

# VALUTAZIONE DELL'ESPOSIZIONE DEI LAVORATORI A CAMPI ELETTROMAGNETICI PULSATI ELF

*Aldo Canova, Fabio Freschi, Alessandra Guerrisi, Luca Giaccone, Maurizio Repetto, Michele Tartaglia*

Dipartimento di Ingegneria Elettrica, Politecnico di Torino

L'attività dell'Unità di Torino Ingegneria Elettrica nell'ambito della valutazione dell'esposizione della persona a campi elettromagnetici si è sviluppata secondo due linee distinte:

- l'utilizzo di modelli sempre più accurati del corpo umano per tenere in conto della reale geometria e della distribuzione dei tessuti e la loro influenza sulla distribuzione delle densità di corrente indotte causate da sorgenti di campo magnetico in ambiente industriale;
- analisi delle correnti indotte in seguito all'applicazione di campi magnetici non sinusoidali in cui i livelli di soglia per i livelli di esposizione non sono ancora definiti in maniera univoca.

In entrambi i casi si sono utilizzate formulazioni basate sul metodo delle celle trascurando l'effetto dei campi magnetici creati dalle correnti parassite (formulazione Scalar Potential Finite Difference).

Nel secondo caso, a causa della presenza di armoniche all'interno del segnale, si è considerato anche l'effetto di correnti indotte di tipo capacitivo. Sono stati, in questo caso, valutati sia l'effetto di incremento delle correnti indotte a causa del fenomeno quasi-stazionario elettrico, sia l'effetto di dipendenza dei valori di costante dielettrica dei tessuti biologici dalla frequenza del segnale.

*Esposizione al campo magnetico non sinusoidale creato da saldatrici a resistenza*

Le operazioni di saldatura a resistenza sono spesso effettuate da operatori che spostano manualmente la pinza di saldatura o che stazionano in vicinanza del robot a cui la pinza è collegata. Date le elevate correnti in gioco e le forme d'onda non sinusoidali, il problema della definizione dell'esposizione dei lavoratori in queste condizioni non è di facile soluzione. Sono stati quindi analizzati diversi casi con modelli di corpo umano differenti per valutare la più probabile distribuzione di correnti all'interno del corpo umano.

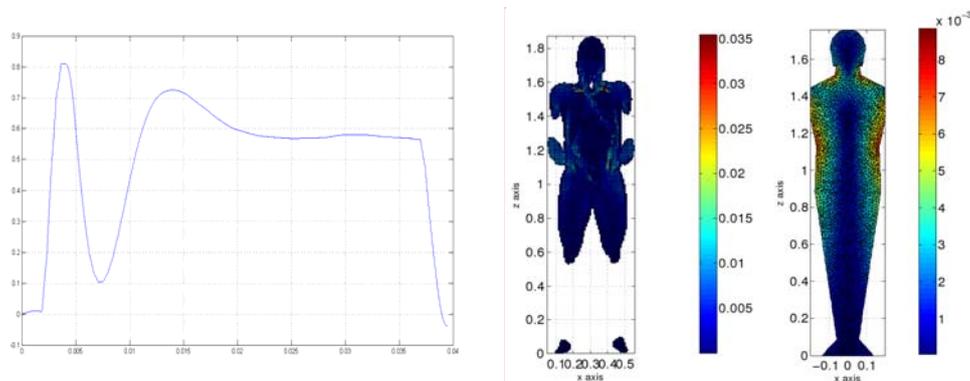


Figura 1: Forma d'onda della corrente nella pinza di saldatura (massimo valore di corrente  $I=25$  kA) e correnti indotte in due modelli di corpo umano: modello HUGO e modello assialsimmetrico omogeneo

### Analisi di campo di corrente in regime quasi-stazionario elettrico

In generale per l'esposizione a campi ELF l'effetto delle correnti capacitive e' trascurato essendo il termine  $\omega\varepsilon \ll \sigma$ , dove  $\varepsilon$  e' la costante dielettrica del materiale  $\omega$  e' la pulsazione associata al fenomeno e  $\sigma$  la conducibilita' elettrica. Nel caso di esposizione a campi pulsati, lo spettro di frequenza del segnale raggiunge valori tali da rendere il termine quasi-stazionario elettrico non piu' trascurabile. Inoltre, considerando un ampio intervallo di frequenze, il modello del materiale e' dipendente dalla frequenza secondo la legge del modello Cole-Cole:

$$\varepsilon_r(\omega) = \varepsilon_\infty + \sum_k \frac{\Delta\varepsilon_k}{1 + (j\omega\tau_k)^{1-\alpha_k}} = \varepsilon_\infty + \chi(\omega)$$

nel caso di fenomeni con frequenze entro i 10 kHz, il modello puo' essere semplificato considerando solo il primo termine della sommatoria (modello di Debye) e quindi una antitrasformata nel tempo della caratteristica puo' essere calcolata:

$$\vec{D}(\omega) = \varepsilon_r(\omega)\varepsilon_0\vec{E}(\omega) = \varepsilon_0\varepsilon_\infty\vec{E}(\omega) + \varepsilon_0\chi(\omega)\vec{E}(\omega)$$

dove il termine dipendente dalla frequenza puo' essere espresso, nel dominio del tempo, come:

$$\chi(t) = \frac{\Delta\varepsilon}{\tau}e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad t \geq 0$$

inserendo la caratteristica tempo variante del materiale all'interno di una formulazione numerica mediante il metodo delle celle si ottiene:

$$\mathbf{G}^T \mathbf{M}_\sigma \mathbf{u}(t) + \frac{d}{dt} \mathbf{G}^T \mathbf{M}_{\varepsilon_\infty} \mathbf{u}(t) + \frac{d}{dt} \mathbf{G}^T \mathbf{M}_\chi(t) * \mathbf{u}(t) = 0$$

dove il simbolo "\*" indica l'integrale di convoluzione.

Una particolare trattazione del termine di convoluzione ne consente un calcolo ricorsivo e quindi una formulazione numerica molto compatta.

Risultati preliminari sul modello hanno consentito di valutare quantitativamente l'effetto delle correnti capacitive all'interno del corpo umano.

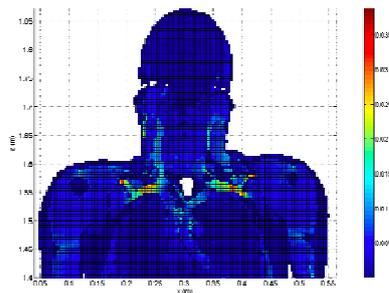


Fig. 2 Correnti indotte all'interno del modello di corpo umano HUGO esposto al campo magnetico creato da una pinza di saldatura a resistenza

### Referenze

- [1] CANOVA A, FRESCHI F, GIACCONE L, REPETTO M. (in stampa). Exposure of working population to pulsed magnetic fields. IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, ISSN: 0018-9464
- [2] F. Freschi, A. Guerrisi, M. Repetto, "Computation of eddy currents in human body due to pulsed magnetic field", presentato a CEFC 2010 Chicago, 9-13 Maggio 2010