



Quinto Convegno Nazionale
**Il controllo degli agenti fisici:
ambiente, salute e qualità della vita**



Fotografia di Riccardo Del Conte

**6-7-8 giugno 2012
NOVARA**

Con la collaborazione
dell'Associazione Italiana di Epidemiologia (AIE)



chiesto il Patrocinio di:

Città di Novara
Provincia di Novara
Regione Piemonte
Università del Piemonte Orientale
Azienda Ospedale Maggiore della Carità



Impatto dell'evoluzione normativa sulla valutazione del rischio da esposizione occupazionale a campi magnetici fino a 100 kHz in ambito industriale e sanitario

Nicola Zoppetti, n.zoppetti@ifac.cnr.it (1)

Daniele Andreuccetti (1)

Andrea Bogi (2)

Iole Pinto (2)

*(1) IFAC-CNR, via Madonna del Piano 10 - 50019
Sesto Fiorentino (FI)*

*(2) Azienda U.S.L. 7 di Siena Laboratorio Agenti
Fisici, Strada di Ruffolo 4 - 53100 Siena*

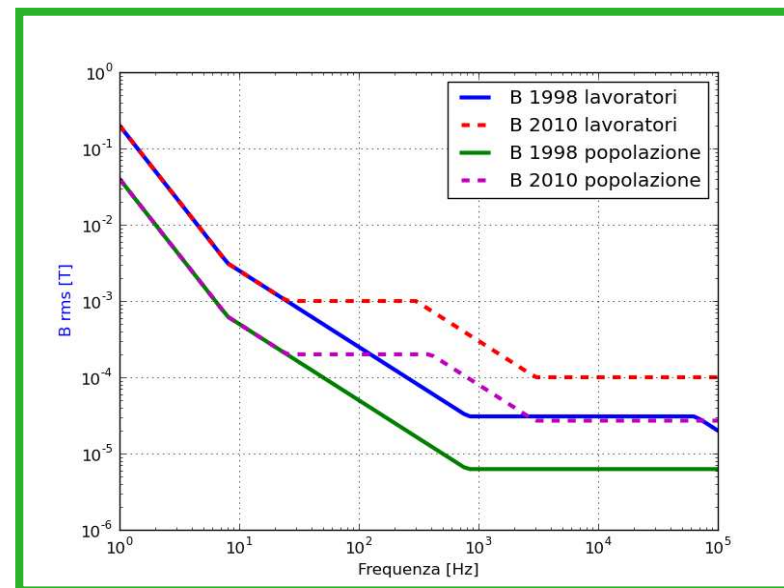
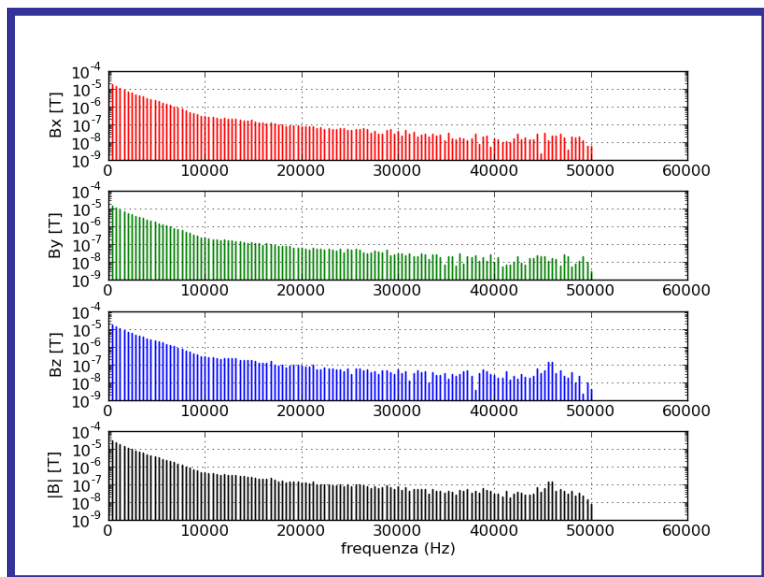
Premesse generali

- Ci si riferisce a 3 casi studio riguardanti esposizioni a campi magnetici con forma d'onda (fdo) complessa e con spettri contenuti entro i 100kHz.
- Ci si concentra sull'aspetto della variazione temporale dei campi e non sulla variazione spaziale.
- Ci si limita alla verifica del rispetto dei limiti fissati per le grandezze radiometriche e non per le grandezze dosimetriche di base.
- Si considerano le forme d'onda dell'induzione magnetica misurata e si confrontano i risultati ottenuti applicando:
 - i **diversi metodi di valutazione** definiti nelle linee guida ICNIRP ed eventualmente della pertinente normativa CENELEC;
 - le **diverse curve di ponderazione** (ICNIRP1998 e ICNIRP2010) applicate utilizzando lo stesso metodo di valutazione;
 - le **diverse implementazioni dello stesso metodo di valutazione** (ad es. nel dominio del tempo e nel dominio della frequenza) facenti riferimento alla medesima curva di ponderazione.

Problema

- Abbiamo campi con forme d'onda e spettri complessi
- Abbiamo dei limiti di esposizione variabili con la frequenza (ICNIRP)

$$\vec{B}(t) = \sum_{k=1}^n \left[B_{x,k} \cos(2\pi k f_0 t + \theta_{xk}) \cdot \hat{i}_x + B_{y,k} \cos(2\pi k f_0 t + \theta_{yk}) \cdot \hat{i}_y + B_{z,k} \cos(2\pi k f_0 t + \theta_{zk}) \cdot \hat{i}_z \right]$$



**Approccio ai segnali complessi
secondo ICNIRP-1998/2003 e
ICNIRP-2010**

ICNIRP Guidelines

**GUIDELINES FOR LIMITING EXPOSURE TO TIME-VARYING
ELECTRIC, MAGNETIC, AND ELECTROMAGNETIC FIELDS
(UP TO 300 GHz)**

International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*[†]

(Health Physics April 1998, Vol.74, No.4, pp.494-522)

ICNIRP Statement

**GUIDANCE ON DETERMINING COMPLIANCE OF EXPOSURE
TO PULSED AND COMPLEX NON-SINUSOIDAL WAVEFORMS
BELOW 100 KHZ WITH ICNIRP GUIDELINES**

The International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*

(Health Physics March 2003, Vol.84, No.3, pp.383-387)

ICNIRP Guidelines

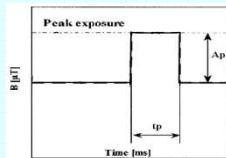
**GUIDELINES FOR LIMITING EXPOSURE TO TIME-VARYING
ELECTRIC AND MAGNETIC FIELDS (1 Hz TO 100 kHz)**

International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*

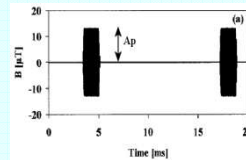
(Health Physics December 2010, Vol.99, No.6, pp.818-836)

Approccio ai segnali complessi secondo ICNIRP-1998, ICNIRP-2003 e ICNIRP-2010

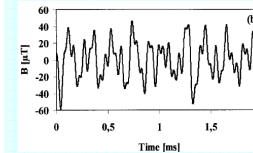
Impulsi isolati



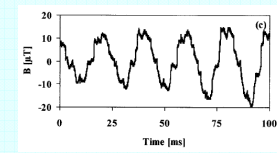
Segnali “burst”



Forme d'onda INcoerenti



Forme d'onda coerenti



ICNIRP
1998

Metodo della
frequenza
equivalente

(Metodo
standard?)

Metodo standard

ICNIRP
2003

Metodo della
frequenza
equivalente

Metodo della
frequenza
equivalente

Metodo
standard

Metodo del
picco
ponderato

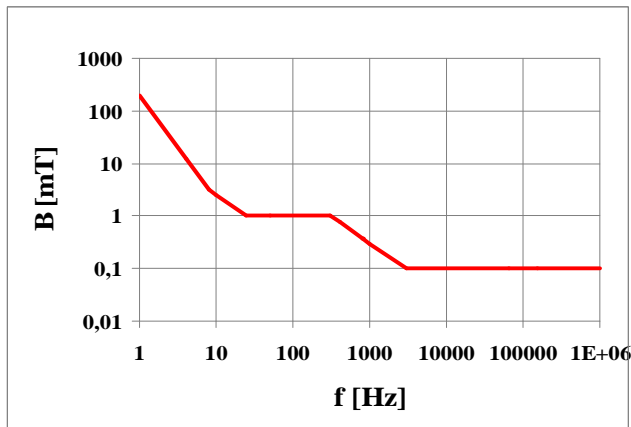
ICNIRP
2010

(Metodo
standard?)

(Metodo
standard?)

Metodo
standard

Metodo del
picco
ponderato



$$B_1(t) = B_1^{\text{pk}} \cos(2\pi f_1 t + \theta_1)$$

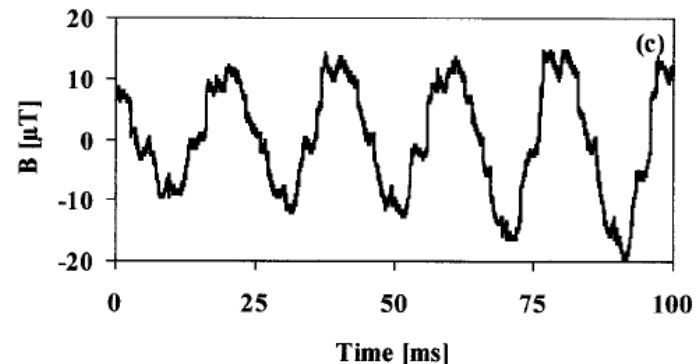
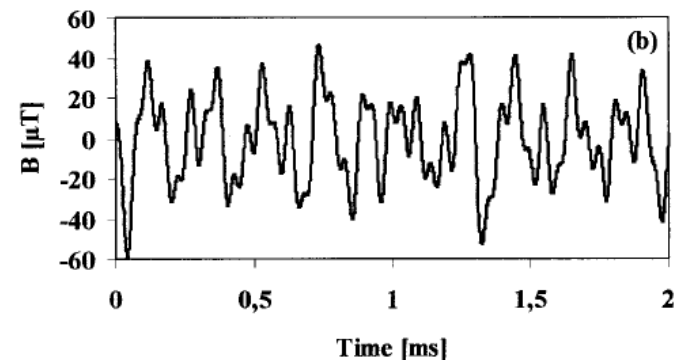
$$B_2(t) = B_2^{\text{pk}} \cos(2\pi f_2 t + \theta_2)$$

.....

$$B_N(t) = B_N^{\text{pk}} \cos(2\pi f_N t + \theta_N)$$

$$I_{MS} = \sum_{i=1}^N \frac{B_i^{\text{pk}}}{B_{\text{LIM}}(f_i) \sqrt{2}} \leq 1$$

Linee guida ICNIRP per le sorgenti multiple a BF: il metodo standard



Implementazione nel dominio
della frequenza

Approccio ai segnali complessi secondo ICNIRP-2003 e ICNIRP-2010: il metodo del picco ponderato

Il metodo consiste nel combinare opportunamente i vari contributi spettrali della grandezza “**B**” considerata, pesando ognuno in rapporto al valore limite alla frequenza corrispondente, **ma tenendo conto anche delle rispettive fasi**.

$$I_{WP} = \left| \sum \frac{B_i^{pk}}{B_{LIM}(f_i)\sqrt{2}} \cos[2\pi f_i t + \theta_i + \varphi(f_i)] \right| \leq 1$$

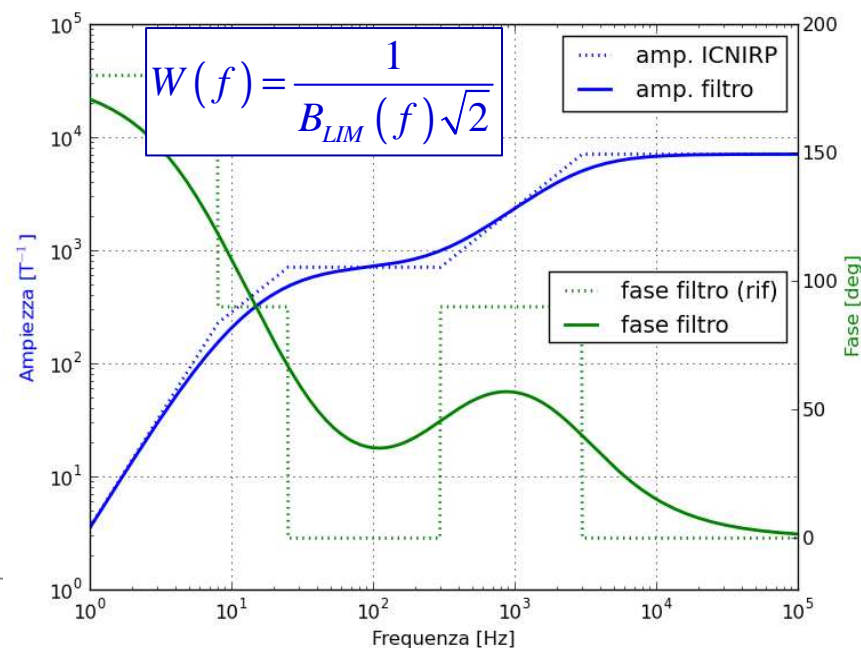
$$\begin{aligned} B_1(t) &= B_1^{pk} \cos(2\pi f_1 t + \theta_1) \\ B_2(t) &= B_2^{pk} \cos(2\pi f_2 t + \theta_2) \\ &\dots \\ B_N(t) &= B_N^{pk} \cos(2\pi f_N t + \theta_N) \end{aligned}$$

Nel dominio del tempo:

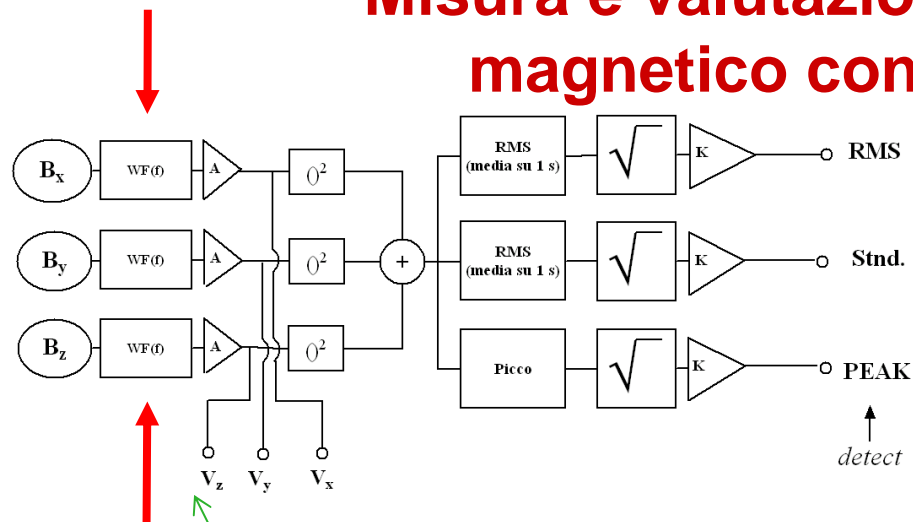
- Filtri analogici in HW
- Campionamento + filtri numerici in SW

Nel dominio della frequenza:

- Campionamento + elab. SW (DFT/FFT)



Misura e valutazione dell'esposizione al campo magnetico con forme d'onda complesse



Applicazione metodi
di valutazione
in software
(misura a banda piatta
ed elaborazione
con procedure sw)

NARDA ELT-400

'Uscite analogiche'



Advanced Test Equipment Corp © 2006



Scheda di acquisizione dati

Misura e valutazione dell'esposizione al campo magnetico con forme d'onda complesse

– Pregi:

- Adatta al tipo di studio che ci si proponeva (applicazione normative diverse con la stessa catena di misura) perché evita problemi ripetibilità.
- Esigenze di archiviazione (PAF).
- Applicabile a diverse config. hw (oscilloscopio o scheda di acquis) con minime modifiche.

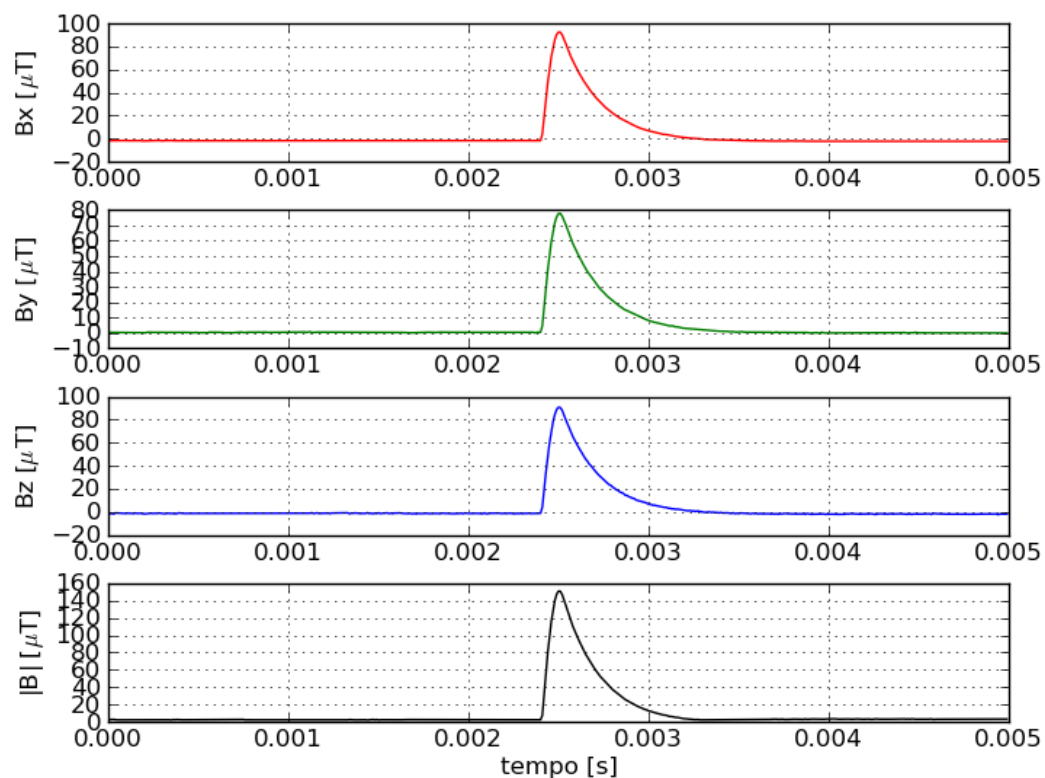
– Difetti:

- Risposta in termini di indici radiometrici non immediata.
- Necessità di acquisizione e quindi catena strumentale più complessa da gestire.
- Implementazione (una tantum) delle procedure di elaborazione.
- Problemi tipici delle elaborazione di segnali campionati (ad. es. spectral leakage)

Caso 1: stimolazione magnetica transcranica



Misura a 128 cm
dall'applicatore, in
asse



Passo 3: Applicazione metodo STANDARD e WP nel dominio della frequenza

Risoluzione spettrale [Hz] 0.25

I_{MS} 1998 lavoratori **5.81**

I_{WP} 1998 lavoratori 2.67

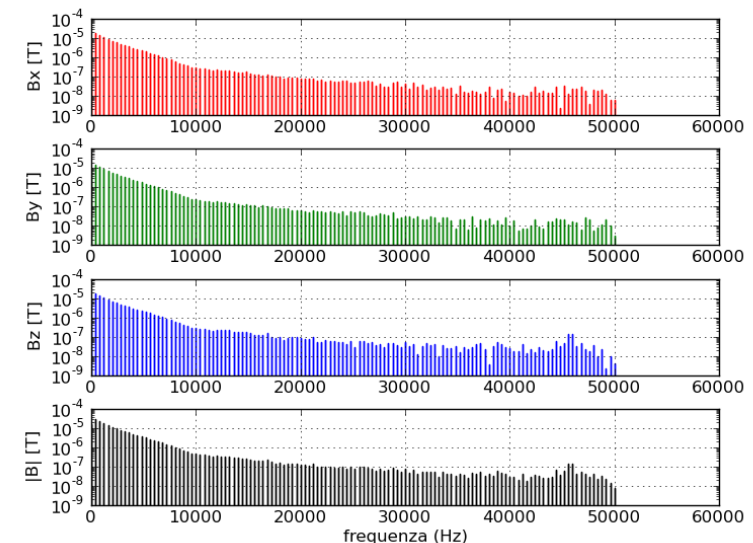
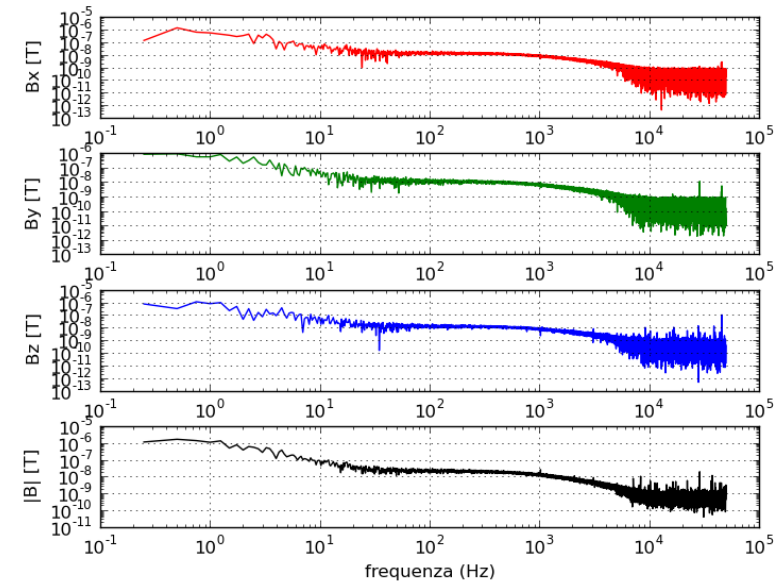
$$I_{MS} = \left| \sum \frac{B_i^{pk}}{B_{LIM}(f_i)\sqrt{2}} \right| \leq 1$$

$$I_{WP} = \left| \sum \frac{B_i^{pk}}{B_{LIM}(f_i)\sqrt{2}} \cos[2\pi f_i t + \theta_i + \phi(f_i)] \right| \leq 1$$

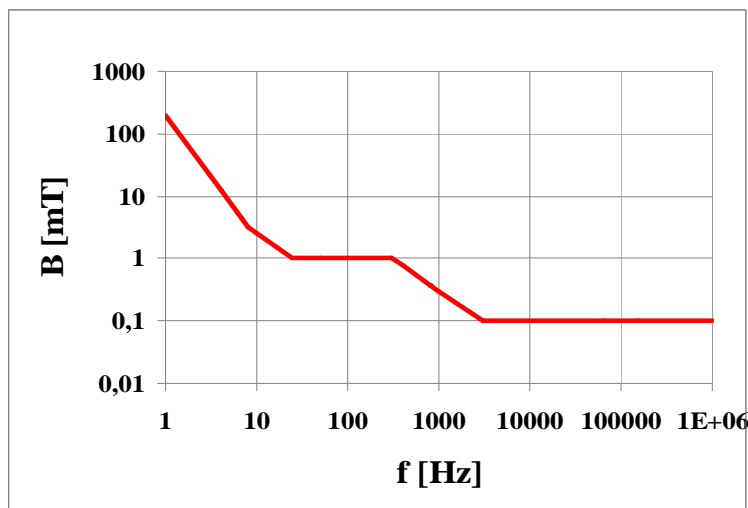
Risoluzione spettrale [Hz] 400.0

I_{MS} 1998 lavoratori 3.58

I_{WP} 1998 lavoratori 2.68

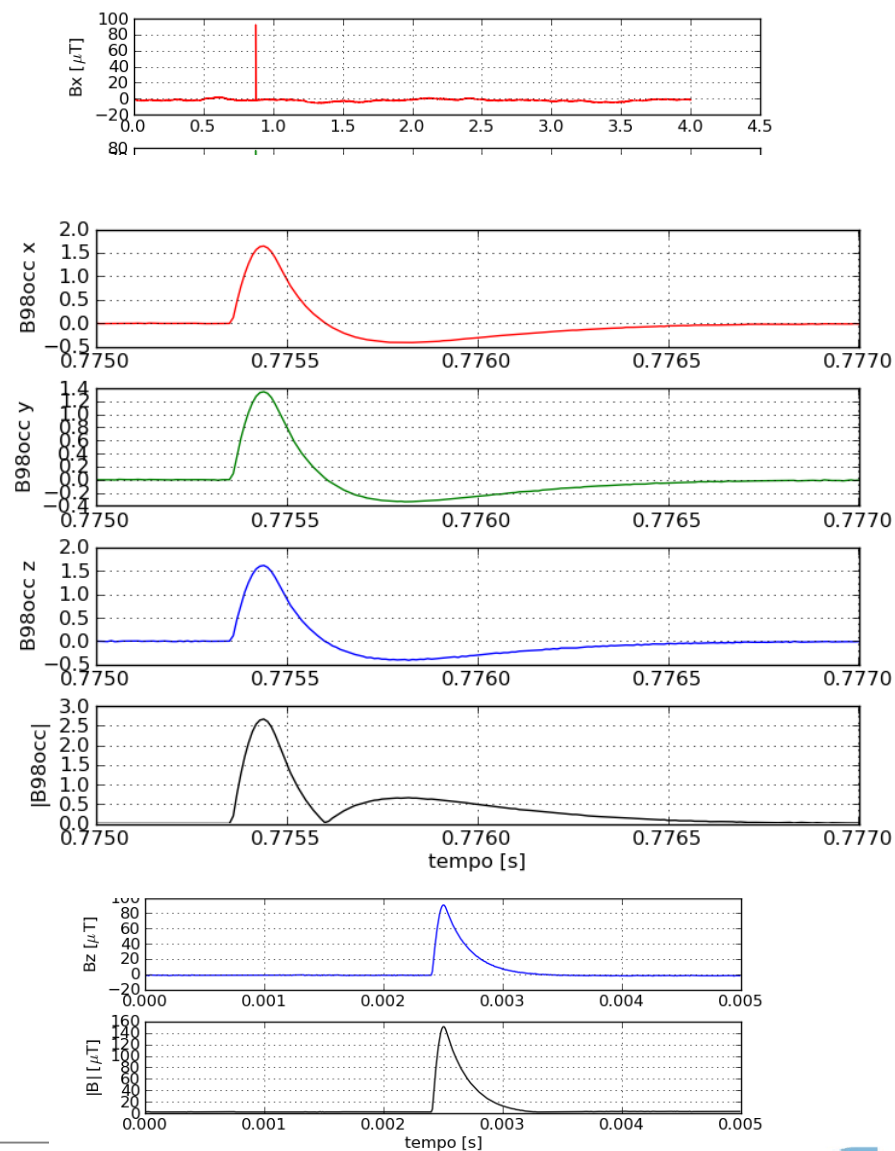


Passo 4: Applicazione metodo WP nel dominio del tempo



Nel dominio del tempo:

T_c [s]	1e-05
N campioni	400002
I_{WP} 1998 lavoratori	2.67



Caso 1: ricapitolando per i LdR delle LG1998 e per i lavoratori

- **$3.5 < \text{STANDARD} < 5.8$**
*dipende dalla risoluzione spettrale
(periodo di ripetizione)*
- **$\text{WP} = 2.67$**
*indipendente dal dominio di calcolo (df
o dt)*

Caso 2: saldatrici ad arco

N O R M A I T A L I A N A C E I

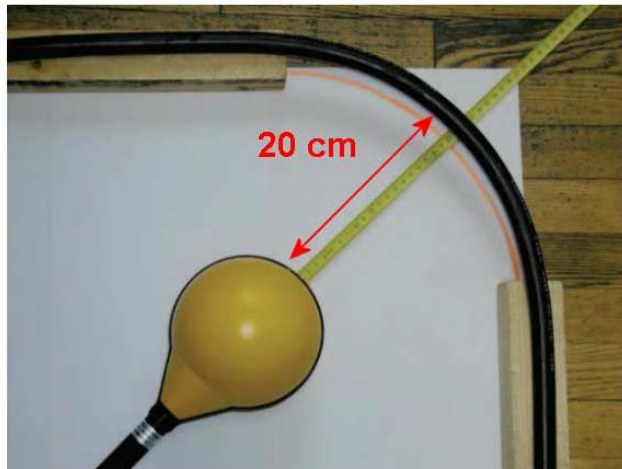
Norma Italiana

CEI EN 50444

Titolo

Norma di base per la valutazione dell'esposizione umana ai campi elettromagnetici prodotti dalle apparecchiature per la saldatura ad arco e processi affini

Condizioni standardizzate per le misure



Condizioni standardizzate per i calcoli

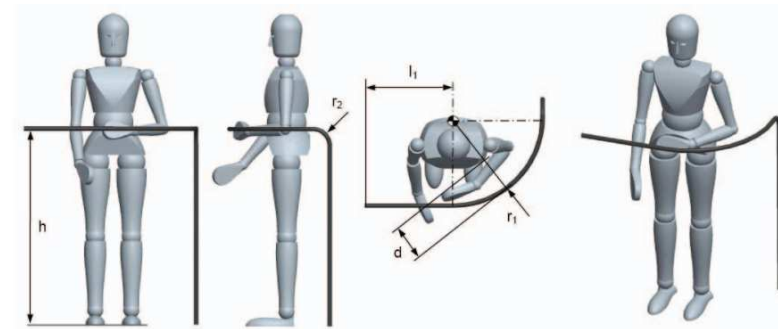
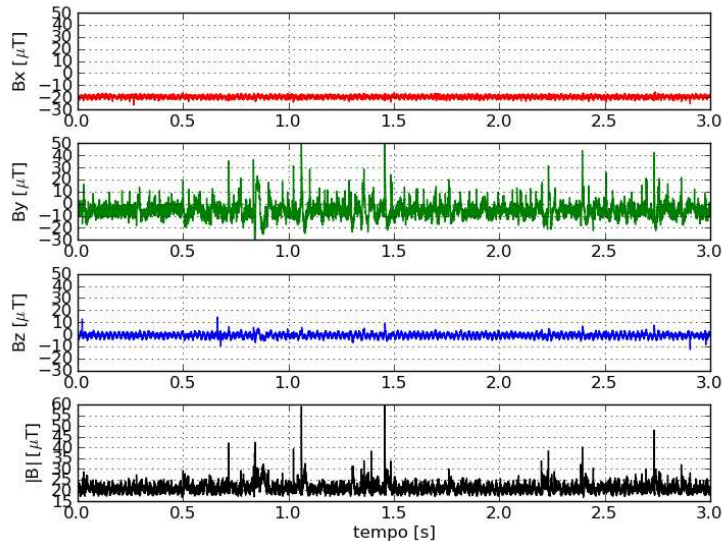


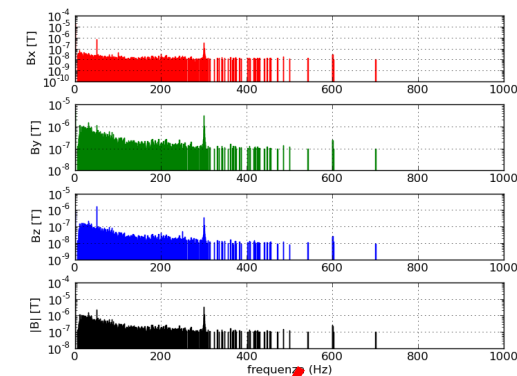
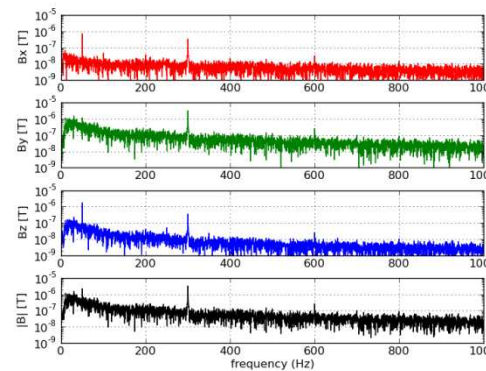
Figure A.2 – Topology of welding cable for numerical simulations

Only spectral components up to the upper frequency defined in 5.6 shall be considered. Harmonic components with an amplitude of less than 3 % of the amplitude of the corresponding fundamental frequency are insignificant and are disregarded.

Caso 2: saldatrici ad arco

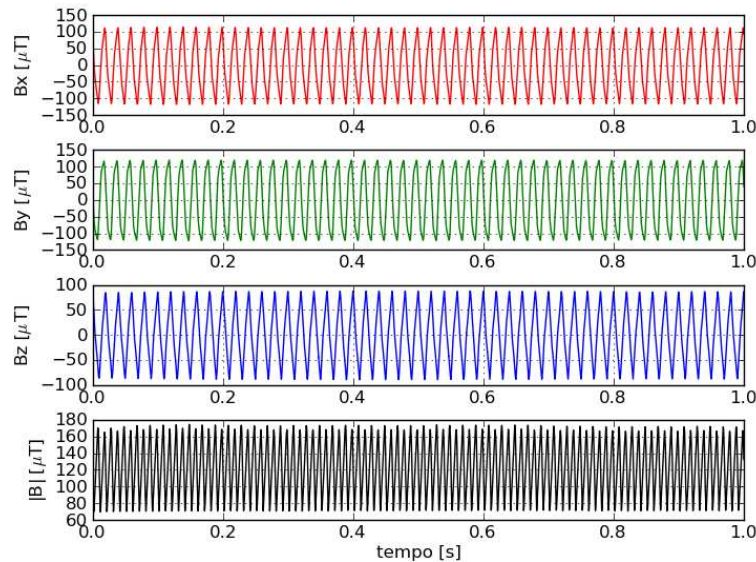


- Riferendosi agli spettri completi il rapporto tra $I_{MS}1998$ e $I_{WP}1998$ è pari a oltre 18. Riferendosi agli spettri 'alleggeriti', poco più di 3 (effetto righe relat. poco ampie).
- L'indice $I_{MS}1998$ per gli spettri alleggeriti è dello stesso ordine di grandezza del corrispondente indice I_{WP} determinato nel dominio del tempo (ma inferiore a quest'ultimo).
- Il rapporto tra $I_{WP}1998$ e $I_{WP}2010$ vale oltre 3 (le nuove linee guida sono meno cautelative).

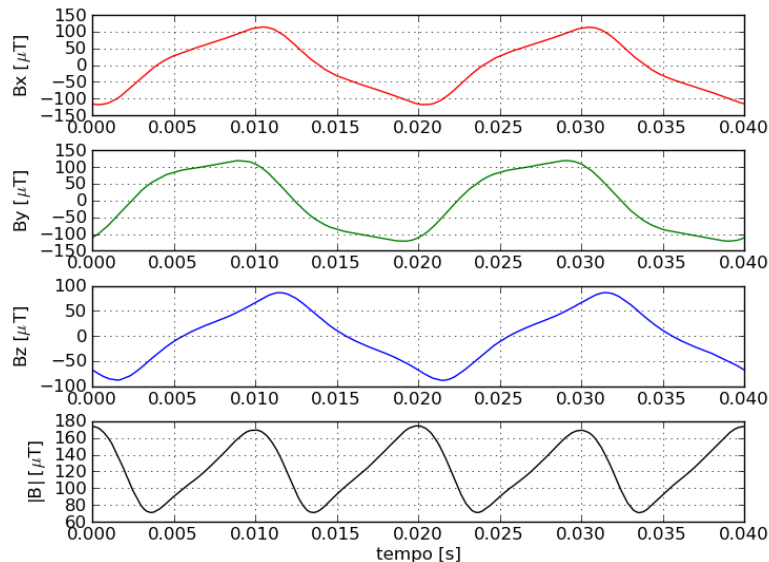


	Dominio del tempo	Dominio della frequenza	
		spettro completo	3%
Brms [μT]	21.3	21.3	21.2
$I_{MS}1998$ lavoratori		12.4	0.49
$I_{WP}1998$ lavoratori	0.61	0.67	0.14
$I_{WP}2010$ lavoratori	0.18	0.18	0.03

Caso 3: macchine da cucire industriali



L'applicazione del metodo del picco ponderato nel dominio della frequenza, senza alcun accorgimento (finestratura + interpolazione spettrale) può dare dei problemi in relazione al noto fenomeno detto 'spectral leakage'



	Dominio del tempo	Dominio della frequenza	
Risoluzione spettrale [Hz]		1	25
I_{MS} 1998 popolazione		10.25	2.54
I_{WP} 1998 popolazione	1.66	6.38	1.65
I_{WP} 2010 popolazione	0.47	1.10	0.48

Conclusioni

- Metodo Standard (I_{MS}) molto cautelativo e da indicazioni dipendenti da parametri caratteristici dell'elaborazione (parzialmente indipendenti dalle fdo) come la risoluzione spettrale adottata.
- Il metodo WP (I_{WP}) è meno cautelativo tra quelli analizzati ed è valido per tutte le tipologie di forma d'onda.
- Alcune norme tecniche CENELEC (ad es. EN50466, EN50500) introducono criteri semplificativi che però risultano talvolta arbitrari e non sempre danno risultati coerenti all'impianto ICNIRP.
- L'applicazione del metodo WP mediante campionamento ed elaborazione è molto flessibile ma può essere problematica da implementare sia nel dominio della frequenza (leakage) sia nel dominio del tempo (sintesi dei filtri, transitorio).
- Le nuove linee guida ICNIRP per le basse frequenze (2010) danno luogo ad indici che sono da 3 a 5 volte più piccoli di quelli che si ottengono facendo riferimento alle linee guida del 1998.