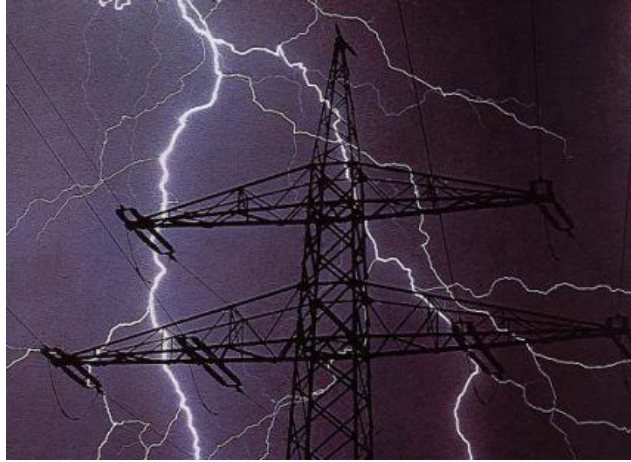


(BOZZA)

APPUNTI SUI CAMPI ELETTROMAGNETICI



1. GENERALITA'

Ogni fenomeno in cui sia presente l'elettricità, in forma di corrente o di tensione, comporta la presenza nello spazio circostante di un campo elettrico e/o magnetico.

In generale, i cavi e le apparecchiature in tensione (quindi anche con apparecchiature non funzionanti) producono campi elettrici. Invece la circolazione di corrente (apparecchiature funzionanti) comporta la formazione di campi magnetici.

Questi campi elettromagnetici possono avere effetti dannosi sulle persone, anche se non è ancora del tutto chiaro in che misura, e sono stati battezzati comunemente come "elettrosmog", includendo tali fenomeni nel novero degli inquinanti con cui tutti i giorni dobbiamo combattere.

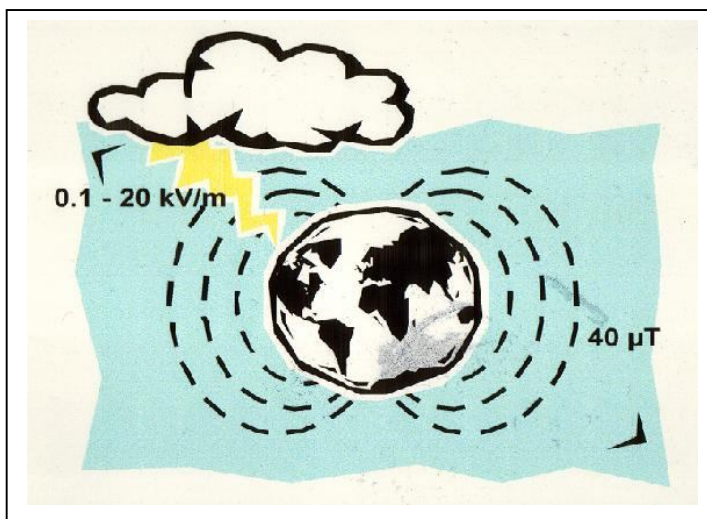
L' elettrosmog viene quindi prodotto dai campi elettrici e magnetici generati da frequenza industriale, radiofrequenze e microonde, appartenenti alla sezione non ionizzante (NIR) dello spettro elettromagnetico.

Sono sempre esistiti campi EM di origine naturale, come quelli prodotti dai fulmini; inoltre sulla Terra è presente un fondo elettromagnetico naturale, le cui sorgenti principali sono la terra stessa (la forza che sposta l'ago della bussola), l'atmosfera ed il sole, che emette radiazioni IR, luce visibile e radiazioni UV.

Gli esseri viventi hanno da sempre convissuto con tali radiazioni, evolvendosi in modo da adattarsi ad esse, proteggersi o utilizzare al meglio questi agenti fisici.

A campi elettromagnetici di origine naturale si sono però aggiunti, al passo con il progresso tecnologico, i campi prodotti dalle sorgenti legate all'attività dell'uomo, innalzando così il fondo naturale di centinaia e migliaia di volte.

Imputati sono innanzitutto i grandi conduttori di energia elettrica (elettrodotti ad alta, media e bassa tensione), gli impianti radar e di emittenza radio televisiva, i ponti radio televisivi e per telefonia mobile (stazioni radio base), nonché, anche se in misura minore, gli elettrodomestici, i telefoni cellulari e, in questi ultimi anni, i satelliti in orbita geostazionaria per telecomunicazioni e per la telefonia cellulare satellitare globale.



La Terra risulta quindi avvolta da un'immensa regnata di onde elettromagnetiche che trasportano energia di diversa intensità e diversa lunghezza d'onda, che coinvolge tutti in un abbraccio più o meno intenso che crea sviluppo e progresso, ma sul quale non possiamo fare a meno di interrogarci.

2. ONDE ELETTROMAGNETICHE

Le onde elettromagnetiche sono il fenomeno fisico attraverso il quale l'energia elettromagnetica può trasferirsi da luogo a luogo per propagazione. Tale fenomeno di trasferimento di energia può avvenire nello spazio libero (via etere) oppure può essere confinato e facilitato utilizzando appropriate linee di trasmissione (guide d'onda, cavi coassiali ecc.).



Le onde elettromagnetiche, secondo la teoria di Maxwell, sono fenomeni oscillatori, generalmente di tipo sinusoidale, e sono costituite da due grandezze che variano periodicamente nel tempo: il campo elettrico ed il campo magnetico. In condizioni di campo lontano i due campi sono in fase, ortogonali tra loro e trasversali rispetto alla direzione di propagazione.

La caratteristica fondamentale che distingue i vari campi elettromagnetici e ne determina le proprietà è la **FREQUENZA**, che rappresenta il numero di oscillazioni effettuate dall'onda in un secondo (unità di tempo). La frequenza si misura in Hertz (Hz).

Strettamente connessa con la frequenza è la **LUNGHEZZA D'ONDA**, che è la distanza percorsa dall'onda durante un tempo di oscillazione e corrisponde alla distanza tra due massimi o due minimi dell'onda.

Queste due grandezze, oltre ad essere tra loro legate, sono a loro volta connesse con l'**ENERGIA** trasportata dall'onda: l'energia associata alla radiazione elettromagnetica è infatti direttamente proporzionale alla frequenza dell'onda stessa.

Quando un'onda elettromagnetica incontra un ostacolo penetra nella materia e deposita la propria energia producendo una serie di effetti diversi a seconda della sua frequenza.

Sulla base di questo, lo spettro elettromagnetico viene suddiviso in una sezione **ionizzante**, comprendente raggi X e raggi gamma, aventi frequenza molto alta (> 3000 THz) e dotati di energia sufficiente per ionizzare direttamente atomi e molecole, ed una **non ionizzante** (NIR), le cui radiazioni non trasportano un quantitativo di energia sufficiente a produrre la rottura dei legami chimici e produrre ionizzazione.

Le NIR oggetto della nostra attenzione in quanto sorgenti di elettrosmog sono quelle aventi frequenze che vanno da 0 a 300 GHz, che possono a loro volta venire suddivise in:

- campi elettromagnetici a frequenze estremamente basse (ELF);
- radiofrequenze (RF);
- microonde (MO);

2.1. Frequenza e lunghezza d'onda

Le onde elettromagnetiche costituiscono una delle modalità più comuni ed importanti di propagazione del campo elettromagnetico.

Esse sono caratterizzate da:

- intensità= ampiezza dell'onda
- frequenza= numero di cicli di onda completi che si susseguono nell'unità di tempo (Hz)
- lunghezza d'onda= distanza nello spazio tra due massimi (o minimi) successivi dell'onda

La lunghezza d'onda λ di un campo elettromagnetico (in metri) è definita da:

$$\lambda = c/f$$

ove c è la velocità della luce (300.000 0km/s), f = frequenza (in kHz)

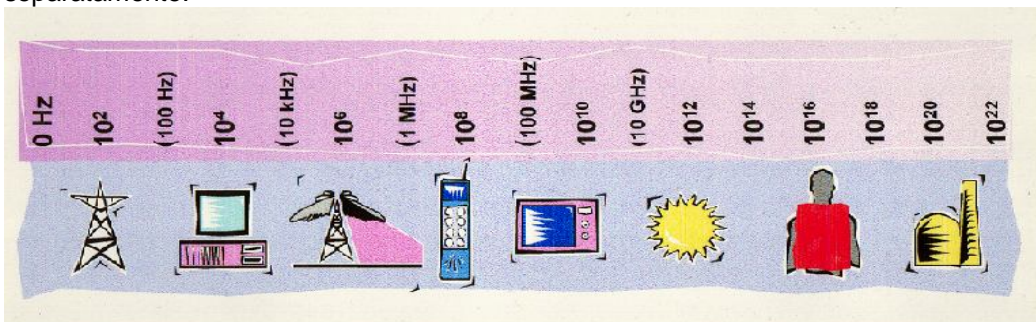
Quindi minore la frequenza, più grande la lunghezza d'onda; possiamo facilmente costruire la seguente tabella:

Frequenza	Lunghezza d'onda λ
50 Hz	6000 km
100 kHz	3 km
300 kHz	1 km
1 MHz	300 m
3 MHz	100 m
10 MHz	30 m
30 MHz	10 m
100 MHz	3 m
300 MHz	1 m
1 GHz	30 cm
3GHz	10cm

2.2. Suddivisione campo frequenze

DENOMINAZIONE		SIGLA	FREQUENZA	LUNGHEZZA D'ONDA
FREQUENZE ESTREMAMENTE BASSE		ELF	0 - 3kHz	> 100Km
FREQUENZE BASSISSIME		VLF	3 - 30kHz	100 - 10Km
RADIOFREQUENZE	FREQUENZE BASSE (ONDE LUNGHE)	LF	30 - 300kHz	10 - 1Km
	MEDIE FREQUENZE (ONDE MEDIE)	MF	300kHz - 3MHz	1Km - 100m
	ALTE FREQUENZE	HF	3 - 30MHz	100 - 10m
	FREQUENZE ALTISSIME (ONDE METRICHE)	VHF	30 - 300MHz	10 - 1m
MICROONDE	ONDE DECIMETRICHE	UHF	300MHz - 3GHz	1m - 10cm
	ONDE CENTIMETRICHE	SHF	3 - 30GHz	10 - 1cm
	ONDE MILLIMETRICHE	EHF	30 - 300GHz	1cm - 1mm
INFRAROSSO		IR	0,3 - 385THz	1000 - 0,78mm
LUCE VISIBILE			385 - 750THz	780 - 400nm
ULTRAVIOLETTO		UV	750 - 3000THz	400 - 100nm
RADIAZIONI IONIZZANTI		X	> 3000THz	< 100nm

I campi ELF sono definiti come quelli di frequenza fino a 300 Hz. A frequenze così basse corrispondono lunghezze d'onda in aria molto grandi (6000 km a 50 Hz e 5000 km a 60 Hz), e, in situazioni pratiche, il campo elettrico e quello magnetico agiscono in modo indipendente l'uno dall'altro e vengono misurati separatamente.



Per quanto riguarda i campi elettromagnetici generati da macchinari e impianti, possiamo suddividere le varie applicazioni in funzione della frequenza, ad es:

frequenza	tipo	applicazioni
f=0	elettricità statica, corrente continua	verniciatura a polveri elettrolitica metallurgia carrelli elevatori, muletti ferrovie, metropolitane campo nucleare
f= 5Hz - 100 kHz (bassa frequenza)	corrente alternata	elettrodomestici apparecchiature industriali ferrovie
f= 100 kHz - 300GHz (alta frequenza)	corrente alternata	trasmissioni radio e TV telefonia trasmissioni satellitari radar saldatrici ad alta frequenza apparecchiature ad ultrasuoni apparecchiature a microonde

3. Unità di misura per i campi elettromagnetici

campo elettrico (E)	V/m	Volt per metro
campo magnetico (H)	A/m	Ampere per metro
induzione magnetica (B) <i>(espressione del campo magnetico usata in bassa frequenza)</i>	T , mT, μ T	Tesla, milliTesla, microTesla
induzione magnetica (B) <i>grandezza alternativa a T</i>	G	Gauss
densità di potenza (S)	W/m ²	Watt al metro quadro

Nel caso di campi elettromagnetici in aria, vale la corrispondenza:
 $1\text{A/m} = 1,256 \mu\text{T}$ (microTesla), o anche (arrotondando) : $1 \mu\text{T} = 0,8 \text{A/m}$

4. CAMPI ELETTROMAGNETICI

4.1. Generalità

Campi elettrici esistono ovunque sia presente una carica elettrica positiva o negativa: Essi esercitano delle forze su altre cariche presenti entro il campo. L'intensità del campo elettrico si misura in volt al metro (V/m). Ogni conduttore elettrico carico produce un campo elettrico. Il campo esiste anche se non circola alcuna corrente. Maggiore è la tensione, più alto è il campo elettrico a una determinata distanza dal conduttore. L'intensità dei campi elettrici è massima vicino a una carica, o a un conduttore carico, e diminuisce rapidamente allontanandosi da questi. I conduttori, come ad esempio i metalli, schermano molto efficacemente i campi elettrici. Altri mezzi, come i materiali da costruzione e gli alberi, hanno una certa capacità di schermatura. Quindi, i campi elettrici prodotti all'esterno da linee ad alta tensione sono attenuati dalle pareti, dagli edifici e dagli alberi. Quando gli elettrodotti sono interrati, il campo elettrico in superficie è a malapena misurabile.

I campi magnetici derivano dal moto delle cariche elettriche. L'intensità del campo magnetico si misura in ampere al metro (A/m); in genere, nella ricerca sui campi elettromagnetici, i tecnici usano invece un'altra grandezza a questa collegata, l'induzione magnetica misurata in tesla (T), o nei suoi sottomultipli come il microtesla (μ T). In alcuni paesi è d'uso comune una diversa unità di misura dell'induzione magnetica, il gauss (G). Ai fini della conversione, $10.000 \text{ G} = 1 \text{ T}$; $1 \text{ G} = 100 \mu\text{T}$; $1 \text{ mT} = 10 \text{ G}$; $1 \mu\text{T} = 10 \text{ mG}$.

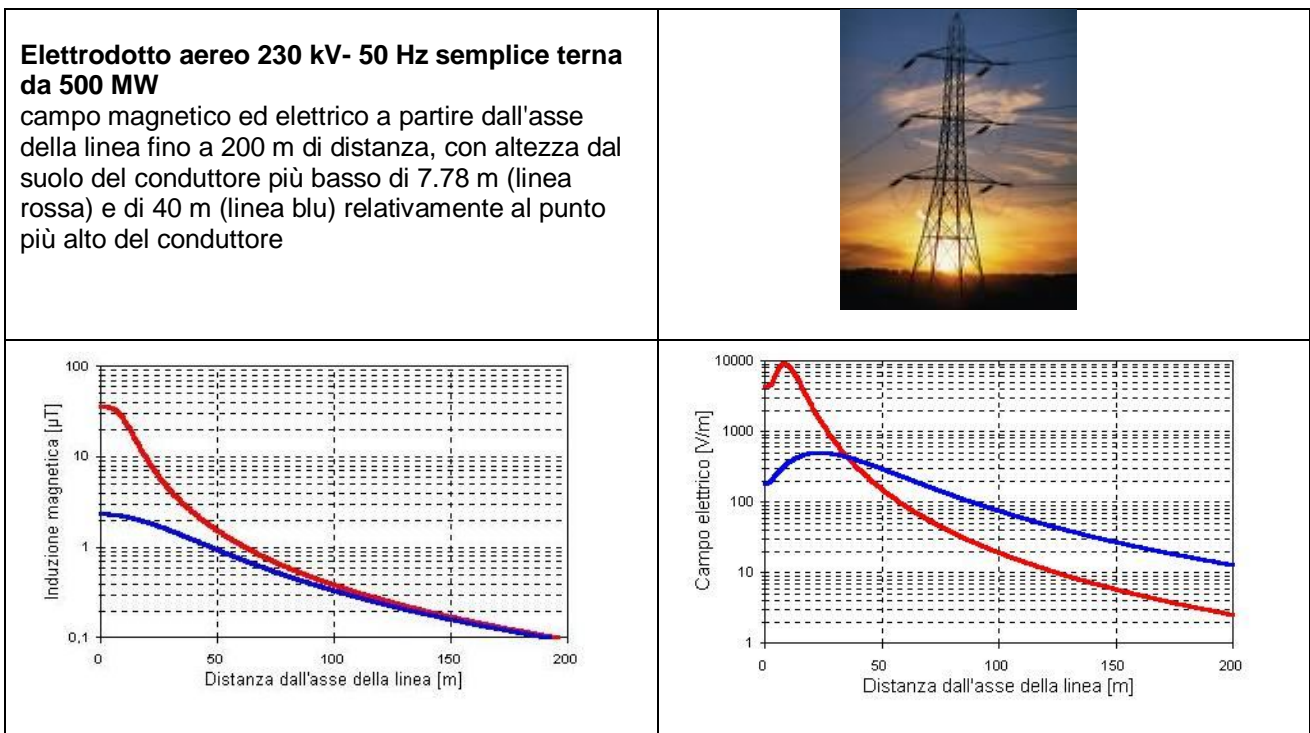
A differenza dei campi elettrici, un campo magnetico si produce soltanto quando un apparecchio è acceso e circola della corrente elettrica. Più alta è la corrente, maggiore è l'intensità del campo magnetico.

Come i campi elettrici, anche quelli magnetici sono massimi vicino alla loro sorgente e diminuiscono rapidamente a distanze maggiori. I campi magnetici non vengono bloccati dai materiali comuni, come le pareti degli edifici.

Schematicamente:

Campi elettrici	Campi magnetici
<ol style="list-style-type: none"> 1. I campi elettrici derivano dalla tensione 2. La loro intensità si misura in volt al metro (V/m) 3. Un campo elettrico può essere presente anche se un apparecchio è spento 4. L'intensità del campo elettrico diminuisce con la distanza dalla sorgente 5. La maggior parte dei materiali schermo in qualche misura i campi elettrici 	<ol style="list-style-type: none"> 1. I campi magnetici derivano dalla corrente elettrica 2. La loro intensità si misura in ampere al metro (A/m). Generalmente, si usa al suo posto una grandezza associata, l'induzione magnetica (di solito misurata in microtesla, μT, o in millitesla, mT) 3. I campi magnetici esistono solo se un apparecchio è acceso e circola una corrente 4. L'intensità del campo magnetico diminuisce con la distanza dalla sorgente 5. I campi magnetici non sono schermati dalla maggior parte dei materiali

(fonte: OMS- Organizzazione Mondiale Sanità)



4.2. Sorgenti

I campi elettrici e magnetici a 50 o 60 Hz di origine naturale sono estremamente bassi, rispettivamente dell'ordine di 0,0001 V/m e 0,00001 μT . L'esposizione di esseri umani a campi ELF è soprattutto associata alla produzione, alla trasmissione e all'uso dell'energia elettrica. Di seguito, viene fornita una panoramica delle sorgenti di campi ELF che si incontrano in ambienti di vita, in casa e nei posti di lavoro, assieme a tipici valori massimi di tali campi.

4.3. Ambienti di vita.

L'energia elettrica prodotta dagli impianti di produzione è distribuita agli utenti attraverso linee di trasmissione ad alta tensione. Per abbassare la tensione al momento della connessione con le linee di distribuzione che forniscono l'energia alle abitazioni, vengono utilizzati dei trasformatori. I campi elettrici e magnetici immediatamente al di sotto delle linee aeree di trasmissione possono raggiungere rispettivamente 12 kV/m e 30 μT . Attorno agli impianti di produzione e alle sottostazioni si possono trovare campi elettrici fino a 16 kV/m e campi magnetici fino a 270 μT .

4.4. Ambienti domestici.

I campi elettrici e magnetici nelle case dipendono da molti fattori, tra cui la distanza da elettrodotti locali, il numero ed il tipo di elettrodomestici usati e la configurazione e la localizzazione dei circuiti elettrici interni all'abitazione. I campi elettrici attorno agli elettrodomestici e alla maggior parte degli altri dispositivi non superano, tipicamente, 500 V/m, mentre i campi magnetici non superano, tipicamente, 150 μ T. In entrambi i casi, l'intensità dei campi può essere sensibilmente maggiore a brevi distanze, ma diminuisce rapidamente allontanandosi dalla sorgente.



4.5. Ambienti di lavoro.

Attorno agli apparati elettrici usati nell'industria e ai relativi circuiti esistono campi elettrici e magnetici. I lavoratori addetti alla manutenzione delle linee di trasmissione e di distribuzione possono essere esposti a campi elettrici e magnetici molto intensi. All'interno degli impianti di produzione e delle sottostazioni si possono trovare campi elettrici superiori a 25 kV/m e campi magnetici superiori a 2 mT. I saldatori possono essere esposti a campi magnetici fino a 130 mT. Vicino a forni ad induzione e a celle elettrolitiche industriali i campi magnetici possono raggiungere 50 mT. Negli uffici, i lavoratori sono esposti a campi molto più bassi quando utilizzano dispositivi come macchine fotocopiatrici o videoterminali.

5. ESPOSIZIONE AI CAMPI ELETTROMAGNETICI ARTIFICIALI

I corpi sono sensibili alle lunghezze d'onda simili alle proprie dimensioni. Per meglio capire questo importante concetto, facciamo un esempio: una barca in acqua se investita da una sequenza di piccole onde (per es: di lunghezza un decimo della lunghezza della barca) non ne sarà particolarmente scossa, ma ci galleggerà sopra; invece se investita da onde di lunghezza pari a metà lunghezza barca o uguali alla lunghezza della barca ne sarà particolarmente agitata.

La cosa viene sfruttata dalle antenne, che in questo caso sono costruite con elementi pari alle lunghezze d'onda che devono captare.

5.1. Campo vicino e campo lontano

E' importante la distinzione tra *campo vicino* e *campo lontano*, in quanto, in caso di campo lontano, si ha che il campo elettrico, il campo magnetico e la densità di potenza sono tra loro proporzionali e quindi si può misurare una grandezza e ricavare col calcolo le altre (v. più avanti).

La zona di **campo lontano** inizia ad una distanza r dalla sorgente superiore alla maggiore fra le quantità λ (in alcuni casi 2λ) e $2D^2/\lambda$, ove:

λ = lunghezza d'onda della radiazione elettromagnetica

D = dimensione max di antenne (sia larghezza che altezza radiotrasmittenti)

Campo vicino: in prossimità della sorgente irradiante (< 2 lunghezze d'onda) il campo elettrico ed il campo magnetico assumono rapporti variabili con la distanza ; in pratica costituiscono 2 grandezze indipendenti e vanno quindi misurate separatamente.

Campo lontano: ad una certa distanza (> 2 lunghezze d'onda) il rapporto tra campo elettrico (E), campo magnetico (H) e densità di potenza (S), rimane costante, per cui, nota una grandezza, si possono calcolare le altre, secondo le relazioni:

$$E \text{ (in V/m)} = \text{misurato}$$

$$H \text{ (in A/m)} = E / 377$$

$$S \text{ (in W/m}^2\text{)} = E^2 / 377$$

ove 377 è una costante fisica la cui unità di misura sono gli Ohm.

La tabella delle lunghezze d'onda sopra riportata, con il calcolo del campo vicino ($=2\lambda$), diventa:

Frequenza	Lunghezza d'onda λ	Campo vicino (circa)
30 kHz	10 km	20 km
100 kHz	3 km	6 km
300 kHz	1 km	2 km
1 MHz	300 m	600 m
3 MHz	100 m	200 m
10 MHz	30 m	60 m
30 MHz	10 m	20 m
100 MHz	3 m	6 m
300 MHz	1 m	2 m
1 GHz	30 cm	60 cm
3GHz	10cm	20 cm

Da qui si vede che si può parlare di campo lontano per frequenze da circa 30 MHz in su.

5.2 . Tipologia di esposizione

L'esposizione dell'uomo ai campi elettromagnetici artificiali (cioè prodotti dall'uomo stesso) può avvenire:

- **per la bassa frequenza:**
all'aperto :impianti di produzione, trasformazione e trasporto dell'energia elettrica
in ambiente confinato (in casa o nel posto di lavoro): elettrodomestici, utensili elettrici, computers,ecc
- **per l'alta frequenza:**
all'aperto : stazioni ripetitrici radio e TV, stazioni base per telefonia cellulare, radar, antenne radio amatori, ecc

L'esposizione si riduce drasticamente con la distanza, come si può verificare dalla tabella qui sotto.

Esempio: Livelli di campo magnetico per elettrodomestici alla distanza di 3 cm, 30 cm, 100 cm.

(Tratta da: NPBR, Vol. 3 n° 1, 1992)

ELETTRODOMESTICI (50 Hz)	CAMPO MAGNETICO (μ T) ALLA DISTANZA DI		
	3 CM	30 CM	100 CM
ASCIUGABIANCHERIA	0,3-8	0,08-0,3	0,02-0,06
LAVATRICE	0,8-50	0,15-3	0,01-0,15
LAVASTOVIGLIE	3,5-20	0,6-3	0,07-0,3
TRAPANO	400-800	2-3,5	0,08-0,2
LAMPADA DA TAVOLO	40-400	0,5-2	0,05-0,25
ASCIUGACAPELLI	6-2000	<0,01-1	<0,01-0,3
FERRO DA STIRO	8-30	0,12-0,3	0,01-0,025
FORNO A MICROONDE	75-200	4,8	0,25-0,6
FORNO ELETTRICO	1-50	0,15-0,5	0,04-0,091
FRIGORIFERO	0,5-1,7	0,01-0,25	<0,01
RASOIO ELETTRICO	15-1500	0,08-7	<0,01-0,3
TELEVISORE	25-50	0,04-2	<0,01-0,15
TOSTAPANE	7-18	0,06-0,7	<0,01
ASPIRAPOLVERE	200-800	2,20	0,13-2
COPERTA ELETTRICA	2-3	0,1-0,2	<0,05

Alcune tipiche applicazioni industriali di campi elettromagnetici non ionizzanti e soggetti coinvolti

(Tratta da: R. Delia, Metodologia di misure dei campi elettromagnetici RF e MW e protezione dalle loro esposizioni, ISPELS, AIRP 1989)

INTERVALLO DI FREQUENZA	APPLICAZIONI	INDIVIDUI ESPOSTI IN AMBIENTE CONFINATO	POPOLAZIONE POTENZIALMENTE A RISCHIO
3-30 kHz	Trasmissioni marittime Videoterminali (VDT)	Personale addetto	Utilizzatori
30-300 kHz	Trasmissioni marittime	Personale addetto	=
100 kHz-3 MHz	100 kHz-3 MHz Saldatura, Fusione, Tempera, Sterilizzazione Trasmettitori radio AM e amatoriali Telecomunicazioni Radionavigazione	Operatori dell'industria chimica, delle industrie del legno, della gomma, dell'automobile, delle telecomunicazioni	Personale dell'azienda non direttamente interessato alla gestione delle macchine
3 MHz-30 MHz	Riscaldamento, Essiccamento, Incollaggio, Saldatura Polimerizzazione Sterilizzazione di sostanze dielettriche Applicazioni in medicina Emissioni radio internazionali, amatoriali, cittadine Radioastronomia	Ingegneri e tecnici elettronici, equipaggi degli aerei, operatori radar, addetti alla manutenzione, operatori ai forni a radiofrequenza	Personale degli aeroporti, abitanti delle aree prospicienti installazioni radar, emettitori radio e TV. Pazienti
30 MHz-300 MHz	Numerosi processi industriali (v. caso precedente) È Trasmissioni radio FM ed emissioni TV-VHF Traffico aereo Radar Trasmettitori mobili e portatili Telefonia cellulare	Operatori della ricerca, ingegneri e tecnici elettronici Personale addetto	Personale degli aeroporti, abitanti delle aree prospicienti installazioni radar, emettitori radio e TV. Pazienti
300 MHz-3 GHz	Emissioni TV-VHF Radar meteorologici Radar per il controllo del traffico stradale Ponti radio Telefonia cellulare Telemetria Medicina Forni a microonde Processi utilizzati in industrie alimentari	Ingegneri e tecnici elettronici, personale medico e paramedico, addetti alla manutenzione	Casalinghe e bambini (nel caso di forni a microonde) Pazienti
3 GHz-30 GHz	Altimetri Radar per navigazione marittima ed aerea Comunicazioni via satellite Ponti radio a microonde Radar in uso alla polizia	Operatori dei trasmettitori radio e Tv, operatori radar	=
30 GHz-300 GHz	Radioastronomia Radiometeorologia Spettroscopia a microonde	Personale addetto alla guardia costiera e alle ricerche meteorologiche	=

6. EFFETTI BIOLOGICI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI

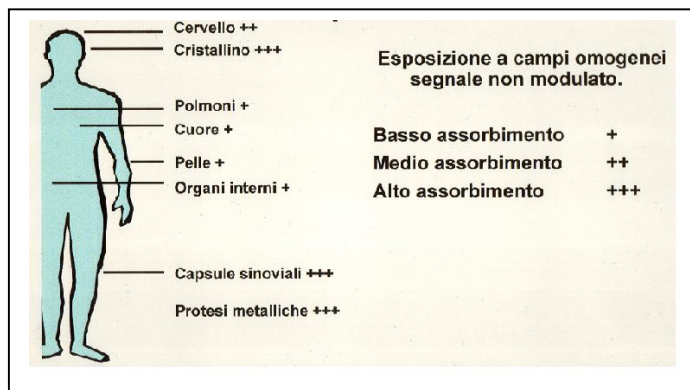
Il corpo umano è costituito da circa il 65% di acqua, la quale ha una alta densità di cariche elettriche libere. Le onde elettromagnetiche che penetrano all'interno di un tessuto interagiscono con esso trasferendogli energia. Anche se questo tipo di Radiazioni sono Non Ionizzanti (NIR) e quindi non provocano la ionizzazione della materia, possono però avere altri effetti biologici come: riscaldamento dei tessuti, alterazione delle reazioni chimiche, induzione di correnti elettriche nei tessuti e nelle cellule (con possibilità di indurre tumori e leucemie).

Queste alterazioni del normale funzionamento del corpo umano sono normalmente compensate dalle difese automatiche del corpo: quando il sistema biologico non riesce più ad attuare tale compensazione si ha un danno per la salute e tale danno può essere irreversibile.

Specialmente le radiazioni non ionizzanti ad alta frequenza sono responsabili di fenomeni di riscaldamento dei tessuti, per la incrementata agitazione dei dipoli elettrici e magnetici. Si può avere inoltre un effetto di stimolazione di cellule muscolari (anche il cuore) e nervose.

Altri disturbi di tipo non termico sono stati rilevati: cefalea, astenia, irritabilità, insonnia, alterazioni del ritmo cardiaco, ecc.

Per quanto riguarda la bassa frequenza, l'azione indotta dal campo elettrico è quasi nulla. Solo ad una intensità molto elevata si ha una vibrazione dei peli cutanei. L'induzione magnetica penetra facilmente il corpo umano e può alterare l'equilibrio cellulare quando i valori di campo superano le densità di corrente comparabili con quelle endogene del corpo.



Principio di precauzione

E' doveroso segnalare che gli effetti biologici indotti dai campi elettromagnetici non hanno per ora trovato univocità di pareri presso gli scienziati. Tuttavia, come in altri campi, appare altrettanto doveroso attenersi a dei criteri che minimizzino il fattore di rischio: si è adottato quindi a livello internazionale -e in Italia già con la legge quadro 36/2001- il "Principio di Precauzione" con un atteggiamento rigido verso il rischio, cercando di mantenere il livello di esposizione più basso possibile.

7. LEGISLAZIONE

Il 19 novembre 2007 è stata varata la legge N.257 che si riferisce alla esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dalla esposizione ai campi elettromagnetici; tale legge viene inserita all'interno della legge quadro N.626 sulla sicurezza dei lavoratori.

Per quanto riguarda la precedente legislazione e normativa, la tutela della salute relativamente ai campi elettromagnetici, è sancita a partire dalla Costituzione Italiana (art.32), poi via via sono state promulgate diverse leggi.

Nel 1998 è stato emesso il DM 381 recante l'indicazione dei limiti di esposizione ai campi elettromagnetici.

Nel 2001 è uscita una legge specifica sulla protezione dalle esposizioni ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici: è la legge quadro N.36/2001, cui sono seguiti i decreti attuativi, dai quali si traggono i nuovi limiti (in alcuni casi più restrittivi) per l'esposizione.

Nel 2003 è stato emesso il DPCM 8 luglio 2003 (G:U: serie generale N.199 del 28/08/03) relativo alla 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

Linee guida relative alle misure dei campi elettromagnetici ed alla costruzione della strumentazione sono contenute nelle Norme CEI 211-6 (per campo frequenze 0Hz-10kHz) e CEI 211-7 (per campi frequenze 10kHz-300GHz).

7.1 Strumentazione

Non è tecnicamente possibile avere una sonda che misuri i campi elettrici e magnetici sia in alta che in bassa frequenza. In realtà ci sono sonde idonee alla misura dei campi elettrici o magnetici, in definiti campi di frequenza.

Inoltre, dato che non è possibile determinare con precisione la direzione di propagazione delle onde elettromagnetiche in un campo libero, per la rilevazione dei campi elettromagnetici si usano **sonde isotropiche** (ossia che hanno uguale capacità di rilevazione sui 3 assi x,y,z). Pertanto, nella stessa sonda non si possono alloggiare più sonde per misurare il campo elettrico e magnetico oppure sonde per diversi campi di frequenza: infatti la fisicità della sonda aggiuntiva perturberebbe la isotropicità della misura. In pratica, di solito si utilizza uno strumento base su cui si possono montare i vari tipi di sonda.

Quanto ai **tipi di sonda**, è molto difficile ed oneroso dotarsi di un parco sonde che copra tutta la banda di frequenza (0-300 GHz); sarà invece opportuno scegliere quelli che coprano i campi di frequenza più utilizzati o che riguardano il proprio campo di interesse.

7.2. La classificazione e la valutazione del rischio

Il D.Lgs 257/07, introduce l'obbligo per il datore di lavoro di determinare/calcolare e valutare i vari rischi derivanti dall'esposizione a campi elettromagnetici, con la precisazione che i risultati di tale attività di valutazione sono parte integrante del Documento di Valutazione dei Rischi.

L'informazione e la formazione per i lavoratori, inoltre, dovranno essere specifiche e riguardare, in modo particolare, le misure di sicurezza adottate ed il significato dei rischi associati alla esposizione ai campi elettromagnetici. Dovrà essere garantita, infine, una adeguata sorveglianza sanitaria per i lavoratori esposti. Per la valutazione dell'esposizione professionale a campi elettromagnetici si può ipotizzare una prima fase di individuazione delle sorgenti potenzialmente in grado di emettere contributi al campo elettromagnetico di intensità non trascurabile per l'esposizione umana; una seconda fase volta a determinare le bande di frequenza all'interno delle quali sono attesi i contributi di cui sopra; un terzo momento dove, sulla base delle valutazioni precedenti, si opera la scelta della strumentazione più idonea per discriminare i distinti contributi in frequenza durante la misurazione dei livelli di esposizione.

Allo scopo di determinare l'esposizione complessiva a partire da quella misurata a frequenze diverse, ci si troverà, infine, a dover procedere con una corposa post-analisi dei dati raccolti.

Si osservi che il D.Lgs 257/07 riguarda i rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori dovuti agli effetti nocivi a breve termine conosciuti nel corpo umano derivanti dall'esposizione ai campi elettromagnetici; all'interno dello stesso provvedimento è sottolineato che esso non riguarda gli effetti a lungo termine, inclusi eventuali effetti cancerogeni dell'esposizione ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici variabili nel tempo, per i quali il legislatore ritiene che manchino dati scientifici conclusivi che comprovino un nesso di causalità.

8. MISURE PER LA ESPOSIZIONE DEI LAVORATORI

8.1. Generalità

Per quanto riguarda la verifica della esposizione ai sensi del DL 257, come per altri tipi di misure relative alla protezione dei lavoratori (es: rumore), prima di effettuare le misure vere e proprie è necessario un lavoro di indagine preliminare, per cui, schematicamente, il piano di lavoro risulta del tipo:

- esame generale del luogo di lavoro
- indagine relativa alle installazioni elettriche nel luogo di lavoro e nelle vicinanze, con valutazione dei tipi di campi elettromagnetici (eventuali disegni dell'impianto elettrico possono essere utili)
- individuazione dei punti più significativi per le misure, eventualmente con effettuazione di misure preliminari
- misure ai confini dell'area in esame
- effettuazione misure
- stesura relazione

Le misure andrebbero effettuate al livello di emissione della sorgente più alto; in caso di impossibilità si possono interpolare le misure.

Durante le misure si deve evitare la presenza di persone o oggetti tra la sorgente e la sonda di misura, dato che ciò potrebbe perturbare le misure. A questo scopo sono raccomandati strumenti di misura con START ritardabile a tempo, oppure apparecchiature con controllo remoto.

Ovviamente, bisognerà porre la massima attenzione a che le misure non comportino un pericolo per l'operatore stesso o per l'integrità degli strumenti.

Le misure devono essere confrontate con i valori di azione della tab. 2 degli allegati al DL 257, sotto riportata

Tabella 2
Valori di azione (art- 49-*quindecies*, comma 2)
[valori efficaci (rms) imperturbati]

Intervallo di frequenza	Intensità di campo elettrico E (V/m)	Intensità di campo magnetico H (A/m)	Induzione magnetica B (μ T)	Densità di potenza di onda piana S_{eq} (W/m ²)	Corrente di contatto I_c (mA)	Corrente indotta attraverso gli arti I_L (mA)
0 - 1 Hz	/	$1,63 \times 10^5$	2×10^5	/	1,0	/
1 - 8 Hz	20000	$1,63 \times 10^5 / f^2$	$2 \times 10^5 / f^2$	/	1,0	/
8 - 25 Hz	20000	$2 \times 10^4 / f$	$2,5 \times 10^4 / f$	/	1,0	/
0,025 - 0,82 kHz	$500 / f$	$20 / f$	$25 / f$	/	1,0	/
0,82 - 2,5 kHz	610	24,4	30,7	/	1,0	/
2,5 - 65 kHz	610	24,4	30,7	/	$0,4f$	/
65 - 100 kHz	610	$1600 / f$	$2000 / f$	/	$0,4 / f$	/
0,1 - 1 MHz	610	$1,6 / f$	$2 / f$	/	40	/
1 - 10 MHz	$610 / f$	$1,6 / f$	$2 / f$	/	40	/
10-110 MHz	61	0,16	0,2	10	40	100
110 - 400 MHz	61	0,16	0,2	10	/	/
400 - 2000 MHz	$3f^{1/2}$	$0,008f^{1/2}$	$0,01f^{1/2}$	$f/40$	/	/
2 - 300 GHz	137	0,36	0,45	50	/	/

I valori di azione sopra riportati rappresentano l'entità dei parametri direttamente misurabili, espressi in termini di intensità di campo elettrico (E), intensità di campo magnetico (H), induzione magnetica (B) e densità di potenza (S). Il superamento dei valori di azione determina l'obbligo di adottare una o più delle misure specificate nel provvedimento.

La corrente di contatto e la corrente indotta attraverso gli arti sono per ora calcolabili sulla base di modelli matematici e non misurabili direttamente se non con strumenti di laboratorio applicati su fantocci simulanti la fisicità del corpo umano.

Misurazioni ed analisi dati devono essere condotte secondo le norme di buona tecnica che si identificano nelle:

CEI 211-6 "Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell'intervallo di frequenza 0 Hz – 10 kHz, con riferimento all'esposizione umana".

CEI 211-7 "Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettromagnetici nell'intervallo di frequenza 10 kHz – 300 kHz, con riferimento all'esposizione umana".

8.2. Misure in Bassa Frequenza

8.2.1. Generalità

Nelle misure con tensione 230/380V-50 Hz, si misura quasi sempre l'induzione magnetica B perché:

- è la componente che può dare problemi alla fisiologia del corpo umano (metabolismo)
- la B dipende dalla corrente
- con i bassi valori di tensione detti , il valore di azione di Legge (10 kV/m) non sono raggiungibili

Nelle misure con alta o media tensione (linee trasmissione, sottostazioni e cabine di trasformazione), è opportuno misurare anche il campo elettrico.

Bisogna prima studiare la situazione: per es: in zona residenziale ci si aspetta che alla sera il consumo di corrente (e quindi la B) aumenti. In zona industriale ci sarà maggior prelievo di corrente nelle ore di lavoro.

Campo magnetico

Per una prima ispezione, le misure si fanno su una unica postazione, dopo aver valutato strumentalmente il punto più colpito.

Per la bassa frequenza, non essendoci materiali che la schermano, è solo la distanza che gioca.

Con la distanza il segnale decade esponenzialmente.

Nel fare misure di B, la vicinanza dell'operatore alla sonda non è influente perché il corpo umano non scherma assolutamente; quindi non ci sono errori di questo tipo.

Campo elettrico

Dipende dalla tensione, quindi è costante

A differenza dei campi magnetici, i campi elettrici sono perturbati dal corpo umano. Durante le misure dei campi elettrici, si dovrebbe pertanto prestare particolare attenzione ad evitare gli effetti di vicinanza dell'operatore e anche delle altre persone che possono essere nelle vicinanze della sonda. Possono infatti prodursi perturbazioni significative, in grado di introdurre errori inaccettabili nella misura. Si deve inoltre evitare l'effettuazione di misure in vicinanza di "punte" (quali arbusti, spigoli di recinzioni, balconi, ecc.) in quanto trovandosi in una zona di campo elettrico fortemente perturbato, la misura non risulta rappresentativa dell'esposizione umana. Una valutazione completa dell'esposizione umana in una zona specificata richiede che vengano misurate sia la variazione spaziale sia quella temporale del campo in esame. E' poi in genere utile acquisire informazioni sul tipo di attività umana che viene normalmente svolta nella zona di interesse.

All'interno il campo è schermato da quello che viene da fuori.

Apparecchiatura elettrica	Intensità del campo elettrico (V/m)
Ricevitore stereo	180
Ferro a stiro	120
Frigorifero	120
Frullatore	100
Tostpane	80
Asciugacapelli	80
Televisore a colori	60
Caffettiera elettrica	60
Aspirapolvere	50
Forno elettrico	8
Lampada a incandescenza	5
Valore limite delle linee guida	10000

Per i campi indotti da impianti interni a 230V il contributo è molto basso. In caso di contributo esterno (elettrodotto) e interno (impianti a 230V), prima fare una misura nell'immediato esterno, poi all'interno.

Es: capannone con vicino elettrodotto: prima fare misura sotto elettrodotto.

Qui l'operatore può disturbare la misura (riflessioni): quindi usare il cavalletto in materiaòe amagnetico.

L'ideale è avere una distanza di circa 5 m. Per evitare l'influenza dell'operatore si può programmare la partenza della misura con un prefissato ritardo.

In BF si fanno misure o in banda larga o con filtri con i quali si seleziona la frequenza che interessa sorvegliare. Oppure si usano i filtri per mascherare una frequenza e vedere le altre.

La caratterizzazione dei campi elettrici può essere condotta attraverso il calcolo o attraverso le misure, a seconda delle circostanze.

La misura diretta dell'esposizione umana ai campi elettrici è più complessa rispetto alla determinazione dell'esposizione ai campi magnetici, poiché non sono immediatamente disponibili misuratori di esposizione personale a tale campo. Ciò è prevalentemente dovuto al fatto che a causa delle perturbazioni del campo

elettrico dovute al corpo, sulla superficie del corpo stesso i valori di campo variano considerevolmente da punto a punto e sono sensibili alla posizione e all'orientamento del corpo.

8.2.2. Caratterizzazione dei campi elettromagnetici in BF

I campi elettromagnetici possono essere fortemente variabili in funzione di:

- variazioni spaziali
- variazioni temporali
- variazioni secondo la frequenza

Caratterizzazione delle variazioni spaziali

I punti di misura devono essere distribuiti in maniera uniforme sull'intera area da caratterizzare ed il loro numero commisurato alla superficie in esame (ad esempio, in ambienti interni, almeno un punto per ogni metro quadrato di superficie).

Le misure di variazione spaziale possono essere eseguite con normali misuratori portatili.

In generale, i punti ed altezze di 1 – 1,5 m. dal piano calpestio vengono considerati significativi ai fini della caratterizzazione dell'esposizione umana. In casi particolari, come in presenza di campi molto disomogenei (tipicamente riscontrabili nelle immediate vicinanze delle sorgenti di campo), è opportuno effettuare misure aggiuntive ad altezze corrispondenti ai punti nello spazio occupati dalla testa e dal torso di una persona (da 1,1m. a 1,9m.).

Caratterizzazione delle variazioni temporali

I campi elettrici, dato che dipendono dalla tensione, sono praticamente costanti (variazioni inferiori al 5%). Possono contribuire alla variabilità del campo elettrico gli effetti di schermatura dovuti ai materiali di costruzione, che possono dipendere dalle condizioni atmosferiche (per es. strutture umide in un giorno di pioggia). Le variazioni di campo elettrico a breve termine si verificano se vicino al luogo di misura vi sono oggetti conduttori in movimento.

I campi magnetici, essendo invece generati da correnti molto variabili nel tempo, possono avere variazioni molto elevate nel tempo.

La determinazione statistica completa delle variazioni temporali dei campi magnetici richiede quindi registrazioni prolungate per durate rappresentative dei cicli di funzionamento degli impianti e apparecchiature sorgenti. Laddove questi cicli siano noti a priori, si può ridurre il periodo di indagine ricorrendo all'introduzione di fattori correttivi per individuare i livelli di esposizione più gravosi.

Per esempio, le misure effettuate in uno stesso ambiente domestico in un giorno di caldo umido (in cui presumibilmente si è fatto un ampio uso dei condizionatori d'aria) e le misure di campo nello stesso luogo eseguite in un giorno fresco e meno umido indicano una distribuzione molto diversa dei valori di campo, con un campo medio pari a circa la metà di quello osservato durante il giorno di caldo umido.

A causa della dipendenza dei livelli di campo magnetico dalle correnti di carico, che possono variare giornalmente, settimanalmente, stagionalmente, ecc.. il problema è determinare un intervallo di tempo per la registrazione delle misure che capti abbastanza variazioni del campo da poter ottenere una valida registrazione statistica. A tale scopo, può risultare utile condurre dapprima uno studio pilota espressamente orientato alla definizione del tempo di campionamento delle misure.

Caratterizzazione del contenuto in frequenza

I campi magnetici generati da apparecchi elettrici spesso contengono armoniche della frequenza industriale. Ad esempio un apparecchio elettrico di tipo comune come un televisore può produrre campo magnetico con un elevato tasso di armoniche prodotto. Una misura "spot" della forma d'onda di un campo magnetico a bassissima frequenza eseguita a una distanza di 0,60 m. dal centro della parte anteriore di uno schermo di un televisore acceso, a colori, di 26 pollici evidenzia, con l'utilizzo di un analizzatore di spettro, le componenti armoniche del campo che vanno dalla seconda (100Hz), che rappresenta il 45% della frequenza fondamentale, fino alla diciannovesima. Vale la pena notare che la misura del valore efficace di questo campo nella stessa situazione, eseguita con un misuratore che rileva solo la componente fondamentale, sarebbe molto più bassa, di almeno il 20% inferiore.

I misuratori di campo elettrico e magnetico disponibili sul mercato talvolta sono muniti di connessioni di uscita che forniscono il segnale integrato proveniente dalla sonda. Tali strumenti, combinati con gli analizzatori di spettro disponibili sul mercato, possono essere utilizzati per caratterizzare il contenuto in frequenza nel campo. In alternativa, i registratori di forma d'onda sono muniti di software che permette la determinazione del contenuto in frequenza partendo dai dati registrati. Sono disponibili anche misuratori di campo elettrico e magnetico che si possono commutare in modo da indicare i valori di campo efficaci dalle frequenze industriali e di una o più frequenze armoniche.

Si noti che il contenuto in frequenza dei campi magnetici prodotti da apparecchi elettrici a velocità variabile, per es. i sistemi elettrici di trasporto di massa, può variare in funzione della velocità.

8.3 Misure in alta frequenza (tra 100 kHz e 300 GHz)

Generalità

Come già accennato per il campo di bassa frequenza, anche qui è necessario uno studio preliminare per:

- la caratterizzazione delle sorgenti (non solo quelle oggetto della indagine, ma anche altre che potrebbero avere influenza sulle misure)
- la definizione delle aree di misura
- la scelta del tipo di misura con eventuale esame in sola banda larga o in banda stretta (analisi in frequenza tramite analizzatore di spettro)
- le caratteristiche tra l'area della sorgente ed il punto di misura con riferimento alla presenza di oggetti assorbenti o riflettenti

Generalmente, nelle misure in alta frequenza, in relazione al fatto che ci si trovi o meno nella situazione di campo lontano, le misure da effettuare sono:

- per frequenze fino a 3 MHz : misure di E ed H
- per frequenze > 3 MHz: misure di una grandezza tra: densità di potenza, E, H (le altre si ricavano dalle formule)

Per evitare errori di base nelle misure:

il treppiede di sostegno della sonda (strumento) deve essere di materiale non metallico

9. Consigli pratici per la stesura di un protocollo di misura

All' inizio della caratterizzazione di un dato ambiente o condizione di esposizione, dopo aver ovviamente scelto in modo adeguato e corretto la strumentazione da utilizzare, si dovrebbe eseguire un'indagine preliminare mediante misure "spot" per identificare i luoghi in cui i livelli di campo elettrico e magnetico, alla frequenza che si presume predominante (ad esempio quella industriale) sono più elevati. In questa fase, e laddove possibile, le misure di campo magnetico dovrebbero essere eseguite preferibilmente in periodi in cui le principali sorgenti presenti (es. linee elettriche, motori, apparecchiature industriali ecc.) operano ai livelli più elevati delle loro correnti tipiche. Da quest'indagine e/o dalla conoscenza delle posizioni delle sorgenti di campo magnetico, si possono identificare le postazioni in cui può risultare necessario eseguire misure più approfondite.

Per gli eventuali approfondimenti si consiglia di:

Usare strumenti triassali in grado di misurare e registrare i valori di campo in funzione del tempo e, se necessario, della frequenza. Questo secondo aspetto può essere affrontato usando misuratori di campo con più bande passanti abbastanza strette da poter essere regolate in modo da misurare le frequenze desiderate (filtri selettivi), oppure usando misuratori di campo che abbiano la funzione di FFT di analisi spettrale. Se si è ragionevolmente sicuri che esista una componente dominante della frequenza nel campo e che tutte le altre componenti della frequenza siano sufficientemente piccole da poter essere trascurate (con particolare riferimento agli eventuali criteri dettati dalle norme sanitarie in relazione alla sovrapposizione di campi a

frequenze diverse), è accettabile misurare il campo usando uno strumento con una risposta in frequenza piatta.

L'incertezza di misura degli strumenti dovrebbe essere meno del $\pm 10\%$.

Dove si presume che i campi siano abbastanza uniformi (ad esempio sotto linee elettriche e all'interno di stazioni elettriche o in altri ambienti purché si sia sufficientemente lontani da sorgenti di campo), misure effettuate ad 1m o 1,5m di altezza dal piano di calpestio sono rappresentative dell'esposizione dell'intero corpo umano. In tutti gli altri casi, la sonda triassiale dovrebbe essere posta circa nelle posizioni previste per il centro del torso e della testa; conviene riferirsi alla posizione corrispondente al valore più elevato del campo per determinare il punto in cui eseguire misure più approfondite.

Nel caso di misure di campo elettrico, la sonda non dovrebbe distare dalle superfici conduttrici meno del doppio del suo diametro. Si dovrebbero inoltre evitare gli effetti di vicinanza dell'operatore e di eventuali osservatori

Per acquisire informazioni sufficientemente dettagliate sulle variazioni temporali, le misure dovrebbero essere registrate almeno ogni 30s su periodo di 24 h per più giorni. Se il campo è dovuto a una singola sorgente dominante e se le correnti di funzionamento sono conosciute in funzione del tempo, i risultati delle misure "spot" e le conoscenze della suddetta variazione temporale delle correnti possono essere usati per determinare le induzioni magnetiche in funzione del tempo.

I dati registrati dovrebbero essere usati per calcolare e documentare la durata dei livelli di induzione magnetica nei diversi punti di misura e alle diverse frequenze. Si possono indicare altre informazioni statistiche, se le si ritengono interessanti.

Conviene fornire anche dei disegni delle aree in cui le misure sono eseguite, come parte della documentazione relativa ai risultati di misura. Le ubicazioni dei punti di misura dovrebbero essere chiaramente indicate. E' opportuno indicare anche costruttore dello strumento, modello dello strumento, numero di serie, incertezza di misura totale, data dell'ultima taratura o della verifica della taratura, data e ora delle misure, condizioni atmosferiche, persona o persone che hanno eseguito le misure.

Presentazione dei risultati

Le informazioni richieste quando si registrano e si presentano i risultati delle misure possono variare a seconda degli obiettivi delle misure. Nell'introduzione si dovrebbe indicare chiaramente quali sono questi obiettivi. In ogni caso si dovrebbero fornire anche le seguenti indicazioni relative agli strumenti e alle misure:

- Identificazione del costruttore;
- data delle misure;
- durata delle misure;
- incertezza di misura totale;
- una chiara indicazione di quali grandezza di campo si sta parlando, per esempio il campo magnetico od elettrico massimo, il campo magnetico od elettrico efficace, la componente verticale del campo, la media ponderata nel tempo o nello spazio
- data dell'ultima taratura/prova di verifica.

Tra le altre informazioni da fornire, a seconda del caso, vi sono:

- banda passante dello strumento;
- frequenza di campionamento;
- descrizione dell'attività umana quando si presentano i dati relativi all'esposizione umana;
- disegni che descrivono l'area e i luoghi in cui sono eseguite le misure;
- informazioni statistiche, per esempio il valore minimo e massimo del campo, il valore medio, la media geometrica ecc.;
- risoluzione di frequenza spettrale per i campi che contengono frequenze multiple;
- luoghi di misura; identificazione della sorgente, condizioni atmosferiche;
- nominativo del personale che ha eseguito le misure;
- condizioni della sorgente, per esempio corrente di carico per i campi magnetici e la tensione dell'impianto o dell'apparecchiature per i campi elettrici

Bonifica e protezione lavoratori in aree esposte

Una protezione dall'esposizione dei lavoratori ai campi elettrici a 50 o 60 Hz si può realizzare in modo relativamente semplice usando dei materiali schermanti. La bonifica consiste nell'applicazione di pannelli con un'anima in metallo intrecciato che schermano al 70-80%.

Ciò è necessario soltanto per i lavoratori in aree con campi elettrici molto alti. Più comunemente, laddove i campi elettrici sono molto intensi, si impedisce l'accesso del personale. Non esiste alcun modo pratico ed economico di realizzare schermature contro i campi magnetici ELF. Dove i campi magnetici sono molto intensi, l'unica misura protettiva disponibile è limitare la presenza delle persone