

Panoramica sulla diagnostica: ICT e Dipolo Ripiegato

V. Nassisi

*Dipartimento di Matematica e Fisica "E. De Giorgi", Laboratorio di Elettronica Applicata e Strumentazione, LEAS
I.N.F.N. sect. of Lecce, C.P. 193, 73100 Lecce, Italy
vincenzo.nassisi@unisalento.it*

Abstract

Si analizzano due sistemi utilizzati nel campo della diagnostica che sono presentati come applicazione di leggi fisiche. Si dimostra che il probe ICT, utilizzato per la diagnostica dei fasci carichi, non può utilizzare la legge di Faraday; e il dipolo ripiegato, utilizzato per la rilevazione delle radiofrequenze, non utilizza la teoria delle linee di trasmissione.

Introduzione

Tutti i sistemi di misura vengono realizzati sviluppando l'applicazione di leggi fisiche. Tutto ciò però, non è semplice se non sono considerati tutti gli aspetti più profondi delle leggi.

In questo lavoro si analizzano due specifici sistemi, molto diffusi, ma non correlati correttamente alle leggi fisiche. Essi sono l'ICT (*Integrating Current Transformer*) per la diagnostica dei fasci carichi e il Dipolo Ripiegato per la rilevazione delle radiofrequenze.

ICT Integrating Current Transformer

L'ICT nasce nel 1969 presso i laboratori internazionali del CERN[1]. Data l'importanza dell'oggetto, altri lavori sull'argomento sono pubblicati[2], e dei prototipi sono pure costruiti e commercializzati, anche oggi[3].

La problematica è semplice; la misura di un flusso moderato di corrente in un conduttore è sufficientemente superata con l'applicazione della legge di Ohm; la misura di

flussi di corrente variabili, e specialmente se di alta corrente, si supera con la legge di Faraday; la misura di un fascio carico si supera con l'applicazione di coppe di Faraday.

Cosa invece si vuole? La misura di un fascio carico mediante una coppa di Faraday distrugge il fascio con conseguenze facilmente immaginabili; ciò l'operazione di misurazione non permette di condurre applicazioni del fascio e viceversa.

Ecco che siamo di fronte ad un deficit tecnico/scientifico. Si è cercato di porre rimedio alla suddetta deficienza inventando un sistema chiamato trasformatore integrato di corrente conosciuto come ICT. Il funzionamento del sistema, come pure quello di un qualsiasi trasformatore, usa la legge di Faraday,

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = - \frac{d\Phi_B}{dt} \quad (1)$$

La stessa in un circuito elettrico, in presenza di un induttore di induttanza L e corrente $i(t)$, piglia la forma:

$$V_L = L \frac{di}{dt} \quad (2)$$

La legge di Faraday in forma differenziale, quindi puntuale, ha la forma seguente.

$$\nabla \vec{E} \times = \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (3)$$

Qui, vediamo che la scoperta di Faraday, elaborata, mette in relazione il campo elettrico con il campo magnetico. Ma se associamo il campo magnetico ad una corrente, allora per la (3) possiamo concludere che una corrente variabile genera un campo elettrico, non conservativo. Ma, può una corrente da cariche nel vuoto generare un campo elettrico non conservativo? La risposta alla domanda è no se le cariche sono già state accelerate! [4]. Infatti, la diagnostica di un fascio di elettroni, con profilo cilindrico o piano è condotta con bobine di Rogowski [5-7]. La bobina di Rogowski si studia e si calibra utilizzando un impulso di corrente che fluisce in un conduttore. Per la diagnostica di un fascio invece, il probe si posiziona sull'elettrodo che compone il diodo che emette elettroni, Fig 1. Solo in questo modo è corretto applicare la legge di Faraday.

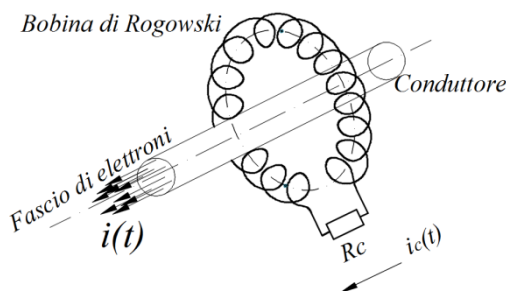


Fig. 1: Schema di un toro di Rogowski e della sua posizione in un acceleratore.

Da quanto si è visto allora, bisogna stare attenti a conoscere la provenienza della corrente. Solo una carica in stato accelerante dà origine ad un campo elettrico non

conservativo. Infatti la formula di Larmor è la seguente [4]:

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = -\frac{q\vec{a}(t')}{4\pi\epsilon_0 r c^2} \quad (4)$$

e il campo generato è illustrato in Fig. 2.

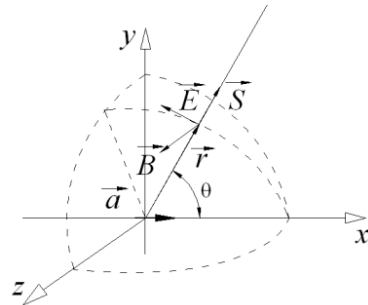


Fig. 2: Esempio di carica avente accelerazione \vec{a} . \vec{E} : campo elettrico; \vec{B} : magnetico generato.

Un ICT è un sistema formato da bobine toroidali in asse con l'asse del fascio di particelle. Si capisce che si sta supponendo un fascio morfologicamente cilindrico. Un esempio di ICT è illustrato in Fig. 3.

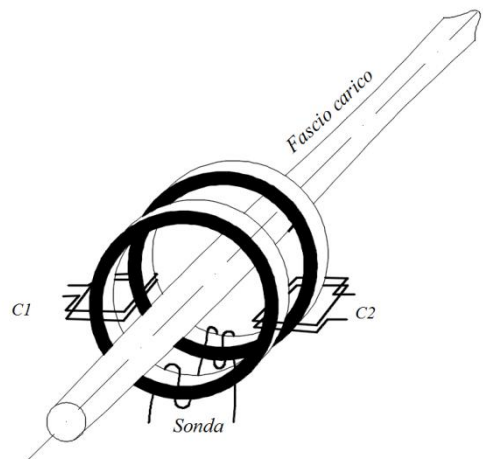


Fig. 3: Schema di un ICT.

Le bobine sono avvolte su due anelli di materiale di alta permeabilità magnetica. Il vantaggio dell'alta permeabilità non è specificato. Esse sono investite sia dal campo magnetico che dal campo elettrico (conservativo) delle particelle del fascio, ma non reagiscono alla variazione del campo magnetico per le ragioni elencate

precedentemente. Nel sistema, si possono instaurare dei campi spuri che daranno origine a dei segnali ai terminali delle bobine dovuti soprattutto alla posizione dei terminali. La relazione tra corrente del fascio e segnali letti è non esplicitata.

A tutt'oggi i sistemi ICT vengono venduti ma non risultano misure effettuate.

Antenna a Dipolo Ripiegato

Le antenne sono sistemi di rilevazione di onde elettromagnetiche. Esse possono essere classificate in due macroscopiche categorie: quelle per basse frequenze, 3-3000 kHz; e quelle per alte frequenze, 3-30000 MHz. Le prime interagiscono principalmente con il campo magnetico dell'onda e constano di una bobina che viene investita dal campo magnetico originando una differenza di potenziale proporzionale al valore di $nd\Phi/dt$ dove n rappresenta il numero di spire della bobina, vedere Fig. 4.

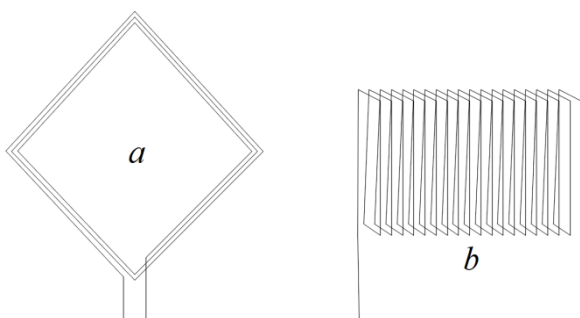


Fig. 4: Schema di antenna magnetica. a: a rombo; b: a bobina.

Queste antenne possono avere dimensioni da qualche centimetro fino a molti decimetri ma per ragioni di sensibilità si costruiscono di grandi dimensioni per aumentarne l'area di cattura del campo. Questa indicazione però non è vantaggiosa specialmente con l'aumento della frequenza dell'onda. Vediamo! All'aumentare della frequenza diminuisce la lunghezza d'onda λ e un'antenna a bobina dovrebbe possedere dimensioni molto inferiori a λ affinché non concateni contemporaneamente campi magnetici appartenenti a più cicli, positivi e

negativi. Diminuendo le dimensioni però, diminuisce la sensibilità del sistema, ma si potrebbe ovviare aumentando il numero di spire. Ma, ancora una volta l'aumento del numero di spire equivale ad avere un aumento del numero di generatori di forza elettromotrice in serie. In questi casi, per segnali veloci, o di alta frequenza, la forza elettromotrice finale non è la semplice somma di tutte le forze elettromotrici, bensì il risultato della trasmissione di ogni segnale di ogni spira verso i morsetti d'uscita. Anzi le spire più lontane fornirebbero segnali all'uscita in contemporanea con i segnali delle spire più vicine e tutti risulterebbero dovuti ad episodi differenti.

Per quanto visto allora, è più conveniente puntare l'attenzione non sul campo magnetico, bensì su quello elettrico, quindi sui sistemi a dipolo. Un dipolo, oltre a rappresentare una coppia di cariche di segno opposto l'un l'altra, rappresenta anche due conduttori lineari di uguale lunghezza. Un campo elettrico mette in moto le cariche che le sposta verso gli estremi. Se il tempo impiegato dalle cariche a spostare il segnale verso gli estremi (le positive verso un estremo e le negative verso quello opposto) è paragonabile a quello di variazione dell'onda, allora si dice che il sistema è in risonanza e la differenza di potenziale fornita da due estremi opposti del dipolo è proporzionale al campo elettrico dell'onda. Il più semplice sistema di antenna a dipolo è rappresentato in Fig. 5.

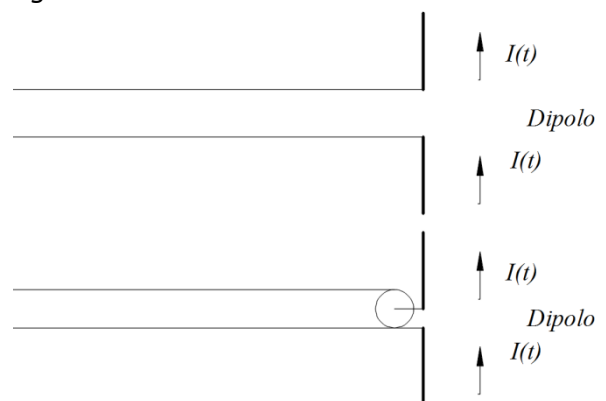


Fig. 5: Antenna a dipolo.

Per studiare il dipolo si deve partire da una linea di trasmissione bifilare. In essa, la corrente (consideriamo un segnale cw, continuous wave) e la differenza di potenziale si comportano come un'onda. Se l'estremità della linea è aperta, la corrente all'estremità è nulla. Alla distanza di $\lambda/4$ è massima, a $\lambda/2$ è nulla, a $3\lambda/4$ è massima e così via[8], Fig. 6. Nei due conduttori, la corrente variabile genera, per la 4, un campo elettrico indotto. Un equivalente campo di segno opposto è generato anche dal conduttore opposto ed essendo i due conduttori molto vicini, il risultato è che i due campi si annullano. Il campo indotto è nella direzione ortogonale all'accelerazione delle cariche.

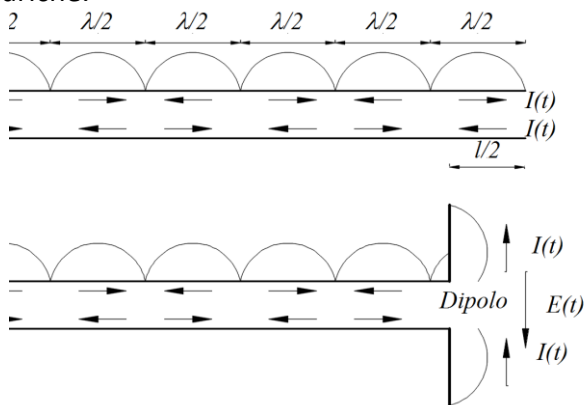


Fig. 6: Schema di linea bifilare e dipolo lungo $\lambda/4 \leq l/2 \leq \lambda/2$.

Quando l'estremità della linea è aperta, i campi indotti dei due conduttori non si elidono come accadeva in precedenza bensì, allontanandosi si sommano e si propagano con velocità c , essendo un campo non conservativo.

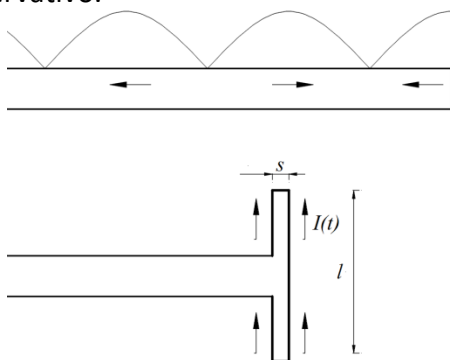


Fig. 7: Schema di dipolo ripiegato.

Nel tempo il dipolo si è modificato divenendo dipolo ripiegato e presentato, da più di un autore, come elemento più efficiente. Esso è illustrato in Fig. 7.

Il funzionamento è descritto in maniera errata poiché viene paragonato volgarmente ad una linea di trasmissione[9]. Cioè, si parte dalla linea bifilare di Fig. 6, si cortocircuitano gli estremi e si spiegano gli ultimi due tratti di lunghezza $\lambda/2$ come in Fig.7. Riportando la direzione della corrente prima di essere ripiegato, per un puro caso fortuito, ma non corretto, la direzione della corrente nei due tratti superiori è la stessa come nei due tratti inferiori. E sfruttando la formula 3 si può concludere che il campo elettrico indotto si raddoppia. Tutto ciò è sbagliato.

Prima di tutto, nel momento in cui la linea si modifica in un dipolo ripiegato, le correnti non sono più le stesse poiché non è più la linea originaria. Ora invece il sistema si configura in una linea di impedenza Z_o connessa all'estremità a due linee collegate in serie e cortocircuitate all'estremità. Una soluzione più immediata si può ricavare se le due linee connesse in serie sono di impedenza metà della linea madre, $Z_o/2$ allo scopo di avere sempre un'impedenza Z_o . Analizzando il sistema modificato, nelle due linee $Z_o/2$ si instaurano onde stazionarie le cui correnti hanno direzioni simili a quelle di Fig. 6. Sostanzialmente opposte per i due conduttori con la conseguenza di un campo indotto nullo. Quindi, la presentazione del dipolo ripiegato come semplice linea di trasmissione non è sufficiente. Oltretutto, un dipolo usato come antenna è un elemento che irradia energia e l'analisi corretta è molto complessa.

Nel campo applicativo per avere un buon adattamento tra cavo e dipolo (si devono evitare riflessioni o onde stazionarie) si devono raggiungere gli stessi valori di impedenza. I cavi di trasmissione utilizzati sono dei bifilari (twin lead) separati da circa $5/16$ in e affogati in un materiale plastico. L'impedenza del cavo è di circa 300Ω . Il dipolo più usato è quello con $l \cong \lambda/2$ quale

ha un'impedenza di $Z_D = 73 + j42.5 \Omega$ [10]. Per ottenere un adeguato adattamento di impedenza si modifica il dipolo semplice in dipolo ripiegato. E con $s \ll \lambda$ diviene un trasformatore di impedenza in quanto, per $l \cong \lambda/2$ la sua impedenza risulta quattro volte più grande di quella del dipolo semplice, $Z_{DR} = 4Z_o$. Così si ha che il dipolo ripiegato ha un'impedenza molto prossima a 300Ω . Valore che si adatta molto bene con l'uso del twin lead.

Le prime antenne radio erano realizzate con un dipolo ripiegato e anche quelle televisive. Recente invece, si sta diffondendo il dipolo semplice, ma si vedono in giro anche dipoli semplici camuffati per dare la parvenza di un dipolo ripiegato, Fig. 8, ma i risultati non sono soddisfacenti.

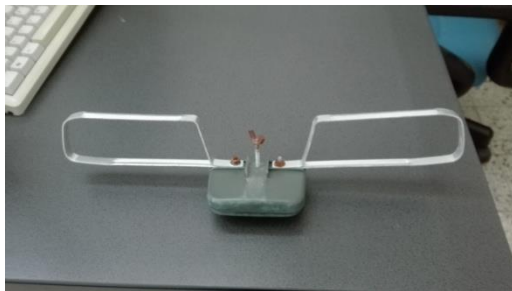


Fig. 8: Foto di un dipolo semplice camuffato per sembrare ripiegato.

Conclusioni

Le apparecchiature scientifiche sono indispensabili per le molteplici applicazioni dei principi fisici, per la diffusione delle attrezzature tecniche e scientifiche, e per la qualità della vita. Però, lo sviluppo non appropriato è una sconfitta per la scienza.

Bibliografia

- [1] Unser K, "Beam current transformer with DC to 200 MHz range" *IEEE Trans. Nucl. Sci.* NS-16, 934 (1969)
- [2] "Current transformer for the ISR". *CERN Courier*, vol. 10, 380 (1970)

- [3] "Integrating Current Transformer User's Manual" *Bergoz Instrumentation*.
- [4] Nassisi V. "Principi di Fisica I" vol. I, *Gruppo Editoriale L'Espresso*, isbn 9788891081940 (2014)
- [5] Nassisi V. and Luches A., *Rev. Sci. Instrum.* 50, 900 (1979)
- [6] Nassisi V. e Delle Side D., *Rev. Sci. Instrum.* 88, 024701 (2017) [doi.org/10.1063/1.4974742]
- [7] Nassisi V., D. Delle Side e F. Paladini, *Proc. PSBA V 2016*
- [8] Nassisi V., "Linee di trasmissione e diagnostica", *Gruppo Editoriale L'Espresso*, isbn 9788891080981 (2014)
- [9] G. Biondo e E. Sacchi, "Manuale di elettronica e telecomunicazioni" Hoepli, II Edizione, isbn 8820315076 (1991)
- [10] Balanis C.A., "Antenna theory" John Wiley & Sons, Inc, isbn 0471592684, USA 1997