

L'Ateneo e l'Arno

Claudio Lubello, Sandro Moretti, Simone Orlandini¹

1. Introduzione

Il rapporto fra Firenze e l'Arno è da sempre un rapporto molto intenso. Il fiume è stato, ed è tuttora, la risorsa d'acqua principale per l'approvvigionamento idrico di tutta l'area metropolitana e per il sostegno della produzione agricola, ma è al contempo un elemento di rischio elevato a causa delle piene che ne hanno sempre contraddistinto il suo regime. A ciò si aggiungono innumerevoli ulteriori funzioni che, nel tempo, hanno avuto maggiore o minore importanza, come, ad esempio, quella del suo storico utilizzo come fonte energetica con i mulini e le gualchiere che, tramite l'arte della lana, hanno reso famosa Firenze per l'attività industriale a partire dal XIII secolo.

L'Arno è tuttavia anche il corpo idrico recettore di tutti gli scarichi idrici, trattati e non trattati, dei centri urbani del suo bacino idrografico. Il corso d'acqua è anche un ecosistema popolato di specie animali e vegetali, spazio ricreativo e parte integrante del valore artistico e storico-culturale della città. È attraversato da opere di ingegneria come ponti, traverse fluviali e sponde che ne caratte-

¹ Con il contributo di Marco Bindi, Riccardo Bozzi, Fabio Castelli, Gherardo Chirici, Riccardo Fanti, Giorgio Federici, Francesco Ferrini, Marco Napoli, Enzo Paris, Sandro Sacchelli, Federico Selvi.

Claudio Lubello, University of Florence, Italy, claudio.lubello@unifi.it, 0000-0002-1423-1884
Sandro Moretti, University of Florence, Italy, sandro.moretti@unifi.it, 0000-0002-1167-2721
Simone Orlandini, University of Florence, Italy, simone.orlandini@unifi.it, 0000-0001-6290-9752

Referee List (DOI 10.36253/fup_referee_list)

FUP Best Practice in Scholarly Publishing (DOI 10.36253/fup_best_practice)

Claudio Lubello, Sandro Moretti, Simone Orlandini, *L'Ateneo e l'Arno*, © Author(s), CC BY 4.0, DOI 10.36253/979-12-215-0282-4.34, in *Firenze e l'Università. Passato, presente e futuro*, edited by Comitato per le celebrazioni dei 100 anni dell'Ateneo fiorentino, pp. 351-364, 2024, published by Firenze University Press, ISBN 979-12-215-0282-4, DOI 10.36253/979-12-215-0282-4

rizzano le forme e la fruibilità. È dunque un sistema complesso, che necessita di essere studiato, monitorato e gestito.

Un fiume è anche il bacino idrografico che sottende e che concorre alla formazione dei deflussi naturali e alla regimazione degli eventi di piena. Le caratteristiche dei suoli e dell'uso che ne viene fatto determinano l'erosione dei versanti ed il ciclo idrologico, così come la produzione agricola. Quello dell'Arno, alla foce nel mare Tirreno, è di 8.228 km², il quinto in Italia per estensione.

In questo capitolo affronteremo, con rapidi cenni, alcuni progetti di ricerca che l'Università di Firenze ha affrontato e che hanno visto il bacino dell'Arno come soggetto di studio, al fine di definire linee di governo e di sviluppo del territorio, anche sulla base di una rete internazionale che ha permesso di introdurre elementi innovativi di approccio e di indagine scientifica. Si tratta di aspetti che riguardano la produzione agraria, l'ingegneria idraulica e ambientale, la protezione delle risorse idriche, il controllo del dissesto idrogeologico, la difesa del suolo, la pianificazione urbanistica e territoriale. Abbiamo quindi cercato di rappresentare in una forma razionale alcuni temi di ricerca che sono stati affrontati, cercando di coglierne, nella distanza del tempo, le finalità e i principali impatti. Dalla documentazione presentata traspare un rapporto molto con le istituzioni locali e i soggetti produttivi in una logica di valorizzazione delle competenze tipica dello sviluppo scientifico e tecnologico. In questo settore sono nati laboratori congiunti università-impresa e sono stati definiti criteri di gestione del territorio che sono confluiti successivamente in nuove istituzioni formali, anticipando riforme importanti, come, per esempio, la legge nazionale di difesa del suolo o la riforma dei servizi idrici. Il rapporto con i soggetti pubblici e privati ha permesso una continua trasfusione di competenze anche attraverso i giovani laureati, utilizzando forme strutturate di tirocini, ancor prima che la riforma universitaria nazionale ne definisse forme e criteri. In questo ambito è tangibile il contributo dell'area tecnologica nella formazione di tecnici in grado di affrontare nella propria professione la sfida di una costante evoluzione e innovazione dei saperi.

2. Verso il gemello digitale dell'Arno

Oggi tutto (o quasi) viene rappresentato e studiato con largo uso di potenti strumenti di calcolo, tanto che sta diventando di uso sempre più comune, anche nella divulgazione scientifica, il termine *digital twin* (gemello digitale). Per gemello digitale andrebbe inteso qualcosa che va ben oltre il semplice modello numerico progettato per fornire una risposta laddove la semplice osservazione non sarebbe sufficiente (ad esempio, l'entità dell'onda di piena a Firenze a seguito di forti piogge in corso). Un gemello digitale è la rappresentazione numerica, tramite complessi algoritmi di calcolo e grandi quantità di dati, di un intero sistema e del grande numero di elementi fisici e processi che ne regolano il funzionamento. Tutto questo in maniera quasi svincolata da specifici problemi a cui dover dare risposta. L'uso del termine «gemello» vorrebbe fare intendere che la similarità con il sistema reale è così avanzata da poter usare la replica digitale

per ottenere risposte di affidabilità analoga a quelle che si otterrebbero potendo osservare il sistema reale con assoluta libertà sia nello spazio che nel tempo. Quindi, per estensione, risposte anche a domande formulate *ex-post* alla creazione del gemello digitale.

La strada, ancora lunga per arrivare a questa visione di un vero gemello digitale, ha già però visto passi da gigante nell'ambito della ricerca sui sistemi ambientali, e fra questi il sistema che regola il ciclo dell'acqua (il cosiddetto ciclo idrologico). Fra questi passi, uno fondamentale è stato lo sviluppo dei cosiddetti modelli idrologici distribuiti, cui possono essere associati anche fenomeni di trasporto di inquinanti: i processi idrologici di interesse (l'infiltrazione dell'acqua nel suolo o il suo scorrimento sui versanti e nei fiumi, l'evapotraspirazione, l'interazione fra le falde acquifere e i copri idrici di superficie ecc.) vengono schematizzati tramite algoritmi di calcolo per 'porzioni elementari' del territorio e ricomposti in una rappresentazione complessiva delle fortissime variabilità delle caratteristiche fisiche del territorio (Castillo et al. 2015). La spinta fondamentale a tale innovazione è stata doppia: non solo la ovvia necessità di migliorare l'affidabilità delle stime ma, anche, in anticipazione al nuovo paradigma di gemello digitale, poter prevedere il comportamento in ogni punto arbitrario del territorio (nell'esempio precedente, prevedere l'evoluzione della piena lungo ogni asta del complesso reticolo fluviale del bacino dell'Arno, a monte e a valle di Firenze, e quindi avere con un solo strumento previsioni di piena per tutti i centri urbani a potenziale rischio di alluvione).

Proprio nell'ambito del Progetto Arno dell'allora Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche, dedicato a sviluppare nuove tecnologie di osservazione e modellazione delle piene, il Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale cominciò ricerche pionieristiche sullo sviluppo di modelli idrologici distribuiti. Erano gli anni Ottanta, e già dare una rappresentazione digitale della morfologia del terreno e dei corsi d'acqua era uno sforzo computazionale non indifferente. I primi modelli, soprattutto limitati più dalla disponibilità di dati in tempo reale che dalle capacità computazionali, erano però ancora dedicati soprattutto alla ricerca scientifica e alla comprensione dei fenomeni. Per la necessità di dotarsi di dati distribuiti sul territorio l'Università di Firenze collaborò alla costruzione del primo radar meteorologico italiano per applicazioni di preannuncio delle piene nell'ambito del Progetto Arno in località Montagnana nel Comune di Montespertoli. Le sperimentazioni durarono dal 1996 al 2002 quando tornò al CNR a Roma per far parte della costituenda rete radar-meteorologica nazionale.

Con le disponibilità di dati in tempo reale dai satelliti e dalle reti osservative in telemisura, è scattata naturalmente l'utilità dei modelli idrologici distribuiti di fornire previsioni operative, utili all'allora nascente sistema di protezione civile per come lo conosciamo adesso. In tale fase l'Università di Firenze fu parte scientifica, in un grande progetto di trasferimento tecnologico con l'Autorità di Bacino del Fiume Arno ed il Centro Funzionale della Regione Toscana, nello sviluppo di una piattaforma sperimentale centrata su un nuovo modello idrologico distribuito che integrasse nelle previsioni di piena una vasta gamma di dati a terra e da satellite e di previsione meteorologiche di pioggia. L'attuale procedu-

ra di previsione delle piene che la Regione Toscana utilizza quotidianamente su tutti i bacini idrografici del proprio territorio è basata su successive e continue evoluzioni di tale sistema prototipale (Ercolani e Castelli 2017).

Un gemello digitale deve fornire risposte non solo in punti arbitrari del territorio (il concetto base di modello distribuito) ma anche a domande molto diverse. Il salto in tale senso fu fatto, ancora in collaborazione con l'allora Autorità di Bacino dell'Arno, nello sviluppare ulteriormente il modello in maniera da ben rappresentare tutti i processi idrologici più importanti per il calcolo anche dei bilanci idrici: quindi non solo i regimi di piena, ma tutti i regimi fino a quelli di siccità. Su tale strumento l'Autorità basò la prima edizione del suo Piano di Gestione ai sensi della normativa europea sulle acque. In un sistema modellistico già progettato fin dall'inizio per essere facilmente migliorabile e integrabile con algoritmi via via più raffinati e nuove fonti di dati, la nuova versione ha cominciato a includere processi legati alla componente antropica. Quindi, sistemi di regolazione quali gli invasi e le casse di espansione, i prelievi dai corpi idrici superficiali e dalle falde, i rilasci in alveo dagli impianti di trattamento dei reflui. Tale salto ha fatto proliferare nel tempo diverse integrazioni e miglioramenti per domande emergenti e, a volte, molto specifiche: aggiungere al modello la componente di trasporto e dispersione di inquinanti da sorgenti diffuse per valutare come le precipitazioni influenzano la qualità dell'acqua nel Bisenzio; introdurre la modellazione del manto nevoso per prevedere il possibile effetto del riscaldamento globale sulla ricarica dell'acquifero dell'Amiata, ecc. La frontiera di oggi, in corso di sviluppo, è quella di fare un ulteriore salto verso l'ideale concetto di gemello digitale 'completo', includendo le componenti e le dinamiche ecologiche, il tutto tenendo conto anche dei possibili effetti dei cambiamenti climatici. Come per gli alberi dello sviluppo di modelli operativi per la previsione delle piene, l'ostacolo più impegnativo è la disponibilità di dati e informazioni, con caratteristiche di continuità spaziale e temporale idonee a rispondere ad una domanda così complessa.

3. Effetto dei cambiamenti climatici

Anche il bacino dell'Arno è ovviamente interessato dalle variazioni climatiche che nelle ultime decadi stanno avvenendo a scala globale. Di particolare importanza sono da evidenziare le variazioni che stanno avvenendo sul regime pluviometrico non tanto come valori totali annuali di pioggia, ma come intensità degli eventi e distribuzione sempre più irregolare delle precipitazioni nel tempo con sempre più frequenti e lunghi periodi di siccità, insieme all'innalzamento delle temperature che ne inasprisce gli effetti (IPCC 2021).

L'interesse per lo studio dei fenomeni atmosferici nel breve periodo (meteorologia) e nel lungo periodo (climatologia) ha forti legami con il territorio toscano proprio per il ruolo che da sempre il suo fiume principale ha avuto su gran parte delle attività che si svolgono all'interno del suo bacino.

A conferma di questo, basta pensare che strumenti come il termometro e barometro sono stati inventati da scienziati toscani (Galileo, Torricelli), che a

Firenze si trova uno dei più antichi osservatori meteorologici (Osservatorio Ximeniano) e che a partire dall'inizio degli anni Ottanta studiosi del nostro ateneo come Giampiero Maracchi, Emilio Borchi, Enzo Pranzini hanno iniziato a studiare gli impatti dei cambiamenti climatici e il ruolo che questi potevano avere sul territorio toscano.

È proprio a partire da questi studi che, in collaborazione con altri enti (Accademia dei Georgofili, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Regione Toscana, Fondazione Cassa di Risparmio di Firenze) sono nate realtà come l'Istituto di Biometeorologia del CNR, il Consorzio LaMMA della Regione Toscana, la Fondazione per il Clima e Sostenibilità (FCS), il Centro Interdipartimentale di Bioclimatologia dell'Università di Firenze (CIBIC), l'Unità di Ricerca Cambiamenti cLimAtici SiStemi ed Ecosistemi (CLASSE). Questo insieme di realtà ha permesso di creare intorno al nostro Ateneo un ambiente di ricerca in grado di studiare in modo approfondito il clima della nostra regione e le variazioni che lo stanno caratterizzando fino a oggi e che si potranno verificare nei prossimi decenni. Di seguito si riportano gli elementi più rilevanti evidenziati (Gozzini et al. 2022).

I valori totali delle precipitazioni nel periodo 1955-2022 per il bacino dell'Arno non mostrano variazioni importanti a livello annuale (4-5% di pioggia in meno oggi rispetto al passato); contrazioni maggiori si registrano in estate (-20%) e primavera (-10%). In inverno, rispetto a circa 70 anni fa, oggi cade circa il 4-5% di pioggia in meno, mentre in autunno si registra un lieve surplus (4-5% di pioggia in più). Queste tendenze non risultano comunque significative dal punto di vista statistico.

Ci sono però alcune evidenze che indicano una tendenza verso un aumento dell'intensità delle precipitazioni e dei fenomeni precipitativi molto intensi, sia a livello locale che su scala di intero bacino, che possono avere ripercussioni importanti dal punto di vista idrogeologico. L'ulteriore elemento da mettere in evidenza è quello "della persistenza delle condizioni dell'atmosfera" con aumento della frequenza delle circolazioni di blocco e conseguente maggior durata dei periodi con assenza di precipitazioni e temperature molto elevate (per esempio il periodo maggio-agosto 2022) ai quali poi seguono fasi o eventi con precipitazioni di fortissima intensità (ad esempio gli eventi del 18 agosto e del 24-25 settembre 2022).

Le temperature nelle aree comprese nel bacino dell'Arno hanno registrato un aumento medio annuo, tra il 1955 e il 2022, di circa +1,6 °C con variazioni maggiori nelle aree interne del bacino (es. aree di montagna +1.7 °C) e nel periodo estivo (addirittura +2,9 °C). A queste variazioni medie si aggiungono i forti aumenti dei giorni con temperature estreme e dei periodi con temperature superiori alla media (ondate di calore). In particolare, le ondate di calore estive sono triplicate negli ultimi 20 anni rispetto alle decadi precedenti, mentre i giorni "molto caldi" al di fuori del trimestre estivo, sono raddoppiati dal 1955 ad oggi.

Per poter avere un sistema previsionale in grado di mitigare i rischi climatici attuali e futuri che la comunità scientifica fiorentina collabora allo sviluppo e applicazione di strumenti che sia in grado di fornire informazioni sulle condizioni dell'atmosfera nel breve, medio e lungo periodo. Un esempio ne sono:

- 1) il progetto RETURN appena finanziato dal PNRR (<https://www.fondazione-return.it>), che ha come obiettivo lo studio dei rischi ambientali, naturali e antropici a livello nazionale, con una particolare attenzione a quelli climatici;
- 2) la costituzione di Agenzia nazionale per la meteorologia e climatologia ItaliaMeteo (<https://www.agenziaitaliameteo.it>) che nasce per avere a livello nazionale struttura di coordinamento di tutti gli Enti meteo;
- 3) la presenza sul territorio Toscano del Consorzio LaMMA (<https://www.lamma.toscana.it>) che nasce da una iniziativa congiunta di UNIFI, CNR e Regione Toscana per poter dare informazioni dettagliata a scala regionale e di bacino.

4. Controllo dei fenomeni di instabilità e di erosione

Il contributo delle varie anime (Geologica, Agronomica e Ingegneristica) dell'Università degli Studi di Firenze nel controllo dei processi di instabilità dei versanti nel comprensorio fiorentino è stato di fondamentale importanza per l'accrescimento della conoscenza e l'individuazione di soluzioni di intervento innovative. Molti studi di approfondimento della geologia urbana sono stati condotti fornendo preziose informazioni sulla storia geologica, sulle formazioni rocciose e sulle risorse naturali, fornendo la base per la realizzazione di opere di ingegneria quali, ad esempio, la tramvia e il sottoattraversamento dell'alta velocità (tuttora in fase di esecuzione).

Un ulteriore esempio dell'importante contributo dell'Ateneo alla città di Firenze è quello relativo al monitoraggio dell'area di monte alle Croci (collina della Chiesa di San Miniato), infatti monumenti ed edifici siti sulla collina di Monte alle Croci presentano danni di diversa gravità (fessure, crepe, spostamenti superficiali), parte dei quali sono dovuti a movimenti di massa (Canuti et al. 2004; 2005). Gli studi storici hanno evidenziato processi di dissesto che si sono verificati in tempi diversi coinvolgendo, in particolare, la zona attualmente adibita a campeggio, nonché la chiesa di San Salvatore e l'attiguo convento. La maggior parte del materiale che costituisce la collina ha scarse proprietà geotecniche, ed è frutto degli interventi del Poggi, come dimostra la situazione del Piazzale e delle Rampe. Gli studi più recenti di monitoraggio, studi stratigrafici e geomorfologici hanno portato ad interpretare gli attuali fenomeni di instabilità come una serie di movimenti di versante indipendenti e superficiali distribuiti attorno alla collina pur non escludendo l'esistenza di una o più frane profonde che coinvolgono ampie porzioni della collina che in caso di inattività o di velocità molto bassa, non possono essere rilevabili dagli attuali strumenti di monitoraggio. L'area è stata messa sotto controllo di un sistema di monitoraggio per l'individuazione di possibili riattivazioni di un dissesto generale.

Nonostante il fenomeno delle frane possa emergere come uno degli aspetti più vistosi e impattanti delle catastrofi naturali legate al territorio, è imperativo comprendere che esso non rappresenta l'unico elemento da considerare. Il territorio è estremamente suscettibile agli effetti dei deflussi superficiali non regimati, i quali costituiscono una delle cause più significative e diffuse delle alluvioni e

dell'erosione del suolo in Italia. I cambiamenti sociali e demografici legati allo sviluppo economico occorso a partire dagli anni Cinquanta del secolo scorso hanno avuto impatti contrastanti. Le zone collinari hanno subito spopolamento e abbandono delle tradizionali attività agricole, mentre le aree pianeggianti hanno registrato un aumento della popolazione e delle attività industriali (Surriceo 2013). Inoltre, lo sviluppo socio-economico ha determinato cambiamenti nell'uso del suolo, come la conversione dei terreni coltivati delle aree periferiali in aree urbane, nelle tecniche di gestione del suolo e nell'intensità delle sistemazioni idraulico agrarie. In questo contesto, si è osservata una notevole riduzione delle affossature, dei drenaggi e, nelle zone collinari agricole, dei terrazzamenti (Napoli et al. 2016; 2017). Di conseguenza, queste trasformazioni hanno reso i campi in pendenza meno resilienti agli eventi meteorici, dando luogo alla rapida formazione dei deflussi e accelerando i processi di erosione del suolo. Studi sono stati condotti dall'Università di Firenze in collaborazione con la Regione Toscana, l'Autorità di Bacino, i Consorzi di Bonifica, portando, ad esempio, alla realizzazione di vigneti sperimentali, come quello realizzato nell'azienda di Montepaldi. I risultati hanno mostrato che, date le medesime condizioni climatiche, il cambiamento dell'uso del suolo gioca un ruolo considerevole poiché influisce sia sui deflussi di picco che sul deflusso totale. Spesso, si concentra l'attenzione sugli effetti dei cambiamenti climatici sull'ambiente, mentre non si presta attenzione a come viene gestito l'uso del suolo, il quale è un elemento altrettanto importante, poiché il suo effetto si combina e può amplificare quello dei cambiamenti climatici.

In passato il presidio del territorio agro-forestale era garantito da chi viveva in montagna e in collina e viveva delle risorse territoriali: la "difesa del suolo" diffusa era affidata alla loro cura capillare e continua (Preti 2013). A supporto di essa si ricorreva alle Sistemazioni Idraulico-Forestali, ovvero a opere, intensive ed estensive, per eliminare le cause o contrastare gli effetti di rischio idrogeologico (fenomeni alluvionali, processi erosivi e franosi, colate detritiche e fangose, distacco di massi e cadute di valanghe), che avvengono nei bacini torrentizi (collinari e montani) antropizzati, creando, le condizioni per il ritorno della vegetazione, chiudendo il ciclo ricostruttivo degli equilibri naturali distrutti o alterati. Oggi si parla di Ingegneria naturalistica (opere realizzate utilizzando piante vive come materiale da costruzione e altri materiali reperibili in loco, in genere per la realizzazione di sistemazioni a difesa del territorio) o di Nature Based Solutions, secondo la filosofia: la vegetazione induce stabilità e la stabilità produce vegetazione. È tornato di grande attualità il tema del ruolo protettivo del bosco, la cui estensione è in continua crescita anche in Toscana. Dagli studi effettuati dai ricercatori dell'Università di Firenze si evince che gli effetti della vegetazione arborea sulle piene sono più significativi per i bacini caratterizzati da maggiore frazione di copertura boscata e più pendenti (tempi di corrivazione dell'ordine di un'ora) con riduzione del picco di piena fino al 30%, mentre si riducono per quelli di centinaia di km² con perdite per intercettazione meno importanti. Il sistema radicale rinforza in termini geo-meccanici il suolo esplorato riducendo il rischio di frane superficiali. Un altro problema di carattere gestionale è la ma-

nutenzione degli impluvi e dei tratti montani dei torrenti e dei fiumi a valle, per cui sono state messe a punto metodologie di rilievo a terra e da telerilevamento.

5. La protezione civile

La valutazione dei pericoli naturali, fra i quali si possono annoverare terremoti, frane e inondazioni, sono un ulteriore aspetto che l'Università di Firenze ha affrontato mediante i suoi Dipartimenti di riferimento, mappando le aree ad alto rischio e sviluppando strategie per la mitigazione e la preparazione alle catastrofi. La loro esperienza contribuisce alla resilienza della città e garantisce che possano essere messe in atto misure adeguate per ridurre al minimo l'impatto dei disastri naturali anche conseguenti ai cambiamenti del clima. Firenze ha sempre subito le catastrofiche alluvioni dell'Arno e ancora oggi il rischio di alluvione per la Città non solo è sempre presente, ma in termini di possibili danni è sicuramente aumentato rispetto a quanto si è verificato nell'ultima tragica alluvione del 1966. Non sufficienti sono stati gli interventi messi in atto per ridurre gli effetti negativi di tali eventi calamitosi, e ciò in parte è dovuto alla rapida rimozione dalla memoria collettiva del pericolo che incombe sulla città, nonostante il bagaglio di conoscenze oggi disponibili largamente superiore rispetto al passato.

Nel 1986 la Prefettura di Firenze, in collaborazione con l'Università di Firenze, pubblicò il primo Piano di Protezione Civile da rischio alluvionale, che ha apportato nuovi e importanti contributi nel sistema di protezione civile, per quanto riguarda le attività di soccorso, l'informazione ai cittadini e la salvaguardia dei beni culturali.

L'Ateneo, come proprio contributo permanente, ha costituito un Centro per la Protezione Civile (<https://www.protezionecivile.unifi.it>) che rappresenta un elemento di fondamentale importanza nelle attività di supporto e programmazione, sia all'interno dell'Ateneo, che, soprattutto, in relazione ai relativi uffici della Città Metropolitana con i quali vengono realizzati progetti di prevenzione e monitoraggio degli eventi catastrofici. La principale missione del Centro è quella di risposta alle emergenze, mediante valutazione rapida delle condizioni di pericolo incombente, e successiva mitigazione del rischio attraverso sistemi di supporto alla gestione (sistemi di monitoraggio e di allertamento rapido). Come esempio di ciò si pensi alle attività di monitoraggio e ripristino relative al crollo di circa 200 metri dell'argine di Lungarno Torrigiani nel 2016, con il rischio di un coinvolgimento delle abitazioni limitrofe. In questo caso sono state impiegate tecniche di monitoraggio innovative (GbInsar) che hanno permesso la definizione del modello deformativo dell'area in esame. Anche l'istituzione negli anni Settanta dell'allora Facoltà di Ingegneria all'Università di Firenze ha sicuramente rappresentato un importante riferimento per il territorio e per la cittadinanza nel contribuire all'individuazione di strategie idonee ad affrontare il problema della mitigazione del rischio idraulico proveniente dal fiume Arno.

Nel 1999 l'Autorità di Bacino del Fiume Arno approvò il Piano di Bacino del Fiume Arno, alla cui stesura contribuirono diversi docenti di Ingegneria, Agra-

ria, Geologia ed Architettura, avviando un rapporto di collaborazione con l'Università di Firenze che diventerà via via sempre più importante e continuativo sulle tematiche della prevenzione, dei sistemi di allertamento, del monitoraggio del corso d'acqua.

Nel 2013, in preparazione del cinquantesimo dell'alluvione, l'Università di Firenze ha lanciato il Progetto Toscana Firenze 2016, istituendo un Comitato di coordinamento, con l'obiettivo di realizzare un anniversario diverso dai precedenti, tutti incentrati quasi esclusivamente sugli aspetti celebrativi, pur doverosi, trascurando invece il rischio che continuava a incombere su Firenze e la Toscana.

Ritenendo basilare la conoscenza del fiume ai fini di un efficace contrasto agli effetti negativi degli eventi alluvionali, l'Università di Firenze, in collaborazione con Publiacqua, il Consorzio di Bonifica Medio e Alto Valdarno, Autorità Idrica Toscana, il Comune di Firenze e il centro di Ricerca CERAFRI, promosse, nel 2014, il Progetto Monitoraggio Arno all'interno del quale sono state realizzate attività del tutto innovative che hanno permesso di conoscere caratteristiche del fiume mai acquisite in precedenza.

Tra queste attività merita menzionare il rilievo tridimensionale dell'alveo, delle opere idrauliche e dei ponti in tutto il tratto urbano compreso tra Varlungo e la confluenza con il fiume Bisenzio, pari a circa 18 km; le misure dirette di portata liquida e solida effettuate dal Ponte alle Grazie anche in condizioni di piena del fiume e l'analisi dei dati morfologici, sedimentologici e idraulici, incluso il sistema a verde delle sponde (Morelli et al. 2020). Tra i risultati più importanti ottenuti alla conclusione del Progetto di Monitoraggio Arno ricordiamo la possibilità di calibrare i modelli idraulici, riducendo così l'incertezza delle previsioni dei livelli di piena nel tratto urbano di Firenze e la mappatura tridimensionale dell'alveo e delle strutture in esso presenti (pescaie, ponti, muraglioni di sponda) ai fini di un puntuale controllo delle dinamiche evolutive del fondo e della sua interazione con le opere. Proprio grazie a questa attività di monitoraggio sono state messe in luce due gravi criticità in alveo: lo scalzamento delle fondazioni del Ponte Vespucci che avrebbe potuto comprometterne la sicurezza, e l'erosione alla base del muraglione di sponda del Lungarno Diaz, che poi ha causato il cedimento della sede stradale.

Riferendosi alla protezione civile è strategico il contributo che l'università svolge nell'ambito delle attività della cosiddetta terza missione. Molto attiva è la collaborazione con scuole, musei e altre istituzioni per sviluppare programmi educativi che ispirino le giovani generazioni e promuovano l'alfabetizzazione scientifica e la resilienza agli aspetti della sicurezza in generale. In questo contesto da alcuni è in atto il progetto SICURAMENTE, in collaborazione con LARES Italia (Unione Nazionale Laureati Esperti in Protezione Civile) rivolto agli studenti delle scuole superiori con un programma di educazione e orientamento alla cultura della protezione civile, della sicurezza e dell'autoprotezione dai rischi. Ogni anno sono coinvolti oltre 300 ragazze e ragazzi attraverso lezioni in aula, esercitazioni e workshop.

Nel complesso, le attività di ricerca dell'Ateneo, quelle di istruzione e terza missione migliorano la resilienza della città ai pericoli naturali, garantiscono

una gestione ambientale responsabile e sostengono la conservazione del suo patrimonio culturale.

6. L'evoluzione dello sviluppo agricolo-forestale

La disponibilità di acqua rappresenta il presupposto per l'attività agricola e anche il bacino dell'Arno ha svolto negli anni questo ruolo fondamentale. Le interazioni acqua-agricoltura sono molteplici, sia quando l'acqua risulta limitante, sia quando è in eccesso, come ampiamente descritto nel paragrafo precedente. L'Università di Firenze ha da sempre affrontato queste tematiche in modo approfondito. Basti pensare che, nel 1869, nacque la prima scuola forestale a Vallombrosa (FI) come Regio Istituto Superiore Forestale che da allora ha subito le trasformazioni conseguenti alle vicende politiche del nostro Paese. Diventato Regio Istituto Forestale Nazionale nel 1912, è trasferito a Firenze alle Cascine, sua sede attuale, nel 1913. A seguito della fondazione dell'Università di Firenze nel 1924, la scuola forestale è annessa alla Facoltà di Agraria nel 1936, fino all'attuale configurazione che vede un unico Dipartimento, il DAGRI, e la Scuola di Agraria. I rapporti con le istituzioni pubbliche e private e con le imprese sono stati negli anni molto intensi, tanto che l'Università di Firenze, nel suo complesso, rappresenta il principale attore dei progetti di innovazione e trasferimento che caratterizzano il Piano di Sviluppo Rurale della Regione Toscana e che consentono di formalizzare rapporti di collaborazione fra ricerca e imprese agricole.

Il territorio fiorentino è ricco di produzioni di qualità e il tema della sostenibilità ambientale caratterizza gli obiettivi strategici previsti dalle politiche regionali. È in questo ambito che gli sforzi della ricerca si orientano verso un uso sostenibile dell'acqua, attraverso l'uso di tecnologie innovative, quali modelli, droni e sensori per il monitoraggio ambientale e colturale. Tipico esempio è il progetto PRIN (Progetto di Rilevante Interesse Nazionale), finanziato dal Ministero dell'Università e della Ricerca, a cui collaborano le Università di Firenze, Padova, Foggia, Palermo e Napoli e che, in Toscana, ha avuto il supporto logistico e operativo del Consorzio di Bonifica 2 Alto Valdarno. La finalità del progetto è ottimizzare l'utilizzo dell'acqua attraverso una gestione differenziata dell'irrigazione.

L'ambito forestale ha sempre avuto un interesse forte per tutto il bacino dell'Arno, come testimoniato dal ruolo che lo stesso fiume ha svolto per il trasporto del legname dalle aree di produzione alle città. Le maestose foreste di abete bianco che caratterizzano il paesaggio di rinomate località monastiche, come Camaldoli e Vallombrosa, sono state utilizzate in passato per produrre assortimenti legnosi destinati alle città di Firenze, Pisa e Livorno. Il legname di abete proveniente da queste foreste fu utilizzato a Firenze per la costruzione di chiese e palazzi, per esempio Palazzo Vecchio e Palazzo Pitti.

Nell'ambito del progetto «Sperimentazione di tecniche di gestione delle aree naturali e semi-naturali lungo l'asta fluviale dell'Arno nella Provincia di Firenze», realizzato in collaborazione con la Provincia di Firenze, è stato condotto uno studio finalizzato a sviluppare una metodologia per definire nuove

linee guida gestionali delle risorse naturali e semi-naturali lungo i corsi d'acqua. (Bottalico et al. 2010).

Importante anche l'integrazione fra aspetti tecnici, normativi e la quantificazione dei servizi ecosistemici (Grilli et al. 2020). In tale ottica, uno studio è stato condotto con la finalità di realizzare strumenti di supporto alle decisioni (SSD) in ambito GIS (Geographic Information Systems) per la realizzazione di Pagamenti per Servizi Ecosistemici Forestali (PSEF) atti alla prevenzione del rischio erosione e frane superficiali sul territorio dell'Unione dei Comuni Valdarno e Valdisieve (bacino idrografico del fiume Arno). I modelli si basano sulla localizzazione di aree potenzialmente idonee alla realizzazione di meccanismi PSEF, in funzione della correlazione tra massima Disponibilità a Pagare (DAP) per la mitigazione del rischio e minima Disponibilità ad Accettare (DAA) per la realizzazione di interventi di gestione forestale per il miglioramento dei servizi di regolazione.

Lungo il bacino del fiume Arno, nel corso dei secoli, l'agricoltura si è via via sviluppata con la presenza dell'allevamento zootecnico come elemento fondante della produzione primaria. L'allevamento delle diverse specie animali si basava su ecotipi locali che nel tempo sono assurti al ruolo di vere e proprie razze caratterizzanti il territorio. Queste hanno poi avuto destini differenti e, se si esclude la razza bovina Chianina, le restanti razze sono andate incontro a una contrazione numerica che le ha portate durante la prima metà del XX secolo sull'orlo dell'estinzione. Negli ultimi due decenni del secolo scorso, il rinnovato interesse per la conservazione delle risorse genetiche, animali incluse, ha consentito di sviluppare dei progetti di ricerca per la valorizzazione delle razze autoctone toscane, anche attraverso la partecipazione dell'Università di Firenze a progetti europei.

7. Gestione sostenibile delle acque nelle aree urbane

L'Arno rappresenta una risorsa fondamentale per il sostegno dei consumi idrici, in particolare in ambito potabile attraverso due grandi impianti di potabilizzazione presenti a monte e a valle di Firenze (Anconella e Mantignano), ma è anche il recapito di tutti gli scarichi (civili e produttivi) dell'intero bacino idrografico. L'Università di Firenze ha collaborato in questo campo dando vita a una serie di attività di ricerca applicata finalizzate all'individuazione di innovativi sistemi di trattamento delle acque. In questo contesto sono stati creati Laboratori Congiunti Università-Impresa dove le competenze dei ricercatori universitari possono fondersi con le conoscenze tecnico-applicative del settore privato. Sono esempi di queste strutture i laboratori UNALAB (con Publiacqua), CERRCO (con Cuoiodepur), LIROMAN (con SRA Instruments, Chromline, PIN), WASTREC (con GIDA e PIN). I laboratori congiunti accolgono numerosi studenti per attività di tirocinio curricolari e post-laurea integrando il sistema della formazione universitaria con quello produttivo, fornendo al contempo momenti strutturati importanti di incontro della domanda e dell'offerta nel mondo del lavoro: molti degli studenti, infatti, sono successivamente assunti dalle aziende partner dei laboratori congiunti.

Fra le ricerche può essere menzionata l'individuazione di soluzioni originali per il trattamento delle acque reflue mediante biomasse microbiche granulari (Campo et al. 2020), che permettono di ridurre sensibilmente l'impatto energetico e l'occupazione di suolo degli impianti di depurazione. Questa tecnologia permette, inoltre, di riutilizzare i biopolimeri prodotti dai microrganismi per una serie di applicazioni in campo agronomico e industriale, costituendo un'opportunità rilevante per l'implementazione di pratiche di economia circolare nel settore dei servizi idrici.

Fra gli studi inerenti alla gestione sostenibile delle risorse idriche possono essere ricordate le sperimentazioni sviluppate all'interno del comprensorio vivaistico pistoiese per il riuso delle acque reflue (Lubello et al. 2004) in alternativa alle tradizionali acque di falda, che potrebbero essere destinate al consumo idropotabile. Le ricerche, in collaborazione con vivaisti, enti locali e aziende dei servizi idrici, hanno permesso di evidenziare anche l'azione fertilizzante di una serie di composti presenti nei reflui, permettendo un recupero di questi composti e la riduzione di quelli introdotti nelle usuali tecniche di coltivazione, con evidenti benefici economici ed ambientali.

In termini più generali nell'ambito del rapporto fra acqua ed ambiente costruito grande interesse dell'Ateneo, attraverso i Dipartimenti dell'area tecnologica, si è rivolto da sempre alla stessa conformazione urbana delle Città e di Firenze in particolare, che, con la sua elevata densità di superfici impermeabili, presenta specifiche sfide nella gestione sostenibile dell'acqua. Introducendo superfici permeabili, è possibile ridurre il rischio di inondazioni del reticolo idrografico minore e l'apporto di inquinanti scaricati direttamente nei corsi d'acqua, oltre a integrare progetti di riqualificazione urbana e costruzioni ecologiche, mitigando gli effetti dei cambiamenti climatici, come quello delle isole di calore.

Dagli studi, cui hanno partecipato molteplici soggetti pubblici e privati, appare importante anche una ristrutturazione delle rive dell'Arno e degli affluenti. Realizzando spazi verdi e sfruttando la capacità degli alberi di mitigare l'effetto delle piogge intense, è possibile gestire meglio l'acqua in eccesso oltre ad un miglioramento del microclima locale. In un'ottica di rinaturalizzazione, restauro ecologico e conservazione della biodiversità dell'ambiente urbano, la creazione di tali spazi verdi fluviali dovrebbe basarsi il più possibile sulla valorizzazione degli elementi floristici autoctoni, che tuttora sono presenti, seppur molto rarefatti, sulle rive dei corsi d'acqua (Mosti 2005). Favorire specie arboree igrofile quali pioppo bianco e nero, salice bianco, ontano nero, farnia e frassino ossifillo per innescare processi dinamici di riformazione di boschi ripariali, ancorché gestiti e diradati per la fruizione pubblica e il deflusso idraulico, avrebbe importanti conseguenze sulla qualità complessiva degli ecosistemi fluviali. Tali comunità arboree andrebbero anche a rappresentare corridoi ecologici e barriere alla diffusione di specie invasive alloctone, sempre più presenti lungo il fiume anche a causa delle attuali forme di gestione. Studi condotti dal Laboratorio di Botanica Ambientale del DAGRI hanno evidenziato la sempre maggiore diffusione di tali specie sulle rive e nelle acque del fiume. Un caso emblematico è quello di *Althernanthera philoxeroides*,

pianta acquatica sudamericana comparsa nei primi anni 2000 in Toscana ma in rapida espansione in Arno da Firenze fino oltre Signa grazie alla sua grande invasività a livello globale (Iamonico et al. 2020). Formando compatti tappeti galleggianti, questa pianta influisce sul deflusso dell'acqua e, negativamente, sul suo livello di ossigenazione.

Riferimenti bibliografici

- Bottalico, Francesca et al. 2010. "Gestione delle aree naturali e semi-naturali lungo l'asta fluviale dell'Arno." *L'Italia Forestale e Montana* 65, 1: 19-39.
- Campo, Riccardo et al. 2020. "Efficient Carbon, Nitrogen and Phosphorus Removal from Low C/N Real Domestic Wastewater with Aerobic Granular Sludge." *Bioresource Technology* 305: 1229611.
- Canuti, Paolo et al. 2004. "Natural Hazards and Cultural Heritage in Florence: The Slope Instability Story of Monte alle Croci." In Associazione Italiana Geologia Applicata, *32nd International Geological Congress, AIGA*, 1-10.
- Canuti, Paolo et al. 2005. "Natural Hazards and Cultural Heritage in Florence: The Slope Instability Story of Monte alle Croci." *Giornale di geologia applicata* 1: 123-30.
- Castillo, Aldrich, Castelli Fabio e Dara Entekhabi. 2015. "Gravitational and Capillary Soil Moisture Dynamics for Distributed Hydrologic Models." *Hydrology And Earth System Sciences* 19: 1857-69.
- Ercolani, Giulia e Fabio Castelli. 2017. "Variational Assimilation of Streamflow Data in Distributed Flood Forecasting." *Water Resources Research* 53: 158-83.
- Grilli, Gianluca et al. 2020. "A Spatial-Based Tool for The Analysis of Payments for Forest Ecosystem Services Related to Hydrogeological Protection." *Forest Policy and Economics* 111: 102039.
- Gozzini, Bernardo, Bartolini Giorgio e Daniele Grifoni. 2022. "The Climate Crisis and Its Impact on the Territory, Economic and Social Effects." *Modern Environmental Science and Engineering* 7, 9: 871-81.
- Iamonico, Duilio, Lastrucci Lorenzo e Lorenzo Cecchi. 2010. "Invasività di *Alternanthera philoxeroides* (Amaranthaceae) lungo il fiume Arno in provincia di Firenze (Toscana, Italia centrale)." *Informatore Botanico Italiano* 42, 1: 103-8.
- IPCC. 2021. "Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change." ed. by V. Masson-Delmotte et al. Cambridge: Cambridge University Press.
- Lubello, Claudio et al. 2004. "Municipal-Treated Wastewater Reuse for Plant Nurseries Irrigation." *Water Research* 38: 2939-47.
- Morelli, Sandro. et al. 2020. "Characterization and Geotechnical Investigations of a Riverbank Failure in Florence, Italy, UNESCO World Heritage Site." *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 146, 10: 1-15.
- Mosti, Stefano. 2002. *La flora in riva d'Arno*. Firenze: Edizioni Polistampa.
- Mosti, Stefano. 2005. *Flora spontanea delle Cascine. Un parco sul fiume*. Firenze: Edizioni Polistampa.
- Napoli, Marco et al. 2016. "Simulation of Field-Measured Soil Loss in Mediterranean Hilly Areas (Chianti, Italy) with RUSLE." *Catena* 145: 246-56.
- Napoli, Marco, Massetti Luciano e Simone Orlandini. 2017. "Hydrological Response to Land Use and Climate Changes in a Rural Hilly Basin in Italy." *Catena* 157: 1-11.

Preti, Federico. 2013. "Forest Protection and Protection Forest: Tree Root Degradation Over Hydrological Shallow Landslides Triggering." *Ecological Engineering* 61P: 633-45.

Surico, Giuseppe (a cura di). 2013. *1913-2013, 100 anni di studi agrari e forestali nella Villa Granducale delle Cascine a Firenze*. Firenze: Firenze University Press.

Sitografia

Consorzio LaMMA. s.d. "Homepage" <https://www.lamma.toscana.it/> (12.10.2023).

Fondazione Return. s.d. "Homepage" <<https://www.fondazionereturn.it/>> (12.10.2023).

Italia Meteo. s.d. "Amministrazione trasparente" <https://www.agenziaitaliameteo.it/> (12.10.2023).

Toscana 2016. s.d. <https://toscana.firenze2016.it/la-radar-meteorologia-tra-scienza-e-resilienza-dallo-studio-dei-fenomeni-estremi-allertamento-della-popolazione/> (12.10.2023).