

CARATTERIZZAZIONE E ANALISI DELLE SUPERFICI INTELLIGENTI RICONFIGURABILI

Giuseppe Pettanice, Daniele Romano, Giulio Antonini

Dipartimento di Ingegneria e Scienze dell'Informazione e Matematica
Via Vetoio 1, Coppito
67100 L'Aquila

Le superfici intelligenti riconfigurabili (RIS) sono riconosciute come una delle tecnologie emergenti più promettenti nel panorama delle comunicazioni wireless, per via del loro basso costo, bassa potenza richiesta e bassa complessità strutturale [1]. Le RIS possono essere pensate come sottili fogli di metamateriale e/o array bi-dimensionali di antenne.

La modellazione elettromagnetica (EM) di tali strutture assume un ruolo sempre più cruciale e centrale. Le RIS possono essere caratterizzate ed analizzate come un sistema multiporta. Attualmente tali sistemi vengono studiati nel dominio della frequenza (FD), tuttavia, lo studio nel dominio del tempo (TD) non va escluso, poiché può portare a notevoli vantaggi: tra gli altri, la possibilità di poter includere terminazioni non lineari, che spesso costituiscono le RIS, e la possibilità di caratterizzare il canale di comunicazione con un solo “ciclo di run”, evitando valutazioni ripetute sul numero di frequenze del range di interesse. In entrambi i domini di studio, FD o TD, lo studio delle RIS può essere condotto mediante l'uso del metodo PEEC (Partial Elements Equivalent Circuit), il quale è un metodo numerico di analisi che permette di rappresentare il problema EM attraverso un circuito equivalente[2]. Tale circuito è ottenuto a partire dalla discretizzazione della struttura di interesse (mesh) attraverso l'introduzione degli elementi parziali ai quali vengono applicati il Principio di Equivalenza di Volume [3] e la legge di continuità della corrente elettrica [2], basandosi sull'equazione integrale del campo elettrico (EFIE). Successivamente, il circuito equivalente può essere studiato applicando le tradizionali regole dello studio circuitale.

Analisi nel dominio della frequenza (FD)

Modellando la RIS come un array di dipoli [4], con il PEEC è possibile studiare la geometria alla frequenza di risonanza dei dipoli che costituiscono la RIS, o anche per una banda di frequenze d'interesse. Inoltre, è stata implementata una nuova formulazione analitica che riesce a descrivere il comportamento di un dipolo, così come di un array di dipoli, tenendo in considerazione gli effetti del mutuo accoppiamento [5,6].

Nel FD è possibile studiare e ricavare il diagramma di radiazione della RIS e di valutare come la presenza delle RIS stessa impatti sul guadagno del canale di comunicazione end-to-end (H_{E2E}).

Analisi nel dominio del tempo (TD)

Nel dominio del tempo, è possibile caratterizzare la RIS attraverso lo studio dei parametri onda, ai quali si perviene a partire dai parametri di tensioni e correnti, che permettono di ricavare e conoscere i parametri scattering [7,8].

In particolare, lo studio di questi sistemi nel dominio del tempo viene effettuato a partire dallo studio e dalla conoscenza della risposta all'impulso del sistema, o anche della risposta al gradino poi derivata, così da tornare alla risposta all'impulso. Nota la risposta all'impulso, questa viene impiegata all'interno di un integrale di convoluzione, il quale permette di studiare il sistema con terminazioni arbitrarie, lineari e non-lineari.

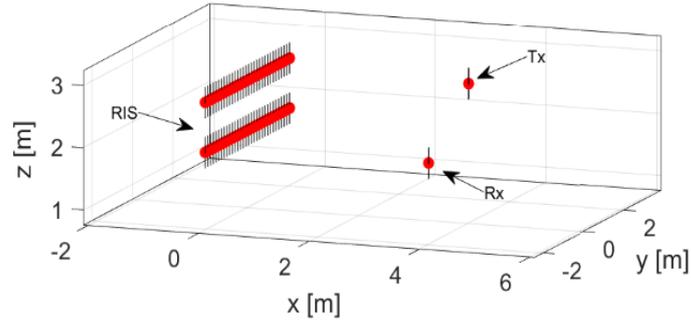


Fig. 1 – Rappresentazione di un sistema con RIS

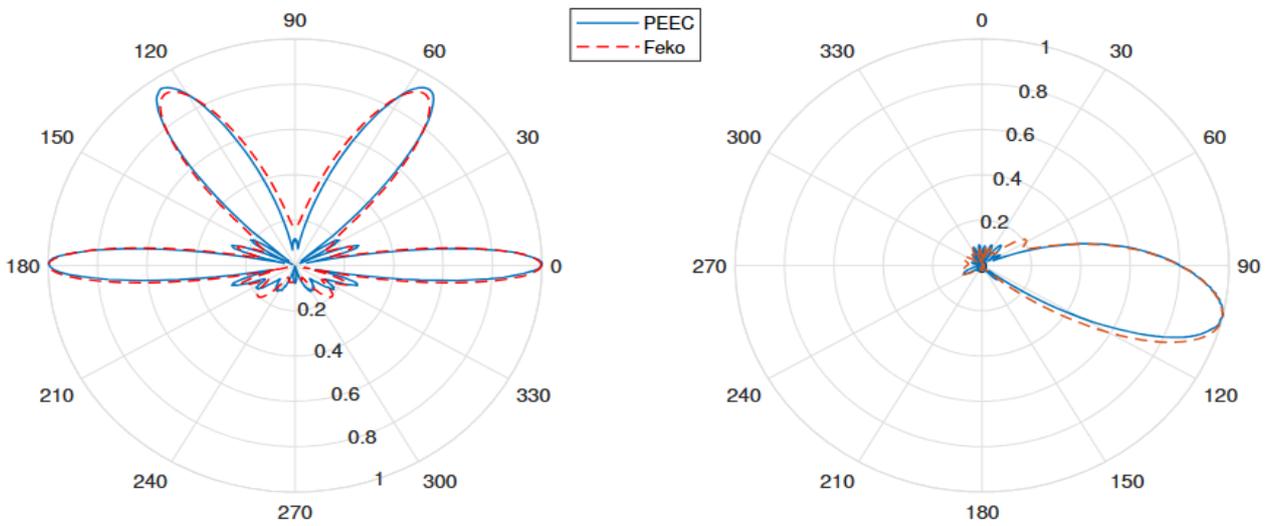


Fig. 2 – Analisi FD – Diagramma di radiazione normalizzato: φ -plane (sx); θ -plane (dx).

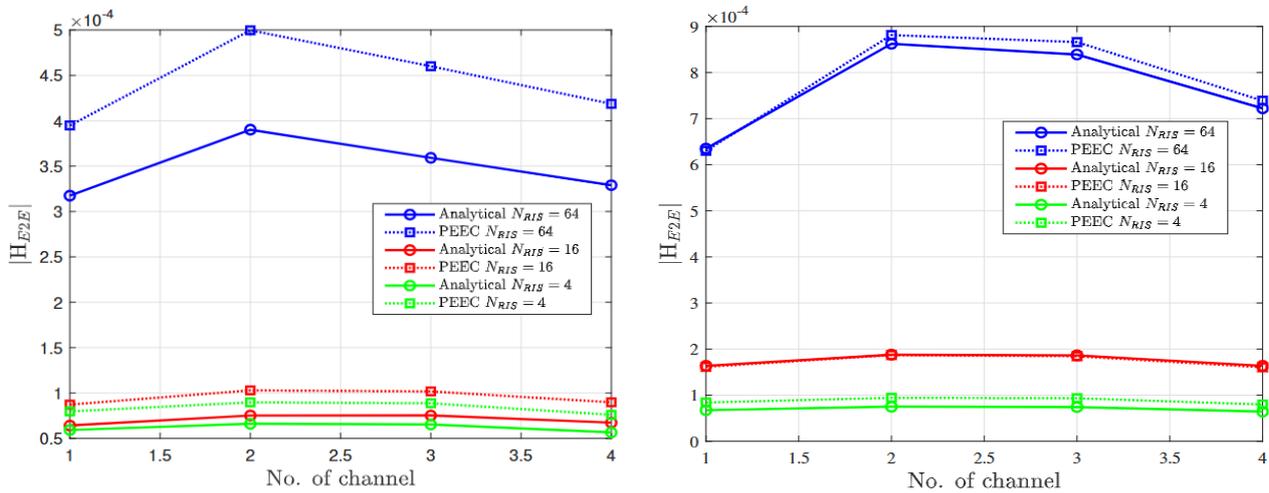


Fig. 3 – Analisi FD – Channel Gain (H_{E2E}) con terminazioni non ottimizzate (sx) e ottimizzate (dx)

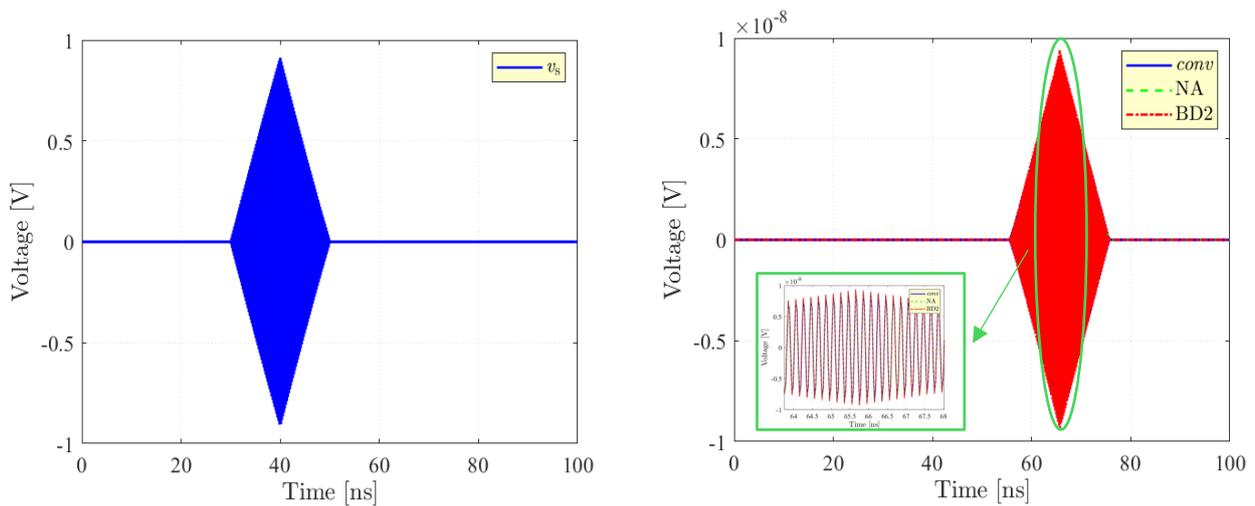


Fig. 4 – Analisi TD – Sistema con RIS (sx), tensione ai capi del ricevitore (dx).

Riferimenti

- [1] M. Di Renzo et al., "Smart Radio Environments Empowered by Reconfigurable Intelligent Surfaces: How It Works, State of Research, and The Road Ahead," in *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 38, no. 11, pp. 2450-2525, Nov. 2020, doi: 10.1109/JSAC.2020.3007211.
- [2] A. E. Ruehli, G. Antonini, and L. Jiang, *Circuit Oriented Electromagnetic Modeling Using the PEEC Techniques*, IEEE Press-Wiley, Hoboken, New Jersey, 2017.
- [3] R. F. Harrington, *Time-Harmonic Electromagnetic Fields*, IEEE Press, 2001.
- [4] G. Gradoni and M. Di Renzo, "End-to-end mutual coupling aware communication model for reconfigurable intelligent surfaces: An electromagnetic-compliant approach based on mutual impedances," *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 10, no. 5, pp. 938–942, 2021.
- [5] G. Pettanice, M. Di Renzo, S. Jeong, R. Valentini, P. Di Marco, F. Santucci, D. Romano, G. Antonini, "Multiport Network Modeling for Reconfigurable Intelligent Surfaces: Numerical Validation with a Full-Wave PEEC Simulator", *AT-RASC – 4th URSI Atlantic Radio Science Meeting*, Gran Canaria, Spain, 2024, accepted.
- [6] G. Pettanice, M. Di Renzo, R. Valentini, S. Jeong, P. Di Marco, F. Santucci, D. Romano, G. Antonini, "Design and Optimization of Reconfigurable Intelligent Surfaces Using the PEEC Method", *2024 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and ITNC-USNC-URSI Radio Science Meeting*, Florence, Italy, 2024, accepted.
- [7] G. Pettanice, F. Loreto, P. Di Marco, D. Romano, F. Santucci, R. Alesii, G. Antonini, "Time-domain Characterization of Reconfigurable Intelligent Surfaces for Wireless Communications," *2022 International Symposium on Electromagnetic Compatibility – EMC Europe*, Gothenburg, Sweden, 2022, pp. 566-571, doi: 10.1109/EMCEurope51680.2022.9901291.
- [8] G. Pettanice, R. Valentini, P. D. Marco, F. Loreto, D. Romano, F. Santucci, D. Spina, and G. Antonini, "Mutual Coupling Aware Time-Domain Characterization and Performance Analysis of Reconfigurable Intelligent Surfaces," *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, vol. 65, no. 6, pp. 1606–1620, 2023.