

CARATTERIZZAZIONE DELLE EMISSIONI ELETTROMAGNETICHE DI UN SISTEMA FERROVIARIO AD ALTA VELOCITÀ

Diego Bellan, Giordano Spadacini, Sergio A. Pignari

Dipartimento di Elettrotecnica
Politecnico di Milano
Piazza Leonardo da Vinci, 32, 20133 Milano

La presente attività di ricerca si inquadra nell'ambito del Programma di ricerca scientifica di Rilevante Interesse Nazionale (2006-2008) intitolato *Procedure di prova e linee guida per la progettazione orientata alla compatibilità elettromagnetica di sistemi di trasporto ferroviario interoperabili*. In tale ambito, l'Unità di Milano si occupa prevalentemente dell'analisi delle emissioni radiate dei sistemi ferroviari con l'obiettivo di caratterizzare e distinguere le emissioni correlate all'infrastruttura da quelle proprie del materiale rotabile. In particolare, l'obiettivo principale di questa attività di ricerca è l'individuazione dell'impatto delle caratteristiche elettriche e geometriche dell'infrastruttura sull'irradiazione elettromagnetica di un sistema ferroviario ad alta velocità (con alimentazione 2x25kV-50Hz).

Per perseguire tale obiettivo è stato sviluppato un modello circuitale semplificato basato sulla teoria delle linee di trasmissione multiconduttore (MTL), cioè un modello a parametri distribuiti adatto alla descrizione di fenomeni di propagazione elettromagnetica in strutture elettricamente lunghe [1], [2]. Tale modello è stato impiegato per il calcolo della distribuzione delle correnti lungo i conduttori principali del sistema ferroviario. Il campo elettromagnetico irradiato è stato successivamente ottenuto a partire dalla distribuzione delle correnti lungo i conduttori. Il modello circuitale sviluppato è stato validato per confronto con simulazioni elettromagnetiche, basate sulla soluzione delle equazioni di Maxwell mediante un simulatore commerciale (FEKO) che impiega il metodo dei momenti. Lo sviluppo di un modello a parametri distribuiti semplificato è risultato di fondamentale importanza in quanto consente di superare i problemi connessi al notevole costo computazionale richiesto dalla modellazione elettromagnetica diretta, in un'ampia gamma di frequenze, di una porzione di sistema ferroviario la cui estensione è dell'ordine di alcune decine di chilometri. Questo è un punto di cruciale importanza, in quanto la mancata conoscenza e/o l'incertezza associata a diversi parametri coinvolti nella descrizione di un sistema ferroviario impone analisi ripetute per l'ottenimento di stime significative. Questo obiettivo può essere perseguito solo mediante uno strumento efficiente dal punto di vista computazionale.

Nell'analisi sviluppata, il campo di frequenze considerato si estende fino ad alcuni megahertz, in accordo con le ipotesi fondamentali intrinseche nell'approccio MTL impiegato. In questo intervallo di frequenze il campo magnetico risulta essere la componente dominante dell'irradiazione.

Per quanto riguarda la sorgente delle correnti di rumore lungo l'infrastruttura, questa è costituita primariamente dal locomotore che, in questa prima analisi, è stato modellato mediante un generatore di corrente di ampiezza unitaria costante nel campo di frequenze considerato. Questa scelta consente di svincolare l'analisi dell'impatto dell'infrastruttura rispetto all'impatto delle caratteristiche del locomotore come sorgente di disturbi. Questa analisi consente di ottenere la funzione di trasferimento tra la corrente di rumore iniettata dal

treno lungo l'infrastruttura e il campo elettromagnetico da essa irradiato. Il contributo relativo alle caratteristiche della sorgente di rumore potrà essere tenuto in conto in un momento successivo considerando la sua effettiva caratterizzazione spettrale assieme ad altre proprietà specifiche della sorgente di emissione.

Una delle difficoltà incontrate nel processo di modellazione è stata la caratterizzazione del comportamento dei sottosistemi collegati all'infrastruttura (autotrasformatori, sottostazioni di alimentazione, connessioni induttive con le rotaie, ecc.) nell'intervallo di frequenze di interesse per le emissioni elettromagnetiche. Per far fronte a questo problema sono state individuate e seguite due strade alternative. Nel caso in cui dimensioni elettriche dei sottosistemi, aspetti di sicurezza e accessibilità agli impianti siano compatibili con la caratterizzazione sperimentalmente diretta, si ottiene una descrizione ad hoc (a partire da dati sperimentali) e la si include nel modello complessivo dell'infrastruttura. Questo approccio è stato adottato, ad esempio, per le connessioni induttive, [3]. Quando questa strada risulti impossibile da praticare si estende il campo di validità dei circuiti equivalenti di bassa frequenza con l'aggiunta di elementi circuitali atti a descrivere effetti di non idealità. In questo caso, la disponibilità del modello MTL dell'intera struttura, grazie alla sua intrinseca efficienza computazionale, consente di effettuare analisi ripetute e parametriche rispetto a tali parametri aggiuntivi, al fine di ottenere stime statistiche del comportamento del sistema complessivo. A titolo puramente esemplificativo, la Fig. 1 mostra l'estensione spaziale delle emissioni di campo magnetico alla frequenza di 100 kHz, calcolato a 10 metri di distanza da una linea ferroviaria lunga 48 km (con il treno collocato in posizione 18.375 km), per valori significativamente diversi delle capacità parassite del circuito equivalente dell'autotrasformatore, collocato a 12 km dalla terminazione di sinistra.

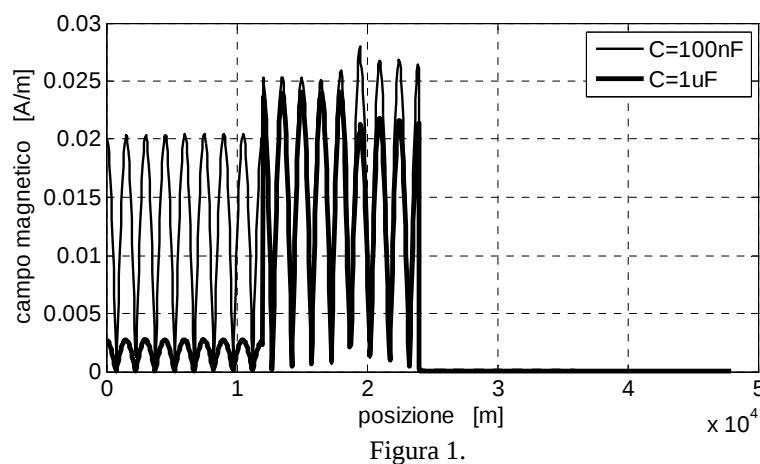


Figura 1.

Bibliografia

- [1] D. Bellan and S. A. Pignari, "Distributed parameter modelling of a railway line for the characterisation of open area test sites for radiated emissions measurement," in *EMC Zurich 2007 in Munich Int. Symp. Electromagn. Compat. - Workshop notes*, Munich, Germany, Sept. 24-28, 2007, pp. 85-97.
- [2] S. A. Pignari and D. Bellan, "Impact of the infrastructure on electromagnetic emissions radiated by a railway system," in *8th World Congress on Railway Research*, May 18-22, 2008, COEX, Seoul, Korea.
- [3] E. Fedeli, S. A. Pignari, and G. Spadacini, "High-frequency experimental characterization of impedance bonds used in railway systems," in *EMC Europe 2008*, 8th-12th of September 2008, Hamburg, Germany.