

Campioni elettromagnetici di riferimento costruiti a Firenze viaggiano in Europa – Parte A

Carlo Carobbi

L'Università di Firenze è da circa dodici anni fornitore del servizio di prova valutativa nell'ambito della compatibilità elettromagnetica. Si tratta di un servizio destinato ai laboratori di prova operanti in Europa per l'assicurazione della validità delle misure di disturbo elettromagnetico. Il servizio risponde al bisogno, da parte dei laboratori che eseguono misure di compatibilità elettromagnetica, di avere un riscontro oggettivo, basato su un'evidenza sperimentale, circa la correttezza delle misure eseguite quotidianamente per la valutazione di conformità dei prodotti ai requisiti delle leggi europee. Il servizio di prova valutativa in ambito compatibilità elettromagnetica non è nato a Firenze per caso. Il contesto culturale in cui nasce è quello rappresentato da Luigi Millanta e le sue attività sperimentali nell'ambito dell'elettromagnetismo applicato svolte all'IROE e poi all'Università di Firenze. Ma rappresentato anche da Gaetano Iuculano e la sua 'ansia' (come la chiamava lui stesso) dell'incertezza di misura. A contribuire alla definizione del contesto ci sono poi l'Ing. Massimo Polignano di Esaote S.p.A. che seminò in me l'idea di questa attività alla fine degli anni '90, quando ero borsista in Esaote, senza dimenticare poi Guido Pellicci e Lorenzo Spinelli titolari rispettivamente del laboratorio di taratura Gamma Misure e del laboratorio di prova Elettra S.r.l., che avviarono le loro attività nell'ambito della taratura e certificazione in Ce.Ta.Ce. nei primi anni 90. Tante altre persone, che ricorderò in questo articolo, hanno contribuito allo sviluppo e all'affermazione internazionale delle prove valutative di compatibilità elettromagnetica. Questo contributo, per omogeneità di lunghezza con gli altri, è stato suddiviso in parte A e parte B.

Il contesto legislativo e culturale della compatibilità elettromagnetica negli anni '90

Il 21 dicembre 1996 entrò in vigore il decreto legislativo 12 novembre 1996, n. 615, in attuazione della direttiva 89/336/CEE del Consiglio del 3 maggio 1989, in materia di ravvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relative alla compatibilità elet-

Carlo Carobbi, University of Florence, Italy, carlo.carobbi@unifi.it, 0000-0002-9274-8256

Referee List (DOI 10.36253/fup_referee_list)

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

Carlo Carobbi, *Campioni elettromagnetici di riferimento costruiti a Firenze viaggiano in Europa – Parte A*, © Author(s), CC BY 4.0, DOI 10.36253/979-12-215-0975-5.14, in Stefano Selleri, Alberto Tesi, Enrico Vicario (edited by), *Ingegneria Industriale & Ingegneria dell'Informazione per il territorio fiorentino – 2. Ingegneria dell'Informazione*, pp. 55-58, 2026, published by Firenze University Press, ISBN 979-12-215-0975-5, DOI 10.36253/979-12-215-0975-5

tromagnetica. Il decreto stabiliva all'art. 4 che gli apparecchi elettrici ed elettronici destinati al commercio in Europa dovevano essere costruiti in modo tale che:

a) i disturbi elettromagnetici da essi generati siano limitati ad un livello che permetta agli apparecchi radio e di telecomunicazioni ed agli altri apparecchi di funzionare in modo conforme alla loro destinazione;

b) essi abbiano un adeguato livello di immunità intrinseca contro i disturbi elettromagnetici che permetta loro di funzionare in modo conforme alla loro destinazione.

La direttiva rimandava alle cosiddette 'norme tecniche armonizzate' per le procedure da seguire per ottenere la presunzione di conformità dei prodotti alla direttiva. Erano anni di notevole interesse per la compatibilità elettromagnetica, una disciplina considerata complessa e che richiedeva competenze al tempo stesso specialistiche, per la specificità delle tecniche di misura impiegate per le verifiche di conformità, ma anche trasversali, per la varietà delle grandezze elettriche considerate (tensione, corrente, potenza, campo elettrico, campo magnetico, campo elettromagnetico) e l'ampio spettro di frequenze coinvolte (dalle armoniche della frequenza di rete, alle decine di GHz). Il Prof. Luigi Millanta dal 1984 era titolare della disciplina Compatibilità Elettromagnetica presso l'Università di Firenze, insegnamento che tenne fino al 2006, anno del pensionamento. L'insegnamento di Compatibilità Elettromagnetica a Firenze fu uno dei primi al mondo (Hubing, Orlandi 2005). La compatibilità elettromagnetica, grazie anche al modo appassionato e competente con cui la insegnava il Prof. Millanta, attraeva numerosi studenti di Ingegneria Elettronica. Fra la fine degli anni 80 e i primi anni 90 brillanti studenti come Mauro Forti (Ordinario di Elettrotecnica all'Università di Siena) e Stefano Maci (Ordinario di Campi Elettromagnetici all'Università di Siena e, al momento in cui scrivo, Presidente di IEEE Antennas and Propagation Society), erano capaci di tradurre in pubblicazione (Millanta, Forti, Maci 1988) le esercitazioni che svolgevano presso il Laboratorio di Compatibilità Elettromagnetica, guidati dal Prof. Millanta. La mia attività di studio e ricerca presso lo stesso laboratorio iniziò a metà degli anni '90 sotto la guida del Prof. Millanta e del Prof. Forti (al tempo Ricercatore di Elettrotecnica) (Forti, Millanta, Carobbi 1996; Carobbi, Forti, Millanta 1998).

Nel 1993 veniva pubblicata la ISO/IEC Guide 98:1993, 'Guide to the expression of uncertainty in measurement', brevemente detta GUM (*ISO/IEC Guide 98*, 2008), a cui, fra gli altri, contribuì il Prof. Gaetano Iuculano, Ordinario di Misure Elettriche ed Elettroniche presso l'Università di Firenze. Del Prof. Iuculano ricordo la passione per le misure e la loro incertezza che si traduceva in una (cito sue parole) 'ansia dell'incertezza'. Tutte le volte che si esprimeva un risultato di misura si doveva essere presi da questa 'ansia' di associare al valore misurato una valutazione quantitativa del suo grado di attendibilità, espressa appunto dall'incertezza di misura. Quando, nel 2001, diventai Ricercatore di Misure Elettriche ed Elettroniche il Prof. Iuculano mi consegnò una copia della GUM e mi disse «studiala!». Lo studio della GUM fu per me entusiasmante.

Ancora negli anni '90 fu costituito presso l'Università di Firenze il Centro Taratura e Certificazione (Ce.Ta.Ce.) per iniziativa dei professori Antonino Liberatore (Ordinario di Elettrotecnica), Gaetano Iuculano e Antonio Zanini (Ordinario di Misure Elettriche ed Elettroniche). Il Laboratorio Ce.Ta.Ce. era un centro SIT (Sistema Italiano di Taratura) accreditato nel 1992 per la taratura di grandezze elettriche in bassa frequenza. Responsabili operativi del Ce.Ta.Ce. erano l'Ing. Guido Pellicci, oggi titolare del Laboratorio Metrologico Gamma Misure, che discende dal Ce.Ta.Ce., e l'Ing. Lorenzo Spinelli, oggi titolare del Laboratorio Prove (ambientali, sicurezza elettrica, compatibilità elettromagnetica, radio, dispositivi medici, macchine) Elettra S.r.l., entrambi con sede a Calenzano (Firenze). L'interesse al mondo delle prove e delle tarature era quindi elevato all'Università di Firenze negli anni '80-'90. Il laboratorio del Ce.Ta.

Ce. era situato nella sottocappella dell'attuale Scuola di Ingegneria, a fianco del Laboratorio di Compatibilità Elettromagnetica del Prof. Millanta. L'Ing. Pellicci assistette al mio esame di Compatibilità Elettromagnetica perché chiamato dal Prof. Millanta a far da testimone (ero l'unico candidato) e non si astenne dal farmi qualche domanda perché interessato a ciò che esposevo (la derivazione di una formula approssimata per l'induttanza di un conduttore isolato). L'Ing. Pellicci si era laureato con il Prof. Millanta discutendo una tesi di compatibilità elettromagnetica, mentre l'Ing. Spinelli si era laureato con il Prof. Martarelli (Associato di Impianti Elettrici) discutendo una tesi sull'Affidabilità di componenti per applicazioni ferroviarie. I principali laboratori di taratura e di prova in ambito elettrico dell'area fiorentina hanno indubbiamente origine dall'esperienza che l'Ing. Pellicci e l'Ing. Spinelli fecero presso il Ce.Ta.Ce., tenendo tuttavia presente che se questi laboratori sono oggi realtà affermate a livello nazionale e internazionale il merito va alla loro passione, l'intelligenza e l'impegno.



Figura 28 – Il Prof. Millanta (in basso, centro-sinistra) in mezzo ai suoi studenti durante l'ultima lezione del 21 giugno 2006 nella ex aula 111 della Scuola di Ingegneria a Santa Marta. Presente il preside della Facoltà di Ingegneria, Prof. Franco Angotti (in basso, centro-destra), e vari colleghi ed ex-studenti nominati in questo articolo. In particolare, in alto a sinistra sono visibili Massimo Polignano, Guido Pellicci, Mauro Forti, e Alessio Bonci. In alto a destra è visibile Stefano Maci.

L'origine dell'idea di confrontare le misure di compatibilità elettromagnetica

Una volta laureatomi nel 1994 e dopo aver svolto il servizio militare presso l'Accademia Navale di Livorno ebbi l'opportunità di continuare a collaborare con il Prof. Millanta su tematiche di Compatibilità Elettromagnetica grazie al sostegno di una borsa di studio finanziata da Esaote S.p.A. nel 1996. Il tema della borsa era la realizzazione di schede elettroniche assistita da un software (EMC Adviser, attualmente prodotto da Zuken Inc., Giappone) che teneva conto di regole di Compatibilità Elettromagnetica e Integrità dei Segnali e delle Alimentazioni nella fase di sbroglio. Si trattava di impiegare EMC Adviser nella riprogettazione di una scheda per una stampante di un elettrocardiografo. L'attività era supervisionata in Esaote S.p.A. dall'Ing. Massimo Polignano (attualmente Chief Quality Officer), che si era laureato alla fine degli anni '80 con il Prof. Millanta. La stampante con la nuova scheda fu poi provata per le emissioni irradiate presso un laboratorio di prova a Milano, uno dei pochi attivi in Italia a quel tempo (e che quindi

eseguiva prove a turni sulle 24 ore per soddisfare le numerose richieste). Fu per me la prima occasione per assistere ad una misura di emissione irradiata in camera anecoica. La stampante superò di un soffio la prova e mi chiesi quale avrebbe potuto essere l'esito se la prova fosse stata eseguita presso un altro laboratorio, in un'altra camera anecoica, con strumentazione diversa, da personale diverso. Sarebbe stato interessante cioè far circolare nei laboratori di prova un emettitore di riferimento di disturbo elettromagnetico e valutare la dispersione fra le misure. Questo esercizio ci avrebbe fornito una stima dell'incertezza di misura dell'emissione irradiata e sarebbe stato un servizio utile per gli stessi laboratori di prova al fine di individuare eventuali criticità nelle complesse catene di misura. L'Ing. Polignano aveva pensato a un esercizio del genere prima di me e mi suggerì di leggere un articolo in cui si descriveva in dettaglio come realizzare un generatore di pettine ('comb generator'). Tramite questo generatore di pettine era possibile produrre un'eccitazione ripetibile, costituita da componenti spettrali di ampiezza circa costante su un'ampia gamma di frequenze e con risoluzione (separazione fra le componenti spettrali) adeguata (Wyatt, Chaney 1991). Mi misi subito al lavoro per realizzare il generatore di pettine di cui l'Ing. Polignano aveva precedentemente realizzato una prima versione per verifiche preliminari della strumentazione di compatibilità elettromagnetica dell'azienda. Esaote S.p.A. aveva parte della produzione a Firenze, dove svolgevo l'attività connessa alla borsa di studio, fu quindi facile reperire i componenti, in particolare il diodo 'step recovery', un componente al tempo per me piuttosto esotico e che costituiva il cuore della rete formatrice dell'impulso che, ripetuto periodicamente, produceva uno spettro di righe equi-spaziate in frequenza e di ampiezza circa costante (il pettine, appunto). Questa seconda versione fu realizzata su una scheda mille-fori seguendo scrupolosamente lo schema elettrico proposto in Wyatt e Chaney (1991) e produceva uno spettro di righe spaziate di 5 MHz e ampiezza circa costante fino a 300 MHz. Concluso il periodo della borsa di studio ottenni, nel 1998, una borsa di dottorato finanziata dalla Provincia di Siena, reperita grazie all'impegno del Prof. Millanta e del Prof. Roberto Tiberio, Ordinario di Campi Elettromagnetici presso l'Università di Siena. Durante il dottorato di ricerca e negli anni immediatamente successivi dovetti occuparmi di altre ricerche e soprattutto di numerosi incarichi didattici che mi furono affidati dal 2001 a seguito del mio passaggio al ruolo di Ricercatore presso l'allora Dipartimento di Elettronica e Telecomunicazioni. Tuttavia, l'idea di confrontare misure di Compatibilità Elettromagnetica eseguite in laboratori diversi non fu abbandonata.

Riferimenti bibliografici

- Carobbi, C. F. M., M. M. Forti e L. M. Millanta. 1998. "Transients in the low-voltage power-distribution circuits: effects of capacitive loading and dependence on distance." *IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*. Denver (CO).
- Forti, M. M., L. M. Millanta e C. F. M. Carobbi. 1996. "Low-frequency transients and impedance in the power mains considering line loading." *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility* 38(3): 310-17.
- Hubing, T. e A. Orlandi. 2005. "A Brief History of EMC Education." *16th International Zurich Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC 2005)*. Zurich (Switzerland).
- ISO/IEC. 1993. *Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM)*. ISO/IEC Guide 98. Versione aggiornata ISO/IEC Guide 98-3.
- Millanta, L. M., M. M. Forti e S. S. Maci. 1988. "A broad-band network for power-line disturbance voltage measurements." *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility* 30(3): 351-57.
- Wyatt, K. e D. Chaney. 1991. "RFI Measurements Using a Harmonic Comb Generator." *RF Design*: 53-58.