

SOVRATENSIONI INDOTTE DA FULMINI SU LINEE ELETTRICHE: MODELLI A LINEA DI TRASMISSIONE E FULL-WAVE

A. Andreotti (1), D. Assante (2), L. Verolino (1)

(1) Dipartimento di Ingegneria Elettrica, Università Federico II di Napoli
Via Claudio, 21 – 80125 Napoli

(2) Facoltà di Ingegneria, Università Telematica Internazionale Uninettuno
Corso Vittorio Emanuele II, 39 – 00186 Roma

Il problema del calcolo accurato delle sovratensioni indotte da fulminazione indiretta su linee di trasmissione è tutt'oggi un argomento di notevole interesse nella letteratura scientifica. Il problema è stato studiato con diversi approcci che hanno portato a risultati più o meno attendibili. I risultati che hanno avuto maggiore successo partono da modelli a linea di trasmissione che includono l'accoppiamento con un campo elettromagnetico esterno [1-2] e vengono in genere risolti tramite soluzioni analitiche approssimate o numeriche [3-5]. Recentemente è stata proposta una soluzione analitica esatta del problema in determinate ipotesi geometriche e fisiche comunemente accettate [6]. In particolare è stato trovato che supponendo il canale di scarica verticale, la linea di trasmissione monoconduttore parallela al suolo ed il terreno conduttore elettrico perfetto, nelle ipotesi di validità del modello a linea di trasmissione si trova la seguente tensione indotta:

$$v(x, t) = -\int_0^h e_z(x, d, z, t) dz - \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{+\infty} e_x\left(\xi, d, t - \frac{|\xi - x|}{c}\right) \text{sign}(x - \xi) d\xi,$$

avendo preso come sistema di riferimento la geometria in figura 1, essendo c la velocità della luce nel vuoto. Le grandezze $e_z(x, y, z, t)$ ed $e_x(x, y, z, t)$ sono rispettivamente le componenti verticale e longitudinale del generico campo elettrico incidente. Pertanto il risultato è generale e prescinde dal particolare modello di fulmine prescelto. In aggiunta, in [6] è stato eseguito anche il calcolo analitico della sovratensione per un particolare modello di fulmine comunemente utilizzato in letteratura, il che ha consentito di confrontare il risultato con altre soluzioni approssimate presenti in letteratura al fine di discuterne la validità.

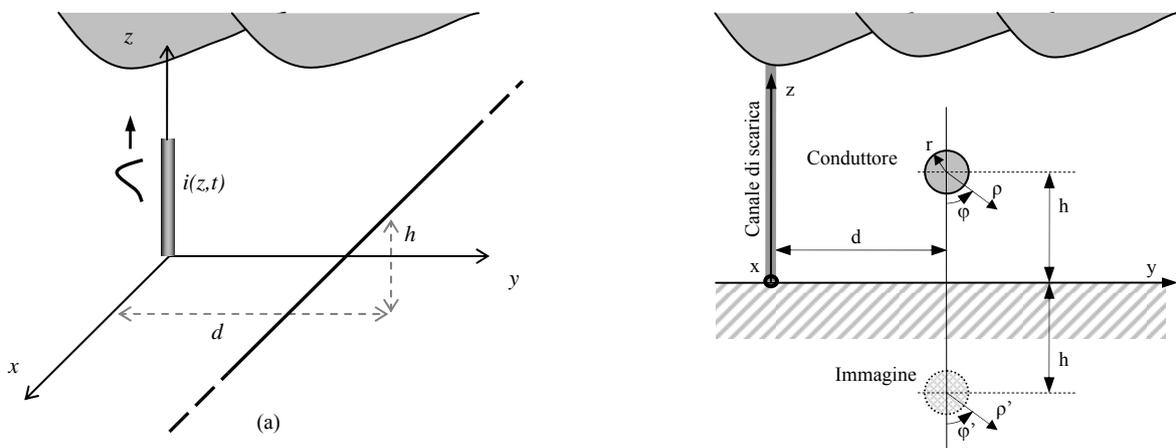


Figura 1: geometria del problema e sistemi di riferimento.

Recentemente è stata portata avanti un'ulteriore indagine per discutere i limiti di validità del risultato trovato. A tal fine è stato sviluppato un modello full-wave di campo, dal quale è stata ricavata la sovratensione indotta integrando la componente verticale del campo elettrico.

Il problema è stato risolto con il metodo delle immagini in virtù del terreno perfettamente conduttore. Quest'ipotesi comunque è stata impiegata solo per il modello di accoppiamento e non per il calcolo del campo incidente, che può essere del tutto generico, eventualmente anche calcolato in presenza di terreno conduttore. Ciò è importante in quanto in letteratura è stato evidenziato che la conducibilità finita del terreno influenza la propagazione del campo elettromagnetico, ma non in maniera sostanziale l'accoppiamento del campo con la linea di trasmissione.

Il primo risultato interessante ottenuto è che la sovratensione indotta calcolata con il modello approssimato a linea di trasmissione e full-wave coincide, avendo assunto come ipotesi per quest'ultimo che:

- 1) il raggio del conduttore è molto minore dell'altezza ($\rho \ll h$);
- 2) il raggio del conduttore è molto minore della minima lunghezza d'onda del campo incidente ($k \rho \ll 1$).

È stato inoltre provato che se sono valide entrambe queste ipotesi, sono anche soddisfatte quelle alla base del modello a linea di trasmissione [2]. Dal confronto è stato poi possibile definire una procedura per calcolare le sovratensioni anche quando questo modello non è più attendibile, ovvero quando almeno una delle due ipotesi indicate in precedenza non è più valida. In particolare si è trovato che:

- nel caso in cui non sia valida l'ipotesi 1), il modello full-wave consente ancora di valutare agevolmente la componente verticale del campo elettrico, ma la sua integrazione analitica non è più possibile;
- nel caso in cui non sia valida l'ipotesi 2), la struttura del campo e quindi la formulazione si complicano notevolmente e richiedono uno studio più complesso.

Il confronto fra i due modelli ha quindi consentito di comprendere maggiormente le ipotesi ed i limiti di validità del modello a linea di trasmissione.

Bibliografia

- [1] C. D. Taylor, R. C. Satterwhite, and C. W. Harrison, "The response of a terminated two-wire transmission line excited by a nonuniform electromagnetic field," *Trans. Antennas Propagat.*, vol. 13, 1965.
- [2] A. K. Agrawal, H. J. Price, and S. H. Gurbaxani, "Transient response of multiconductor transmission line excited by a nonuniform electromagnetic field," *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. 22, pp. 119-129, May 1980.
- [3] G. Diendorfer, "Induced voltage on an overhead line due to nearby lightning," *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. 32, no. 4, pp. 292-299, Nov. 1990.
- [4] C. A. Nucci, V. Bardazzi, R. Iorio, A. Mansoldo, and A. Porrino, "A code for the calculation of lightning-induced overvoltages and its interface with the electromagnetic transient program," in *Proc. 22nd Int. Conf. Lightning Protection*, Budapest, Hungary, Sep. 1994, pp. 19-23.
- [5] H. K. Hoidalen "Calculation of lightning-induced overvoltages using MODELS", *Int. Conf. Power System Transients*, 2003.
- [6] A. Andreotti, D. Assante, F. Mottola, L. Verolino, "An Exact Closed-Form Solution for Lightning-Induced Overvoltages Calculations", *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 24, no. 3, pp. 1328-1343, July 2009.