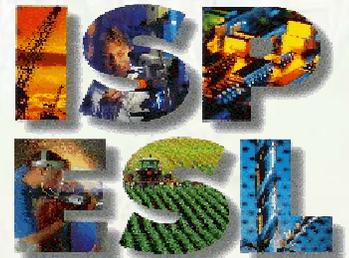


Sorgenti di campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici nelle attività lavorative

Rosaria Falsaperla

*Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro
(ISPESL) Monte Porzio Catone - Roma*

rosaria.falsaperla@ispesl.it

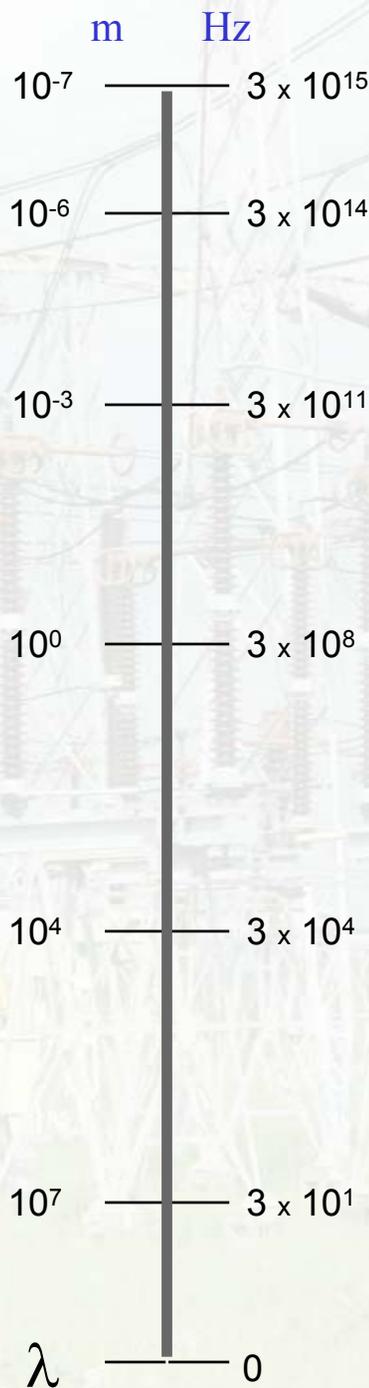




Lunghezza
d'onda



Frequenza



RADIAZIONI IONIZZANTI

Diagnostica a raggi X

Radioisotopi

RADIAZIONI NON IONIZZANTI	FREQUENZE OTTICHE	UV	Sterilizzazione
		Vis	Laser
		Radiazione infrarossa	Lampade
			Sorgenti termiche
			Telecomandi
FREQUENZE NON OTTICHE	Radiofrequenze	Microonde	Impianti radar
			Radarterapia
			Telefonia cellulare
			Forni a microonde
			Ponti radio
			Emissioni radiotelevisive
			Marconiterapia
			Radioamatori
			Saldatura e incollaggio
			Riscaldamento a induzione
	Basse frequenze		Metal detector
			Videoterminali
			Magnetoterapia
			Elettrodomestici
			Linee elettriche
			Linee telefoniche
CAMPI STATICI			RMN
			Elettrolisi

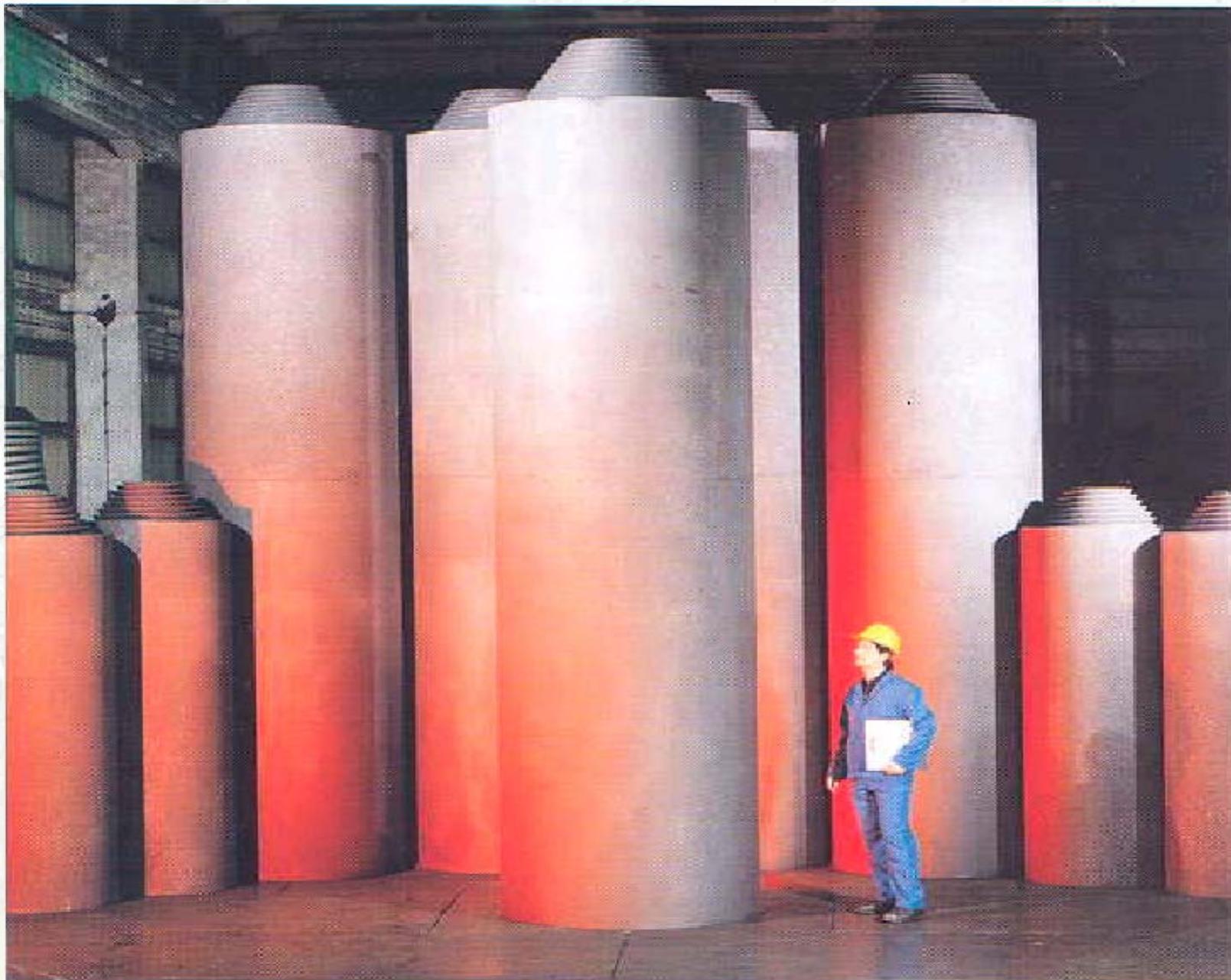
Le esposizioni all'interno dei luoghi di lavoro dipendono anche da:

- eventuali misure di protezione o contenimento
- corretta installazione e stato di manutenzione degli apparati
- procedure di utilizzo
- caratteristiche degli ambienti
- disposizione delle postazioni di lavoro
- particolari abitudini di ogni singolo lavoratore interessato

In alcuni casi, semplici interventi di tipo amministrativo possono ridurre notevolmente i livelli di esposizione

Campi elettrici e magnetici statici

- sono presenti campi elettrici e magnetici statici ovunque vi siano apparecchiature alimentate da tensione continua o linee percorse da elevate correnti continue
- possono risultare esposti a livelli molto superiori al fondo naturale i lavoratori addetti a processi di elettrolisi (ad esempio nella preparazione dell'alluminio), e coloro che operano nel comparto ferroviario su trasporti alimentati in corrente continua
- nell'industria per la produzione di grandi elettrodi per archi voltaici, elevate correnti elettriche continue (~ 150 kA) vengono applicate durante il processo di "grafitazione" degli elettrodi medesimi, con esposizioni a induzioni magnetiche anche superiori a 10 mTesla



- 
- reattori nucleari
 - acceleratori di particelle
 - camere a bolle

 - i livelli tipici di esposizione al campo magnetico statico in applicazioni industriali o di ricerca, non sono correlati a effetti diretti nei confronti dell'organismo, ma possono comportare interferenze con gli stimolatori cardiaci, e problemi per i portatori di protesi metalliche

"Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields" (1994)

l'ICNIRP raccomanda di segnalare le zone con livelli di induzione magnetica superiori a **0.5 mT** (possibili interferenze con stimolatori cardiaci impiantati)



portatori di protesi ferromagnetiche impiantate o di sistemi elettronici vitali (diversi dai pacemaker) possono avere problemi con livelli di induzione magnetica **superiori a pochi mT**

Campi elettrici e magnetici ELF negli ambienti industriali

la frequenza di 50 Hz (60 Hz nel Nord America) è universalmente impiegata per il trasporto e l'impiego dell'energia elettrica

ogni linea elettrica aerea o interrata, cablaggio, barra di trasmissione, cavo, costituisce una sorgente di dispersione nell'ambiente circostante



Campi elettrici e magnetici ELF negli ambienti industriali

- al di sotto di una linea a 380 kV il campo elettrico può raggiungere e superare i **5 kV/m** e l'induzione magnetica qualche **decina di μ Tesla**
- l'esposizione degli addetti alle centrali elettriche, è stata stimata attorno a **40 μ Tesla** come valore medio, con picchi sensibilmente più elevati, specie per gli addetti alla manutenzione delle linee

Per prevenire interferenze con stimolatori cardiaci impiantati l'American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) raccomanda i livelli di esposizione (50/60 Hz):

$$E = 1 \text{ kV/m}$$

$$B = 100 \text{ } \mu\text{T}$$



- la necessità di distribuire l'energia all'interno degli impianti può comportare prossimità tra le postazioni di lavoro ed i cablaggi, con presenza di elevati livelli di campo magnetico:

nel processo di "grafitazione" sono stati riscontrati dei livelli di induzione magnetica a 50 Hz tra 1 e 10 mTesla, in postazioni di lavoro lontane dal processo ma interessate dai cablaggi di alimentazione

- ogni apparecchiatura alimentata con correnti elevate costituisce una potenziale sorgente
- nei vari tipi di forni elettrici e nelle fonderie (fusione e trattamento dell'acciaio e altri metalli) i lavoratori possono risultare esposti con continuità a campi magnetici tra 100 μ Tesla e 10 mTesla, con picchi superiori ai 100 mTesla nel caso dei saldatori

- esposizioni significative sono riscontrabili nei processi di smerigliatura a mano (fino 300 μ Tesla), e nella produzione di magneti permanenti (500 μ Tesla)
- esposizione a campi magnetici per i macchinisti delle Ferrovie valutabile in media attorno a 1 μ Tesla, in un intervallo spettrale tra 5 e 500 Hz
- valori molto più elevati previsti in seguito alla trasformazione delle linee in continua in linee a corrente alternata a 25 kV, nell'ambito dei progetti per l'alta velocità





Ambienti per lavoro d'ufficio e videoterminali

- molte apparecchiature presenti negli uffici sono sorgenti di campi ELF, come ogni apparato utilizzatore della corrente elettrica: macchine fotocopiatrici; stampanti laser; PC e periferiche; lettori a banda magnetica, etc.
- i campi associati a questo tipo di attrezzature, per intensità e configurazione spaziale non risultano significativi ai fini protezionistici
- i circuiti di scansione verticale dei VDT emettono campi elettrici e magnetici molto bassi nella banda delle ELF (60 Hz). I circuiti di scansione orizzontale emettono campi nella banda LF (componente fondamentale in genere compresa tra 15 kHz e 70 kHz)

- tipici valori del campo magnetico sono dell'ordine dei μTesla quasi a contatto con lo schermo o con le sue parti laterali (ove si trovano le bobine di deflessione), e di $0.1 - 0.2 \mu\text{Tesla}$ nella posizione dell'operatore. I livelli di campo elettrico nella postazione dell'operatore variano da meno di 1 a circa 10 V/m
- i campi prodotti dai VDT decadono molto rapidamente con la distanza (tipo $1/d^3$)
- i livelli di fondo in molti luoghi di lavoro risultano superiori a quelli riscontrabili negli ambienti domestici, anche a causa del maggiore impegno dei cablaggi elettrici

Riscaldatori industriali a radiofrequenza e microonde

sorgenti di esposizione a campi elettromagnetici negli ambienti di lavoro di primaria importanza, si basano sulla trasformazione in calore dell'energia elettromagnetica assorbita dal materiale oggetto di trattamento

le applicazioni sono numerose e si stima che in Italia il numero di apparati esistenti sia dell'ordine delle decine di migliaia tradizionalmente suddivisi in tre categorie secondo il principio e le modalità di funzionamento:

- a perdite dielettriche
- a induzione magnetica
- a microonde

i riscaldatori a microonde vengono impiegati per la disinfestazione, precottura ed essiccamento di prodotti alimentari, e rappresentano l'equivalente dei comuni forni di uso domestico ma con potenze molto più elevate

essi non costituiscono sorgenti significative di esposizione, a meno di grave usura o deterioramento delle guarnizioni sulle aperture





Riscaldatori a perdite dielettriche

sono in grado di **produrre calore** direttamente all'interno del materiale trattato, e vengono impiegati nell'industria del legno (incollaggio e piegatura), per la saldatura e stampaggio di manufatti in plastica (PVC) e nell'industria tessile (essiccamento delle fibre)

due strati di materiale da trattare vengono pressati tra due **elettrodi a piastre** di dimensioni variabili alimentati con radiofrequenza tramite **barre conduttrici**

le potenze variano da alcune centinaia di **W** **fino a diverse decine di kW**, e le frequenze d'uso vanno da qualche **MHz** sino a **50 MHz**, anche in ragione delle dimensioni degli applicatori e del materiale da trattare (le macchine per la plastica lavorano alla frequenza ISM di 27.12 MHz, quelle per il legno a frequenze più basse)

la sola misura del campo elettrico risulta conservativa dato il principio di funzionamento dell'applicatore, che è un condensatore a facce piane e parallele in grado di generare intensi campi elettrici al suo interno (**decine di kV/m**)

i livelli di esposizione risultano potenzialmente tra i più significativi (tipicamente tra **0.1 e 20 A/m** per il campo magnetico e tra **10 e 300 V/m** per il campo elettrico) e dipendono:

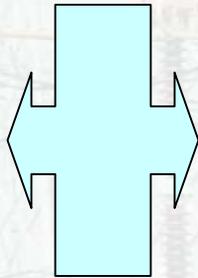
- *dalla potenza*
- *dal tipo e configurazione degli applicatori*
- *dalle procedure di impiego*
- *dalla posizione del lavoratore*
- *dalla presenza di riflessioni o meno su superfici metalliche*

Apparati per l'incollaggio di manufatti in plastica:



campo elettrico fino a 1 kV/m
nella postazione dell'operatore

Correnti di
scarica verso
terra dell'ordine
di 600 mA



SAR locale (caviglie) fino a
100 W/kg
SAR medio tra 0.12 e 2 W/kg

Per confronto:

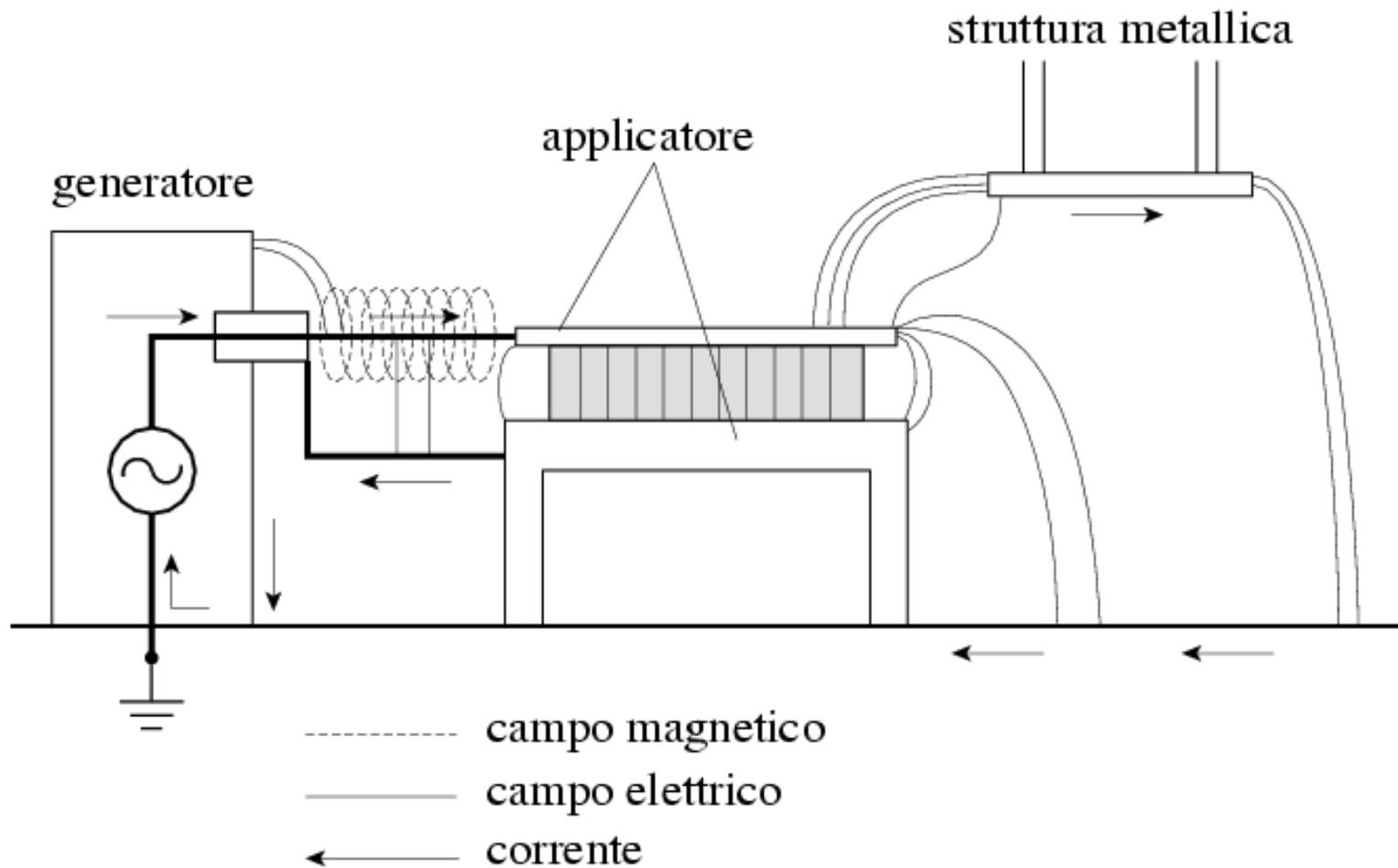
➤ valore di azione 2004/40/CE → 61 V/m (10-110MHz)

➤ limite di esposizione 2004/40/CE

$SAR_{\text{medio}} = 0.4 \text{ W/kg}$

$SAR_{\text{locale}} = 20 \text{ W/kg}$

indagini condotte nel settore dell'incollaggio e curvatura del legno nella regione Friuli, hanno evidenziato come, a partire da una diffusa condizione di cattivo utilizzo e installazione delle macchine con elevate esposizioni da parte degli addetti, l'attuazione di semplici interventi di bonifica e contenimento e l'adozione di più corrette procedure di impiego, producano una significativa riduzione dell'esposizione, entro i livelli di riferimento per gli effetti acuti







Saldatrici a induzione

vengono sfruttati intensi campi magnetici per produrre calore all'interno di metalli e semiconduttori. Il campo di applicazione è nel trattamento dei materiali metallici (saldatura, indurimento, tempera, fusione, etc.), e nell'industria elettronica

il materiale da trattare (ad esempio i due tratti di tubo da saldare) viene posto all'interno di un applicatore a forma di solenoide o a spira che, alimentato con la radiofrequenza, cede energia al materiale attraverso l'induzione nello stesso di elevate correnti

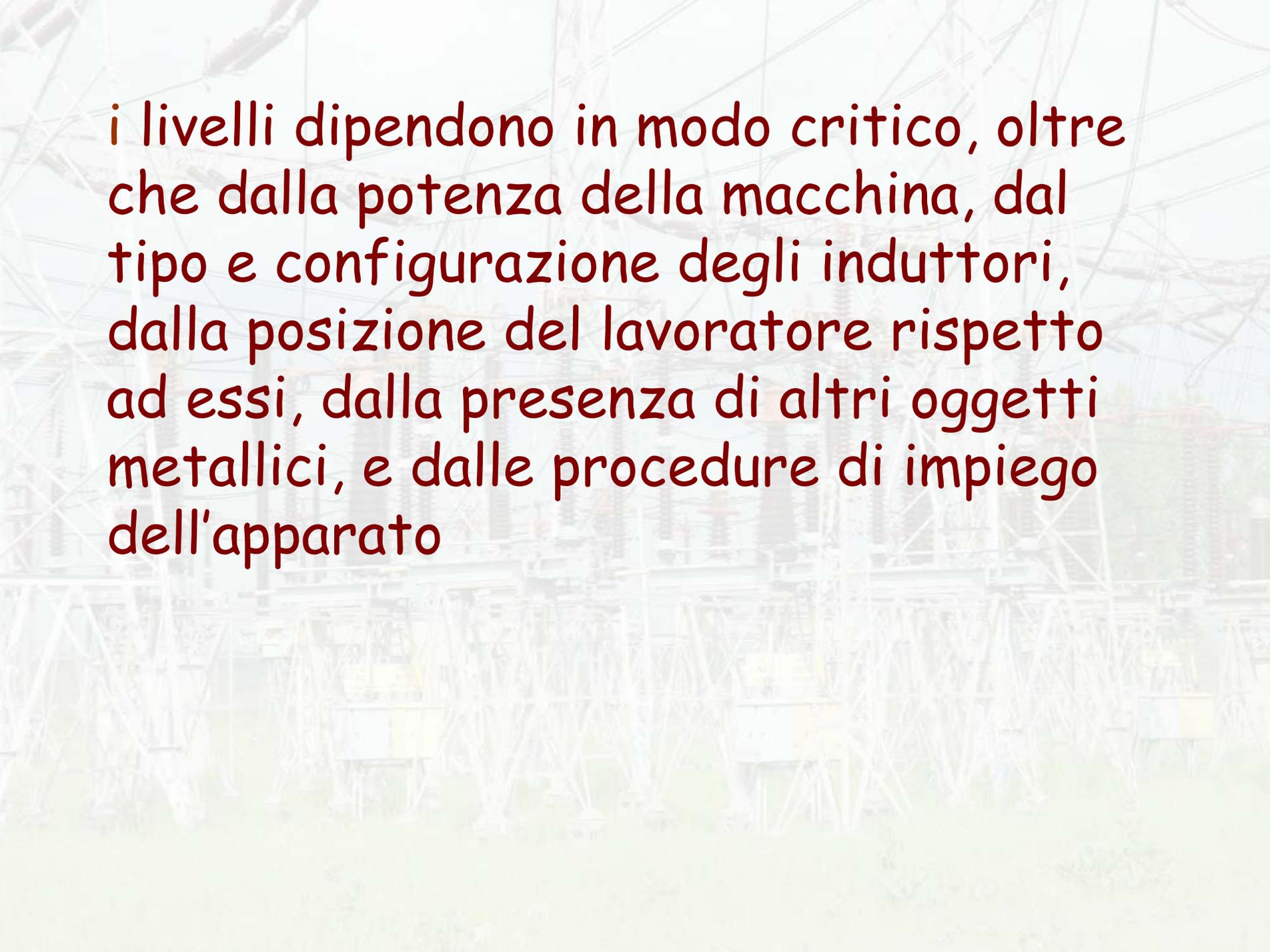
le potenze possono variare tra le centinaia di kW e le migliaia di kW (per grossi impianti di saldatura tubi), e la frequenza d'uso varia dal centinaio di kHz sino a qualche MHz (tra 200 e 500 kHz per la saldatura dei tubi metallici)

il maggior interesse è concentrato sulla componente magnetica dei campi

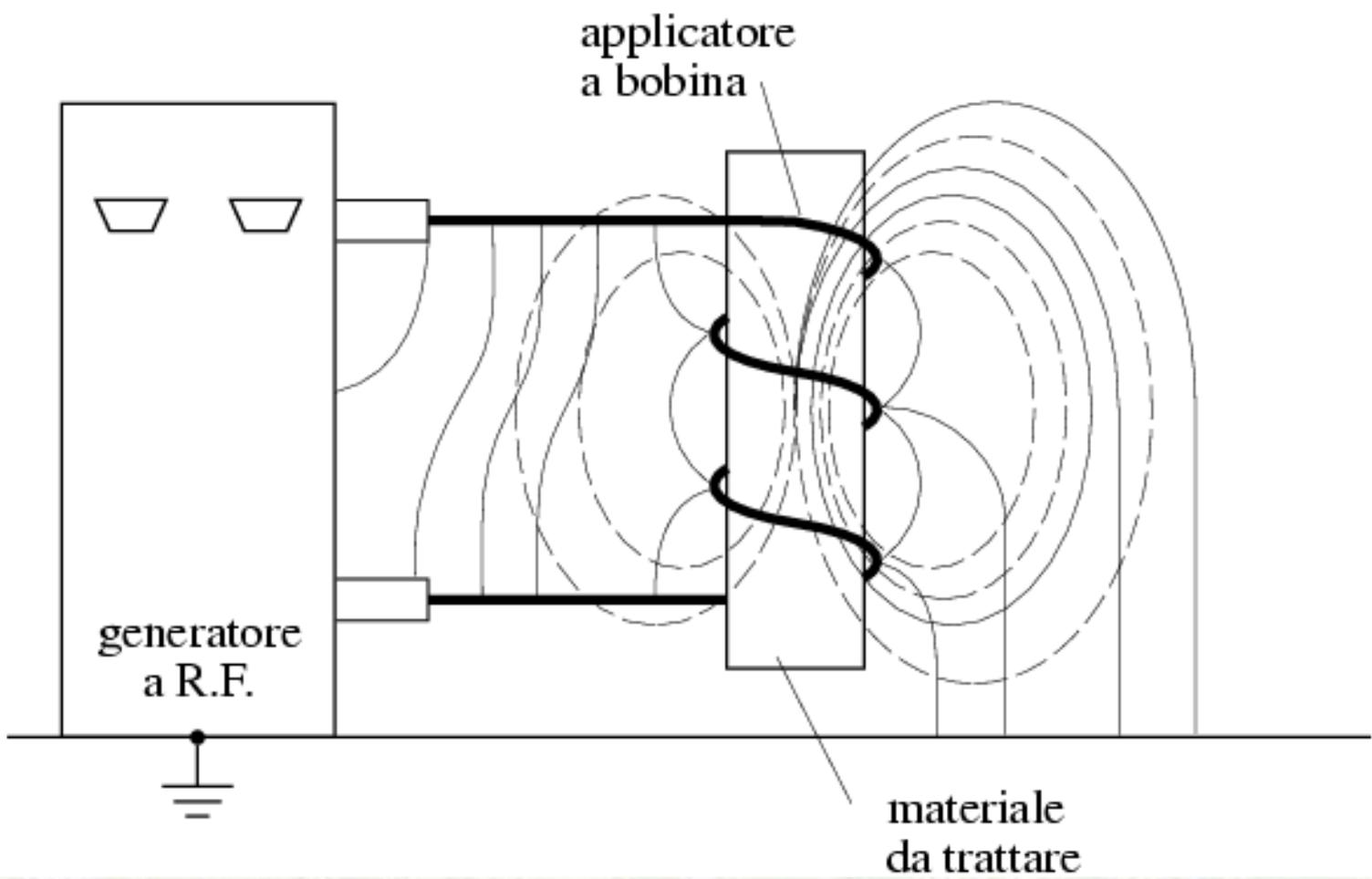
i livelli di esposizione risultano elevati in assenza delle opportune misure di protezione e contenimento

ad esempio per un apparato funzionante alla frequenza di 10 kHz, alla distanza di 1 m si possono rilevare livelli di induzione magnetica variabili tra **30 μT e 500 μT** e a 10 cm di distanza **picchi fino a 5 mT**

valore di azione 2004/40/CE  **30,7 μT**



i livelli dipendono in modo critico, oltre che dalla potenza della macchina, dal tipo e configurazione degli induttori, dalla posizione del lavoratore rispetto ad essi, dalla presenza di altri oggetti metallici, e dalle procedure di impiego dell'apparato

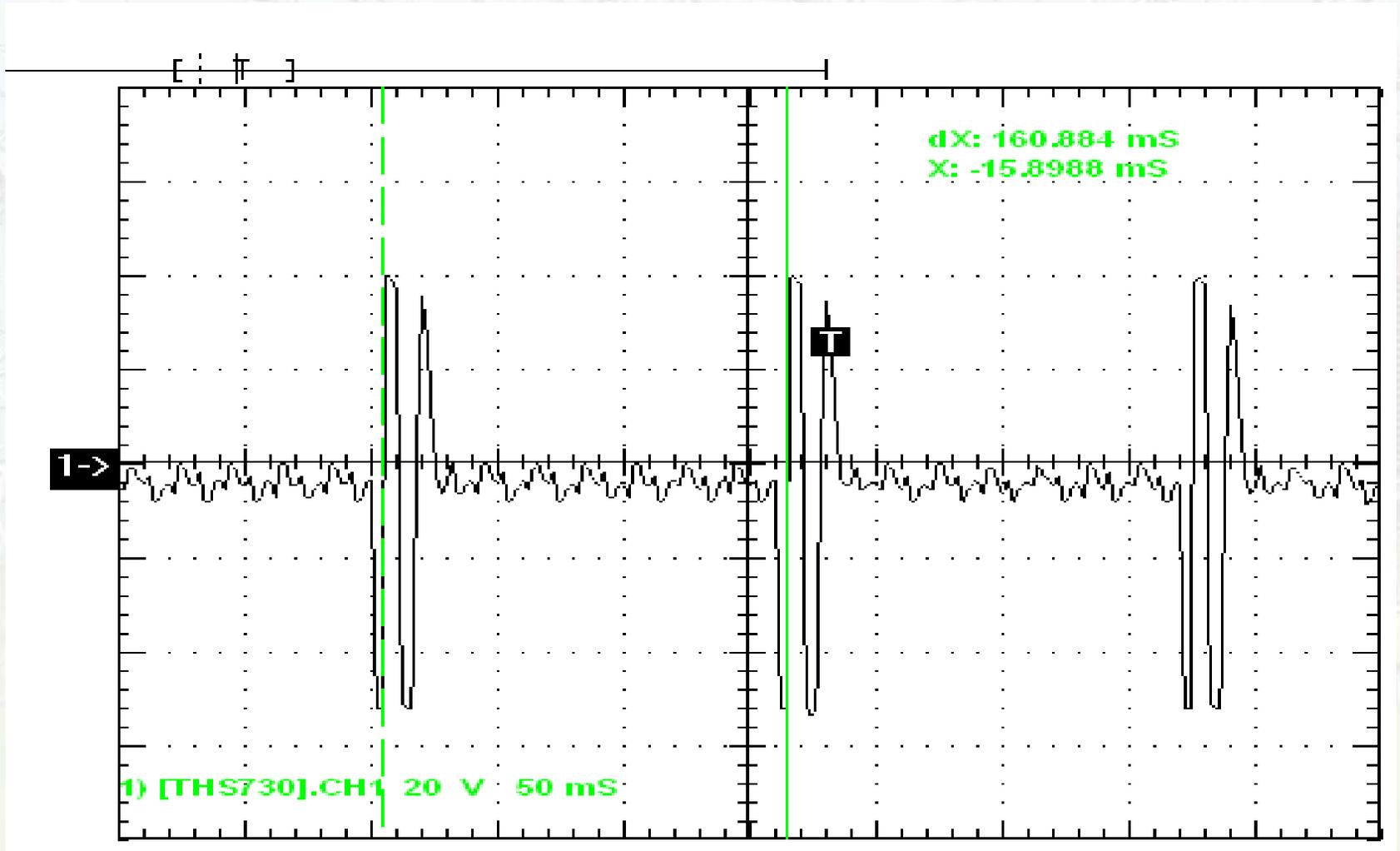


applicatore
a bobina

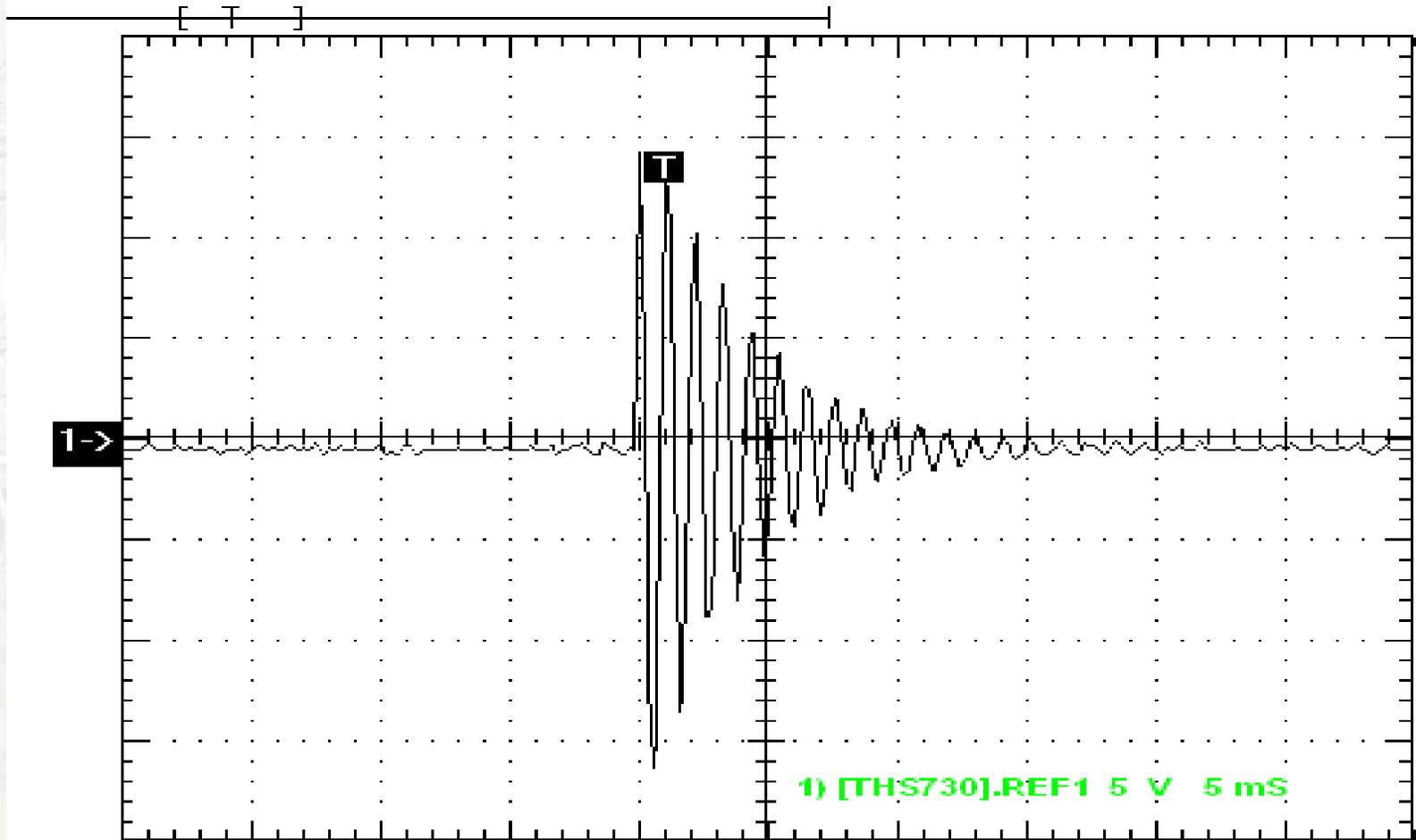
generatore
a R.F.

materiale
da trattare

Forme d'onda complesse o impulsive



Forme d'onda complesse o impulsive







Tomografi a risonanza magnetica nucleare (RMN)

- campo magnetico statico molto intenso, fino a 2 Tesla per gli apparati di uso diagnostico
- campo elettromagnetico in radiofrequenza (frequenze variabili tra circa 1 e 100 MHz)
- gradiente di campo magnetico variabile nel tempo (picchi fino a 20 Tesla/s)



- 
- **la legislazione vigente in materia di uso ed installazione di apparecchiature RMN adotta valori limite di esposizione per la tutela degli operatori**
 - **campo magnetico statico:**
 - valori limite di esposizione in linea rispetto alle prescrizioni adottate nelle pertinenti Linee Guida dell'ICNIRP**
 - **assorbimento di energia elettromagnetica:**
 - vengono estesi ai lavoratori i livelli di tasso di assorbimento specifico previsti per la protezione del paziente**

Campi elettrici e magnetici ELF negli ambienti ospedalieri

apparati di magnetoterapia:

solenoidi di circa 60-70 cm di diametro, che generano campi magnetici in bassa frequenza, di norma tra **16 Hz e 100 Hz**, secondo forme d'onda e sequenze temporali molto varie e spesso differenti tra i diversi apparati



le applicazioni vengono prescritte per un vario insieme di sintomatologie, tra cui la terapia contro il dolore, o problemi muscolo-scheletrici

- **campi dell'ordine del mTesla** all'interno dei solenoidi, di **qualche decina di μ Tesla** nel diretto intorno (fino a un paio di metri) dagli stessi, e di **qualche μ Tesla** nei rimanenti spazi dei locali di impiego
- **i campi magnetici sono rilevabili anche nei locali adiacenti**, non essendo attenuati dalle strutture murarie. Presenza di postazioni lavorative fisse (ad esempio sportelli per l'utenza) situate in locali adiacenti con gli ambienti di magnetoterapia, con livelli di esposizione per il personale fino alla decina di μ Tesla
- **gli apparati presenti nei reparti di terapia intensiva** possono produrre esposizioni nel personale sanitario fino a circa **20 μ Tesla** di induzione magnetica, in una banda che si estende fino alla decina di kHz

Apparati per diatermia

le apparecchiature di marconiterapia operano con onde continue alla frequenza ISM di **27.12 MHz**; possono ancora trovarsi in uso vecchie apparecchiature operanti alla frequenza ISM di **40.68 MHz**

le potenze massime vanno dai 300 ai 500 W, con possibilità di regolazione, ma la maggior parte degli operatori applica al paziente una potenza compresa tra **100 e 200 W**

gli applicatori sono sia di tipo capacitivo (a doppio elettrodo) che induttivo (a bobina), in funzione della parte del corpo da trattare e del tipo di applicazione



gli apparati di radarterapia lavorano alla frequenza ISM di **2.45 GHz**; raramente si trovano in uso vecchi dispositivi operanti alla frequenza ISM di 433.92 MHz

le potenze massime sono dell'ordine dei 300 W, con possibilità di regolazione, ma la maggior parte degli operatori applica potenze comprese tra **50 e 100 Watt**

gli applicatori sono antenne di forme e dimensioni variabili, caratterizzate da fasci di radiazione relativamente stretti, di circa 30° di apertura



in prossimità degli applicatori l'intensità del campo elettrico può raggiungere diverse centinaia di V/m, mentre nei vari ambienti vicini sono riscontrabili valori fino a diverse decine di V/m, in funzione dell'orientazione degli apparati e del materiale costruttivo dei locali

valore di azione 2004/40/CE

→ 61 V/m (27.12 MHz)

→ 137 V/m (2.45 GHz)

esposizioni indebite possono interessare gli accompagnatori ed i pazienti in attesa, che si trovano nel reparto per effettuare altre terapie (applicazioni locali, ultrasuoni, terapie manuali, etc.)

in entrambe le tecniche di diatermia, il paziente risulta esposto a livelli estremamente intensi che rappresentano l'agente terapeutico in grado di produrre riscaldamento nei tessuti oggetto della terapia



l'entità e la geometria dei campi dispersi dipendono criticamente dalla configurazione degli applicatori e dalla proprietà delle superfici circostanti oltre che dalla potenza

i campi possono propagarsi negli ambienti circostanti, fino a distanze maggiori della decina di metri: livelli di fondo non inferiori a circa 5 V/m, e valori dello stesso ordine anche negli ambienti confinanti

- **spesso vengono segnalate interferenze** con altri apparati diagnostici o terapeutici (ad esempio elettrocardiografi) con basso livello di immunità dai disturbi elettromagnetici
- **stato di cattiva gestione delle attrezzature:** le misure cautelative elementari, come ad esempio posizionare le macchine in modo tale che l'orientamento degli applicatori non favorisca la propagazione del campo verso zone di presenza o di transito, **vengono quasi regolarmente disattese**
- **semplici interventi di riorganizzazione e sistemazione degli apparati, insieme con l'adozione di corrette procedure operative,** spesso consentono di ridurre entro livelli accettabili le esposizioni non desiderate

Apparati per telecomunicazioni

gli operatori la cui mansione comporta l'ascesa su torri e tralicci, per l'installazione o la manutenzione di sistemi radio FM o televisivi UHF **possono risultare esposti a campi elettrici fino a 1000 V/m, e magnetici fino a 5 A/m**



esposizioni non superiori a 0.1 Watt/m², sono associate alla vicinanza a sistemi radar per il controllo del traffico aereo, nonostante potenze di picco dell'ordine dei **10 MWatt/m²**, data la rotazione dell'antenna e la pulsazione del segnale

nei **centri di trasmissione militari**, può occorrere che sistemi antenna si trovino prossimi a strutture che ospitano uffici, o risultino accessibili per la necessità di presidiare le installazioni

Dati di **esperienza diretta**:

in assenza delle opportune misure di protezione, **operatori potevano risultare esposti a campi elettrici tra 20 e 150 V/m per sistemi operanti tra 2 MHz e 30 MHz, e ad un livello medio di 30 V/m, con picchi fino 150 V/m, per sistemi operanti tra 100 kHz e 150 kHz**

Esposizioni rilevanti possono riguardare anche operatori addetti alla manutenzione di stazioni radio base GSM (900MHz - 1800 MHz) e UMTS (1900 MHz - 2200 MHz).

Ad esempio un'antenna GSM 900 MHz emittente con una potenza totale di 80 W, produce una densità di potenza pari a circa 100 W/m^2 a 10 cm di distanza e superiore a 23 W/m^2 (valore di azione 2004/40/CE) a 60 cm di distanza nella direzione di massima irradiazione (condizioni teoriche di esposizione worst case)



sistemi di trasmissione portatili a radiofrequenza



Possibili superamenti del **SAR locale** nella testa possono verificarsi nel caso di sistemi TETRA montati su autoveicoli (frequenza di funzionamento 400 MHz e potenze di picco variabili tra 3 e 30 W)



CEI EN 50360: "Norma di prodotto per dimostrare la conformità dei telefoni portatili ai limiti di base relativi all'esposizione umana ai campi elettromagnetici (300 MHz - 3 GHz)

SISTEMI ANTITACCHEGGIO E APPARATI SIMILI

CEI EN 50357: *"Valutazione dell'esposizione umana ai campi elettromagnetici prodotti dai dispositivi utilizzati nei sistemi elettronici antitaccheggio (EAS), nei sistemi di identificazione a radiofrequenza (RFID) e in applicazioni similari".*

Sistemi antitaccheggio - EAS, Electronic Article Surveillance (10 Hz-135 kHz; 1 MHz - 20 MHz; 0.8 GHz - 2.5 GHz)



postazioni degli operatori (es. cassiere) tipicamente localizzate tra 1 e 3 metri dal sistema e livelli di esposizione in generale non di interesse protezionistico (i campi emessi diminuiscono rapidamente allontanandosi dalla sorgente)

Bassi livelli di esposizione anche nel caso dei sistemi di identificazione degli accessi (RFID, Radiofrequency Identification, frequenze di funzionamento variabili tra 1 Hz e 5.8 GHz) e dei Metal Detector (MD, frequenze di funzionamento tra 0.24 e 8 kHz; portatili tra 10 kHz e 2 MHz)

