

Compatibilità elettromagnetica: un tool online per il processamento automatizzato dei dati

Moreno Comelli¹, Sergio Bruno Ricciarini¹

¹Istituto di Fisica Applicata "Nello Carrara" del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR-IFAC), via
Madonna del Piano 10, 50019, Sesto Fiorentino (FI)

moreno.comelli@cnr.it

Riassunto

Le verifiche di compatibilità elettromagnetica (EMC) si svolgono in un ambiente controllato (camera anecoica) tale da attenuare opportunamente sia il fondo proveniente dall'esterno che gli echi generati alle pareti della camera dalle radiazioni emesse dalla strumentazione presente all'interno. La strumentazione usata per effettuare le verifiche EMC è composta da generatori di segnale, amplificatori, antenne, sonde di iniezione di corrente, trasformatori di accoppiamento, LISN, oscilloscopi, analizzatori di segnale e di spettro, misuratori di campo elettrico o magnetico, compatibili con lo spettro di frequenze e intensità di segnale caratteristici della singola misura (Ricciarini, 2013).

L'Istituto di Fisica Applicata "Nello Carrara" del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR-IFAC), ha sviluppato il portale WebNIR, "Strumenti Web per la valutazione dell'esposizione occupazionale alle Radiazioni Non Ionizzanti" (<https://webnir.eu>). Uno degli strumenti esposti in tale portale, "Caricamento, riconoscimento ed elaborazione di file dati di misure nel dominio del tempo o della frequenza", consente di automatizzare la procedura di analisi dei file in output di potenzialmente qualunque catena di misura elettromagnetica, purché si riesca a descriverne la struttura secondo quanto previsto dal sistema. Questo è stato pensato per eseguire operazioni di analisi e verifica del rispetto di valori di esposizione, il calcolo di indici radioprotezionistici riferiti alla normativa vigente e la visualizzazione grafica dei dati di partenza e dei risultati delle elaborazioni. Data la flessibilità del sistema realizzato, si è pensato in un secondo momento di estenderne le funzionalità in modo da essere applicato in un ambito contiguo, ossia quello della compatibilità elettromagnetica.

In questo lavoro vengono presentati i risultati ottenuti nell'ambito di una campagna di misure EMC svolta su di un prototipo di sistema elettronico, progettato per l'impiego a bordo di satellite in orbita terrestre e dotato di processore e moduli per acquisizione dati di rivelatori di ionizzazione, nell'ambito del progetto IFAC autofinanziato EAS (Elettronica per esperimenti in Ambito Spaziale). Le tipologie di catene di misura elettromagnetica e i livelli di segnale di riferimento riflettono i requisiti indicati nei documenti delle maggiori Agenzie Spaziali, in particolare MSFC-SPEC-521 (NASA) ed ECSS-E-ST-20-07C (ESA).

INTRODUZIONE

Da giugno 2017 è stato avviato un progetto finalizzato a sviluppare e raccogliere in una piattaforma web (<https://webnir.eu>) un set di strumenti operativi pensati per dare supporto agli operatori della prevenzione nell'attività di valutazione e riduzione del rischio da esposizione a campi elettromagnetici (CEM) e radiazioni ottiche artificiali (ROA), con particolare riferimento ai lavoratori con dispositivi medici impiantabili attivi (AIMD). Ciò faceva parte di una ricerca collaborativa, inizialmente affidata dall'INAIL (Istituto Nazionale per l'Indennità di Infortuni sul Lavoro - Dipartimento di Medicina del Lavoro e Ambientale, Epidemiologia e Igiene, Laboratorio Agenti Fisici) a CNR-IFAC (Istituto di Fisica Applicata "Nello Carrara" del Consiglio Nazionale delle Ricerche). Il progetto è in continua evoluzione e coinvolge vari enti pubblici e organismi di ricerca.

CARICAMENTO, RICONOSCIMENTO ED ELABORAZIONE DI FILE DATI DI MISURE NEL DOMINIO DEL TEMPO O DELLA FREQUENZA

Uno degli strumenti sviluppati consente di caricare, riconoscere ed elaborare file di dati di misure nel dominio del tempo o della frequenza provenienti da qualsiasi tipo di catena strumentale. Questo si basa su un database tramite il quale sono gestiti gli aspetti inerenti alla strumentazione (fabbricanti, classi strumentali, specifiche tecniche, strumenti di misura, catene, impostazioni dei file).

In questo modo ad ogni catena strumentale, a seconda delle impostazioni di misura, è associata (tramite database) una struttura di file di output, che permette di individuarne le caratteristiche di formattazione.

L'utente può quindi selezionare i propri file, verificarne la compatibilità con il formato associato alla catena selezionata, ed inviarli al server per eseguire una serie di elaborazioni che permettono di visualizzare graficamente le grandezze misurate (fig. 1) ed ottenere una serie di grandezze rilevanti dal punto di vista radioprotezionistico (fig. 2).

Qualora si debbano analizzare file-dati che non provengono né dalle catene per cui sono state definite procedure specifiche, né dalle catene inserite in archivio e per le quali sia stato definito un formato di file specifico, è necessario ricorrere all'inserimento manuale dei parametri che definiscono la struttura del file.

Figura 1 - Visualizzazione di un set di dati importati tramite procedura automatizzata.

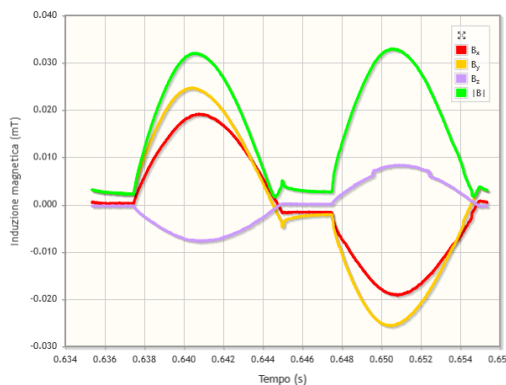
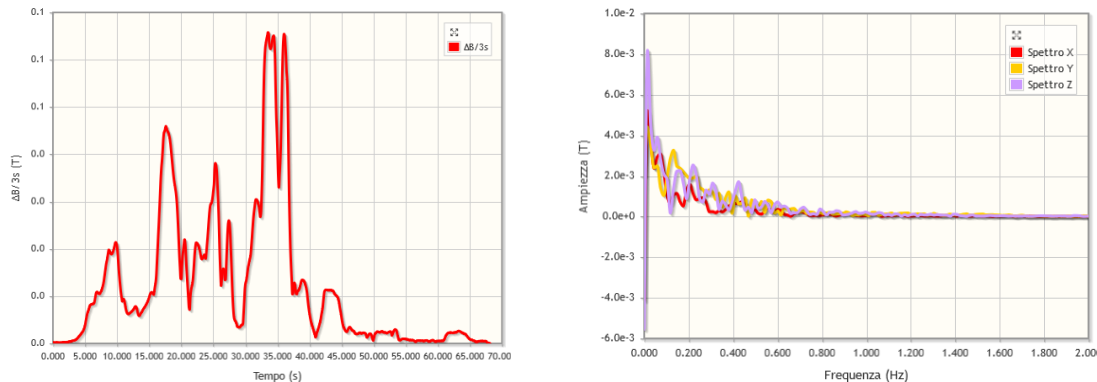


Figura 2 - Grafico relativo a Max $\Delta B/3s$ (a sinistra) e visualizzazione continua dello spettro (a destra).



L'EVOLUZIONE DEL SISTEMA: LA COMPATIBILITÀ ELETTROMAGNETICA

Quando, in un progetto che ha visto coinvolto CNR-IFAC nella realizzazione di test di compatibilità elettromagnetica, è sorta la necessità di sviluppare apposite procedure relative a nuove catene di misura (acquisite e testate per l'occasione), si è deciso di integrare il database della

strumentazione esistente con quanto appena acquisito ed estendere lo strumento informatico già disponibile con una serie di nuove procedure per consentire le verifiche automatizzate anche in questo altro ambito.

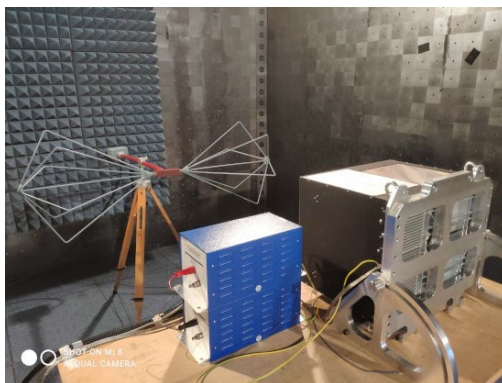
VERIFICHE DI COMPATIBILITÀ ELETTROMAGNETICA

La camera anecoica è sostanzialmente composta da un involucro esterno in alluminio, per la schermatura della radiazione elettromagnetica proveniente dall'esterno, e da un involucro interno (pavimento, soffitto e pareti) composto da mattonelle ferromagnetiche per l'assorbimento della radiazione interna e l'attenuazione degli echi. L'attenuazione degli echi alle alte frequenze (> 1 GHz) richiede tipicamente l'installazione di voluminosi pannelli ferromagnetici con sagome di geometria adeguata (piramidi) e permette di estendere l'efficacia dell'attenuazione ad ordini superiori di frequenza.

Figura 3 - Tipica configurazione per verifiche di emissione o suscettività radiata con antenna a doppio corno, nella banda 200 MHz - 2 GHz.



Figura 4 - Tipica configurazione per verifiche di suscettività radiata con antenna biconica, nella banda 30 MHz - 200 MHz.

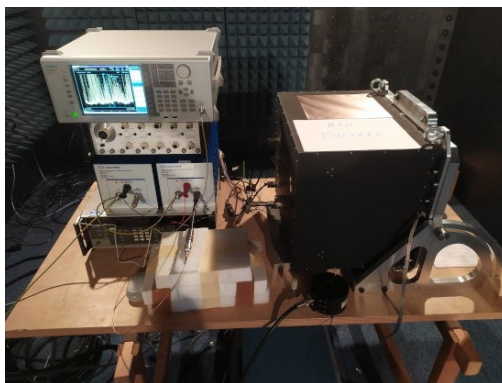


Le verifiche EMC sono di due tipologie:

- sull'emissione elettromagnetica prodotta dal sistema elettronico sotto osservazione (equipment under test, EUT) e misurata mediante opportuna strumentazione calibrata, allo scopo di accertare i livelli di radiazione emessa e, se richiesto, la compatibilità con i livelli massimi ammessi dall'ambiente in cui il sistema andrà ad operare (ad esempio a bordo di satellite);
- sulla suscettività del sistema elettronico sotto osservazione (EUT), rispetto ad interferenze elettromagnetiche esterne, iniettate sul sistema mediante opportuna strumentazione calibrata: viene verificata la correttezza di funzionalità e prestazioni del sistema in

presenza di detti stimoli esterni. Se richiesto, i livelli di stimolo sono definiti in base a quelli attesi nell'ambiente in cui il sistema andrà ad operare.

Figura 5 - Tipica configurazione per verifiche di emissione condotta sulle linee di alimentazione con LISN, nella banda 150 kHz - 10 MHz.



Le verifiche sono tradizionalmente suddivise in condotte e radiate (fig. 3, 4, 5 e 6). Nel caso condotto, la misura viene effettuata prelevando/iniettando il segnale (tramite accoppiamenti capacitivi o induttivi) direttamente sui cavi di alimentazione o interfacce analogiche/digitali che connettono EUT all'esterno. Nel caso radiato, la misura viene effettuata prelevando/iniettando il segnale tramite antenna collocata in vicinanza del EUT.

Le verifiche (sia di emissione che di suscettività) possono riguardare andamenti temporali di tipo impulsivo e transitorio, che ricalcano le emissioni elettromagnetiche a seguito di accensione, spegnimento o cambio configurazione di un apparato. Oppure possono riguardare emissioni elettromagnetiche continue, come si hanno durante il regolare funzionamento di un apparato, che vengono caratterizzate in funzione della frequenza, mediante una scansione in un dato campo di frequenze con permanenza in ciascuna banda definita per un tempo definito.

Figura 6 - Tipica configurazione per verifiche di suscettività condotta con sonda di iniezione di corrente, nella banda 10 kHz - 200 MHz.



Comuni tipologie di verifiche di emissione possono essere.

- Misura della tensione di interferenza iniettata da EUT sulle linee di alimentazione, nella banda 100 kHz - 10 MHz. Questa emissione è dovuta primariamente ai circuiti di regolazione tensione a bordo del EUT. Il segnale di interferenza viene prelevato sulla linea tramite filtro a impedenza controllata (LISN) e misurato da analizzatore di spettro.
- Misura di emissione ambientale di campo elettrico, nella banda 100 MHz - 1 GHz. Questa emissione è dovuta in generale a tutti i circuiti attivi durante il funzionamento del EUT. Il segnale di interferenza viene misurato tramite antenna e analizzatore di spettro.

Comuni tipologie di verifiche di suscettività sono per esempio.

- Verifica della suscettività del EUT ad interferenza sinusoidale iniettata sui cavi di alimentazione, nella banda 30 Hz - 150 kHz con l'intensità spettrale desiderata. Il segnale di interferenza viene iniettato tramite un trasformatore di accoppiamento.
- Verifica della suscettività del EUT ad interferenza sinusoidale (con modulazione a impulsi) iniettata sui cavi di alimentazione e di segnale, nella banda 10 kHz - 200 MHz con l'intensità spettrale desiderata. Il segnale di interferenza viene iniettato tramite una sonda di iniezione di corrente.
- Verifica della suscettività del EUT a campo elettrico di interferenza sinusoidale (con modulazione a impulsi) generato tramite antenna, nella banda 10 kHz - 40 GHz con l'intensità spettrale desiderata.

LE PROCEDURE RELATIVE ALLE VERIFICHE DI COMPATIBILITÀ ELETTROMAGNETICA

Selezionando una catena operante nel dominio della frequenza, se per la grandezza misurata (Campo Elettrico, Induzione Magnetica, Tensione, Corrente, Potenza) sono riportati limiti di riferimento nei documenti tecnici descritti nel seguito viene abilitata l'interfaccia utente adibita alle prove di compatibilità elettromagnetica. I dati possono essere caricati nel sistema e confrontati con un limite omogeneo (fig. 7) tra quelli presenti nei documenti di riferimento:

- MSFC-SPEC-521: Electromagnetic compatibility requirements for equipment and subsystems (NASA, 1990)
- MIL-STD-461E: Requirements for the control of electromagnetic interference characteristics of subsystems and equipment (United States Department of Defense, 1999)
- ECSS-E-ST-20-07C: Space engineering - Electromagnetic compatibility (ECSS, 2022)

Figura 7 - Esempio di spettro di emissione radiata misurato, con limite di riferimento.



Questo ha permesso di automatizzare l'analisi dati relativa alle prove di compatibilità elettromagnetica svolte presso i laboratori dell'istituto CNR-IFAC:

- prove di emissione radiata RE e condotta CE, per assicurare che il sistema non emetta radiazione elettromagnetica, o disturbi elettrici condotti attraverso le linee di connessione verso l'esterno (linee di alimentazione in ingresso e digitali), che risultino al di fuori del campo di valori ammessi per non arrecare malfunzionamenti al resto della strumentazione;

- prove di suscettività radiata RS e condotta CS, per verificare che applicando al sistema livelli di potenza elettromagnetica radiata o condotta predefiniti, non si osservino scostamenti oltre le tolleranze di progetto ammesse, nella funzionalità e nelle caratteristiche fondamentali del sistema.

CONCLUSIONI

In WebNIR è stata sviluppata un'applicazione che mette a disposizione dei tecnici operanti nel settore della protezione dall'esposizione ai campi elettromagnetici, una serie di strumenti automatizzati che consentono la determinazione di grandezze rilevanti (come indici radioprotezionistici o distanze di rispetto) ottenibili dai dati forniti dall'utente in seguito a proprie misure.

Gli operatori possono caricare file ottenuti da una generica catena di misura, specificandone in dettaglio il formato, potendo anche fornire i dettagli tecnici relativi ad una nuova catena (e le specifiche associate ai file prodotti), eventualmente richiedendo che questa sia inserita in archivio ed essere così messa a disposizione di altri tecnici eventualmente interessati.

Nella stessa applicazione sono state integrate anche procedure specifiche relative a verifiche di compatibilità elettromagnetica, estendendo l'applicazione e rendendola più completa e fruibile ad un'utenza più ampia.

CREDITI

Il presente lavoro si è avvalso del supporto finanziario fornito dall'INAIL nell'ambito del progetto a Bando Bric-2022, *Definizione di procedure operative per la valutazione del rischio dei lavoratori portatori di dispositivi medici attivi, impiantabili e indossabili*.

Bibliografia

Beni S., Bini M., Castellini G., Olmi R., Ricciarini S., *Electromagnetic compatibility tests for the space qualification of the high-voltage system of CALET apparatus*, IFAC-TSRR vol. 5 (2013) 69-165, ISSN 2035-5831

Comelli M., Andreuccetti D., *Applicazione online per l'acquisizione e l'elaborazione di dati nel dominio del tempo e della frequenza nella valutazione dell'esposizione a CEM*, VII Convegno Nazionale Agenti Fisici, Stresa, 5-7 giugno 2019

Andreuccetti D., Comelli M., Zoppetti N., *WEBNIR. Piattaforma web sviluppata nell'ambito del progetto ex bando INAIL Bric-2016 (P4-ID30). Strumenti web di ausilio alla valutazione del rischio da esposizione a campi elettromagnetici - anche in riferimento ai portatori di dispositivi medici impiantabili attivi - e a radiazioni ottiche artificiali*. 2017-2024. (<https://webnir.eu/>).

NASA, *MSFC-SPEC-521: Electromagnetic compatibility requirements for equipment and subsystems* (01/01/1990)

United States Department of Defense, *MIL-STD-461E: Requirements for the control of electromagnetic interference characteristics of subsystems and equipment*, 1999

European Cooperation for Space Standardization, *ECSS-E-ST-20-07C: Space engineering - Electromagnetic compatibility*, 3 January 2022