

# Emissioni di campi elettromagnetici complesse

A. Bogi, N. Stacchini, I. Pinto  
Laboratorio Agenti Fisici  
USL Toscana SudEst - Siena



[www.portaleagentifisici.it](http://www.portaleagentifisici.it)

# Confronto con i limiti dei campi elettromagnetici

- I limiti per campo elettrico e magnetico variano con la frequenza
- Se il segnale è composto da un'unica frequenza, il confronto con il limite è abbastanza semplice
- Se il segnale è complesso (sono presenti più frequenze, il segnale è impulsivo) qual'è il limite??

Si definisce un indice di esposizione che tiene conto di tutte le componenti spettrali presenti

$I > 1$  (>100%) → limite superato

$I < 1$  (<100%) → limite rispettato

# Suddivisione dei campi elettromagnetici in base al tipo di interazione con il corpo

Bassa Frequenza  
0Hz → 10 Mhz

Stimolazione del SNC  
Effetto istantaneo  
Si devono limitare i valori di picco dei campi risultanti  
Le componenti si sommano vettorialmente



Alta frequenza  
100 KHz → 300 GHz

Riscaldamento dei tessuti  
Effetto cumulato in 6 minuti  
Si deve limitare il valore medio dei campi  
Le componenti si sommano in quadratura



# Suddivisione dei campi elettromagnetici in base al tipo di interazione con il corpo

Saldature, varchi magnetici, Magnetoterapie, Defibrillatori, Transcraniche

BASSE FREQUENZE	Stimolazione recettori del sistema nervoso	0 - 100 kHz	Solo $E_{in}$
FREQUENZE INTERMEDIE	Stimolazione e riscaldamento dei tessuti	100 kHz - 10 MHz	Sia $E_{in}$ sia SAR
ALTE FREQUENZE	Riscaldamento	10 MHz - 10 GHz	Solo SAR

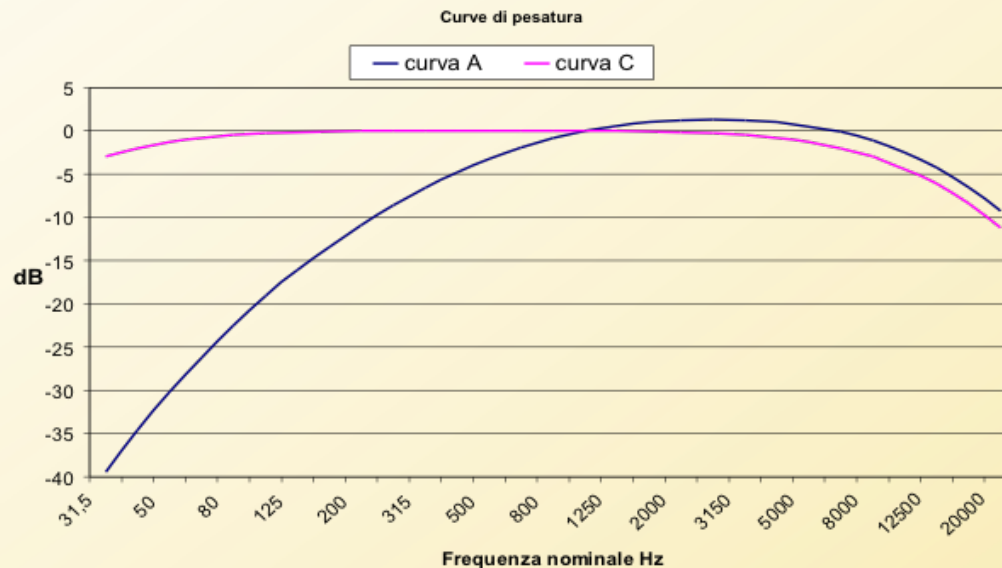
Elettrobisturi, Tecar

Stazioni radio, Sistemi comunicazione senza fili, Marconiterapia, Radarterapia

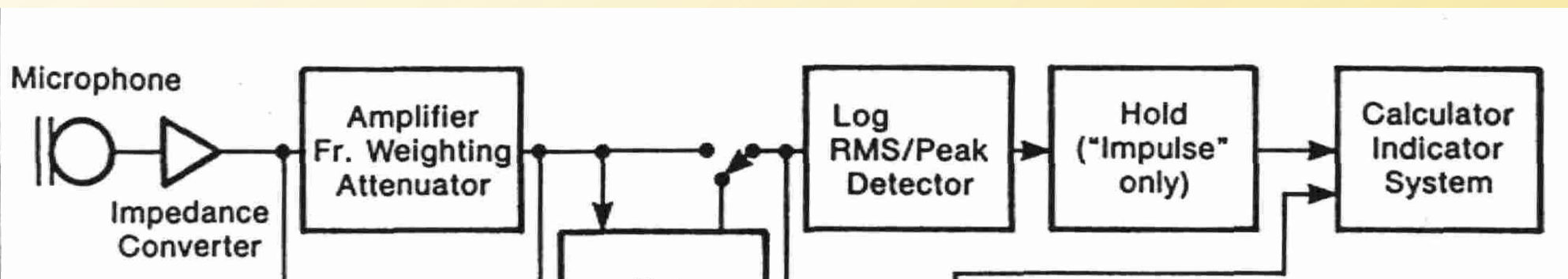
# Valutazione dei segnali complessi

## 1° caso: acustica

Esiste una curva di sensibilità: curva C



Ogni segnale in entrata viene “pesato” dai filtri per ottenere il segnale efficace



Picco C : valore massimo assunto dal segnale efficace



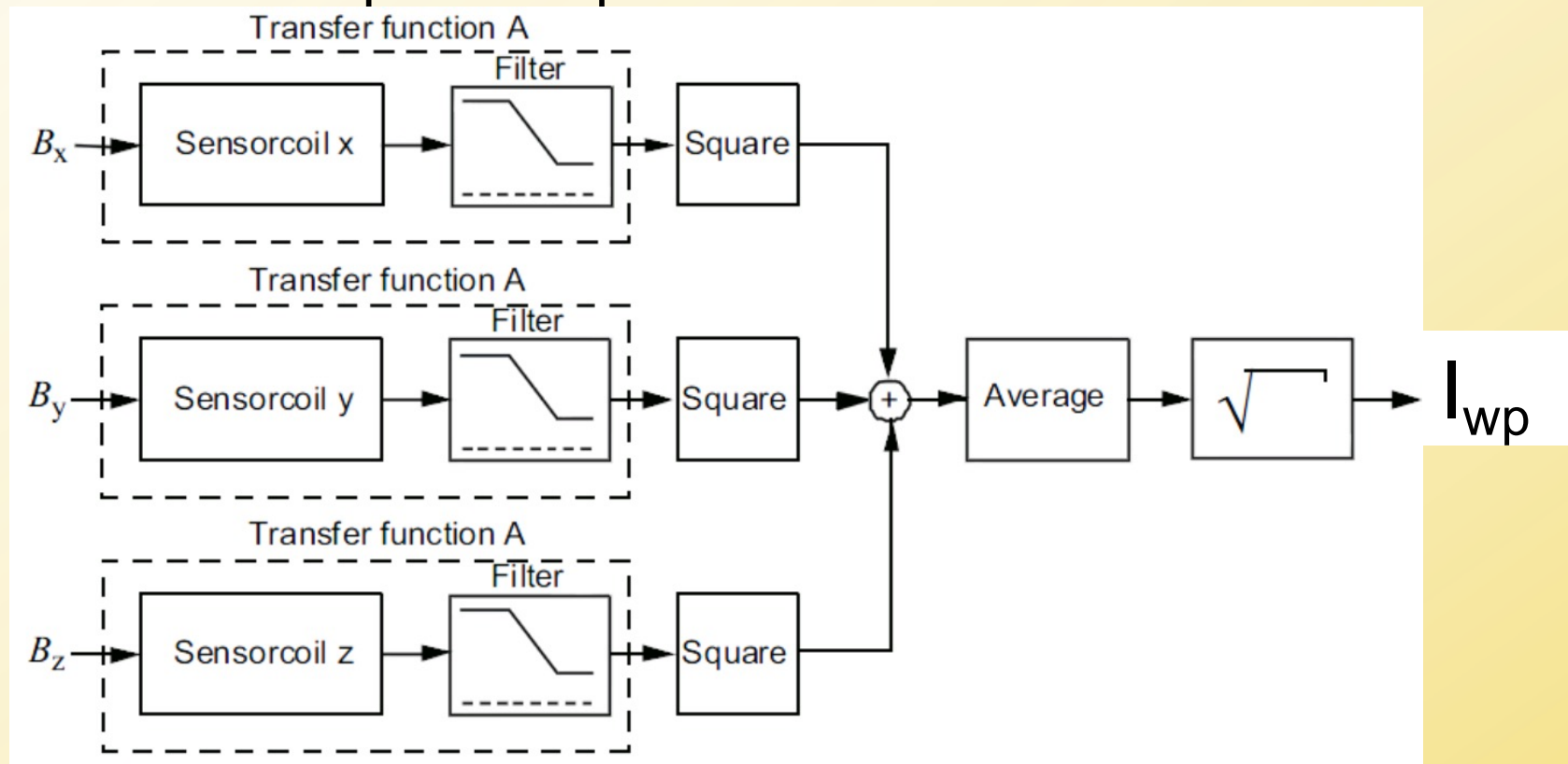
# Valutazione dei segnali complessi

## 2° caso: campi elettromagnetici

Esistono diverse  
curve di  
ponderazione

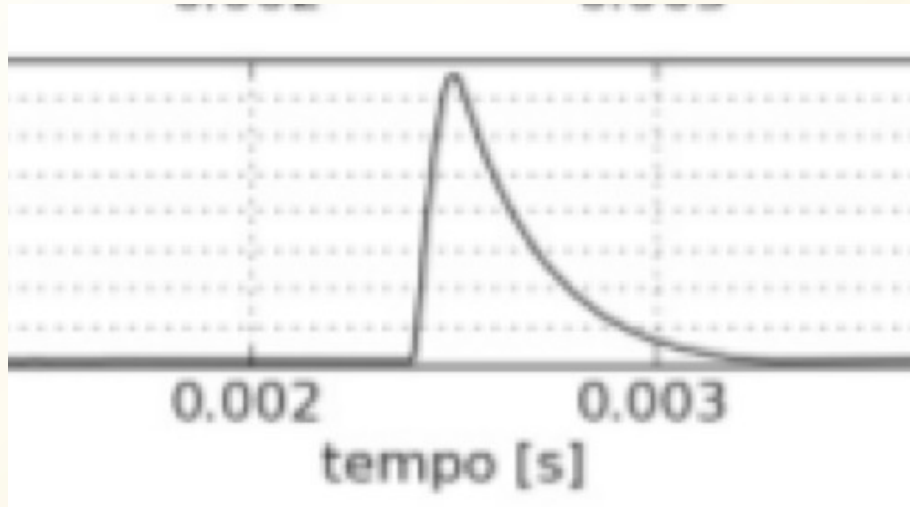
- Liv. Rif. Pop. Generale
- Valore Azione Inferiore Lav.
- Valore Azione Superiore Lav.
- .....

Come per l'acustica i segnali in entrata vengono filtrati in tempo reale per fornire il valore efficace



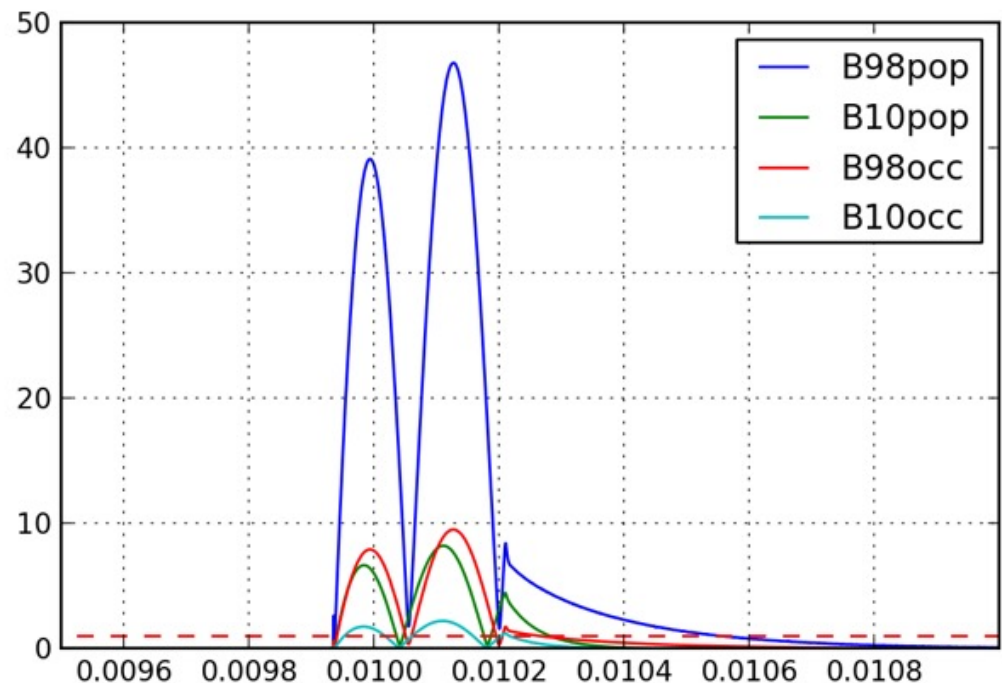
# Valutazione dei segnali complessi

## 2° caso: campi elettromagnetici



Qualsiasi segnale sia rilevato dallo strumento

Viene trasformato in tempo reale in un segnale efficace per il confronto con i limiti scelti



# Valutazione dei segnali complessi

## 2° caso: campi elettromagnetici

- Per la valutazione dei campi elettromagnetici abbiamo a disposizione delle curve di ponderazione che misurano l'efficacia di un segnale nel produrre l'effetto che si vuol evitare.
- Il picco ponderato è il metodo più "naturale" di misurare i campi elettromagnetici, trattandoli al pari delle onde sonore o delle radiazioni ottiche



# I due metodi principali di calcolare gli indici di esposizione per gli effetti di stimolazione da segnali complessi a bassa frequenza (fino a 100KHz)

**Metodo standard:** si sommano tutte le componenti spettrali in fase.

- Molto cautelativo,
- non dipende dal tempo
- si ottiene dallo spettro
- adatto per iniziare a valutare gli effetti indiretti

$$I_{STD} = \sum_f \frac{B_{rms}(f)}{B_L(f)}$$

**Metodo del picco ponderato:** si sommano tutte le componenti spettrali con le giuste fasi relative.

- Necessario e più realistico per segnali impulsivi
- dipende dal tempo
- bisogna aspettare per prendere il massimo

$$I_{WP} = \text{Max} \left| \sum_f \frac{B_{rms}(f)}{B_L(f)} \cos[2\pi ft + \theta(f) + \varphi(f)] \right|$$

## Per gli effetti termici (media ed alta frequenza)

**i segnali complessi si sommano in un unico modo**

Ciascuna componente spettrale è indipendente dalle altre e il suo contributo è pesato in termini di efficacia nel produrre calore per effetto joule (proporzionale al quadrato dell'intensità del campo)

$$I_{TERM} = \sum_f \left[ \frac{E_{rms}(f)}{E_L(f)} \right]^2$$

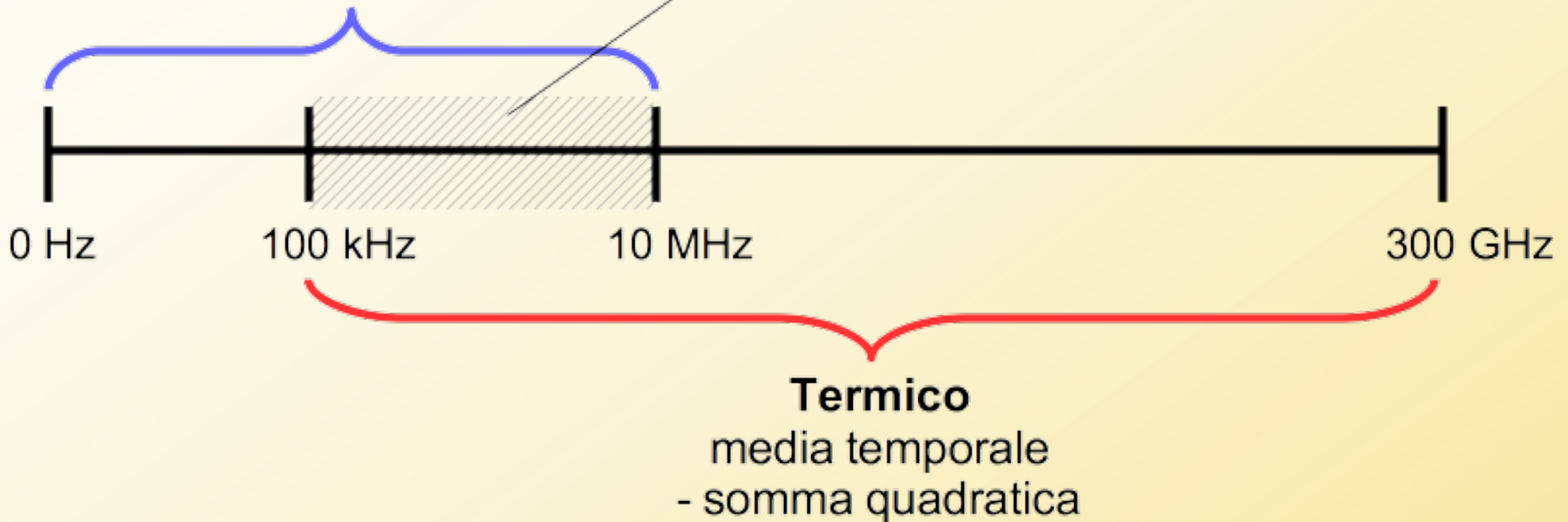
Anche in questo caso si può costruire un indice per confrontarsi con i limiti

# Effetti cem e metodiche di valutazione

## Stimolazione

valore massimo istantaneo  
- picco ponderato  
- metodo standard

Doppia valutazione:  
Stimolazione + Termico



## Termico

media temporale  
- somma quadratica

- frequenza < 100kHz: solo stimolazione
- 100kHz < frequenza < 10MHz: stimolazione e termici
- Frequenza > 10MHz: solo termici

# Strumenti per Basse Frequenze:



Larga Banda:

Wandel & Goltermann - EMR 300 – R-0019

Campo Magnetico [5 Hz ÷ 32 kHz]

Rms indice 98 lav e pop; rms B tot + portante; opzionale FFT



Campo Elettrico [5 Hz ÷ 32 kHz]

Rms E tot



Larga Banda: Narda - PMM

Campo Magnetico e Campo elettrico [sonde per basse e alte frequenze]

Bed E totali; opzionale picco ponderato 2010



Larga Banda: MASCHEK – ESM 100

Campo Magnetico e Campo elettrico [5Hz – 400 Hz]

Bed E totali;

# Strumenti per Basse Frequenze:

Larga Banda

Narda - ELT 400 – 2300/90.10 sonda 100 cm<sup>2</sup>

Campo Magnetico [1 Hz ÷ 400 kHz ]

Indice Standard e picco ponderato, pop98 lav2010; valori rms e picco; uscite analogiche

Larga Banda: Microrad – NHT 3DL

Campo Magnetico e Campo elettrico [1 ÷ 1 MHz] (anche sonde per alte frequenze), campo magnetico statico

Indice standard e picco ponderato; pop98, V.A. sup, V.A. inf, V.A. arti; rms B,E tot; FFT; segnale temporale

Analizzatore di spettro: Narda - EHP 50 G

Campo Magnetico e Campo Elettrico

[1Hz ÷ 400kHz]

Indice standard e picco ponderato; pop98, V.A. sup, V.A. inf, V.A. arti; B,E tot; FFT

Larga Banda: Wavecontrol - SMP2

Campo Magnetico e Campo elettrico [DC ÷ 400 kHz]

Indice standard; pop98, V.A. sup, V.A. inf, V.A. arti; rms B,E tot; FFT



# Strumenti per Alte Frequenze:



Strumento larga banda

Wandel & Goltermann EMR 300 - 2244/31

sonda campo elettrico E-Field 100kHz ÷ 3GHz

sonda campo magnetico H-Field 27MHz ÷ 1GHz

Ee B totali

Analizzatore di spettro

Narda - EHP 200

Campo Magnetico e Campo Elettrico

[9 KHz ÷ 30 Mhz]

E e B tot, FFT



## Altri strumenti...



Strumento per misura delle correnti di contatto  
MPB - CCM

Range Frequenza: 40Hz – 110MHz

Range livello: 0.05mA – 100mA

Misuratori vari di campo elettrostatico  
Vmax tipico: 20KV/m – 30KV/m

# Osservazioni varie

Secondo la normativa europea il metodo del picco ponderato è quello di elezione per la valutazione dei cem

Se si usa il metodo standard invece del metodo del picco ponderato si ha una sovrastima dell'esposizione

Se si usa il metodo "segnale totale a banda larga + portante" si può avere una grande sottostima dell'esposizione

Quando si hanno grandi correnti si può avere un grande campo magnetico (saldatura ad arco, defibrillatori, stimolatori transcranici)

Quando si hanno grandi tensioni si può avere un grande campo elettrico (elettrobisturi, cavi alta tensione)



# Elenco (non esaustivo!) di sorgenti e loro caratteristiche principali

Sorgente	rischio	intervallo Frequenze	tipo segnale	metodo di Confronto	criticità
elettrodotto	basso	50Hz	sinusoidale	campo tot + portante	di solito è importante solo campo magnetico
cabina di Trasformazione M/B	basso	< 1kHz	Sinusoide + Armoniche	- metodo standard - picco ponderato	di solito è importante solo campo magnetico
inverter	medio	< 1kHz	Sinusoide + Armoniche	- metodo standard - picco ponderato	di solito è importante solo campo magnetico
saldatura ad arco	alto	< 10kHz	Complesso Continuo	picco ponderato	- massima esposizione al momento dello spunto - importante c. magnetico - valutare geometria
sistemi antitaccheggio a bassa frequenza	medio	< 10kHz	pulsato o continuo	picco ponderato	- segnalare per i portatori di d.m.i.a. - normalmente c. magnetico
estetica: riscaldamento Radiofrequenza monopolare	alto	400kHz - 1500kHz	continuo	metodo standard	- valutare campo elettrico - valutare geometria
estetica: riscaldamento Radiofrequenza multipolare	medio	400kHz - 1500kHz	continuo	metodo standard	- valutare campo elettrico - valutare geometria
transcranica	alto	< 400kHz	pulsato	picco ponderato	valutare campo magnetico
magnetoterapia	basso	< 1kHz	continuo Periodico	- metodo standard - picco ponderato	valutare campo magnetico
elettrobisturi monopolari	alto	100kHz – 1500KHz	continuo Periodico	metodo standard	- valutare campo elettrico - valutare geometria
defibrillatori	medio	< 1 kHz	pulsato	picco ponderato	- valutare campo elettrico - valutare geometria
ablatori monopolari	medio	< 1MHz	continuo	metodo standard	- valutare campo elettrico - valutare geometria

# Sistemi antitaccheggio

## Le sorgenti

- Varchi magnetici all'entrata e all'uscita dei locali
- Sistemi di magnetizzazione e smagnetizzazione
- Emissioni continue o pulsate
- Frequenze possibili: 20 Hz - 2,45GHz





# Sistemi antitaccheggio



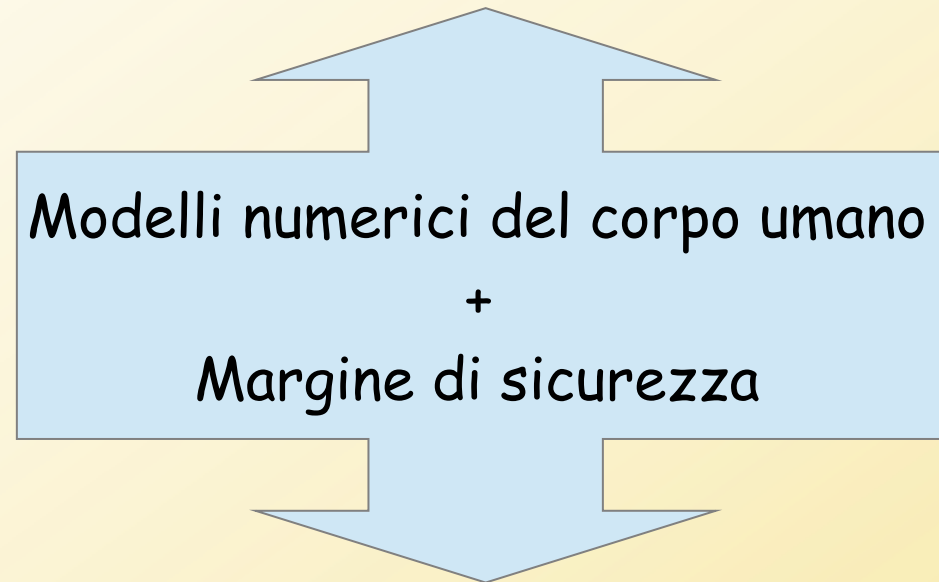
Dentro il varco si sono trovati dei livelli di campo magnetico fino a 6 volte il livello di riferimento per la popolazione

Il superamento del livello di riferimento per la popolazione (campo magnetico misurato) non implica necessariamente il superamento dei limiti di base (campo elettrico indotto all'interno del corpo, calcolato)

# Livelli di riferimento, valori di azione e limiti di base

Limiti di base per la popolazione:

Campi elettrici o SAR indotti all'interno del corpo  
(calcolabili e non misurabili)

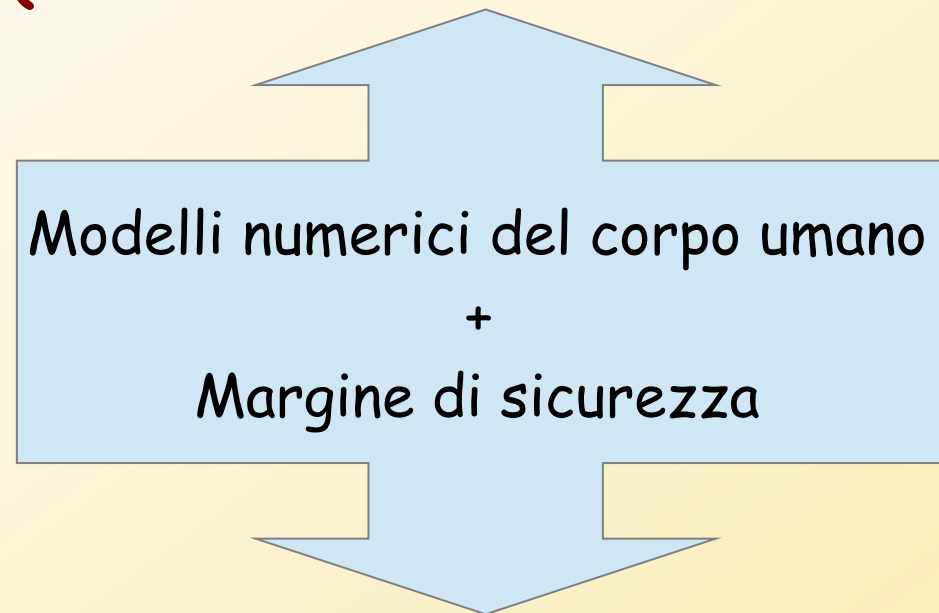


Valori di riferimento per la popolazione  
(misurabili nello spazio con strumentazione da campo)

# Livelli di riferimento, valori di azione e limiti di base

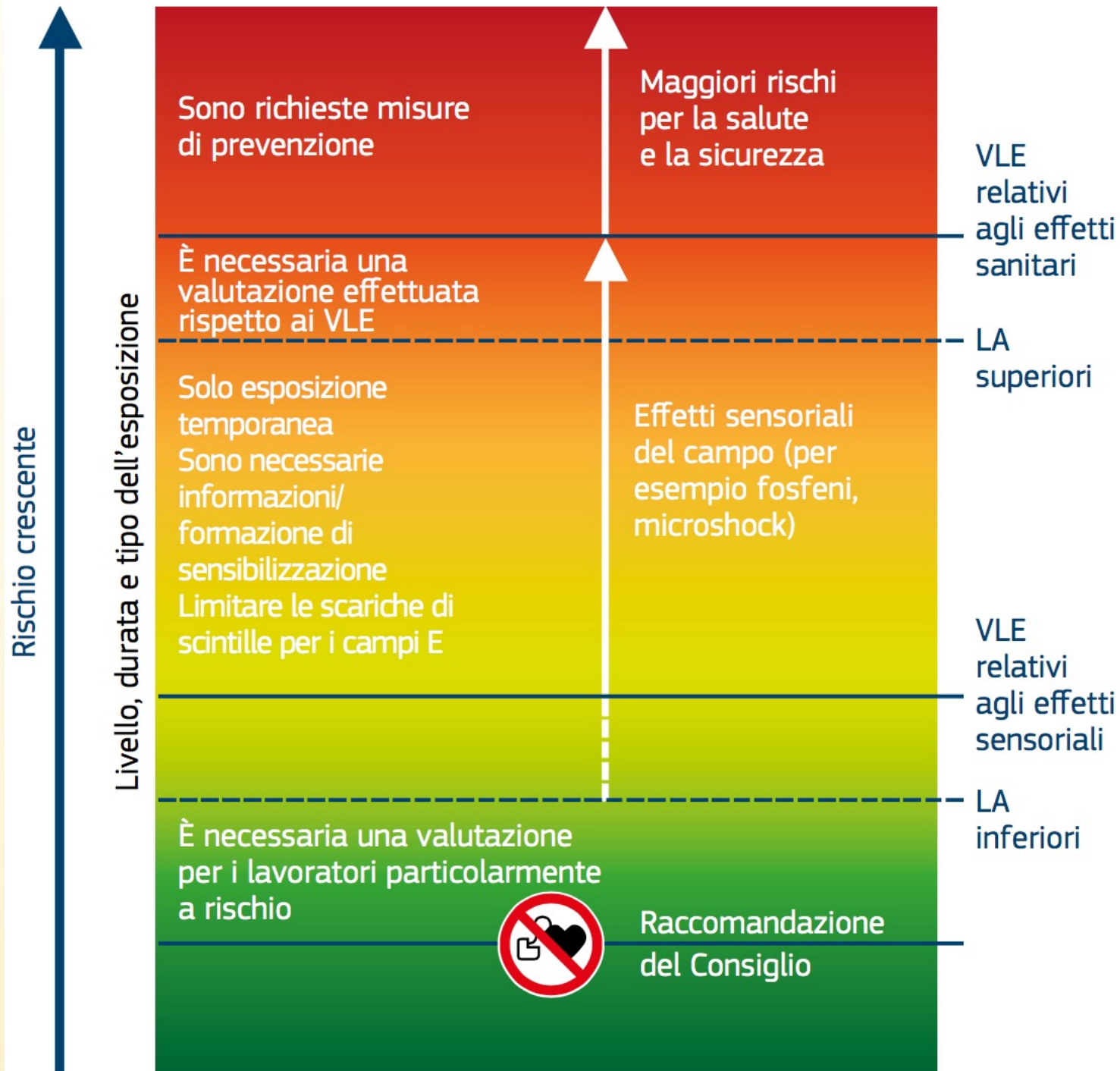
Limiti di base per i lavoratori:

Campi elettrici o SAR indotti all'interno del corpo  
(calcolabili e non misurabili)



Valori di azione per i lavoratori  
(misurabili nello spazio con strumentazione da campo)

# Relazione fra LA e VLE





# Sistemi antitaccheggio: gli smagnetizzatori



A contatto con gli smagnetizzatori il campo magnetico è superiore al livello di riferimento per la popolazione

La zona di superamento del livello di riferimento per la popolazione è limitata a pochi centimetri intorno all'apparecchio



# Sistemi antitaccheggio

## In conclusione

- La direttiva per i pacemaker e ICD assicura l'immunità dei dispositivi per valori inferiori ai livelli di riferimento della popolazione
- Soggetti portatori di pacemaker e ICD: per evitare interferenze con conseguenze sanitarie si deve evitare la sosta nel varco (transito minore di 3 battiti) o prevedere percorsi alternativi
- Popolazione generale: si deve garantire il rispetto dei limiti di base (valori interni)
- Queste informazioni devono essere dichiarate chiaramente dal produttore

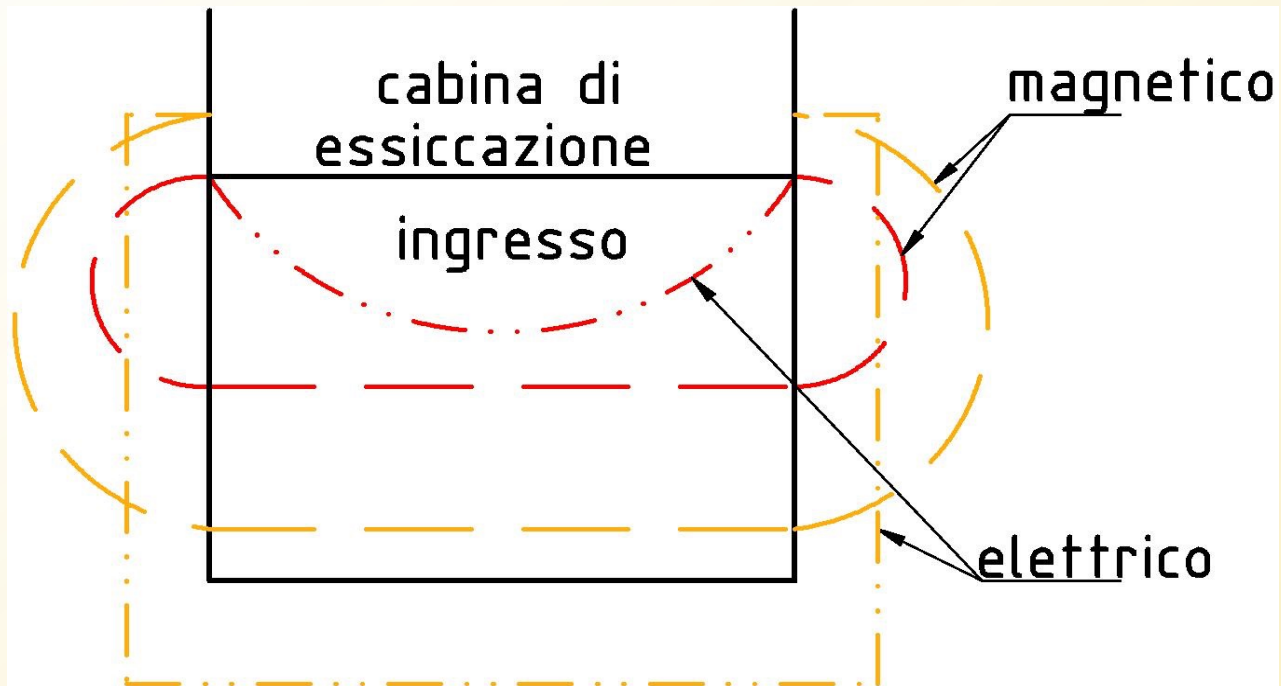
# Essiccatrici a radiofrequenza per tessuti

Le matasse di tessuto vengono appoggiate sul nastro in entrata e ritirate dal nastro in uscita a mano dagli operatori



Potenza  
nominale:  
120 KW  
Frequenza  
emissioni:  
27.12MHz

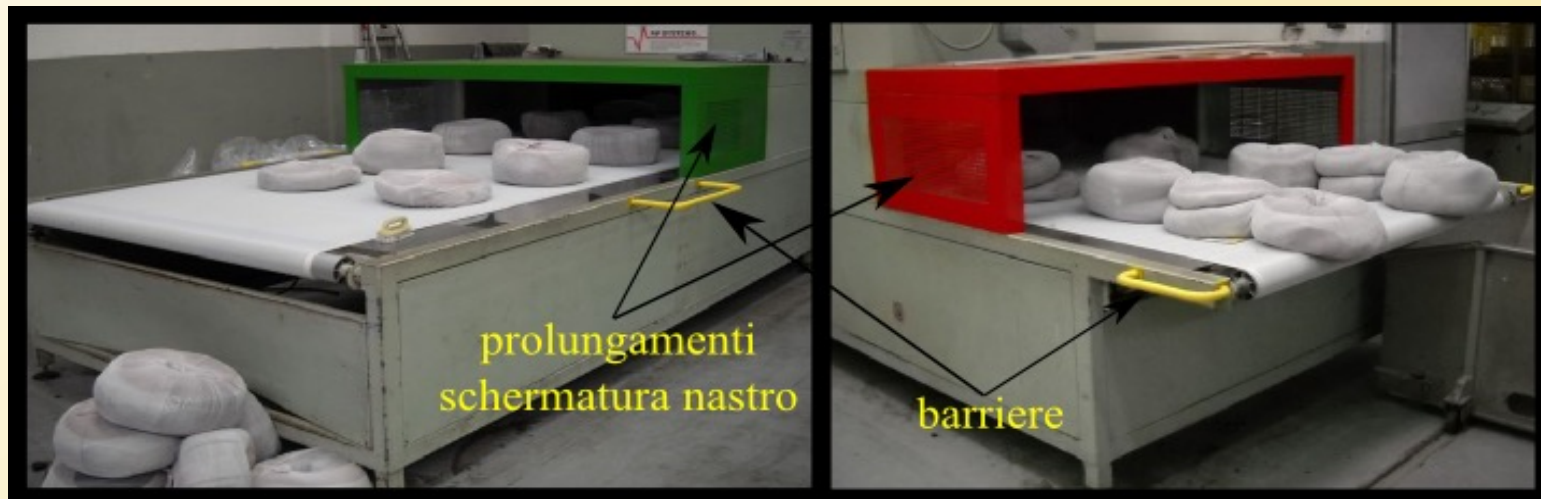
# Essiccatrici a radiofrequenza per tessili zonizzazione prima della bonifica



Le misure evidenziano superamenti dei livelli sia di campo elettrico che di campo magnetico sia dei livelli di riferimento per popolazione che dei valori di azione dei lavoratori



# Essiccatrici a radiofrequenza per tessili bonifica effettuata



# I cem emessi dalle saldature ad arco

Per le saldature esiste una norma di prodotto che indica come effettuare le misure per la valutazione dei cem per gli operatori  
**CEI EN 50444**

I modelli conformi a questa norma devono rispettare le restrizioni di base per i lavoratori a 20cm dal cavo

Se il macchinario è dichiarato conforme, l'esposizione per i lavoratori è già calcolata

Per i portatori di pacemaker va fatto un discorso a parte. Si deve avere il rispetto dei valori di riferimento per la popolazione



# I cem emessi dalle saldature ad arco

## Valutazione per due categorie di lavoratori differenti

**Addetto/i  
al macchinario  
(Saldatore/aiutante)**



**Confronto con:**

- Limiti per popolazione
- V.A. inferiori
- V.A. superiori
- V.A. arti

**Punti di misura dentro la  
postazione**

**Tutti gli altri lavoratori**



**Confronto con:**

- Limiti per popolazione
- Limiti per i lavoratori??

**Punti di misura fuori della  
postazione**

# Esempi di saldatura ad arco industriale

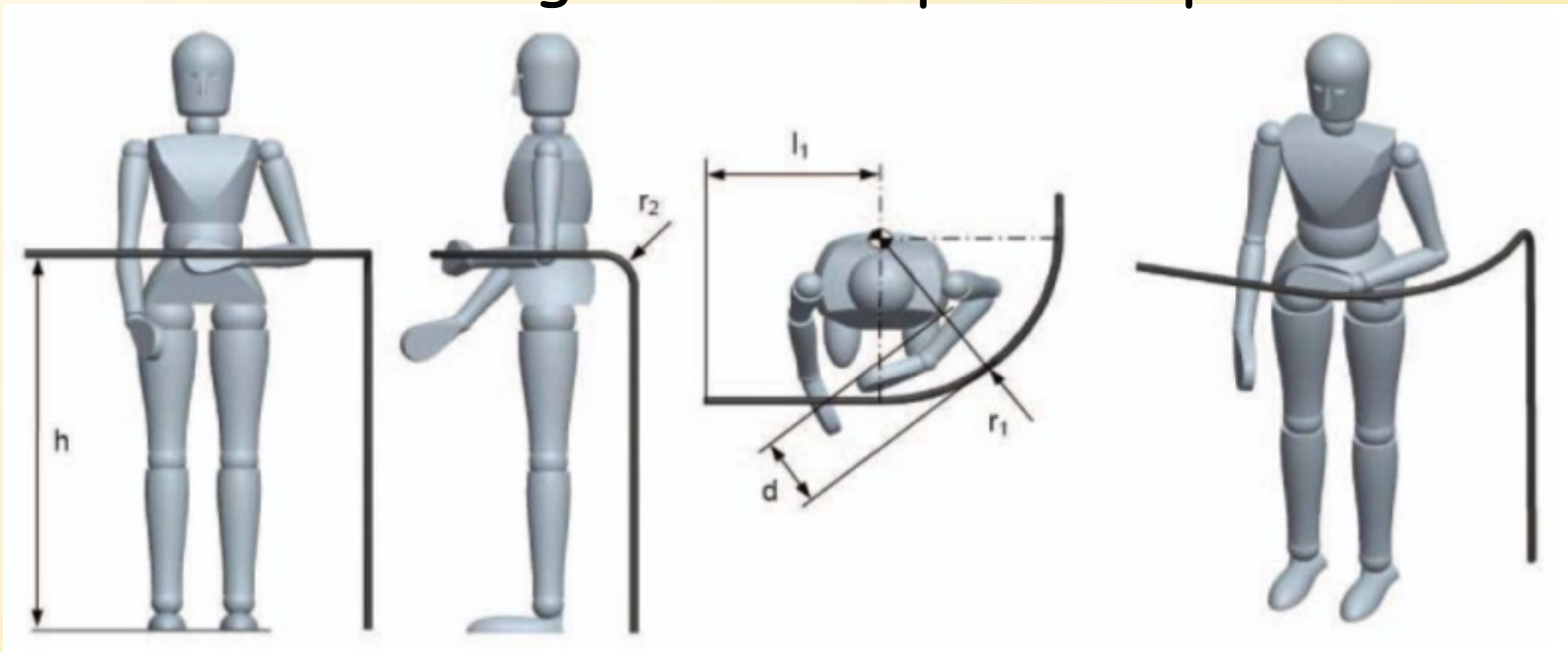
<b>Sigla</b>	<b>Modello</b>	<b>Lavorazione</b>
<b>S1</b>	<b>Kempo Weld 5500W</b>	<b>Ferro</b>
<b>S2</b>	<b>Kempo Wel 4200</b>	<b>Ferro</b>
<b>S3</b>	<b>Kempo Weld 5500W</b>	<b>Ferro</b>
<b>S4</b>	<b>Sinvert 302</b>	<b>Acciaio</b>
<b>S5</b>	<b>Kempo Weld 4000</b>	<b>Alluminio</b>

# Misure: metodiche e strumentazione

La norma definisce diversi metodi per valutare il rispetto dei limiti:

- A partire dalla misura della corrente
- Utilizzando modelli dosimetrici
- Misurando il campo a banda larga e le componenti spettrali
- ...

Inoltre definisce una geometria espositiva per la valutazione

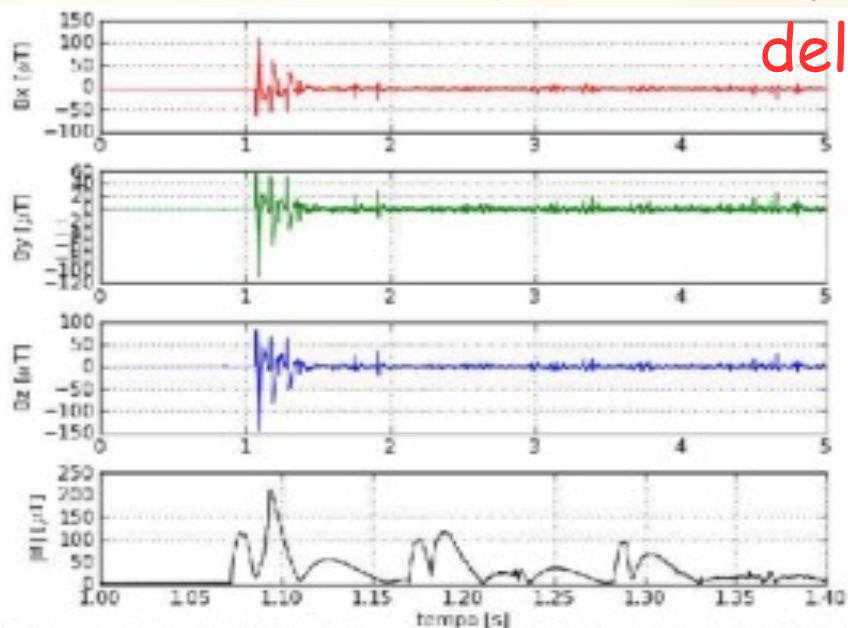




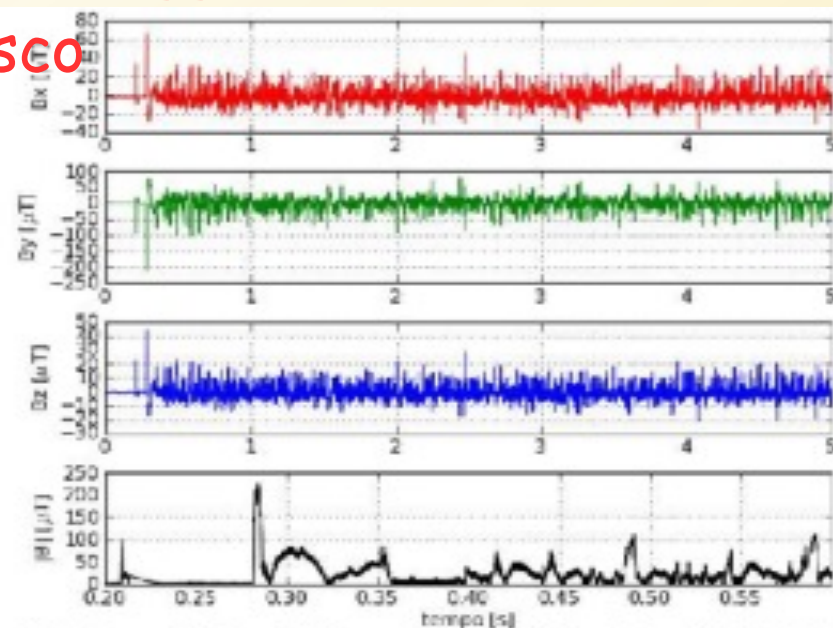
# Analisi dei risultati (secondo la vecchia normativa)

Dai risultati emerge che l'esposizione maggiore si ha nel momento

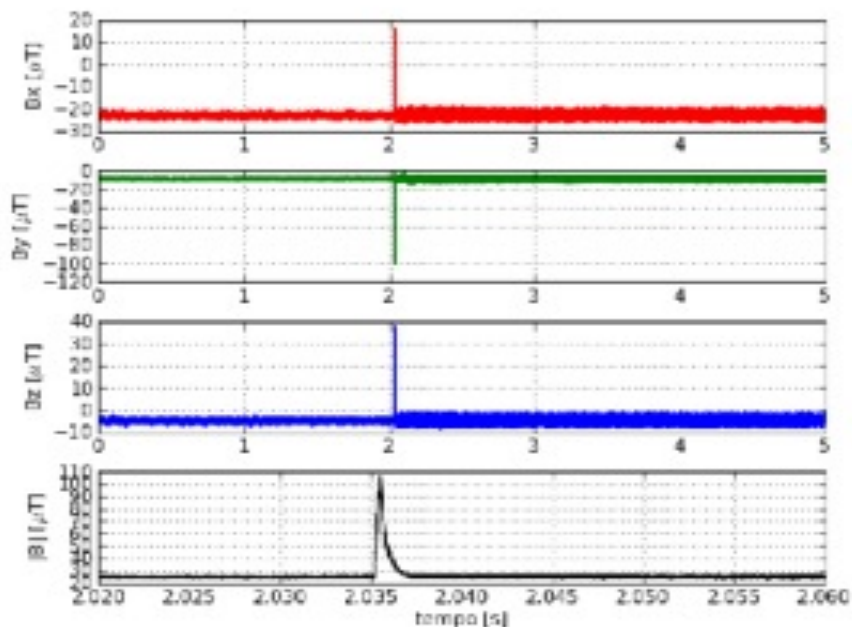
dell'innesco



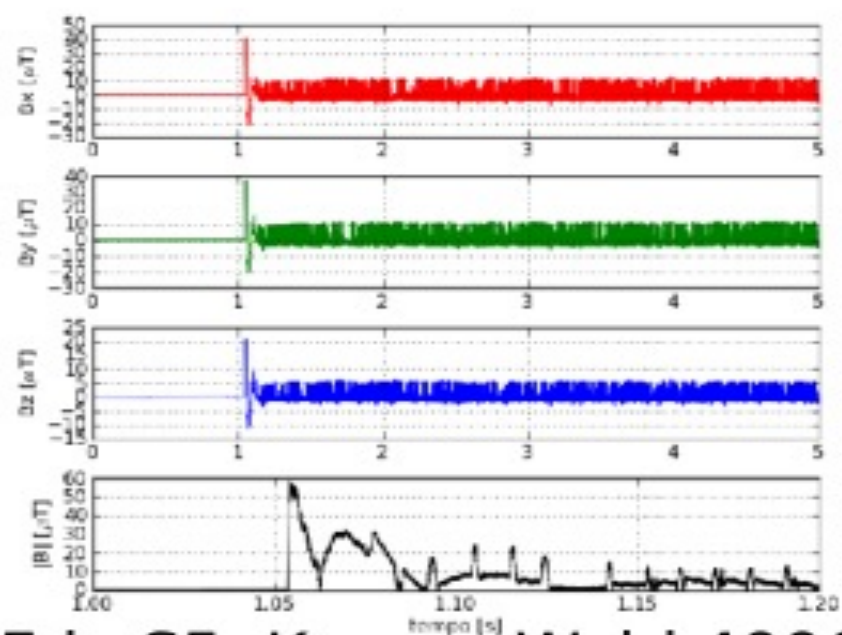
Fdo S1-S3, Kempo Weld 5500W



Fdo S2, Kempo Weld 4200



Fdo S4, Sinvert 302



Fdo S5, Kempo Weld 4000



# Esempio di valutazione secondo la nuova normativa: non addetto saldatura

Numero	Distanza (m)	Descrizione	Grandezza	Valore perc
1	1	Rif. Operatore – Potenza media	Pop 98	53%
2	0,7	Rif. Operatore – Potenza media	Pop 98	140%
3	0,7	Rif. Operatore – Potenza media	V.A. inf.	5%
4	0,7	Rif. Operatore – Potenza max	V.A. inf.	11%
5	1	Rif. Operatore – Potenza media	Pop 98	87%

Le misure intorno all'operatore si fermano a distanze di circa 1 metro, più vicino c'è solo l'operatore

# Esempio di valutazione secondo la nuova normativa: addetto saldatura

Numero	Distanza (m)	Descrizione	Grandezza	Valore perc
1	1	Rif. Operatore – Potenza max	Pop 98	36%
2	1	Rif. Operatore – Potenza max	V.A. inf.	9%
3	0,5	Testa oper. – Potenza max	Pop 98	31%
4	0,2	Braccio oper. – Potenza max	V.A. arti	1.5%
5	0,3	Addome Oper. – Potenza max	Pop 98	160%

1) Distanze di Rispetto limiti per la **popolazione generale** (tutti i non addetti alla postazione di saldatura)

2) Rispetto limiti per i lavoratori

# Esempio di manuale scritto in conformità alla norma 50445



## **ELECTRIC AND MAGNETIC FIELDS may be dangerous**

- 2.a. Electric current flowing through any conductor causes localized Electric and Magnetic Fields (EMF). Welding current creates EMF fields around welding cables and welding machines
- 2.b. EMF fields may interfere with some pacemakers, and welders having a pacemaker should consult their physician before welding.
- 2.c. Exposure to EMF fields in welding may have other health effects which are now not known.

# Esempio di manuale scritto in conformità alla norma 50445

2.d. All welders should use the following procedures in order to minimize exposure to EMF fields from the welding circuit:

2.d.1. Route the electrode and work cables together - Secure them with tape when possible.

2.d.2. Never coil the electrode lead around your body.

2.d.3. Do not place your body between the electrode and work cables. If the electrode cable is on your right side, the work cable should also be on your right side.

2.d.4. Connect the work cable to the workpiece as close as possible to the area being welded.

2.d.5. Do not work next to welding power source.



# Attenzione a leggere bene il marchio CE

Informazioni sul rischio elettrico

Informazioni sulle emissioni dal macchinario verso gli altri apparati

<b>ESD</b>	EN61000-4-2:1998 Severity Level 4 ( <u>Open air discharges up to 8 kV</u> or direct contact discharges up to 6 kV)
<b>EMC (Emission)</b>	<u>EN60601-1-2 limits (1993), method EN55011:1998 Group 1 Level B</u> (Not to exceed 30 dB $\mu$ V from 30 Hz to 230 MHz and not to exceed 37 dB $\mu$ V from 230 to 1000 MHz)
<b>EMC (Immunity)</b>	EN60601-1-2 limits (1993), method EN61000-4-3:1998 Level 3 (Field strength: 10V/m; carrier frequency range: 26 MHz to 1 GHz; AM modulation, 80 percent index, at 3 frequencies: 1, 5, and 20 Hz)

Informazioni sul comportamento del macchinario in presenza di campi esterni

# Conclusioni sulle saldature ad arco

- Utilizzo di protocolli di valutazione e dati da PAF
- Valutazione dell'esposizione a CEM tramite Protocollo semplificato (norma CEI EN 50444)
- Purtroppo di solito nel fascicolo tecnico mancano i dati di emissione
- Delimitazione aree di superamento dei limiti
- Scelta dei macchinari nuovi che hanno emissioni inferiori ai limiti per gli operatori