

I controlli non distruttivi ad ultrasuoni e le sinergie con le aziende di alta tecnologia del territorio fiorentino

Lorenzo Capineri

Il laboratorio di Ultrasuoni e Controlli Non Distruttivi fu istituito dal professor Leonardo Masotti, ordinario di Elettronica Applicata, nel 1974 presso l'Istituto di Elettronica della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Firenze. Uno degli aspetti caratterizzanti di questo laboratorio è stato lo sviluppo di ricerca applicata in sinergia con aziende di alta tecnologia presenti nel territorio fiorentino. A questo scopo è interessante riportare le ricerche applicate nel settore aerospaziale in cui operava l'azienda Proel Tecnologie, poi incorporata nella Laben nel 1995, situata nella splendida villa Lazzeri (nota anche come villa Trigona) nel Viale Machiavelli al numero 29 (Figura 21) nel centro storico di Firenze. L'azienda Proel Tecnologie svolse un ruolo fondamentale in supporto alla missione Tethered Satellite System ed ha sviluppato assieme alla NASA con il supporto dell'Agenzia Spaziale Italiana, parte della strumentazione per convertire l'energia magnetica in energia elettrica mediante lo srotolamento di un filo conduttore lungo circa 20 km nello spazio. Per questo esperimento furono sviluppati sistemi di alimentazione speciali in alta tensione, grazie al contributo ingegneristico della azienda El.En. fondata nel 1981 con sede a Campi Bisenzio dal Prof Leonardo Masotti e da altri soci. Per questo progetto fu necessario studiare, analizzare e caratterizzare i materiali isolanti e i dispositivi elettronici operanti in ambiente spaziale, quindi soggetti a diverse forme di radiazione, dai raggi cosmici ai flussi di elettroni, che potevano compromettere il funzionamento degli apparati operanti in vuoto. Furono quindi allestiti strumenti molto sofisticati, come il cannone elettronico, per caratterizzare tali strumenti in ambienti spaziali simulati nei laboratori allestiti nelle sale della villa nel Viale Machiavelli (Figura 22). Le scariche elettriche che potevano formarsi negli apparati elettronici in vuoto dovevano essere monitorate mediante sensori e circuiti elettronici capaci di rilevare passaggi di correnti elettriche impulsive estremamente piccole (o.d.g. 10 microampere) con tensioni di prova dell'ordine di 1 kV, e quindi fu sviluppata assieme al laboratorio di Ultrasuoni e Controlli Non Distruttivi una strumentazione dedicata a questo scopo. La caratterizzazione delle proprietà

Lorenzo Capineri, University of Florence, Italy, lorenzo.capineri@unifi.it, 0000-0003-4432-3197

Referee List (DOI 10.36253/fup_referee_list)

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

Lorenzo Capineri, *I controlli non distruttivi ad ultrasuoni e le sinergie con le aziende di alta tecnologia del territorio fiorentino*, © Author(s), CC BY 4.0, DOI 10.36253/979-12-215-0975-5.12, in Stefano Selleri, Alberto Tesi, Enrico Vicario (edited by), *Ingegneria Industriale & Ingegneria dell'Informazione per il territorio fiorentino – 2. Ingegneria dell'Informazione*, pp. 47-51, 2026, published by Firenze University Press, ISBN 979-12-215-0975-5, DOI 10.36253/979-12-215-0975-5

dielettriche dei materiali per circuiti stampati fu effettuata dopo irradiazione con il cannone elettronico (vedi Figura 23). Un elemento innovativo fu portato in questo ambito grazie ad un progetto in collaborazione tra laboratorio ultrasuoni controlli non distruttivi e l'azienda Laben, finanziato dall' Agenzia Spaziale Italiana (ASI). Si pensò infatti all' osservazione sperimentale dell'effetto dell'emissione acustica indotto da una scarica elettrica mediante sensori piezoelettrici, sensori capaci di trasformare le onde ultrasoniche che si propagano nella struttura in segnali elettrici, peraltro, di debole ampiezza (decine di microvolt). Grazie alle conoscenze di elettronica e dei sistemi ad ultrasuoni presenti presso il laboratorio di ultrasuoni e controlli non distruttivi, si svilupparono sistemi di monitoraggio di tali scariche elettriche. Da questa attività scaturì un progetto finanziato dall'agenzia spaziale europea (ESA), per lo studio di scariche parziali all'interno di circuiti elettronici operanti in alta tensione. Il lavoro di ricerca rivolto allo studio delle scariche parziali mediante sensori piezoelettrici aprì a sua volta un filone di ricerca innovativo nel campo dello spazio, la diagnostica non distruttiva delle strutture realizzate con materiali compositi come le fibre di carbonio. Tali materiali in forma di strutture planari sottili, necessitano di sensori capaci di generare e di ricevere onde acustiche guidate all'interno dello spessore, che interferendo con possibili difetti non visibili perché situati all'interno del materiale, rilevano in maniera precoce anomalie che possono produrre un deterioramento delle prestazioni della struttura meccanica se non addirittura a guasti catastrofici per la missione. Ancora una volta la sinergia tra le competenze del laboratorio ultrasuoni controlli non distruttivi, che già si era occupato nel passato di dispositivi ad onda superficiale (SAW) (Prof. Leonardo Masotti – Atzeni 1975/76) e le esigenze dell'industria aerospaziale, ha portato alla realizzazione dei primi dispositivi piezoelettrici basati su film flessibili piezopolimerici con elettrodi interdigitati (a forma di pettine). Questo progetto fu finanziato dalla Agenzia Spaziale Europea (ESA) nel programma Innovative Triangle Initiative nel 2004 e coordinato dal Prof. Lorenzo Capineri, associato di Elettronica presso il Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni (vedi Figura 24). Durante lo stesso periodo, grazie al progetto finalizzato MADESS del MIUR, il laboratorio Ultrasuoni e Controlli Non Distruttivi assieme all'azienda El.En., stava sperimentando la realizzazione di matrici di sensori di tipo piroelettrico e la relativa elettronica di interfaccia per sistemi di controllo dei fasci laser industriali e medicali realizzati dalla stessa azienda. La realizzazione dei sensori a matrice di tipo piroelettrico fu concepita mediante l'ablazione laser della metallizzazione superficiale dei film piezoelettrici (vedi Figura 25). Questo metodo di realizzazione dei sensori fu brevettato dall'azienda El.En., il Dipartimento di Ingegneria Elettronica e Telecomunicazioni e l'istituto IFAC CNR di Sesto Fiorentino, e ha portato un'innovazione nella realizzazione rapida di sensori mediante il disegno CAD della forma degli elettrodi. Per questo sono stati utilizzati laser a CO₂ per ottenere una rapida ablazione della sola metallizzazione superficiale senza arrecare danni meccanici al film piezopolimerico (PVDF). Ancora una volta la sinergia tra le tecnologie sviluppate assieme ad aziende del territorio è stata proficuamente applicata per lo sviluppo di trasduttori ad onda guidata per il monitoraggio strutturale di bombole in composito per i vettori spaziali. Il progetto del sensore tramite simulazioni si basa sul disegno degli elettrodi a pettine che determina le caratteristiche del sensore, come la selezione del modo guidato, la direttività e la sensibilità. Questa recente ricerca è stata condotta sempre dal professor Lorenzo Capineri, grazie alla collaborazione con il gruppo di ricerca già presente nell'azienda Laben, poi confluita in Thales Alenia Space Italia, presso lo stabilimento dell'azienda Galileo di Campi Bisenzio. I sensori interdigitati ad onde acustiche guidate sono stati quindi validati su una bombola per propellente aerospaziale in fibre di carbonio avvolte su un contenitore in titanio. L'interesse per il monitoraggio strutturale di componenti in fibra di carbonio si è poi allargato anche per il settore automotive e per il monitoraggio di strutture cilindriche rea-

lizzate con diversi materiali compositi. Per poter integrare tali sensori realizzati in configurazione ad array come fasce adesive alla struttura, cosiddette 'smart-skin' (vedi Figura 26), è necessario sviluppare elettronica dedicata per ottimizzare le prestazioni del sistema in termini di consumo di potenza, semplicità di cablaggio, adattabilità alle caratteristiche di propagazione della struttura in prova. Questo tema di ricerca applicata ha recentemente trovato interesse per una collaborazione con Texas Instruments (USA) con lo scopo di realizzare nodi di sensori intelligenti ed ha portato recentemente ad un brevetto dell'Università di Firenze del disegno degli elettrodi interdigitati. Il futuro di questo tema di ricerca è rivolto alla realizzazione delle cosiddette 'smart-structures' di interesse principalmente per il settore aerospaziale ma anche per il settore dei trasporti. La ricerca continua e l'attività di terza missione con le aziende di alta tecnologia del territorio rimane uno dei cardini essenziali per il trasferimento tecnologico delle competenze sviluppate presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione.



Figura 21 – Prima (a sinistra) e seconda (a destra) sede della Proel Tecnologie nel Viale Machiavelli 31 a Firenze.

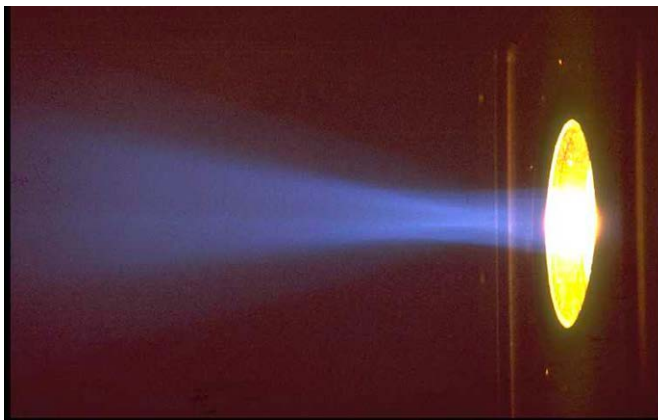


Figura 22 – L'EGA (Electron Gun Assembly) ha volato con successo in due missioni spaziali (TSS-1, nel 1992 e TSS-1R, nel 1996). Questo particolarissimo cannone elettronico (ad alta pervasività) è stato concepito, sviluppato e qualificato per consentire la chiusura del circuito elettrico tra le due estremità del Tethered Satellite System e la ionosfera, al fine di sperimentare la generazione di energia elettrica a bordo a scapito dell'energia orbitale del veicolo spaziale.

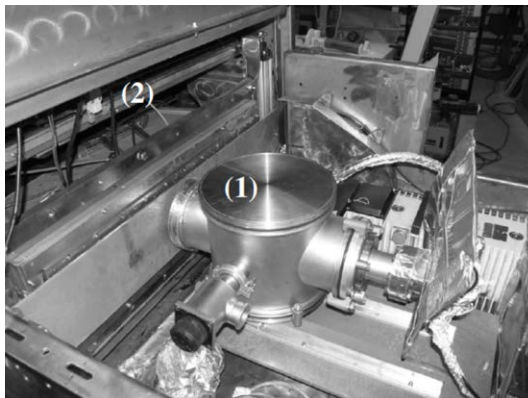


Figura 23 – E-beam test facility. The facility shows the vacuum chamber with dielectric material samples inside (1) and the E-beam accelerator (1).

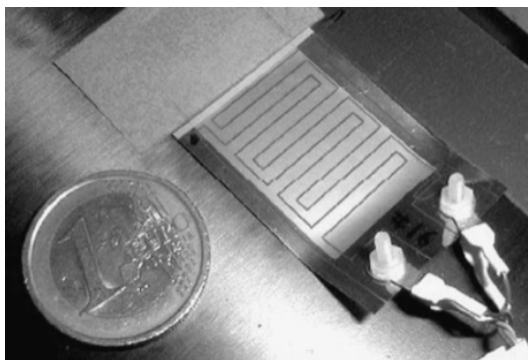
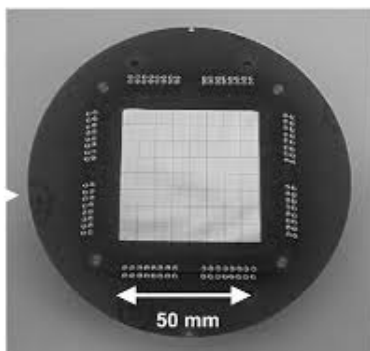


Figura 24 – Trasduttore ad ultrasuoni con elettrodi interdigitati sviluppato mediante ablazione laser con il progetto Innovation Triangle Initiative European Space Agency in collaborazione con Laben – Proel di Firenze.



assembly of the pyroelectric array. 50 mm × 50 mm

Figura 25 – Matrice 8x8 elementi piroelettrici per la caratterizzazione di fasci di laser di potenza a CO₂ per applicazioni industriali in collaborazione con El.En., progetto finalizzato MIUR, 2007.

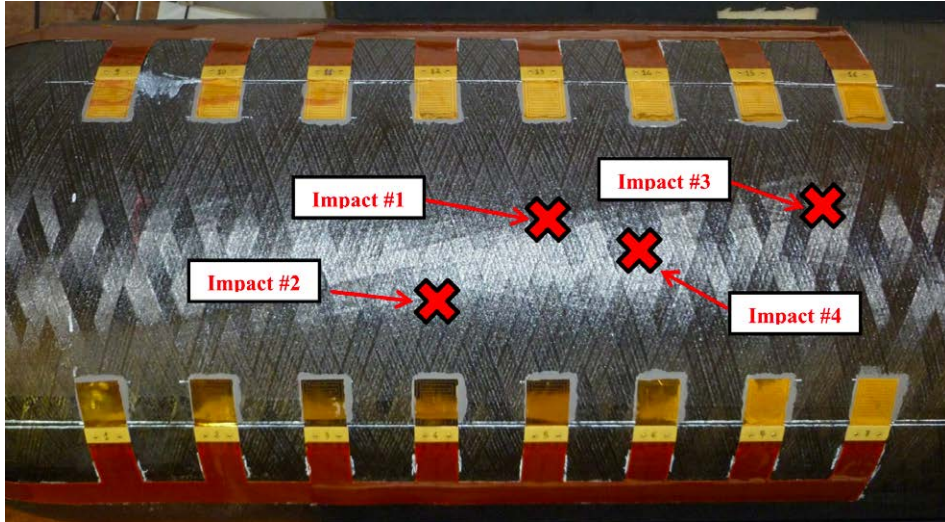


Figura 26 – Smart-skin con sensori piezopolimerici per diagnostica strutturale (SHM) con onde ultrasoniche guidate di bombole per propellente in composito. Collaborazione Thales Alenia Space Italia, 2015.