

# Studio di sensori isotropici a larga banda

M. Orefice (\*), G. Querio(\*\*)

(\*) Dipartimento di Elettronica, Politecnico di Torino, e IEIIT-IRITI-CNR

Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino

(\*\*) Politecnico di Torino

[mario.orefice@polito.it](mailto:mario.orefice@polito.it)

**Abstract** – *This paper presents some preliminary results obtained in the study on new configurations of wide band isotropic sensors.*

## Introduzione

L'importanza dei sensori di campo elettromagnetico è andata crescendo negli ultimi anni anche a causa dell'incremento dell'interesse dell'opinione pubblica nei confronti dei problemi di interferenza elettromagnetica e di sicurezza rispetto alle radiazioni non ionizzanti, al punto che ormai il "misuratore di campo" è diventato uno strumento di uso comune, anche da parte di non esperti. Anche per questo motivo, però, è necessario che tali strumenti siano dotati di elevata sensibilità ed accuratezza, ed è quindi importante l'ottimizzazione sia dei sensori, talvolta differenti a seconda della banda, che della parte di elettronica attiva che è strettamente integrata con quella sensoristica. Quest'ultima è discussa in altra parte di questo stesso Convegno [1].

La letteratura sui sensori di campo elettromagnetico è molto vasta (v. p.es. [2-3] ed i riferimenti in essi contenuti) e si estende ai sensori fotonici che utilizzano modulatori elettroottici e fibre ottiche, e sono quindi esenti da interferenze elettromagnetiche e al tempo stesso perturbano in misura molto ridotta il campo elettromagnetico che deve essere misurato.

I sensori di campo elettrico più usuali sono dei dipoli corti, spesso in numero di tre e disposti secondo i tre assi in modo da ottenere una copertura praticamente isotropica e misurare le 3 componenti. La formula più nota per l'impedenza d'irradiazione di tale antenna è essenzialmente capacitiva e data da

$$Z_A(\omega) \approx -\frac{j}{\omega C_A} = -jZ_0[\ln(2h/a) - 1]/\pi k_0 h \quad (1)$$

dove  $h$  è la semilunghezza del dipolo, ed  $a$  il suo raggio. Nel caso di sezione non cilindrica, è possibile ricavare un raggio equivalente che dipende dalla sezione: ad esempio, per un dipolo a striscia di larghezza  $w$ , è  $r_{eq} = w/4$ .

La (1) è spesso scritta come

$$Z_A(\omega) \approx -jZ_m \cot k_0 h \quad (2)$$

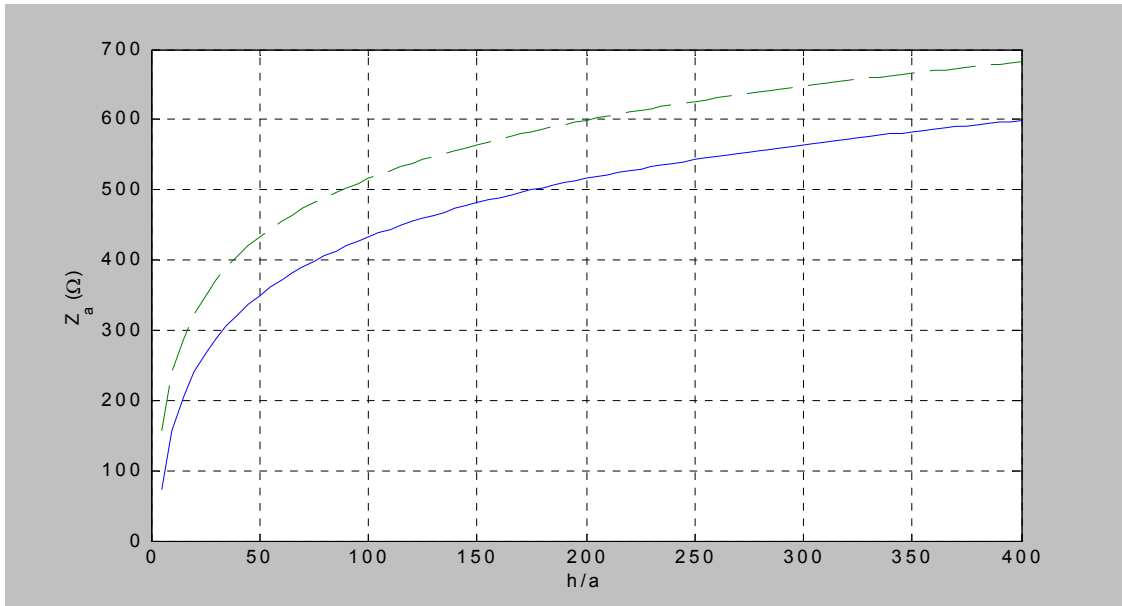
dove  $Z_m$  è interpretabile come l'impedenza caratteristica media della linea biconica ad angolo di apertura variabile equivalente al dipolo, data da

$$Z_m \approx Z_0 [\ln(2h/a) - 1]/\pi \quad (3)$$

In letteratura si trovano altre formule, in cui il termine nella parentesi quadra assume forme diverse, ad esempio [3, 4]

$$Z_m \approx Z_0 [\ln(2h/a) - 1.7]/\pi \quad (4)$$

Un confronto tra le due formule è riportato in fig.1.



**Figura 1.** Confronto tra le (3) (in alto) e (4) per l'impedenza caratteristica media di un dipolo.

La resistenza d'irradiazione, praticamente trascurabile, è esprimibile tramite la nota formula approssimata (in ohm)

$$R_A(\omega) \approx 800(h/\lambda)^2 \quad (5)$$

La "sensibilità" del sensore è proporzionale all'altezza efficace  $h_{eff}$ , approssimativamente pari alla metà della lunghezza del dipolo,  $h$ . Una formula più accurata, riportata in [3, 4], dà valori un po' più bassi, con una riduzione variabile da circa il 10% per dipoli molto tozzi ( $h/a$  di poche unità) a circa il 3% per dipoli molto sottili.

### Caratterizzazione dei sensori

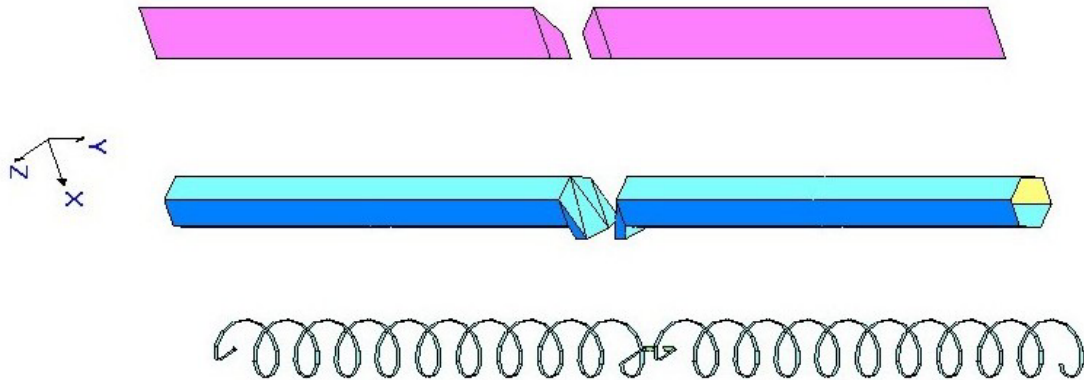
In conseguenza dei valori d'impedenza, non è possibile operare in condizioni di adattamento, ma si deve utilizzare un dispositivo attivo con impedenza d'ingresso molto elevata in modo da massimizzare la tensione d'ingresso. Questo comporta una risposta in tensione quasi costante quando l'impedenza interna del sensore è molto inferiore a quella del carico. Tuttavia, per frequenze piuttosto basse, la reattanza capacitiva data dalla (1) cresce molto e quindi si ha una partizione di tensione sul carico, per cui si ha una frequenza di taglio  $f_c$  quando l'impedenza reattiva dell'antenna uguaglia quella, prevalentemente resistiva, del dispositivo d'ingresso, ossia per

$$f_c \approx \frac{Z_m v_f}{2\pi R_i h} \quad (6)$$

dove  $v_f$  è la velocità di fase lungo la linea equivalente, pari, per il dipolo, alla velocità della luce nel vuoto. È evidentemente auspicabile che  $f_c$  sia la più bassa possibile: dalla (6) si vede che questa può essere ridotta, a parità di lunghezza della sonda ( $2h$ ) e di resistenza d'ingresso del dispositivo attivo ( $R_i$ ) riducendo l'impedenza caratteristica media o/e la velocità di fase sulla struttura.

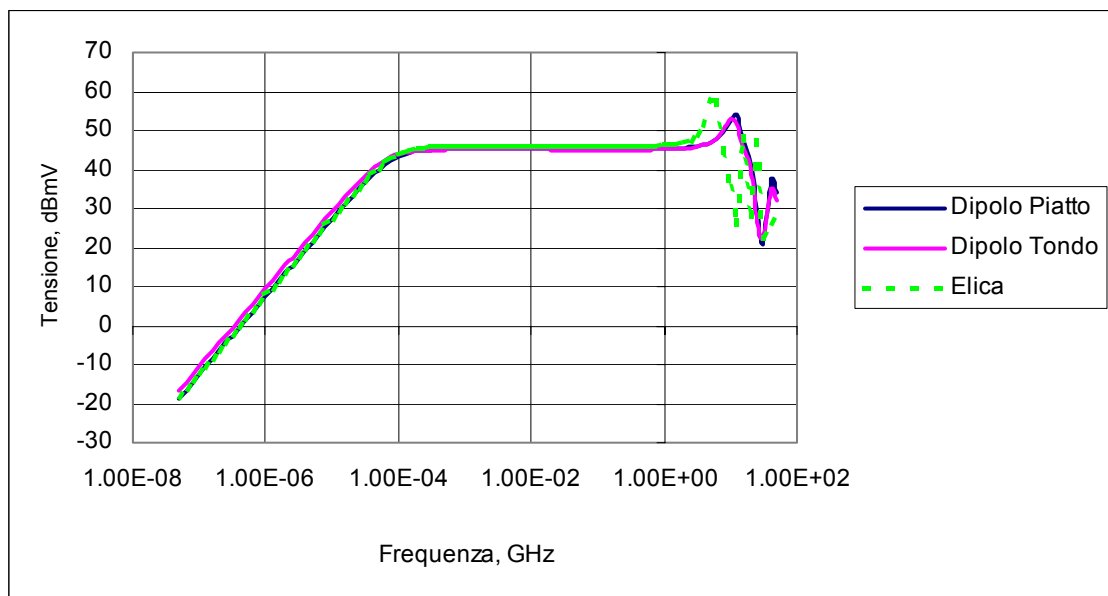
Il primo risultato può essere ottenuto riducendo la snellezza del dipolo, e quindi aumentandone il diametro. Si devono comunque considerare configurazioni di sonde più complesse del semplice dipolo, e si richiede quindi un'analisi tramite simulatori numerici che permettano lo studio di strutture complesse non convenzionali, tenendo conto anche di particolari realizzativi quali ad esempio la configurazione e la forma dell'alimentazione.

In questo lavoro sono state considerate diverse configurazioni (v. fig.2) ed analizzate mediante un software commerciale per la soluzione di equazioni integrali. Nel seguito verranno presentati alcuni risultati per sensori a dipolo di differenti sezioni, e per sensori a struttura elicoidale. La struttura ad elica, di solito utilizzata in modo sbilanciato (sia nel modo assiale che in quello normale), è qui alimentata invece in modo bilanciato, per simmetria con il dipolo; essa è stata scelta in quanto, come struttura ad onda lenta, può ridurre il valore di  $v_f$  nella (6). Tutti i sensori hanno una semilunghezza  $h = 10$  mm e hanno differenti dimensioni trasversali: il dipolo a striscia ha  $w = 1$  mm (raggio equivalente 0.25 mm), quello cilindrico ha  $a=0.5$  mm. Il diametro dell'elica è di 1 mm, il passo 0.7 mm.



**Figura 2.** Modellizzazione di 3 tipi di sensori: dipolo piatto, dipolo cilindrico, ad elica.

In fig. 3 sono riportati valori di tensione all'ingresso di un dispositivo attivo di carico, con impedenza di ingresso di  $20 \text{ M}\Omega$ , quando il sensore è immerso in un campo elettromagnetico



**Figura 3.** Tensione all'ingresso di un dispositivo attivo di carico, con impedenza di ingresso di  $20 \text{ M}\Omega$ , quando il sensore è immerso in un campo elettromagnetico dal valore di  $20 \text{ V}$  (picco), calcolati mediante la simulazione.

dal valore di  $20 \text{ V}$  (picco), calcolati mediante la simulazione, per una variazione di frequenza da  $50 \text{ Hz}$  a  $50 \text{ GHz}$ . Nella curva (molto simile a quella sperimentale riportata in [1]) si vedono

chiaramente tre regioni di funzionamento: a) al di sotto di  $f_c$ , in cui l'elevata reattanza capacitiva riduce il fattore di partizione della tensione sul carico, che quindi decresce di 20 dB/decade; b) al di sopra di  $f_c$ , in cui il radiatore è ancora corto rispetto alla lunghezza d'onda; esso quindi ha un'impedenza relativamente bassa e quindi vede il carico come un circuito aperto; l'altezza efficace è circa costante, pari ad  $h$ ; la tensione sul carico è circa costante; c) in prossimità della risonanza, in cui l'altezza efficace dell'antenna aumenta e il dipolo diventa prevalentemente resistivo; la tensione sul carico dipende dalla frequenza. Per evitare tale instabilità talvolta si utilizzano dipoli caricati resistivamente per sopprimere la risonanza.

### Commenti ai risultati

Dall'analisi dell'andamento della tensione si possono effettuare le seguenti considerazioni:

1) per quanto riguarda i dipoli, è possibile calcolare il valore di  $Z_m$  dall'andamento della reattanza, sia per basse frequenze dalla (2), che nell'intorno della risonanza dalla variazione della reattanza, tramite la

$$Z_m \approx \frac{c}{2\pi h} \frac{\Delta X}{\Delta f} \quad (6)$$

oltre ad un termine correttivo. Il risultato sono molto vicini a quelli ottenibili dalla (4).

2) il maggiore diametro del dipolo rispetto alla striscia porta ad un abbassamento di  $f_c$  di circa il 30%.

3) la struttura ad elica aumenta l'altezza efficace di circa 1 dB, ed ha una risonanza, a parità di lunghezza rispetto al dipolo, ad una frequenza inferiore.

### Bibliografia

- [1] V. Pozzolo, A.Santarelli, A. Casciano, "Elettronica dei sensori a larga banda", in questo volume.
- [2] H.I. Bassen, G.S. Smith, "Electric field probes – A review," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, **AP-31**, 5, September 1983, pp.710-718.
- [3] M. Kanda, "Standard antennas for electromagnetic interference measurements and methods to calibrate them," *IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility*, **36**, no. 4, November 1994, pp. 261-273.
- [4] R.W.P. King, *Theory of linear antennas*, Cambridge, MA: Harvard Univ. Press, 1956.