



WEBNIR

Strumenti WEB per la valutazione dell'esposizione occupazionale alle Radiazioni Non Ionizzanti

Evento di formazione-informazione

Istituto Superiore di Sanità

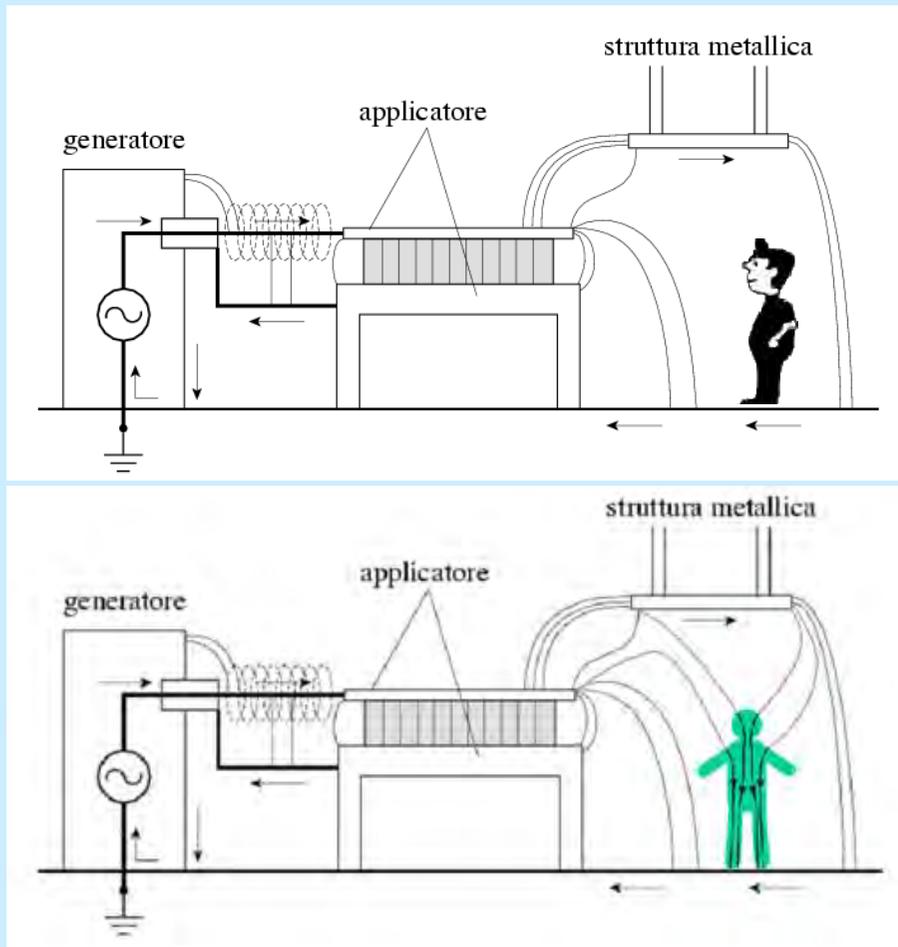
29-30 gennaio 2020

Richiamo di concetti fondamentali

WEBNIR

Strumenti **WEB** per la valutazione dell'esposizione occupazionale alle **Radiazioni Non Ionizzanti**

Interazione tra CEM e sistemi biologici



Esposizione: un oggetto biologico viene immerso in un campo elettromagnetico.

Accoppiamento: le forze del campo inducono grandezze fisiche all'interno dei tessuti.

Interazione: le grandezze fisiche indotte dal campo esterno provocano una deviazione dalle condizioni di equilibrio elettrico almeno a livello molecolare.

Effetto: variazione morfologica o funzionale in tessuti, organi, o sistemi.

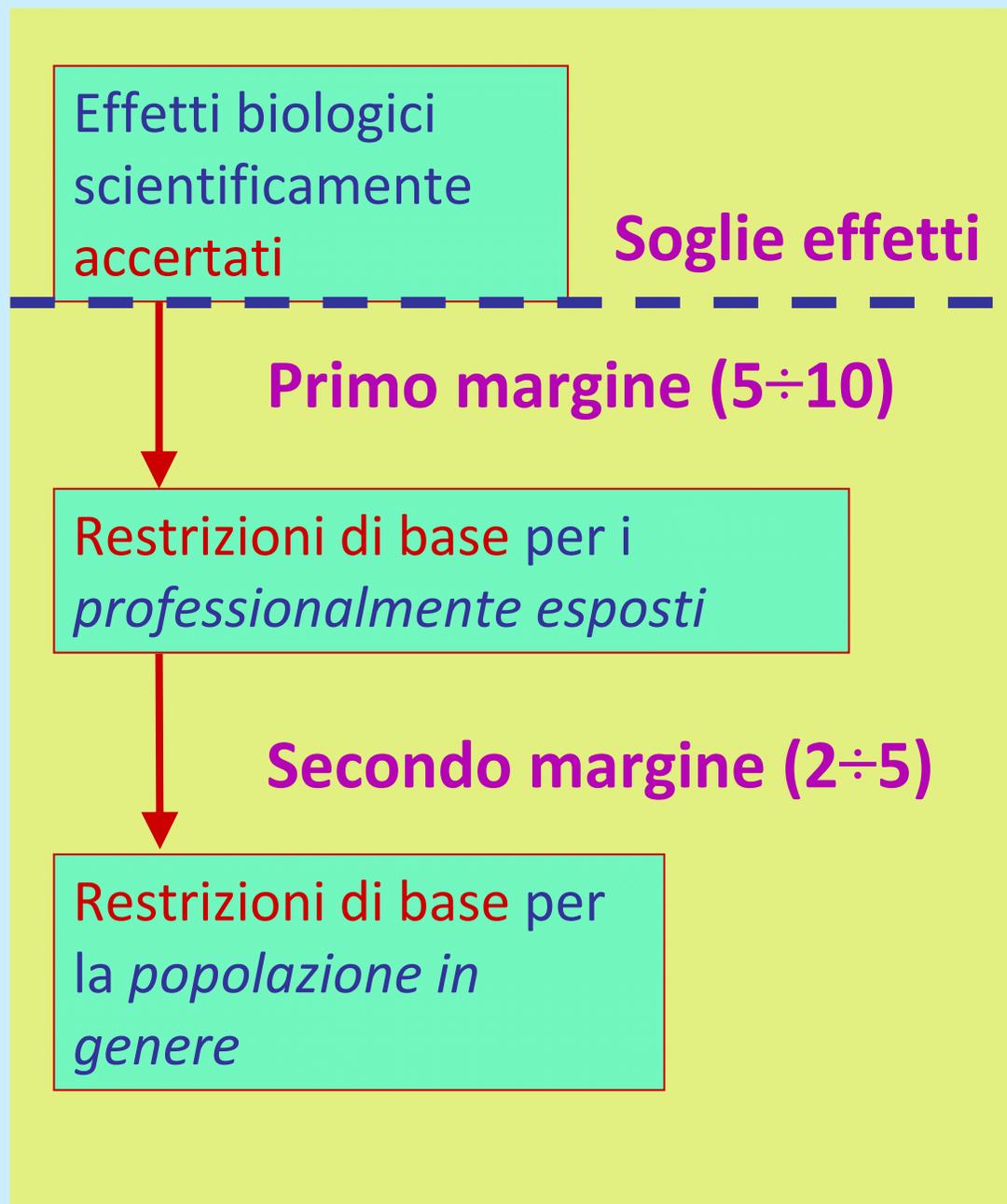
Le normative hanno l'obiettivo di prevenire (solo) gli effetti accertati dei campi elettromagnetici.

Si parla di danno quando un effetto supera la capacità di compensazione dell'organismo

Le linee guida ICNIRP

International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection

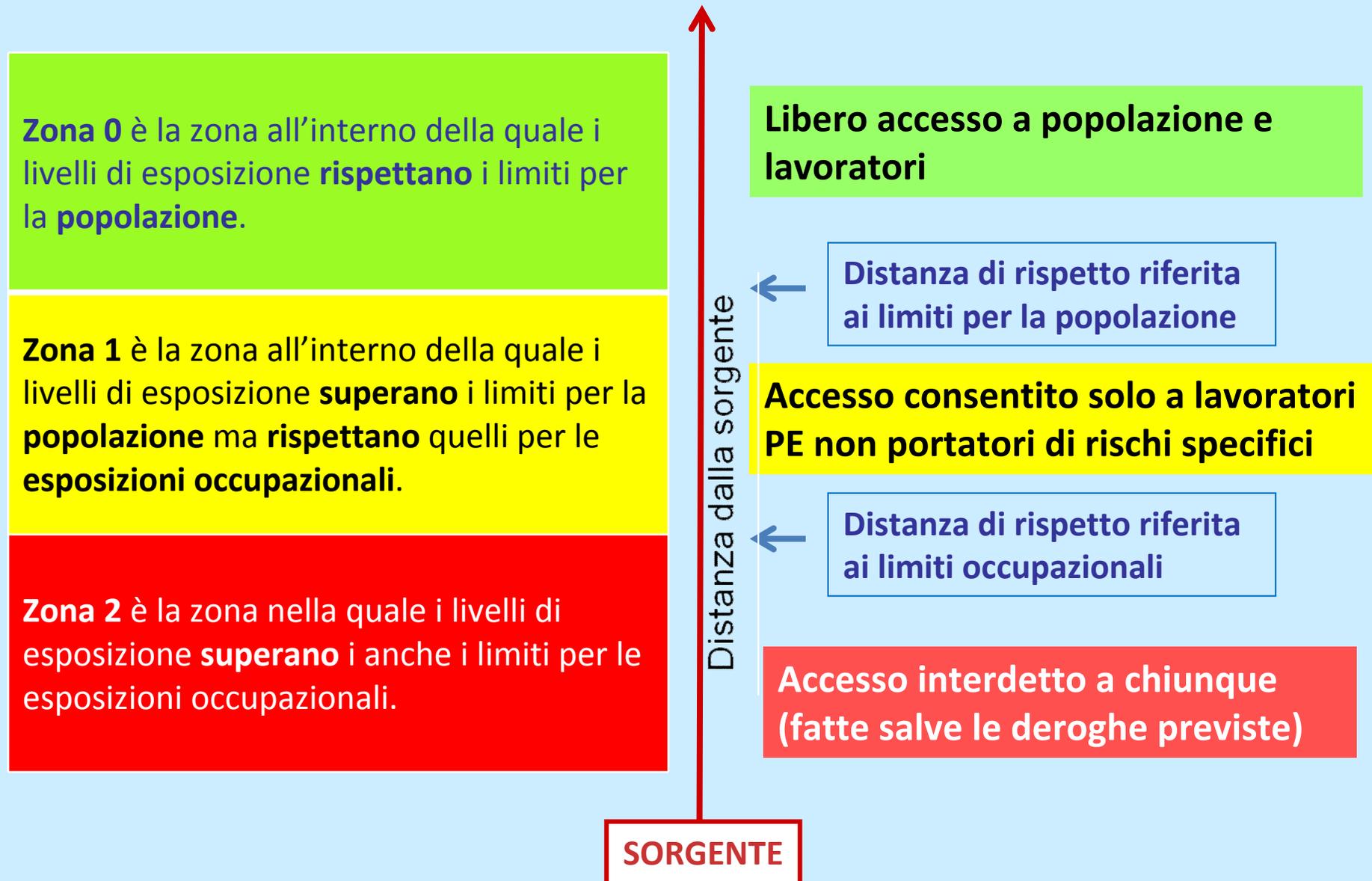
- Le linee guida ICNIRP propongono un insieme di limitazioni che copre con continuità l'intervallo di frequenze da 0 Hz a 300 GHz.
- Esse costituiscono il riferimento tecnico-scientifico su cui sono basate le normative europee, sia per la popolazione (**Raccomandazione 1999/519**) sia per i lavoratori (**Direttiva 2013/35 → D.Lgs. 81/2008**).
- Il rationale delle linee guida ICNIRP identifica di fatto cinque regioni di frequenza che potremo chiamare:
 - Campi statici (fino a 1 Hz)
 - Basse frequenze (da 1 Hz a 100 kHz)
 - Frequenze intermedie (da 100 kHz a 10 MHz)
 - Alte frequenze (da 10 MHz a 6 GHz)
 - Altissime frequenze (da 6 a 300 GHz)



Approccio ICNIRP alla costruzione dei limiti di sicurezza

Tanto le **soglie degli effetti** quanto le **restrizioni di base** sono espresse in termini di **grandezze di base** (spesso grandezze **interne** all'organismo esposto): sono le grandezze **direttamente responsabili degli effetti biologici** o almeno quelle più adatte a correlare l'effetto osservato con l'intensità del campo.

Distanze di rispetto e zonizzazione

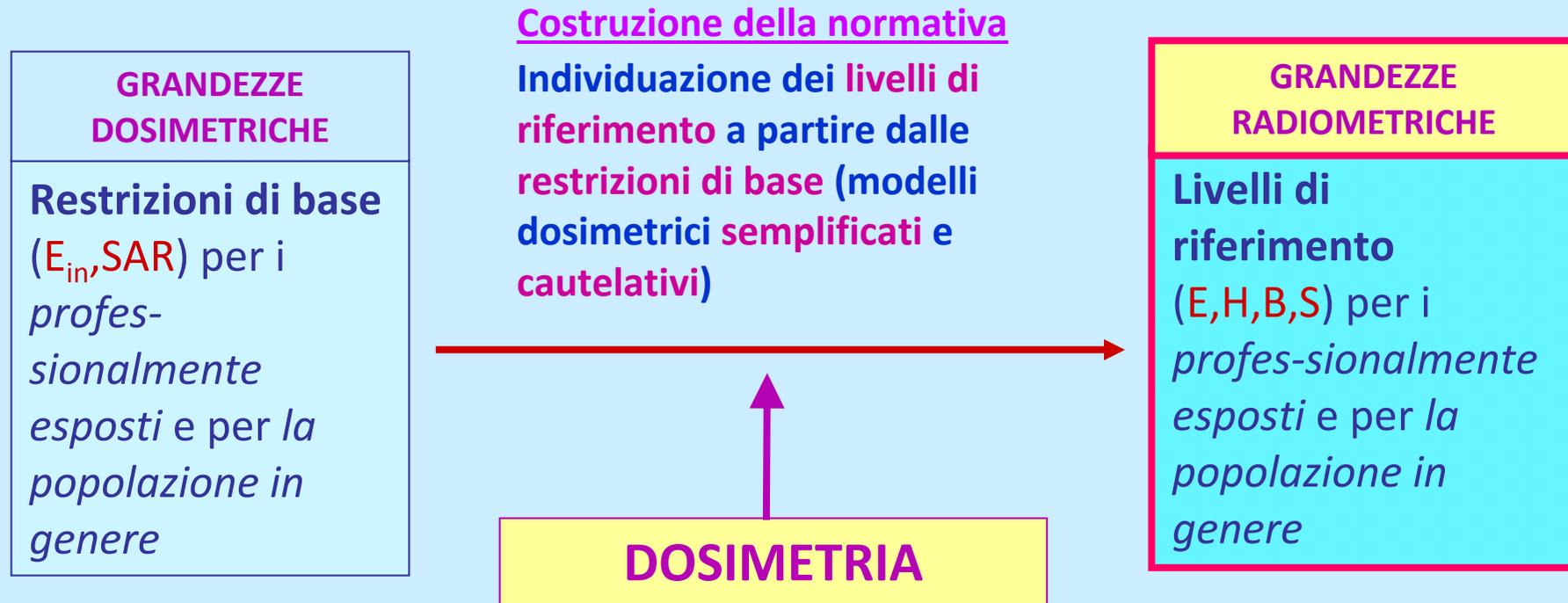


Effetti e grandezze di base secondo l'ICNIRP



Effetto	Banda di frequenza	Grandezza di base
Induzione di nausea o vertigini	0 - 1 Hz	Induzione magnetica B esterna e sua variazione ΔB su 3 secondi
Stimolazione dei tessuti elettricamente eccitabili	0 - 10 MHz	Campo elettrico interno E_{in}
Effetto termico	100 kHz - 10 GHz	Rateo interno di assorbimento specifico (SAR)

Dalle Restrizioni di Base ai Livelli di Riferimento



Le normative utilizzano modelli dosimetrici **semplificati e cautelativi**, in modo che si possa ritenere che il rispetto dei **livelli di riferimento** garantisca il rispetto delle **restrizioni di base** in condizioni di esposizione standardizzate.

Effetti “sensoriali” ed effetti “sanitari”

	Effetti sensoriali (esposizione in condizioni NON controllate)	Effetti sanitari (esposizione in condizioni controllate)
Effetti del campo magnetico statico (e del movimento in esso)	Induzione di nausea o vertigini e altri eventuali effetti del campo magnetico statico	Eventuali e non meglio precisati effetti sanitari del campo magnetico statico
Stimolazione dei tessuti elettricamente eccitabili	Fosfeni retinici e modifiche minori e transitorie di talune funzioni del sistema nervoso centrale (CNS)	Effetti correlati alla stimolazione elettrica di tutti i tessuti del sistema nervoso centrale (CNS) e periferico (PNS)
Effetti termici	Effetti uditivi provocati da esposizioni della testa a microonde pulsate	Eccessivo riscaldamento sistemico o locale

Distanze di rispetto e zonizzazione 2.0



Zona 0 è la zona all'interno della quale i livelli di esposizione rispettano i limiti per la popolazione.

Zona 1a è la zona all'interno della quale i livelli di esposizione rispettano i limiti per le esposizioni occupazionali *in condizioni non controllate* (prevenzione *effetti sensoriali*).

Zona 1b è la zona nella quale i livelli di esposizione rispettano i limiti per le esposizioni occupazionali *in condizioni controllate* (prevenzione *effetti sanitari*).

Zona 2 è la zona nella quale i livelli di esposizione superano tutti i limiti per le esposizioni occupazionali.



Pochi concetti, tanti nomi

	Limiti in termini di grandezze dosimetriche		Limiti in termini di grandezze radiometriche	
	Effetti sensoriali	Effetti sanitari	Effetti sensoriali	Effetti sanitari
Linee guida ICNIRP	Restrizioni di base		Livelli di riferimento	
Raccomandazione 1999/519/CE	Limiti di base (LB)		Livelli di riferimento (LR)	
Direttiva 2013/35/UE	Valori limite di esposizione (VLE) relativi agli effetti sensoriali	Valori limite di esposizione (VLE) relativi agli effetti sanitari	Livelli di azione (LA) inferiori	Livelli di azione (LA) superiori
D.Lgs. 81/2008	Valori limite di esposizione (VLE) relativi agli effetti sensoriali	Valori limite di esposizione (VLE) relativi agli effetti sanitari	Valori di azione (VA) inferiori	Valori di azione (VA) superiori

Intervalli di frequenza, effetti, metrica



Basse
frequenze

Frequenze
intermedie

Alte
frequenze

Effetti di stimolazione del sistema nervoso
(Valori limite istantanei)

Frequenza

Effetti termici
(Valori limite medie su 6 minuti)

100kHz

10MHz

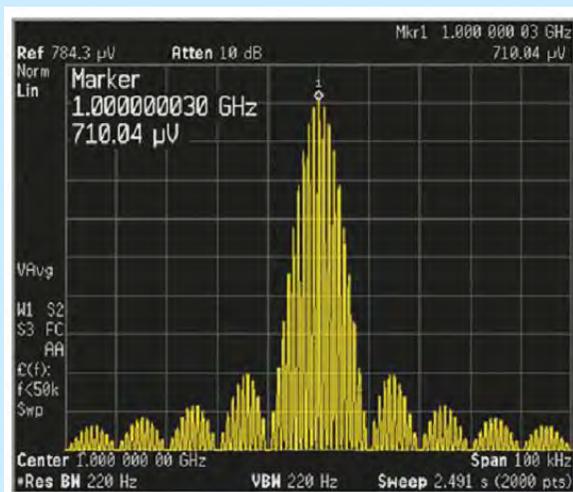
*Nel caso dei campi non sinusoidali, la valutazione dell'esposizione ... si basa sul **metodo del picco ponderato** (**filtraggio nel dominio del tempo**), spiegato nella guida pratica non vincolante di cui all'articolo 14, ma possono essere applicate altre procedure di valutazione scientificamente provate e validate, purché conducano a risultati approssimativamente equivalenti e comparabili.*

*Per campi multifrequenza l'analisi è basata sulla **somma quadratica**, come indicato nella guida pratica non vincolante di cui all'art. 14.*

Forme d'onda sinusoidali (o assimilabili)

- Elettrodotti
- Telecomunicazioni a banda relativamente stretta (AM, FM)
- Elettrobisturi in modalità taglio
- (Magnetoterapia)
- Applicazioni industriali per il riscaldamento a radiofrequenza o microonde
- RADAR

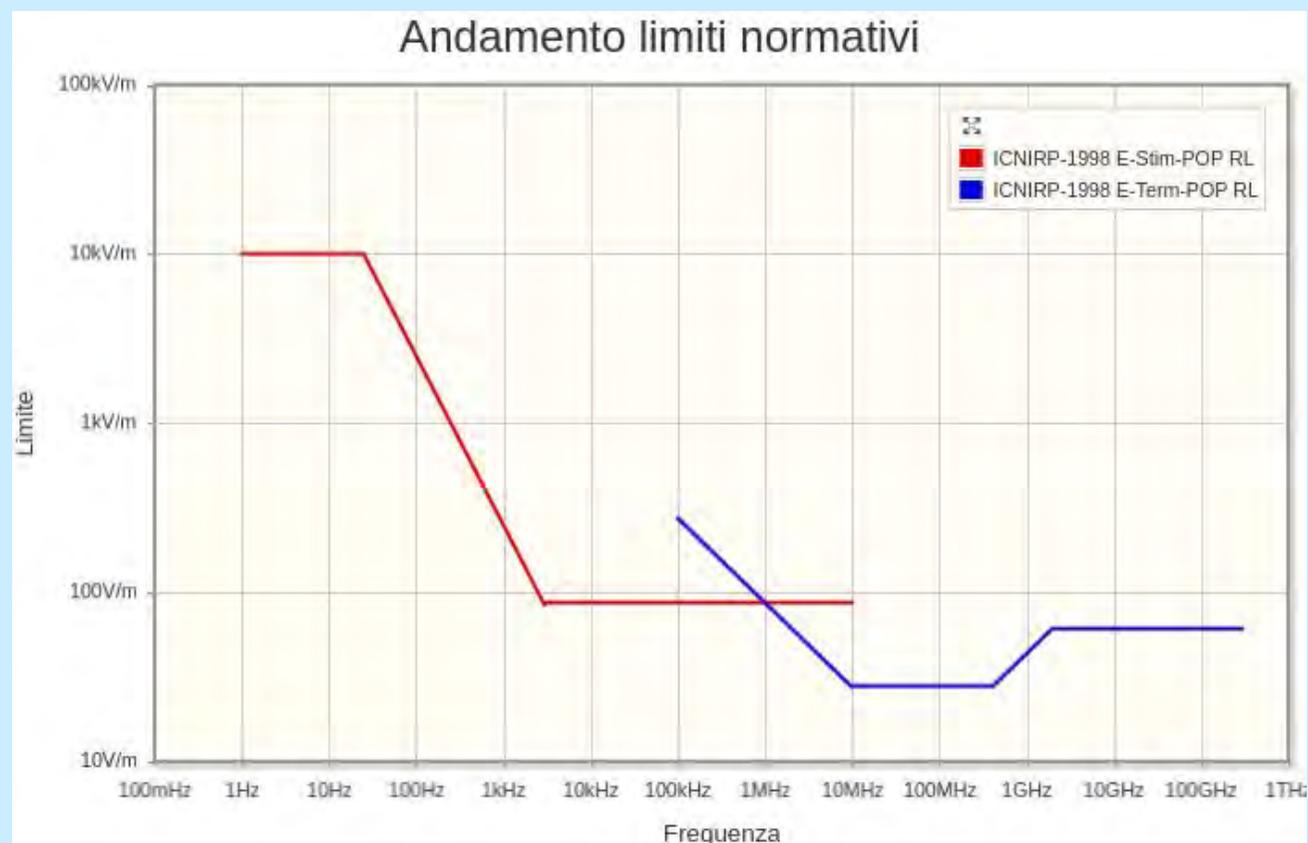
- **Effetti termici:** confrontare il valore RMS misurato, **mediato su 6'**, con il valore limite alla frequenza nominale
(NB: vi sono anche limitazioni sul valore RMS di picco)
- **Effetti NON termici:** confrontare il valore RMS "istantaneo" (= calcolato su un periodo = **valore di picco / radice di due**), con il valore limite alla frequenza nominale



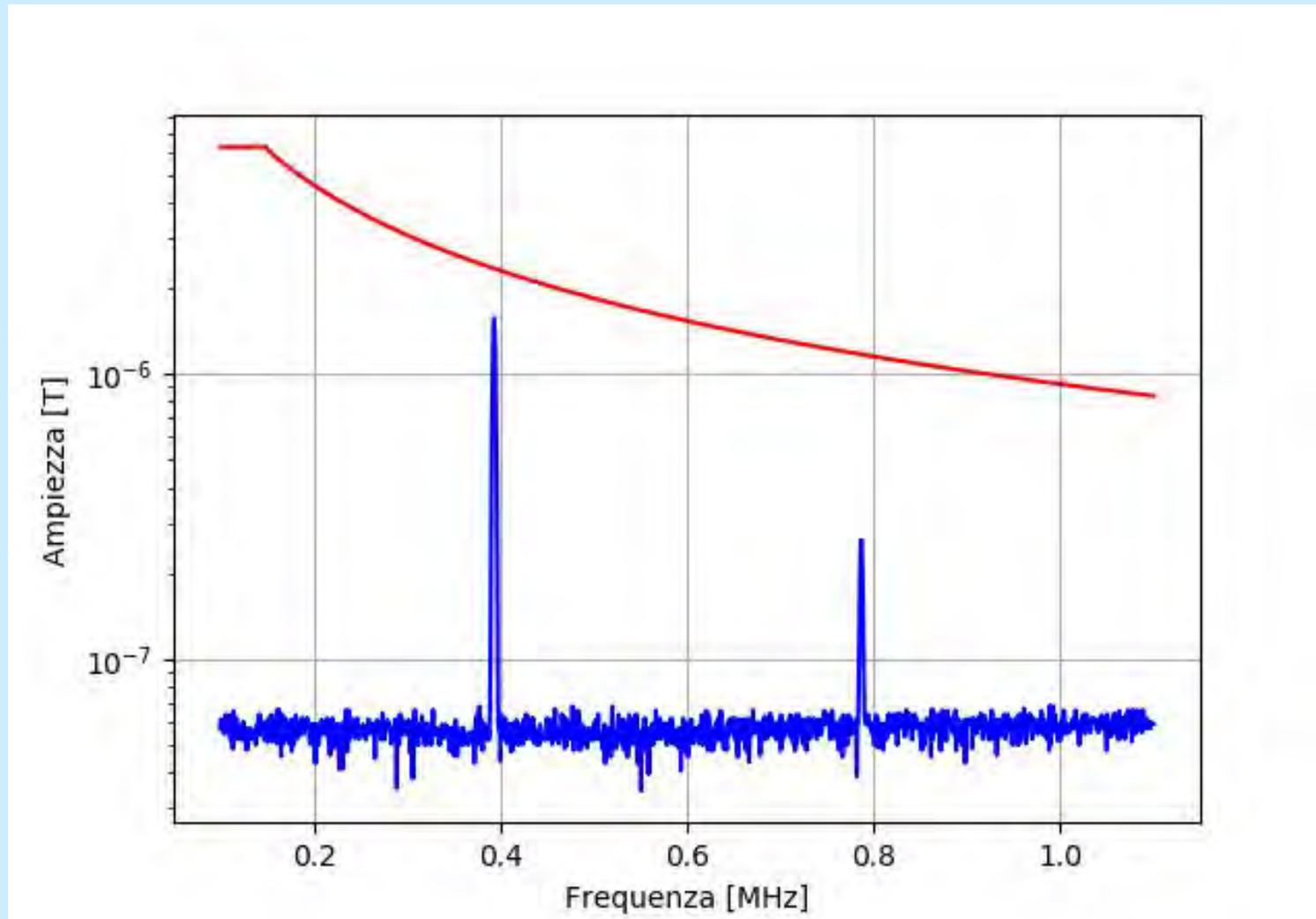
Forme d'onda sinusoidali: quale limite alle frequenze intermedie?



Funzione	Modalità	f min	f max	Grandezza
✘ ICNIRP-1998 E-Stim-POP RL	PWL	1 Hz	10 MHz	E
✘ ICNIRP-1998 E-Term-POP RL	PWL	100 kHz	300 GHz	E



Confronto con i limiti per forme d'onda NON sinusoidali



Forme d'onda complesse - effetti termici

$$G_1(t) = \sqrt{2}G_1^{\text{rms}} \cos(2\pi f_1 t + \theta_1)$$

$$G_2(t) = \sqrt{2}G_2^{\text{rms}} \cos(2\pi f_2 t + \theta_2)$$

.....

$$G_N(t) = \sqrt{2}G_N^{\text{rms}} \cos(2\pi f_N t + \theta_N)$$

$$I_{SSQ} = \sum_{i=1}^N \left(\frac{G_i^{\text{rms}}}{VA_{\text{TERM}}(f_i)} \right)^2 \leq 1$$

Metodo della somma spettrale quadratica (SSQ)

- Si applica a segnali a **banda larga** (p.es.: presenza simultanea di più sorgenti).
- Si basa sulla limitazione del **valore efficace (RMS) mediato su 6 minuti**.
- Fa storicamente riferimento all'eventualità di misurare le ampiezze delle singole componenti spettrali o con uno strumento a banda larga (accendendo una sorgente per volta), oppure con un radiorecettore o un analizzatore di spettro; in tutti i casi **le relazioni di fase tra le componenti spettrali sono sconosciute e vengono pertanto ignorate**.
- **Le relazioni di fase di fatto hanno poca o nessuna rilevanza dal punto di vista termico.**

Forme d'onda complesse - effetti non termici

Il **metodo della somma spettrale lineare (SSL)** si basa sulla limitazione del **valore di picco** e presuppone la possibilità che le varie componenti spettrali raggiungano il valore di picco **contemporaneamente**.

$$G_1(t) = \sqrt{2}G_1^{\text{rms}} \cos(2\pi f_1 t + \theta_1)$$

$$G_2(t) = \sqrt{2}G_2^{\text{rms}} \cos(2\pi f_2 t + \theta_2)$$

.....

$$G_N(t) = \sqrt{2}G_N^{\text{rms}} \cos(2\pi f_N t + \theta_N)$$

Fa storicamente riferimento all'eventualità di misurare le ampiezze delle singole componenti spettrali o con uno strumento a banda larga (accendendo una sorgente per volta), oppure con un radiorecettore o un analizzatore di spettro; in tutti i casi **le relazioni di fase tra le componenti spettrali sono sconosciute e vengono pertanto ignorate**.

$$I_{SSL} = \sum_{i=1}^N \frac{G_i^{\text{rms}}}{VA_{\text{NONTERM}}(f_i)} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sum_{i=1}^N \frac{G_i^{\text{pk}}}{VA_{\text{NONTERM}}(f_i)} \quad [\leq 1]$$

Forme d'onda complesse - effetti non termici

Il **metodo del picco ponderato (WP)** consiste nel combinare opportunamente i vari contributi spettrali della grandezza considerata, pesando ognuno in rapporto al valore limite alla frequenza corrispondente, **tenendo conto in modo appropriato anche delle rispettive fasi.**

$$G_1(t) = \sqrt{2}G_1^{\text{rms}} \cos(2\pi f_1 t + \theta_1)$$

$$G_2(t) = \sqrt{2}G_2^{\text{rms}} \cos(2\pi f_2 t + \theta_2)$$

.....

$$G_N(t) = \sqrt{2}G_N^{\text{rms}} \cos(2\pi f_N t + \theta_N)$$

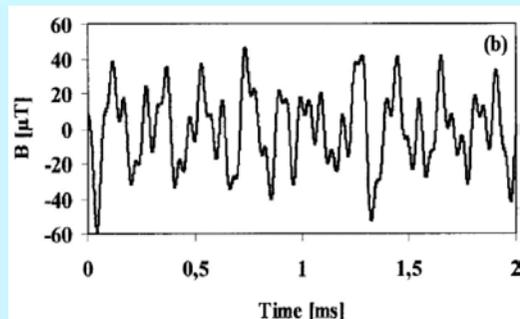
Determination of the weighted peak exposure.

The weighting may be implemented by computing first the spectrum of the waveform and then applying eqn (7). In many applications, however, it is more convenient to use analog or digital filtering of the waveform in the time domain. The gain of the filter (ratio of the output to the input signal) should vary as a function of frequency in direct proportion to the exposure limit $G = EL(f_{\text{ref}})/EL(f)$, where EL is the limit at frequency f and f_{ref} is an arbitrary reference frequency from 1 Hz to 100 kHz. The peak value of the filtered waveform should not exceed the exposure limit (basic restriction or reference level) converted to the peak (amplitude) value at the reference frequency. Table 6 shows an example of the derived peak limits. In addition to the amplitude physical filters always influence on the phase of the field, which changes the peak value of the filtered field. As shown in Figs. 1, 2, and 3 the limits are divided to the frequency ranges where the limit varies directly proportional to $1/f^2$, $1/f$, f^0 (constant), or f . On the $1/f^2$, $1/f$, f^0 , and f ranges the phase angle of the filter φ_i (see eqn 7) is 180, 90, 0, and -90° , respectively. The weighting filter can be approximated with an electronic or digital filter where the attenuation should not deviate more than 3 dB and phase more than 90° from the exact piecewise linear frequency response.

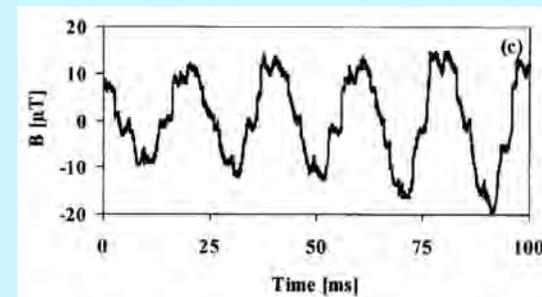
$$I_{WP} = \left| \sum \frac{G_i^{\text{rms}}}{VA_{\text{NONTERM}}(f_i)} \cos[2\pi f_i t + \theta_i + \varphi(f_i)] \right| \leq 1$$

Forme d'onda complesse - effetti NON termici

Forme d'onda INcoerenti



Forme d'onda coerenti



ICNIRP
1998

Metodo della somma spettrale lineare (SSL)

ICNIRP
2003

Metodo SSL

Metodo del picco
ponderato

ICNIRP
2010

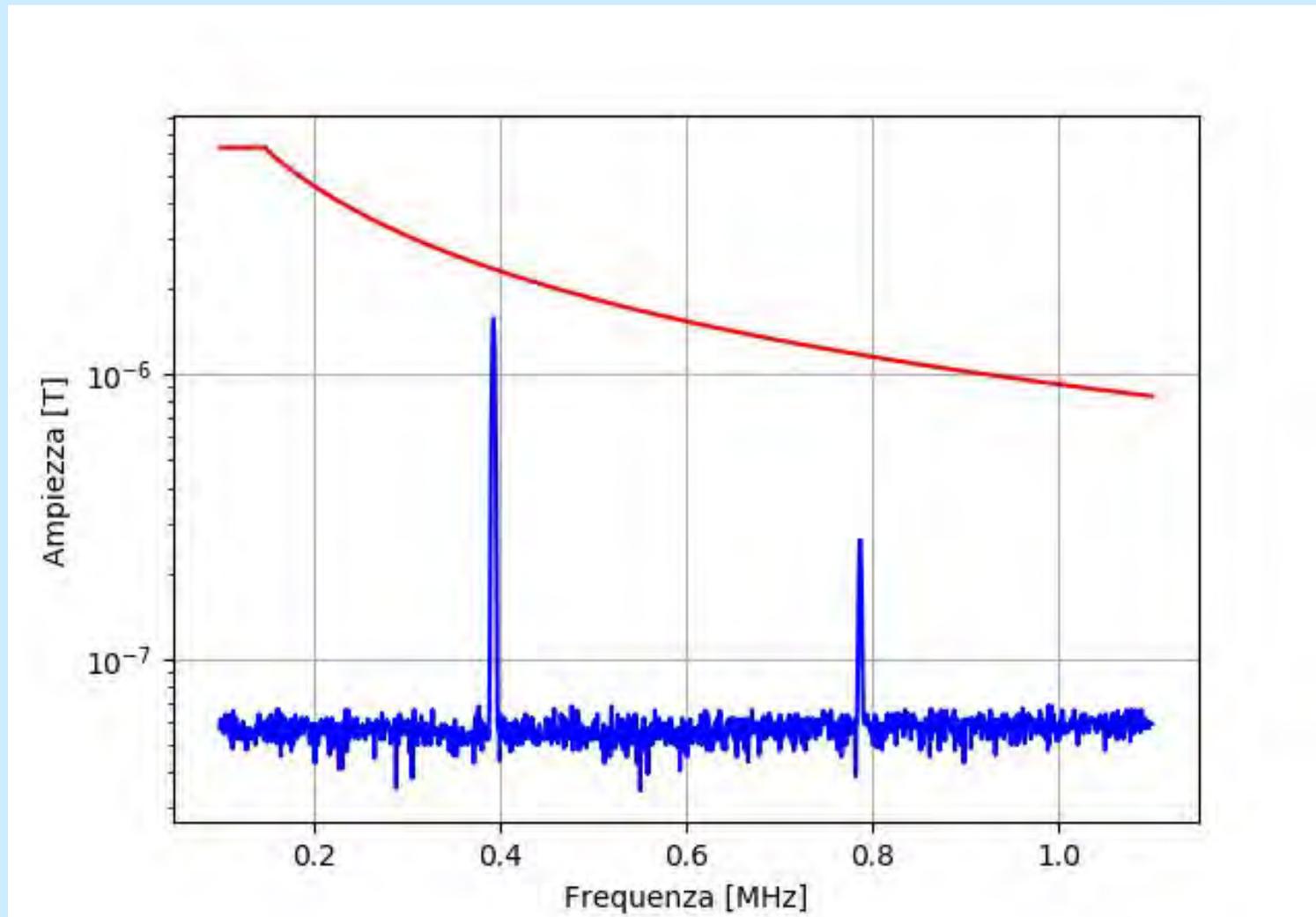
Metodo SSL

Metodo del picco
ponderato

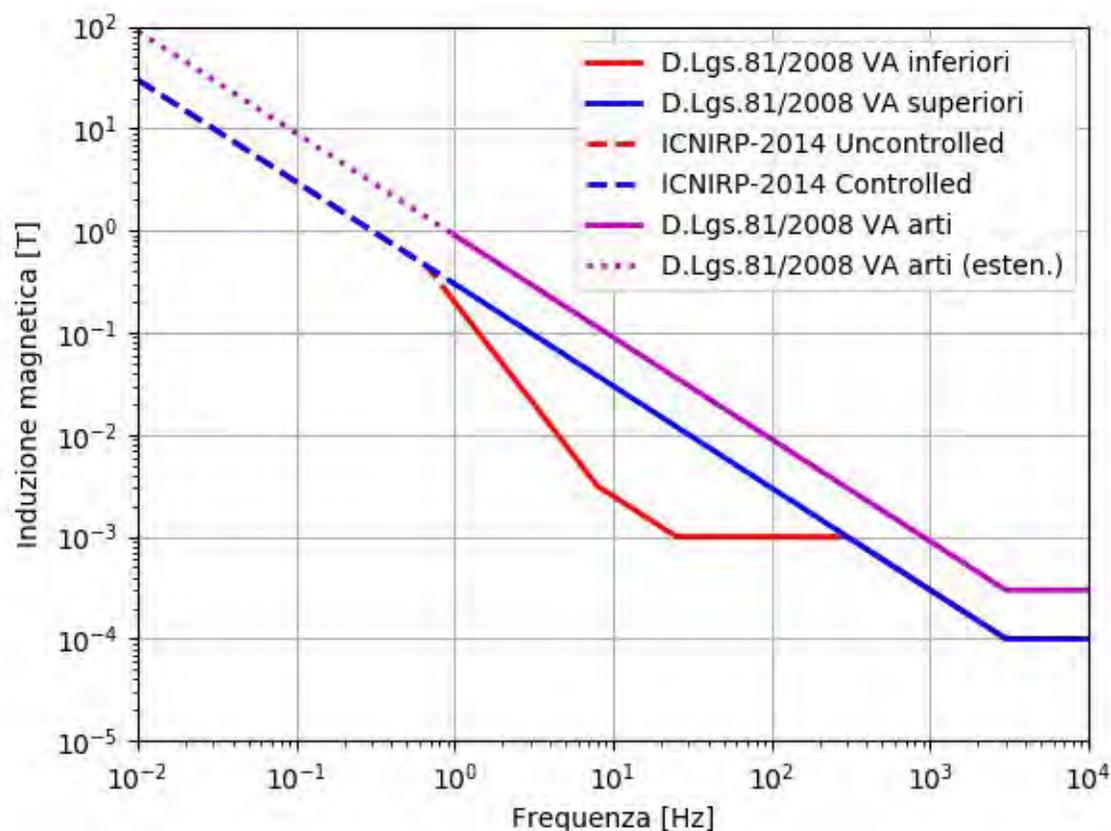
EU 2013

Metodo del picco ponderato; metodo SSL come possibile
alternativa semplificata?

Confronto con i limiti per forme d'onda NON sinusoidali

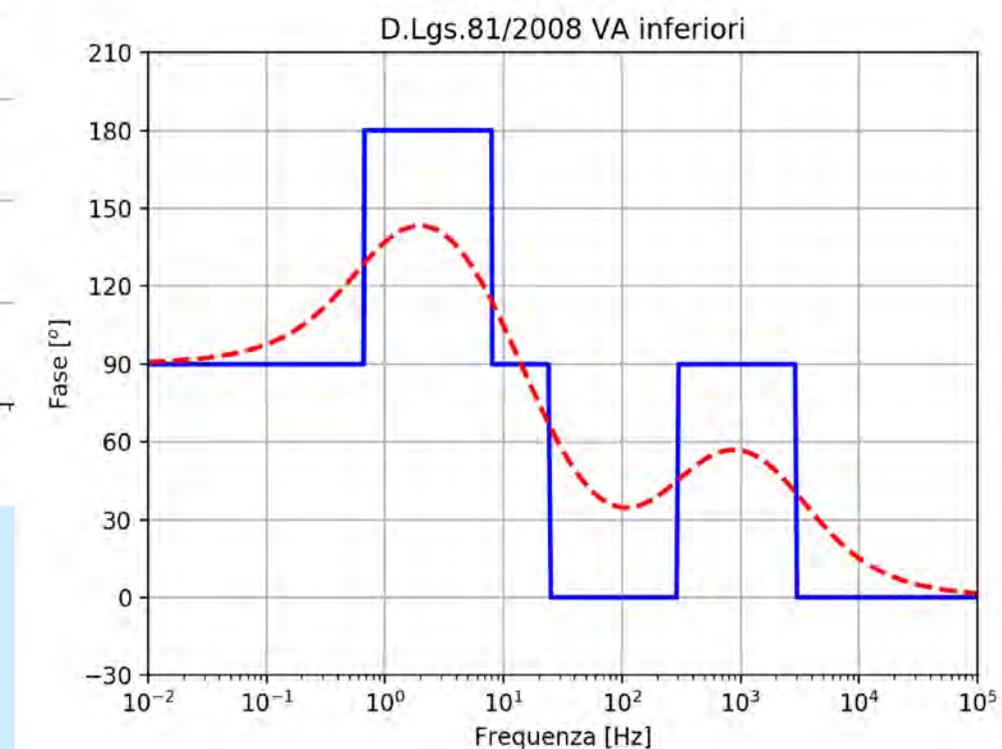
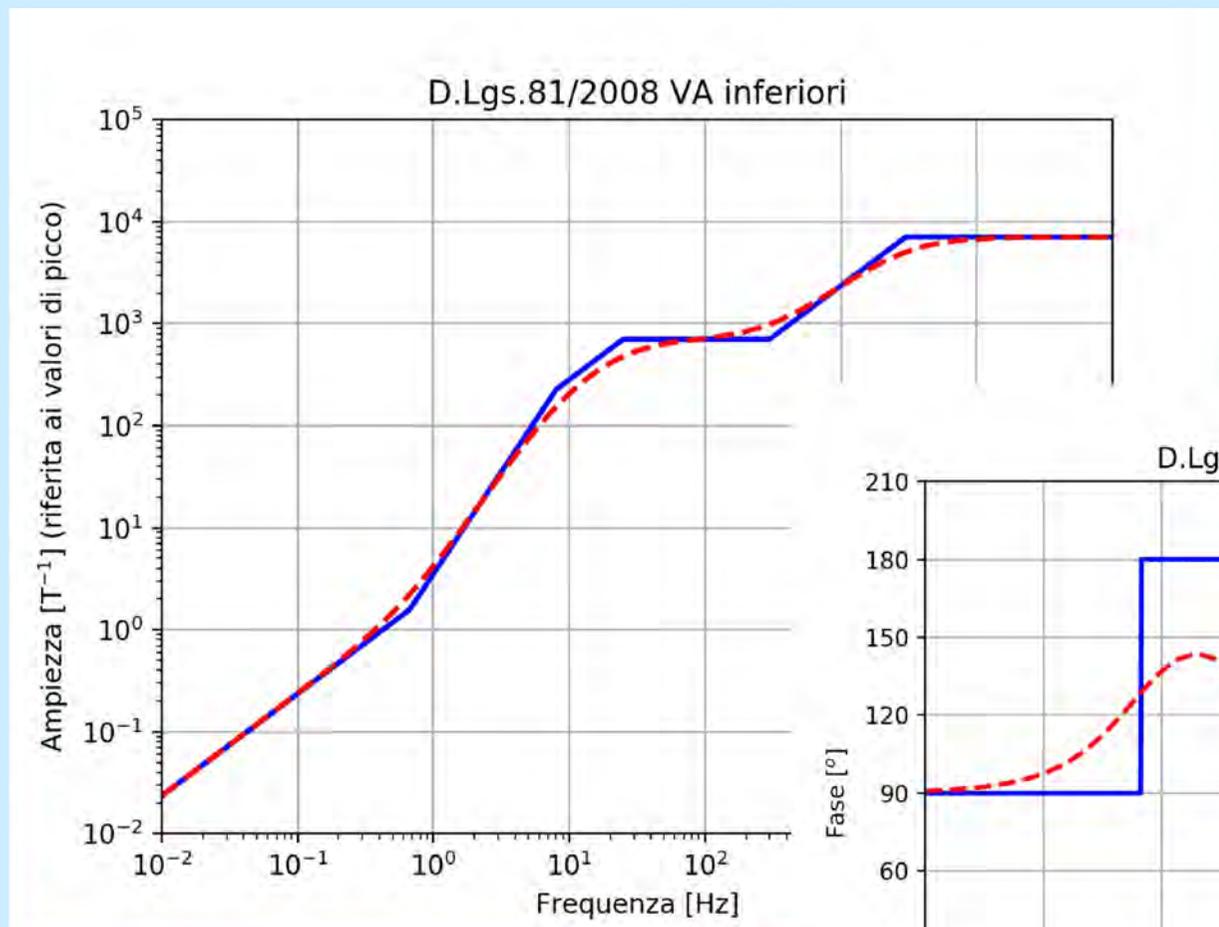


Il metodo del picco ponderato: dalla norma...

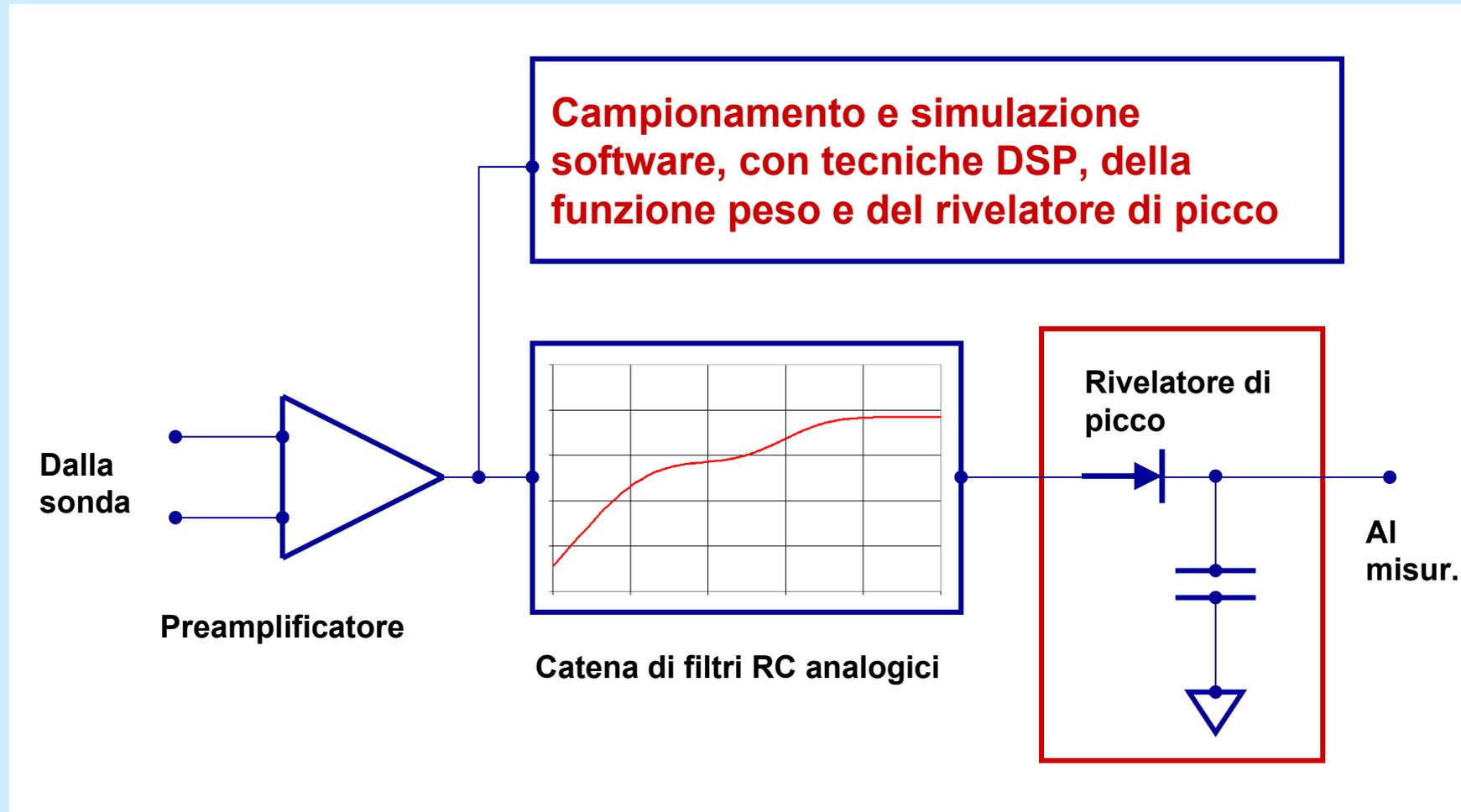


$$I_{WP} = \left| \sum \frac{G_i^{\text{rms}}}{VA_{\text{NONTERM}}(f_i)} \cos \left[2\pi f_i t + \theta_i + \varphi(f_i) \right] \right| \leq 1$$

Il metodo del picco ponderato: ...ai filtri



Il metodo del picco ponderato in hardware



$$I_{WP} = \left| \sum \frac{G_i^{\text{rms}}}{V_{A_{\text{NONTERM}}}(f_i)} \cos \left[2\pi f_i t + \theta_i + \varphi(f_i) \right] \right| \leq 1$$



WEBNIR

Strumenti WEB per la valutazione dell'esposizione occupazionale alle Radiazioni Non Ionizzanti

Evento di formazione-informazione

Istituto Superiore di Sanità

29-30 gennaio 2020

Grazie per l'attenzione

WEBNIR

Strumenti **WEB** per la valutazione dell'esposizione occupazionale alle **Radiazioni Non Ionizzanti**