctone, che sono legate ad un particolare ambiente in grado di garantire loro la sopravvivenza. Tale riduzione si tramuta infatti in degradazione, frammentazione o perfino perdita degli habitat, con conseguente isolamento tra le specie. Nel presente studio, localizzato all'interno del Parco Nazionale Appennino Lucano – Val D'Agri Lagonegrese, attraverso analisi dei trend storici di uso del suolo, all'individuazione dei vari habitat e dei loro indici di frammentazione, sono state valutate le svariate incongruenze con il sistema antropico dell'area in esame, individuando le possibili zone di stress ambientale.

La scelta dell'area di studio è scaturita analizzando il forte contrasto tra quella che negli anni '50 era una zona marginale e con vocazione naturalistica all'attuale zona a forte connotazione antropica come dimostrano sia il bacino artificiale della diga del Pertusillo nato agli inizi degli anni '60 (che ha dato il via ad un forte sviluppo della zootecnia e delle colture intensive) che le aree industriali sorte in relazione allo sviluppo delle politiche di estrazione del petrolio (quale, in particolare, il centro oli sito nel comune di Viggiano).

Parole chiave: Uso del Suolo, G.I.S., Indici Ecologici.

Summary. The processes of urbanization cause considerable damages to the environment also due to the reduction of habitats for native plant and animal populations, which are linked to the particular environment that can ensure their survival. This reduction in fact resulted into degradation, fragmentation or even the loss of habitats, with isolation between species.

In this study, located within the Apennine of the “Val d'Agri – Lagonegrese” National Park, through an analysis of land use historical trends, identification of various habitats and their indices of fragmentation, the main inconsistencies with the anthropic system of the study area were evaluated, identifying possible areas of environmental stress, in order to propose, within a suitable planning activity, proper actions for a retraining and re-naturalization of habitats.

The choice of the study area has emerged analyzing the stark contrast between what was a marginal area with a natural interest in the '50s to the present area with a strong human connotation as demonstrated by the artificial basin of Pertusillo Dam born in the early '60s (kicking off to a strong development of intensive livestock and crops) and industrial areas that have arisen in relation to the development of policies for oil extraction (as the oil center site located in the Municipality of Viggiano).

Key words: Land Cover, G.I.S., Ecological Indices.

1. Introduzione

Il considerevole incremento del tasso di crescita della popolazione umana a livello globale è stato accompagnato dall'intensificazione dello sviluppo commerciale e residenziale, delle pratiche agricole e degli interventi di deforestazione (Whitney and Somerlot, 1985). La proliferazione di queste attività antropiche ha rapidamente accelerato il ritmo della conversione del suolo causando diffusi cambiamenti all'interno della struttura spaziale degli habitat autoctoni.

Il terreno è usato principalmente in modo intensivo, le unità di sistemi di uso del suolo diventano sempre più grandi. Questi cambiamenti possono essere classificati in due gruppi (Fry and Gustavson, 1996):

- quelli derivanti dalla marginalizzazione del territorio agricolo e forestale con conseguente abbandono di pratiche antiche;
- quelli che sorgono da un uso intensivo di un territorio altamente produttivo. Simili processi hanno prodotto come risultato una minor quantità di suolo da poter coltivare, ma contemporaneamente hanno portato, su larga scala, ad una intensificazione e ad una maggiore specializzazione delle attività agricole e selvicolturali.

La ricchezza di specie è diminuita in molti tipi di vegetazione, sebbene già molte piante comuni siano diventate più abbondanti e la vegetazione più omogenea (Firbank et al., 1999).

La trasformazione del territorio può seriamente compromettere l'integrità dei sistemi ecologici attraverso la perdita di specie autoctone, l'invasione di specie esotiche, una pronunciata erosione del suolo, e una diminuita qualità dell'acqua. I resti di vegetazione autoctona presenti dopo tali modificazioni sono generalmente ridotti in termini di ampiezza e sono disconnesse dagli habitat adiacenti. Come risultato, le popolazioni di piante e animali presenti sono ulteriormente suddivise e ridotte e questo può escludere immediatamente alcune specie o incrementarne la loro probabilità di estinzione. (Wilcove et al., 1986).

La frammentazione del paesaggio ha diverse cause. L'aumento del traffico e l'intensificazione dell'agricoltura hanno prodotto molte barriere all'interno del paesaggio culturale europeo (Jongman, 1995).

La frammentazione di aree naturali è un problema spaziale che Forman (1995) ha definito come la demolizione di un habitat o tipo di terreno con formazione di piccoli lotti. In senso ecologico esso non è altro che una dissezione dell'habitat di una specie in una serie di frammenti separati spazialmente (Picuno & Carbone, 2010).

Il processo di frammentazione provoca una diminuzione di area dell'habitat ed un aumento delle barriere o della discontinuità spaziale ed è causata da barriere come le strade, le aree urbane o la diminuzione di elementi paesaggistici (boschi, filari di siepi, zone ripariali).

Gli effetti a livello spaziale sono (Jongman 2002):

- decremento dell'area idonea allo stabilirsi di un ecotipo;
- incremento in eterogeneità paesaggistica e uso del suolo;
- paesaggi frammentati con sottopopolazioni.

A partire dal 1992 inizia, con la sottoscrizione della “*Convenzione sulla Diversità Biologica*” da parte di 157 Paesi di tutto il mondo, il nuovo corso delle politiche di conservazione della natura.

A livello europeo sono due le direttive emanate per la tutela ambientale e cioè, la Direttiva n. 79/409/CEE detta “Direttiva Uccelli” (azioni per la conservazione di numerose specie di uccelli e individuazione da parte degli Stati membri dell’Unione di aree da destinarsi alla loro conservazione, le cosiddette Zone di Protezione Speciale - ZPS), e la Direttiva UE 92/43 detta “Direttiva Habitat” (individuazione di specie e habitat di interesse comunitario da sottoporre ad un sistema integrato di tutela, denominato “Rete Natura 2000”).

2. Materiali e metodi

2.1 L'area di studio: aspetti generali

L'area di studio, ampia 3498,60 Ha, è localizzata all'interno del Parco Nazionale dell'Appennino Lucano-Val d'Agri-Lagonegrese e ricade nei territori dei Comuni di Grumento Nova, Viggiano, Montemurro e Spinoso: essa è altresì compresa all'interno della ZPS IT9210271 “Appennino Lucano, Valle Agri, Monte Sirino, Monte Raparo” e del SIC IT9210143 “Lago Pertusillo” (Fig. 1). L'area è caratterizzata da una buona presenza di boschi a prevalenza di querce caducifoglie nonché di rimbo-



Fig. 1. Area di Studio.

schimenti di conifere ma sia la presenza di aree coltivate che la presenza della diga e di aree industriali sottolineano il forte impatto dell'attività antropica sul territorio.

2.2 Elaborazione dati

Lo studio dell'area in esame è stato condotto mediante analisi effettuate grazie ad un sistema G.I.S. e ad una sua applicazione denominata "*Patch Analyst*". Il primo ha permesso di georeferenziare e mosaicare (Fig. 2) i fotogrammi relativi a due dei quattro periodi analizzati (Anni 1955, 1974), mentre per gli anni 1990 e 2006 sono state utilizzate le ortofoto digitali reperibili sul Geoportale Nazionale del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (<http://www.pcn.minambiente.it/GN/>) ottenendo la base cartografica necessaria per compiere la successiva digitalizzazione dei poligoni e classificazione delle varie patches di uso del suolo (Fig. 3): la classificazione degli usi del suolo relative agli anni 1955 e 1974 è stata ottenuta attraverso la fotointerpretazione degli strati cartografici di base, mentre per gli anni 1990 e 2006 è stata ottenuta in base ai dati presenti sul sopra citato geoportale.

Infine, sono state applicate, mediante un'estensione del software GIS "*Patch Analyst*", alcune procedure standard di analisi di ecologia del paesaggio (*Landscape Metrics*) al fine di valutare il grado di alterazione e/o frammentazione ecologica del territorio in esame.

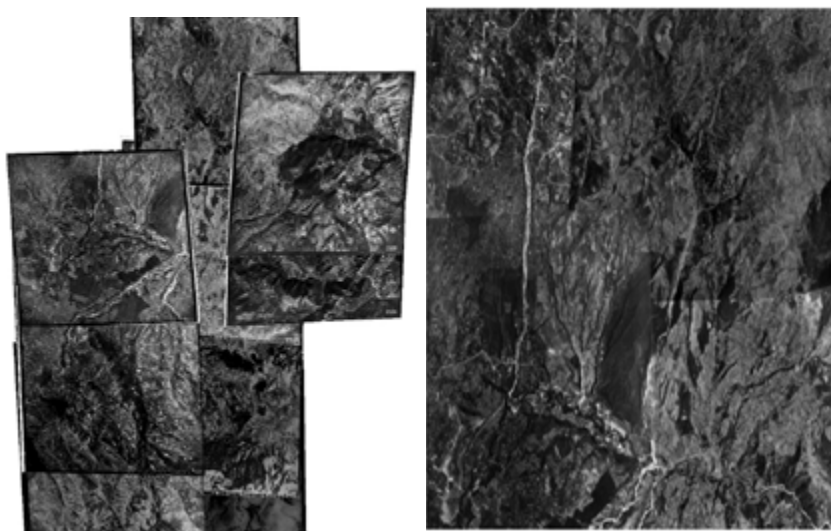


Fig. 2. Area di studio: fotogrammi e mosaicatura.

Gli indici ecologici presi in considerazione appartengono a quattro categorie di “*Landscape Metrics*” (McGarigal and Marks, 1994), quali:

- *Patch Density & Size Metrics*: NumP (Number of Patches), MPS (Mean Patch Size);
- *Shape Metrics*: MSI (Mean Shape Index: misura la complessità di forma delle patches, esso è pari a 1 quando le patches sono circolari ed aumenta con l'aumentare dell'irregolarità delle forme delle patches);
- *Edge Metrics*: TE (Total Edge), ED (Edge Density), MPE (Mean Patch Edge) esprimono la quantità di fasce ecotonali presenti;
- *Diversity Metrics*: SDI (Shannon's Diversity Index: il valore zero è segno di bassa diversità ambientale mentre aumenta con l'aumentare del numero di patches).

3. Risultati e discussioni.

La fotointerpretazione delle immagini orto fotometriche ha permesso di individuare, per i quattro periodi esaminati le unità ecosistemiche elementari (*patches*) presenti nell'ecomosaico dell'area esaminata. A loro volta, le *patches*, in base alla loro tipologia, sono state raggruppate in 4 categorie principali: habitat agricolo, habitat naturale e seminaturale, habitat antropico e habitat idrico. Dall'analisi dei dati (Tab. 1) si nota come nel periodo '55 ci sia quasi un equilibrio tra habitat naturale e seminaturale, che rappresenta il 48% circa dell'area in esame (1600 ha), ed habitat agricolo che invece ne rappresenta il 51%: l'habitat antropico, con i suoi 17 ha, occupa uno spazio molto ridotto all'interno dell'area esaminata. A partire dal periodo '74, si nota un miglioramento nell'assetto territoriale dell'area in quanto la presenza del bacino artificiale “Diga del Pertusillo” (310 ha) sottrae notevole superficie all'habitat agricolo “Sistemi particellari complessi” (dal 24% all'1%) a scapito di quello naturale e seminaturale, lasciando una vasta zona prima adibita alle colture agrarie e ora divenuta invece zona di ristoro e approvvigionamento idrico per molte specie faunistiche: l'habitat antropico rimane invece inalterato.

Nel periodo '90, sono già evidenti i cambiamenti di uso del suolo dovuti alla presenza dell'attività umana: delle 4 categorie di habitat, è quello antropico che fa registrare un aumento significativo evidenziato principalmente dalla presenza di “Aree industriali o commerciali” (circa l'1,5%) e dall'incremento della tipologia “Tessuto urbano” (passa dai 13 ettari del periodo '55 ai 23 ettari del '90). Infine, nel periodo '06 si registra un calo delle aree occupate dagli habitat agricolo, naturale e seminaturale ed idrico a scapito di quello antropico che, con il duplicare della tipologia “Aree industriali o commerciali” passa dai 72 ettari del periodo '90 agli attuali 160 ettari .

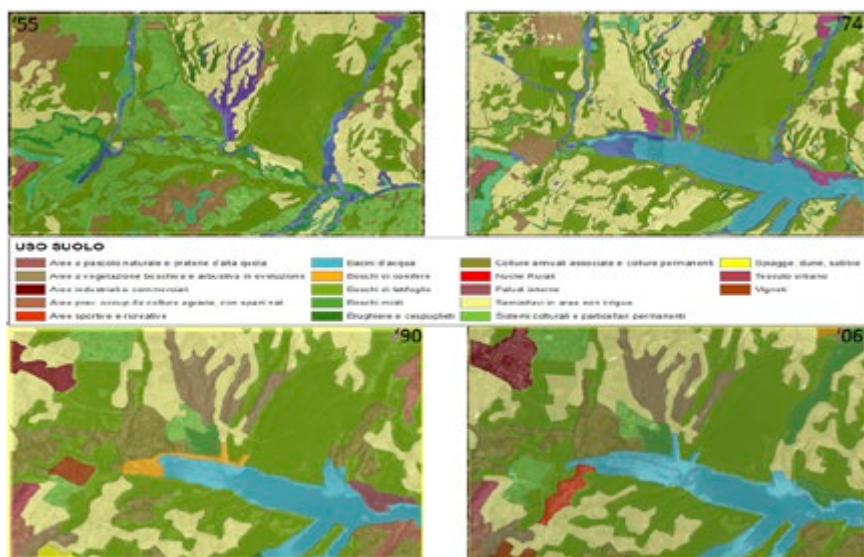


Fig. 3. Uso del suolo nell'area di studio in differenti periodi temporali.

La successiva analisi basata sull'ecologia del paesaggio mette ancor più in evidenza i cambiamenti dell'ecomosaico nel corso dei quattro periodi esaminati (Tab. 2).

I dati della tabella 2 mostrano chiaramente come i valori di SDI aumentino in tutti e quattro i periodi esaminati evidenziando una diversità ambientale che aumenta nel corso del tempo accentuandosi notevolmente dagli anni '90 fino al 2006. Rispetto ai due periodi precedenti, tutti gli indici subiscono un forte calo: l'aumento notevole del numero di *patches* (NumP) unito con la diminuzione delle fasce ecotonali (TE, ED, MPE), altera fortemente la matrice rurale dell'area esaminata creando un paesaggio fortemente frammentato. L'analisi ecologica ha permesso di evidenziare, così, quelle aree del mosaico paesistico soggette a fenomeni di frammentazione o suddivisione causati dalle attività antropiche, come si può notare ad esempio in figura 4, dove è evidente l'effetto di frammentazione degli habitat che è stato prodotto dalla realizzazione di una strada.

Le aree così identificate, inoltre, consentirebbero di indirizzare in modo specifico e mirato, i necessari approfondimenti e studi di dettaglio al fine di individuare le opere di mitigazione più idonee alla riqualificazione degli habitat, riducendo così sia il numero di aree da indagare che gli interventi da realizzare. L'obiettivo di sviluppare una pianificazione attenta e rispettosa anche della componente naturalistica, diviene pertanto facilmente raggiungibile in quanto risulta possibile evidenziare facilmente gli impatti potenziali e reali sull'ambiente, evitando così la

Tab. 1. Dati uso del suolo (espressi in ettari) per ogni periodo esaminato.

HABITAT	LAND COVER	ANNO 1955	ANNO 1974	ANNO 1990	ANNO 2006
H-An	Tessuto urbano	13	15	23	23
H-An	Nuclei rurali	4	4		
H-Ag	Seminativi in aree non irrigue	709	1166	758	873
H-Ag	Seminativi consociati con colture arboree in prev. uliveti	256	165		
H-Ag	Sistemi particellari complessi	835	35		
H-NS	Area improduttiva	135	168		
H-NS	Rocce nude, falesie, affioramenti	12	15		
H-NS	Boschi di latifoglie	1250	1297	1387	1256
H-NS	Rimboschimenti di conifere	5	46		
H-NS	Cespuglieti ed arbusteti	29	152	4	
H-NS	Vegetazione di ripa	121	21		
H-NS	Aree con vegetazione rada	64	17		
H-NS	Pascolo naturale	27	64		
H-NS	Pascolo cespugliato o arborato	40	22		
H-Id	Bacini idrici		310	348	402
H-Ag	Sistemi colturali e particellari permanenti			123	154
H-NS	Aree a vegeazione boschiva e arbustiva in evoluzione			191	191
H-Ag	Aree prev. occup. da colture agrarie, con spazi naturali			101	29
H-An	Aree industriali o commerciali			49	98
H-Ag	Colture annuali associate e colture permanenti			358	267
H-NS	Boschi misti			32	141
H-NS	Spiagge, dune, sabbie			42	
H-Ag	Vigneti			28	18
H-NS	Paludi interne			33	
H-Ag	Frutteti e frutti minori			20	
H-An	Aree sportive e ricreative				39
H-NS	Boschi di conifere				7
H-NS	Aree a pascolo naturale e praterie d'alta quota				0,14

H = Habitat; Ag = Agricolo; An = Antropico; NS = Naturale e Seminaturole; Id = Idrico

Tab. 2. Indici Ecologici riferiti all'intero paesaggio per ogni periodo esaminato.

	MSI	TE (m)	ED (m/ha)	MPE (m/patch)	MPS (ha)	NumP	SDI
LANDSCAPE - '55	6,98	583916,38	166,90	36494,77	218,66	16	0,73
LANDSCAPE - '74	9,80	844745,62	241,40	49690,32	205,84	17	1,00
LANDSCAPE - '90	2,00	274859,25	78,56	5975,20	76,06	46	1,85
LANDSCAPE - '06	2,00	281742,97	80,53	5749,86	71,40	49	1,85

conseguente frammentazione degli habitat presenti: la possibilità di individuare con precisione le aree su cui intervenire ridurrebbe di molto sia i costi che i tempi di progettazione e di esecuzione di opere di mitigazione ambientale (Ray et al., 2002), quali la realizzazione di bypass faunistici, corridoi ecologici, stepping stones, siepi e filari e reintroduzione di specie arboree autoctone.



Fig. 4. Esempio di frammentazione di un habitat causata dalla costruzione di una strada.

4. Conclusioni

Il processo di conversione dei terreni per uso umano ha prodotto una completa trasformazione del territorio compromettendo l'integrità degli ecosistemi presenti.

Il presente studio mostra come durante i quattro periodi esaminati l'impatto antropico, legato sia all'aumento di un'agricoltura prettamente intensiva, sia per la presenza di aree industriali in forte ampliamento legate all'estrazione petrolifera, abbia notevolmente modificato l'assetto territoriale di un'area con un'elevata qualità ambientale. L'impiego di un *software* G.I.S., unitamente alle analisi di metrica del paesaggio si sono dimostrate un prezioso strumento, molto utile ai pianificatori, al fine di comprendere al meglio le potenzialità di un territorio e trovare il giusto compromesso con la componente ambientale.

È auspicabile che l'approccio proposto nel presente lavoro venga esteso all'intera superficie del giovane Parco Nazionale Appennino Lucano, Val d'Agri-Lagonegrese nella stesura del piano di gestione di cui l'ente dovrà dotarsi evitando così incongruenze e possibili ricadute negative sull'ambiente.

Bibliografia

- Collinge, S.K. 1996. Ecological consequences of habitat fragmentation: implications for landscape architecture and planning. *Landscape and Urban Planning* 36, 59-77.
- Firbank et al. 1999. Causes of changes in British vegetation. *Ecofat*, Vol. 3 Institute of Terrestrial Ecological, Grange over Sands, UK, pp.98.

- Forman, R.T.T. 1995. *Land Mosaic. The ecology of Landscapes and Regions*. Cambridge University Press, 632.
- Fry, G., Gustavson, R. 1996. Testing landscape design principles: the landscape laboratory. In: Jongman R.H.G. (Ed.), *Ecological and Landscape Consequences of the Land-use change*, Vol. 2. ECNC-Publication Series on Man and Nature, 143-154.
- Jongman, R.H.G. 2002. Homogenisation and fragmentation of the European landscape: ecological consequences and solutions. *Landscape and Urban Planning* 58, 211-221.
- McGarigal, K., Marks, B.J., 1994. "Fragstats: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure". General Technical Report PNW-GTR-351, USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland, Oregon, USA.
- Picuno, P., Carbone, E., 2010. Reti Ecologiche per la riduzione della frammentazione degli habitat nelle aree protette. Convegno "Strumenti, Piani, Progetti per una Nuova Dimensione "Urbano – Rurale". Imola (BO), Marzo 2010.
- Ray, N., Lehmann, A., Joly, P., 2002. Modeling spatial distribution of amphibian populations: a GIS approach based on habitat matrix permeability. *Biodiversity and Conservation* 11: 2143-2165.
- Whitney, G.G. and Somerlot, W.J., 1985. A case study of woodland continuity and change in the American Midwest. *Biol. Conserv.*, 31: 265-287.
- Wilcove, D.S. et al., 1986. Habitat fragmentation in the temperate zone. In: M.E. Soulé (Editor), *Conservation Biology: The Science of Scarcity and Diversity*. Sinauer Associates, Sunderland, MA, 237-256.

ANALISI DI VISIBILITÀ CON TECNICHE GIS PER LA VALUTAZIONE PAESISTICA

E. Fabrizio¹, G. Garnero²

¹*Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari, Università degli Studi di Torino*

²*Dipartimento Interateneo di Scienze, Progetto e Politiche del Territorio, Università degli Studi e Politecnico di Torino*

Riassunto. All'interno delle problematiche di impatto ambientale ed in particolare nelle analisi paesistiche, ricopre una particolare importanza l'analisi di visibilità (*viewshed*), al fine di conoscere, già dalla progettazione preliminare, come gli oggetti in progetto (una discarica, un'infrastruttura viaria, ecc.) potranno essere visti dal territorio circostante.

L'analisi di visibilità viene spesso svolta, all'interno delle pertinenti procedure autorizzative, in modo parziale, localizzando sulla base cartografica disponibile un insieme di possibili punti di vista e simulando le viste a partire da questi punti. Lo studio alla base delle presente memoria si propone invece un'analisi di tipo generalizzato, prendendo a base l'intero territorio circostante all'opera in progetto e valutando, con l'utilizzo di strumenti GIS, le intrusioni visive che si vengono a realizzare, al fine di fornire elementi oggettivi per la valutazione degli impatti e conseguentemente migliorare gli effetti delle opere di mitigazione paesistica nei punti nei quali si verificano le principali intrusioni visive: è così possibile creare mappe di visibilità dell'opera in progetto e mappe tematiche che prendano in considerazione anche i ricettori sensibili del territorio oggetto di analisi, basandosi su criteri quali la densità di popolazione, la natura dell'edificio, ecc. Vengono anche discusse le problematiche riguardanti l'analisi di visibilità nel caso di infrastrutture lineari, e non solo oggetti puntuali, sul territorio.

Parole chiave: analisi di visibilità, impatto ambientale, analisi paesistiche

Summary. Among the environmental impact studies, particularly in landscape analysis, the viewshed analysis holds a special significance in order to know, just from the preliminary design stage, how the objects that are designed (a landfill, a road, etc.) can be seen from the surrounding area.

Within the relevant authorization procedures, visibility analyses are often carried out in a partial way, locating on maps a set of possible view points and doing visual simulations from these points. The study at the basis of this work proposes instead a generalized analysis and takes as a basis the entire surrounding area of the project, evaluating, by means of GIS techniques, the visual intrusion are realized, providing an objective assessment of the impacts and therefore of the landscape mitigation measures at the points where the main visual intrusions occur. It is thus possible to create visibility maps of the work in the project and thematic maps that take into consideration the sensitive receptors of the area, and are based on criteria such as the population density, the building type, etc. Issues regarding the visibility analysis in the case of linear infrastructures in the territory, and not only points, are also discussed.

Key words: viewshed analysis, environmental impact, landscape analysis

1. Introduzione

L'analisi di visibilità (*viewshed analysis*) consente di conoscere, già dalle prime fasi progettuali, come gli oggetti in progetto (una discarica, un'infrastruttura viaria, ecc.) potranno essere visti dal territorio circostante, ed è perciò impiegata nell'ambito dello studio delle problematiche di impatto ambientale e paesaggistico. Questa tipologia di analisi, spesso applicata anche nel caso di impianti a fonti rinnovabili altamente impattanti sul territorio come ad esempio le turbine eoliche (Bishop&Moller, 2007), si basa su una discretizzazione del territorio potenzialmente ricettore dell'impatto paesaggistico del manufatto, nella successiva determinazione di indici di impatto paesaggistico basati sulla visibilità per ogni unità di territorio, e nella pesatura di questi indici in funzione della densità di popolazione o di altri parametri di ogni singola porzione di territorio. Queste tipologie di analisi sono usualmente condotte attraverso applicativi GIS con le relative estensioni per l'analisi spaziale (Rogge et al., 2008).

Il più semplice indice di visibilità, da utilizzarsi nella valutazione quantitativa dell'impatto visivo di un manufatto, può essere determinato attraverso l'angolo solido sotteso dall'impianto rispetto al punto di osservazione, calcolato o approssimato attraverso il prodotto dei due angoli piani trasversale e longitudinale rispetto all'asse che congiunge il punto di vista con il baricentro dell'impianto. È evidente che, per minimizzare l'impatto visivo di un certo impianto, si deve tendere a ridurre il più possibile l'angolo solido sotteso all'impianto. Per poter applicare questo indice è necessario che siano fissati (non dal valutatore, ma in maniera esterna) i punti a partire dai quali viene valutato l'angolo solido di visibilità (ad es. punti panoramici caratterizzanti le visuali principali), ecc.

Altro indice di visibilità che può essere adottato è il numero di ricettori (ad esempio abitazioni) visibili dall'impianto, il numero di impianti visibili da un ricettore, la distanza tra il ricettore e l'impianto. Nel caso in cui il manufatto da valutare sia esteso (un'infrastruttura stradale, ad esempio), è necessario discretizzare l'oggetto e trovare delle modalità di aggregazione della visibilità di ogni porzione di oggetto per ogni unità di terreno considerata.

Le varie tipologie strutturali delle infrastrutture viarie determinano differenti varietà di impatti visuali, che non sempre possono essere mitigati: se l'impatto di un tratto in galleria è di per sé nullo, un tratto in viadotto o un tratto con una rilevante opera muraria di contenimento dei rilevati non potranno generalmente beneficiare di alcun intervento di mitigazione. L'unica cura, se possibile, nel caso dei muri di contenimento, sarà la realizzazione delle opere attraverso tecniche di ingegneria naturalistica (terre armate, ...), che consentono un parziale inerbimento ed una conseguente riduzione della visibilità e del contrasto ambientale.

Nel presente lavoro viene presentata l'elaborazione di un'analisi di visibilità per un'infrastruttura stradale in costruzione nel comune di Bormio.

2. L'autorizzazione e la relazione paesaggistica

2.1 L'autorizzazione paesaggistica

L'istanza di autorizzazione paesaggistica è istituita dagli articoli 159 c. 1 e 146 c. 2 del Codice dei beni culturali e del paesaggio (D.Lgs. 22 gennaio 2004, n° 42) e costituisce un atto distinto e presupposto dei titoli legittimanti un intervento edilizio, volto a verificare la coerenza dell'intervento con la tutela della qualità paesistica, la congruità dell'intervento con i valori istituiti dai vincoli paesistici e il rispetto delle prescrizioni dei piani settoriali in materia di paesaggio. In presenza di un piano paesaggistico regionale, l'autorizzazione paesaggistica si applica a tutti gli immobili e le aree sottoposte a tutela dalle disposizioni del piano.

Nel corso del tempo, varie norme e regolamenti sono intervenuti a modificare la disciplina dell'autorizzazione paesaggistica (D.Lgs. 63/2008; Circolare MIBAC del 22 gennaio 2010). Attraverso il D.P.R. 9 luglio 2010, n° 139, è stata inoltre istituita un'autorizzazione paesaggistica semplificata per tutta una serie di interventi richiamati nell'Allegato 1 del D.P.R., quali modesti incrementi di volumetria di immobili, rifacimenti di manti di copertura, installazione di impianti solari termici e fotovoltaici. L'autorizzazione paesaggistica semplificata, oltre allo snellimento della procedura autorizzativa, prevede la redazione di una relazione semplificata basata su una scheda tipo.

Con il D.M. 10 settembre 2010 sono state emanate le attese (dal 2003) *Linee guida nazionali in attuazione dell'art. 12 del D.Lgs. 387/03* per l'autorizzazione degli impianti di produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile: il testo, che per gli impianti fotovoltaici, eolici, idroelettrici, a biomassa e a gas di discarica e biogas fa chiarezza sulle procedure autorizzative (Autorizzazione unica, SCIA o Comunicazione) in funzione delle soglie di capacità di generazione, nella parte IV tratta i criteri per l'inserimento degli impianti nel paesaggio e sul territorio. Sono considerati elementi per la valutazione positiva dell'inserimento delle infrastrutture una progettazione a regola d'arte che minimizzi il consumo di suolo, la valorizzazione del potenziale energetico presente sul territorio e in sostituzione della fonte fossile, il riutilizzo di aree già degradate (parte quarta, titolo V del D.Lgs. 152/2006), l'integrazione dell'impianto nel contesto delle tradizioni agroalimentari locali e del paesaggio rurale. L'interpretazione di tali criteri non è tuttavia semplice e il testo normativo contiene anche la descrizione di alcune categorie di aree non idonee, da individuarsi ad opera di Regioni e Province autonome. L'allegato 4 del

D.M. 10 settembre 2010 contiene i criteri di corretto inserimento nel paesaggio e sul territorio degli impianti eolici.

2.2 *La relazione paesaggistica*

I contenuti di una relazione paesaggistica (art. 146, c. 3 del Codice) sono stabiliti dal D.P.C.M. 12 dicembre 2005 e sono gli elementi sulla base dei quali l'Amministrazione competente esprime il giudizio di compatibilità. Gli elaborati si riferiscono sia allo stato attuale sia a quello in progetto, e possono essere suddivisi in ampie categorie che individuano quattro differenti parti di una relazione paesaggistica:

- I) nella prima parte sono contenuti i dati di riferimento e l'inquadramento (committente, natura dell'intervento, ecc.)
- II) nella seconda parte è contenuta l'analisi dello stato di fatto del fabbricato o dell'area di interesse;
- III) nella terza parte è contenuto il progetto (planimetrie, profili, sezioni, eventuali giallo/rossi, ecc.);
- IV) nella quarta parte sono contenuti gli elementi per la valutazione della compatibilità paesaggistica.

L'analisi dello stato di fatto deve comprendere gli inquadramenti, le planimetrie, piante, sezioni, prospetti e skyline (almeno uno longitudinale ed uno trasversale, nel caso di edifici con estensione a quelli contermini), il rilievo dei materiali, dei colori, delle tecniche costruttive, gli estratti degli strumenti urbanistici, il rilievo fotografico e i caratteri del contesto paesaggistico. Le riprese del rilievo fotografico devono essere fatte da luoghi accessibili e da punti e percorsi panoramici, cogliendo con completezza la morfologia orografica del territorio.

Il contesto paesaggistico si articola nella descrizione degli elementi morfologici strutturali, gli elementi storico-artistici monumentali, gli elementi territoriali paesaggistici (paesaggi agrari), gli elementi vedutistici (siti e percorsi panoramici).

Sulla base dell'analisi del contesto paesaggistico e della descrizione del progetto, la quarta parte deve contenere la descrizione più dettagliata possibile degli effetti conseguenti alla realizzazione dell'opera, ovvero le modificazioni, temporanee e permanenti, dirette o indotte, nell'area di intervento e nel contesto, sia a regime che in fase di cantiere. A tal fine devono essere eseguite simulazioni dello stato dei luoghi a seguito della realizzazione dell'intervento (simulazioni visuali) estese ad un adeguato intorno, analizzandone la congruità paesaggistica attraverso criteri quali forme, colori, materiali, vegetazione, impatto visivo, ecc.

In questa parte vengono anche discusse le opere di mitigazione visive e ambientali e quelle di compensazione.

Per le opere denominate di "grande impegno territoriale", quali le

opere a carattere lineare e a rete (strade, ferrovie, cavidotti, urbanizzazioni primarie, ecc.), dal momento che queste modificano vaste aree di territorio, il D.P.C.M. 12/12/2005 richiede una documentazione più estesa e comprendente planimetrie in scala da 1:5.000 a 1:25.000, gli skyline dai punti di intervisibilità, cartografie di analisi della tessitura storica, della visibilità, delle emergenze.

3. Il caso di studio

Nella figura 1 è riportata una vista dell'abitato di Santa Lucia, frazione a sud-ovest dell'abitato di Bormio (SO), con l'indicazione del tracciato della nuova bretella collinare di collegamento per l'alleggerimento del traffico sulla strada statale da Santa Lucia a Bormio e che rappresenta il primo tratto del nuovo sistema tangenziale di Bormio.

Tale tratto ha uno sviluppo di circa 1430 m, parte dalla quota m 1170 all'innesto con la SS38, scavalca l'Adda in viadotto e si sviluppa sul versante ovest dove raggiunge la quota massima di m 1314 e si collega infine con la SP28.

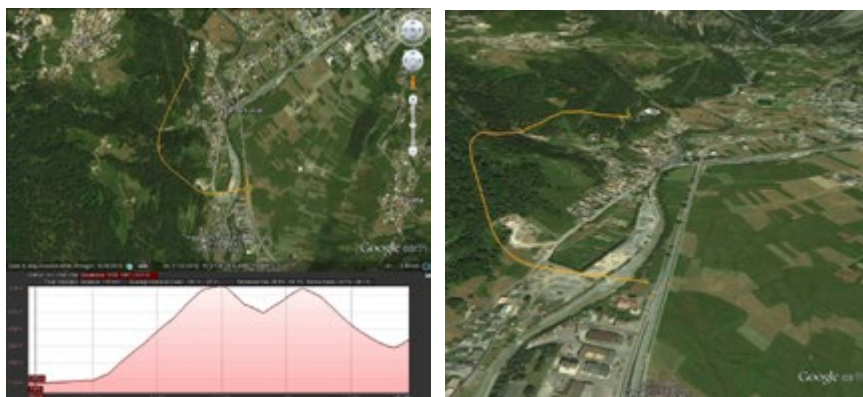


Fig. 1. Inquadramento territoriale da Google Earth dell'abitato di Santa Lucia (Frazione di Bormio) con indicazione della nuova bretella, del profilo altimetrico (sx) e vista 3D (dx)

Il contesto è caratterizzato da un territorio relativamente urbanizzato, dove l'abitato di S. Lucia si configura come il recettore dominante per la nuova infrastruttura, rispetto al quale devono principalmente essere previste le necessarie tutele paesistiche.

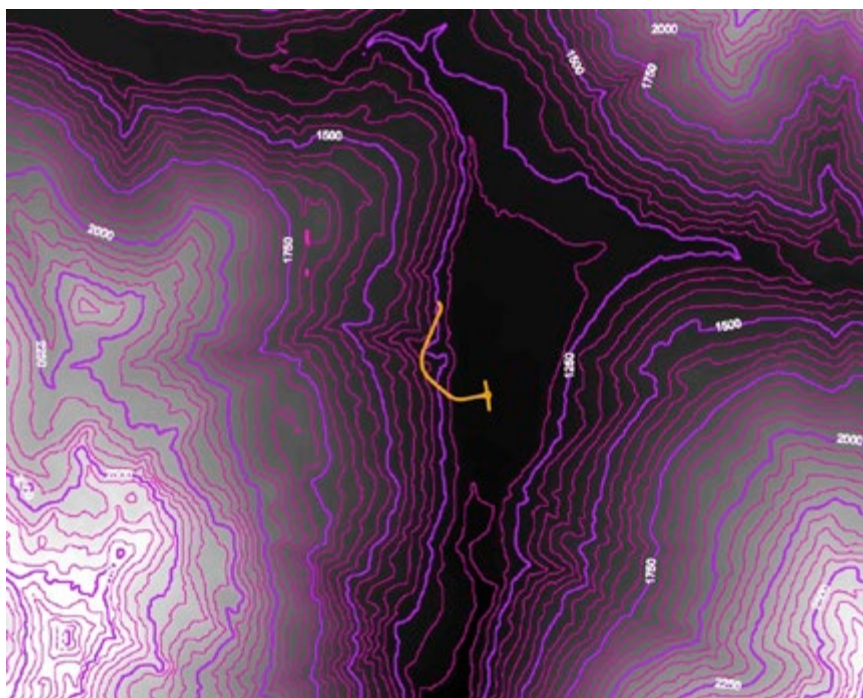


Fig. 2. DTM e visualizzazione a curve di livello del territorio in esame, con localizzazione del tracciato

Per l'esecuzione delle analisi, oltre al tracciato di progetto è disponibile il modello digitale nazionale con risoluzione di m 20 configurabile, come accuratezza, come un modello digitale Livello 1/IntesaGIS.

4. L'analisi di visibilità

Per la generazione dei punti di vista, si è utilizzato il tracciato stradale discretizzato ai 50 m: si è ritenuto opportuno inserire tale granularità al fine di avere una distribuzione omogenea dei punti, che risultano in tal modo equispaziati indipendentemente dalla tipologia del tratto stradale (rettifilo, curva circolare, clotoide).

L'analisi è stata svolta all'interno dell'ambiente ArcGIS di ESRI, utilizzando, oltre alle ordinarie routine di editing e di visualizzazione, l'apposito tool *viewshed* che consente di eseguire l'analisi della visibilità su un contesto territoriale nel quale siano note le informazioni altimetriche.

Il risultato è rappresentato nelle Figure 3 e 4: nell'immagine della Figura 3 è riportata l'analisi in scala di grigi (nero= nessuna visibilità,

bianco= massima visibilità) senza alcuna opera di mitigazione, mentre nell'immagine della Figura 5 è raffigurata la situazione dopo aver simulato la realizzazione di una quinta verde in modo da schermare l'abitato di S. Lucia.

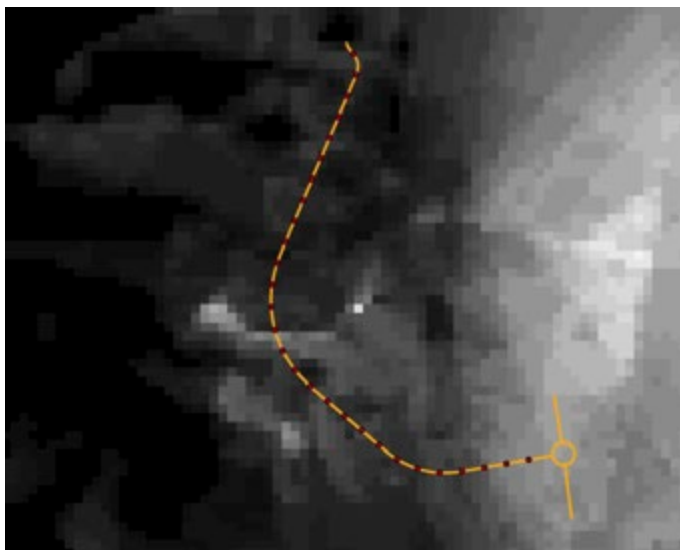


Fig. 3. Analisi di visibilità della bretella in progetto.

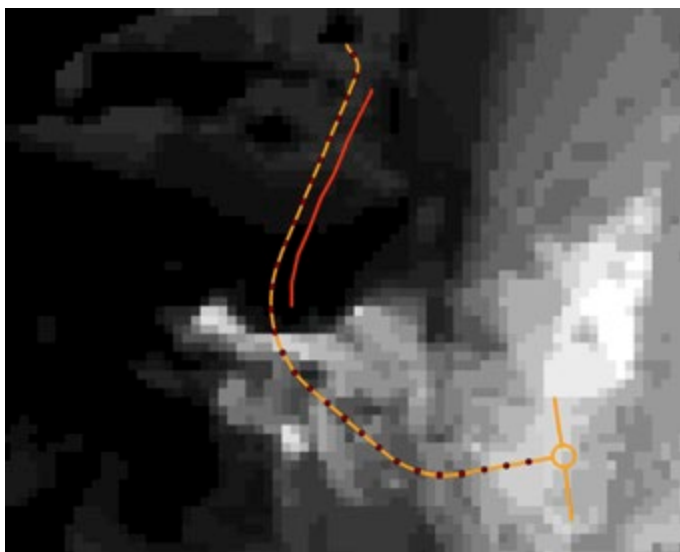


Fig. 4. Analisi di visibilità della bretella in progetto in presenza di barriera

La riduzione quantitativa delle intrusioni visuali è evidente.

I grafici che seguono (Figura 6) evidenziano quantitativamente l'apporto delle barriere verdi sulle aree dell'abitato di Santa Lucia e sul territorio extra-urbano limitrofo evidenziate nella Figura 5.

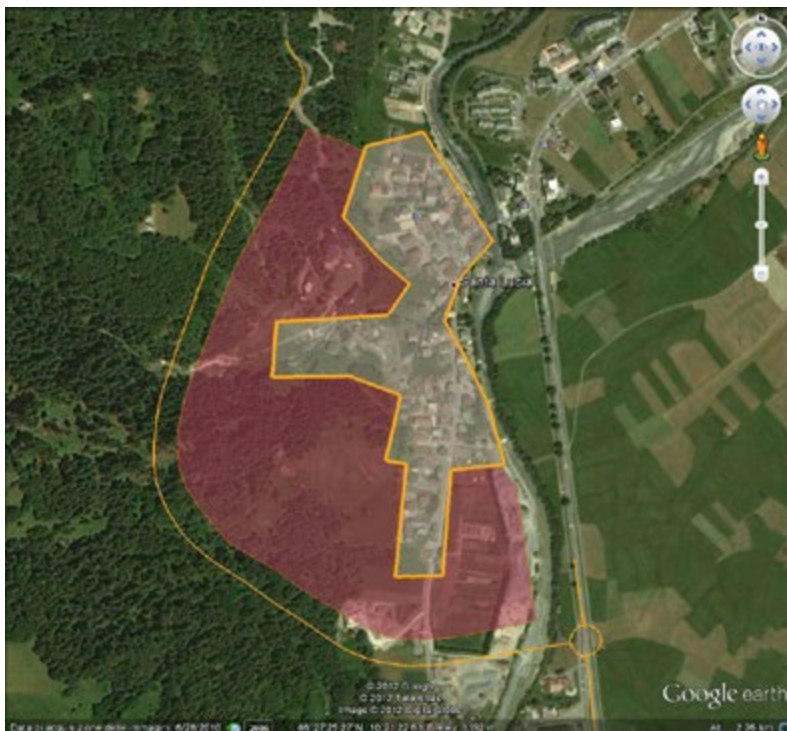


Fig. 5. Aree di analisi quantitativa (abitato ed extra-urbano)

5. Conclusioni

Se è vero che la percezione e fruizione del paesaggio non può essere ridotta ad una misura di grandezze fisiche spaziali, ma fa riferimento ad aspetti più complessi che devono essere valutati, oltre che dal punto di vista tecnico anche da quello socio-economico e culturale in senso lato, è parimenti assodato che, nell'ambito dei procedimenti autorizzativi, è necessario disporre di procedure analitiche, oggettive, ripetibili e verificabili per l'analisi dell'impatto visivo e il confronto tra soluzioni progettuali diverse.

A tal fine sono estremamente utili le estensioni spaziali dei software GIS che consentono di effettuare analisi di visibilità in presenza di mor-

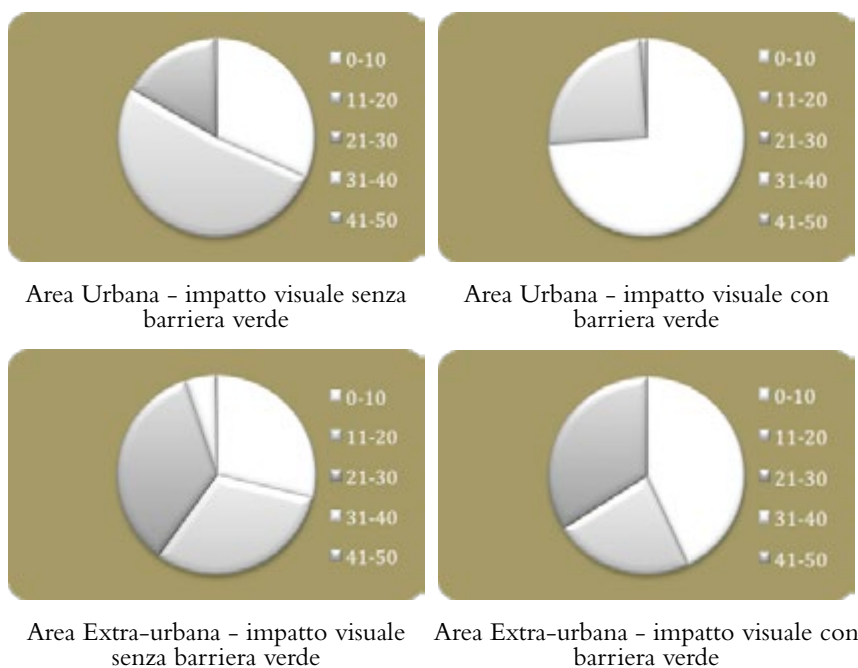


Fig. 6. quantificazione degli impatti visuali nelle differenti situazioni analizzate

fologie orografiche del territorio anche complesse e di manufatti estesi e non puntuali, come nel caso in esame. Valutando opportunamente le mappe di visibilità così costruite è possibile ottenere informazioni utili nella definizione del progetto delle misure di mitigazione ambientale di un'infrastruttura.

Attraverso tali strumenti è infatti possibile, oltre che valutare quantitativamente l'intrusione visiva di un'opera in progetto, avere strumenti oggettivi che consentano la comparazione tra differenti soluzioni progettuali confrontate dal punto di vista dell'impatto paesaggistico, in modo da poter quindi definire, anche per questi aspetti, strumenti di comparazione che prevedano il costo di realizzazione e di manutenzione delle opere di mitigazione.

Bibliografia

- Angrilli M., Baricchi W., Boschi F. (a cura di). 2011. *Progetto e paesaggio. Guida pratica per l'autorizzazione e la relazione paesaggistica*, Maggioli, Rimini.
- Bianchini R. 2011. *La relazione paesaggistica. Analisi e valutazioni per la redazione degli elaborati*, Hoepli, Milano.

- Bishop I. 2003. *Assessment of visual qualities, impacts, and behaviours, in the landscape, by using measures of visibility*, Environment and Planning B: Planning and Design, vol. 30, n. 5, pp. 677 – 688.
- Bishop I., Moller D.R. 2007. *Visual assessment of off-shore windturbines: The influence of distance, contrast, movement and social variables*, Renewable Energy, vol. 32, n. 5, pp. 814-831.
- Llobera M. 2003. *Extending GIS-based visual analysis: the concept of visualsapes*, International Journal of Geographical Information Science, vol. 17, n. 1, pp. 25-48.
- Pompa-García M., Solís-Moreno R., Rodríguez-Téllez E., Pinedo-Álvarez A., Avila-Flores D., Hernández-Díaz C., Velasco-Bautista E. 2010. *Viewshed Analysis for Improving the Effectiveness of Watchtowers, in the North of Mexico*, The Open Forest Science Journal, vol. 3, pp. 17-22.
- Rogge E., Nevens F., Gulinck H. 2008. *Reducing the visual impact of 'greenhouse parks' in rural landscapes*, «Landscape and Urban Planning», vol. 87, n. 1, pp. 76-83.

CARATTERIZZAZIONE E PERCEZIONE DEL PAESAGGIO: UN APPROCCIO INTEGRATO ALLA DEFINIZIONE DI LINEE GUIDA PER LO SVILUPPO DEL TERRITORIO

S. Artemi, F. Gobattoni, R. Pelorosso, M.N. Ripa

Dipartimento di Scienze e Tecnologie per l'Agricoltura, le Foreste, la Natura e l'Energia (DAFNE), Gruppo di Ingegneria Ambientale, Università degli Studi della Tuscia

Riassunto. Non vi sono ad oggi degli indici, esempi o modelli definiti che possano esprimere la percezione che l'uomo ha del paesaggio e relazionarla con il campo scientifico e legislativo. Il "percepito", il "sentito" rappresentano la chiave di integrazione tra attività antropiche e territorio, tra fruizione delle risorse naturali e tutela delle stesse, tra sviluppo economico e sostenibilità. Scopo di questo lavoro è approfondire le conoscenze dal punto di vista ambientale-paesaggistico del territorio e relazionarle con il "percepito e sentito" da parte della popolazione, con la visione "emotiva" dei fruitori del paesaggio ed, infine, individuare strategie di sviluppo e misure di tutela paesaggistica condivise dalla popolazione. L'area di studio comprende sei comuni del comprensorio della Teverina (Valle dei Calanchi - Civita di Bagnoregio) ricadente nella Provincia di Viterbo. La metodologia seguita può essere riassunta nelle seguenti fasi: 1) definizione di opportune unità paesaggistiche secondo una metodologia standard in ambiente GIS; 2) analisi della percezione pubblica del paesaggio per mezzo di questionari appositamente elaborati; 3) confronto dei risultati ottenuti con gli strumenti pianificatori vigenti; 4) definizione di proposte di sviluppo e tutela paesaggistica. La classificazione operata dagli strumenti urbanistici vigenti non riesce a cogliere il ruolo ecologico-funzionale del paesaggio. L'approccio olistico, conseguito in ambiente GIS ed integrato con i risultati dei questionari, permette il superamento di questo limite e consente di considerare anche il significato ecologico-percettivo dei luoghi.

Proposte di sviluppo sono state indirizzate verso la sfera agricola, artigianale e turistica con lo scopo di recuperare, valorizzare, gestire e rendere fruibili le risorse naturali, agricole, agroalimentari, artigianali, culturali ed il patrimonio artistico del territorio partendo dalle necessità avvertite dalla popolazione, dai cittadini che vivono il territorio. Questo approccio, detto bottom-up, è ormai consolidato nella moderna pianificazione territoriale, ma non trova applicazione nelle consuetudini soprattutto a livello amministrativo locale.

Parole chiave: Percezione del paesaggio, sviluppo rurale, tutela del territorio

Summary. The perception of landscape by the population represents one of the themes introduced by the European Landscape Convention (Florence, 2000). The evaluation of perception, however, represents a challenge since there are no standard procedures for this evaluation and in particular for its inclusion within planning and land management processes.

The purpose of this work was to evaluate the perception of landscape by the population and assess whether and how these perceptual aspects were taken into account within the existing governance tools and landscape analysis (Regional Landscape Territorial Plan and Scientific Research).

The study area corresponds to six municipalities in the Province of Viterbo. The proposed methodology is based on the following steps: 1) identification of appropriate Landscape Units in a GIS environment according to a standard methodology; 2) evaluation of the public perception about landscape through the distribution of questionnaires; 3) comparison between the obtained results and the existing planning tools; 4) definition of development and landscape protection proposals. The classification made by the planning instruments in force fails to grasp the ecological role and functional landscape. The holistic approach, achieved in a GIS environment and integrated with the results of the questionnaires, allows to overcome this limit and also to consider the ecological-perceptual significance of places. Development proposals have been directed towards the agricultural sphere, handicraft and tourism in order to retrieve, evaluate, manage and make accessible the natural resources, agricultural, food, crafts, cultural and artistic heritage of the area starting from the needs felt by the population, by citizens who live the territory. This approach, called bottom-up, is well established in modern planning, but usually not applied at local administrative level.

Key words: landscape perception, rural development, environmental protection

1. Introduzione

Il termine “Paesaggio” è stato ampiamente utilizzato nel corso dei secoli ma solo negli ultimi decenni ha acquistato caratteristiche nuove ed un significato più complesso, che ne ha messo in evidenza diversi e molteplici aspetti in precedenza non considerati (Gissi, 2012; Leone, A., 2009; Peano, A., 2011).

La recente adozione, ai sensi dell'art. 10 della L. 6.07.2002, n. 137, del nuovo Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio (D.Lgs. 22.01.2004, n. 42) e l'entrata in vigore (l'1 marzo 2004) della Convenzione Europea del Paesaggio (CEP), riflettono l'attuale maggiore consapevolezza, a livello internazionale, del paesaggio come bene essenziale per l'umanità e la conseguente necessità di tutelarlo.

La percezione del paesaggio da parte della popolazione rappresenta uno dei temi introdotti dalla Convenzione Europea del Paesaggio (Firenze, 2000). La valutazione della percezione rappresenta però una sfida dal momento che non esistono procedure standard per tale valutazione e soprattutto per l'inserimento di questa all'interno dei processi di pianificazione e gestione del territorio (Dramstad et al., 2006; Billgren and Holmèn, 2008; Sevenant and Antrop, 2010). In questo contesto si inserisce il presente lavoro che mira ad approfondire le conoscenze dal punto di vista ambientale e paesaggistico del territorio e a metterle in relazione con il “percepito”, perché la percezione rappresenta la chiave di integrazione tra attività antropiche e territorio (Stenseke, 2009), tra fruizione delle risorse naturali e tutela delle stesse, tra sviluppo economico e sostenibilità ambientale.

La percezione è stata analizzata attraverso la somministrazione di questionari, opportunamente elaborati, a residenti, turisti ed Enti Pubblici



Fig. 1. Inquadramento dell'area di studio e principali classi di uso del suolo per l'area considerata.

nei comuni di Bagnoregio, Castiglione in Teverina, Celleno, Civitella D'Agliano, Graffignano e Lubriano della Provincia di Viterbo. Sono state inoltre individuate idonee Unità di Paesaggio in ambiente GIS attraverso la sovrapposizione di diversi strati informativi relativi al modello digitale del terreno (DEM - Digital Elevation Model) di risoluzione 40x40 m, alla rete viaria e ferroviaria, ai caratteri morfologici, idrografici, geologici, e di Land Cover per l'area considerata ed assegnando ad essi opportuni pesi (Saaty, 1990). E' stato poi effettuato un confronto tra le Unità di Paesaggio individuate in ambiente GIS, le aree, i luoghi, gli elementi e le Unità di Paesaggio individuate attraverso la percezione pubblica del

paesaggio e i Paesaggi individuati nel Piano Territoriale Paesistico Regionale in vigore. Una volta analizzati i dati e reso chiaro il quadro conoscitivo del territorio, sono state elaborate concrete proposte di azioni/interventi per la valorizzazione del territorio indagato.

2. Materiali e metodi

2.1 Area di studio

L'area di studio ricade nel versante nord-orientale della Tuscia Viterbese, e comprende i comuni di Bagnoregio, Castiglione in Teverina, Celleno, Civitella D'Agliano, Graffignano e Lubriano (provincia di Viterbo). Il territorio, con una popolazione totale di circa 13000 abitanti, si estende per circa 196 Km² e si sviluppa in un'unica sub-regione naturale, la quale conferisce al comprensorio omogeneità dal punto di vista pedoclimatico. Il paesaggio agrario dell'area si presenta con una configurazione legata ad ordinamenti di antica tradizione come il pascolo, la produzione di cereali, la coltivazione di vite e olivo e la gestione dei boschi. All'interno dell'area di studio sono aree di interesse naturalistico, quali il sito SIC-ZPS "Calanchi di Civita di Bagnoregio" ed il sito SIC-ZPS "Monti Vulsini". Il punto di forza della Teverina è dato dalla presenza di una notevole produzione vitivinicola che fa della qualità, la principale caratteristica. Nonostante la marcata vocazione agricola dell'intera area, dal punto di vista occupazionale si evidenzia in generale uno spostamento degli occupati dal settore primario e terziario al settore industriale nel corso degli anni: tra il 1981 ed il 2001 gli occupati in agricoltura sono diminuiti del 68,60%, passando dal 20,40% nel 1981 al 6,41% nel 2001. Accanto agli occupati in agricoltura, anche quelli occupati nel terziario hanno subito una diminuzione pari al 18,25% nel ventennio 1981-2001.

2.2 Metodologia

Il lavoro svolto può essere riassunto essenzialmente in:

1. definizione di opportune unità paesaggistiche secondo una metodologia standard in ambiente GIS (UdP ecologico-funzionali);
2. analisi della percezione pubblica del paesaggio per mezzo di questionari appositamente elaborati;
3. confronto dei risultati ottenuti con gli strumenti pianificatori vigenti;
4. definizione di proposte di sviluppo e tutela paesaggistica.

Per analizzare i caratteri morfologici naturali ed antropici del territorio in esame, sono state individuate opportune Unità di Paesaggio

(UdP) secondo una metodologia basata sulla sovrapposizione di strati informativi (Gobattoni et al., 2011) quali: il modello digitale del terreno (DEM - Digital Elevation Model) di risoluzione 40x40 m, l'uso del suolo (Regione Lazio, 2003), la geologia, l'idrografia e la rete viaria e ferroviaria. Attribuendo un peso opportuno (Saaty, 1990) a ciascuno degli strati informativi sopra citati, si è proceduto alla sovrapposizione degli stessi e, sulla base di questa, alla successiva individuazione di 48 UdP con l'ausilio della fotointerpretazione (foto aeree anno 2005). Le UdP così individuate sono delimitate da significative barriere ai flussi di energia e materia e consentono quindi una suddivisione del paesaggio in base alle sue caratteristiche ecologico-funzionali.

Al fine di valutare la percezione pubblica del paesaggio, sono stati realizzati dei questionari sulla base di bibliografia di settore (B. Torquati, 2007) e delle caratteristiche proprie dell'area di studio, in maniera tale da rispondere concretamente alle esigenze del comprensorio della Teverina e della popolazione locale. Sono stati redatti tre diversi questionari indirizzati a tre diverse categorie presenti sul territorio quali gli Enti Pubblici (dipendenti delle Amministrazioni Comunali), la popolazione residente e i turisti. Tutti i questionari, oltre a raccogliere informazioni relative alla data di compilazione, al comune di residenza dell'utente, sesso, occupazione ed età dello stesso, contengono domande a risposta aperta e a risposta multipla riguardanti non solo temi ambientali-paesaggistici e ma anche economici. I risultati ottenuti sulla percezione, sono stati messi a confronto con i Paesaggi definiti dal Piano Territoriale Paesistico Regionale (PTPR) e con le UdP individuate in ambiente GIS. Dopo aver analizzato la situazione ambientale e socio-economica dell'area in esame, sono state proposte delle azioni volte ad incentivare lo sviluppo del territorio favorendo la sfera agricola, artigianale e turistica. Principale scopo delle azioni proposte è quello di recuperare, valorizzare, programmare, gestire e rendere fruibili le risorse naturali, agricole, agroalimentari, artigianali, culturali ed il patrimonio artistico caratteristici del territorio considerato.

3. Risultati

3.1 Analisi dei questionari

L'analisi delle risposte ai questionari ha permesso di individuare le criticità del paesaggio della Teverina come percepite dalla popolazione e le azioni, pratiche ed interventi più auspicabili e socialmente accettabili dagli abitanti e fruitori del territorio.

I risultati ottenuti evidenziano un concetto di paesaggio sentito dalla popolazione, molto vicino alla definizione presente nella Convenzione

Europea del Paesaggio secondo la quale paesaggio è una “determinata parte di territorio, così come è percepita dalle popolazioni, il cui carattere deriva dall’azione di fattori naturali e/o umani e dalle loro interrelazioni”. Su 2100 questionari distribuiti sono stati compilati e ritirati circa 500.

Il 37% della popolazione reputa, inoltre, che il paesaggio del proprio comune sia in pericolo, evidenziando quindi l’esigenza di una rivisitazione del sistema di governo del territorio dei sei paesi dell’Alta Toscana. Le attività agricole, artigianali, commerciali e turistiche che costituiscono l’economia locale appaiono perfettamente integrate con le esigenze della popolazione locale che, nella percentuale del 56% per quanto riguarda le attività agricole e del 63% per quelle artigianali, ne suggerisce l’ulteriore sviluppo e incentivazione al fine di aumentare i profitti e salvaguardare le risorse paesaggistico-ambientali. Inoltre il 61% è “molto” favorevole allo sviluppo turistico nelle zone da loro individuate, e vede l’attività agricola e artigianale come una valida opportunità di lavoro e di reddito (ad eccezione del comune di Graffignano).

Dai questionari compilati dai turisti emerge come un turismo “fidelizzato” caratterizzi queste zone inducendo singoli e famiglie a frequentare di anno in anno questi luoghi di cui reputano buona la qualità ambientale. Tutti i turisti che hanno visitato il territorio dei comuni affermano che tornerebbero o consiglierebbero ad altri di visitarlo (97%). L’offerta gastronomica e dei prodotti tipici locali è reputata buona dal 50% dei turisti del territorio di Bagnoregio e Celleno, mentre, a Lubriano è risultata insufficiente nella percentuale del 100%. Gli stessi turisti affermano che la creazione di una “rete” tra i soggetti che gestiscono le attività turistiche nel territorio visitato possa avere un’influenza positiva sulla qualità dell’offerta turistica (68%). Elementi di disturbo del paesaggio per il turista sono invece la presenza di nuove costruzioni e infrastrutture, per il 35 %, e di antenne telefoniche, per il 35%.

Il numero di questionari compilati dagli enti pubblici è molto esiguo, a sottolineare lo scarso interesse da parte delle amministrazioni ai temi riguardanti il paesaggio e al debole sentimento di appartenenza al proprio territorio. Le problematiche di carattere sociale ed ambientale sono diverse per ogni comune, ma tutti menzionano rispettivamente la mancanza di posti di lavoro (32%) e il poco rispetto per il paesaggio e per la natura (24%). Gli intervistati indicano come “sufficiente” il valore della qualità ambientale del loro comune (100%), mentre i dipendenti del comune di Celleno la ritengono “buona” (83%). Diverse sono le opportunità di sviluppo considerate importanti per il futuro del territorio per gli enti pubblici, tra cui la “partecipazione ai processi di pianificazione e gestione del territorio” come elemento centrale da conseguire nel processo decisionale (16%). Gli intervistati sono molto favorevoli al turismo (57%) e vedono come punto di forza la qualità dell’offerta turistica per uno sviluppo socio-economico (79%). La maggior parte degli intervistati

(50%), percepisce come significativamente positivo l'effetto che potrebbe avere in particolari zone dei propri comuni l'aumento della qualità della gestione dei servizi e dei prodotti locali. Il 67% degli intervistati afferma inoltre che per garantire la bellezza del paesaggio, sia necessario "introdurre in armonia col contesto ambientale, elementi innovativi" mentre il 100% dei dipendenti dell'amministrazione comunale di Lubriano suggerisce di "Ridurre al minimo l'intervento dell'uomo".

3.2 Confronto tra unità di paesaggio individuate tramite GIS, questionari e strumenti urbanistici vigenti

La maggior parte delle aree, luoghi ed elementi citati nei questionari corrispondono ad elementi puntuali, che testimoniano il legame emozionale esistente tra popolazione e territorio: vengono spesso citate singole costruzioni o edifici all'interno dei confini comunali, che non individuano delle vere e proprie UdP, ma che ne fanno parte. Al contrario, per quanto riguarda i siti archeologici è possibile parlare di vere e proprie UdP dal momento che esse individuano solitamente aree relativamente vaste con specifiche caratteristiche morfologiche ed ecosistemiche. Dopo aver definito le UdP ecologico-funzionali in ambiente GIS, estrapolato le aree, i luoghi gli elementi e le eventuali UdP dall'analisi delle risposte ai questionari e preso atto dei Paesaggi individuati nel PTPR, si è proceduto alla sovrapposizione delle informazioni ottenute per poter attuare un confronto. Per quanto riguarda i Paesaggi individuati nella Tavola A del PTPR (Sistemi ed Ambiti del Paesaggio) e i Beni Paesaggistici della Tavola B dello stesso, dal confronto si evince una forte corrispondenza tra centri storici ed urbani e le UdP ecologiche/funzionali ed una perfetta corrispondenza per il centro storico di Civita di Bagnoregio. Occorre sottolineare, inoltre, come la classificazione dei Paesaggi nel PTPR basata prevalentemente dell'uso del suolo a scala vasta, non riesca a rilevare alcune peculiarità del territorio quali ad esempio la presenza di aree estrattive che costituiscono UdP a se stenti, con proprie caratteristiche morfologico-strutturali ed ecosistemiche e che invece sono state correttamente individuate in ambiente GIS.

3.3 Proposte di sviluppo e tutela paesaggistica

Dall'analisi dei dati rilevati ed osservati, è stato possibile inquadrare il territorio dal punto di vista paesaggistico/ambientale, sociale/economico, individuarne i punti critici e le peculiarità così da poter proporre un'ipotesi di sviluppo che possa favorire una più accurata pianificazione, gestione e valorizzazione del territorio. Le azioni e gli interventi ipotizzati riguardano la sensibilizzazione degli enti amministrativi e delle associazioni nonché della popolazione ai temi dell'ambiente e del paesaggio, il

potenziamento e lo sviluppo di itinerari turistici attraverso tutti i comuni del comprensorio Teverina, il ripristino dei vecchi sentieri utilizzati da agricoltori e pastori, la creazione di centri didattici, l'aggiornamento della segnaletica, la realizzazione di mappe ed opuscoli per pubblicizzare eventi ed itinerari, l'apertura di punti di informazione nei punti strategici, l'incentivazione di degustazione dei prodotti tipici presenti nello stesso periodo nei diversi comuni dell'area, potenziamento dei collegamenti viari. Una proposta efficace e agevole da realizzare è quella di costituire l'"albergo diffuso", che consente agli ospiti di alloggiare in case e/o camere nel raggio di 200-300 metri dal "cuore" dell'albergo diffuso in cui sono concentrati la reception, gli ambienti comuni, l'area ristoro. In tal modo si offre l'opportunità di vivere a contatto diretto con i centri storici ed i territori circostanti, contando su tutti i servizi alberghieri quali l'accoglienza, l'assistenza, la ristorazione, gli spazi e i servizi comuni per gli ospiti. L'"albergo diffuso" è un modello di sviluppo del territorio che non impatta l'ambiente dal momento che per dare vita ad esso non è necessario costruire ma ci si limita a recuperare/ristrutturare e a mettere in rete camere, appartamenti, alloggi già esistenti. L'albergo diffuso stimola il turismo in località fuori dalle rotte consuete e dedicate al contatto con aree rurali e piccole realtà, così da offrire al viaggiatore una prospettiva di integrazione con il territorio e la popolazione in maniera totale.

4. Conclusioni

Il tema paesaggio viene affrontato e trattato in maniera diversa da molte discipline, ciascuna con il proprio punto di vista e ciascuna perseguendo le proprie finalità. Con il presente lavoro si è cercato di ottenere una lettura condivisa del paesaggio integrando il "percepito" da parte della popolazione con i metodi più rigorosi, tipici della ricerca scientifica e quelli più applicativi tipici degli strumenti di governo del territorio. Il territorio della Teverina è stato analizzato tenendone in considerazione i caratteri naturalistici, morfologici ed antropici che, opportunamente valutati in ambiente GIS, hanno permesso l'individuazione di 48 UdP.

I risultati ottenuti sono stati confrontati con la classificazione dei paesaggi operata dalla Regione Lazio nel suo PTPR e con le aree, i luoghi individuati dalla popolazione come paesaggi percepiti. I risultati ottenuti riflettono le diverse modalità e finalità adottate nel PTPR, basato essenzialmente sull'uso del suolo che non riesce a cogliere il ruolo ecologico-funzionale svolto dal paesaggio. La classificazione operata in ambiente GIS permette il superamento di questo limite e consente di considerare anche il significato ecologico dei diversi ambiti. Le UdP definite in ambiente GIS e i Paesaggi definiti nel PTPR sono stati confrontati con

le aree, i luoghi, gli elementi del territorio percepiti dalla popolazione. Nessuna delle due citate metodologie riesce ad interpretare la percezione del paesaggio espressa dai fruitori, popolazioni residenti e frequentatori occasionali. Non vi sono ad oggi degli indici, esempi o modelli definiti che possano esprimere e relazionare la percezione espressa dall'uomo con il campo scientifico e legislativo. E' quindi auspicabile l'individuazione di un opportuno indice, di una metodologia ed una procedura standard con la quale tener conto nelle attività di pianificazione e gestione del territorio, non solo degli aspetti scientifici e legislativi ma anche della percezione del paesaggio da parte delle popolazioni interessate. In questo lavoro è stato proposto un tentativo di valutazione della percezione del paesaggio da parte della popolazione e dei turisti, attraverso l'analisi di appropriati questionari rivolti a residenti e turisti ma anche alle amministrazioni comunali.

Sono state, infine, proposte azioni di intervento in linea con le aspettative della popolazione, e quindi socialmente accettabili, indirizzate verso la sfera agricola, artigianale e turistica con lo scopo di recuperare, valorizzare, programmare, gestire e rendere fruibili le risorse naturali, agricole, agroalimentari, artigianali, culturali ed il patrimonio artistico per uno sviluppo sostenibile ed il benessere degli abitanti e dei visitatori del territorio. Questo approccio, detto bottom-up, è ormai consolidato nella moderna pianificazione territoriale (Sevenant and Antrop, 2010), ma non trova applicazione nelle consuetudini soprattutto a livello amministrativo locale dove potrebbe contribuire efficacemente ad una concreta operatività per la salvaguardia delle risorse naturali e dei beni paesaggistici.

Bibliografia

- Billgren, C., Holmén, H., 2008. Approaching reality: comparing stakeholder analysis and cultural theory in the context of natural resource management. *Land Use Policy* 25, 550–562.
- Dramstad, W.E., Tveit, S.M., Fjellstad, W.J., Fry, G.L.A., 2006. Relationships between visual landscape preferences and map-based indicators of landscape structure. *Landscape and Urban Planning* 78, 465–474.
- Gissi E. (2012). Conoscere e comunicare il paesaggio. Linguaggi, metodi e strumenti per l'integrazione tra l'ecologia del paesaggio e la pianificazione territoriale. FrancoAngeli Ed. pp144.
- Gobattoni, F., Lauro, G., Leone, A., Monaco, R., Pelorosso, R. (2011). A procedure for mathematical analysis of landscape evolution and equilibrium scenarios assessment. *Landscape and Urban Planning* 103, 289–302.
- Leone, A. (2009): Riflessioni sul paesaggio, ARACNE editrice S.r.l.
- Peano, A., 2011. Fare Paesaggio. Dalla pianificazione di area vasta all'operatività locale. Alinea Editrice, Firenze.

- Saaty, T. L., 1990. How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, 48, 9-26.
- Sevenant, M. and Antrop, M., 2010. Transdisciplinary landscape planning: Does the public have aspirations? Experiences from a case study in Ghent (Flanders, Belgium). *Land Use Policy* 27, 373-386.
- Stenseke, M., 2009. Local participation in cultural landscape maintenance: lessons from Sweden. *Land Use Policy* 26, 214-223.
- Torquati, B. (2007): *Agricoltura e paesaggio in Umbria e Lazio, Le politiche, gli strumenti di lettura e di valutazione*, IPAPoRe

FOTOVOLTAICO SU SUOLO AGRICOLO, POTENZIALITA' E CONFLITTUALITA' CON NUOVI MODELLI AZIENDALI: IL CASO MARCHIGIANO

E. Marcheggiani, A. Galli, V. Piselli

Università Politecnica delle Marche – Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari ed Ambientali (D3A)

Riassunto. La ricerca è stata avviata da ricercatori afferenti al D3A dell'Università Politecnica delle Marche per rispondere agli interrogativi in merito alle coperture fotovoltaiche su suolo agricolo nella Regione Marche. La crescita esponenziale delle superfici interessate ha indotto le amministrazioni competenti a invertire il trend di concessione di nuove autorizzazioni. Lo stato di fatto a scala territoriale non è noto e la ricerca si pone come primo obiettivo di colmare tale vuoto producendo un monitoraggio a scala regionale. In secondo luogo, si è iniziato a indagare il comportamento degli imprenditori agricoli per capire se il loro interesse può essere interpretato come tentativo di riposizionare le attività aziendali, oppure è un fenomeno speculativo puramente extra-agricolo. Al fine di rispondere al primo interrogativo, in assenza di informazioni disponibili presso gli enti Regionali, è stata prodotta la prima base di riferimento a livello territoriale degli impianti fotovoltaici su suolo agricolo: localizzazione e consistenza sfruttando risorse open source e processi di volunteered geo-information. In una seconda fase le informazioni spaziali sono state integrate per analizzare i potenziali di ampliamento delle attività aziendali e il comportamento degli agricoltori. Un volta completato, il lavoro consentirà di approfondire il rapporto fra nuove infrastrutture, politiche e strumenti di piano e potenziali reali per la valorizzazione delle imprese e delle risorse dei territori rurali. Il successivo confronto con le PPAA preposte permetterà di supportare e istruire l'azione normativa in corso.

Parole chiave: pannelli solari, paesaggio rurale, attività agricole

Summary. The present work which has involved researcher from the Polytechnic University of Marche, has been undertaken to shed light on the booming sprawl of solar mirror facilities over arable lands. In Marche Region such a change has took place with an exponential pace in term of surface. So fast that permissions to install new facilities are no longer acknowledged with ease. The situation on the reality is not known, therefore a first survey based on the visual interpretation of BING® maps has been performed to fill the gap. On the other hand, the growing interest of farmers for solar energy is under investigation. Is it to be meant as an evidence of new trends in reallocation of resources by taking advantage of current innovations and farmers creativity?, or it is the kernel of potential negative impacts which, by depriving the positivity of being a renewable energy, would turn the situation as unmanageable. Once completed the work will be useful to feed the debate on the role of new rural and farming infrastructures. This will allow to broaden the regional decision making by involving farmers and land managers to further exploit the potential of integration of solar mirrors within the farm's infrastructure considering this latter as new rural assets.

Key words: solar mirror, rural landscape, agriculture

1. Il fotovoltaico su suolo agricolo: dimensione numerica e spaziale

Nel corso degli ultimi cinque anni in Italia vaste superfici di terreno agricolo –prevalentemente seminativo– sono state coperte da pannelli solari. Nella Regione Marche questo mutamento si è verificato con un ritmo esponenziale (Fig. 1) in termini di superfici occupate: poco più di 15000 concessioni per un totale di 892.538 kW di potenza ad oggi (Atlasole, 2012), che a livello nazionale rappresentano il 3.6% delle installazioni ma oltre il 6% delle potenze installate ponendo le Marche subito a ridosso delle regioni che, per numero di impianti e potenze, si collocano ai primi posti (Puglia, Lombardia, Emilia Romagna, Veneto, Piemonte). Lo stato di fatto a terra non è noto, ma dai primi risultati di una indagine sperimentale condotta dal gruppo di ricerca che ha coperto finora il 70% della superficie regionale (Fig.2), emerge come oltre 800 ettari di suolo agricolo siano stati interessati dal fenomeno: una media di 12 campi da calcio ogni mese ininterrottamente per 5 anni. L'incremento è stato così rapido da indurre le amministrazioni competenti a rendere meno agevole, fino ad azzerare, la concessione di nuove autorizzazioni come si evince dal Decreto Monti sulle Liberalizzazioni (art.65) e dalla LR 12 del 4.08.10 delle Marche.

Per meglio caratterizzare la distribuzione degli impianti si è proceduto alla sovrapposizione dell'informazione ottenuta dalle elaborazioni precedenti con altri piani tematici: Sistema delle Aree Protette e Zonizzazione PSR delle aree rurali (Fig. 3 e Fig.4). Ciò al fine di effettuare una prima valutazione qualitativa sul rapporto fra la distribuzione degli impianti fotovoltaici a terra e le aree tutelate dal punto di vista naturalistico, da una parte, e sul rapporto fra impianti a terra ed aree agricole più significative, anche per quanto concerne il paesaggio, dall'altro. Come si può osservare dalle figure, la collocazione degli impianti a terra non ha interessato direttamente, salvo alcuni casi sporadici, le aree protette.

Tuttavia, in molte, situazioni si notano addensamenti di installazioni nelle immediate vicinanze delle stesse. Gli impianti sono presenti in modo limitato nelle aree alto collinari e montane più interne della regione, sono invece consistenti nella fascia collinare periadriatica e tendono a concentrarsi nelle aree C1 e C2 del PSR, dove raggiungono il 90% circa del totale degli impianti censiti. Inoltre, per entrambe le aree, si nota una tendenza degli impianti ad allinearsi lungo le principali vallate marchigiane, che sono disposte in direzione E-O, in corrispondenza del sistema viario principale. Le aree C1 sono descritte dal PSR come “aree rurali intermedie industrializzate” e rappresentano le aree regionali dove l'agricoltura tradizionale è maggiormente in crisi ma dove purtroppo, a causa di una politica regionale assai miope, le misure PSR dedicate alla diversificazione (ad esempio la Misura 311 – Diversificazione in attività non agricole) non sono state priorizzate, al contrario di quanto avviene

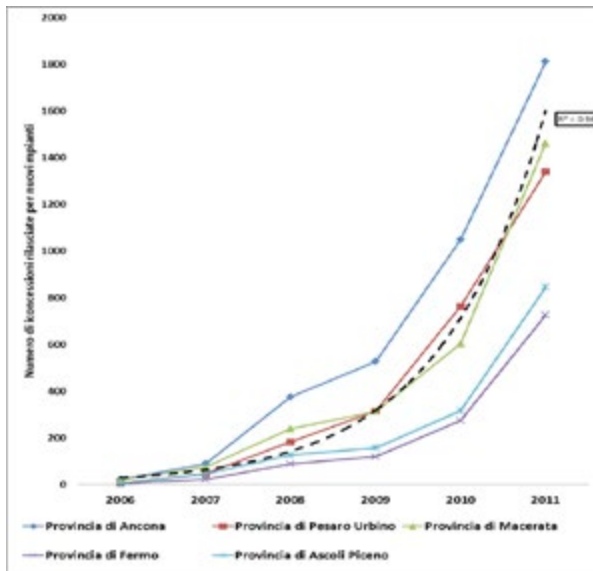


Fig. 1. Il numero di concessioni per impianti fotovoltaici nelle provincie della Regione Marche dall'anno 2006 alla fine del 2011. Il trend di crescita segue un andamento esponenziale (curva tratteggiata). Si appiattirà poi dal gennaio 2012 data in cui il Decreto Monti sulle Liberalizzazioni (art.65) e la Legge Regionale 12 faranno sentire i loro effetti.



Fig. 2. La dimensione spaziale del fenomeno. In rosso sono mappati tutti gli impianti a fotovoltaico solare installati su suolo agricolo. Il rilievo è riferito alla fine dell'anno 2011.

per le aree C3 e D (aree alto collinari e montane più interne con valenze agricole e naturali). Sarebbe, pertanto, che una risposta data dagli agricoltori a questa carenza di incentivi sia stata quella di relazionarsi più direttamente con il mercato privato emergente nel settore energetico, accettando le allettanti proposte avanzate da numerose società private. In alcuni casi, quindi, gli imprenditori agricoli hanno agito in maniera coerente con gli strumenti di programmazione agricola (per es. Misura 311 – Diversificazione in attività non agricole Piano Sviluppo Rurale 2007–2013 Regione Marche) svolgendo il ruolo di propulsori principali e le agevolazioni fiscali vengono integrate nell'attività agricola producendo un extra reddito; oltre alla stessa energia prodotta da fonte rinnovabile. Altri forse sono stati indotti, anche dalle carenze del Piano di Sviluppo Rurale, a sfruttare la situazione al limite della frode. Aziende che non operano nel settore agricolo guidano direttamente il mercato dell'energia solare e vanno alla costante ricerca di terreni agricoli da prendere in affitto. Si tratta di società meramente speculative, i cui guadagni dipendono dagli incentivi economici statali.

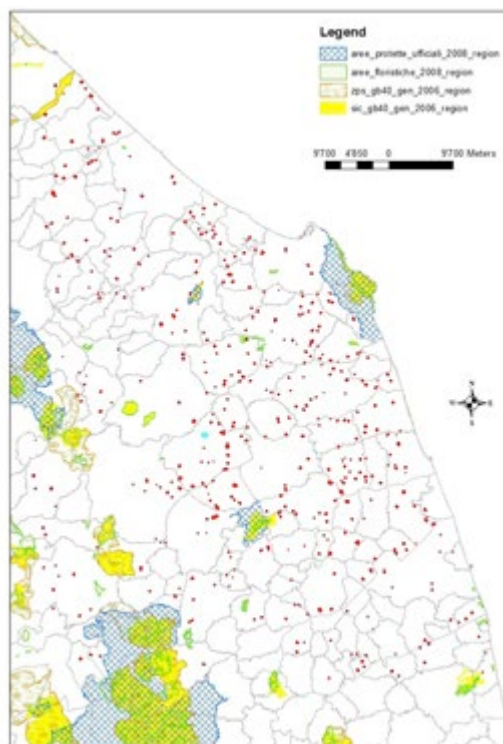


Fig. 3. Impianti fotovoltaici su suolo agricolo rilevati ed aree protette regionali.

2. Questioni aperte

Quale coerenza tra scopo e risultato? Le spinte che tendono ad allargare l'implementazione delle energie rinnovabili si basano su buone intenzioni di sperimentare forme di sviluppo sostenibile e mirano al raggiungimento degli obiettivi europei. L'energia solare può certamente essere inclusa a pieno diritto tra le "green-solutions", tuttavia l'effetto dovuto alla localizzazione degli impianti nel territorio non può in nessun modo essere sottovalutato. Questo è particolarmente vero per gli impianti installati su vaste porzioni di suolo agricolo. Tutto ciò apre a potenziali impatti negativi sia sul suolo che sui comportamenti degli agricoltori, e sottraendo il carattere di positività della sorgente rinnovabile rischia di produrre una situazione ingestibile.

Quale coerenza con le normative vigenti? Finora i decisori politici e i pianificatori si sono basati su di una visione concettuale che considera tre tipologie classiche: spazi di conservazione della naturalità, spazi rurali di produzione agricola, spazi urbanizzati. Queste tre categorie sono state viste come strettamente separate dove lo zoning è risultato, di fatto, l'unico strumento di pianificazione reale.

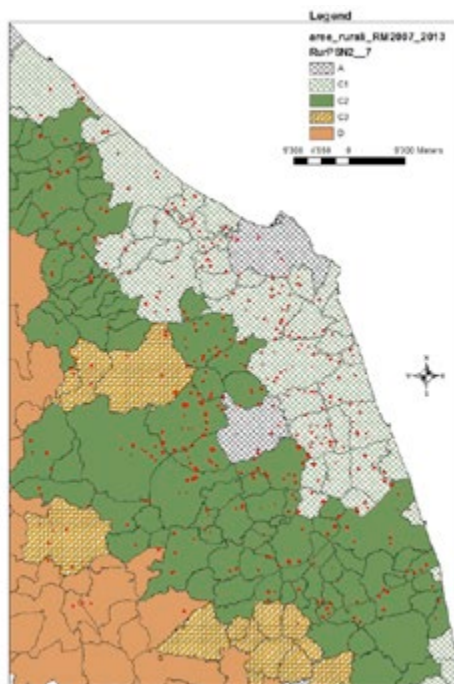


Fig. 4. Impianti fotovoltaici su suolo agricolo rilevati ed aree rurali PSR Marche (2007-2013)

Con l'accrescersi della coscienza sociale verso i temi ecologico-ambientali e culturali, la pianificazione degli spazi aperti in ambiente rurale è stata spinta ad allargare allargare il proprio orizzonte prospettico. Il termine ruralità –il cui reale significato è ignoto ai più che ne abusano nella comunicazione mediatica e politica– è diventato l'alibi dietro al quale si è nascosto il totale disinteresse dei pianificatori, del mercato e in ultima sintesi della politica verso questi territori. Nonostante l'assenza di qualsiasi modello di analisi e pianificazione dedicato agli ambienti rurali, (dal momento che i vari PSR attuati dal 2001 ad oggi hanno sostanzialmente fallito dal punto di vista del governo e della progettazione dei territori rurali), questi ultimi sono stati recentemente esaltati a luoghi in cui promuovere funzioni di conservazione (biodiversità, memoria, estetica, etc.) e mitigazione dell'impatto urbano. Trascurati e pianificati con modelli non propri presi a prestito dalla storia dell'urbanistica, tali spazi si sono evoluti in maniera del tutto impreveduta (Fig. 2). Pur tuttavia essi sono per definizione spazi aperti (Gulinck et al., 2010). In tale condizione di paradosso e in assenza di robusti strumenti pianificatori, la crescente richiesta di aree agricole per impianti fotovoltaici ha prodotto una situazione emblematica dalle duplici potenzialità, sia negative che positive: da un lato, la comparsa di nuove funzioni e servizi ad elevata tecnologia può rappresentare, in nuce, una potenzialità per il settore agricolo e per le imprese di specializzazione, ampliamento e riallocazione delle attività. Le prime evidenze sperimentali descrivono, invece, una situazione in rapida evoluzione, dove nonostante le buone premesse iniziali una chiara posizione politica è ancora latitante. Si è passati in pochi anni dal far-west normativo al blocco delle concessioni, rendendo difficoltoso il processo pianificatorio dei territori agricoli e delle aree rurali, lasciati così aperti ad avventure speculative.

Quali opportunità per le sfide della pianificazione in area non urbana? Richiamando quanto detto in precedenza, si può osservare che in gran parte del territorio regionale le tre categorie classiche co-esistono in forma ibrida. La realtà, infatti, non è stazionaria e le spinte alla trasformazione generano nuovi assetti territoriali. I pianificatori guardano la realtà attraverso la lente della politica e la loro visione "idealizzata" non collima con la realtà a terra, dove nuove funzioni stanno generando nuove strutture che si diffondono su tutto il territorio. La responsabilità dell'aggiornamento del quadro informativo (monitoraggio) e pianificatorio ricade in parte sugli operatori e sugli studiosi di tali fenomeni, ma principalmente sulla politica. Possiamo integrare tale richiamo con lo schema del potenziale di allargamento delle attività agricole proposto dal modello di Van der Ploeg. L'attuale visione museificata degli spazi rurali quali aree di esclusiva qualità, al servizio del benessere di chi abita le aree urbane, fallisce un'intera gamma di possibilità per gli agricoltori di allargare le loro entrate sfruttando le opportunità offerte dalle novi-

tà tecnologiche, in questo caso, la riconversione di suolo produttivo per ospitare impianti di energia rinnovabile. D'altro canto un uso improprio della risorsa suolo produce una sospensione delle attività agricole che si spostano verso una posizione passiva in cui il guadagno non deriva dalla produzione di beni o servizi, bensì dall'affittare parte della loro terra a compagnie esterne che la richiedono allo scopo di sfruttarla per la produzione di energia solare da fotovoltaico. In questo caso il modello di Van der Ploeg viene reso sterile e la maggior parte delle funzioni agricole viene persa.

La possibilità che tale trend produca effetti integrati con il contesto produttivo agricolo, e con il paesaggio rurale, dipende dal modo in cui i decisori politici saranno abili nel catturare e interpretare le sfumature di tale rapido processo di trasformazione spaziale del territorio agricolo, e dallo sviluppo di un nuovo approccio da parte dell'imprenditore agricolo verso le risorse aziendali.

Bibliografia

- Atlasole - Gestore dei Servizi Energetici GSE - <http://atlasole.gse.it/atlasole/>
 Jan Douwe van der Ploeg, Ann Long & Jo Banks, (2002) *Living Countrysides: Rural Development Processes in Europe - The State of the Art*, Elsevier, Doetinchem, ISBN: 9054391170 9789054391173
 Kirsten Bomansa, Thérèse Steenberghenb, Valerie Dewaelheynsa, Hans Leinfelder, Hubert Gulinck, (2010) *Underrated transformations in the open space—The case of an urbanized and multifunctional area*, *Landscape and Urban Planning*, Volume 94, Issues 3–4, Pages 196–205

ANTROPIZZAZIONI DECONSTRUIBILI PER IL NON- CONSUMO DEL TERRITORIO RURALE: DALLO SVILUPPO SOSTENIBILE ALLE ANTROPIZZAZIONI DECONSTRUIBILI

*M. Barbari, L. Conti, M. Monti, P. Pellegrini, G. Rossi, S. Simonini,
F. Sorbetti Guerri.*

*Dipartimento di Economia, Ingegneria, Scienze e Tecnologie Agrarie e Forestali -
Università degli Studi di Firenze*

Riassunto. Il tema della decostruibilità è al centro dell'attenzione progettuale del gruppo di ricerca di costruzioni rurali, che fa attualmente parte del DEISTAF, da ormai quindici anni. Nel presente lavoro sono esposti i concetti basilari, a partire da quello di sviluppo sostenibile. Attraverso considerazioni riguardanti le modifiche ambientali, reversibili o irreversibili, il consumo del territorio, il concetto di costruzioni come utensili, si arriva alla definizione di antropizzazioni decostruibili. In linea di principio sono da considerare decostruibili le opere che al termine della loro vita funzionale o urbanistica possono essere distrutte ed eliminate impiegando quantità nulle di risorse, e smaltite causando quantità nulle di inquinamento ambientale.

Parole chiave: Land Consumption, Decostruzione, Design for Deconstruction

Summary. The theme of deconstruction is at the centre of design attention of the research unit on farm buildings, at the moment part of DEISTAF, for nearly fifteen years. In the present study the basic concepts, beginning from sustainable development, are expounded. By means of considerations regarding the environmental changes, which can be reversible or irreversible, the land consumption and the concept of buildings as tools, the definition of deconstructible anthropization is given.

In principle we consider deconstructible the works which at the end of their functional or planning life can be destroyed and eliminated using no amounts of resources, and disposed causing no amounts of environmental pollution.

Key words: Land Consumption, Deconstruction, Design for Deconstruction

1. Sviluppo sostenibile

Alla metà del secolo scorso, uscendo dai ristretti circoli intellettuali, ha iniziato a diffondersi nella società la percezione che lo sviluppo delle attività umane non poteva più svolgersi rispondendo solo ad esigenze ed indirizzi economici o politici, ma doveva procedere tenendo conto delle modificazioni che causava all'ambiente.

Nel 1972 la United Nations Conference on the Human Environment, tenutasi a Stoccolma, proclamava:

“The protection and improvement of the human environment is a major issue which affects the wellbeing of peoples and economic development throughout the world; it is the urgent desire of the peoples of the whole world and the duty of all Governments”.

Nel 1987 la United Nations World Commission on Environment and Development, dopo quattro anni di lavori, pubblicava il Rapporto “Our Common Future”, noto anche come “Rapporto Brundtland”, nel quale veniva data una definizione del concetto di sviluppo sostenibile che, nella sua essenziale semplicità, rimane tuttora un fondamentale punto di riferimento: *“Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs”.*

Il perseguire uno sviluppo sostenibile comporta, a livello e individuale e collettivo, un costante processo di elaborazione di coerenti scelte operative, le quali non sempre sono indolori, quando siano in contrasto con interessi economici e politici, e non sempre sono facilmente individuabili, sia per la complessità delle problematiche, sia per le ambiguità e i depistaggi posti in essere dai vari gruppi interessati a trarre profitti per mezzo della manipolazione di un’opinione pubblica sempre più sensibile all’argomento.

Ma, in ogni caso, la comune percezione dell’importanza delle tematiche ambientali condiziona sempre più profondamente tutte le attività umane e ad un sempre crescente numero di persone viene naturale chiedersi se quello che stanno facendo sia compatibile con la sostenibilità, e l’agire di conseguenza.

2. Modifiche ambientali e reversibilità

Le scienze agrarie e forestali, in quanto perseguono lo sviluppo, sono in vario modo coinvolte nelle modifiche ambientali, e in particolare in quelle relative al territorio.

Il termine “territorio” è oggetto di differenti e talvolta complesse interpretazioni; l’eterogeneità è massimamente generata dall’impostazione mentale propria del settore culturale nel quale si muove l’estensore della definizione. Per quanto qui occorre, si può considerare che il territorio sia “una porzione di Terra la cui superficie possiede una localizzazione”.

Le modificazioni operate dall’uomo direttamente sul territorio, o antropizzazioni, le quali in generale comportano anche cambiamenti del paesaggio, possono essere di vario tipo:

- a) modifiche all’ordine naturale spontaneo dell’occupazione da parte degli esseri viventi che lo utilizzano: fra queste rientrano la rimozione di specie vegetali ed animali, e l’impianto di coltivazioni e allevamenti;
- b) modifiche alla forma: in questa sede si intendono non solo le modi-

- fiche relative alla morfologia del territorio vera e propria, ma anche quelle generate dalla costruzione di infrastrutture ed edifici;
- c) modifiche alla pedologia dei suoli: queste possono essere conseguenza di interventi diretti, ma molte delle azioni relative ai punti precedenti possono generare indirettamente cambiamenti nella composizione fisica e chimica dei terreni.

Per il termine “paesaggio” qui si adotta la definizione data dalla Convenzione Europea del Paesaggio (Firenze 2000): “*Landscape means an area, as perceived by people, whose character is the result of the action and interaction of natural and/or human factors*”.

Il ramo dell’Ingegneria Agraria relativo alle costruzioni opera, nell’ambito dei territori rurali e periurbani, le modifiche indicate al punto b, pur dovendo in ogni caso tener conto dei riflessi della sua azione sugli altri tipi di modifica. Essa ha quindi attinenza diretta con la qualità ambientale delle zone di intervento, della quale, peraltro, il paesaggio è componente non secondaria.

La qualità ambientale è un bene della comunità, è inalienabile, e dunque non può essere modificato ad arbitrio del singolo o di un gruppo delimitato. Tuttavia il fruitore del territorio, nel nostro caso l’imprenditore agricolo, ha bisogno, nel perseguire lo sviluppo, di adeguarsi all’evoluzione delle tecniche produttive, anche effettuando modifiche ambientali: per far questo, deve appropriarsi, permanentemente o temporaneamente, di una parte di quella qualità ambientale che non è solo sua. E’ da notare, per inciso, che l’assunzione del principio secondo il quale l’interesse generale deve prevalere su quello individuale, non è che appartenga a particolari ideologie: questa norma è alla base di ogni legittima ed efficiente organizzazione sociale; sennò, ad esempio, non si sarebbe potuto costruire strade e ferrovie.

D’altra parte si deve considerare che il progresso scientifico, tecnologico ed economico ha messo nelle mani anche dei singoli individui una capacità di costruire, e ancor di più di distruggere, infinitamente maggiore di quella che possedeva l’uomo fino a non molti decenni fa: è dunque oggi facilissimo, e alla portata di tutti, lasciare tracce indelebili sul territorio.

Per quanto concerne il ragionamento che qui viene sviluppato, la proprietà fondamentale di tutte queste modificazioni è la loro potenziale reversibilità: esse possono essere considerate reversibili o irreversibili.

Questi termini, utilizzati con vari significati in molti rami della scienza e della tecnica, necessitano di essere precisati facendo riferimento al loro utilizzo nell’ambito delle antropizzazioni del territorio.

In teoria gran parte delle modificazioni apportate al territorio sono reversibili; nella realtà delle cose, invece, molte di esse non lo sono. Per questo, si possono avere, in effetti:

- modificazioni praticamente reversibili;
- modificazioni praticamente irreversibili.

L'inserimento di una modificazione in una delle due categorie dipende da molti fattori, alcuni dei quali possono anche non essere del tutto oggettivi; in ogni caso, comunque, si può considerare che i parametri preminenti siano il tempo e le risorse disponibili.

Per fare un esempio, la piramide di Khufu (Kheops) è in sé una modifica teoricamente reversibile, ma il tempo necessario a che si disfaccia naturalmente, o le risorse che si dovrebbero impiegare per eliminarla ripristinando lo stato dei luoghi, hanno entrambi valori talmente alti che in pratica è da considerare irreversibile. Un'ulteriore conferma di questo si ha considerando che un'eliminazione totale delle modifiche apportate al territorio in occasione della costruzione della piramide comporterebbe, fra l'altro, il ripristino delle formazioni rocciose dalle quali sono stati cavati i blocchi di pietra, azione evidentemente non praticabile, la presa in conto della quale porta la modifica ad un grado ancora maggiore di irreversibilità.

Quest'ultima considerazione ci conduce a dover tener presente che in generale si avrà a che fare con modifiche solo parzialmente reversibili, quindi caratterizzate da una percentuale di reversibilità.

Le valutazioni sono affidate a criteri che prendono in conto parametri stabiliti in base a considerazioni sulle condizioni esterne, le quali saranno in primo luogo di carattere economico, e dunque funzione delle risorse disponibili.

Poiché dunque ci si muoverà sempre nell'ambito di modifiche caratterizzate da una percentuale di reversibilità, nel seguito si ometterà il termine "praticamente", sottintendendo che sia sempre presente.

3. Consumo del territorio

EEA, European Environment Agency, dà queste definizioni:

- consumo: "*Spending for survival or enjoyment in contrast to providing for future use or production*";
- consumo del territorio: "*'Consumption' of land cover means: (a) The expansion of built-up area which can be directly measured; (b) the absolute extent of land that is subject to exploitation by agriculture, forestry or other economic activities; and (c) the over-intensive exploitation of land that is used for agriculture and forestry*".

Quest'ultima definizione è troppo particolaristica per i fini proposti in questa sede; pertanto, il concetto di "consumo del territorio" qui utilizzato si rifà alla prima di queste definizioni, e direttamente a quella

di “sviluppo sostenibile” data dal rapporto “*Our Common Future*” citato in precedenza.

Tenendo dunque presente cosa intende qui per reversibilità di una modificazione, si può affermare che:

- si ha “consumo” del territorio quando questo è soggetto a modificazioni praticamente irreversibili;
- si ha “non-consumo”, o “prestito” del territorio, quando questo è soggetto a modificazioni praticamente reversibili, così che coloro che in futuro vorranno utilizzarlo in modo diverso siano liberi di farlo con un impiego di risorse nullo, minimo, o comunque accettabile.

L'adozione dell'obiettivo del non-consumo conduce a compiere scelte coerenti relative a tutto il processo realizzativo, come la progettazione, i materiali, la regolamentazione urbanistica, i modi di finanziamento. Ovviamente, nelle valutazioni si terrà sempre presente che un non-consumo è preferibile ad un consumo, e tuttavia un consumo piccolo è comunque migliore di uno grande.

4. *Costruzioni come utensili*

Le antropizzazioni di carattere agricolo, fra le quali si annoverano gli edifici, le infrastrutture, i movimenti di terra, sono qui intese come quelle necessarie, in modo diretto o indiretto, allo svolgimento di attività che danno luogo alla generazione o alla prima trasformazione di prodotti agricoli.

Dunque esse sono essenzialmente strumenti di produzione, di lavoro; in una parola “utensili”. Il termine “utensile” risulta, nella comune accezione, del tutto svincolato da ogni forma edilizia, ed è per questo capace di esprimere appieno la frattura ideologica, che qui si intende sottolineare, con il diffuso modo di intendere il fabbricato agricolo.

Il dover costruire utensili, abbiano pure essi in alcuni casi forma di fabbricato, comporta il dover cambiare radicalmente i criteri di considerazione e valutazione della modifica ambientale, anche prendendo coscienza che in questo modo si darà luogo a quello che si può definire come “paesaggio dinamico”: le modifiche non sono più permanenti, salvo quelle assentite da un consenso così ampio da essere solo eccezionalmente raggiungibile.

Emerge, innanzitutto, lo strettissimo legame fra la vita dell'opera e la sua funzione. Su questo punto occorre osservare che la velocità dell'evoluzione delle tecniche produttive e i continui profondi cambiamenti sia delle filiere locali che degli assetti socio-economici internazionali rendono rapidamente obsolete antropizzazioni anche relativamente giovani e la loro sostituzione risulta spesso più conveniente del loro adeguamento.



Fig. 1. L'ormai inamovibile giovane Re della vallata, maestoso nella sua solitudine: cosa farà da grande?

Tutto ciò genera la convenienza a progettare antropizzazioni che sviluppino e concludano la loro vita utile nell'ambito di un prevedibile lasso di tempo, nel quale dovranno anche completare il proprio ammortamento finanziario; dunque, non edifici, bensì macchine.

In secondo luogo, è da considerare che non di rado si genera una contrapposizione fra le esigenze del fruitore-azienda agricola e quelle generali della Comunità, rappresentata dagli Enti preposti al controllo dell'uso del territorio. Questo può dar luogo, spesso, ad una conflittualità che sarà più o meno grave, anche in funzione del "peso" delle conseguenze derivanti dalle scelte di quegli Enti. Questo "peso" tende ad aggravarsi fortemente, e anzi compie un vero salto di qualità, quando la permanenza si prolunga oltre la cessazione della funzione originaria della modifica.

Diviene dunque centrale, anche in campo urbanistico, il concetto di reversibilità della permanenza.

Per fare un esempio, si può considerare che il materializzarsi dello stabilimento Fiat Mirafiori nella Val d'Orcia non disturberebbe più di tanto, se poi scomparisse, per incantamento, il giorno dopo. E invece, nello stesso posto, la distruzione, operata per aumentare le superfici coltivabili, di una piccola biancana, è per sempre!

In ambito urbanistico, il fattore che più si oppone alla reversibilità della permanenza è l'entità "volume costruito".

E' stato questo uno dei veleni, e certo non il minore, che hanno malamente condizionato il consumo del territorio a partire dal secondo dopoguerra, sia sottraendo alla Comunità fondamentali poteri decisionali, sia insinuando nelle attività agricole il tarlo della speculazione edilizia. Infatti la legislazione urbanistica italiana, fin dalle sue origini, ha fatto sì che il "volume costruito" acquisisse una sua inamovibile vita propria,



Fig. 2. Un prefabbricato in c.a. di recente costruzione, abbandonato fra le colline Toscane. E ora?

e quindi un suo proprio valore economico, spesso rilevante, per il solo fatto di esistere, a prescindere da ogni considerazione sull'opportunità della sua permanenza; nello stesso tempo ha indirettamente frenato lo sviluppo dell'agricoltura, perché in molti casi l'azienda agricola ha trovato più facile e conveniente trasformarsi in speculatore edilizio, piuttosto che ingegnarsi e lottare per aumentare la propria redditività.

Dunque, il “volume costruito”, così come considerato dalla legislazione urbanistica, rappresenta un decisivo elemento immateriale di irreversibilità.

L'eliminazione di questo ostacolo, attraverso il concepimento e la realizzazione di antropizzazioni reversibili, e dunque “utensili”, porterebbe con sé, anche in ambito urbanistico, notevoli vantaggi per il vero imprenditore agricolo.

Il principale di questi vantaggi è relativo alle autorizzazioni necessarie all'esecuzione delle opere: semplicità, velocità, costo.

Infatti, gli Enti concedenti si troverebbero a dover gestire situazioni molto più leggere, non solo da un punto di vista amministrativo, ma in varia misura anche morale, di quelle attuali che comportano l'adozione di decisioni sostanzialmente irrimediabili: l'essere l'opera indissolubilmente legata alla sua funzione originaria e la sua reversibilità conducono ad un decisivo ampliamento del margine di errore accettabile. Così l'imprenditore agricolo si troverebbe a poter disporre in tempi e con modi e costi amministrativi ragionevoli degli strumenti necessari alla sua azienda; spesso il successo di un'iniziativa dipende dalla tempestività di realizzazione, e tutto questo renderebbe assai più appetibili di quanto non lo siano oggi gli investimenti produttivi in attività agricole.

D'altra parte, la semplicità e la rapidità non rappresentano di per sé fattori ineluttabilmente destinati a generare, o a giustificare, compor-

tamenti superficiali, anzi possono contribuire a rendere più trasparente l'iter amministrativo, che può svolgersi in maniera rettilinea e sincera.

Ad esempio, si può assimilare la realizzazione di una qualsiasi antropizzazione reversibile a quella di un ponteggio di servizio, opera che, appunto, ne possiede tutte le caratteristiche, ed è affetta da iter amministrativi veloci. Possiamo vedere come il ponteggio sia soggetto a pareri di opportunità, oltre che nei riguardi dell'impedimento fisico che rappresenta, in quelli del suo porsi nell'ambiente, per cui sottostà a anche prescrizioni di ordine estetico; inoltre il nostro ponteggio deve essere progettato e calcolato strutturalmente secondo la Scienza delle Costruzioni e in ottemperanza alle norme tecniche vigenti, deve rispondere alla normativa sulla sicurezza dei luoghi di lavoro, deve essere corredato di un piano di montaggio e di smontaggio al termine della vita funzionale per esso prevista: richiede dunque un approccio tutt'altro che superficiale da parte sia del progettista che degli Enti di controllo.

L'orientamento esposto non intende auspicare un'applicazione pratica di carattere integralista: ovviamente in taluni casi saranno necessarie anche modificazioni irreversibili; tuttavia queste dovrebbero essere, al contrario di quel che accade oggi, un fatto eccezionale, e come tale oggetto di attenta e profonda valutazione.

5. Antropizzazioni decostruibili

Se nella definizione di sviluppo sostenibile precedentemente citata si sostituiscono alle parole “*sustainable*” e “*development*” le parole “*deconstructible*” e “*anthropization*”, si ottiene una perfetta indicazione degli intendimenti della decostruibilità:

Deconstructible anthropization is anthropization that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs.

Il verbo decostruire e i termini che da esso derivano (decostruzione, decostruzionismo, e altri) vengono utilizzati con diversi significati in molti ambiti: in filosofia, in architettura, in letteratura, ecc.

In questo contesto si intendono come decostruibili, in linea di principio, le opere che al termine della loro vita funzionale o urbanistica possano essere distrutte ed eliminate impiegando quantità nulle di risorse, e smaltite causando quantità nulle di inquinamento ambientale.

E' tuttavia evidente che non possono esistere antropizzazioni completamente decostruibili; con tale termine, dunque, si indicano le costruzioni che possiedono un livello di decostruibilità accettabile.

Questo livello non è determinabile in assoluto, in quanto dipende da molti fattori variabili anche localmente; ma in ogni caso un'antropizzazione potrà dirsi decostruibile quando nel progettarla e nel realizzarla si

sarà perseguita la ricerca delle quantità minime di risorse e di inquinamento necessari alla sua rimozione.

E' da osservare che la smontabilità, pur rappresentando una caratteristica che in questo ambito può avere notevole importanza, non è un fattore di per sé decisivo: lo può diventare se anche i singoli componenti sono decostruibili.

Le conseguenze della pratica applicazione dei principi qui esposti vengono trattate nel lavoro che costituisce la seconda parte del tema "Antropizzazioni decostruibili per il non-consumo del territorio rurale".

Bibliografia

- Clark, C. 1957. Population Growth and Land Use. New York: St. Martin's Press.
- Council of Europe. 2000. European Landscape Convention. Firenze, Italia.
- EEA - European Environment Agency. 2012. Environmental Terminology and Discovery Service (ETDS). Retrieved from <http://glossary.eea.europa.eu/>
- European Commission - Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability. 2012. The State of Soil in Europe.
- European Commission. 1997. Regener Project - Final Report. European methodology for the evaluation of environmental impact of buildings.
- Meadows, D. H., D. L. Meadows, J. Randers, W. W. Behrens. 1972. The Limits to Growth. New York, USA: MIT Massachusetts Institute of Technology - Universe Books.
- Timberlake, L. 1987. Only One Earth: Living for the Future. London: BBC Earthscan.
- United Nations - World Commission on Environment and Development. 1987. Our Common Future.
- United Nations. 1972. Declaration of the United Nations Conference on the Human Environment. Stockholm.

L'EDIFICIO CANTINA COME SISTEMA: UN APPROCCIO DI STUDIO INTEGRATO PER LA REALTÀ DELLA REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA

M. Sigura, R. Gubiani, S. Cividino, P. Bonfanti

Dipartimento di Scienze Agrarie Ambientali, Università degli Studi di Udine

Riassunto. La ricerca propone un nuovo approccio finalizzato ad identificare le potenzialità della fase metaprogettuale per individuare le necessità funzionali e le relative caratteristiche del layout strutturale dell'edificio cantina. Quest'ultima viene identificata come sistema le cui componenti sono building layout, management aziendale e contesto territoriale in cui si inserisce l'edificio. Le principali tematiche identificate nella fase di meta-design sono: 1) la definizione di percorsi e flussi di lavoro, 2) la costruzione di un piano per la sicurezza rispondente alle necessità espresse dai processi di trasformazione e dalle tecnologie utilizzate, 3) l'adozione di un approccio multiscala per la comprensione delle relazioni tra edificio cantina e paesaggio. I risultati derivati dalla analisi integrata dei possibili punti critici che caratterizzano il processo di produzione del vino, le prescrizioni legate alla gestione della sicurezza e l'utilizzo delle caratteristiche dell'edificio e del paesaggio per obiettivi di promozione di prodotto ed azienda, costituiscono linee guida importanti per indirizzare le fasi di progettazione della cantina.

Parole chiave: meta-design process, paesaggio, progettazione cantine, sicurezza, sostenibilità

Summary. The research aim was to detect the potential of meta-design process to identify the characteristics and the functional requirements of the building layout of wineries. Winery is identified as a system whose components are building layout, management and the landscape. Three were the main issues identified for meta-design process: 1) the definition of routes and workflow throughout the different phases of wine transformation process, 2) the construction of a security plan based on the specific processes and the technology used 3) the multi-scale approach for understanding relationship between building and landscape. The results derived from the integrated analysis of potential critical points characterizing the wine production process, the winery management prescriptions and the use of landscape for marketing and brending aims, proved useful references for preliminary building design.

Key words: meta-design process, landscape, wineries design

1. Introduzione

La metaprogettazione è un'attività pre progettuale avente per obiettivo la gestione e l'indirizzo strategico del processo di transizione tra la fase di istruttoria del progetto (raccolta dei dati e analisi) e la fase di forma-

lizzazione dello stesso. Si configura come un momento interdisciplinare nel quale le diverse componenti del progetto vengono analizzate al fine di evidenziare possibili criticità e soluzioni per l'indirizzo della successiva attività progettuale. Questa fase risulta particolarmente importante in presenza di obiettivi multipli, che vanno affrontati con un approccio multidisciplinare ed una nuova forma di progettazione collaborativa.

La costruzione di edifici agro-industriali implica la necessità di rispondere alle esigenze dei processi di trasformazione, soprattutto in termini tecnologici (impiantistici) e sanitari. In questo contesto le cantine rappresentano un caso particolare, poiché oltre alle necessità di trasformazione del prodotto si fanno sempre più importanti nuove esigenze legate sia all'immagine dell'azienda utilizzata nella promozione del prodotto, sia alla sua multifunzionalità. Infatti sempre più alla funzione produttiva della cantina si associano funzioni di tipo diverso, legate, ad esempio, alla fruizione o alla costruzione del paesaggio.

Diversi studi in Italia hanno riguardato problematiche relative alla progettazione degli edifici rurali considerando aspetti quali la sostenibilità, le scelte dei materiali (Di Fazio e Lamberto, 2010), la coerenza storico tipologica (Tassinari et al, 2009), la sicurezza (Failla et al, 2008). La metaprogettazione viene definita come fase essenziale per l'individuazione dei principali parametri sui quali orientare la progettazione (Torreggiani et al, 2011).

Tuttavia, sempre più emerge la necessità di superare i target produttivi legati all'ottimizzazione del layout ed al dimensionamento dell'edificio dando spazio ad una visione più complessa ed articolata dell'edificio cantina. Infatti l'importanza del prodotto vino non si deve esclusivamente alle sue caratteristiche alimentari ed organolettiche, ma anche al suo ruolo nella storia dell'uomo; partendo dai poemi Omerici e giungendo fino alla "home page" delle maggiori cantine del mondo presenti sul WEB. In questo percorso storico ci sono stati e ci sono continui mutamenti legati alle tecnologie applicate in cantina e alle modalità di vendita e presentazione del prodotto vino. Uno dei più importanti è rappresentato dall'approccio di "filiera" che prevedeva la costituzione di un sistema complesso, non più dipendente solo dall'ambito agricolo ma connesso a numerosi sistemi quali: il mercato, i fattori produttivi, la legislazione, il paesaggio (Gómez et al., 2006). Sempre più, infatti, si parla di sistema cantina il cui fulcro è rappresentato dalle tecnologie di trasformazione che entrano in relazione con l'ambiente esterno, il management aziendale ed il contesto territoriale di appartenenza. Per comprendere questo sistema è determinante individuare le possibili criticità innescate da tali relazioni e formulare indirizzi operativi utili nella fase di progettazione che consentano di individuare soluzioni costruttive rispondenti alla necessità di multifunzionalità e di promozione dell'azienda oltre che di produzione. La cantina non solo deve garantire il corretto succedersi

delle fasi di trasformazione del vino, integrando in se le condizioni ambientali e strutturali per gli impianti, ma deve riflettere anche il contenuto di qualità presente nel prodotto. Da ciò, la stessa funzione vendita non può prescindere dall'aspetto esteriore e dall'inserimento ambientale del manufatto cantina.

Una recente inchiesta sul comportamento delle cantine effettuato su un campione di aziende che detengono oltre il 20% della produzione nella regione Friuli Venezia Giulia, ha portato alle seguenti conclusioni (Cisilino, 2012 dati non pubblicati)

- gli investimenti effettuati negli ultimi anni e previsti per il prossimo futuro sono rivolti al miglioramento delle fasi di processo in campo ed in cantina, con una netta prevalenza per il miglioramento di queste ultime. Scopi prioritari di tali investimenti sono l'abbattimento dei costi, l'incremento di qualità, creazione o il rafforzamento dell'immagine aziendale;
- viene data preferenza a forme promozionali che prevedono l'accesso dei clienti alla cantina in modo da accrescere la consapevolezza della cura con cui vengono effettuate produzione e conservazione del vino e la cultura ad essa sottesa.

La ricerca svolta persegue un duplice obiettivo:

- I) proporre una lettura della cantina come sistema esplicitandone le parti componenti;
- II) analizzare le relazioni funzionali e strutturali tra il *building layout* e le restanti componenti del sistema individuate in: management aziendale e contesto territoriale in cui si inserisce l'edificio.

2. Approccio metodologico

Dal punto di vista metodologico il sistema cantina è stato analizzato partendo dalla struttura del *building layout* e dall'insieme delle relazioni spaziali tra le diverse operazioni, che vanno a definire unità funzionali per le diverse macro fasi di trasformazione (Torreggiani et al, 2011). Per tali unità sono stati studiati punti critici rispetto a specifici fattori delle diverse componenti del sistema quali: la sicurezza per il management aziendale e le relazioni con il paesaggio per la dimensione territoriale. Lo studio ha previsto l'utilizzo di diagrammi a flussi e matrici a doppia entrata intesi come strumenti per la progettazione integrata del *building layout* ed è stato applicato a modelli di cantina standard. Il target di riferimento sono cantine di piccole e medie dimensioni, riconducibili a realtà caratterizzate da Sau inferiore ai 80 ha, con un'occupazione media di personale strutturato di 4 persone che trasformano direttamente il prodotto e trattano vini tipici, fortemente legati al territorio la cui promozione

avviene attraverso l'immagine dell'azienda. Per queste realtà l'edificio cantina svolge un ruolo centrale sia per l'accoglienza dei clienti, sia nella creazione di legami riconoscibili con il paesaggio del quale fa parte.

L'approccio utilizzato prevede tre fasi:

- fase analitica, nella quale l'edificio cantina è stato studiato come sistema che integra ed interfaccia componenti di altri sistemi quali l'ambiente tecnologico interno, l'ambiente esterno ed il paesaggio;
- fase di individuazione delle criticità, che si possono manifestare a seguito delle interazioni tra le diverse componenti. Si è tenuto conto dei vincoli legislativi che caratterizzano i diversi sistemi interessati e sono state utilizzate metodiche analitiche quali l'analisi per descrittori e check-list per la sicurezza ed il paesaggio e l'analisi per flussi di lavoro per il layout tecnologico;
- fase di sintesi, nella quale sono stati formulati indirizzi utili per riconoscere queste possibili criticità in fase di metaprogettazione in maniera da poter definire soluzioni progettuali efficaci.

3 Fase analitica

3.1 La cantina come sistema integrato

Il presupposto di partenza è che il sistema cantina è unitario, ma si colloca in un mondo che cambia ed è dominato da leggi che travalicano il livello aziendale e le scelte imprenditoriali e che costituisce la "filiera del vino" (figura 1). La cantina, infatti, si interfaccia con altri sistemi rappresentati da:

- mercato (tipo di vino prodotto, tipologia degli acquirenti, turismo del vino);
- legislazione (nazionale, locale, di tutela ambientale, di pianificazione,...);
- tecnologia (in vigneto, in cantina).

3.2 Edificio cantina e layout tecnologico

Il livello tecnico e tecnologico della cantina rappresenta l'elemento fondamentale per la qualità del prodotto e la sostenibilità del processo produttivo. Gli elementi fondamentali sui quali focalizzare l'analisi sono:

- flusso di produzione;
- input output di materiale;
- impianti ed attrezzature;
- volumi di prodotto lavorato, conferito e trasformato;
- tempi di lavoro;
- numero di occupati in rapporto agli spazi ed alle linee di lavoro.

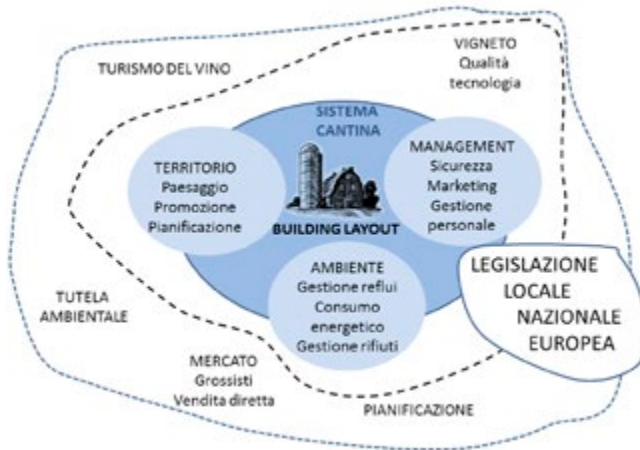


Fig. 1. Ideogramma del sistema cantina collocato all'interno della filiera vino.

La rappresentazione grafica dei flussi di lavoro (figura 2) consente di individuare il corretto procedere del prodotto nelle diverse fasi di trasformazione e di evidenziare eventuali sovrapposizioni, nodi o punti in cui più processi, lavorazioni e fasi coincidono, creando così situazioni critiche. Tale metodica prevede la ricostruzione grafica di ogni singolo passaggio e lavorazione attraverso la cantina. Come si evidenzia nella figura 2 occorre identificare ogni singolo processo e procedimento collocato nello specifico spazio di lavoro, definendo tempistiche, locali ed attrezzature coinvolte, quantitativo di materiale processato o trasformato.

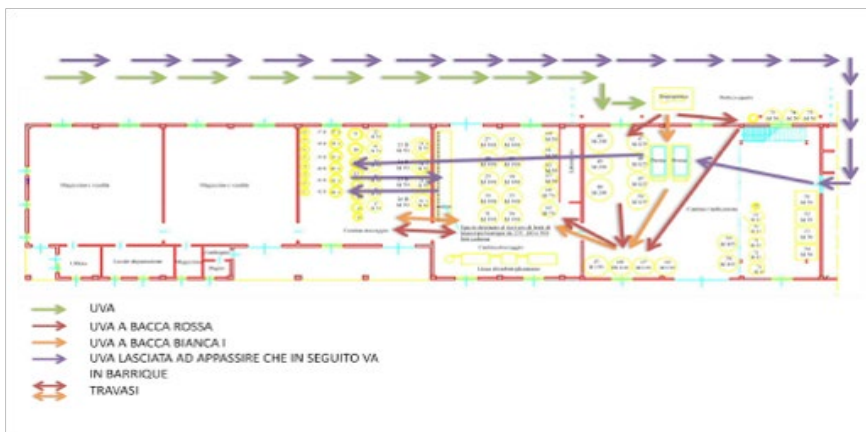


Fig. 2. Metodologia di analisi (flussi di lavoro, processi di lavorazione, impiantistica)

3.3 Edificio cantina e sicurezza

Negli ultimi anni il tema della sicurezza sul lavoro è divenuta una priorità per le aziende vitivinicole, e più in generale agricole. Infatti come riportato dall' Inail nel periodo 2009-2012 il numero degli infortuni nel settore agricolo è in continua ascesa, superando anche il settore edile, In particolare l' aumento delle malattie professionali ha fatto registrare un valore del +110% nel 2009 (INAIL, 2010). L' infortunio nel settore della produzione del vino deriva da una serie di fattori, alcuni strettamente legati all'attività di campo e di campagna, ma altri dalla cattiva progettazione delle strutture di produzione e dal non adeguamento di elementi di particolare criticità come, ad esempio, le scale di accesso ai fermentini, o alle vasche.

L'approccio analitico che si propone prevede tre principali fasi di lavoro:

- identificazione degli aspetti normativi (punti chiave di lettura della sicurezza sul lavoro),
- costruzione di una lista di controllo,
- realizzazione di una matrice di valutazione dei livelli di sicurezza. La scala di valutazione utilizzata è basata su un range 1-9, dove i valori più bassi rappresentano uno scenario di totale difformità e mancanza di sicurezza, mentre i valori elevati definiscono uno scenario sicuro e conforme alla legislazione cogente (Cividino et al., 2009).

Nello specifico, sulla base della normativa tecnica rappresentata dal testo Unico in materia di sicurezza (D.lgs 81/08) e degli standard europei (Zappavigna et al., 2002) i principali elementi da considerare sono:

- Elementi formali: documentazione tecnica, nomine, certificazione in materia di sicurezza.
- Elementi tecnici: analisi dei flussi di lavoro, dell' impiantistica e della viabilità aziendale (Banchi et al., 2002)
- Elementi gestionali organizzativi: insieme di aspetti operativi sulla gestione e l'organizzazione degli spazi lavorativi e dei tempi di lavoro (Grimaz et al., 2009)
- Elementi umani comportamentali: percezione, capacità di valutazione del rischio da parte degli operatori di campo e di cantina

3.4 Relazioni tra Cantina e paesaggio

Alla luce della definizione data di sistema cantina il sottosistema paesaggio si configura come l'insieme delle relazioni che si insaturano nel binomio fabbricato-paesaggio, che cambia e coinvolge componenti diverse a seconda della scala di indagine. Almeno due sono le letture possibili:

- alla scala di dettaglio il paesaggio che interessa la cantina è quello delle immediate vicinanze, generalmente rappresentato dall'azienda in cui il fabbricato si inserisce. Le componenti che entrano in gioco sono

gli annessi rustici, gli apezzamenti, gli orti, la viabilità, ossia l'insieme di elementi con i quali l'edificio cantina è storicamente collegato dal punto di vista funzionale;

- alla scala più vasta, ossia di territorio, le tipologie architettoniche che contraddistinguono la cantina, i materiali utilizzati, i legami con il contesto contribuiscono alla definizione del carattere del paesaggio.

La comprensione delle relazioni tra l'edificio rurale e gli elementi costituenti il paesaggio alle diverse scale sta alla base dell'inserimento del fabbricato nel contesto di appartenenza. Diversi sono gli approcci sviluppati. Alla scala di dettaglio, Tassinari et al. (2009) propongono l'utilizzo di parametri architettonici sintetici, che possano fungere da strumento analitico e metaprogettuale per gli aspetti fisionomici, ovvero formali, visibili dall'esterno. In questo caso vengono formulati indici basati sui parametri che definiscono l'orizzontalità e la verticalità delle strutture (es altezza di gronda e sviluppo planimetrico dell'edificio), o l'apertura dei prospetti. Indici questi, indirizzati a rilevare caratteri di discontinuità rispetto alla tipologia storica per gli edifici di nuova costruzione, al fine di valutare se tali discontinuità sono legate al soddisfacimento di requisiti funzionali oppure sono superabili in fase progettuale. L'English Heritage (2006) considera una serie di parametri validi alle diverse scale quali: tipo e origine dell'insediamento di appartenenza, organizzazione di fabbricati rurali costituenti l'insieme aziendale, tipologie edilizie in relazione alle specifiche funzioni, tipo di materiali utilizzati considerati in relazione alla caratterizzazione degli edifici rurali presenti nel territorio nazionale. Studi concernenti il turismo del vino hanno evidenziato come la possibilità di legare al prodotto esperienze di tipo culturale attraverso specifici eventi, o la presenza di elementi di tipicità regionale e del patrimonio storico siano elementi fortemente richiesti dai fruitori (Getz e Brown, 2006). Il ruolo del paesaggio come elemento di presentazione e caratterizzazione della cantina è oramai dimostrato tanto che si parla di *wine landscape* come fattore di *marketing* per l'azienda che, attraverso la combinazione dei fattori vino, cantina, paesaggio sviluppa il proprio marchio unendo non solo il prodotto vino al know how tecnologico, ma rendendo evidente il rapporto con il paesaggio, il patrimonio storico e artistico e le dimensioni socio-culturali (Virtuani e Zucchella, 2008).

4 Individuazione delle criticità

4.1 Relazioni funzionali e strutturali del building layout

Sulla base degli elementi analitici individuati i punti critici emersi sono rappresentati da:

- accesso ed accessibilità all'azienda (flussi in entrata ed in uscita dalla cantina): una difficile accessibilità di mezzi pesanti può produrre diversi rallentamenti nel flusso produttivo ed inoltre portoni non adeguati con scarsa visibilità o di dimensioni ridotte possono avere risvolti negativi anche sulla sicurezza sul lavoro creando incidenti tra mezzi in entrata/uscita dall'azienda;
- tipologia di conferimento all'impianto: l'area di conferimento all'impianto è una zona di particolare importanza e delicatezza nel flusso produttivo, concentrazione di molti mezzi ed attrezzature in tempi e spazi ridotti. Un elemento di forte difficoltà è l'utilizzo discontinuo di tale area che molto spesso viene convertita ad altro uso nelle fasi di lavoro diverse dalla vendemmia, divenendo in tal modo uno luogo di lavoro non gestito (ad es. area di conferimento che diviene deposito provvisorio di macchine o bottiglie, etc.);
- spazi nelle aree di lavorazione: un scorretto dimensionamento dei luoghi di lavoro comporta delle ricadute negative su ogni elemento della produzione;
- grado di innovazione tecnica e tecnologica degli impianti: l'innovazione delle attrezzature e dei processi permette in termini di produzione e di lavoro di aumentare l'efficienza e l'efficacia. Impianti vetusti o di scarsa qualità inficiano i tempi di lavoro, la qualità del prodotto ed i costi, andando ad aumentare molto spesso le manutenzioni ordinarie e straordinarie.
- tipologia di materiali utilizzati per la costruzione: i materiali in cantina determinano la qualità del prodotto stesso, infatti, la cantina deve essere progettata e costruita con materiali ad elevati standard qualitativi, in particolare devono rispettare le caratteristiche di lavabilità, a-tossicità e durata tecnica del materiale stesso. Materiali non lavabili o facilmente deperibili sono causa di problemi sia di natura igienica sanitaria che di scarsa qualità del prodotto.

La condizione di maggiore criticità è rappresentata dai loop di produzione definito come una sovrapposizione di uno o più processi lavorativi nel medesimo spazio temporale e lavorativo, rappresentato graficamente in figura 3. Tale condizione, infatti, può portare ad una serie di situazioni problematiche tra le quali:

- rottura di impianti dovuta ad un sovraccarico degli stessi o a mal funzionamenti;
- sprechi di energia e di acqua (l'impianto di imbottigliamento è collocato in una zona non corretta, ingenerando da un lato la sovrapposizione di flussi e dall'altro l'utilizzo di una maggiore quantità di energia per movimentare il materiale e di acqua per l'errata collocazione dell'impianto);
- problematiche relative alla sicurezza (le connessioni con le tubature interferiscono con il passaggio di lavoratori ed eventuali clienti).

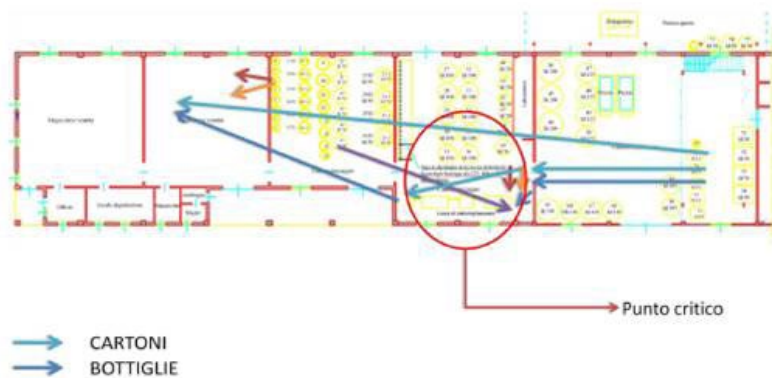


Fig. 3. Identificazione di un punto critico attraverso la metodologia di analisi (loop: nodo tra diversi flussi produttivi)

4.2 Problematiche della sicurezza del lavoro in cantina

Dalla fase di analisi emerge che il tema della sicurezza non viene generalmente identificato come una priorità dalle aziende vinicole. Infatti, da uno studio condotto nella Regione Friuli Venezia Giulia su un campione di 50 cantine (Gubiani, 2012), in cui si sono analizzati gli aspetti relativi alla sicurezza sul lavoro, emergono forti criticità, sia nell'ambito della documentazione e gestione della sicurezza, sia nell'ambito prevenzioni incendi (figura 4). In entrambi i casi, valutati secondo la metodologia di cui sopra (paragrafo 3.3), si possono osservare realtà con valori inferiori al 5, che indicano situazioni difformi dalla normativa e dalle condizioni di sicurezza del lavoro.

Dalla figura 5 si può osservare la scarsa reazione dell'edificio cantina ad un eventuale principio di incendio. Infatti le aree a maggior carico di incendio rappresentate dal cerchio pieno sono scoperte da mezzi estinguenti (cerchio tratteggiato), solamente nel locale deposito vi è una copertura efficace, infatti le due aree carico di incendio e area di azione del presidio si sovrappongono.

3.4 Relazioni tra Cantina e paesaggio

Alla scala territoriale, quindi considerando il contesto entro cui si colloca l'azienda, gli elementi che possono rappresentare situazioni critiche alle quali riporre particolare attenzione sono:

- il collegamento funzionale e strutturale con il coltivato, in relazione alla coltura vite, ma anche alle colture di diverso tipo al fine di codi-

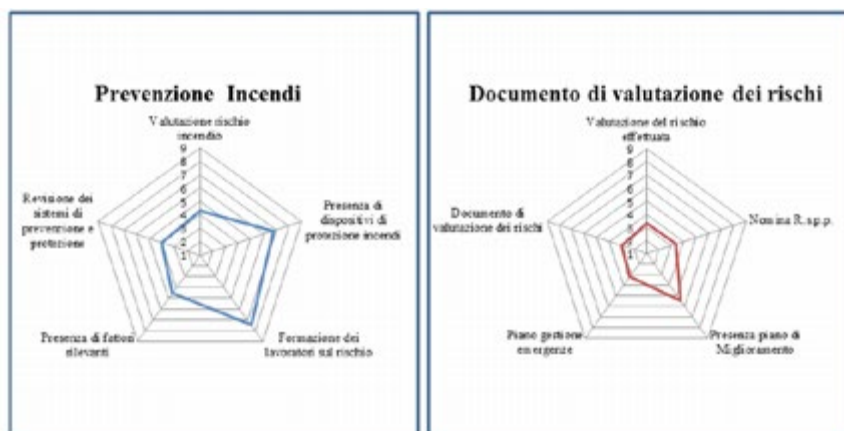


Fig. 4. Esempio di valutazione del rischio e prevenzione incendi (Gubiani, 2012).



Fig. 5. Reazione di una cantina al carico incendio.

ficare l'intensità del legame funzionale o con l'indirizzo produttivo ed il mercato agricolo principale dell'area;

- la caratterizzazione del contesto di inserimento da un punto di vista ambientale e strutturale, attraverso l'analisi degli usi del suolo prevalenti al fine di evidenziare la coerenza con il paesaggio rurale e la diversità dell'ambito;
- la definizione della coerenza, o della specificità, del fabbricato cantina in termini architettonici e di utilizzo dei materiali rispetto al costruito presente nel territorio;
- la presenza di elementi del paesaggio di supporto alla fruizione del territorio (naturali, tradizionali, ecc) o di valori storico-culturali nel

contesto, come elementi da richiamare a livello aziendale per una chiara caratterizzazione del sistema cantina.

Considerando la scala di maggiore dettaglio, ossia il contesto aziendale, l'attenzione è richiamata dalle relazioni strutturali e funzionali che si instaurano tra i diversi edifici, che andranno valutate alla luce degli obiettivi di promozione o di multifunzionalità dell'azienda. La scelta di coerenza nelle forme, nei materiali di costruzione e nei colori per i diversi edifici concorrono alla creazione di un contesto armonioso per l'inserimento della cantina. Gli elementi di arredo esterno nelle immediate vicinanze dell'edificio, siano essi rappresentati da elementi vegetali, sia da elementi di pregio culturale o artistico, accanto all'organizzazione degli spazi dedicati all'accoglienza degli ospiti ed alla presentazione dei vini rappresentano i principali vettori con cui trasmettere l'immagine dell'azienda al visitatore.

5. Indirizzi per la fase metaprogettuale

Dalle analisi condotte emerge un sistema cantina molto complesso, rispetto al quale è tuttavia possibile evidenziare alcuni elementi guida, propri di strutture efficienti di cui tener conto in fase di progettazione. L'azienda deve minimizzare il rischio di interferenza tra le varie attività (produzione, vendita, trasformazione, accoglienza del pubblico), attraverso l'identificazione di veri e propri percorsi, specifici per ogni singolo flusso di lavoro.

Nella progettazione dei luoghi di lavoro devono essere valutati anche gli aspetti dimensionali e di sviluppo che l'edificio potrà avere nel futuro, identificando, ad esempio, aree facilmente modificabili che in caso di calo o eccessi di produzione possano essere riconvertite rapidamente in modo efficiente ed efficace. Il processo di valutazione del rischio non deve limitarsi alla definizione di un atto formale (es: documento di valutazione del rischio), bensì diventare uno strumento di tipo gestionale, utilizzabile affinché l'edificio ed il processo lavorativo siano monitorati ed adeguati anche dal punto di vista della sicurezza.

In questo ambito un elemento critico è la scarsa cultura della sicurezza dovuta al fatto che molte leggi sono di recente applicazione (HACCP, EMAS, D.lg. 81/08) rispetto ai tempi di formazione di una cultura consolidata in merito a tale tematica da parte degli operatori. D'altra parte le richieste dei consumatori sono di un settore viticolo trasparente nella sua attività di produzione del vino, più recettivo e aperto rispetto al fenomeno del turismo enogastronomico, il che implica l'attenta applicazione di tali normative.

Il paesaggio è il risultato dell'interazione tra dimensione antropica e ambiente naturale, rappresenta la formalizzazione del collegamento

tra il territorio e il prodotto vino, quindi rappresenta la chiave per trasformare la cantina da luogo di produzione a strumento di promozione ed identificazione indispensabile per la costruzione di un rapporto sostenibile e di lungo termine con il consumatore. La fase di metaprogettazione di nuove cantine, o del riuso di edifici rurali ad uso cantina dovrebbe essere indirizzata a formalizzare gli obiettivi e le aspettative che ci si pone rispetto al sistema cantina stesso. Ciò è possibile inserendo tra gli obiettivi di detta fase la definizione della “filosofia” che accompagna il progetto costruita sulla base di considerazioni di tipo tecnologico e tecnico, ma anche ambientali, di processo e relative al ruolo dell’edificio nel *marketing* aziendale. Questo, ovviamente, considerando la necessaria sostenibilità economica e la possibilità di realizzare il progetto in tempi accettabili e di modificarne la struttura in relazione a possibili esigenze future.

Bibliografia

- Banchi G., Nobler C., Scala D., 2002, Profili di rischio per comparto produttivo Cantine Vinicole (Produzione di vino) Nell’area di Firenze e Siena. Pubblicazione ispesl Istituto Superiore Prevenzione e Sicurezza del Lavoro Ricerca aggiornata al giorno 27 marzo 2002.
- Cividino S.R.S., Cecchini M., Troccoli R., Monarca D., Colantoni A., 2009, Implementazione di un sistema per la valutazione dei rischi e la gestione della sicurezza presso l’Azienda Agraria Didattico-Sperimentale “N. Lupori”, In: Atti del IX Convegno Nazionale dell’Associazione Italiana di Ingegneria Agraria. Ischia Porto Italia, 12-16.9.2009
- Di Fazio S., Lamberto L., 2010 Construction design systems for sustainable farm buildings. A case study in Calabria, XVII World Congress International Commission Of Agricultural And Biosystems Engineering (cigr), June 13-17, 2010, Sustainable Biosystems through Engineering, (CSBE101525) ISBN: 978-2-9811062-1-6, Québec City, Canada.
- English Eritage, 2006, Living buildings in a living landscape: finding a future for traditional farm buildings ISBN Number: 1 86174 177 4
- Failla A., Tomaselli G., Strano L., 2008, The Definition Of Planning Criteria For Safe Workplaces In Wineries. International Conference: September 15-17, 2008 Ragusa – Italy “Innovation Technology to Empower Safety, Health and Welfare in Agriculture and Agro-food Systems”
- Getz D., Brown G., Critical success factors for wine tourism regions: a demand analysis *Tourism Management* 27 (2006) 146–158
- Gómez, M., Molina, A., Esteban, A., 2006, What are the main factors attracting visitors to wineries? A PLS multi-group comparison *Quality and Quantity*, *Tourism Management* 27 146–158pp 1-21.
- Grimaz S., Capellari G., Cividino S.R.S, Savonitto F., Bonfanti P., Cromaz E., 2009. La nuova filosofia della sicurezza in agricoltura. Il progetto

- “AgriSAFE”. In: Atti del IX Convegno Nazionale dell’Associazione Italiana di Ingegneria Agraria. Ischia Porto Italia, 12-16.9.2009
- Gubiani R., 2012, Il rischio negli stabilimenti enologici, contributo accettato International Conference, Safety Health Welfare in Agriculture Agro - Food and Forestry Systems, Ragusa SHWA 2012 (in corso di pubblicazione)
- INAIL, 2010, Bollettino nazionale sulla diffusione degli infortuni e malattie professionali sui luoghi di lavoro. Documento nazionale di divulgazione della situazione relativa alle patologie sul lavoro; pp 2-3.
- Tassinari P., Galassi S., Benni S., Torreggiani D., 2009, Il sistema costruito delle aziende vitivinicole: una metodologia di analisi del comparto per la definizione dei requisiti metaprogettuali, IX convegno nazionale dell’associazione italiana di ingegneria agraria Ischia Porto, 12-16 settembre.
- Torreggiani D., Benni, S., Corzani, V., Tassinari, P., Galassi, S. (2011), A meta-design approach to agroindustrial buildings: A case study for typical Italian wine productions Land Use Policy . 28 pp 11-18
- Virtuani E., Zucchella A., 2008, New leverages in customer/place oriented wine branding strategies. The case of wine architecture in experiential approaches to wine marketing . 4th International Conference of the Academy of Wine Business Research, Siena, 17-19 July 2008. <http://academyofwinebusiness.com> (accesso 15 giugno 2012)
- Zappavigna P., Capelli G., Brugnoli A., Assirelli A., 2002. Valutazione dei rischi sul lavoro in agricoltura. Risultati di un’indagine nell’Appennino emiliano svolta mediante “check list”. Rivista di Ingegneria Agraria, 2: 13-28.

LA VIA FRANCIGENA TOSCANA: IDEE E SOLUZIONI PROGETTUALI PER LA PROMOZIONE E LO SVILUPPO DEL TURISMO RURALE ED ESCURSIONISTICO

G. Bambi, M. Barbari

*Dipartimento di Economia, Ingegneria, Scienze e Tecnologie Agrarie e Forestali -
Università degli Studi di Firenze*

Riassunto. Lo studio prende in esame il tratto toscano della via Francigena. Nell'ambito di un progetto finanziato dalla Regione Toscana, il Dipartimento si è occupato di rivedere il tracciato toscano, allo scopo di proporre soluzioni ai principali problemi e di rendere il percorso usufruibile con i diversi mezzi: a piedi, a cavallo, in bicicletta.

La ricognizione dell'intero tratto toscano della via Francigena è stata effettuata a cavallo nel mese di giugno 2011: tutto il tracciato è stato rilevato con strumentazione GPS. Sono state così definite dal punto di vista cartografico le varianti e sono stati individuati 11 possibili punti di sosta multi-servizio, da prevedere lungo il percorso.

La ricerca ha consentito di definire la metodologia per l'individuazione, la progettazione e la realizzazione delle aree multi-servizio, che devono essere dotate di varie strutture, tra cui un punto informazioni e un ricovero per cavalli.

Parole chiave: Via Francigena, Aree di sosta, Ricoveri per cavalli, Punto informazioni

Summary. The study takes into account the Tuscany course of via Francigena. Within a project funded by Tuscany Region, the Department has been involved in the revision of Tuscany course, in order to propose solutions at the main problems and to make the way usable with different means of transport: on foot, on horseback, on bike.

The survey of the whole the Tuscany course of via Francigena has been effected on horseback during the month of June 2011. All the course has been surveyed with GPS device. The variations to the course have been defined and 11 possible multiservice stop points have been located along the way.

The research has allowed to define the methodology for the localization, the design and the realization of the multiservice areas, which have to be provided with various structures, such as an info-point and a shelter for horses.

Key words: Via Francigena, Stop-area, Shelter for horses, Info-point

1. Introduzione

La via Francigena è la più nota delle vie di pellegrinaggio medievali, che dal cuore dell'Europa conduceva a Roma, uno dei tre grandi luoghi, insieme a Gerusalemme e a Santiago de Compostela, meta dei pellegrini. Proveniente dai territori francesi, dei quali si riconosce il nome,

oggi identifica ufficialmente il percorso da Canterbury a Roma secondo le testimonianze lasciate dal vescovo Sigerico nell'anno 980.

Il tratto toscano, di 394 km, parte dal Passo della Cisa ed entra nel Lazio a Ponte a Rigo, attraversando territori di particolare bellezza e città importanti, alcune delle quali sono nate e si sono sviluppate per merito di questa via.

Nonostante l'immagine che della Francigena è stata costruita in tempi recenti, fino a definirla addirittura una sorta di "autostrada medievale", il suo percorso non era univoco, e rassomigliava, in certi tratti, più a un fascio di sentieri che ad un unico sentiero, anche se esistevano alcuni punti di transito e di sosta obbligati.

L'attuale percorso ufficiale della Francigena, individuato nel 2008, è stato pensato esclusivamente per una fruizione a piedi, rimandando in un secondo tempo la possibilità di una fruizione equestre e in bike. Per questo motivo alcuni tratti della Francigena si sviluppano su percorsi ripidi e pericolosi, soprattutto per i pellegrini a cavallo o in bicicletta. Inoltre molti percorsi corrono lungo strade asfaltate che, se non destano preoccupazione per il pellegrino a piedi in quanto sono presenti marciapiedi, possono invece rivelarsi insidiosi per cavalieri e ciclisti.

Si è così determinata l'esigenza di una rivisitazione di tutte le 15 tappe presenti sul territorio toscano, in modo da poter individuare delle varianti specifiche nei punti di maggiore difficoltà di percorso. Nell'ambito di un progetto finanziato dalla Regione Toscana, il Dipartimento si è occupato di rivedere il tracciato toscano, allo scopo di proporre soluzioni ai principali problemi. La ricognizione dell'intero tratto toscano della via Francigena è stata effettuata a cavallo nel mese di giugno 2011: tutto il tracciato è stato rilevato con strumentazione GPS. Sono state così definite dal punto di vista cartografico le varianti e sono stati individuati punti di sosta multi-servizio, da prevedere lungo il tracciato.

2. Obiettivi della ricerca

Il potenziamento dell'offerta dei servizi per il turista-pellegrino che viaggia a piedi, cavallo, bike, in auto o in camper lungo la Francigena toscana è stato il principale obiettivo della ricerca. La creazione di "aree multi-servizio" consente ai turisti di trovare strutture finalizzate alla sosta temporanea (area pic-nic, sosta camper e ricovero-posta cavalli) e all'ottenimento di informazioni varie (info-point). Più in dettaglio gli obiettivi della ricerca sono stati i seguenti:

- individuare nuove tipologie costruttive in legno a servizio del turismo rurale, da inserire come elementi standard lungo tutta la Francigena;
- promuovere la fruizione della Francigena anche con altre forme di spostamento sostenibili, quali il cavallo e la bicicletta;

- valorizzare i territori interessati dal passaggio della Francigena, promuovendo le aziende agricole, agrituristiche e di ristorazione tipica;
- incentivare la fruizione della Francigena attraverso una maggiore consapevolezza della stessa da parte di un diversificato target di possibili utenti;
- promuovere il trasferimento dei risultati al fine di incentivare e rafforzare le scelte imprenditoriali verso investimenti per la realizzazione di nuovi prodotti e servizi lungo la Francigena, in grado anche di destagionalizzare l'offerta;
- stimolare l'istaurarsi di nuovi processi di aggregazione verticale ed orizzontale tra le imprese turistiche che lavorano attorno al percorso Francigena;
- promuovere la multifunzionalità e la sostenibilità ambientale di un *modus operandi* nel settore turistico, che possa garantire un'offerta turistica completa e competitività.

3. Tipologie progettuali delle principali strutture

La ricerca ha previsto la progettazione e la realizzazione di aree di sosta, dette di "multi-servizio", che contemplano una serie di prestazioni utili al turista di passaggio lungo la Francigena, anche nel caso in cui desideri solo avere informazioni sul tracciato, i servizi e le varie iniziative che ruotano attorno al progetto Francigena.

In queste aree di sosta, grazie ad un info-point, il turista-pellegrino può avere informazioni sul percorso, le tappe che rimangono da percorrere, la disponibilità di posti nelle strutture ricettive limitrofe, orari e destinazione di servizi bus ed altro. È inoltre previsto, se necessario, un servizio navetta per i centri turistici importanti (qualora distanti per un raggiungimento comodo a piedi) e le strutture ricettive poste nelle vicinanze. All'interno dell'area è prevista la vendita di prodotti eno-gastronomici e artigianali tipici della Toscana e del luogo ove è posta l'area e un servizio bar con servizi igienici.

I pellegrini e turisti in genere possono disporre di una confortevole area pic-nic con tavoli, panche, cestini e barbecue, per il relax e per l'approfondimento del valore storico e culturale della via Francigena, attraverso la lettura delle diverse informazioni poste nelle bacheche e nell'info-point. All'interno dell'area è prevista la predisposizione di spazi divertimento per i più piccoli, appositamente recintati e con tutti gli accorgimenti per la sicurezza degli utenti.

Nell'area è contemplata anche un'area di sosta per camper con colonnine elettriche, con piazzole dotate di scarico acque nere e grigie e carico acqua potabile, separata da una zona sosta auto.

Per la permanenza temporanea dei cavalieri di passaggio lungo l'Ipovia della Francigena, i progetti prevedono la realizzazione di una mo-

derna e funzionale posta cavalli, con annesso ricovero mangimi, da usare anche come area rimessaggio selle. I cavalieri, una volta sistemati i cavalli, possono usufruire dell'area per una breve sosta, oppure spostarsi a piedi e, eventualmente usufruendo del servizio navetta, visitare il borgo turistico e dormire in strutture ricettive limitrofe.

Per i ciclisti sono previsti portabiciclette ove sistemare le biciclette.

Il progetto delle strutture pone particolare attenzione al contesto ambientale locale e all'accessibilità per i disabili motori, con la presenza di parcheggio, servizi igienici e tavolini dedicati.

Oltre alla fase di rilievo in campo dei siti potenzialmente idonei, la ricerca ha portato all'elaborazione di modelli progettuali delle diverse strutture in legno da realizzarsi all'interno dell'area.

3.1 Punto Informazioni, vendita e degustazione prodotti tipici

All'interno dell'area è predisposto un punto informazioni per i turisti e i pellegrini di passaggio. Questo deve anche avere uno spazio per la vendita dei prodotti tipici, uno per la degustazione con servizio di bar e uno per i servizi igienici. Le dimensioni minime sono di 60 m².



Fig. 1. Schema del Punto Informazioni, vendita e degustazione prodotti tipici.

La struttura portante è in legno lamellare, con pareti esterne ed interne in pannelli in legno, infissi in legno massello, copertura sandwich impermeabilizzata con guaina ardesiata predisposta alla posa di coppo o tegola.

La struttura prevede una veranda esterna come riparo da agenti meteorici e predisposizione di tavoli e panche.

3.2 Ricovero per cavalli

La tipologia della struttura per i cavalli in transito prevede due reparti, uno adibito a ricovero cavalli e l'altro a rimessaggio mangimi e selleria. Si tratta di un'innovativa tipologia di ricovero cavalli, pensata per soddisfare le diverse esigenze di ricovero degli animali. Difatti la struttura può essere utilizzata in modo versatile sia per poste sia per box, modificando gli spazi interni con semplici operazioni che richiedono pochi minuti. In questo modo si cerca di rimediare alle limitazioni del ricovero in posta, riguardo l'insofferenza di molti cavalli che non sono abituati o non tollerano il ricovero condizionato alla posta. La struttura è in grado di ospitare fino a 8 cavalli in posta o 4 in box con diverse altre soluzioni miste (4+2, 6+1, 2+3).

La soluzione tipo deve rispettare i principi costruttivi di basso impatto, economicità, semplicità di montaggio, completo riuso della struttura.



Fig. 2. Schema del ricovero per cavalli.

3.3 Abbeveratoio per cavalli in pietra

Oltre alle strutture di ricovero è necessario predisporre un abbeveratoio cavalli, che deve essere ovviamente conforme alle norme vigenti locali in fatto di materiali e tecniche costruttive. Questo deve essere alimentato da acqua corrente potabile.

Una possibile soluzione può essere quella della vasca in calcestruzzo (Fig.3), rivestita con pietrame locale, con pavimentazione perimetrale in pietra e pozzetto di raccolta delle acque di scarico.



Fig. 3. Esempio di abbeveratoio in legno.

4. Risultati

L'indagine di campo svolta nell'ambito dell'attività di ricerca ha consentito di individuare la necessità di predisporre 10 aree multi-servizio, con un costo di realizzazione di ciascuna area di circa 80.000 euro.

Nel corso dell'indagine sono state individuate 11 possibili sedi di ubicazione delle aree (tab.1).

L'individuazione dei siti idonei alla realizzazione delle aree multi-servizio, oltre ad avere come requisito primario quello di trovarsi direttamente sul tracciato ufficiale della via Francigena toscana, deve rispondere ad altri requisiti, tra cui: vicinanza di un centro turistico; proprietà pubblica del terreno; accesso alle auto e camper; passaggio dell'ippovia della Francigena e possibilmente collegamento con altre ippovie facenti parte del progetto Ippovie Toscane; presenza di acqua potabile; disponibilità pubblica del terreno per almeno 1.000 m²; presenza di alberi ombreggianti; richiesta di limitate opere di sbancamento e movimento terra; assenza nei dintorni di adeguate strutture per ospitalità cavalli.

5. Conclusioni

Oggi molti pellegrini desiderano intraprendere un viaggio spirituale in sella al proprio cavallo o alla propria bicicletta, necessitando quindi di opportune strutture e infrastrutture dedicate. Molti altri decidono di seguire il percorso direttamente in auto o camper. Ecco quindi che rendere la Francigena percorribile e fruibile con le diverse forme di spostamento garantisce sicuramente maggiore sviluppo alla stessa, ampliando

Tab. 1. Possibile ubicazione delle aree multi servizio

n.	Località	Comune	Caratteristiche e ubicazione
1	Filetto	Villafranca	Presenza del caratteristico abitato di Filetto Da ubicare sul tracciato nei pressi di un'area pic-nic, già presente vicino alla chiesa di San Genesio
2	Terrarossa	Aulla	Vicinanza Aulla, possibile collegamento con Ippovia di Fivizzano e da lì a quella del Volto Santo Due possibili aree: 1) dietro il castello di Terrarossa; 2) in prossimità dell'area industriale, nei pressi dell'accesso al futuro percorso pedonale della ferrovia dismessa
3	Lucca	Lucca	Vicinanza alle mura di Lucca Da ubicare nell'area ad oggi già adibita a parcheggio
4	Altopascio	Altopascio	Borgo storico di Altopascio Da ubicare nell'area pubblica, che garantisce anche una variante al percorso per arrivare al sottopasso dell'autostrada
5	Fucecchio	Fucecchio	Vicinanza al centro di Fucecchio Due possibili aree: 1) area in cui si svolge il palio di Fucecchio (già ora ricovero temporaneo cavalli); 2) Ponte a Cappiano
6	Gambassi Terme	Gambassi Terme	Vicinanza all'ospitale di Santa Maria a Chianni Da ubicare davanti alla Pieve di Santa Maria a Chianni, ove è già presente un'area parcheggio, con fonte e panchine
7	San Gimignano	San Gimignano	Vicinanza del centro di San Gimignano L'area è stata individuata presso uno dei parcheggi che si trova subito sotto la porta sud di San Gimignano. Presenti in zona numerose strutture ricettive e parcheggi
8	Abbadia Isola	Monteriggioni	Presenza di Abbadia Isola L'area è già stata realizzata
9	Bonconvento	Bonconvento	Leggermente fuori dal percorso (circa 150 m) Da ubicare in prossimità delle mura, dove sono già presenti un'area a parcheggio e poste per cavalli molto elementari per la sosta temporanea
10	Bagno Vignoni	San Quirico d'Orcia	Presenza di Bagno Vignoni È già presente un'area dedicata a parcheggio camper
11	Radicofani	Radicofani	Area ancora da definire

i target di turista e le potenzialità di sviluppo. Non solo, ma rendere la Francigena fruibile a cavallo, può stimolare l'incentivazione pubblica e



Fig. 4. Planimetria esemplificativa di un'area multi-servizio.

privata verso diverse possibilità offerte dall'allevare e custodire il cavallo, settore su cui la Regione Toscana sta investendo negli ultimi anni con varie iniziative, tra cui ad esempio il progetto regionale Ippovie Toscane.

La realizzazione di aree di sosta multi-servizio ha l'obiettivo di garantire un servizio al fruitore della Francigena che sia il più possibile completo ed esaustivo delle diverse richieste in fatto di informazioni sul percorso e sulle tipicità locali. Si è resa quindi necessaria una metodologia progettuale univoca a livello regionale per l'individuazione, la progettazione e la realizzazione di questa aree, garantendo degli standard progettuali.

Nel corso dello studio sono state formulate ipotesi di soluzioni costruttive per le strutture e le infrastrutture necessarie e sono state individuate possibili aree per la realizzazione dei punti sosta lungo il tracciato.

GESTIONE DEI REFLUI ZOOTECNICI DI ORIGINE SUINA: UN MODELLO MULTICRITERI PER LA VALUTAZIONE DELL'EFFICIENZA AMBIENTALE

M. Vizzari¹, G. Modica²

¹*Dipartimento Uomo e Territorio, Università degli Studi di Perugia*

²*Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agroforestali ed Ambientali (DisTAfA),
Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria*

Riassunto. La gestione dei reflui zootecnici di origine suina è ancora di notevole interesse per la ricerca scientifica per via degli importanti risvolti ambientali ad essa connessi. Se da un lato, infatti, l'impiego agronomico dei reflui può rappresentare un'importante fonte di nutrienti per il suolo, dall'altro può dare origine a fenomeni ambientali rilevanti (eccesso di nitrati, salinizzazione, modifica del pH, alterazione della microfauna e della microflora edafica, emissione di gas nocivi, ecc.). A fronte di tali problematiche, la disponibilità di strumenti efficaci, ma anche versatili e di semplice applicazione, per l'analisi della compatibilità ambientale della gestione dei liquami suinicoli risulta fondamentale per la verifica della sostenibilità degli allevamenti. In questa direzione la ricerca è orientata allo sviluppo di un modello per la valutazione speditiva dell'efficienza ambientale del processo di gestione dei reflui zootecnici di origine suina. Per la definizione del modello si è fatto ricorso alle tecniche multicriteriali e, in particolare, all'analisi gerarchica (*AHP, Analytical Hierarchy Process*) grazie alle quali, attraverso un percorso iterativo, è stato sviluppato uno specifico set di indicatori riferito ai principali fattori aziendali di tipo strutturale, tecnico-operativo e agronomico che condizionano il livello di efficienza ambientale del processo in esame. Ai fini di una prima validazione, il modello è stato ottimizzato e applicato nel bacino del Trasimeno, un contesto ambientale molto fragile (interessato dalla presenza di numerose aree protette, dichiarato vulnerabile ai nitrati di origine agricola) in cui lo smaltimento dei liquami suinicoli rappresenta una fonte potenziale di inquinamento molto rilevante. I differenti indici prodotti dal modello consentono una quantificazione diversificata dei più importanti fattori di efficienza ambientale del processo di gestione dei reflui suinicoli. Grazie alla grande adattabilità e versatilità delle tecniche multicriteriali il modello può rappresentare uno strumento modulabile a supporto dei processi decisionali orientati alla gestione sostenibile dei processi produttivi zootecnici.

Parole chiave: allevamenti suinicoli, efficienza ambientale, reflui zootecnici, analisi multicriteri, AHP, GIS

Summary. The management of swine sewage is still of considerable interest for scientific research because of the significant environmental implications associated with this process. If, on the one hand, use of wastewater for cultivation can be an important source of nutrients for the soil, on the other hand, can give rise to significant environmental issues (excess nitrates, salinity, pH change, alteration of microfauna and edaphic microflora, emission of greenhouses gases, etc.). In this concern effective tools for environmental monitoring of the swine sewage management process become essential for verifying the environmental compatibility of farming facilities and for defining suitable policies aimed at in-

creasing swine production sustainability. This research aims at the development and application of a model for rapid assessment of the environmental efficiency of the pig-farming sewage management process. In order to define the model, multicriteria techniques, and in particular, Saaty's Analytical Hierarchic Process (AHP) were used to develop an iterative process in which the various key factors influencing the process under investigation were analyzed. The model was optimized and applied to the Lake Trasimeno basin, an area of high natural, environmental and aesthetic value. In this area, the disposal of pig sewage represents a potential source of very considerable pollution. The results have demonstrated how the multicriteria model can represent a very effective and adaptable tool in those decision-making processes aimed at the sustainable management of livestock production.

Key words: swine livestock, environmental efficiency, livestock waste, multicriteria analysis, AHP, GIS

1. Introduzione

L'impatto ambientale degli allevamenti suinicoli intensivi è particolarmente elevato nelle situazioni in cui tale tipologia di allevamenti è associata alla mancanza di adeguate regolamentazioni e alla non idonea gestione dei reflui aziendali (EEA, 2007). Se da un lato l'impiego agronomico dei reflui può rappresentare un'importante fonte di nutrienti per il suolo, dall'altro, in assenza di adeguate strategie di gestione, può dare origine a numerose problematiche agronomiche ed ambientali (eccesso di nitrati, accumulo di metalli pesanti, salinizzazione, modifica del pH, alterazione della microfauna e della microflora edafica, emissione di gas nocivi, ecc.). Questi fenomeni possono condurre tendenzialmente ad un degrado del potenziale agronomico dei terreni agricoli, alla contaminazione delle acque sotterranee e superficiali, all'inquinamento atmosferico (CRPA - RER, 1993; Commissione Europea, 2009). L'elemento che presenta le problematiche di gestioni maggiori rimane sicuramente l'azoto in considerazione dell'impatto potenziale su acquiferi superficiali e profondi (EEA, 2009; FAO 2009; Teira-Esmatges e Floatats, 2003). Tale forma di inquinamento, legata soprattutto alle errate tecniche di utilizzazione agronomica dei reflui, continua a rappresentare un problema rilevante in tutti i Paesi della Comunità Europea soprattutto nelle zone ad elevata concentrazione zootecnica (APAT, 2005; EEA, 2009). Anche in Umbria, regione in cui si colloca l'area di studio, le problematiche legate all'inquinamento delle acque superficiali e profonde rimangono rilevanti soprattutto nelle aree ad elevata intensità suinicola (ARPA Umbria, 2009) in cui gli allevamenti determinano i maggiori carichi inquinanti soprattutto in termini di N, BOD e COD (Regione Umbria, 2008).

Alla luce delle problematiche presentate, la disponibilità di efficaci strumenti di valutazione ambientale del processo di gestione dei liqua-

mi suinicoli diventa essenziale per verificare la compatibilità ambientale degli allevamenti e per definire adeguate politiche orientate all'incremento della sostenibilità delle produzioni suinicole (Commissione Europea 2009; FAO 2009; EEA 2009). Gli ambiti in cui è possibile operare per migliorare non solo le prestazioni, ma soprattutto l'efficienza energetica e ambientale nelle aziende zootecniche sono diversi (Piccinini e Bonazzi, 2005; CRPA - RER, 1993; Hatfield *et al.*, 1998.). A tal proposito esiste uno specifico filone di ricerca orientato allo sviluppo di strumenti a supporto delle decisioni basati sull'ottimizzazione di indici di efficienza, di produzione e ambientali del comparto zootecnico. In molti casi è adottato un approccio di tipo econometrico (*cf.* Lansink e Reinhard, 2004; Yang, 2009; Huang *et al.*, 2010), ma rimane ancora una forte esigenza di disporre di metodi adeguati per sviluppare modelli e indicatori, a scala aziendale, validi e di semplice applicazione e interpretazione al fine di studiare azioni di intervento per la riduzione degli impatti e per il confronto di dati provenienti da realtà aziendali differenti (Halberg *et al.*, 2005).

L'analisi multicriteri (AMC), una procedura di comparazione a criteri multipli applicata nei processi decisionali, ha lo scopo di contribuire allo sviluppo di un processo di apprendimento iterativo che alimenta lo stesso percorso valutativo (Voogd, 1983, Munnier, 2004). La particolarità dell'AMC consiste nella determinazione di indici sintetici in funzione di più criteri di riferimento, esaminati in maniera autonoma e interattiva (Roy, 1996). Le tecniche multicriteri, in molti casi, sono già utilizzate anche nel contesto dei sistemi di supporto alle decisioni per la gestione eco-compatibile delle produzioni zootecniche (Gerber *et al.*, 2008; Manos *et al.*, 2010; Marie *et al.*, 2009; Morari, 2004; Refsgaard, 2006; Wang e Jia, 2010). Il Processo di analisi gerarchica (*Analytic Hierarchy Process*, AHP) è una particolare metodologia di analisi multicriteri robusta e flessibile, che formula il problema decisionale in una struttura gerarchica e definisce le priorità dei suoi elementi confrontando la loro reciproca importanza (o verosimiglianza) rispetto ad un attributo comune (Saaty, 1990).

L'approccio proposto nel presente lavoro, basato sulla tecnica AHP, è orientato all'identificazione di quei fattori che principalmente caratterizzano la performance ambientale degli allevamenti suinicoli. L'obiettivo è sviluppare e validare un modello multicriteri che permetta un'analisi integrata di questi fattori e una valutazione complessiva dell'efficienza aziendale associata alla gestione dei liquami suinicoli. Il pregio di questa metodica, contrariamente a strumenti più complessi come quelli econometrici, è rappresentato dalla possibilità di effettuare una valutazione speditiva della performance ambientale delle aziende, con evidenti vantaggi operativi e funzionali all'interno dei processi decisionali.

2. Materiali e metodi

Il bacino del lago Trasimeno (Fig. 1), costituito dal bacino naturale e da altri sottobacini collegati artificialmente, rappresenta un'area ad elevato valore paesaggistico, naturalistico e ambientale ed è classificata come vulnerabile ai nitrati di origine agricola in relazione a quanto previsto dalla Direttiva Nitrati 91/676/CEE. L'area è altresì interessata da numerose aree pSIC e da un area ZPS istituite in attuazione delle Direttive "Habitat" 92/43/CEE e "Uccelli" 79/409/CEE finalizzate alla realizzazione della Rete Europea Natura 2000. Nel bacino si rileva, inoltre, l'omonima Area Naturale Protetta istituita dalla Regione e differenti aree di interesse floristico-vegetazionale e ambiti sottoposti a vincoli paesaggistici. All'interno del "Piano stralcio per il bacino del lago Trasimeno", redatto dall'Autorità di bacino del Fiume Tevere, il lago è classificato come "area sensibile" e il bacino viene dichiarato "area vulnerabile ai nitrati di origine agricola e ai prodotti fitosanitari" in attuazione a quanto previsto dalla direttiva "Nitrati" (91/676/CEE). Nell'area si rilevano numerosi allevamenti suinicoli che producono liquami le cui caratteristiche variano in funzione delle tecniche di allevamento e di trattamento dei reflui adottate (Vizzari *et al.*, 2008). Il destino naturale di tali materiali, considerando la completa assenza di impianti di depurazione, è l'utilizzazione agricola finalizzata all'integrazione o alla sostituzione delle pratiche fertilizzanti (A.A.VV., 1999).

Le tecniche di allevamento e di gestione dei reflui che condizionano l'efficienza ambientale della gestione dei reflui suinicoli sono molteplici (Bonazzi *et al.*, 2003; Hatfield, 1998; Sangiorgi *et al.*, 1986; Regione Umbria, 2005). Tuttavia, in considerazione degli obiettivi specifici del lavoro, sono stati selezionati i fattori più importanti, di facile osservazione e quantificazione mediante esame visivo dell'allevamento o attraverso brevi interviste agli allevatori, comunque ritenuti significativi ai fini di una valutazione speditiva dell'efficienza ambientale del processo di gestione dei reflui.

Il percorso concettuale orientato allo sviluppo del modello è stato finalizzato alla determinazione di un indice sintetico, rappresentativo dell'efficienza ambientale raggiunta dall'azienda nella gestione dei liquami suinicoli (EA) (Fig. 2). Ai fini dello sviluppo del modello sono stati individuati due aspetti principali che permettono di quantificare l'efficienza ambientale degli allevamenti: l'intensità agronomica (IA), determinata in ragione del carico potenziale di azoto per ettaro di superficie, e le tecniche gestionali (TG) in grado di racchiudere le principali soluzioni volte alla riduzione degli impatti dei liquami originati dal processo produttivo. All'interno delle tecniche gestionali è possibile distinguere quelle che risultano condizionate da fattori strutturali dell'allevamento (tipo di stabulazione, tecniche di lavaggio, tecniche di primo trattamento) e che sono aggregabili in un fattore strutturale (FS). Si possono poi



Fig. 1. Localizzazione dell'area di studio

individuare quelle tecniche legate allo smaltimento finale degli effluenti il cui effetto è quantificabile mediante un fattore specifico (TS). Il parametro TS influisce notevolmente sul fattore che racchiude le tecniche gestionali (TG), infatti un efficace smaltimento finale dei reflui (ad es. compostaggio) può generare un drastico abbassamento del fattore TG anche a fronte di un non ottimale indice FS. I diversi fattori sono stati strutturati all'interno di un modello gerarchico multicriteri sviluppato dal punto di vista matematico con il supporto delle tecniche di analisi AHP, (Saaty, 1980; 1994) che ha permesso di scomporre il problema valutativo in una serie di elementi poi organizzati secondo una logica gerarchica. Un passaggio fondamentale nell'AHP è la costruzione delle matrici di confronto a coppie tra i fattori analizzati, grazie alle quali è possibile definire l'importanza relativa degli elementi in relazione ad un particolare criterio di valutazione; i giudizi espressi nei confronti a coppie sono quelli previsti dalla cosiddetta Scala Fondamentale dei giudizi di Saaty. Per la compilazione delle matrici di valutazione è stato costituito un gruppo di lavoro *ad hoc* formato da esperti della tematica oggetto di analisi. Come indicato da Saaty, gli esperti sono stati preventivamente istruiti sul funzionamento di questa tecnica e ciascuna delle matrici compilate è stata sottoposta alla verifica di consistenza per mezzo del cosiddetto Rapporto di Consistenza (CR, *Consistency Ratio*).

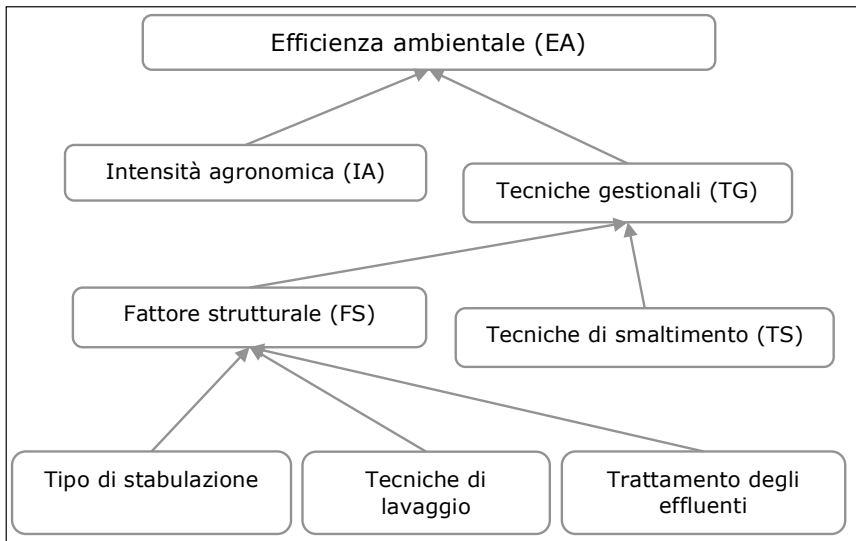


Fig. 2. Schema concettuale del modello gerarchico per la valutazione dell'efficienza ambientale della gestione dei reflui suinicoli

3. Risultati e discussione

I dati raccolti mediante sopralluoghi evidenziano una prevalenza delle aziende di medie dimensioni (da 500 a 1500 CSE - Capi Suini Equivalenti di 80 Kg) corrispondenti a circa il 39% del totale dei capi allevati nell'area di studio. Seguono le aziende con meno di 500 CSE in cui si allevano però solo il 3,7% dei capi totali. Nel bacino esistono poi quattro aziende di medio-grandi dimensioni (tra 1500 e 3000 CSE), corrispondenti al 23,2% del totale dei capi, e quattro aziende di grandi dimensioni (oltre 3000 CSE) in cui si riscontra circa il 34% dei capi allevati. Pertanto, si osserva che nelle ultime due classi dimensionali ricadono otto aziende di grandi dimensioni in cui viene allevato il 57% dei capi suini presenti nel bacino del Trasimeno.

L'indice di efficienza ambientale (EA) esprime sinteticamente, in relazione alle caratteristiche specifiche del modello di valutazione, l'efficienza ambientale conseguita dall'azienda nella gestione dei liquami suinicoli (Fig. 3). Dall'analisi dei risultati del modello si evidenzia che quattro allevamenti rientrano nella classe "Pessima" e due nella classe "Bassa" efficienza. All'interno di tali classi si rinviene rispettivamente il 13% e il 9% circa delle consistenze suinicole allevate nel bacino. Nella classe "buona" si osservano invece nove allevamenti in cui è allevato il 27% circa degli animali, mentre nella classe "Eccellente" si classificano 17 allevamenti con il 47% circa dei capi allevati. Per quanto esposto si

rileva che, nel bacino, oltre la metà della consistenza suinicola è allevata in diciassette aziende che, in relazione ai risultati del modello, riescono a ridurre gli impatti del processo di gestione degli effluenti ed ottenere un'eccellente efficienza ambientale. Se a queste aziende si aggiungono le nove che ottengono una buona efficienza ambientale si può affermare che ben ventisei delle trentasei aziende rilevate nel bacino, in cui si alleva quasi l'80 % dei capi, riescono a garantire una performance ambientale di buon livello. All'opposto però si osserva che più del 21% dei capi suini equivalenti viene allevato in sei aziende che gestiscono in modo poco efficiente il processo di gestione dei reflui. I risultati indicano come il buon livello di efficienza tecnica del processo di gestione dei reflui raggiunto da molte aziende del bacino permette di ridurre notevolmente gli impatti potenziali legati agli elevati carichi ad ettaro di azoto.

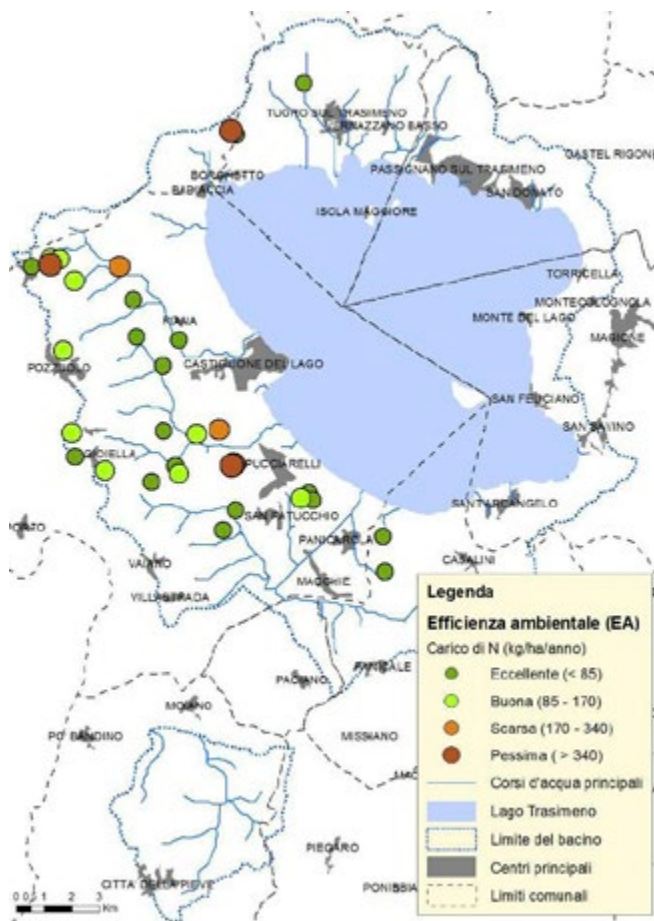


Fig. 3. Efficienza ambientale delle aziende suinicole del bacino del Trasimeno

4. Conclusioni

Il modello di valutazione sviluppato nel lavoro ha dimostrato un'ottima versatilità e facilità di applicazione alle varie realtà zootecniche censite. Grazie alla grande adattabilità delle tecniche multicriteri, il modello può rappresentare uno strumento molto utile a supporto dei processi decisionali orientati alla gestione sostenibile dei processi produttivi zootecnici. I differenti indici calcolati mediante il modello permettono di effettuare una quantificazione diversificata dei più importanti fattori di efficienza ambientale associati alla produzione suinicola. Sicuramente ulteriori applicazioni della metodologia proposta e una validazione aggiuntiva basata sul confronto fra i risultati del modello e altri indicatori già validati, permetteranno di migliorare il modello e renderlo più efficace nella valutazione dell'efficienza ambientale delle aziende suinicole. Il riscontro cartografico con le aree agricole utilizzate o potenzialmente utilizzabili per lo spargimento dei reflui permetterà, inoltre, di migliorare il calcolo dell'indice d'intensità agronomica.

Una gestione più oculata di tutto il processo di produzione dei reflui nel bacino del Trasimeno potrebbe portare a notevoli benefici sul piano delle caratteristiche qualitative e quantitative delle sostanze impiegate in campo e, ovviamente, una maggiore efficacia delle concimazioni. Una soluzione molto efficace dal punto di vista ambientale, adatta allo scenario ecologico del Trasimeno, è sicuramente la trasformazione dei reflui suinicoli in *compost*. Tale soluzione, tuttavia, richiede consistenti investimenti iniziali che difficilmente possono essere affrontati da una singola azienda zootecnica di medie dimensioni. Da questo punto di vista, accanto ad adeguate norme volte alla definizione di precisi divieti e obblighi in materia di tutela ambientale e paesaggistica, si rileva l'opportunità di includere all'interno dei programmi di sviluppo rurale misure appropriate per il finanziamento degli impianti di compostaggio che potrebbero essere realizzati anche in forma consorziata.

Ringraziamenti

Si ringraziano gli allevatori del bacino del Trasimeno per la disponibilità accordata e i medici veterinari della ASL di zona per il prezioso supporto fornito soprattutto nella fase preliminare del lavoro.

Bibliografia

- AA.VV., 1999. Sviluppo agricolo sostenibile del bacino del Lago Trasimeno. Dipartimento di Scienze Economiche ed Estimative, a cura di Boggia A. e Pennacchi F. – UNIPG, ARUSIA – Regione dell'Umbria.

- APAT, 2005. L'inquinamento da nitrato di origine agricola nelle acque interne in Italia. Rapporto 50/2005.
- ARPA Umbria, 2009. Piano di Tutela della Acque (<http://www.ambiente.regione.umbria.it/>).
- Bonazzi, G., Fabbri, C., Valli, L., 2003, Allevamenti a basso impatto ambientale, C.R.P.A., Ed. Informatore Agrario, Bologna.
- C.R.P.A. - R.E.R., 1993. Manuale per la gestione e l'utilizzazione agronomica dei reflui zootecnici. Centro Ricerche Produzioni Animali - Reggio Emilia.
- Commissione Europea, 2009. The role of European agriculture in climate change mitigation. SEC(2009) - 1093 final.
- EEA, European Environmental Agency 2007. State of the Environment Report.
- EEA, European Environmental Agency 2009. EEA Signals 2009.
- FAO, 2009. The state of food and agriculture. Livestock in the balance.
- Gerber, P.J., Carsjens, G.J., Pak-uthai, T., Robinson, T.P., 2008. Decision support for spatially targeted livestock policies: Diverse examples from Uganda and Thailand. *Agricultural Systems* 96, 37-51.
- Halberg, N., Werf, H.M.G. van der, Basset-Mens, C., Dalgaard, R., Boer, I.J.M. de, 2005. Environmental assessment tools for the evaluation and improvement of European livestock production systems. *Livestock Production Science* 96, 33-50.
- Hatfield, J.L., Brumm, M.C., Melvin, S.W., 1998. Swine Manure Management. In: Wright, R.J., Kemper, W.D., Millner, P.D. et al. (Eds.) *Agricultural Uses of Municipal, Animal and Industrial By Products*. USDA-ARS Conservation. Research Report Number 44, p.78-90.
- Huang, G.H., Sun, W., Nie, X.-hui, Qin, X.-sheng, Zhang, X.-dong, 2010. Development of a decision-support system for rural eco-environmental management in Yongxin County, Jiangxi Province, China. *Environmental Modelling & Software* 25, 24-42.
- Lansink, A.O., Reinhard, S., 2003, Investigating technical efficiency and potential technological change in Dutch pig farming, *Agricultural Systems*, Elsevier, vol 79, pagg. 353-367
- Lansink, A.O., Reinhard, S., 2004. Investigating technical efficiency and potential technological change in Dutch pig farming. *Agricultural Systems* 79, 353-367.
- Manos, B., Papathanasiou, J., Bournaris, T., Voudouris, K., 2010. A multicriteria model for planning agricultural regions within a context of groundwater rational management. *Journal of environmental management* 91, 1593-600.
- Marie, M., Srour, G., Ziki, B., Saab, S.A., Yakhlef, H., Ghozlane, F., 2009. Multi-criteria evaluation of small ruminant farming systems sustainability in Lebanon and Algeria. *Options Méditerranéennes* 13-20.
- Morari, F., 2004. An integrated non-point source model-GIS system for selecting criteria of best management practices in the Po Valley, North Italy. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 102, 247-262.

- Munier, N., 2004. *Multicriteria Environmental Assessment: A Practical Guide*, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, The Netherlands.
- Piccinini, S., Bonazzi, G., 2005. Nuove strade per smaltire gli effluenti zootecnici, *L'Informatore Agrario*, v. 61(7), 55-60.
- Refsgaard, K., 2006. Process-guided multicriteria analysis in wastewater planning. *Environment and Planning C: Government and Policy* 24, 191-213.
- Regione Umbria, 2005. *Linee guida per l'applicazione del sistema di gestione ambientale ISO 14001 negli allevamenti suinicoli*. ARUSIA, ARPA Umbria, Regione Umbria.
- Regione Umbria, 2008. *Annuario dei dati ambientali dell'Umbria*.
- Roy, B., 1996. *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*. Kluwer, Dordrecht, The Netherlands.
- Saaty, T. L., 1980. *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw Hill, New York.
- Saaty, T.L., 1990. *Multicriteria Decision Making: The Analytic Hierarchy Process*, RWS Publications, Pittsburgh, PA.
- Saaty, T.L., 1994. *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process*, RWS Publications, Pittsburgh, PA.
- Sangiorgi, F., Balsari, P., Bonfanti, P., 1986. *Reflui zootecnici. Possibili trattamenti in vista dell'impiego agronomico*. Edagricole, Bologna.
- Teira-Esmatges, M.R., Floatats, X., 2003. A method for livestock waste management planning in NE Spain, *Waste Management*, Pergamon, vol. 23, pag 917-932.
- Vizzari, M., Mennella, V., Maraziti, F., 2008. *Rischio ambientale nel bacino del lago Trasimeno. Vulnerabilità del territorio e impatti legati alla gestione dei liquami suinicoli*. Facoltà di Agraria, Università degli Studi di Perugia, Perugia.
- Voogd, H., 1983. *Multicriteria evaluation for urban and regional planning*. Pion, London.
- Wang, F., Jia, X.-P., 2010. An Integrated Multi-Criteria Decision Analysis for the Sustainability of Industrial Eco-Systems, in: *Bioinformatics and Biomedical Engineering (iCBBE)*, 2010 4th International Conference on. pp. 1-4.
- Yang, C.C., 2009. Productive efficiency, environmental efficiency and their determinants in farrow-to-finish pig farming in Taiwan. *Livestock Science* 126, 195-205.

LA VAS DEI PTCP: UN'ANALISI DELLO STATO DELL'ARTE

A. De Montis, A. Ledda, M. Barra, S. De Montis

Dipartimento di Agraria, Sezione di Ingegneria del Territorio, Università di Sassari

Riassunto. L'esigenza di considerare gli aspetti ambientali accanto a quelli di carattere economico e sociale nella formazione degli strumenti di pianificazione e di programmazione ha portato all'emanazione della direttiva 2001/42/CE sulla Valutazione ambientale strategica (VAS). Gli Stati membri dell'Unione Europea hanno recepito la direttiva in momenti e modi differenti, spesso con notevole ritardo: in Italia il recepimento è avvenuto con l'emanazione del DLgs 152/2006 e successive modifiche e integrazioni.

In questo paper, si sviluppa un'analisi empirica per chiarire sino a che punto la VAS sia stata applicata nella redazione dei Piani territoriali di coordinamento provinciale (PTCP) nel contesto italiano.

Parole chiave: VAS, Valutazione ambientale strategica, PTCP, pianificazione territoriale di coordinamento provinciale

Summary. The publication of the European Directive 2001/42/CE on Strategic Environmental Assessment (SEA) is the effect of a long standing reflection about the need to integrate environmental concerns into the construction of spatial planning and programming tools. Member states have acknowledged the Directive in different patterns and time schedules, often with quite a big delay. In Italy, this process has started in 2006 with the publication of the Legislative Decree n. 152. In this paper, we aim at assessing the level of SEA implementation to the design of Italian Provincial Strategic Spatial Plans (in Italian, Piani territoriali di coordinamento provinciale - PTCP).

Keywords: SEA, Strategic Environmental Assessment, PTCP, provincial strategic spatial planning

1. Introduzione

Le province italiane si sono ritrovate a elaborare i propri strumenti di governo del territorio, per quanto attiene all'applicazione della VAS, in una sorta di "vuoto normativo" colmato solo in parte dall'emanazione di leggi di livello regionale. È dunque di grande interesse comprendere il livello di integrazione della VAS nel procedimento di ordinaria approvazione dei piani.

Il lavoro si sviluppa in più fasi: nella prima, si analizza la letteratura scientifica e la normativa in materia di VAS; nella seconda fase, si raccolgono i dati tramite interviste di funzionari della pubblica amministrazione provinciale competenti sull'applicazione della VAS ai PTCP o Piani

Urbanistici Provinciali (PUP). Nella terza fase, si analizzano le risposte ottenute e si costruiscono possibili scenari.

2. Prima fase: analisi della letteratura

Diversi autori indagano sul grado di maturità raggiunto nell'applicazione della VAS e su alcuni aspetti a essa direttamente connessi: Fischer e Gazzola (2006) hanno analizzato i criteri di efficacia della VAS in Italia; Chaker (2006) ha confrontato i sistemi di Valutazione ambientale strategica di 12 Paesi analizzandone gli aspetti legislativi, istituzionali e procedurali per svelare le potenziali insidie dell'applicazione della valutazione, gli ostacoli e le lezioni apprese; Hilding-Rydevik e Bjarnadóttir (2007) hanno analizzato la relazione tra contesto e VAS da diversi punti di vista, rilevando che esiste una relazione tra consapevolezza del contesto, sensibilità del contesto e successo di attuazione della VAS nei Paesi nordici; Retief (2007) ha svolto una ricerca volta a valutare la qualità delle procedure di VAS nel contesto sudafricano; Jiricka e Pröbstl (2008) hanno condotto uno studio sull'applicazione della VAS nelle regioni alpine, in considerazione dell'elevata sensibilità degli ecosistemi di queste aree geografiche; Noble (2009) ha realizzato uno studio sull'applicazione della VAS in Canada per capire fino a che punto è stata applicata la procedura; Van Buuren e Nooteboom (2010) hanno svolto una ricerca nei Paesi Bassi per esaminare i processi attraverso i quali si realizza il consenso; Fischer (2010) si è occupato di stabilire il livello di applicazione della VAS nella pianificazione territoriale inglese e di giudicare la qualità dei rapporti ambientali; Weiland (2010) ha indagato su come e dove la VAS è stata applicata in Germania, a circa otto anni dalla pubblicazione della direttiva sulla VAS, con lo scopo di individuare le questioni ancora aperte; Gauthier, Simard e Waau (2011) hanno analizzato i collegamenti tra i processi di piano e i problemi relativi alla partecipazione pubblica.

Nei casi citati il metodo di indagine si è basato su analisi di documentazione, dati di letteratura e interviste, e i risultati sono stati ottenuti confrontando diverse esperienze di VAS.

3. Seconda fase: raccolta dei dati

In seguito all'esame dei dati di letteratura riferiti alle esperienze di VAS sviluppate a livello internazionale, europeo e nazionale, sono stati predisposti gli strumenti di indagine utili per acquisire e strutturare i dati in informazioni utili. Si sono dunque preparati un sondaggio da pubblicare on-line e un questionario da distribuire via e-mail. I destinatari sono stati i responsabili dei settori Ufficio di Piano, Urbanistica

e Pianificazione Territoriale di tutte le province italiane competenti in materia di pianificazione e di VAS.

Tab. 1. Province partecipanti alla sperimentazione per regione.

Regione	Risposte ricevute	Numero Province	Tasso di risposta (%)
Valle d'Aosta	1	–	–
Molise	2	2	100,0
Trentino-Alto Adige	2	2	100,0
Sardegna	7	8	87,5
Friuli-Venezia Giulia	3	4	75,0
Lombardia	7	12	58,3
Emilia-Romagna	5	9	55,6
Sicilia	5	9	55,6
Abruzzo	2	4	50,0
Basilicata	1	2	50,0
Liguria	2	4	50,0
Piemonte	4	8	50,0
Umbria	1	2	50,0
Campania	2	5	40,0
Lazio	2	5	40,0
Toscana	4	10	40,0
Puglia	2	6	33,3
Veneto	2	7	28,6
Calabria	1	5	20,0
Marche	1	5	20,0

Nel sondaggio sono state incluse le domande di base ritenute necessarie per inquadrare quantomeno la distribuzione spaziale dei casi di applicazione della VAS sul territorio nazionale. In particolare, è stato chiesto:

1. di specificare la legge urbanistica regionale di riferimento;
2. se il PTCP era già stato adottato oppure no;
3. se la VAS era stata applicata o di chiarire la situazione in caso contrario;
4. di indicare la legge regionale in materia di VAS, l'autorità competente e quella precedente;
5. di esprimere un giudizio sul grado d'integrazione della VAS nel PTCP;
6. se era stata svolta anche una Valutazione di incidenza ambientale (VInCA).

Con il questionario, invece, sono state predisposte una serie di domande che implicavano risposte più dettagliate, quindi un (presunto) maggior tempo di compilazione da parte del soggetto intervistato; in particolare, è stato chiesto di:

1. indicare la procedura di approvazione del piano provinciale e della sua VAS;
2. informare sul livello di partecipazione rilevato durante l'iter di formazione del piano;
3. precisare come si è tenuto conto del rapporto ambientale e degli esiti delle consultazioni;
4. spiegare quali sono state le ragioni che hanno portato alla scelta del piano adottato;
5. chiarire con quali mezzi si è informato il pubblico sulla decisione;
6. specificare le misure studiate per attuare la fase di monitoraggio;
7. esprimere delle considerazioni sull'Osservatorio delle trasformazioni territoriali e sugli aspetti della sua integrazione col monitoraggio della VAS.

La registrazione dei dati è iniziata nel mese di maggio del 2010 ed è terminata nel mese di marzo del 2011.

4. Terza fase: analisi dei risultati

Hanno partecipato alla sperimentazione 56 dirigenti, o referenti, in rappresentanza di 55 Province e della Regione Autonoma della Valle d'Aosta, la quale non ha una Provincia (vedi *Tab. 1*). Sono quindi state selezionate alcune provincie che soddisfacessero tre requisiti:

1. aver compilato almeno il questionario;
2. aver applicato una forma di valutazione ai propri piani (VAS, ValSAT, VI o VASi);
3. aver già approvato o adottato il piano.

Hanno rispettato le tre condizioni le Province di: (1) Belluno, (2) Cagliari, (3) Cremona, (4) Grosseto, (5) Livorno, (6) Lodi, (7) Medio Campidano, (8) Modena, (9) Piacenza, (10) Prato, (11) Rimini, (12) Rovigo, (13) Torino e (14) Trento. Pur avendo rispettato i criteri di scelta, non sono state incluse nel campione le Province di Como e Milano, perché la prima ha applicato al proprio PTCP una VAS in forma semplificata, la seconda ha invece applicato una VAS in forma sperimentale (vedi *Tab. 2*). Le Province considerate si concentrano nelle Regioni del Nord Italia, se si escludono i casi delle due Province sarde censite; nelle Province del Centro e del Sud Italia si è registrato il maggior numero di casi di piani non adottati o in una fase preliminare del processo; le

Province del Friuli-Venezia Giulia non hanno competenze di carattere urbanistico, per legge rimaste di appannaggio della regione. Tra le province escluse dalla selezione, alcune stanno adeguando i propri piani alla VAS (vedi *Tab. 3.*).

Nella sezione successiva si presenta un'analisi dei principali risultati relativi alle quattordici provincie campione.

4.1 VAS dei piani adottati e approvati

Nelle Province emiliane, lombarde e toscane sono stati censiti oltre la metà dei casi di VAS, VI (o VASi) e ValSAT applicata ai PTCP; le corrispondenti Regioni sono state tra le prime in Italia a recepire (e, a volte, ad anticipare) i contenuti dell'atto europeo, mostrando particolare attenzione agli aspetti ambientali nella pianificazione territoriale. La Regione Autonoma della Sardegna (RAS) è rappresentata da due soli casi di VAS conclusa sul PUP: pur non avendo una legge regionale che disciplini la procedura, quest'ultima è regolata dalla deliberazione della Giunta Regionale 24/23 del 23 aprile 2008.

Tab. 2. PTCP approvati e adottati ai quali è stata applicata la procedura di VAS (•), di VI o VASi (°), e di ValSAT (◊). Le Province di Como e Milano hanno applicato, rispettivamente, una procedura di VAS semplificata (se) e una procedura di VAS sperimentale (sp).

Provincia	PTCP approvato	PTCP adottato
Belluno	•	
Cagliari		•
Como	se	
Cremona	•	
Grosseto	°	
Livorno	°	
Lodi		•
Medio Campidano		•
Milano	sp	
Modena	◊	
Piacenza	◊	
Prato	°	
Rimini	◊	
Rovigo		•
Torino		•
Trento	•	

Si sottolinea l'importanza del contesto per il successo della VAS che, secondo Hilding-Rydevik e Bjarnadóttir (2007), è strettamente connesso al sistema normativo in materia ambientale e alla sensibilità alle questioni ambientali.

Tab. 3. PTCP approvati e adottati senza una procedura di VAS; nella quarta colonna sono segnalati i piani in fase di adeguamento alla VAS.

Provincia	PTCP approvato	PTCP adottato	In adeguamento
Bergamo	•		•
Oristano		•	•
Pesaro e Urbino	•		•
Sassari	•		•
Teramo	•		•
Terni	•		•
Vibo Valentia	•		•

4.2 Integrazione della VAS nel PTCP

Gli intervistati hanno espresso dei giudizi qualitativi sull'integrazione della procedura di VAS nella formazione dei PTCP. Il livello di integrazione è stato definito "medio" da 4 Province e "alto" da 7 Province; 3 Province non hanno fornito risposte utili (vedi Tab. 4.).

4.3 Nalutazione di incidenza ambientale

La VincA è stata applicata da dodici Province (vedi Tab. 4.). La procedura, come previsto dalla direttiva 92/43/CEE recepita in Italia con DPR 357/1997, ha lo scopo di salvaguardare l'integrità dei siti attraverso l'esame degli effetti di piani e progetti che possono condizionarne l'equilibrio ambientale. Quando i piani rientrano nell'ambito di applicazione della VAS e riguardano ambiti appartenenti in tutto o in parte a siti di interesse comunitario (SIC) o a zone di protezione speciale (ZPS), il rapporto ambientale deve essere integrato con una appendice relativa al rapporto sulla VincA.

4.4 autorità competente e autorità procedente

L'autorità competente è in prevalenza rappresentata dalla Regione, mentre l'autorità procedente è la Provincia. Nella Provincia Autonoma di Trento si è rilevato l'unico caso di autovalutazione del PUP.

Ci sono dei casi in cui entrambe le autorità fanno capo alla Provincia: nelle Province sarde e in quelle di Cremona, Livorno e Lodi alla Provincia spetta sia il compito di elaborare il piano, sia quello di valutarlo. Rispetto all'individuazione dell'autorità competente all'interno dell'amministrazione responsabile della redazione del piano, il Consiglio di Stato, con la sentenza n. 133/2011, ha chiarito ribadendo la liceità della scelta.

4.5 Leggi urbanistiche regionali e sulla VAS

Quasi tutti i Piani sono stati adottati nel rispetto di quanto prescritto da norme regionali. Il PUP di Trento è stato invece adottato e approvato conformemente alla procedura prevista da apposita legge provinciale.

Anche la procedura di VAS è generalmente stabilita a livello regionale nelle Regioni Emilia-Romagna, Lombardia, Toscana e Veneto; per il Piemonte la legge regionale in materia è integrata da una deliberazione della Giunta Regionale, mentre nella Provincia di Trento la procedura è normata da una legge provinciale e da un decreto del Presidente della Provincia.

Nella RAS la VAS è disciplinata dalla dGR 24/23 del 23 aprile 2008.

Tab. 4. Nella seconda colonna, il grado di integrazione di VAS, ValSATeVI nei PTCP. Nella terza colonna, chi ha svolto una Valutazione di incidenza ambientale (•).

Provincia	Grado di integrazione	VInCA
Belluno	Medio	•
Cagliari	Medio	•
Cremona	Alto	•
Grosseto	–	–
Livorno	–	•
Lodi	Alto	•
Medio Campidano	Alto	•
Modena	–	–
Piacenza	Alto	•
Prato	Alto	•
Rimini	Medio	•
Rovigo	Alto	•
Torino	Medio	•
Trento	Alto	•

4.6 Partecipazione

Il poco coinvolgimento del pubblico è uno dei punti deboli che ha caratterizzato la procedura di VAS in Italia. Sulla base dei dati raccolti in questo studio, l'aspetto partecipativo può essere analizzato da un punto di vista sia qualitativo sia quantitativo. L'aspetto qualitativo riguarda i soggetti che sono stati coinvolti nel processo. L'aspetto quantitativo attiene alla dimensione numerica degli attori e delle occasioni di incontro. Altra caratteristica utile per definire la bontà del processo partecipativo è il momento in cui il pubblico viene coinvolto lungo l'iter di formazione, adozione e approvazione del piano. Dall'analisi delle risposte risulta come la partecipazione sia stata spesso ampia e qualificata e come il pubblico sia stato coinvolto durante la formazione del piano.

Le Province campione hanno prestato attenzione al coinvolgimento del pubblico, con lo scopo di rendere il piano frutto di interessi condivisi e di legittimare la scelta sulla base dell'approvazione sociale, secondo le migliori pratiche (Gauthier, Simard e Waau, 2011).

4.7 Valutazione del rapporto ambientale e degli esiti delle consultazioni

Le Province hanno tenuto conto degli esiti delle consultazioni modificando e integrando il rapporto ambientale sulla base di osservazioni pertinenti, inserendo le proposte e i risultati della partecipazione nella disciplina del piano, al fine di ricalibrare gli obiettivi di partenza e di ri-orientare e perfezionare i contenuti dei piani.

La fase di valutazione del rapporto ambientale e degli esiti delle consultazioni è fondamentale perché è in questo momento che si determina il contenuto del parere motivato.

4.8 Ragioni della scelta del piano

Il PTCP è un piano di indirizzo i cui contenuti sono di natura previsionale: si pone obiettivi di tutela delle risorse e di sostenibilità ambientale, socio-economica e territoriale rispetto alle previsioni di sviluppo urbanistico comunale. La scelta del PTCP si basa sullo stato di fatto, sulle vocazioni del territorio e sulla condivisione dei principi ispiratori del piano: le strategie studiate per l'attuazione di detti principi sono il risultato di quanto stabilito in seguito a confronti, suggerimenti e commenti maturati nei "Tavoli di discussione" e di quanto emerso dalla fase dedicata alle osservazioni. In generale, le Province non hanno studiato alcuna alternativa al piano adottato o approvato, poiché quest'ultimo è, o deve essere, quello che garantisce la maggiore sostenibilità ambientale; ciò contrasta con uno dei criteri di efficacia della VAS in Italia, secondo il quale occorre prendere formalmente in considerazione varie alterna-

tive, tra cui quella del “non-fare” (Fischer e Gazzola, 2006). In realtà, in una VAS del PTCP l'alternativa “zero” non può essere contemplata.

4.9 Pubblicità

Diverse sono le tipologie dei mezzi adoperati per informare il pubblico sulle decisioni assunte inerenti al piano: pubblicazioni sui BUR, comunicazioni sui quotidiani e divulgazione sul Web, per quanto riguarda i sistemi di comunicazione più usati. Altre volte l'informazione è stata diffusa tramite: conferenze, incontri, pubblicazioni di vario genere, manifestazioni pubbliche, divulgazione sui mezzi di trasporto, totem informativi, sistemi WebGIS con cartografia navigabile, newsletter, cd-rom e comunicazioni ufficiali alla televisione.

4.10 Monitoraggio

Quasi tutte le Province hanno definito l'attività di monitoraggio e previsto degli aggiornamenti periodici sul raggiungimento degli obiettivi, con cadenza che varia da un minimo di 2 anni a un massimo di 5 anni.

4.11 Osservatorio delle trasformazioni territoriali

Poche Province hanno attivato l'Osservatorio, ma gli intervistati sono tendenzialmente concordi nel riconoscerne l'utilità anche ai fini del monitoraggio della VAS, ma per essere veramente efficace è stata evidenziata la condizione che va costruito, istituzionalizzato e codificato, altrimenti resta un obiettivo carico di buoni propositi.

5. Conclusioni

A circa dieci anni dalla pubblicazione della direttiva 2001/42/CE la VAS non è ancora permeata in modo convincente nella pianificazione territoriale di livello provinciale italiana. I risultati del caso di studio dimostrano che ancora diverse Province devono attrezzarsi per realizzare le azioni utili ad integrare i principi di tutela ambientale e di sviluppo sostenibile che sono ormai diventati i cardini della politica ambientale europea.

I casi di valutazione ambientale censiti si concentrano principalmente nell'Italia settentrionale, mentre le Province meridionali sono ancora indietro nell'applicare la procedura e quelle rilevate con questo lavoro sono per lo più in una fase preliminare del processo di piano. Le Province le cui Regioni si sono dotate per tempo di leggi regionali che hanno recepito – e a volte anticipato – gli indirizzi dell'atto europeo sono quelle

più presenti in questa ricerca con casi di VAS applicata: questo sembra confermare quanto riporta la letteratura in materia di VAS, secondo la quale il successo dell'applicazione della valutazione dipende dal contesto in cui ci si trova a operare. L'analisi dei 14 casi ha mostrato che l'aspetto della partecipazione pubblica è stato preso in considerazione dal punto di vista sia delle occasioni di incontro, sia della pubblicità: la partecipazione, sotto forma di consultazioni e successive osservazioni, è stata utile per perfezionare alcuni aspetti dei PTCP per i quali, contrariamente ad altri tipi di piani, non sono state generate né alternative ragionevoli né è stata presa in considerazione l'alternativa "zero", in virtù del fatto che i PTCP hanno carattere di indirizzo e la scelta deve rispondere a obiettivi di tutela delle risorse e di sostenibilità ambientale, sociale, economica e territoriale. Resta da valutare se e quanto le considerazioni e le osservazioni del pubblico e del pubblico interessato abbiano effettivamente trovato posto nel piano e se i tempi dedicati alle fasi della partecipazione siano stati sufficienti a garantire l'acquisizione di un'adeguata conoscenza dei contenuti del piano da parte dei partecipanti.

La fase di monitoraggio riveste rilevante importanza ai fini della comprensione dell'evoluzione del territorio, in seguito all'attuazione del piano. Quasi tutte le Province campione hanno definito un piano di controllo in cui è prevista la redazione periodica di un rapporto che faccia il punto della situazione rispetto alle previsioni del piano e sulla base del quale intervenire con eventuali azioni correttive e aggiornamenti.

Poche Province hanno espresso un parere sull'Osservatorio delle trasformazioni territoriali integrato con la fase di monitoraggio della VAS: nel complesso, l'Osservatorio è stato definito utile ai fini del monitoraggio previsto ai sensi della VAS; le principali critiche riguardano il fatto che deve essere realizzato, istituzionalizzato e normato per essere effettivamente utile. L'aspetto dell'Osservatorio delle trasformazioni territoriali integrato con il monitoraggio VAS merita ulteriori approfondimenti e nuove ricerche in futuro, quando ci saranno più Osservatori attivati, e quando la pratica della VAS avrà raggiunto un buon livello di applicazione in Italia.

Ringraziamenti

Gli autori svolgono le attività di ricerca nell'ambito del progetto "Efficacia ed efficienza della governance paesaggistica e territoriale in Sardegna: il ruolo della VAS e delle IDT", responsabile scientifico prof. Andrea De Montis, finanziato dalla Regione Autonoma della Sardegna, secondo la LR 7/2007, Annualità 2010.

Bibliografia

- Chaker, A. et al., 2006. A review of strategic environmental assessment in 12 selected countries, *Environmental Impact Assessment Review*, 26, 1, pp. 15–56, issn: 0195-9255, doi: 10.1016/j.eiar.2004.09.010.
- Fischer, T.B., 2010. Reviewing the quality of strategic environmental assessment reports for English spatial plan core strategies, *Environmental Impact Assessment Review*, 30, 1, pp. 62–69, issn: 0195-9255, doi: 10.1016/j.eiar.2009.04.002.
- Fischer, T.B., Gazzola P., 2006. SEA effectiveness criteria – equally valid in all countries? The case of Italy, *Environmental Impact Assessment Review*, 26, 4, pp. 396–409, issn: 0195-9255, doi: 10.1016/j.eiar.2005.11.006.
- Gauthier, M., Simard L., Waau J.P., 2011. Public participation in strategic environmental assessment (SEA): Critical review and the Quebec (Canada) approach, *Environmental Impact Assessment Review*, 31, 1, pp. 48–60, issn: 0195-9255, doi: 10.1016/j.eiar.2010.01.006.
- Hilding-Rydevik, T., Bjarnadóttir H., 2007. Context awareness and sensitivity in SEA implementation, *Environmental Impact Assessment Review*, 27, 7, pp. 666–684, issn: 0195-9255, doi: 10.1016/j.eiar.2007.05.009.
- Jiricka, A., Pröbstl U., 2008. SEA in local land use planning – first experience in the Alpine States, *Environmental Impact Assessment Review*, 28, 4-5, pp. 328–337, issn: 0195-9255, doi: 10.1016/j.eiar.2007.05.002.
- Noble, B.F., 2009. Promise and dismay: The state of strategic environmental assessment systems and practices in Canada, *Environmental Impact Assessment Review*, 29, 1, pp. 66–75, issn: 0195-9255, doi: 10.1016/j.eiar.2008.05.004.
- Retief, F., 2007. A performance evaluation of strategic environmental assessment (SEA) processes within the South African context, *Environmental Impact Assessment Review*, 27, 1, pp. 84–100, issn: 0195-9255, doi: 10.1016/j.eiar.2006.08.002.
- Van Buuren, A., Nootboom S., 2010. The success of SEA in the Dutch planning practice. How formal assessments can contribute to collaborative governance, *Environmental Impact Assessment Review*, 30, 2, pp. 127–135, issn: 0195-9255, doi: 10.1016/j.eiar.2009.05.007.
- Weiland, U., 2010. Strategic Environmental Assessment in Germany – Practice and open questions, *Environmental Impact Assessment Review*, 30, 3, pp. 211–217, issn: 0195-9255, doi: 10.1016/j.eiar.2009.08.010.

STUDI E STRUMENTI PER LA PIANIFICAZIONE ATTUATIVA DEL RECUPERO DELL'EDILIZIA RURALE ALPINA*

B. Drusi¹, G. Airoidi¹, R. Chiabrando²

¹Università degli Studi di Torino, Dipartimento di Economia e Ingegneria Agraria, Forestale ed Ambientale

²Università degli Studi e Politecnico di Torino, Dipartimento Interateneo di Scienze, Progetto e Politiche del Territorio

Riassunto. In attuazione dei Piani di Sviluppo Locale, le amministrazioni comunali devono adottare manuali tecnico-operativi per la valorizzazione del paesaggio rurale ad integrazione della normativa urbanistico locale e del regolamento edilizio. Il presente progetto di ricerca si prefigge innanzitutto obiettivi di carattere metodologico, sperimentando una modalità interpretativa delle trasformazioni del paesaggio agro-forestale che si avvale di un accurato rilievo dell'esistente, dell'elaborazione di mappe tematiche sullo stato conservativo su base catastale ed utilizza la tecnologia GIS.

La ricerca si è concentrata in due fasi interrelate: la prima analitica – finalizzata all'acquisizione delle conoscenze indispensabili ad orientare la seconda fase operativa – di elaborazione di linee guida per gli interventi di recupero del patrimonio edilizio rurale esistente e di redazione di un manuale tecnico-operativo. A partire da un'attenta disamina dei modelli insediativi e delle tipologie edilizie che connotano il paesaggio culturale delle Terre del Sesia, le raccomandazioni di “buona prassi” sono state utilizzate per definire direttive tecniche da adottarsi da parte delle commissioni edilizie comunali ad integrazione degli strumenti della pianificazione operativa e per indirizzare bandi pubblici per la richiesta di finanziamenti per gli interventi di recupero di iniziativa pubblico-privata.

Parole chiave: pianificazione paesistica, paesaggio rurale, SIT

Summary. In the aim of implementing the Local Development Programs, municipalities ought to adopt both technical and operating guidelines as an integration to their building regulations.

This research project aims at a methodological goal and experiences an interpretative approach to the changes of both agricultural and forestry landscape, availing itself of an accurate survey of the existing, the processing of thematic maps, developed on a cadastral support, concerning conservative condition and using GIS techniques. The research focuses in two interlaced phases: the first step concerns the analysis aiming at the acquisition of the knowledge being essential to orientate the second phase, devoted to both the processing of specific guidelines for the recovery interventions of vernacular heritage and the drafting of a technical-operating manual. Starting from a careful analysis of both the settlement models and the building types characterizing the cultural landscape of the Terre del Sesia, “good

* Il presente contributo sintetizza il percorso metodologico ed i primi esiti di un lavoro di ricerca tuttora in corso, commissionato dalla Regione Piemonte e concretizzatosi nella pubblicazione on-line di un Manuale per la valorizzazione del paesaggio culturale delle Terre del Sesia e dei relativi Allegati, autori B. Drusi, G. Airoidi, E. Fabrizio.

practice” recommendations have been used to define technical directives, which are going to be adopted by municipal building commissions as an integration to their operating town-planning tools and in the aim of addressing public notices towards the requirement of funding for both public and private interventions.

Key words: landscape town-planning, vernacular landscape, GIS

1. *Introduzione*

Lo stimolo all’elaborazione di una metodologia finalizzata alla “tipizzazione” delle componenti naturale ed antropica del paesaggio agro-forestale discende dalla richiesta del Gruppo di Azione Locale Terre del Sesia di inaugurare un progetto-pilota finalizzato all’elaborazione di due manuali tecnico-operativi a supporto della pianificazione locale e tali da costituire il canovaccio per la successiva formulazione di bandi di finanziamento ai Comuni a sostegno di interventi di recupero a carattere pubblico.

In considerazione dei tempi stretti imposti al GAL dalla programmazione regionale e cadenzati dalla regolamentazione dell’erogazione dei finanziamenti europei, la ricerca si è concentrata in due fasi metodologiche interrelate, l’una analitica finalizzata all’acquisizione delle conoscenze indispensabili ad orientare la seconda fase operativa di elaborazione di linee guida per gli interventi di recupero del patrimonio edilizio rurale esistente e di redazione di un manuale di “buone prassi”, ad uso dei cittadini, degli amministratori e dei tecnici locali.

A partire da un’attenta disamina dei modelli insediativi e delle tipologie edilizie che connotano il paesaggio culturale delle Terre del Sesia, il manuale propone indicazioni di carattere prevalentemente metodologico per favorire la sensibilizzazione dei proprietari rispetto ai caratteri tipizzanti e alle valenze storico-ambientali dell’architettura per una condivisione con gli amministratori locali degli indirizzi da seguire per gli interventi di recupero.

2. *Approccio metodologico*

Il presente lavoro riporta gli esiti di uno studio commissionato dal GAL Terre del Sesia in attuazione del Piano di Sviluppo Locale nell’ambito della misura 313, azione 3, operazione a) del PSR 2007-2013 ed articolato in due fasi metodologiche strettamente interrelate, l’una analitica finalizzata all’acquisizione delle conoscenze indispensabili ad orientare la seconda fase operativa di elaborazione di linee guida per gli interventi di recupero del patrimonio edilizio rurale esistente e di redazione di un manuale di “buone prassi” ad uso dei cittadini, degli amministratori e dei tecnici locali.

Utilizzando per il rilievo qualitativo una fotocamera digitale e per quello topografico – limitatamente ai principali tipi edilizi – gli strumenti e le metodologie della topografia classica si è operata un'analisi puntuale, edificio per edificio, di alcune frazioni selezionate a campione nell'ambito di ciascun comune investigato, con particolare attenzione a documentare i dettagli decorativi, la tessitura delle murature, ove ben conservata, i fenomeni di degrado superficiale o di dissesto statico, gli interventi di recupero rispettivamente congruenti con l'impianto originario ovvero realizzati con soluzioni compositive e materiali non consoni.

Il rilievo preliminarmente condotto in situ attraverso un'accurata indagine diretta ha consentito di riconoscere:

- i caratteri tipizzanti dell'architettura tradizionale ed i caratteri geomorfologici del paesaggio agro-silvo-pastorale;
- i fabbricati o i dettagli decorativi di maggiore pregio, da assoggettare ad una conservazione puntuale e ad interventi di recupero mirati;
- le alterazioni più ricorrenti, sia a livello superficiale, che capillare, che a livello strutturale, e le relative cause ipotizzabili.

Le informazioni risultanti dall'indagine diretta sono state poi inserite nelle schede di catalogazione, documentando anche le cellule edilizie allo stato di rudere, i cui caratteri tipologici non sono più riconoscibili e per le quali è già in atto od è senz'altro auspicabile un reimpiego. Altre informazioni derivanti dal rilievo hanno consentito l'elaborazione di un "abaco" delle tecniche costruttive e dei materiali tradizionali e di un catalogo degli interventi di recupero non congruenti.

Il censimento sistematico dei fabbricati che costituiscono ciascuna frazione ha richiesto, altresì, la progettazione di una scheda sintetica di rilevamento, corredata da rilievi fotografici atti a definire lo stato conservativo ed i principali tipi edilizi. Componente inedita rispetto alla catalogazione "Guarini", la schedatura proposta si estende all'intero abitato e al contesto delle pertinenze rurali e suggerisce un ordine di priorità di intervento sul costruito, sia nell'ipotesi di un piano particolareggiato per il recupero dell'abitato nel suo complesso, sia come riferimento per un progetto singolo, a seconda delle intenzioni dell'amministrazione locale e dei proprietari.

Opportunamente informatizzata, una scheda sintetica così strutturata costituisce sotto diversi profili un utile supporto alle scelte di pianificazione: se da un lato, infatti, potrà contribuire nell'ambito delle comunità locali ad una coscienza più diffusa delle valenze architettoniche, documentarie ed ambientali dei fabbricati di proprietà, dall'altro si rivelerà uno strumento operativo efficace per orientare il progetto di piano e per il monitoraggio degli interventi di recupero edilizio.

La stesura di una griglia di indicazioni di comportamento per gli interventi di recupero e gestione del paesaggio e la divulgazione degli esiti raggiunti attraverso la redazione della manualistica tecnico-operativa

abitato	frazione	edifico/categoriazione	trattato	tecnica	elementi pregevoli	specificazioni	stato conservativo	topografica
RIMELLA	S. GOTTARDO	1) PULONE VOTIVO	scudo	intonaco liscio	BCA	annesso b.t. a S.ù	BUONO	2,49
RIMELLA	S. GOTTARDO	2) RE SUD-NZA + B.F	scudo	intonaco grezzo + facciata		paretina, annesso fieno araggnali	DISCRETO	6,42
RIMELLA	S. GOTTARDO	3) RE SUD-NZA	scudo	intonaco grezzo		lampione a S.ù balconi in lamiera	BUONO	7,19, 11,40, 41
RIMELLA	S. GOTTARDO	4) RE SUD-NZA	scudo	intonaco dem. trinitizzato		b.t. in pessimo stato cons. e S.ù	MEDIOCRE	8,49
RIMELLA	S. GOTTARDO	5) RE SUD-NZA + B.F a valle	scudo	intonaco affrescato con		balconi in cda armato sulla via	BUONO	9,12
RIMELLA	S. GOTTARDO	6) RE SUD-NZA	scudo	intonaco grezzo a raso		interrati provvisori non congruenti	PRESSIMO	14,15,38
RIMELLA	S. GOTTARDO	7) RUSTICO	scudo	intonaco grezzo a raso		b.t. retro ante S.ù, latini-semita	BUONO	11,31, 33
RIMELLA	S. GOTTARDO	8) RE SUD-NZA	scudo	intonaco dem. trinitizzato		parabola in facciata	DISCRETO	10,20, 33
RIMELLA	S. GOTTARDO	10) RE SUD-NZA o RUSTICO	scudo	intonaco grezzo a raso		parete in blocchi da non rivestiti (retro)	BUONO	20,21, 22,23, 24, 39
RIMELLA	S. GOTTARDO	11) RE SUD-NZA	scudo	intonaco anticato		2 parabole lampione in metallo	DISCRETO	20,21, 22,23, 24, 39
RIMELLA	S. GOTTARDO	13) RE SUD-NZA	scudo	intonaco cementato		(vedi lesioni strutturali)	PRESSIMO	25,29,30
RIMELLA	S. GOTTARDO	14) RUSTICO	scudo	intonaco grezzo a raso		lampione in vetro satinato sottoblo	MEDIOCRE	3,4
RIMELLA	S. GOTTARDO	15) RE SUD-NZA	scudo	intonaco grezzo a raso		lampione in metallo sottoblo	MEDIOCRE	3,5
RIMELLA	S. GOTTARDO	15bis) RE SUD-NZA	scudo	intonaco odulata		lampione in metallo sottoblo	DISCRETO	36,37, 88
RIMELLA	S. GOTTARDO	16) DAGNO FABBRICATO	amiera ovulata	intonaco odulata		b.t. annessi (lati) con lamiera ovulata	BUONO	44,45, 48, 58, 79
RIMELLA	S. GOTTARDO	17) RE SUD-NZA	scudo cda con ghisa	intonaco odulata		recenti in latero-dm. incongruenti	DISCRETO	46,47
RIMELLA	S. GOTTARDO	18) RUSTICO	scudo	intonaco grezzo a raso		lati in calce stato conservativo	DISCRETO	51,53,75
RIMELLA	S. GOTTARDO	19) RE SUD-NZA	scudo	intonaco grezzo a raso		annesso in cost. (proline-blocchi cda)	DISCRETO	55,65
RIMELLA	S. GOTTARDO	20) RE SUD-NZA	scudo	intonaco grezzo conici rosati			PRESSIMO	55,57
RIMELLA	S. GOTTARDO	21) RE SUD-NZA	scudo	intonaco liscio			BUONO	55,78
RIMELLA	S. GOTTARDO	22) RE SUD-NZA	scudo	intonaco liscio			DISCRETO	55,98
RIMELLA	S. GOTTARDO	23) RE SUD-NZA	scudo	intonaco liscio			DISCRETO	56,61, 71
RIMELLA	S. GOTTARDO	24) RE SUD-NZA	scudo	intonaco grezzo a raso		scali in cda armato	BUONO	56,61, 71
RIMELLA	S. GOTTARDO	25) RE SUD-NZA	scudo	intonaco dem. trinitizzato		annesse appendicioni lato Ovest	BUONO	56,61, 71
RIMELLA	S. GOTTARDO	26) RE SUD-NZA	scudo	intonaco dem. trinitizzato			BUONO	56,61, 71
RIMELLA	S. GOTTARDO	27) RE SUD-NZA	scudo	intonaco dem. trinitizzato			BUONO	56,61, 71
RIMELLA	S. GOTTARDO	28) RE SUD-NZA	scudo	intonaco dem. trinitizzato			BUONO	56,61, 71
RIMELLA	S. GOTTARDO	29) RE SUD-NZA	scudo	intonaco dem. trinitizzato			BUONO	56,61, 71
RIMELLA	S. GOTTARDO	30) RUSTICO	scudo	intonaco dem. trinitizzato			BUONO	56,61, 71
RIMELLA	S. GOTTARDO	31) RUSTICO	scudo	intonaco dem. trinitizzato			BUONO	56,61, 71
RIMELLA	S. GOTTARDO	32) RE SUD-NZA	scudo	intonaco dem. trinitizzato			BUONO	56,61, 71
RIMELLA	S. GOTTARDO	33) RE SUD-NZA	scudo	intonaco dem. trinitizzato			BUONO	56,61, 71
RIMELLA	S. GOTTARDO	34) RE SUD-NZA	scudo	intonaco dem. trinitizzato			BUONO	56,61, 71
RIMELLA	S. GOTTARDO	35) RUSTICO	scudo	intonaco dem. trinitizzato			BUONO	56,61, 71
RIMELLA	S. GOTTARDO	36) RE SUD-NZA	scudo	intonaco dem. trinitizzato			BUONO	56,61, 71
RIMELLA	S. GOTTARDO	37) RE SUD-NZA	scudo	intonaco dem. trinitizzato			BUONO	56,61, 71
RIMELLA	S. GOTTARDO	38) RE SUD-NZA	scudo	intonaco dem. trinitizzato			BUONO	56,61, 71
RIMELLA	S. GOTTARDO	39) RE SUD-NZA	scudo	intonaco dem. trinitizzato			BUONO	56,61, 71
RIMELLA	S. GOTTARDO	40) RE SUD-NZA	scudo	intonaco dem. trinitizzato			BUONO	56,61, 71
RIMELLA	S. GOTTARDO	41) RE SUD-NZA	scudo	intonaco dem. trinitizzato			BUONO	56,61, 71
RIMELLA	S. GOTTARDO	42) RE SUD-NZA	scudo	intonaco dem. trinitizzato			BUONO	56,61, 71
RIMELLA	S. GOTTARDO	43) RE SUD-NZA	scudo	intonaco dem. trinitizzato			BUONO	56,61, 71
RIMELLA	S. GOTTARDO	44) RE SUD-NZA	scudo	intonaco dem. trinitizzato			BUONO	56,61, 71
RIMELLA	S. GOTTARDO	45) RE SUD-NZA	scudo	intonaco dem. trinitizzato			BUONO	56,61, 71
RIMELLA	S. GOTTARDO	46) RUSTICO	scudo	intonaco dem. trinitizzato			BUONO	56,61, 71
RIMELLA	S. GOTTARDO	47) RE SUD-NZA	scudo	intonaco dem. trinitizzato			BUONO	56,61, 71
RIMELLA	S. GOTTARDO	48) RUSTICO	scudo	intonaco dem. trinitizzato			BUONO	56,61, 71
RIMELLA	S. GOTTARDO	49) RUSTICO	scudo	intonaco dem. trinitizzato			BUONO	56,61, 71
RIMELLA	S. GOTTARDO	50) RUSTICO	scudo	intonaco dem. trinitizzato			BUONO	56,61, 71
RIMELLA	S. GOTTARDO	51) LAVatoio (top. da laterali)	scudo	intonaco dem. trinitizzato			BUONO	56,61, 71
RIMELLA	S. GOTTARDO	52) RE SUD-NZA	scudo	intonaco liscio			BUONO	101
RIMELLA	S. GOTTARDO	53) RUSTICO	scudo	intonaco liscio			BUONO	101
RIMELLA	S. GOTTARDO	54) RE SUD-NZA	scudo	intonaco liscio			BUONO	101

Fig. 1. Scheda di rilievo dell'edificato

sono gli obiettivi fondamentali della seconda fase della ricerca in corso. I risultati attesi avranno carattere sia metodologico che operativo, con l'elaborazione, appunto, di indirizzi di "buona progettazione" e di gestione sostenibile del paesaggio agro-forestale, esportabili, evidentemente, anche in altri contesti rispetto all'ambito di campionamento considerato ed in tutte le realtà territoriali investigate.

3. La mappatura dello stato conservativo

La metodologia impiegata nell'elaborazione del presente manuale ha previsto l'esecuzione di rilievi in situ di un ampio campione di frazioni, condotti per ciascun corpo di fabbrica attraverso l'osservazione diretta e con l'ausilio della fotocamera digitale.

Le informazioni raccolte riguardano il "Comune", la "frazione", l'"edificio" – designato sulla cartografia catastale da un numero progressivo assegnato a caso –, il "numero di piani ft." – approssimato per eccesso rispetto ai livelli del fronte meglio esposto del fabbricato –, eventuali "livelli aggiuntivi" – per segnalare, ove presenti, il seminterrato e/o il sottotetto –, la "destinazione" – che individua la funzione a cui la cellula edilizia è prevalentemente deputata –, "manto" – il rivestimento della copertura –, "facciate", "elementi pregevoli" – con la segnalazione di particolari decorativi (es. affreschi, bifore, meridiane, ecc.) e la classificazione del tipo edilizio –, "superfetazioni" – corpi aggiunti o elementi non congruenti con l'impianto originario (es. tettoie o tamponamenti in materiali estranei, comignoli, canne fumarie, parabole, ecc.), lo "stato conservativo" – classificato come "buono", "discreto", "mediocre", "pessimo" –, e le "foto" del rilievo in situ.

L'analisi dello stato di conservazione è stata operata per ogni cellula edilizia risultante da catasto, tenendo conto del solo involucro esterno dell'edificio considerato dalla linea di terra al colmo del tetto e rispetto a tutti i lati, in mancanza di informazioni relative agli ambienti interni non accessibili.

In assenza di qualsiasi giudizio sul valore estetico-percettivo dell'architettura, la valutazione dello stato conservativo dei fabbricati assume, quindi, carattere esclusivamente qualitativo e si traduce nella seguente classificazione:

- stato conservativo "BUONO" per gli edifici che si presentano integri in tutte le parti che ne compongono la struttura, con murature, orizzontamenti, facciate, serramenti e coperture mantenuti in buono/ottimo stato ovvero recentemente ristrutturati;
- stato conservativo "DISCRETO" per i fabbricati che, pur se sostanzialmente integri in tutte le loro parti strutturali, presentano situazioni localizzate o poco estese di degrado superficiale e/o capillare (es.

- distacchi dell'intonaco, perdite da impianti in facciata, serramenti da sostituire, presenza di superfetazioni degradate, ecc.);
- stato conservativo “MEDIOCRE” per i corpi edilizi che presentano fenomeni diffusi di degrado e situazioni di dissesto strutturale ascrivibili all'abbandono (es. crolli di porzioni della copertura o degli orizzontamenti intermedi, serramenti mancanti, ecc.);
 - stato conservativo “PESSIMO” per le costruzioni fatiscenti, per le quali si raccomanda un intervento di ristrutturazione edilizia con vincolo di mantenimento delle sagome e dei volumi originari.



stato conservativo buono (ottimo) – mediocre



stato conservativo discreto – pessimo

Fig. 2. Rilievo fotografico digitale per la classificazione dello stato conservativo

Alla categoria dei fabbricati in pessimo stato conservativo appartengono anche i ruderi, ossia quelle costruzioni lacunose, parzialmente o quasi completamente crollate, per le quali i caratteri di “bene culturale” non sono più riconoscibili.

Da ciascuna categoria di stato conservativo scaturisce in modo intuitivo una gerarchia di priorità degli interventi di recupero, secondo la corrispondenza di seguito esemplificata:

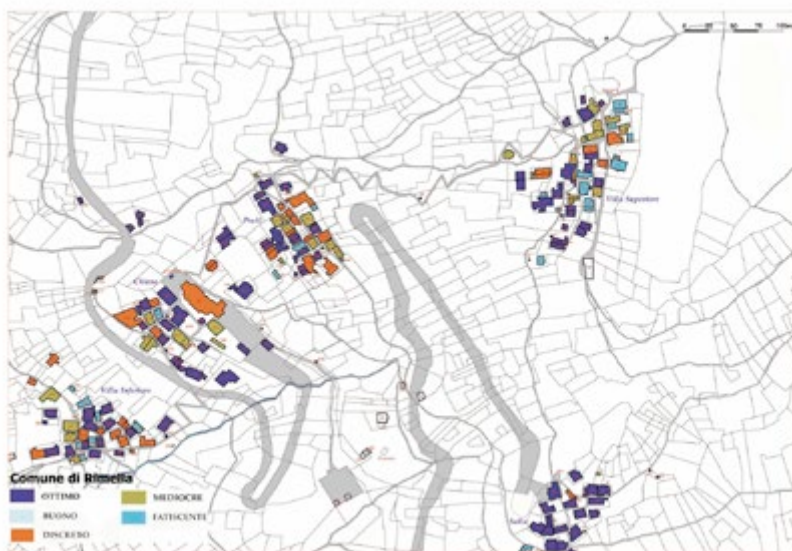


Fig. 3. Cartografia tematica dello stato conservativo (esempio nel Comune di Rimella (VC))

- stato conservativo BUONO → (nessun intervento di recupero)
- stato conservativo DISCRETO → manutenzione ordinaria o straordinaria
- stato conserv. MEDIOCRE → restauro e risanamento conservativo
- stato conservativo PESSIMO → ristrutturazione edilizia/reimpiego.

Il rilievo diretto e la contestuale schedatura dei fabbricati – estesi ad un campione considerevole di frazioni nell’ambito dei tredici comuni investigati – hanno consentito di elaborare ulteriori mappe tematiche relative agli elementi caratterizzanti il paesaggio urbano:

- manti di rivestimento delle coperture;
- superfetazioni incongruenti con i caratteri tradizionali dell’architettura (es parabole, comignoli, annessi e bassi fabbricati, ecc.);
- emergenze di valore storico-culturale, ambientale o documentario.

4. Raccomandazioni di “buona prassi” per il recupero edilizio

La pratica della manualistica tecnica si afferma tra il XIX ed il XX secolo al fine di standardizzare le procedure della produzione industriale

e da allora il manuale non ha mai cessato di rappresentare uno strumento operativo apprezzato sia dai tecnici che dagli utenti. Lo stesso termine “manuale” comunica un messaggio rassicurante, evocando un pacchetto di pratiche consolidate, ripetutamente sperimentate, una sequenza ordinata di procedure collaudate, normalmente applicate dagli esperti ed in qualche maniera certificate da nozioni specialistiche, oltre che dall’esperienza. Il linguaggio adottato dal manuale è prettamente tecnico e le “buone pratiche” in esso contenute sottraggono responsabilità all’utente, offrendogli “un sistema di risposte chiuse, in una cornice di domande predeterminate o ricorrenti”¹.

Le raccomandazioni per il recupero dell’architettura tradizionale e per la valorizzazione del paesaggio culturale formulate nel Manuale prefigurano un orizzonte di soluzioni progettuali alternative, attingendo a materiali e tecnologie congruenti con quelli della tradizione ovvero suggerendo accorgimenti per la mitigazione degli interventi.

Fondamenti critici di questa guida di “buone prassi” sono:

- la conoscenza ed il rispetto delle tipologie edilizie originarie;
- il rifiuto del decorativismo fine a se stesso e di soluzioni architettoniche importate da altri ambiti;
- la considerazione unitaria del sistema territoriale e produttivo nel quale i nuclei edilizi sono inseriti.

Il Manuale richiama continuamente l’attenzione dell’utente sulla rilevanza che assume la fase di approfondimento preliminare al progetto ai fini del buon esito dell’intervento di recupero. La consapevolezza dei valori dell’architettura tradizionale è piuttosto rarefatta e, di conseguenza, la capacità di intervento è spesso al di sotto delle attese, così come talvolta deludono i risultati ottenuti. Anche per questo il reiterato invito ad utilizzare materiali e tecniche costruttive tradizionali non è sufficiente a garantire la qualità degli interventi e può addirittura rivelarsi controproducente, dal momento che gli interventi sono spesso dettati da nuove necessità e richiedono talvolta inedite soluzioni progettuali e costruttive.

Il Manuale affronta alcune problematiche individuate come prioritarie, legate ai difetti, ai fenomeni di degrado dei materiali, ai meccanismi di dissesto strutturale, alle più vistose carenze dei requisiti oggi richiesti per ottenere un accettabile comfort energetico all’interno delle abitazioni. Ciascuno di questi problemi può, d’altra parte, essere risolto seguendo impostazioni tecniche e scelte culturali estremamente variegate e non preordinabili. Anche per queste ragioni l’accento è posto anzitutto sugli interventi di più semplice concezione e di più agevole

¹ Musso F., Franco G., Guida alla manutenzione e al recupero dell’edilizia e dei manufatti rurali, Marsilio, Venezia, 2000, Introduzione.

esecuzione (spesso anche i più economici) e si attribuisce particolare significato alle corrette pratiche manutentive che consentono la prevenzione del degrado e del dissesto e prolungano la durata nel tempo dei manufatti tradizionali.

Il Manuale è costruito in modo da poter essere utilizzato da diversi soggetti e, in particolare, da funzionari e tecnici preposti alla tutela del territorio e al controllo degli interventi edilizi, da privati, proprietari o utenti che promuovono opere di recupero, da progettisti, tecnici delle imprese edili o artigiani coinvolti a vario titolo negli interventi. Il linguaggio e la forma con cui il testo è stato costruito cercano, pertanto, di essere intelligibili anche per soggetti non specializzati, nel tentativo di contribuire ad accrescere la conoscenza dei manufatti, dei loro problemi di conservazione o delle possibilità che la tecnica (tradizionale od innovativa) offre per il loro corretto recupero.

La distinzione operata nel manuale tra “interventi raccomandati”, “interventi ammessi” ed “interventi non compatibili” con la tutela dei valori storico-ambientali è intesa a segnalare ai proprietari e agli amministratori locali che è sempre possibile valutare soluzioni tecnologiche alternative, aderenti alla tradizione oppure più innovative, purché l'intervento di recupero venga armonizzato con il contesto del paesaggio culturale.

Gli indirizzi gestionali sono corredati da schemi e disegni per favorire la sensibilizzazione dei proprietari rispetto ai caratteri tipizzanti ed alle valenze storico-ambientali dell'architettura, di concerto con le amministrazioni locali, comunali e sovra-comunali per una completa condivisione dell'indirizzo da seguire per i futuri interventi di recupero.

L'obiettivo della tutela del patrimonio storico rurale appare inscindibile dalla questione dell'adeguamento degli edifici alle nuove necessità abitative e del loro riuso come case di vacanza, aspetti che rappresentano il presupposto degli interventi raccomandati e che comportano un adeguamento igienico-sanitario ed un miglioramento del comfort ambientale.

Non sempre, purtroppo, le norme sul recupero edilizio contenute nei vigenti piani regolatori generali o nei regolamenti edilizi comunali, pur se sufficientemente articolate, bastano ad orientare gli interventi di manutenzione, restauro e risanamento conservativo o ristrutturazione edilizia di tipo A in assenza di uno strumento urbanistico particolareggiato. Oltre a ricorrere a materiali non congruenti con quelli tradizionalmente impiegati – opera muraria in pietra a spacco apparecchiata ad opus incertum a facciavista o intonacata a raso, sormontata nelle tipologie walser da una struttura portante in legno montata a Blockbau all'imposta del tetto, con orizzontamenti, loggiati, ballatoi, architravi ed orditura del tetto in legno rivestita in piodo –, alcune delle soluzioni compositive adottate in interventi anche recenti sembrano testimoniare la mancanza di una consapevolezza diffusa dei valori architettonici e storico-ambientali dell'architettura tradizionale.

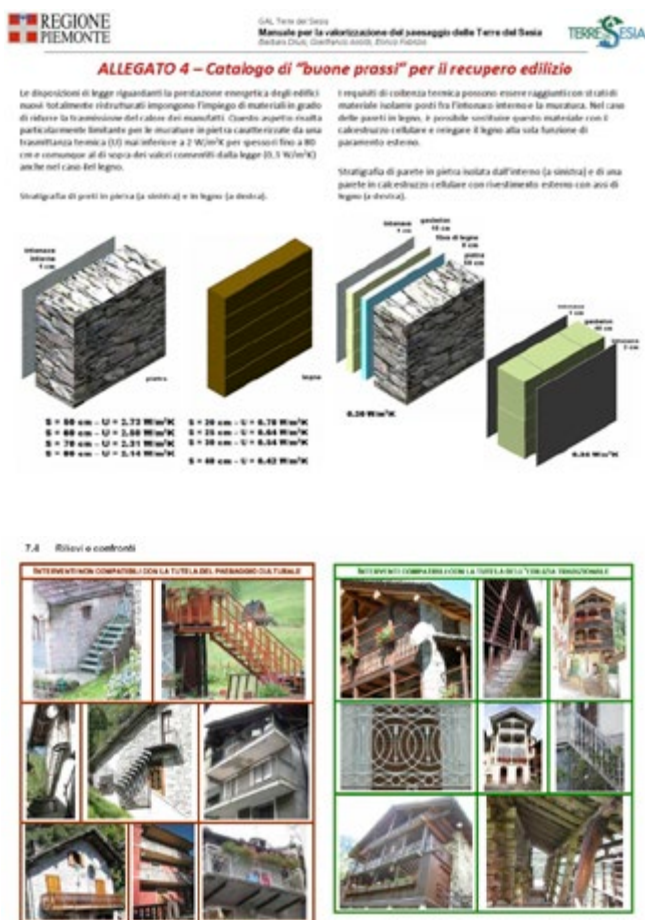


Fig. 4. Due tavole dal Manuale per la valorizzazione del paesaggio culturale delle Terre del Sesia

Non si tratta qui di criticare l'operato di chi interviene sui fabbricati tradizionali, spesso facendo fronte a difficoltà tecniche ed economiche, né si vogliono imporre oneri aggiuntivi, ma segnalare l'inadeguatezza di soluzioni che talora sono persino più onerose di quelle più aderenti alla tradizione.

5. Conclusioni

All'esito della metodologia descritta, il manuale di “buone prassi” elaborato su incarico della Regione Piemonte fornisce indicazioni di

comportamento per il recupero del paesaggio culturale e raccomanda soluzioni tecnologiche alternative in base a pratiche consolidate dall'esperienza, prestandosi tuttavia all'incertezza di un'interpretazione discrezionale e concedendo alla progettazione alcuni gradi di libertà². Una guida così concepita non contende al progetto di recupero lo spazio che gli compete, perché soltanto alla progettazione è demandata la scelta documentata di come contemperare le esigenze della conservazione con quelle della trasformazione del manufatto originario in relazione allo stato conservativo e alle esigenze del riuso.

Come già sperimentato in altri ambiti alpini o in aree protette, semplici raccomandazioni ad uso dei proprietari da parte di tecnici ed amministratori locali possono inaugurare "buone prassi" di recupero edilizio, a tutto vantaggio della valorizzazione e della fruizione del paesaggio agro-silvo-pastorale. Un manuale per gli interventi di recupero edilizio improntato sugli esempi europei e di facile consultazione può offrire un valido strumento di regolamentazione degli interventi trasformativi a supporto della pianificazione paesistica nell'interpretazione del vincolo di tutela paesistico-ambientale e nella gestione da parte degli enti locali delle deleghe in materia di rilascio delle autorizzazioni in zone soggette a vincolo Galasso.

Bibliografia

- Cigalotto, P., Santoro, M. (a cura di) *L'edilizia rurale. Valle del Mis – Guida al recupero*, Progetto finanziato dal programma Leader II – UE, fondo FEOAG, Feltre (BI), 2000
- Drusi, B. *La dimora alpina. Costruzioni rurali nel paesaggio agro-forestale*, Aracne editrice, Roma, 2009
- Fabbri, P. (a cura di) *Paesaggio, pianificazione, sostenibilità*, Alinea, Firenze, 2003
- Mamoli, M. (a cura di) *Progettare nello spazio alpino. Manuale per la tutela, la conservazione ed il recupero del paesaggio, degli insediamenti e delle architetture tradizionali*, Unione Europea e Regione Veneto, Belluno, 2002
- Musso, F., Franco, G. *Guida alla manutenzione e al recupero dell'edilizia e dei manufatti rurali*, Marsilio, Venezia, 2000

² Ibidem.

SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE E VALUTAZIONE TECNOLOGICA DELLA FILIERA CORTA BOSCO LEGNO EDILIZIA

M. Marra^{1,2}, S. Guercini¹, A. Bordin¹

¹ *Università di Padova, Dipartimento Territorio e Sistemi Agro Forestali*

² *Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per la Valorizzazione del Legno e delle Specie Arboree*

Riassunto. La salvaguardia del territorio rurale si raggiunge attraverso la sostenibilità delle realtà produttive agricole. Il legno è una risorsa che può contribuire allo sviluppo di questi territori attraverso la valorizzazione della filiera corta bosco legno. La qualificazione funzionale e prestazionale dei prodotti legnosi, ma anche la definizione di alcuni aspetti non misurabili direttamente, quali la provenienza e l'impatto che questi hanno sull'ambiente, sono gli strumenti per ottenere il miglioramento.

Con questo lavoro si è studiata sia la sostenibilità tecnica che quella ambientale attraverso: un'analisi della qualità tecnologica del legno al fine di verificarne l'idoneità per l'impiego strutturale, una *Life Cycle Assessment* del sistema di utilizzazione, trasporto e produzione degli elementi tecnici di un edificio con struttura a telaio in legno. Il risultato è stato confrontato con un edificio tradizionale in laterizio. Questo studio ha permesso di quantificare i benefici derivanti da soluzioni di filiera corta e di *eco-design* individuando ulteriori possibilità di miglioramento. Le caratteristiche tecnologiche del legno e il profilo ambientale della filiera corta indicano che l'uso del legno in edilizia possiede ampi spazi di sviluppo in armonia con l'ambiente rurale.

Parole chiave: LCA in edilizia, sostenibilità ambientale, legno strutturale.

Summary. The rural land protection is achieved by the agricultural farm sustainability. Wood is a resource that can provide a development of these lands through the exploitation of the short forest wood chain. The functional and the performance characterization of wood products, several not directly measurable aspects, such as the origin and the environment impacts, are the tools to achieve an improvement.

This work studied technical and environmental sustainability through: a technological analysis of the wood to verify its structural use, a Life Cycle Assessment of exploitation, of transport and of building technical elements production of a platform frame construction. The result was compared with a brick traditional building.

This study allowed us to quantify benefits arising from solutions of a short supply chain and of eco-design to identify further opportunities for improvement. The technological properties of wood and the environmental profile of short supply chain indicate that the use of wood in building can be developed sustainably in the rural environment.

Key words: Building LCA, environmental sustainability, structural timber.

1. Introduzione

In Italia, negli ultimi anni, il comparto del legno registra un costante incremento del consumo di materia prima per effetto di due fenomeni: il maggior uso di biomasse legnose per la produzione di energia termica e il crescente impiego del legno in edilizia, specialmente con funzione strutturale [1]. In particolare, negli ultimi 15 anni l'impiego di legno lamellare in Italia è cresciuto, su base annua, da 100.000 m³ ad 1 milione di m³. Per comprendere l'entità di queste cifre si consideri che l'Italia, dal 2007, è il primo paese in Europa per l'utilizzo di questo prodotto da costruzione. Il mercato interno dei prodotti in lamellare è caratterizzato solo per il 15% dalla produzione italiana, mentre oltre il 70% proviene dall'Austria e dalla Germania [2].

A fronte della crescita del consumo di legno, si riscontra una scarsa utilizzazione delle foreste del territorio nazionale. Le cause principali sono dovute alla difficoltà di approvvigionamento, dalla frammentazione e dalla conseguente discontinuità nelle forniture, dai costi di produzione relativamente alti, dalla qualità del prodotto che non è assicurata da un'adeguata classificazione. Questi elementi hanno contribuito nel tempo a orientare la domanda di legname dall'estero. Tutto ciò ha comportato la sottoutilizzazione dei boschi italiani. A questo si aggiunga la considerazione che il valore degli assortimenti prodotti internamente sono generalmente bassi, in quanto destinati a scopi energetici o all'imballaggio.

La valorizzazione della filiera bosco legno passa attraverso la qualificazione funzionale e prestazionale dei prodotti legnosi, ma anche attraverso la definizione di alcuni aspetti non misurabili direttamente, quali la provenienza e l'impatto che questi hanno sull'ambiente.

1.1 Il legno in edilizia

Malgrado lo scetticismo e il conseguente ritardo che ancora si registra in Italia rispetto ai Paesi del Nord Europa, oltre a quelli del Nord America, sull'utilizzo del legno in edilizia con funzione portante, si va diffondendo un crescente interesse sull'impiego di questo materiale soprattutto in ambito rurale.

I sistemi costruttivi maggiormente utilizzati possono ricondursi a due tipologie: una in cui gli elementi in legno svolgono solo una funzione strutturale e un'altra in cui a essa si aggiunge una funzione di compartimentazione. Quest'ultima tipologia impiega una quantità di prodotti in legno molto rilevante. Si ricordano a tale proposito le tradizionali *log house* - in cui le pareti sono erette dalla sovrapposizione trasversale di travi sagomate (oppure di tronchi, nella versione più antica) collegate fra di loro tramite incastri - e le più recenti pareti a pannello a tavole incrociate incollate, *cross laminated timber*, che uniscono al criterio di prefab-

bricabilità quello di robustezza e solidità. Il sistema costruttivo a telaio, invece, prevede due varietà principali: il *post and beam*, in cui i giunti fra travi e pilastri vengono realizzati tramite incastri o collegamenti metallici, e il *platform frame*, in cui le pareti, formate da un telaio con un ordito di morali e da tamponature in pannelli, sostengono i travetti dei solai che sono inchiodati alla trave del telaio.

Nello studio presente si è scelto quest'ultimo sistema costruttivo, a minore impatto ambientale, nonché idoneo ad una filiera corta in quanto non necessita di tecnologie e impianti di produzione di difficile reperimento.

2. *Materiali e metodi*

La sostenibilità tecnica e ambientale della filiera bosco legno edilizia è stata condotta attraverso tre studi:

1. l'analisi della qualità tecnologica del legno ritraibile da un bosco posto in provincia di Trento, al fine di verificarne l'idoneità per l'impiego strutturale;
2. la stima degli impatti ambientali del sistema di utilizzazione e di approvvigionamento di una filiera corta dei prodotti legnosi attraverso una *Life Cycle Assessment*;
3. la valutazione ambientale del ciclo di vita delle componenti principali di una costruzione in legno intelaiato. Il risultato è stato confrontato con un edificio tradizionale in muratura.

2.1 *Classificazione del legno strutturale*

La variabilità naturale delle caratteristiche del legno porta alla necessità di suddividerlo in gruppi omogenei, secondo un sistema di classificazione, al fine di renderlo idoneo per gli impieghi strutturali. Questo procedimento permette di attribuire, ad ogni classe, valori di resistenza e di rigidità affidabili. Le norme relative alla classificazione indicano quali sono le caratteristiche ed i difetti ammissibili nelle diverse classi di resistenza, per una data specie legnosa e per una determinata provenienza geografica. Lo scopo della classificazione è quella di assegnare ad un singolo elemento una classe di resistenza, armonizzata con quelle prescritte dalla norma UNI EN 338:2009. La marcatura CE dei prodotti da costruzione, e l'entrata in vigore delle Norme Tecniche per le Costruzioni, obbligano la classificazione secondo la resistenza del legname utilizzato per scopi strutturali.

Sono state classificate 1254 tavole essiccate di Abete rosso di dimensione 160x50 mm provenienti da assortimenti destinati alla produzione di imballaggi industriali. La segheria era ubicata in provincia di Trento e il materiale proveniva da boschi distanti 70 km. La classificazione è stata

effettuata mediante il metodo visuale e a macchina. Per la classificazione visuale del legno è stata utilizzata la norma UNI 11035:2010 (parte 1 e parte 2), mentre la classificazione a macchina è stata effettuata utilizzando un sistema palmare a onda d'urto Brookhuis MTG AB (Figura 1) in grado di classificare il legno per classi di resistenza, in accordo alla UNI EN 338. È stato verificato il contenuto di umidità in modo casuale. Esso è risultato contenuto fra il 10,6 e il 13,8%, mentre la densità del legno è stata misurata sistematicamente e suddivisa per classi di 20 kg/m³. La densità media è stata di 412 kg/m³ in un intervallo compreso fra i 380 e i 480 kg/m³.



Fig. 1. Classificatore a macchina Brookhuis MTG AB

2.2 LCA del sistema di approvvigionamento della filiera corta

La realizzazione di una filiera corta foresta-legno-edilizia si propone di soddisfare due obiettivi di compatibilità ambientale:

- la riduzione degli impatti derivanti dal sistema di utilizzazione e dal trasporto delle materie prime, dei semilavorati e del prodotto finito, caratteristica peculiare a tutte le filiere corte;
- la progettazione di un sistema edilizio con prodotti a base di legno che garantisca una buona compatibilità ambientale durante tutto il loro ciclo di vita.

Lo studio si è concentrato sulle attività forestali di taglio, allestimento ed esbosco effettuate con due livelli di meccanizzazione. Oltre alla valutazione degli impatti ambientali delle operazioni di utilizzazione sono stati considerati anche quelli relativi al trasporto.

La Figura 2 rappresenta l'organizzazione dei cantieri forestali secondo due metodologie: mentre il processo di meccanizzazione tradizionale annovera sei fasi distinte, quello a meccanizzazione spinta prevede l'uti-

lizzo di mezzi pesanti, quali l'harvester e il forwarder, che concentrano tutte le fasi in due momenti.

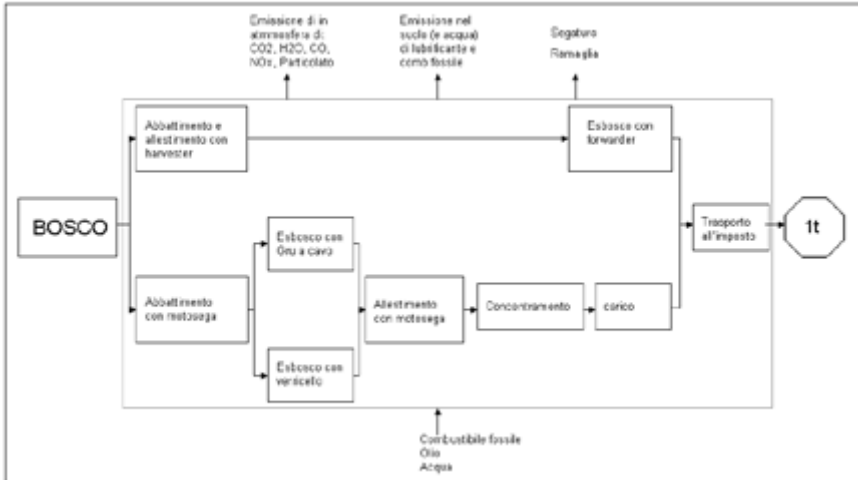


Fig. 2. Confronto tra meccanizzazione tradizionale e spinta

L'analisi dell'inventario della LCA, che comprende la raccolta dei dati e i procedimenti di calcolo che consentono di quantificare i flussi in entrata e in uscita, possono essere suddivisi nelle seguenti categorie:

- dati primari: provenienti da rilevamenti diretti,
- dati secondari: ricavati da letteratura e da database specifici (Ecoinvent, Buwal),
- dati terziari: provenienti da stime, simulazioni di laboratorio o applicazione di modelli.

2.3 LCA del sistema edilizio

Sono state individuate le stratigrafie degli elementi tecnici di superficie unitaria maggiormente rappresentativi il sistema costruttivo a telaio, quali: le pareti perimetrali, il solaio sottotetto e le pareti interne. È stata definita una seconda configurazione tecnologica del sistema edilizio, di tipo tradizionale in laterizio, riprogettando i vari elementi tecnici di pari prestazioni termiche (trasmittanza).

L'edificio in legno presenta una struttura principale costituita da un telaio in abete tamponato con pannelli OSB, con due strati di lana di roccia (all'interno del telaio e all'esterno) per aumentare la resistenza termica della parete. Gli strati di finitura sono costituiti da un pannello in cartongesso verso l'interno e uno di rasatura per il cappotto sull'esterno.

La tecnologia costruttiva tradizionale, per assicurare un valore di trasmittanza simile, prevede la realizzazione di una parete in laterizio forato completata da un cappotto esterno in polistirene espanso. La finitura è in intonaco su entrambi i lati.

La Figura 3 rappresenta le stratigrafie della parete esterna e del solaio sottotetto del sistema costruttivo a telaio di legno. Si evidenzia il flusso di calore molto omogeneo attraverso il gradiente delle temperature.

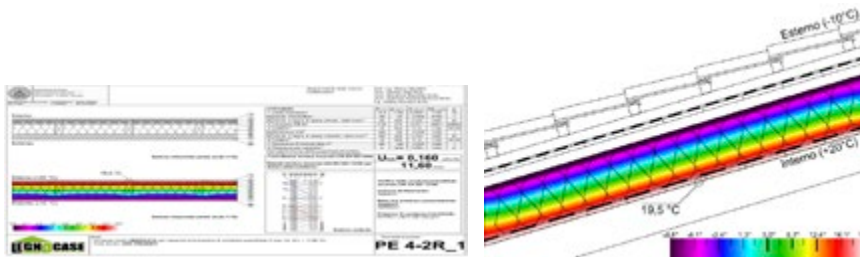


Fig. 3. Stratigrafie: parete esterna (sinistra) – solaio sottotetto (destra)

Si è effettuato il computo metrico delle quantità dei materiali presenti in tutti gli elementi tecnici e per entrambe le tecnologie costruttive. Per ognuno di essi sono stati calcolati gli impatti ambientali relativi alla produzione dei materiali. Nella Tabella 1 sono riportati come esempio i dati relativi alla parete esterna.

Tab. 1. Parete esterna: computo metrico (sinistra) – impatti totali (destra)

Parete esterna					Parete esterna								
	spessore	larghezza	massa	massa	eq.	u.m.	C.gesso	Lana legno	L. conifera	OSB	Lana roccia	Totale	
Materiali	mm	mm	kg	%	CO ₂	kg	7,520	-0,071	-79,342	-21,154	32,982	-60,064	
Cartongesso	12,5	1000	14,375	17%	Assottigliamento ozono	CFC11	g	0,001	0,000	0,000	0,001	0,002	0,004
Lana di legno	40	936	1,685	2%	Ossidazione fotochimica	C ₂ H ₄	kg	0,001	0,001	0,003	0,003	0,004	0,012
Legno di Abete @ 500 mm	40	64	1,280	2%	Acidificazione	SO ₂	kg	0,026	0,011	0,040	0,052	0,163	0,292
Freno vapore @ 500 mm	0,33	1000	0,090	0%	Eutrofizzazione	PO ₄	kg	0,004	0,002	0,006	0,009	0,020	0,041
OSB/3	15	1000	9,750	12%	Tossicità umana	1,4-DB	kg	0,970	1,193	2,627	3,523	8,987	17,300
Lana di roccia	160	904	8,678	11%	Ecotossicità		mgyr	1,671	0,633	2,293	3,651	9,054	17,303
Legno di Abete @ 500 mm	160	96	7,680	9%	Consumo energia		GJ	0,012	0,091	1,155	0,638	0,411	2,307
OSB/3	12	1000	7,800	9%	Consumo di acqua		t	0,086	0,057	0,164	0,186	0,518	1,011
Lana di roccia	60	1000	7,200	9%	Depauperamento abiotico	Sb	kg	0,046	0,021	0,045	0,073	0,211	0,396
Antivento	0,3	1000	0,260	0%	Smaltimento rifiuti inerti		kg	4,547	0,359	0,787	1,927	3,551	11,171
Legno di Abete @ 500 mm	40	80	1,600	2%	Rifiuti non pericolosi		kg	0,051	0,061	0,105	0,161	0,431	0,809
Legno di Larice	40	1000	22,000	27%	Rifiuti pericolosi		kg	0,009	0,026	0,014	0,020	0,549	0,618
Totale			82,398	100%	Rifiuti radioattivi		g	0,090	0,037	0,153	0,001	0,221	0,501

3. Risultati

3.1 Classificazione del legno strutturale

La norma UNI EN 338 suddivide le tavole in classi di resistenza a flessione di 2 MPa, identificate dalla lettera C seguita dal valore di resistenza. In genere la qualità delle tavole impiegate nel sistema costruttivo

a telaio varia tra C16 e C24. Le categorie visuali della norma di classificazione UNI 11035 corrispondenti sono la S3, che ha un profilo pari alla C18, e la S2, pari alla C24. Entrambe le norme prevedono la presenza di tavole non classificabili, con requisiti insufficienti, di norma indicate con la lettera R, *rejected*.

La Tabella 2 elenca la distribuzione delle tavole destinate alla produzione di imballaggi secondo i due sistemi di classificazione. Più dell'80% delle tavole, per entrambi i sistemi di classificazione, sono idonee all'impiego strutturale. Le classi più rappresentate sono la C16 e C20, pari al 74%, confermato dalla categoria visuale S3 del 60%. Questi dati dimostrano che attraverso la sola classificazione delle tavole per l'imballaggio si possono ottenere elementi strutturali in elevata quantità.

Tab. 2. Distribuzione delle tavole secondo i due sistemi di classificazione

Categorie visuali UNI 11035	Classi di resistenza EN 338				totale
	R	C16	C20	C24	
S3	27	428	285	18	758
S2	12	40	92	129	273
R	134	58	31	0	223
totale	173	526	408	147	1254

Il grafico (Figura 4) indica che una esigua quantità di tavole, il 18% secondo la UNI 11035 e il 14% per la UNI EN 338, non sono adatte all'impiego strutturale. I parametri fisici utilizzati dal dispositivo di classificazione ha permesso una migliore discriminazione delle proprietà meccaniche di alcune caratteristiche visive (alterazioni cromatiche, presenza del midollo e inclusioni della corteccia), che sono penalizzati dalle rigide regole visuali.

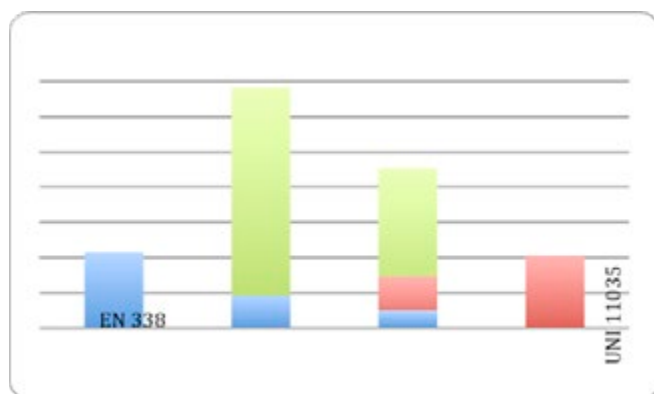


Fig. 4. Distribuzione percentuale delle tavole secondo i due sistemi di classificazione

3.2 LCA del sistema di approvvigionamento della filiera corta

I risultati della valutazione d'impatto si riferiscono agli impatti potenziali su diversi ambiti ambientali e sono stati calcolati attraverso specifici indicatori. Il metodo di valutazione prescelto per questo studio è stato ReCiPe 2008, in cui sono stati considerati solo gli impatti potenziali al livello del cosiddetto *midpoint*. Tali indicatori si riferiscono all'incremento marginale dei principali fattori di impatto, non considerano né i superamenti di soglia né i margini di rischio per consentire una maggiore confrontabilità degli indicatori tra studi diversi.

Dai risultati ottenuti dal confronto delle due modalità operative indicate appare che la meccanizzazione spinta risulti maggiormente incidente nelle categorie climate change, photochemical oxidant formation, particulate matter formation, terrestrial acidification e marine eutrophication. Essa può essere interessante per alcune categorie di impatto, in ragione dei limitati consumi di carburante e dell'alta produttività, ma particolarmente critica a causa dell'importante contributo emissivo. Nelle condizioni attuali, la meccanizzazione tradizionale è meno impattante. La Figura 5 mostra i risultati ottenuti dopo la fase di normalizzazione e permette di evidenziare le categorie di impatto con un peso relativo maggiore. Come è possibile notare, le categorie con peso relativo maggiore sono quattro (photochemical oxidant formation, particulate matter formation, terrestrial acidification e marine eutrophication) e per tutte l'incidenza della meccanizzazione spinta è particolarmente significativa.

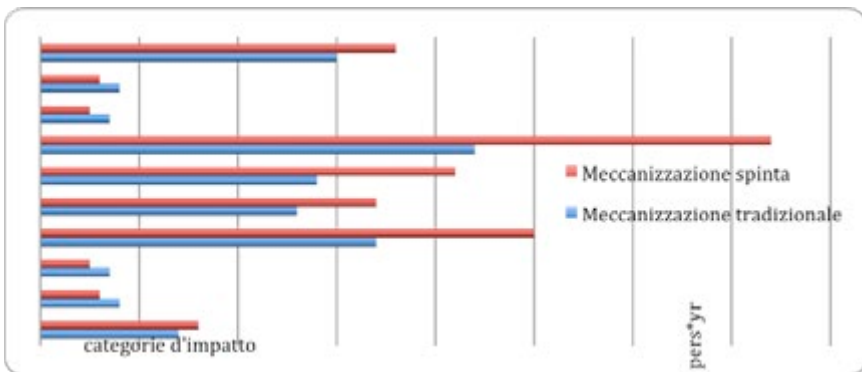


Fig. 5. Normalizzazione degli impatti ambientali dei due sistemi di meccanizzazione

Il trasporto, come intuibile, impatta in ragione delle distanze percorse. La filiera considerata ha un approvvigionamento di soli 70 km in confronto ad una distanza media dei maggiori fornitori europei di 700 km.

3.3 LCA del sistema edilizio

La Figura 6 riporta i risultati relativi all'effetto serra e al consumo di energia specifici ad ogni materiale impiegato. Queste rappresentazioni permettono di individuare, all'interno di ogni elemento tecnico, i materiali maggiormente impattanti, di operare azioni correttive e, ove possibile, di sostituirli. Dai grafici si evince l'apporto negativo all'effetto serra degli elementi in legno e il consumo energetico elevato di un materiale leggero come la lana di legno rispetto, ad esempio, alle tegole di argilla.

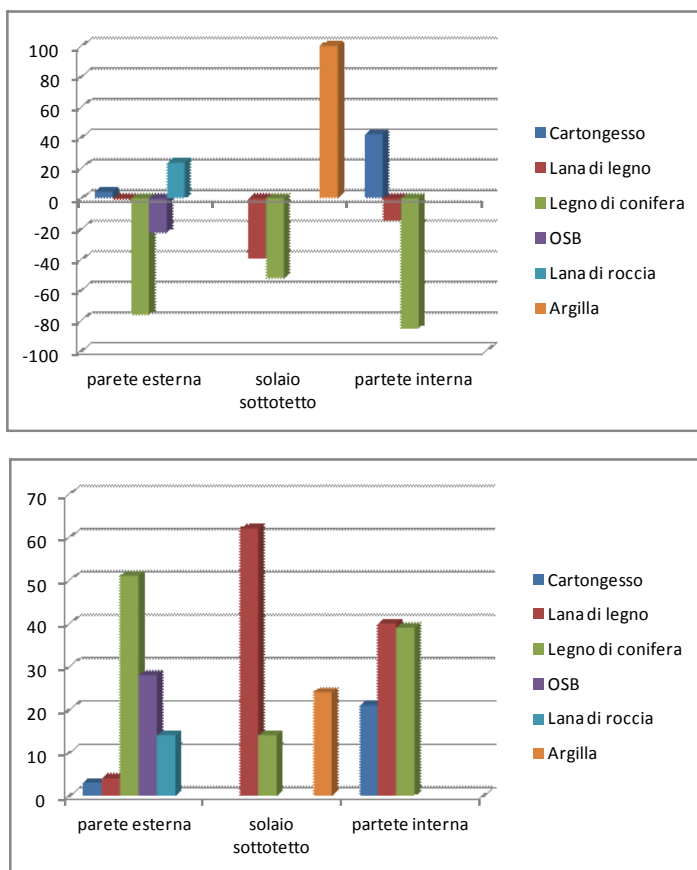


Fig. 6. Elementi tecnici: effetto serra in % (sinistra) – consumo di energia in % (destra)

Infine sono stati progettati due edifici quadrifamiliari, in legno e in laterizio, utilizzando gli elementi tecnici indicati precedentemente. In base alle rispettive quantità sono stati calcolati gli impatti ambienta-

li prodotti dalla realizzazione dei due edifici nelle diverse fasi del ciclo di vita. Sono stati considerati gli impatti di produzione e di dismissione dei materiali in considerazione delle loro peculiarità, quelli di utilizzo e del trasporto in maniera analoga ai due edifici, mentre sono stati esclusi quelli degli impianti e di cantiere.

I risultati hanno evidenziato come il materiale a base di legno più impattante sia l'OSB su quasi tutte le categorie d'impatto, ciò è strettamente legato all'ampia incidenza in massa del prodotto sull'intero edificio. Il polistirene estruso, utilizzato come coibente nell'edificio tradizionale, risulta responsabile per quasi la totalità dell'assottigliamento dell'ozono, mentre il laterizio emerge nella categoria relativa alla produzione di rifiuti. Il comportamento ambientale dei singoli materiali si rispecchia fortemente nel comportamento ambientale degli elementi tecnici: la parete esterna risulta essere la più impattante nell'assottigliamento dell'ozono, a causa della presenza del polistirene e nella produzione di rifiuti non pericolosi per la presenza del laterizio.

La Figura 7 è stata realizzata attribuendo un valore unitario a quello dell'edificio con impatto maggiore e in proporzione all'altro.

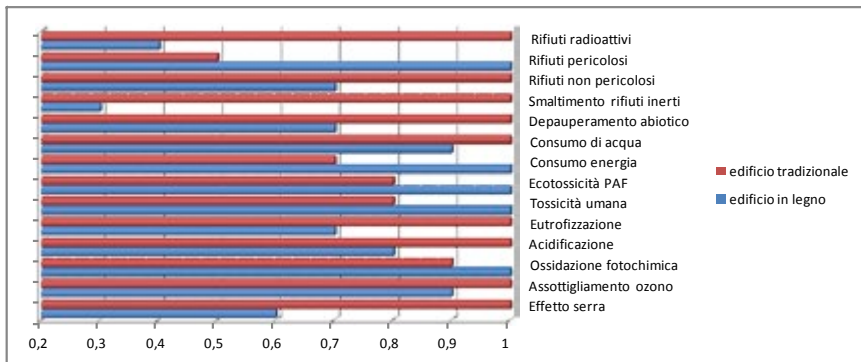


Fig. 7. Impatti ambientali dei due sistemi di meccanizzazione

Il grafico evidenzia il miglior comportamento dell'edificio in legno, per la maggior parte delle categorie di impatto, rispetto all'edificio tradizionale. Quelle in cui è risultato peggiore sono: il consumo di energia, l'ecotossicità, la tossicità umana e i rifiuti pericolosi. Per queste categorie l'elevato impatto presentato dall'edificio può essere imputata ai pannelli di OSB incollato con adesivi a base di formaldeide. Anche per quanto riguarda il consumo di energia l'edificio in legno presenta le condizioni più sfavorevoli, e questo, come evidenziato in precedenza, è relativo all'elevata richiesta di energia del processo produttivo di questo materiale.

Bibliografia

- [1] S. Berti, F. Brun, P. Corona, D. Pettenella. 2008. Prodotti forestali: considerazioni generali in una prospettiva di sostenibilità e di organizzazione del mercato. Atti del III Congresso Nazionale di Selvicoltura. Ottobre, 16-19, 2008. Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze. pp. 711-716.
- [2] Federlegno, 2010, Statistiche importazione legno e semilavorati di legno, Analisi settoriale, Milano.

CARICO ANTROPICO E SOSTENIBILITÀ: UN DATA-BASE A SCALA AZIENDALE DEL RISCHIO AMBIENTALE

F. Recanatesi, M.N. Ripa, A. Leone

Dipartimento di scienze e tecnologie per l'agricoltura, le foreste, la natura e l'energia (D.A.F.N.E.)

Riassunto. L'eutrofizzazione è una delle principali cause dello stato degenerativo dei corpi idrici in Europa. Questa forma di inquinamento è causata principalmente da fattori di natura antropica come l'agricoltura che, attraverso l'erosione del suolo, contribuisce ad un eccessivo arricchimento di nutrienti, fosforo ed azoto, nei corpi idrici. Da oltre quindici anni il bacino idrografico del Lago di Vico, 40.15 km² (Italia centrale), è oggetto di un monitoraggio il cui scopo principale è quello di valutare come l'assetto del territorio contribuisca al carico di nutrienti che giungono al corpo idrico. Scopo del presente lavoro è stato quello di valutare l'impatto delle tecniche colturali, soprattutto a carico dei nocciolieti, nei confronti del trasporto di nutrienti. La vulnerabilità dell'ambiente nei confronti di questo tipo di inquinamento è stata analizzata attraverso le caratteristiche morfologiche del territorio e mediante dati acquisiti dalla cartografia catastale.

Parole chiave: Impatto antropico; BMPs; Sostenibilità

Summary. Eutrophication represents one of the most causes of decayment of water quality in Europe. This particular kind of pollution mainly depends on human activities such as agriculture which, through soil erosion, contributes to an enrichment of nutrients, (Phosphorus and Nitrogen) of surface water bodies. Since more than fifteen years, a monitoring activity of the lake Vico watershed (40,15 Km², Central Italy) has been carrying out. Aim of the monitoring is the evaluation of the influence of landscape pattern and land use on the nutrients load reaching the lake.

In this paper, the impact of agricultural practices adopted for the hazelnut crop on the mobilization and transport of nutrients has been investigated.

The vulnerability of the environmental system to eutrophication has been analysed considering both the morphological characteristics of the watershed and the data obtained by means of the cadastral maps.

Key words: Anthropic impact, BMPs, Sustainability

1. Introduzione

La formazione e l'erosione del suolo sono processi naturali, influenzati da clima, morfologia e copertura del suolo. L'uomo, con la sua attività, soprattutto agricola, influenza la copertura del suolo accelerando i processi di erosione, che non solo riduce la fertilità, ma costituisce un grave problema per l'ambiente, per l'interrimento dei laghi e delle fa-

sce costiere, l'intorbidamento delle acque superficiali e l'apporto ad esse di nutrienti (Olem and Simpson 1994; Novotny 2005). Insieme al runoff, l'erosione del suolo genera le fonti diffuse di inquinamento (NPS) e l'eutrofizzazione dei bacini idrografici chiusi, come nel caso dei laghi, che risultano essere quelli maggiormente vulnerabili a causa dei lunghi tempi di rinnovo delle acque (Haycock and Muscutt 1995; Hoorman et al., 2008; Wang and Pant 2011).

Se per i corpi idrici in Europa, negli ultimi decenni, si è assistito ad una sensibile riduzione del carico di inquinanti proveniente da fonti puntiformi di inquinamento grazie al costante sviluppo della depurazione delle acque, non altrettanto è stato fatto per l'inquinamento scaturito dalle NPSs che rappresentano, a tutt'oggi, un problema per il rispetto degli standard di qualità delle acque; (Arheimer et al. 2004; Ripa et al. 2006). In questo processo l'agricoltura viene spesso indicata come il comparto produttivo maggiormente responsabile dell'inquinamento delle acque superficiali e di falda da fonti diffuse d'inquinamento (NPS) (Leone et al., 2008). Ciò sia a causa di un ampio uso di fertilizzanti, fitofarmaci, liquami, fanghi, compost, sia a causa delle stesse pratiche agronomiche che favoriscono il rilascio nell'ambiente di parte dei sottoprodotti prima citati (Leone and Marini 1993; Leone and Ripa 1998).

Scopo della presente ricerca è stato quello di classificare il territorio oggetto di studio in funzione della sua vulnerabilità, in termini sia di morfologia del terreno che di caratteristiche pluviometriche, nei confronti del rilascio dei nutrienti con particolare riferimento al fosforo (P). E' stato inoltre predisposto un database georeferenziato, a scala catastale, per l'individuazione puntuale di interventi, Best Management Practices (BMPs), da effettuarsi sul territorio con lo scopo di mitigare il carico di nutrienti che giungono al corpo idrico.

2. Materiali e metodi

2.1 Area di studio

L'area di studio ricade all'interno del bacino idrografico del lago di Vico situato a circa 55 km Nord-Ovest da Roma, figura 1. Tale bacino presenta una superficie totale di 40,15 km² così suddivisa: 27,9 km² di territorio, 0,15 zone umide e 12,1 km² rappresentano il corpo idrico. Il bacino è caratterizzato da un lago vulcanico il cui tempo di rinnovo è di circa 17 anni e, da un punto di vista pedologico, da suoli ascrivibili prevalentemente da lave leucitiche e da depositi piroclastici (Lulli et al. 1990).

Per quanto riguarda l'uso del suolo, questo ambiente rappresenta un interessante caso di studio per la valutazione dei carichi di nutriente che derivano principalmente dall'agricoltura e dalle foreste (Garnier 2010;

Leone & Marini, 1993). Infatti, le modeste aree residenziali sono concentrate in una piccola parte del bacino e l'agricoltura rappresenta la principale attività di natura antropica all'interno del bacino. L'uso del suolo, dunque, allo stato attuale è rappresentato dalle seguenti classi di copertura: 1.215 ha di foresta e 1.440 ha sono ascrivibili ad agricolo di cui 1.075 ha, pari all' 84%, rappresentati da nocciuleti, figura 2.

Riguardo il livello trofico del lago, un confronto tra i dati rilevati da studi condotti all'inizio degli anni '90 con quelli attuali, evidenzia un considerevole aumento nelle concentrazioni di P presenti nel corpo idrico. Tale aumento è principalmente imputabile alle colture intensive di nocciolo che, per ottimizzare la raccolta meccanizzata, prevedono il diserbo del suolo rendendolo così particolarmente vulnerabile ai processi erosivi e dunque al trasporto di nutrienti.

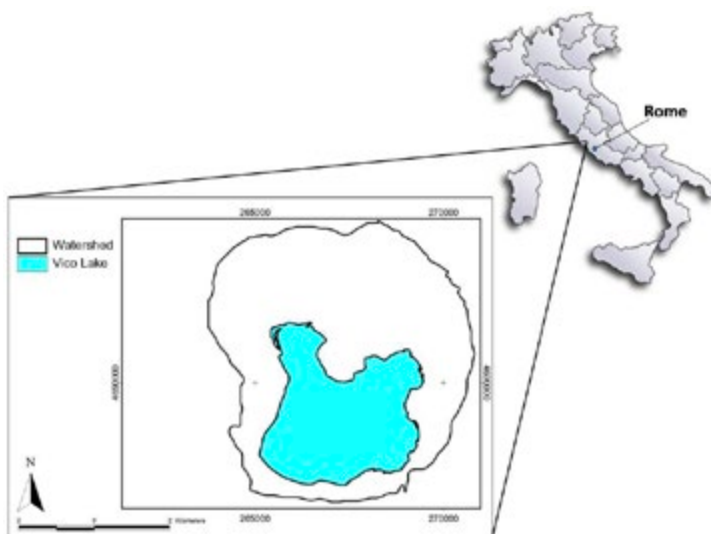


Fig. 1. Inquadramento territoriale del bacino del Lago di Vico.

2.2 *Analisi della vulnerabilità*

La vulnerabilità del territorio nei confronti del trasporto dei nutrienti è stata determinata attraverso la realizzazione di una carta del rischio erosivo mediante l'applicazione dell'equazione USLE (Universal Soil Loss Equation) eseguita in ambiente GIS (Geographic Information System) (Wischmeier 1959). Al fine di ottenere una corretta quantificazione del regime climatico per questa area, il fattore R-USLE è stato determinato mediante l'impiego di una serie



Fig. 2. Carta dell'Uso del Suolo del bacino del Lago di Vico.

storica di dati pluviometrici (1° febbraio 1998 – 30 gennaio 2010) ad alta risoluzione (10 min) rilevati dal pluviografo di Caprarola che, ubicato sulla linea spartiacque del bacino idrografico, risulta estremamente rappresentativo circa le condizioni climatiche dell'area di studio. L'impiego di dati pluviometrici ad alta risoluzione rappresenta una condizione imprescindibile per una corretta quantificazione dell'aggressività climatica dal momento che, per ogni evento erosivo, questa è maggiormente correlata alla massima intensità registrata nei 30' piuttosto che alla sua quantità totale:

$$R = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n [\sum_{k=1}^m (E)_k (I_{30})_k]_j \quad (1)$$

dove: I_{30} rappresenta la massima intensità registrata in 30' ed E l'energia cinetica in MJ ha^{-1} matematicamente definita dall'Eq. 2:

$$E = \sum_{k=1}^v 0.29 \cdot P_k (1 - 0.72e^{-0.082 \frac{P_k}{\Delta r}}) \quad (2)$$

Per quanto riguarda la determinazione delle condizioni di copertura del suolo e dei fattori morfologici del terreno, così come previsto dall'e-

quazione di Wischmeier e Smith, questi sono stati determinati rispettivamente attraverso dei sopralluoghi in campo che hanno consentito di implementare le informazioni contenute nella carta dell'uso del suolo Corine Land Cover e, per gli aspetti topografici, mediante l'impiego di un modello digitale del terreno (DEM) con risoluzione di 25 m. L'asportazione di suolo da una cella non sempre corrisponde all'effettivo apporto di suolo al lago che dipende anche dalla capacità del sedimento rimosso di essere veicolato verso il corpo idrico. Questa capacità di contribuzione è stata valutata prendendo in considerazione i seguenti fattori: 1) la distanza della cella dal lago; 2) la distanza della cella dal reticolo idrografico; 3) la morfologia del bacino. Questi tre fattori, sono stati considerati attraverso una procedura di Multi Criteria Evaluation prevista dal GIS IDRISI, per individuare le aree potenzialmente in grado di contribuire maggiormente all'apporto di sedimento al lago così da ottenere la Carta della capacità di Trasporto. Sovrapponendo la carta dell'erosione con la carta della capacità di trasporto si è ottenuta una carta delle aree critiche, cioè di quelle aree che, o per la notevole quantità di sedimento rimossa, o per la "attitudine" al trasporto, sono maggiormente responsabili dell'apporto di sedimento al lago.

Per la determinazione degli input di nutrienti nel sistema è stata sovrapposta la Carta delle aree critiche con la carta catastale che ha così consentito la campagna di interviste effettuate su un congruo numero di agricoltori per costituire un data base relativo alle tecniche colturali adottate.

3. Risultati

Dall'analisi della vulnerabilità ambientale per il bacino idrografico del Lago di Vico, intesa questa come rischio erosivo, si evince come il territorio preso in esame sia caratterizzato in larga misura da un basso rischio erosivo ($0-12 \text{ t ha}^{-1} \text{ anno}$), tale situazione è imputabile principalmente all'uso del suolo che, per questa classe di rischio, è prevalentemente caratterizzato da superfici forrestali e/o da pendenze lievi. Non altrettanto si verifica invece per i soprassuoli caratterizzati da colture intensive di nocioleti che vedono aumentare il rischio erosivo con valori che, in casi eccezionali, possono superare le $200 \text{ t ha}^{-1} \text{ anno}$, figura 3. Questo strato informativo costituisce la base conoscitiva attraverso cui, mediante un'analisi di Multi Criteria Evaluation eseguita a scala di bacino, è stato possibile individuare con maggior precisione le superfici che, considerata la morfologia del territorio, contribuiscono maggiormente al trasporto di nutrienti nel corpo idrico e conseguentemente ad un maggior carico trofico. (figura 4).

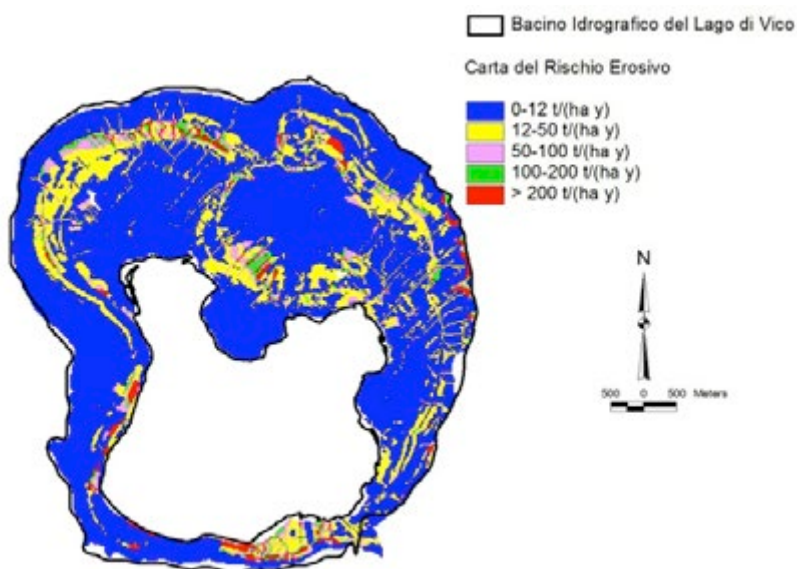


Fig. 3. Carta del Rischio Erosivo per il Bacino del Lago di Vico.

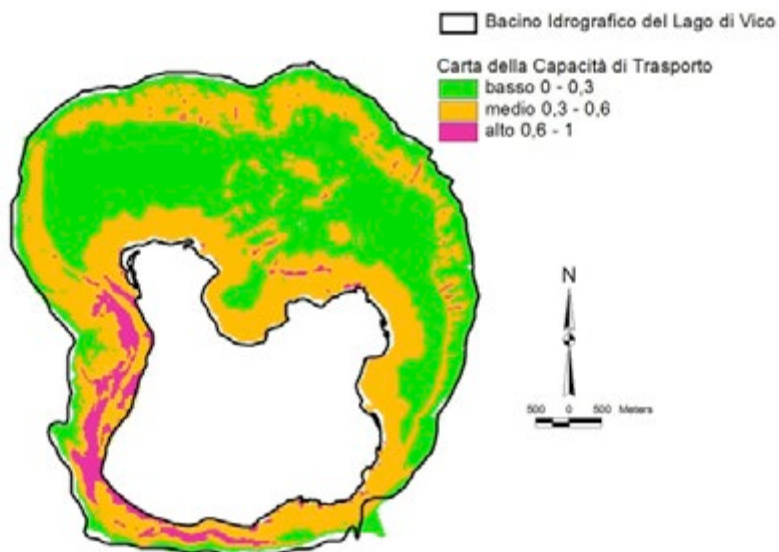


Fig. 4. Carta della Capacità di Trasporto per il Bacino del Lago di Vico.

Dalla sovrapposizione dei due strati informativi è stato così possibile ottenere la Carta delle Aree Critiche in cui il territorio è stato classificato in quattro classi che evidenziano le aree maggiormente in grado di contribuire all'apporto di nutrienti al lago incrementandone lo stato trofico. Il metodo, pur non fornendo indicazioni quantitative sull'effettivo apporto di sedimento, fornisce importanti informazioni di particolare utilità dal punto di vista gestionale. L'identificazione delle aree maggiormente responsabili del rilascio di nutrienti consente di promuovere l'adozione di BMPs ovvero di pratiche colturali alternative, la riduzione degli input produttivi o la realizzazione di interventi di mitigazione soprattutto in queste zone e quindi di massimizzare l'efficacia delle misure adottate.

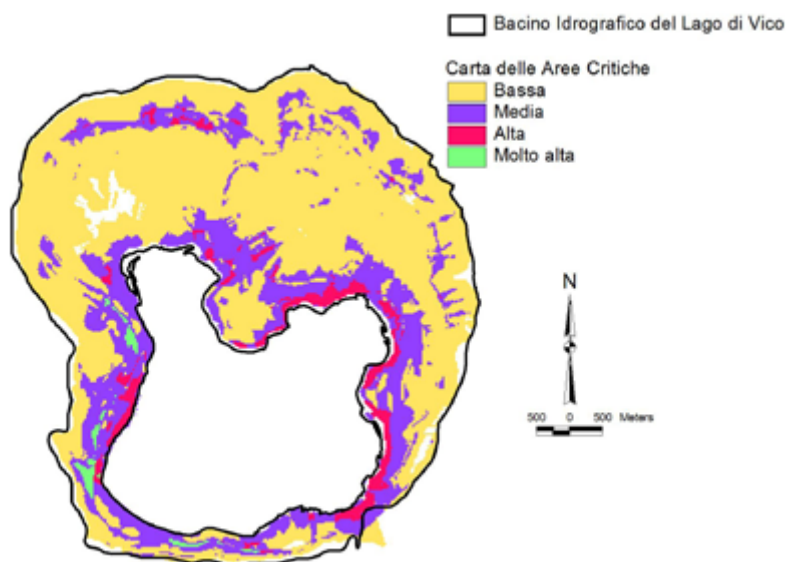


Fig. 5. Carta delle Aree Critiche.

Bibliografia

- Arheimer, B., Andersson, L., Larsson, M., Lindström, G., Olsson, J., & Pers, B. C. (2004). Modelling diffuse nutrient flow in eutrophication control scenarios. *Water Science and Technology*, 49(3):37-45
- Garnier M.; Recanatesi F.; Ripa M.N.; Leone A. (2010) Agricultural nitrate monitoring in a lake basin in Central Italy: a further step ahead towards an integrated nutrient management aimed at controlling water pollution. *Environmental Monitoring and Assessment*. 170 (1-4):273-286

- Haycock, N. E., & Muscutt, A. D. (1995). Landscape management strategies for control of diffuse pollution. *Landscape and Urban Planning*, 31, 313–321.
- Hoorman J., Hone T., Sudman Jr., Dirksen T., Iles J., Islam K.R. (2008) Agricultural Impacts on lakes and stream quality in grand lake St. Marys, Western Ohio. *Water Air and Pollution*. 193:309–322
- Leone A.; Ripa M.N.; Boccia L.; Lo Porto A. (2008), Phosphorus export from agricultural land: a new simple quantitative methodology, *Biosystems Engineering*. 101 (2): 270–280.
- Leone A; Marini R (1993). Assessment and mitigation of the effects of land use in a lake basin (Lake Vico in central Italy). *Journal of Environmental Management*, 39: 39–50.
- Leone A; Ripa M N (1998). Land use time evolution for the sustainability of agriculture in the Lake Vico basin (Central Italy). Commission International Genie Rural. 13th International Congress Rabat, Morocco, February 2–6th
- Novotny V. (2005). Diffuse pollution from Agriculture in the World, Proceedings from the International Workshop: ‘Where do fertilizers go?’. Belgirate, Italy, June, 28–29th.
- Olem, H.; Simpson, J. (1994). Lake and reservoir management. *Water Environment Research* 66(4) 489–496
- Ripa, M. N., Lone, A., Garnier, M., & Lo Porto, A. (2006). Agricultural land use and best management practices to control nonpoint water pollution. *Environmental Management*, 38(2), 253–266.
- Wang J., Pant H. (2011) Land use impact on bioavailable phosphorus in the Bronx river, New York. *Journal of Environmental Protection*, 2:342–358
- Wischmeier W.H., (1959) A Rainfall erosion index for a universal soil loss equation. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 32:246–249

UBICAZIONE OTTIMALE DEGLI IMPIANTI CONSORTILI PER IL TRATTAMENTO DEGLI EFFLUENTI DI ALLEVAMENTO

F. Volontè, F. Perazzolo, G. Sali, G. Provolò

Università degli Studi di Milano - Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali

Riassunto. L'ubicazione ottimale degli impianti consortili per il trattamento degli effluenti deve tener conto sia delle limitazioni ambientali, urbanistiche e normative del territorio, sia i costi di trasporto degli effluenti da trattare verso l'impianto e di quelli trattati verso le aziende o i terreni su cui vanno distribuiti. Con la finalità di considerare questi diversi aspetti in modo organico è stata sviluppata una metodologia in grado di individuare le possibili migliori ubicazioni di impianti di trattamento consortile degli effluenti di allevamento in un territorio noto. Il metodo sviluppato, implementato in un modello di simulazione, si basa sul calcolo della distanza media di conferimento e di una classificazione dell'ideoneità dei possibili siti, basata sull'analisi multicriteria.

La metodologia sviluppata è stata applicata a un territorio con elevata vocazione zootecnica in modo da valutare diversi scenari gestionali e tipologie di trattamento. I risultati ottenuti hanno consentito di confermare la validità dell'approccio utilizzato.

Parole chiave: Impatto ambientale, Carichi di azoto, Modelli di ottimizzazione

Summary. The optimal location of centralized treatment plants of animal manures should consider both the environmental and urban regulations, and the transportation costs of raw manure to the plant and of treated manures back to the farms or the land where they can be spread. With the aim to consider these different aspects in a comprehensive approach, a methodology has been developed to identify the best possible locations of a centralized treatment plant in a defined area. The methodology developed, implemented in a simulation model, is based on the transport distance of manure and a ranking of the suitability of possible sites based on a multicriteria analysis.

The methodology has been applied to an intensive livestock area where different management scenarios and treatment systems has been compared. The results obtained confirm the potential use of the defined methodology.

Key words: environmental impact, nitrogen loads, optimisation models

1. Introduzione

L'impatto ambientale delle zone a elevata densità di allevamenti zootecnici porta a un elevato rischio di deterioramento qualitativo dell'aria, dell'acqua e del suolo (fosfati e metalli pesanti). Inoltre, la non corretta gestione degli effluenti di allevamento accresce l'emissione di odori molesti e il rischio di trasmissione delle malattie (Burton e Turner, 2003).

Di particolare importanza sono le emissioni di protossido d'azoto (N_2O), metano (CH_4) e ammoniaca (NH_3) in atmosfera e di nitrati (NO_3) e fosforo verso i corsi d'acqua superficiali e in acque sotterranee, contribuendo all'effetto serra, all'acidificazione, all'eutrofizzazione e all'aumento dei nitrati nelle acque (Provolo G., 2012). L'agricoltura è una significativa fonte di emissione dei tre gas, per i quali sono stati fissati degli obiettivi di riduzione a livello nazionale, in conformità alle normative vigenti a livello europeo (91/676/CEE, 2010/75/UE). L'impatto ambientale viene notevolmente aggravato dallo squilibrio tra la crescente domanda di produzione animale e il relativo aumento di terre impiegate a scopo foraggero. Inoltre, l'orientamento degli agricoltori a utilizzare fertilizzanti di sintesi comporta un depauperamento del tenore di sostanza organica nei suoli con conseguente accelerazione dei processi erosivi e perdita di fertilità (Bassanino et al., 2006). Gli sforzi per la valorizzazione dei nutrienti, contenuti negli effluenti zootecnici per le produzioni colturali, potrebbero ridurre efficacemente alcuni problemi di inquinamento, contribuire alla fertilizzazione delle colture e ridurre il bisogno di fertilizzanti minerali. Tale sostituzione permetterebbe anche un risparmio di energia dato dalla riduzione nell'utilizzo di combustibili fossili usati durante la produzione industriale dei fertilizzanti di sintesi (Ceotto, 2005). Per ottenere questi risultati è spesso necessario realizzare impianti di trattamento degli effluenti che non sono convenientemente realizzabili nelle singole aziende. Infatti, la complessità e le economie di scala richiedono dimensioni degli impianti che ben si adattano a una logica consortile. Anche il legislatore, sensibile a questa esigenza ha introdotto nel decreto sull'utilizzo agronomico degli effluenti zootecnici (d.m. 07/04/2006), una chiara indicazione sull'opportunità di valutare soluzioni consortili. Tali soluzioni prevedono però il trasporto degli effluenti dalle aziende conferenti e la distribuzione sui terreni dei prodotti risultanti dal trattamento effettuato che mantengono un significativo contenuto di elementi fertilizzanti.

Nella definizione della localizzazione degli impianti di trattamento consortili, diventa rilevante valutare la possibilità di individuare le aree più adatte tenendo conto anche delle caratteristiche dell'area e dei vincoli ambientali. A questo scopo è stato studiato un modello gestionale in grado di poter ubicare al meglio sul territorio impianti di trattamento consortile degli effluenti di allevamento minimizzando la distanza di trasporto e sollevando in parte l'agricoltore dal problema dell'azoto in eccesso, consentendo quindi di ridurre il rischio di inquinamento ambientale.

2. Approccio metodologico

L'individuazione dei siti più adatti all'ubicazione di un impianto per il trattamento consortile di effluenti di allevamento deve tener conto di

due elementi principali. Il primo riguarda l'opportunità di individuare, tra le zone disponibili per la realizzazione di un impianto, quelle che rispondono meglio dal punto di vista ambientale, tenendo conto delle caratteristiche del territorio circostante e dell'impatto che deriva dalla realizzazione dell'opera prevista. Il secondo elemento da prendere in considerazione riguarda la scelta di una località che ottimizzi l'esigenza di trasportare gli effluenti dalle singole aziende zootecniche all'impianto di trattamento. Tali aspetti devono essere analizzati in modo combinato e portare a una valutazione armonizzata dei diversi elementi di analisi in modo da fornire una risposta diretta della propensione del territorio a ricevere il nuovo sito di trattamento.

Lo sviluppo di un metodo che porti a questo risultato non può prescindere dal contesto locale. E' pertanto necessario prendere in considerazione la posizione delle aziende zootecniche sul territorio, i quantitativi di liquami prodotti e le particelle disponibili allo spandimento, in modo da poter valutare l'effetto degli interventi sul sistema produttivo e garantirne la sostenibilità secondo le norme legislative vigenti.

Il lavoro svolto ha previsto la messa a punto di una metodologia finalizzata a supportare l'individuazione di un impianto di trattamento degli effluenti sulla base dei presupposti riportati e di applicarlo a un caso concreto relativo a un'area della provincia di Lodi.

L'approccio utilizzato richiede la definizione della tipologia di trattamento da utilizzare in quanto questo si riflette sul risultato finale sia in termini tecnici, sia economici.

Per questo sono stati previste due tipologie di trattamento di rimozione dell'azoto. Entrambe prevedono un trattamento biologico di nitrificazione-denitrificazione, ma con diverse efficienze e complessità dell'impianto. La prima (NDN) prevede un impianto a vasche separate con rimozione elevata dell'azoto in ingresso (80%); la seconda invece consente una rimozione più blanda dell'azoto (60%) e consiste in una tipologia impiantistica con trattamento sequenziale nella stessa vasca (SBR). Una terza possibilità di gestione consortile riguarda uno stoccaggio centralizzato con una redistribuzione dell'effluente senza una riduzione dell'azoto. Questa soluzione è applicata nel caso in cui, anche se le singole aziende hanno eccedenze di azoto, complessivamente i terreni a disposizione sono sufficienti per ricevere gli effluenti prodotti. Per queste diverse soluzioni impiantistiche e gestionali sono stati calcolati i costi di trattamento e gestione. Anche per il trasporto e la redistribuzione degli effluenti sono stati calcolati i costi in relazione alla distanza di trasporto.

Il modello metodologico realizzato, il cui schema è riportato in Fig. 1, prevede dapprima la determinazione dell'idoneità delle unità territoriali utilizzate. In prima applicazione queste sono state identificate con le particelle catastali. Il metodo utilizza un'analisi multi criteria (AMC), per identificare le zone maggiormente idonee all'ubicazione di un impianto

di trattamento consortile. L'aggettivo "idonee" implica il rispetto di determinate aree di territorio in cui, per motivi ambientali, normativi ed urbanistici, non è possibile ubicare un impianto di questo tipo (distanze dalle infrastrutture, distanze dai corpi idrici, aree con problemi urbanistici e ambientali, morfologia naturale del territorio). Tali informazioni, ricavate in letteratura (Ma et. al., 2005, Sener et. al., 2006, Sharifi et. al., 2009, Tavarez et. al., 2011), sono state usate per determinare le zone potenzialmente destinabili all'ubicazione di un impianto di questo tipo. Attraverso l'AMC è stata analizzata ogni singola particella per essere classificata numericamente sulla base di un certo numero di criteri.

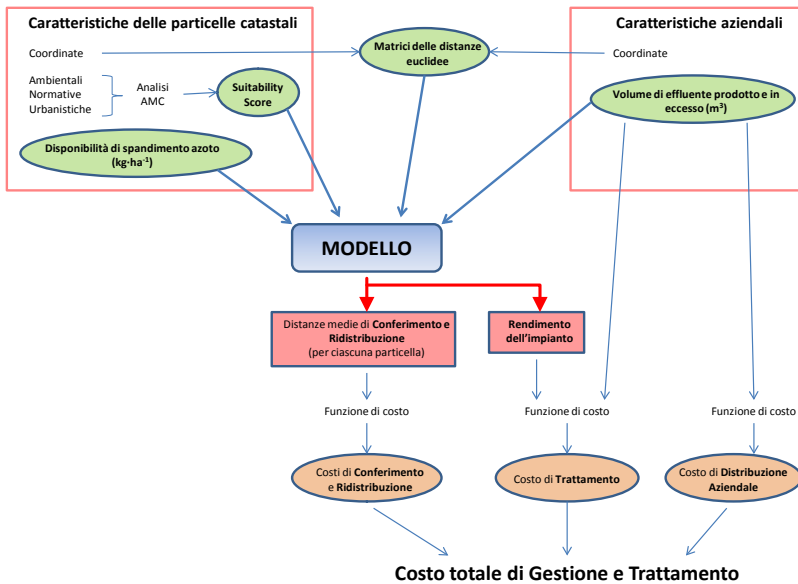


Fig. 1. Schema metodologico per il calcolo dei costi di gestione e trattamento.

Questi criteri, riportati in Tab. 1, vengono scomposti prima in subcriteri e successivamente in attributi con lo scopo di ottenere una migliore classificazione del territorio e permettono di attribuire alle particelle un punteggio compreso tra 0 e 100, identificando così le particelle più idonee all'ubicazione dell'impianto. Successivamente, i punteggi relativi a ogni singolo attributo vengono raccolti, pesati e ordinati secondo un indice di suitability. In questo modo viene fornito un punteggio standardizzato e confrontabile per ogni particella presa in esame. È stato inoltre considerato il fatto che alcune particelle potessero essere localizzate in zone dove la realizzazione dell'impianto compromettesse significativamente vincoli ambientali, normativi ed urbanistici. Tali vincoli

sono stati scelti tra gli attributi proposti in modo che, se l'attributo della particella non rispetta un determinato valore, il punteggio di suitability restituito risulti pari a zero, escludendola di fatto dall'elenco delle particelle disponibili per l'ubicazione dell'impianto.

Tab. 1. Classificazione dei criteri, subcriteri e attributi con i relativi pesi per l'identificazione delle aree idonee e non all'ubicazione dell'impianto Spostare dove serve o cancellare in caso contrario

CRITERI	SUBCRITERI	ATTRIBUTI	CLASSIFICAZIONE						peso relativo	peso relativo normalizzato
			molto adatto (100)	adatto (80)	mediamente adatto (60)	inadatto (40)	completamente inadatto (20)	area di esclusione (0)		
DISTANZE DA INFRASTRUTTURE	reti ferroviarie		-	-	-	-	-	< 0,03 km	-	-
	reti di trasmissione		-	-	-	-	-	< 0,2 km	-	-
	strade	autostrade	-	-	-	-	-	< 0,06 km	-	-
		rete stradale	0,03 km	-	> 0,03 km	-	-	< 0,03 km	80	0,1270
	aeroporti		-	-	-	-	-	< 0,5 km	-	-
	impianti preesistenti		-	-	-	-	< 0,2 km	-	-	
PROBLEMATI CHE SOCIALI E LEGALI		città (> 10000 abitanti)	> 5 km		intervalli tra 2 e 5 km			< 2 km	70	0,1111
		zone residenziali	> 3 km		intervalli tra 1 e 3 km			< 1 km	50	0,0794
		aree rurali (<1000)	> 1 km		intervalli tra 0,4 e 1 km			< 0,4 km	40	0,0635
		superficie parco	-	-	-	-	-	< 0,5 km	-	-
		superficie SIC	-	-	-	-	-	< 0,5 km	-	-
		superficie ZPS	-	-	-	-	-	< 0,5 km	-	-
		aree naturali protette	-	-	-	-	-	< 0,5 km	-	-
	rete ecologica	-	-	-	-	-	< 0,5 km	-	-	
	ambito di valorizz. amb.	-	-	-	-	-	< 0,5 km	-	-	
MORFOLOGIA NATURALE		valore naturalistico del suolo	basso			medio		alto	90	0,1429
		uso del suolo	zone degradate, dismesse o adibite ad uso industriale	limitazioni molto forti all'uso agricolo	severe limitazioni all'uso agricolo	ANI	AIF	laghi, fiumi, urbanizzato	100	0,1587
		zona coperta da vegetazione	0%	Intervalli tra 0 e 100% di superficie coperta			100%	80	0,1270	
		pendenza	< 5 %	valori compresi tra 5 e 15 %			> 15 %	40	0,0635	
DISTANZE DA CORPI IDRICI		fiumi, laghi	> 0,5 km	intervalli tra 0,1 - 0,5 km			< 0,1 km	80	0,1270	
		pozzi e sorgenti	-	-	-	-	< 0,5 km	-	-	
	profondità falda acquifera	> 15 m	intervalli tra 5 - 15 m			< 5 m	80	0,1270		

AIF agricoltura irrigua e frutteti, ANI agricoltura non irrigua.

TOTALE 630 1,0000

Le particelle catastali sono riconducibili al comune nel quale sono collocate e alle aziende che ne fanno uso per l'utilizzazione agronomica degli effluenti. L'identificazione delle particelle di proprietà aziendale con allegata l'informazione riguardante le zone vulnerabili, ha permesso di calcolare la quantità di azoto totale distribuibile sui terreni aziendali e di calcolare il possibile eccesso azotato.

Attraverso poi l'implementazione in un modello del punteggio di suitability, ottenuto dall'analisi AMC, la disponibilità di spandimento (kgN) delle particelle, il volume di effluenti da trattare e le matrici delle distan-

ze aziende-particelle per l'impianto e particelle per l'impianto-particelle ricettive, è stato possibile ricavare le distanze medie di conferimento e redistribuzione dell'effluente per ogni singola particella catastale. Minimizzando tali distanze è stato possibile individuare quali particelle fossero le migliori candidate a ubicare l'impianto. Ipotizzando di trattare tutto l'effluente prodotto dalle aziende consorziate oppure solamente il volume in eccesso, conseguente alla distribuzione su terreni aziendali e variando la disponibilità dei terreni atti allo spandimento, si sono potuti identificare tre scenari differenti, ognuno dei quali identifica una possibile tipologia gestionale descritta in Fig. 2, 3 e 4.



Fig. 2. Le aziende conferiscono all'impianto di trattamento solo l'effluente in eccesso (SC 1).

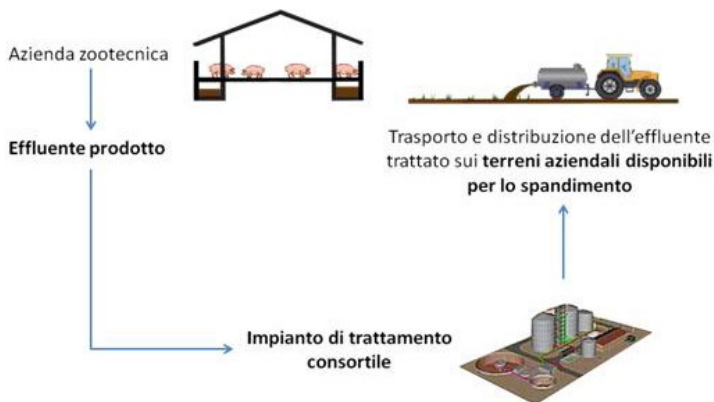


Fig. 3. Le aziende conferiscono all'impianto di trattamento tutti gli effluenti prodotti e l'impianto provvede a ridistribuirli sui terreni di proprietà aziendale una volta trattati (SC2).



Fig. 4. Le aziende conferiscono tutto il materiale prodotto all'impianto di trattamento (SC3).

Una volta identificato il set di aziende su cui intervenire, con i rispettivi dati di input, le particelle idonee per l'impianto ottenute attraverso l'AMC e le particelle ricettive per il carico azotato, è stato possibile avviare il procedimento di calcolo. Sono state così ottenute le distanze euclidee pesate di conferimento dell'effluente all'impianto e di redistribuzione dell'effluente alle particelle ricettive, in funzione del volume da trasportare e del tipo di scenario analizzato. Inoltre il modello ha fornito indicazioni in merito al rendimento dell'impianto, calcolato utilizzando i dati di disponibilità residua delle particelle e il volume dell'effluente da trattare. Qualora il rendimento risulti pari a zero, implicando un'adeguata disponibilità di terreni su cui effettuare lo spandimento, non servirebbe alcun impianto di trattamento per ridurre la concentrazione azotata. In questa situazione il metodo prevede semplicemente un centro di stoccaggio e gestione degli effluenti di tipo consortile. Attraverso l'utilizzo delle distanze euclidee di conferimento e redistribuzione dell'effluente, per ogni particella catastale analizzata nell'area di studio, sono stati successivamente calcolati i rispettivi costi di trasporto, distribuzione, trattamento o stoccaggio dell'effluente riferendosi a lavori pregressi (Provolo, 2012), con lo scopo di ottenere un costo unitario di gestione dell'effluente da trattare per ogni scenario gestionale.

3. Risultati

Il modello è stato applicato a un territorio costituito da 6 comuni della provincia di Lodi, comprendente 53 aziende zootecniche di cui era-

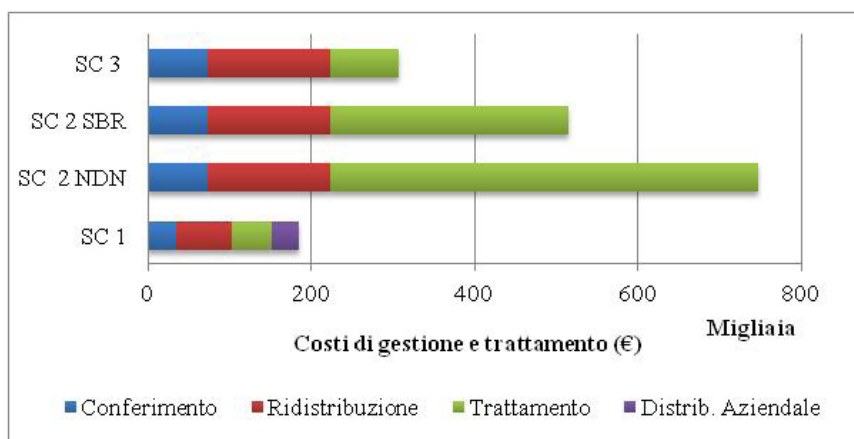


Fig. 5. Costi minimi di gestione e trattamento dell'effluente per ogni Scenario gestionale

no note l'ubicazione e la consistenza dell'allevamento. La base catastale che copre il territorio dei 6 comuni è stata collegata alle informazioni disponibili delle aziende in modo da poter individuare le particelle catastali utilizzabili per la distribuzione degli effluenti e la loro appartenenza alle aziende zootecniche e non del territorio. Per sintesi vengono qui riportati i risultati solo di una elaborazione riguardante un gruppo di 11 aziende situate nella parte nord dell'area di studio.

La base cartografica ha consentito di ottenere le distanze medie di conferimento e ridistribuzione nei tre scenari gestionali precedentemente descritti.

I risultati del metodo utilizzato ha permesso di determinare per la localizzazione ottimale dell'impianto i costi relativi agli scenari gestionali ipotizzati. Tali costi sono stati attribuiti ripetendo il calcolo ipotizzando la realizzazione dell'impianto in ciascuna delle particelle catastali disponibili. In Fig. 5 è stato riportato il costo minimo di gestione e trattamento ottenuto. In particolare, nello Scenario 1 e nello Scenario 3 sono stati riscontrati dei costi di trattamento piuttosto bassi se confrontati con lo Scenario 2. Infatti queste due opzioni prevedono un semplice stoccaggio consortile degli effluenti in quanto la disponibilità delle particelle selezionate per lo spandimento è sufficiente a distribuire tutto l'effluente prodotto dalle aziende consorziate. Lo Scenario 1 prevede poi un costo di distribuzione dell'effluente sulle particelle gestite dalle aziende consorziate e il trattamento solo della frazione in eccesso di ciascuna azienda, riducendo i volumi da trasportare.

I costi di trattamento previsti per lo Scenario 2 risultano più elevati a causa della necessità di operare un trattamento per la riduzione della frazione azotata distribuibile. In particolare questo Scenario considera la

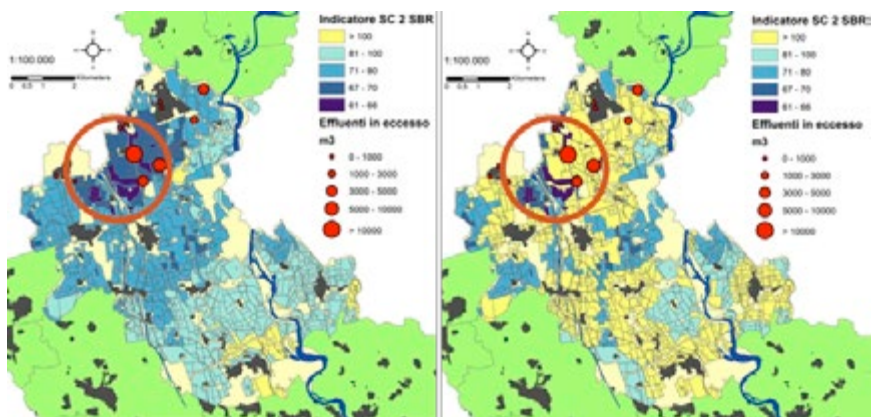


Fig. 6. Rappresentazione GIS dell'indicatore di ubicazione dell'impianto per le aziende del Gruppo A (cerchi arancio) nello Scenario 2, a sinistra la carta con tutti i terreni potenzialmente idonei, a destra la stessa carta ma con visualizzate le particelle escluse in colore giallo

possibilità di utilizzare le due tipologie di impianto previste per l'abbattimento dell'azoto prodotto con due differenti costi di esercizio. È osservabile la notevole incidenza del costo di trattamento degli effluenti, nettamente superiore ai costi di conferimento e redistribuzione.

In Fig. 6 sono riportate le particelle catastali meglio candidate all'ubicazione dell'impianto per lo Scenario 2 e classificate secondo l'indicatore di scelta delle particelle che permette di attribuire un punteggio sia considerando il costo totale di gestione e trattamento, sia considerando i punteggi di suitability attribuiti a ciascuna particella. La figura di destra risulta maggiormente selettiva perché sono stati considerati dei criteri vincolanti all'ubicazione dell'impianto, quindi presenta maggiori aree di esclusione (colore giallo).

4. Conclusioni

È stato proposto un metodo di selezione del sito basato su AMC con lo scopo di individuare le aree migliori per l'ubicazione di un impianto consortile per il trattamento o lo stoccaggio degli effluenti. Tale strumento può essere un utile supporto alla valutazione, ma va prestata notevole attenzione alla scelta e ponderazione dei criteri per l'analisi. Tali parametri possono, infatti, risultare molto diversi a seconda delle caratteristiche del territorio interessato.

Pur con alcune limitazioni legate anche alla disponibilità di dati sul territorio, il metodo definito e il modello sviluppato hanno permesso di

fornire risultati interessanti e di immediata ricaduta operativa. La definizione di sistemi di supporto alle decisioni basati su queste metodologie può consentire quindi di fornire un valido contributo alla definizione delle soluzioni ottimali che, tenendo conto di aspetti ambientali e dei costi di gestione, possono supportare gli allevatori nel rendere la loro attività sostenibile nel rispetto delle normative.

Ringraziamenti

Il lavoro è stato realizzato nell'ambito del progetto SEESPIG (www.seespig.unimi.it), supported by Progetto AGER, grant n° 2010-2220

Bibliografia

Burton, C.H. The potential contribution of separation technologies to the management of livestock manure, *Livestock Science*, 2007, 112, 208–216.

Bassanino M. Borelli F. Grignani C. Sacco D., 2006. I reflui possono ridurre i costi di fertilizzazione. *L'informatore Agrario*, 62 (26) p.28.

Ceotto, E. The issues of energy and carbon cycle: new perspectives for assessing the environmental impact of animal waste utilization. *Bio-resource Technology*, 2005, 96, 191–196.

Ma J., Norman R. Scott, Stephen D. DeGloria, Arthur J. Lembo, 2005. Siting analysis of farm-based centralized anaerobic digester systems for distributed generation using GIS. *Biomass and Bioenergy* 28 (2005) 591–600.

Provolo G., 2012. Effluenti zootecnici. Impiantistica e soluzioni tecnologiche per la gestione sostenibile. Maggioli editore. Santarcangelo di Romagna.

Sharifi M., Hadidi M., Vessali E., Mosstafakhani P., Taheri K., Shahoie S., Khodamoradpour M., 2009. Integrating multi-criteria decision analysis for a GIS-based hazardous waste landfill siting in Kurdistan Province, western Iran. *Waste Management* 29 (2009) 2740–2758.

Sener, B., Suzen, L., Doyuran, V., 2006. Landfill site selection by using geographic information systems. *Environmental Geology* 49, 376–388.

Tavares G., Zsigraiová Z., Semiao V., 2011. Multi-criteria GIS-based siting of an incineration plant for municipal solid waste. *Waste Management* 31 (2011) 1960–1972.

CLASSIFICAZIONE DI VOCAZIONALITA' ALL'IMPIEGO DI ENERGIE RINNOVABILI MEDIANTE GRID MULTI-LAYER

D. Statuto, A. Tortora, P. Picuno

Dipartimento Tecnico-Economico per la Gestione del Territorio Agricolo-Forestale - DITEC - Università degli Studi della Basilicata

Riassunto. Le energie rinnovabili rappresentano una valida alternativa alle fonti energetiche tradizionali, in quanto non compromettono la disponibilità di risorse naturali e non immettono nell'atmosfera sostanze climalteranti e nocive. Grazie alla sua morfologia, orografia ed alle caratteristiche del patrimonio agricolo e forestale la Regione Basilicata ben si presta ad essere considerata un serbatoio di energia pulita.

L'obiettivo del presente lavoro è quello di individuare la vocazionalità del territorio lucano rispetto a ciascuna delle varie fonti di energia rinnovabile, in particolare individuando aree potenzialmente più idonee alla produzione di energia solare, eolica e da biomasse mediante l'impiego di Grid Multi-Layer. Le analisi delle caratteristiche del territorio sono state realizzate attraverso opportune elaborazioni GIS che hanno condotto alla realizzazione di una banca dati territoriale restituita sotto forma di un raster grid capace di contenere tutte le informazioni necessarie per la definizione della vocazionalità energetica.

Il Grid Multi-Layer realizzato permette di valutare l'idoneità energetica del territorio rispetto alle varie fonti di energia considerate, costituendo così un valido supporto nella programmazione delle politiche energetiche regionali, in grado di garantire una più consapevole opera di pianificazione e gestione del territorio.

Parole chiave: Energie rinnovabili, GIS, Grid Multi-Layer

Summary. Renewable energy represents a common valid alternative to fossil fuels due to both its low environmental impact and low gas emission (especially CO₂). Basilicata Region (in the South of Italy), due to its morphology, orography and agricultural and forestry heritage, could be considered an efficient energy reserve. The aim of this research is to identify, using a Grid Multi-Layer approach, if specific agricultural and forest areas are suitable for renewable energy production of the Regionl land, referring to solar energy, wind energy and biomasses. Land properties were analyzed processing data with GIS technology, achieving a territorial database in the form of a raster grid, able to contain all the informations for the evaluation of the energy suitability.

The obtained Grid Multi-Layer allows to evaluate the eligible energy of land for the different energy source considered, and provide an excellent support for planning of the local energy policies, ensuring proper planning and land management.

Key words: Renewable Energy, GIS, Grid Multi-Layer

1. Introduzione

La domanda di energia, nei paesi occidentali e in quelli in via di sviluppo (*Yue and Wang, 2006*) è in costante crescita, ma i cambiamenti cli-

matici, unitamente alla riduzione dei giacimenti fossili, hanno fatto sì che l'attenzione si rivolgesse sempre più verso le risorse energetiche rinnovabili. Esse possono contribuire a ridurre la dipendenza dei paesi dalle importazioni energetiche e contemporaneamente ridurre l'emissione di gas-serra. L'approvvigionamento e la natura strategica delle bioenergie va inquadrata nel contesto del territorio agricolo-forestale coinvolto nel meccanismo di produzione delle stesse, infatti la gestione delle risorse va pianificata attraverso un'analisi integrata delle potenzialità del territorio. Il presente lavoro è finalizzato alla realizzazione, mediante uno studio territoriale approfondito delle caratteristiche della regione, di un *Grid Multi-Layer*, che contiene tutte le informazioni necessarie al fine di identificare la vocazionalità energetica rispetto alle diverse fonti di energia rinnovabile indagate (Tiba et al., 2010).

Le bioenergie considerate e per le quali è stata valutata la maggiore idoneità ambientale sono:

- l'energia eolica,
- l'energia solare,
- l'energia da biomassa forestale,
- l'energia da biomassa agricola.

2. *Materiali e metodi*

2.1 *Area di Studio*

L'area oggetto di studio, sulla quale è stata condotta l'indagine volta all'identificazione della vocazionalità energetica, è l'intero territorio della Regione Basilicata. Il territorio della Basilicata risulta in gran parte montuoso (47%) e collinare (45%), per cui ben si presta, soprattutto nelle aree di crinale, all'istallazione di aerogeneratori per la produzione di energia eolica. Le zone collinari e pianeggianti, soprattutto quelle esposte a sud, possono essere sfruttate per l'istallazione di pannelli fotovoltaici per la produzione di energia da solare. E' stato condotto uno studio per valutare le aree potenzialmente idonee alla produzione "sostenibile" di biomasse legnose a fini energetici dato che la superficie forestale della Basilicata è di 354.895 ha con un relativo indice di boscosità pari al 35.6%. Per quanto riguarda invece la produzione di biomassa derivante da colture energetiche, il territorio della regione classificato come superficie agricola utilizzata (SAU) è pari al 77%.

2.2 *Base dati territoriale*

Le analisi per la definizione della diversa idoneità energetica sono state eseguite partendo dal *Modello Digitale del Terreno (DTM)* della Re-

gione e, utilizzando specifici *tools*, è stato possibile calcolare *Esposizione e Pendenze (Aspect e Slope)* (Hoesen and Letendre, 2010), fattori importanti nell'individuazione dei criteri di valutazione. Per ciascuna forma di energia rinnovabile considerata sono stati valutati diversi fattori che hanno contribuito alla definizione della diversa vocazionalità energetica territoriale. Per individuare le aree idonee alla produzione di energia eolica è stato fatto riferimento all'atlante eolico del CESI, per la definizione delle aree maggiormente vocate all'installazione di pannelli fotovoltaici e per l'individuazione delle superfici agricole da destinare alle coltivazioni energetiche (il sorgo in questo lavoro), sono state considerate le aree destinate ai seminativi, mentre per la valutazione della biomassa forestale i dati di partenza sono stati ricavati dalla Carta Forestale. Infine, nella restituzione dei risultati, sono state escluse dalla identificazione della vocazionalità le Aree Protette, oltre che i siti archeologici con un buffer di 1 km, le aree franose e le aree a rischio inondazione.

2.3 Elaborazioni

Le diverse elaborazioni GIS sono state eseguite per identificare l'idoneità energetica delle diverse fonti: eolica, fotovoltaica, forestale e da biomassa.

Energia eolica

L'individuazione delle aree più idonee alla produzione di energia eolica è stata possibile utilizzando la griglia dell'*Atlante Eolico*. In particolare, per poter valutare i siti potenzialmente idonei all'installazione di un aerogeneratore, sono stati considerati i seguenti parametri:

- velocità media del vento;
- pendenza;
- assenza di copertura forestale.

Dalla griglia dell'atlante sono state selezionate le celle nelle quali il valore di velocità media del vento, ad un'altezza di 25 m. dal suolo, risulta superiore o uguale a 5,5 m/s; per poter restringere il campo e selezionare dei siti facilmente accessibili e poco acclivi, sono stati considerati solamente i territori in cui il valore di pendenza è compreso tra 6 e 16° ed inoltre sono state escluse dall'elaborazione anche le aree forestali. Dall'intersezione di questi elementi risulta che il territorio regionale che meglio si adatta alla produzione di energia eolica è collocato essenzialmente nella parte settentrionale. Considerando il numero di celle idonee e che ciascuna cella ha una dimensione pari a 20x20m, la superficie idonea alla produzione di energia eolica è pari a 31.650 ha. Inoltre, come risulta dall'atlante eolico, la producibilità media del territorio considerato è pari a 2000 MWh/a.

Energia da solare fotovoltaico

L'individuazione di aree vocate allo sfruttamento dell'energia solare mediante pannelli fotovoltaici posizionati su terreno agricolo è stata ottenuta considerando:

- esposizione dei versanti;
- terreni pianeggianti;
- pendenze poco elevate
- superfici agricole.

Le estensioni territoriali idonee all'istallazione di pannelli fotovoltaici sono state ottenute utilizzando l'esposizione dei versanti, scegliendo le sole aree classificate SUD e i terreni pianeggianti (FLAT). I terreni idonei all'istallazione degli impianti risultano quelli con una pendenza compresa tra 0 e 30°, dato che l'inclinazione del pannello fotovoltaico può essere controllata attraverso idonei supporti che però non possono eccedere determinati limiti. Le superfici agricole selezionate per l'analisi sono state ottenute dall'uso del suolo considerando le aree classificate "agricolo" e "pascoli". Dall'intersezione di questi criteri e mediante le operazioni *raster calculator* risultano vocate all'istallazione di pannelli fotovoltaici circa 107.400 ha.

Energia da biomassa forestale

Dai dati della Carta Forestale risulta che i boschi hanno una superficie pari a 354.895 ha. Le considerazioni a scala regionale riguardano innanzi tutto le categorie fisionomiche, si nota una netta prevalenza dei querceti mesofili e meso-termofili, che rappresentano il 51,8% della superficie forestale complessiva (*Dati Podis 2006*). Il bosco costituisce un elemento centrale nel sistema territoriale ed ambientale della regione, svolgendo molteplici funzioni, quali la protezione del suolo, la salvaguardia della biodiversità, la produzione di legno e la produzione di biomassa per energia. A tal fine è stata stimata la quantità di biomassa legnosa convertibile in energia tramite un confronto tra la biomassa attualmente estratta dai boschi e un'ipotesi di sviluppo energetico derivante dalla migliore gestione e manutenzione dei soprassuoli forestali.

La disponibilità della biomassa è stata calcolata al lordo della legna già impiegata per fini energetici o in altre filiere, utilizzando le formule seguenti:

$$L.tq [m^3/ha] = (S. t.) * (P. m.) * \left(1 - \frac{U}{100}\right)$$

$$T.L. [t ss/a] = (T.l.tq) * (M.v.ss) * \left(1 - \frac{U}{100}\right)$$

Dove:

- L. tq = Legna tal quale: espressa in m³/ha
- S. t. = Superficie tagliata: rappresenta la superficie forestale interessata da interventi di taglio (espressa in ha)
- P. m. = Produttività media del bosco: espressa in m³/ha
- U. = Umidità media delle piante: espressa in %
- T. L. = Totale Legna: espressa come tonnellate di sostanza secca disponibile per anno (t ss/a)
- T. l. tq = Totale Legna tal quale: espressa in m³/ha
- M. v. ss = Massa volumica sostanza secca: relativa a ciascuna specie e derivante da tabelle di massa volumica: espressa in t/m³.

Sulla base di dati statistici quali superficie forestale, superficie tagliata (*dato ISTAT 2009*) e di parametri di calcolo medi (produttività 200 m³/ha, massa volumica pari a 0,7 t/m³ e umidità della legna 45%), è stata calcolata la disponibilità (*t/anno di ss*) di **biomassa legnosa** attualmente convertibile in energia.

Tab. 1. Stima quantitativo biomassa disponibile anno 2009

Sup. boschiva rea- le (ha)	Superficie tagliata (ha/anno)	Legna tq (mc/ha)	Totale legna ss (t/a)
354.895	3.892	321.090	123.619

Considerando invece l'ipotesi di sviluppo energetico della filiera legno, è stata stimata una percentuale di superficie da destinare al taglio pari al 2% per le fustaie, 4% per i cedui e 3% per i popolamenti transitori.

I criteri utilizzati per stimare le produttività dei vari boschi e derivanti dall'analisi del territorio e dalla carta forestale sono stati:

- pendenza inferiore al 70%;
- accessibilità;
- accidentalità;
- percentuale di copertura.

Inoltre sono stati attribuiti anche valori diversi di massa volumica a seconda delle categorie fisionomiche presenti; dall'intersezione dei diversi fattori appare evidente che il quantitativo di biomassa calcolato è nettamente maggiore nell'ipotesi di sviluppo energetico rispetto alla biomassa derivante dalla superficie tagliata nell'anno 2009.

Tab. 2. Stima quantitativo biomassa disponibile in ipotesi di sviluppo energetico

Stima biomassa legnosa in ipotesi di sviluppo energetico				
Categorie fitosionomiche di I livello	Sup. totale (ha)	Superficie tagliata (ha/anno)	Legna tq (mc/ha)	Totale legna ss (t/a)
Fustaia	111.240	2.225	244.728	94.220
Ceduo	152.228	6.089	334.901	128.937
Popolamenti transitori	32.190	966	53.113	20.449
Totale			632.743	243.606

Energia da biomassa derivante da coltivazioni energetiche

Riguardo le colture energetiche, l'obiettivo, anche in questo caso, è stato quello di valutare l'adattabilità del territorio alla coltivazione di una specie vegetale idonea alla produzione di biomassa. Come coltura di riferimento è stata presa in esame il **sorgo da fibra** (*Sorghum bicolor L. Moench*). Al fine di valutare l'adattabilità di questa coltura al territorio della Regione Basilicata, sono stati considerati i terreni definiti come "Seminativi non Irrigui" con pendenza inferiore al 20%. Inoltre sono stati analizzati una serie di parametri pedologici, climatici e ambientali; i valori sono stati standardizzati attribuendo un indice che esprime i gradi di limitazione (da 0 a 100, dal peggiore al migliore), inoltre, per ciascuna caratteristica diagnostica è stato attribuito un peso, che va da 0 a 1, in base all'importanza del parametro come fattore limitante per la specie. Nella tabella 3 sono riportati i vari parametri classificati secondo i requisiti del sorgo.

Una volta assegnati gli indici e i pesi ai vari criteri diagnostici è stata effettuata la combinazione pesata dei vari parametri attraverso funzioni di *Raster Calculator*.

Dalla combinazione dei parametri è stato possibile individuare le aree della regione potenzialmente idonee alla coltivazione del sorgo, l'estensione complessiva calcolata si attesta su circa 232.488 ha. Le rese in biomassa del sorgo sono comprese tra le 20 e le 35 tonnellate di sostanza secca per ettaro.

3. Risultati

Dalle analisi condotte, in merito a ciascuna possibile forma di energia rinnovabile, appare evidente come l'intero territorio regionale ben si presta alla produzione di energia sostenibile. Per quanto riguarda l'energia eolica, si può considerare una producibilità media annua pari a 2000 GWh/anno per aerogeneratore e un'occupazione del 3% del ter-

Tab. 3. Classificazione dei criteri diagnostici del territorio per il Sorgo da Fibra

SORGO									
Drenaggio		Tessitura (classe)		CaCO ₃		pH		Piovosità (mm) (Giu-Ago)	
peso	0,1	peso	0,2	peso	0,05	peso	0,1	peso	0,5
	Indice		Indice		Indice		Indice		Indice
Impedito	0	A-AS-AL	70	Bassa	100	5,6 - 6,5	90	< 32	0
Mediocre	30	F-FL-L	100	Media	40	6,6 - 7,3	100	32 - 40	30
Buono	80	FS	100	Elevata	10	7,4 - 7,8	90	40 - 50	50
Rapido	90	FSA-FA-FLA	100	Molto Elevata	0	7,9 - 8,4	90	50 - 70	70
		S-SF	90			>8,4	60	> 70	80

ritorio potenzialmente vocato, in tal modo viene stimata l'istallazione circa 23.750 turbine eoliche con una produzione media annua di circa 47.500.000 GWh/anno. Per la determinazione della quantità di energia producibile da pannelli fotovoltaici, si può far riferimento al calcolo della radiazione solare restituito dall'ENEA, nell'ambito del "Grande Progetto Solare Termodinamico", il quale fornisce un valore medio di radiazione globale annua, stimato pari a 2108 KWh/m². E' stato inoltre considerato un fattore riduttivo del 50% per considerare anche le aree di servitù, di servizio e opere di connessione. Dall'analisi delle biomasse forestali, nell'ipotesi di sviluppo energetico ed ipotizzando di cippare tutta la biomassa legnosa ottenuta, con un P.C.I. medio generale di 4,3 kWh/kg, si ottiene la potenzialità termica. L'equivalente elettrico è stato stimato considerando un rendimento di generazione elettrica del mix elettrico italiano del 37% (*Provincia di Latina*).

$$(T.B.d. * P.C.I.) * 37\% = P.E. (GWh/a)$$

Dove:

- T. B. d. = Totale Biomassa disponibile: espressa in t/a
- P. C. I. = Potere Calorifico Inferiore del legno : espresso in kWh/kg
- P. E. = Potenziale Elettrico: espresso in GWh/a

Per il Sorgo da fibra invece, si considera un P.C.I. medio di 17 GJ/t e un fattore di conversione 1 GJ pari a 0,277 MWh

$$P. ss \left[\frac{t}{a} \right] * P. C. I. * 0,277 = D. E. \left[\frac{MWh}{a} \right]$$

$$D. E. \left[\frac{MWh}{a} \right] * T. p. v. = P. E. \left[\frac{GWh}{a} \right]$$

Dove:

- P. ss = Produzione di sostanza secca: espressa in t/a
- P. C. I. = Potere Calorifico Inferiore del sorgo: espresso in Gj/t
- D. E. = Densità Energetica: espressa in MWh/a
- T. p. v. = Territorio Potenzialmente Vocato: espresso in ha
- P. E. = Potenziale Elettrico: espresso in GWh/a

I risultati di produttività sono indicati nella tabella seguente:

Tab. 4. Produttività energetica da diverse fonti rinnovabili

Eolico

Territorio Potenzialmente Vocato (ha)	Territorio Idoneo (ha) (3%)	Disponibilità territorio per macchina (ha)	Numero Macchine	Producibilità Media Annuale (GWh/anno)	Potenziale Elettrico (GWh/a)
31.650	950	0,04	23.750	2.000	47.500.000

Fotovoltaico

Territorio Potenzialmente Vocato (ha)	Territorio Idoneo (ha) (50%)	Producibilità Media Annuale (KWh/ha)	Potenziale Elettrico (GWh/a)
107.400	53.700	21.080.000	1.131.999.000

Biomassa Forestale

Totale Biomassa Disponibile (t/a)	Potenziale Termico (MWht/a)	Potenziale Elettrico (GWhe/a)
243.606	1.047.505	387,577

Sorgo da Fibra

Produzione totale (t/ha)	Produzione s.s. (t/ha)	P.C.I. (GJ/t)	Territorio Potenzialmente Vocato (ha)	Densità Energetica (MWh/ha)	Potenziale Elettrico (GWh/a)
25	8	17	232.488	37,67	8.758

I valori sintetizzati nella tabella 4 evidenziano un notevole squilibrio fra le varie tipologie di fonti energetiche analizzate. Tutto ciò può essere spiegato attraverso alcune semplici considerazioni:

- nel contesto del presente lavoro sono state considerate solo ed esclusivamente le caratteristiche morfologiche delle aree, senza prendere in

considerazione le peculiarità agricole di gran parte delle produzioni nell'area nord-nordest ove si produce una qualità di frumento duro molto appetito dalle industrie alimentari;

- esattamente nella direzione opposta, invece, è accaduto per quel che riguarda la stima della biomassa forestale. Infatti, per questo tipo di bioenergia sono stati adottati criteri molto restrittivi al fine di salvaguardare la naturalità delle aree forestali, in considerazione che la gran parte di esse ricade in aree protette.

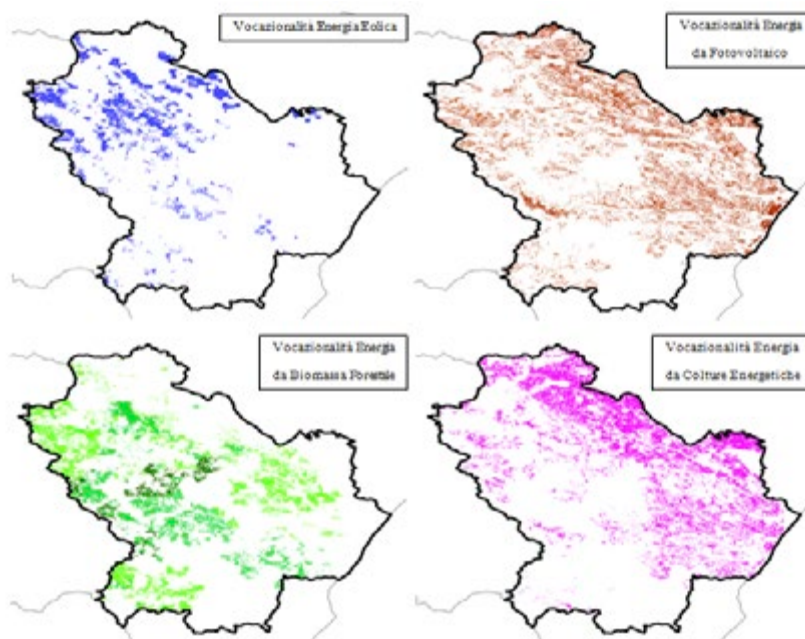


Fig.1. Vocazionalità energetica della Basilicata rispetto alle diverse fonti di energia rinnovabile.

4. Conclusioni

L'obiettivo del presente lavoro era quello di stimare le potenzialità del territorio della Regione Basilicata in merito alle fonti di energia rinnovabile, valutandone la diversa propensione territoriale. Utilizzando il *Grid Multi-Layer* è possibile individuare quale risulta la forma di energia rinnovabile più idonea sulla base delle caratteristiche morfologiche, pedologiche e climatiche della zona.

Come era facilmente immaginabile l'eolico, e soprattutto il fotovoltaico, hanno una produttività estremamente alta, tale da indurre a pensare che esse siano sempre le fonti energetiche da preferire. In una prospettiva di compatibilità ambientale e soprattutto nel rispetto delle risorse naturali, però, non va trascurato l'apporto che le biomasse, sia forestali che agricole, possono generare nel rilancio e sviluppo del settore primario.

Per di più, oltre alle quattro fonti di energia alternativa esaminate, lo studio potrebbe venire esteso considerando anche altre fonti alternative di energia, quali ad esempio i rifiuti agricoli (sfalci, potature, residui di raccolta, ma anche materiale plastico post-consumo, deiezioni animali, residui dei processi di lavorazione di industrie agro-alimentari, ecc.), che nonostante non abbiano le potenzialità delle altre fonti "prioritarie" esaminate, contribuirebbero ulteriormente all'affermazione del settore agro-forestale anche in materia di energie consentendo, al contempo, di contribuire alla soluzione di problemi ambientali connessi al loro smaltimento.

Infine, il sistema GIS proposto potrebbe essere facilmente evoluto in uno strumento dinamico, quale un DSS, capace di considerare il progresso tecnologico, i valori economici ed ambientali, gli andamenti stagionali, ecc. (tutti fattori variabili nel tempo) per consentire scelte strategiche consapevoli ed aggiornate. I benefici potrebbero essere quantificati non solo come vantaggi economici ma anche rispetto alla salvaguardia delle risorse ambientali in un'ottica di sviluppo sostenibile, e soprattutto, per un rilancio dell'economia del settore agro-forestale.

Bibliografia

- Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile, ENEA, (2005). Grande Progetto Solare Termodinamico.
- Centro Elettrotecnico Sperimentale Italiano S.p.A., CESI, (2002). Atlante eolico dell'Italia.
- Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura, CRA, (2006). Energie da biomasse agricole e forestali: miglioramento ed integrazione delle filiere dei biocarburanti e della fibra per la produzione di energia elettrica e termica - Bioenergie.
- ISTAT, (2009). Rilevazione sulle Superfici Tagliate e sui Prelievi Legnosi in Foresta, Tavola F05 - Numero e Superficie delle Tagliate, Istat, Roma.
- ISTAT, (2011). 6° Censimento Generale dell'Agricoltura, Tavola 8 - Aziende, Superficie Agricola Utilizzata (SAU) e Superficie Totale (SAT) periodo 2010-2000, Istat, Roma.
- Istituto Nazionale di Economia Agraria, INEA - Sede Regionale per la Basilicata, (2006). Carta Forestale della Basilicata.

- Studio per la pianificazione energetico-ambientale della Provincia di Latina, (2008). Provincia di Latina, Volume 1 Tomo II Parte IV. <http://www.provincia.latina.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/3094>
- Tenerelli P., (2008). Analisi Territoriale delle Risorse Agro-Energetiche, Tesi di Dottorato in Ingegneria del territorio e dell'ambiente agro-forestale, Università degli studi di Bari.
- Tiba C., Candeias A.L.B., Fraidenraich N., de S. Barbosa. E.M., de Carvalho Neto P.B., de Melo Filho J.B., (2010). A GIS-based decision support tool for renewable energy management and planning in semi-arid rural environments of northeast of Brazil, *Renewable Energy* 35, pp. 2921-2932.
- Van Hoesen John, Letendre Steven, (2010). Evaluating potential renewable energy resources in Poultney, Vermont: A GIS-based approach to supporting rural community energy planning, *Renewable Energy* 35, pp. 2114-2122.
- Yue Cheng-Dar, Wang Shi-Sian, (2006). GIS-based evaluation of multifarious local renewable energy sources: a case study of the Chigu area of southwestern Taiwan, *Energy Policy* 34, pp. 730-742.

