

# I riscaldatori a perdite dielettriche come sorgente di esposizione a campi elettromagnetici nei luoghi di lavoro

Benes M. <sup>(1)</sup>, Del Frate S. <sup>(2)</sup>, Villalta R. <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> ARPA Friuli Venezia Giulia – Dipartimento di Fisica Ambientale, via Tavagnacco 91 – 33100 Udine

<sup>(2)</sup> ARPA Friuli Venezia Giulia, piazza Collalto 15 – 33057 Palmanova (UD)

*benes@arpa.fvg.it*

## Riassunto

I riscaldatori a perdite dielettriche vengono diffusamente impiegati nell'industria del legno per l'incollaggio dei laminati tramite pressatura e riscaldamento a radiofrequenza. I lavoratori addetti alla produzione permangono nei pressi delle macchine operatrici per tutta la giornata lavorativa e possono quindi essere esposti a valori rilevanti di campo elettrico e magnetico a radiofrequenza.

Nel presente lavoro, si riporta la procedura utilizzata per la misura dei livelli di campo generati da questi particolari impianti. Tale procedura viene elaborata sulla base delle indicazioni reperite in Letteratura apportandovi le necessarie integrazioni richieste dalla specificità del caso.

In particolare, essendo spesso lacunosa la documentazione tecnica dei riscaldatori, si suggerisce di eseguire, inizialmente, una misura nel dominio delle frequenze utilizzando un analizzatore di spettro. Sulla base dei dati ottenuti viene individuata la normativa di riferimento, la strumentazione da impiegare nella fase successiva nonché la presenza di eventuali segnali spuri fonti di interferenze.

Viene inoltre presentata una mappatura dei livelli di campo misurati e la modalità adottata per l'estrazione della curva di decadimento dei campi in funzione della distanza. Quest'ultimo tipo di misura viene effettuato al fine di valutare l'efficacia della messa a terra della macchina operatrice.

Il lavoro si conclude con una valutazione dell'esposizione dei lavoratori al campo elettromagnetico e con la presentazione di alcune proposte di risanamento.

## A) INTRODUZIONE

Alcuni posti di lavoro possono venire identificati col nome di electric jobs in cui le persone sono esposte ad una varietà di campi elettromagnetici (cem) in modo sensibilmente superiore ai livelli residenziali.

In [1] viene presentata una rassegna delle esposizioni tipiche di alcuni electric jobs i quali vengono suddivisi tra la generazione di potenza, la trasmissione e la distribuzione dell'energia, i trasporti e la saldatura ad arco.

Nel 1982, Milham [2] presenta dei dati attestanti un incremento di mortalità per leucemia per particolari categorie di lavoratori le cui mansioni prevedono l'esposizione ai cem. Presenta, inoltre, una classificazione degli electric jobs sia a bassa che ad alta frequenza. In aggiunta, studi recenti, suggeriscono la possibile associazione tra l'esposizione occupazionale e l'insorgenza di patologie come la sclerosi amiotrofica laterale [3] ed il morbo di Alzheimer [4].

Sono stati condotti molti studi di esposizione dei lavoratori, qui ne citiamo solo alcuni in quanto ritenuti maggiormente attinenti allo studio da noi sviluppato inerente i Riscaldatori a Perdite Dielettriche (RPD).

In [5] vengono presentate delle misure di esposizione di lavoratrici impiegate presso macchine da cucire. Vengono riportate le misure eseguite al variare della differente tipologia di macchina operatrice.

In [6] sono state condotte delle misure dosimetriche presso alcuni tipi di riscaldatori e fornaci di tipo industriale. Viene suggerito di ricorrere all'utilizzo di dosimetri per poter considerare l'estrema variabilità spaziale e temporale dei cem e quindi riprodurre correttamente l'esposizione del lavoratore.

In generale, dagli studi elencati, si evince come, per poter valutare l'esposizione dei lavoratori, sia necessario effettuare misure presso le svariate configurazioni delle postazioni di lavoro e sia, a priori, solo indicativa una classificazione in base alle mansioni o alle tipologie costruttive delle macchine.

Nel presente lavoro viene presentato un protocollo di misura sviluppato grazie ai rilevamenti effettuati presso uno dei RPD presenti nella fabbrica esaminata. Sulla base di tali indicazioni, ci si prefigge di approfondire l'indagine dell'esposizione dei lavoratori anche presso gli altri RPD diversi per fattura e disposizione.

## B) I RISCALDATORI A PERDITE DIELETTRICHE (RPD)

Tali macchine vengono diffusamente impiegate nell'industria del legno per l'incollaggio dei laminati tramite pressatura e riscaldamento a radiofrequenza. Esse costituiscono la parte principale della catena di produzione dei pressati. La materia prima è costituita da fogli di legno (frassino, ecc.) che vengono spalmati di colla tramite una macchina spalmatrice. L'operatore impila alcuni fogli orientando le fibre del legno in modo che si incrocino. E' sempre l'operatore ad inserire il tutto all'interno della pressa, ad azionarla ed a far partire il riscaldamento a radiofrequenza. Nel disegno di fig.1.a è rappresentata schematicamente una pressa doppia, oggetto del presente lavoro, alimentata dallo stesso generatore (G) ed azionata dalla stessa consolle di comando (C).

Figura 1.a: rappresentazione schematica della doppia pressa.

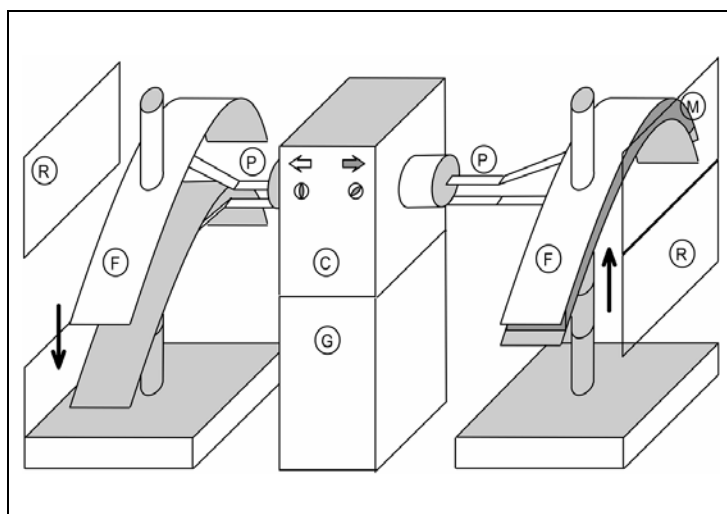
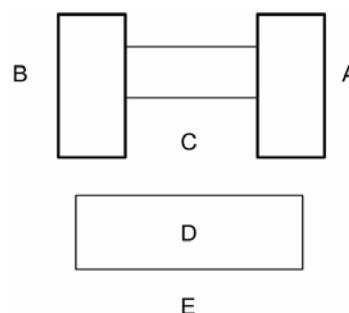


Figura 1.b: rappresentazione dei punti di stazionamento dell'operatore e di misura.



Il riscaldamento a radiofrequenza avviene grazie alla trasmissione della potenza mediante piattine (P) dal generatore alla forma (F) della pressa. La rete di protezione (R) viene abbassata dopo l'inserimento del materiale (M) e prima dell'avvio del ciclo di produzione.

Nel corso dei circa sei minuti propri del ciclo di una pressa, la colla viene scaldata dal cem a radiofrequenza saldando le parti legnose tra loro. Alla fine del ciclo l'operatore estrae il pezzo incollato e modellato predisponendolo per le lavorazioni di finitura.

Il lavoratore impegna otto ore al giorno per cinque giorni alla settimana nel processo produttivo passando da una pressa all'altra della postazione assegnatagli. Con riferimento alla fig.1.b, l'operatore transita da (A) a (B) sostando soprattutto in (C) da cui aziona la consolle dei comandi, controlla i tempi dei cicli e lavora ad un tavolo (D) posto esattamente di fronte alla pressa.

Nel presente lavoro viene analizzato il problema dell'esposizione dei lavoratori ai cem generati dalle doppie presse e viene inoltre discusso il problema della generazione di segnali spuri che possono interferire con impianti radio posti nelle immediate vicinanze della fabbrica.

Viene qui proposta una procedura di misura dell'esposizione ai cem degli operatori impiegati ai RPD descritte al paragrafo precedente; sviluppata in base ai seguenti punti consequenziali che verranno analizzati in dettaglio nel seguito: indagine spettrale; misura delle caratteristiche del ciclo produttivo; misura della bontà della messa a terra del RPD; misura di esposizione dell'operatore.

## C) INDAGINE SPETTRALE

Il campo di frequenza in cui operano i RPD va da pochi MHz ai 50 MHz [7]. Le macchine impiegate nell'industria del legno, che hanno applicatori di grosse dimensioni, operano a frequenze più basse (da 3 a 15 MHz). I RPD sono progettati per erogare potenza in bande di frequenza assegnate sulla base di convenzioni internazionali (frequenze delle applicazioni Industriali, Scientifiche e Mediche ISM), riportate in fig.2.a assieme alle tolleranze ammesse [7].

Il primo tipo di misura da effettuarsi è l'indagine spettrale. In questo lavoro tale misura è stata fatta mediante analizzatore di spettro in banda stretta (Agilent Technologies 100 Hz – 26.5 GHz, modello E4407B) collegato, mediante fibra ottica ad un'antenna unidirezionale (Clampco-Sistemi) come illustrato in fig.2.b. In tal modo, acquisendo lo spettro nell'arco di un ciclo della pressa, è stato ottenuto il risultato della fig.2.c. Si noti che, accanto alla componente fondamentale del segnale, che compare

a 13.56 MHz; ci sono molte armoniche che occupano una banda in frequenza che raggiunge e supera i 77-79 MHz. Questa spuria, in particolare, (30 dBm inferiore in intensità rispetto alla fondamentale) sporca lo spettro radio di un'emittente, nel caso specifico quella delle forze dell'ordine, come appurato nel presente intervento di misura.

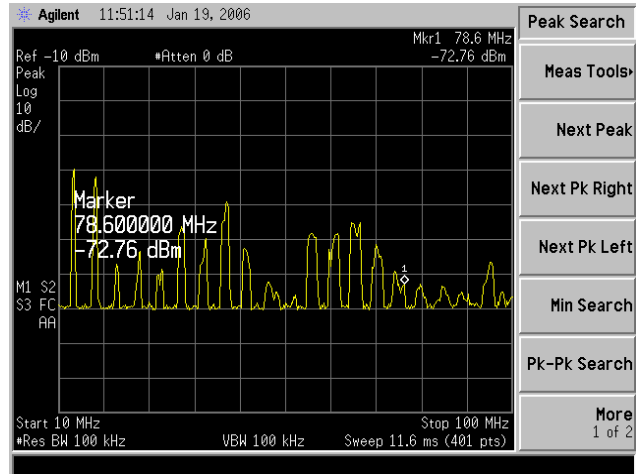
Figura 2.a: frequenze indicate dall'ISM.

- 6.780 MHz  $\pm$  1.50 kHz
- 13.560 MHz  $\pm$  6.80 kHz
- 27.120 MHz  $\pm$  163.00 kHz
- 40.680 MHz  $\pm$  20.00 kHz
- 433.920 MHz  $\pm$  0.87 MHz

Figura 2.b: illustrazione del setup di misura.



Figura 2.c: spettro registrato durante il funzionamento di un RPD.



Sulla schermata sono indicate la frequenza fondamentale a 13.56 MHz ed una spura a 78.6 MHz.

Dall'osservazione del picco fondamentale, si evidenzia una migrazione nel tempo del massimo verso le frequenze superiori. Inoltre tutti i picchi compaiono e scompaiono esattamente con lo stato di accensione o spegnimento del RPD.

L'individuazione della frequenza di funzionamento del RPD, che spesso non è reperibile dalla documentazione tecnica, permette di guidare la scelta della strumentazione da impiegare per le misurazioni successive. Questo permette inoltre la valutazione del tipo di campo di irradiazione in cui ci si trova. Nella fattispecie, alla frequenza misurata, la radiazione elettromagnetica ha una lunghezza d'onda di circa 22 metri per cui, dato che le misure vengono fatte in prossimità alle macchine, ci si trova in una regione di campo vicino reattivo in cui il campo elettrico ed il campo magnetico vanno misurati separatamente [8].

## D) MISURA DELLE CARATTERISTICHE DEL CICLO PRODUTTIVO

Figura 3: misura di E ed H per due cicli produttivi.

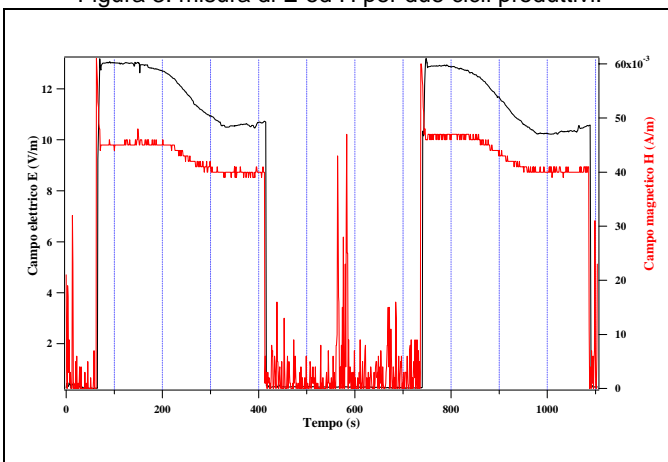
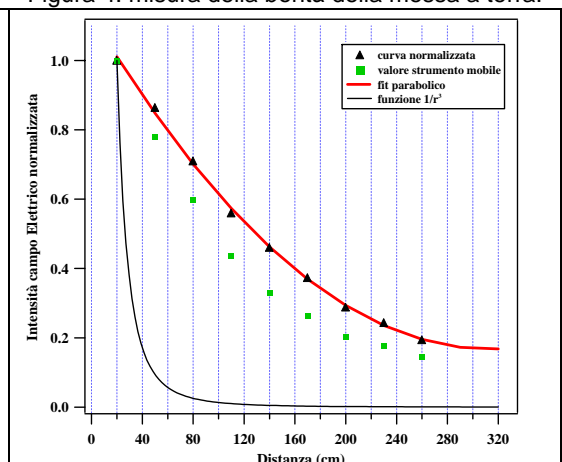


Figura 4: misura della bontà della messa a terra.



Per caratteristiche del ciclo produttivo s'intendono i tempi e le modalità con cui l'operatore lavora al RPD. Per capire ciò si è fatta funzionare una sola pressa per due cicli consecutivi, lasciando sempre spenta l'altra. In (A), ad 1 m di distanza dalla rete metallica di protezione (R) (fig. 1.b), sono stati collocati due strumenti di misura in banda larga PMM8053 con innestate rispettivamente le sonde EP-

330 (100 kHz – 3GHz) per il campo elettrico ed HP-032 (100 kHz – 30 MHz) per il campo magnetico, entrambe all'altezza dal suolo di 1.5 m; ottenendo il grafico di figura 3. Si osserva che la sonda utilizzata per il campo magnetico non copre l'intero spettro in frequenza rilevato (fig. 2.c) e pertanto il valore di campo magnetico misurato potrebbe risultare sottostimato. Ad ogni modo, le armoniche in frequenza presentano delle intensità 20 – 30 dB inferiori alla fondamentale e quindi il loro contributo sarebbe comunque limitato.

Il particolare ciclo produttivo, con una durata di 349 secondi, presenta un picco allo start dei cem generati per proseguire con un leggero decremento che, in alcuni casi può presentare, verso la fine, una leggera risalita. La lenta variazione dei livelli di campo potrebbe essere dovuta, in via ipotetica, alla variazione delle caratteristiche dielettriche del materiale al variare della temperatura e della composizione della colla. L'informazione inerente la durata del ciclo è invece molto importante per organizzare la fase di misure successiva.

## E) MISURA DELLA BONTÀ DELLA MESSA A TERRA DEL RPD

Come si evince dalla fig.3 il campo elettrico varia nel tempo, quindi, per tenerne conto, si è optato per una misura con due strumenti distinti. Con riferimento alla fig.1.b, è stato collocato uno strumento PMM8053 con sonda EP-330 in (A) ed è stato mantenuto in posizione fissa a 1.2 m di distanza dalla rete metallica. Un secondo strumento dello stesso tipo è stato spostato allontanandosi dalla pressa partendo da 20 cm di distanza fino a 260 cm di distanza. Entrambe le sonde sono state mantenute ad un'altezza dal suolo pari a 1.5 m. Sulla base dell'informazione ricavata al paragrafo precedente inerente la durata del ciclo, si è provveduto a coprire l'intera distanza citata nel corso di un unico ciclo in cui era funzionante solamente la pressa più vicina. Facendo riferimento alla fig.4, in verde è riportato l'andamento del campo E registrato a passi di 30 cm allontanandosi dal RPD; in nero è riportato il risultato della normalizzazione dello strumento mobile per lo strumento fisso; mentre in rosso è sovrapposta la curva di best-fit nell'ipotesi di curva parabolica. Il decadimento del campo con la distanza è ben approssimato da una curva parabolica piuttosto che dall'atteso andamento come  $1/r^3$  (curva nera in fig. 4) per un RPD ben progettato [7]. Se ne desume che la macchina in questione è carente dal punto di vista della bontà della messa a terra. Questo comporta una maggiore diffusione del campo elettrico nello spazio circostante ed una maggiore esposizione degli operatori. Trattandosi di macchine datate (anni '60), è ipotizzabile un deterioramento dovuto ad usura.

## F) MISURA DI ESPOSIZIONE DELL'OPERATORE

Figura 5.a: andamento temporale dei campi E ed H nella posizione C.

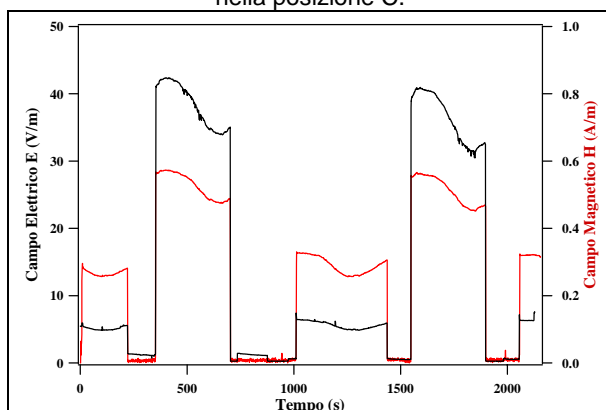
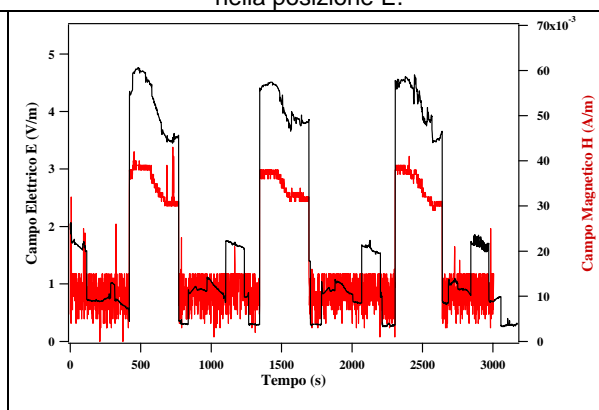


Figura 5.b: andamento temporale dei campi E ed H nella posizione E.



Sono state condotte delle misure prolungate nelle zone di massimo stazionamento dell'operatore nella condizione di funzionamento alternato delle due presse in modo da fornire delle indicazioni sull'esposizione tipica del lavoratore nel corso della giornata. Accanto alla misura fatta in (A) e riportata in fig.3, con la stessa strumentazione, sono state condotte delle misure sia di campo elettrico che di campo magnetico in (C) ed in (E), mentre il punto (B) viene considerato come equivalente ad (A) (si faccia riferimento allo schema di fig.1.b). Le fig. 5.a e 5.b riportano le registrazioni dei campi elettrico e magnetico.

L'elaborazione statistica di tali dati ha fornito i risultati riportati in tab. 1 per i punti (A), (C) ed (E) analizzati. Per il campo elettrico e per il campo magnetico, vengono valutate le seguenti quantità: il

valore massimo, il minimo ed il RMS per il ciclo di massima esposizione; il RMS sull'intervallo peggiore di 6 minuti nonché il RMS su tutta la durata della misura.

Tabella 1: risultati dell'elaborazione statistica delle misure condotte in A, C ed E. E (V/m), H (A/m).

Punto di misura	Valore Massimo		Valore minimo		RMS Ciclo max esp.		RMS Peggiori 6'		RMS Intera durata		Durata Misura (s)	
	E	H	E	H	E	H	E	H	E	H	E	H
A	13.19	0.061	10.15	0.039	11.52	0.043	11.34	0.043	9.27	0.035	1114	1104
<b>C</b>	42.39	0.573	33.9	0.452	38.50	0.530	<b>37.91</b>	<b>0.522</b>	21.65	<b>0.342</b>	2148	2155
E	4.76	0.043	3.45	0.030	4.15	0.035	4.09	0.035	2.51	0.022	3195	3006

## G) INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI

I valori maggiori di campo elettrico si misurano in (C) probabilmente per la mancanza della rete di protezione, mentre i valori maggiori di campo magnetico, che compaiono pure in (C), sono dovuti probabilmente alla vicinanza della piattine (P) (fig.1.a) le quali sono contraddistinte dal maggior carico di corrente a radiofrequenza. I valori di E ed H misurati in E sono i più bassi in assoluto sia per la maggiore distanza delle sonde dal RPD sia per la parziale interposizione di materiale legnoso in lavorazione sul tavolo D.

Nel caso di sorgenti non riconducibili ai sistemi fissi di telecomunicazioni e radiotelevisivi [9], nell'ambito della protezione della popolazione dalle esposizioni ai cem a radiofrequenza; si applica l'insieme completo delle restrizioni stabilite nella raccomandazione del Consiglio dell'Unione europea del 12 luglio 1999 [10]. Invece, nel caso della protezione dei lavoratori, si dovrà far riferimento alla Direttiva europea del 29 aprile 2004 [11].

Tabella 2: Valori di riferimento raccomandati dall'Unione europea.

Tipo di campo elettromagnetico	Livelli di riferimento per la popolazione [10] 10 – 400 MHz	Valori di azione per i lavoratori [11] 10 – 110 MHz
E (V/m)	28	61
H (A/m)	0.073	0.16

In tab. 2 vengono riportati i livelli di riferimento, estratti dalle raccomandazioni europee in base alla particolare frequenza dei campi E ed H misurati a seconda del tipo di lavoratore: professionalmente esposto o meno (popolazione). Si tratta di valori in media RMS valutati su qualsiasi intervallo di 6 minuti.

Dall'interconfronto tra i risultati delle misure riportati in tab. 1 ed i valori europei di riferimento cui alla tab. 2, è possibile formulare le seguenti osservazioni:

- nel caso in cui i lavoratori non siano considerati professionalmente esposti e siano quindi assimilabili alla popolazione, per il campo E, nel punto (C) si ha un superamento del livello di riferimento. Tale superamento rientrerebbe solo facendo riferimento all'esposizione media valutata su tutta la durata della misura. Nel caso del campo H si ha invece il superamento del livello di riferimento sia sul peggiore intervallo di 6 minuti sia come esposizione prolungata;
- nel caso di lavoratori professionalmente esposti, per il campo E, in tutti i punti di misura si ha il rispetto dei valori di azione. Per il campo H, nel punto (C) si ha il superamento del valore di azione sia sul peggiore intervallo di 6 minuti sia come esposizione prolungata;
- nel punto (A) sono rispettate le prescrizioni europee, ma bisogna tener presente che le misure sono state fatte con il funzionamento di solo una delle due presse;
- nel punto (E) sono rispettate le prescrizioni europee sia per E che per H.

## H) CONCLUSIONI

Scopo del presente lavoro è stato quello di definire una procedura di misura per i RPD. Si suggerisce di partire dall'indagine del contenuto in frequenza dello spettro allo scopo di individuare la giusta strumentazione, l'estensione della zona di campo vicino ed eventuali spurie per i segnali radio. La verifica della bontà della messa a terra mediante misura normalizzata, consente di valutare l'entità della dispersione del campo E dalla macchina. Le misure in mappatura di E ed H permettono infine di valutare l'esposizione degli operatori.

Dal confronto dei risultati con le prescrizioni dell'Unione europea si evidenziano dei superamenti dei valori di riferimento per la popolazione e per i lavoratori.

Vengono qui proposti alcuni provvedimenti di carattere generale per il risanamento e la protezione dei lavoratori: è possibile, a tal fine, intervenire sulla messa a terra, sulla rete di schermatura, sulla posizione dell'operatore (spostandolo, nel caso in esame, da (C) ad (E)). Inoltre è opportuno intervenire sul RPD mediante celle di filtraggio [7] al fine di eliminare eventuali spurie interferenti a radiofrequenza.

## I) RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] Vecchia P., *Sources of exposure to ELF fields at workplaces*. Rad. Prot. Dos. **83**, Nos 1-2, 15-19 (1999).
- [2] Milham S. Jr., *Mortality from leukemia in workers exposed to electrical and magnetic fields*. New Eng. J. Med. (Letter to the Editor) **307** (4), 249 (1982).
- [3] Ahlbom A., *Neurodegenerative diseases, suicide, and depressive symptoms in relation to EMF*. Bioelectromagnetics **Suppl 5**, S132-S143 (2001).
- [4] Sobel et al., *Occupations with exposure to electromagnetic fields: A possible risk factor for Alzheimer's disease*. Am. J. Epidemiol **142**, 515-524 (1995).
- [5] Kelsh M. A. et al., *Occupational Magnetic Field exposures of garment workers: results of personal and survey measurements*. Bioelectromagnetics **24**, 316-326 (2003).
- [6] Chadwick P., *Assessment of industrial exposure to magnetic fields*. Rad. Prot. Dos. **83**, Nos 1-2, 47-52 (1999).
- [7] Andreuccetti D. et al., *Protezione dai campi elettromagnetici non ionizzanti*. CNR – Istituto di ricerca sulle onde elettromagnetiche "Nello Carrara" – Firenze, 3<sup>a</sup> edizione Firenze, 145-149, 201-215 (2001).
- [8] CEI 211-7, *Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettromagnetici nell'intervallo di frequenza 10 kHz – 300 GHz, con riferimento all'esposizione umana*. (2001).
- [9] DPCM del 08.07.03, *Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenza comprese tra 100 kHz e 300 GHz*. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana **199**, 25-29 (2003).
- [10] Raccomandazione del Consiglio, *relativa alla limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz*. **1999/519/CE**, (12 luglio 1999).
- [11] Directive of the European Parliament and of the Council, *on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risk arising from physical agents (electromagnetic fields)*. **2004/40/EC**, (29 April 2004).