

CAMPI ELETTROMAGNETICI: gli effetti sulla salute

Treviso 22-gennaio-2014
Convegno: LA PROTEZIONE DEI LAVORATORI DAI RISCHI DI ESPOSIZIONE A CAMPI ELETTROMAGNETICI

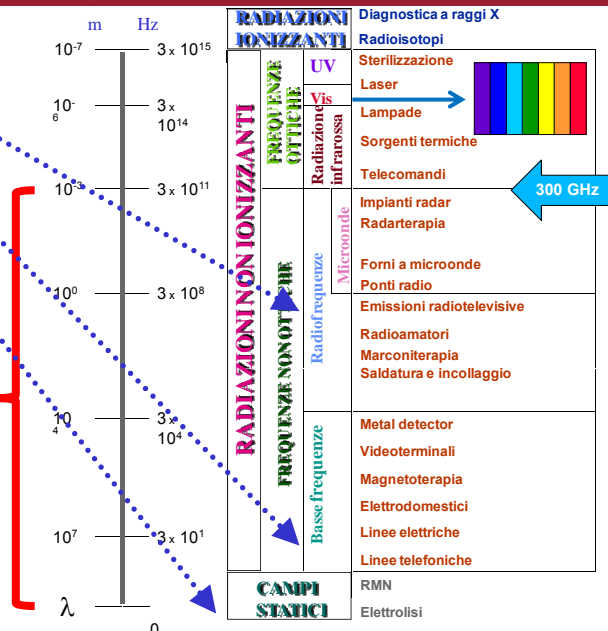
dott. Roberto Agnesi
SPISAL ULSS 9

Radiazioni e campi elettromagnetici

Effetti distinti per:

- Radiofrequenza
- ELF (frequenze estremamente basse)
- Campi statici

CAMPO DI APPLICAZIONE
DELLA DIRETTIVA CE





Quando il corpo umano si trova in un campo elettromagnetico si verifica un'**interazione** tra le forze del campo e le cariche e le correnti elettriche presenti nei tessuti dell'organismo.

Il risultato dell'interazione è una perturbazione che può determinare un **effetto biologico**, non necessariamente un danno, di tipo morfologico o funzionale.



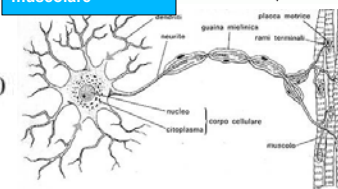
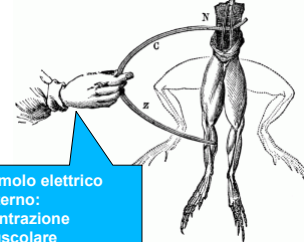
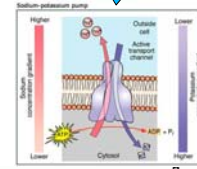
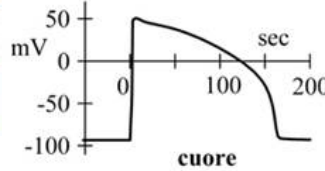
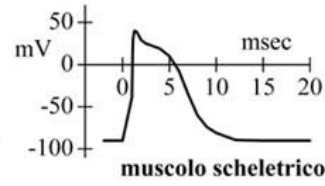
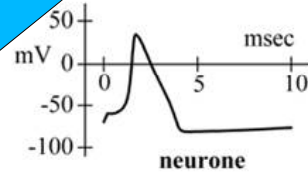
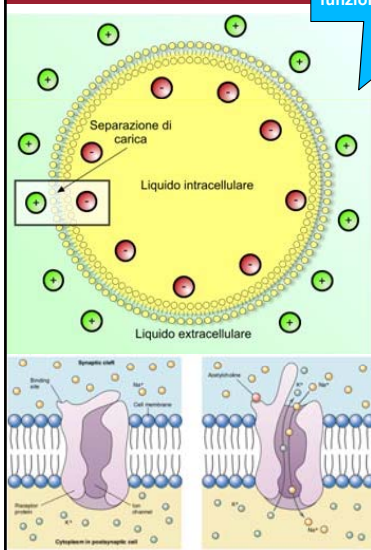
*Il modo in cui le onde elettromagnetiche influenzano i sistemi biologici è determinato in parte dall'**intensità** del campo ed in parte dalla **quantità di energia** di ogni fotone.*

- Un **effetto biologico** si verifica quando l'esposizione alle onde elettromagnetiche provoca qualche variazione fisiologica notevole o rilevabile in un sistema biologico.
- Un **effetto di danno alla salute** si verifica quando l'effetto biologico è al di fuori dell'intervallo in cui l'organismo può normalmente compensarlo, e ciò porta a qualche condizione di detrimento della salute.

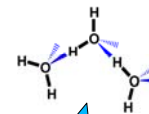
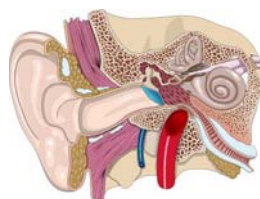
Basi fisiologiche

DEPOLARIZZAZIONE:
Fenomeni elettrici alla base della
funzione di cellule nervose e muscolari

Pompa SODIO - POTASSIO



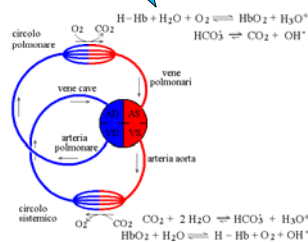
Basi fisiologiche



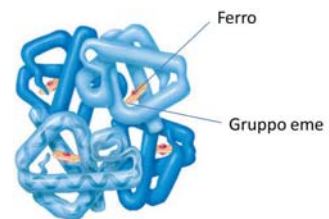
DIPOLI

IONI CIRCOLANTI

**Ferro in proteine
Cristalli di magnetite**



L'emoglobina





Per danni deterministici s'intendono quelli in cui l'incidenza e la gravità variano con la dose e per i quali è individuabile una dose-soglia. In particolare, i danni deterministici hanno in comune le seguenti caratteristiche:

- compaiono soltanto al superamento di una **dose-soglia** caratteristica di ogni effetto;
- il superamento della dose-soglia comporta l'insorgenza dell'effetto in **tutti gli esposti**, sia pure nell'ambito della variabilità individuale; il valore della dose-soglia è **anche in funzione della distribuzione temporale della dose**;
- il periodo di **latenza è solitamente breve**; in alcuni casi l'insorgenza è tardiva (qualche mese, alcuni anni);
- **Proporzionalità**: la gravità delle manifestazioni cliniche aumenta con l'aumentare della dose.

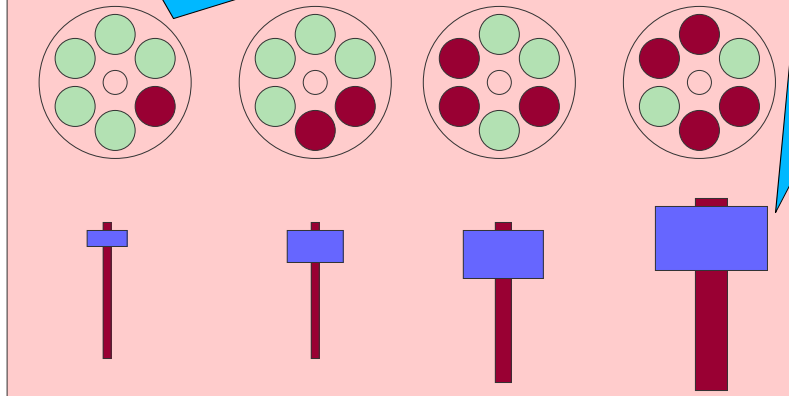


I danni stocastici (nel caso delle R.I.) comprendono gli effetti genetici, le leucemie e i tumori solidi. In questa patologia **soltanto la probabilità d'accadimento, e non la gravità, è in funzione della dose** ed è cautelativamente esclusa l'esistenza di una dose-soglia. Danni di questo tipo hanno in particolare le seguenti caratteristiche:

- non richiedono il superamento di un valore-soglia di dose per la loro comparsa (principio cautelativo)
- sono a carattere probabilistico
- sono distribuiti casualmente nella popolazione esposta
- sono dimostrati dalla sperimentazione e dall'evidenza epidemiologica (associazione causale statistica)
- la frequenza di comparsa è maggiore se le dosi sono elevate
- si manifestano dopo anni, talora decenni, dall'esposizione
- non mostrano gradualità di manifestazione con la dose ricevuta, quale che sia la dose
- sono indistinguibili dai tumori indotti da altri cancerogeni

Effetto stocastico: ROULETTE RUSSA → aumentando i proiettili (dose) aumenta la probabilità del danno ma la sua gravità non cambia.

Effetto graduato: Martello → aumentando la massa del martello e la sua velocità (dose) aumenta la gravità delle lesioni.



In generali, sia per gli agenti chimici che per gli agenti fisici:

- dosi alte somministrate in tempi brevi determinano **effetti acuti** (anche con singola dose)
- riducendo la dose, sono necessari tempi più lunghi per evidenziare gli **effetti subacuti o subcronici**
- riducendo ancora la dose e aumentando il tempo di esposizione compaiono gli **effetti cronici**

Effetti acuti e cronici

DOSE

tempo



IL LIMITE CHE PROTEGGE DA EFFETTI ACUTI NON FORNISCE **NESSUNA GARANZIA** RISPETTO AGLI EFFETTI CRONICI E STOCASTICI (SE CE NE SONO)

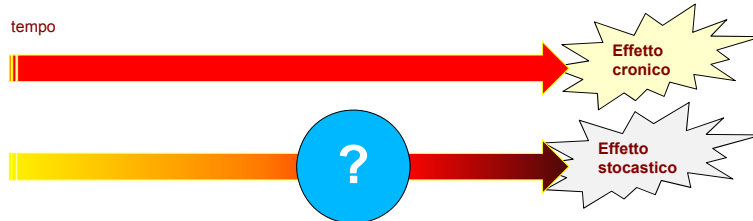
DOSE

tempo



DOSE

tempo



Rapporto causa effetto

- E' molto facile stabilire il nesso di causa quando l'effetto è acuto e si ripete ogni volta che si raggiunge la soglia (es. fuoco →ustione)
- Più il tempo di latenza si allunga, più è difficile stabilire il nesso di causa tra malattia ed esposizione, soprattutto se la malattia è multifattoriale e può essere determinata anche da esposizioni non professionali.
- Sono necessari studi epidemiologici molto difficili, che devono trattare campioni molto numerosi e senza poter condurre lo studio con "metodo sperimentale"



- Molti studi suggeriscono effetti a medio-lungo termine per esposizione a campi elettromagnetici
- In molti casi le evidenze non raggiungono il livello della significatività con studi metodologicamente corretti e per questo viene detto che “*non vi è evidenza che ...*” (Solo in pochi casi si è raggiunta una ragionevole certezza che l'effetto nocivo può essere escluso)
- Tuttavia la mancanza di evidenza certa non significa esclusione certa del pericolo !!!
- E' sempre necessario mantenersi aggiornati (medico competente) sugli effetti ipotizzati e sulle dosi (al di sotto dei limiti per gli effetti acuti) che potrebbero determinare un rischio per i lavoratori al fine di mantenere l'esposizione a livelli più bassi possibile
- Le informazioni che seguono sono lo stato dell'arte secondo le monografie O.M.S.



Campi elettrici statici

sono presenti naturalmente nell'atmosfera.

Valori fino a 3 kV/m possono presentarsi sotto le nuvole temporalesche, con tempo sereno, i livelli sono dell'ordine di 100 V/m.

Dopo questa, la causa più comune di esposizione per l'uomo è dovuta ad una separazione di cariche per effetto dell'attrito.

Ad esempio, camminando su un tappeto isolante si possono accumulare potenziali di carica di diversi kilovolt, che generano campi elettrici locali fino a 500 kV/m. Le linee elettriche in corrente continua possono produrre campi elettrici statici fino a 20 kV/m, i sistemi ferroviari in corrente continua campi fino a 300 kV/m all'interno dei treni ed i videoterminali campi di circa 20-30 kV/m a una distanza di 30 cm.



Campi magnetici statici:

il **campo geomagnetico** varia sulla superficie terrestre tra 35 e 70 μT ed è implicato probabilmente nell'orientamento e nella migrazione di certe specie animali.

Campi magnetici statici artificiali sono generati ovunque si utilizzino **correnti continue**, come ad esempio in alcuni sistemi di trasporto a trazione elettrica ed in processi industriali quali la produzione di alluminio e la saldatura a gas. Induzioni magnetiche fino a 2 mT sono state misurate all'interno di **treni elettrici** e in prototipi di sistemi a levitazione magnetica (Maglev). Nei processi di riduzione dell'allumina i lavoratori sono esposti a livelli più alti, fino a circa 60 mT, mentre la saldatura elettrica ad arco produce induzioni magnetiche di circa 5 mT a 1 cm dai cavi di saldatura.

L'avvento dei superconduttori negli anni '70 e '80 ha facilitato l'impiego di campi magnetici molto più elevati nella diagnosi medica, con lo sviluppo delle tecniche di diagnostica per immagini con **risonanza magnetica** e di spettroscopia con risonanza magnetica.

Esposizioni professionali fino a 1 T ed oltre possono verificarsi durante la costruzione e le prove di queste apparecchiature, o durante le procedure di intervento medico assistito dalla risonanza magnetica. Anche in varie ricerche di fisica delle alte energie e nelle relative tecnologie si utilizzano magneti superconduttori ed i lavoratori possono essere esposti, regolarmente e per tempi prolungati, a campi di intensità fino a 1,5 T.



Dosimetria:

Per comprendere gli effetti biologici dei campi elettrici e magnetici è importante considerare come i campi influenzano le cellule nelle diverse parti del corpo e nei tessuti. Si può quindi definire una dose come un'opportuna funzione dei campi elettrici e magnetici nel punto di interazione. Stabilire una relazione tra i campi esterni imperturbati e i campi interni è il principale obiettivo della dosimetria. Elementi importanti della dosimetria sono gli studi numerici basati su modelli a celle dell'uomo e di animali e gli studi sperimentali di esposizione (NECESSITA' di STUDI).

Dei **movimenti** dell'intero corpo o di sue parti, come ad esempio gli occhi e la testa, in un **gradiente di campo magnetico** possono **indurre, per la durata dello spostamento, un campo elettrico e una corrente elettrica**. I calcoli dosimetrici suggeriscono che questi campi elettrici indotti possano raggiungere **valori significativi durante un normale movimento in campi magnetici di 2-3 T**; tali campi indotti possono rendere conto dei numerosi casi di vertigine e di quelli occasionali di fosfeni riportati da pazienti, volontari e lavoratori durante i loro movimenti nel campo.



CAMPI ELETTRICI STATICI

I campi elettrici statici **non penetrano** all'interno di oggetti elettricamente conduttori, come il corpo umano; il campo **induce una carica elettrica superficiale** ed è sempre perpendicolare alla superficie del corpo. Una densità di carica superficiale sufficientemente grande può essere **percepita grazie alla sua azione sui peli cutanei** e ad altri effetti come **scariche elettriche** (microscosse). La soglia di percezione nei diversi individui dipende da vari fattori e può variare tra 10 e 45 kV/m. Le soglie per sensazioni di disturbo sono probabilmente altrettanto variabili, ma non sono state studiate in modo sistematico. Si possono prevedere microscosse pericolose quando una persona ben isolata da terra tocchi un oggetto messo a terra, o quando una persona collegata a terra tocchi un oggetto metallico ben isolato dal suolo. Comunque i relativi valori di soglia del campo elettrico statico variano secondo il grado di isolamento ed altri fattori.



CAMPI MAGNETICI STATICI

categorie di **interazioni** fisiche **ben accertate sulla base dei dati sperimentali**:

1) **Interazioni elettrodinamiche con correnti di conduzione ionica**. Le correnti ioniche interagiscono con i campi magnetici statici per effetto delle **forze di Lorentz che si esercitano sulle cariche in movimento**. Questi effetti portano **all'induzione di potenziali e di correnti elettriche (di flusso)**. I potenziali di flusso sono generalmente associati, negli animali e nell'uomo, alla contrazione ventricolare e al pompaggio di sangue nell'aorta.

2) Effetto magnetomeccanici, tra cui **l'orientamento di strutture magneticamente anisotrope** all'interno di campi uniformi (Al di sopra di 1 T sono stati trovati in modo coerente effetti sull'orientamento delle cellule, ma la loro rilevanza in vivo è dubbia) e la **traslazione di materiali paramagnetici e ferromagnetici** in presenza di gradienti di campo magnetico.

3) **Effetti sugli stati di spin di reazioni chimiche intermedie**. **Diverse categorie di reazioni chimiche organiche possono essere influenzate da campi magnetici statici di intensità compresa tra 10 e 100 mT**, attraverso effetti sugli stati di spin elettronico. Una coppia di radicali, con i propri spin, può ricombinarsi ed impedire la formazione di un prodotto di reazione.

CAMPI MAGNETICI STATICI

Interferenza con apparecchiature elettroniche impiantate (pacemaker, pompe insulina etc.)



Vietato l'accesso ai portatori di stimolatori cardiaci attivi



Vietato l'accesso ai portatori di protesi metalliche



LA = 0,5 mT per dispositivi impiantati (secondo ACGIH 0,1 mT per frequenza di rete; vedere documentazione dispositivo)

LA = 3 mT per Attrazione e propulsione oggetti!



Studi su animali:

Sono stati condotti pochi studi sugli effetti dei **campi elettrici statici** su animali. **Non si è trovata alcuna evidenza di effetti nocivi per la salute, eccetto quelli associati alla percezione di cariche elettriche superficiali.** Molte ricerche su animali sono state invece condotte per studiare gli effetti dei **campi magnetici statici**. Diversi studi sono stati effettuati con campi dell'ordine dei mT, confrontabili con esposizioni lavorative relativamente elevate. Più recentemente, con l'avvento delle tecniche MRI si sono compiute ricerche su effetti comportamentali, fisiologici e riproduttivi con livelli di induzione magnetica dell'ordine di 1 T ed oltre. Le risposte osservate in modo più coerente negli studi **neurocomportamentali** suggeriscono che il movimento di roditori da laboratorio in campi magnetici statici pari a 4 T o superiori possa dare sensazioni sgradevoli e indurre delle reazioni di rifiuto o un istinto condizionato a evitare l'esposizione. Si pensa che queste risposte siano coerenti con effetti magnetoidrodinamici sull'endolinfa dell'apparato vestibolare. I dati sono comunque contrastanti. Vi sono valide indicazioni che l'esposizione a campi superiori a circa 1 T (0,1 T negli animali più grandi) induca **potenziali di flusso attorno al cuore e ai principali vasi sanguigni**, ma le relative conseguenze fisiologiche non sono chiare. Diverse ore di esposizione a livelli di induzione magnetica molto alti, fino a 8 T, non hanno prodotto alcun effetto cardiovascolare nel cuore di maiali.

Diversi studi hanno descritto possibili effetti dell'esposizione a campi magnetici su **cellule del sangue e sul sistema emopoietico**. Tuttavia, i risultati sono equivoci e ciò limita la possibilità di trarre delle conclusioni.

Per quanto riguarda gli effetti sul **sistema endocrino**, diversi studi condotti in un laboratorio suggeriscono che l'esposizione a campi magnetici statici possa influenzare la sintesi di **melatonina** da parte della ghiandola pineale. Tuttavia, alcune ricerche condotte in altri laboratori non sono riuscite a dimostrare alcun effetto. La scoperta di una soppressione della produzione di melatonina per effetto di un campo magnetico statico deve quindi essere confermata da ulteriori ricerche prima di trarre solide conclusioni. Complessivamente, pochi studi hanno indagato gli effetti dei campi magnetici statici su sistemi endocrini diversi dalla ghiandola pineale e nessun effetto è emerso in modo coerente.

In generale, il numero di studi su animali relativi alla **genotossicità e al cancro** è così scarso che non è possibile trarne alcuna solida conclusione.



Studi di laboratorio sull'uomo:

I **campi elettrici statici**: La soglia di percezione nei diversi individui dipende da vari fattori e può variare tra 10 e 45 kV/m (peli). Si possono prevedere **microscosse pericolose** quando una persona ben isolata da terra tocchi un oggetto messo a terra, o quando una persona collegata a terra tocchi un oggetto metallico ben isolato dal suolo. Comunque i relativi valori di soglia del campo elettrico statico variano secondo il grado di isolamento ed altri fattori.

Campi magnetici statici:

Le funzioni che sono state **esaminate** negli studi di laboratorio su soggetti umani comprendono quelle del **sistema nervoso periferico, attività cerebrali, funzioni neurocomportamentali e cognitive, percezione sensoriale, funzioni cardiache, pressione sanguigna, ritmo cardiaco, proteine del siero e livelli ormonali, temperatura corporea e cutanea ed effetti terapeutici**. Si sono effettuate indagini con livelli di esposizione fino a 8 T e si sono studiati sia campi statici puri, sia campi tipici dei sistemi MRI. La durata delle esposizioni variava da pochi secondi fino a nove ore, ma di solito era inferiore a un'ora.

I risultati **non indicano** che l'esposizione a campi magnetici statici produca effetti sulle risposte neurofisiologiche e sulle funzioni cognitive in volontari **fermi**, ma non permettono nemmeno di escludere questi effetti. Sono state riscontrate **sensazioni di vertigine e nausea, dipendenti dalla dose, indotte in lavoratori, volontari e pazienti quando questi si muovevano entro campi statici superiori a 2 T**. E' verosimile che questi effetti dipendano dal gradiente del campo e dal movimento del soggetto. In alcuni studi si è osservato un piccolo cambiamento della pressione sanguigna e del ritmo cardiaco, ma questi rientravano negli intervalli di normale variabilità fisiologica. **Non vi è alcuna evidenza di effetti dei campi magnetici statici su altri aspetti della fisiologia cardiovascolare, o su proteine del siero e ormoni. L'esposizione a campi di intensità fino a 8 T non sembra indurre variazioni di temperatura nell'uomo.**



Studi epidemiologici sono stati effettuati quasi esclusivamente su lavoratori esposti a campi magnetici statici generati da apparati che utilizzavano alte correnti continue. La maggior parte dei lavoratori era esposta a campi di moderata intensità, fino a qualche decina di millitesla; questi lavoratori erano addetti alla saldatura, alla fusione dell'alluminio o a vari impianti industriali che utilizzavano **grandi celle elettrolitiche** per processi di separazione chimica. Questi tipi di lavori comportavano però, probabilmente, l'esposizione a diversi fumi e aerosol potenzialmente pericolosi, e ciò **confonde l'interpretazione dei dati**. Le osservazioni di rilevanza sanitaria in questi lavoratori comprendevano **tumori, variazioni ematologiche ed effetti a queste associati, frequenza di aberrazioni cromosomiche, effetti sulla riproduzione, alterazioni muscoloscheletriche**. Inoltre, un piccolo numero di studi ha esaminato gli effetti sulla **fertilità e sulla gravidanza** in operatrici di sistemi MRI, che potevano essere state esposte a campi statici relativamente intensi, fino a circa 1 T. Due studi hanno indagato l'esito della gravidanza in volontarie sane sottoposte a esami a risonanza magnetica durante la gravidanza stessa.

Sono stati segnalati aumenti di rischio per varie forme di tumori, ad esempio del polmone, del pancreas e del sistema emopoietico, ma i risultati dei diversi studi non sono coerenti. I pochi studi epidemiologici pubblicati fino ad oggi lasciano irrisolti diversi problemi relativamente a un possibile aumento di tumori per effetto dei campi magnetici statici. La valutazione delle esposizioni era insoddisfacente, il numero di partecipanti ad alcuni degli studi era molto piccolo e gli studi erano quindi in grado di rivelare soltanto rischi molto grandi per malattie così rare. L'incapacità, da parte di questi studi, di fornire informazioni utili è confermata dalla mancanza di chiare evidenze dell'effetto di altri fattori cancerogeni, meglio accertati, che erano presenti in alcuni degli ambienti di lavoro. Altri effetti diversi dal cancro sono stati analizzati in modo ancora più sporadico. La maggior parte di questi studi si basa su numeri molto piccoli e presenta numerose limitazioni metodologiche. Altri ambienti dove potenzialmente esistono campi elevati, come nel caso degli operatori di risonanza magnetica, non sono stati considerati. **Al momento, i dati sono inadeguati per una valutazione di carattere sanitario.**



Campi elettrici statici

Non vi sono studi sull'esposizione a campi elettrici statici dai quali si possa trarre una qualsiasi conclusione su **effetti cronici o ritardati**. L'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (**IARC, 2002**) ha osservato che non vi erano dati sufficienti per determinare la cancerogenicità di questi campi.

Sono stati effettuati pochi studi sugli **effetti acuti dei campi elettrici statici**. Nel complesso i risultati suggeriscono che **gli unici effetti acuti nocivi per la salute sono associati alla percezione fisica dei campi e ai fastidi conseguenti alle microscosse**.

Campi magnetici statici

I dati epidemiologici e degli studi di laboratorio ad oggi disponibili non sono sufficienti per poter trarre delle conclusioni in merito a **effetti cronici o ritardati**. La **IARC** ha concluso che, per quanto riguarda la cancerogenicità dei campi magnetici statici, vi erano **dati inadeguati per l'uomo, mentre non vi erano dati rilevanti per gli animali da laboratorio**. La cancerogenicità di questi campi non è perciò, al momento, classificabile.



Campi magnetici statici

L'esposizione **a breve termine** a campi magnetici statici dell'ordine del tesla e ai gradienti di campo a questi associati **induce diversi effetti acuti**.

Risposte cardiovascolari, come variazioni della pressione sanguigna e del ritmo cardiaco, sono state occasionalmente osservate in studi su volontari e su animali. Comunque, per esposizioni a campi magnetici statici fino a 8 T, queste variazioni rientrano nei normali intervalli fisiologici.

Sebbene non sia stato sperimentalmente verificato, è importante notare che **i calcoli suggeriscono tre possibili effetti dovuti a potenziali di flusso indotti**. Questi sono: **piccole variazioni del battito cardiaco** (che si può ritenere non abbiano conseguenze per la salute), **induzione di battiti cardiaci ectopici** (che possono essere più significativi dal punto di vista fisiologico) e **maggior probabilità di aritmia rientrante** (che potrebbe portare alla fibrillazione ventricolare). Si pensa che i primi due effetti presentino **soglie superiori a 8 T**, mentre i livelli di soglia per il terzo sono attualmente difficili da stabilire per la complessità del modello. **Da 5 a 10 persone su 10.000 sono particolarmente suscettibili all'aritmia rientrante e il loro rischio potrebbe aumentare in caso di esposizione a campi magnetici statici e a campi gradienti**.

Il movimento fisico all'interno di un gradiente di campo statico induce, nel caso di campi statici superiori a 2-4 T, sensazioni di vertigine, nausea e talvolta fosfeni e sapore metallico in bocca. Sebbene siano solo transitori, questi effetti possono essere negativi per le persone. Oltre a possibili effetti sulla coordinazione occhi-mani, potrebbe verificarsi una riduzione della capacità in lavoratori impegnati in procedure delicate (ad esempio i chirurghi), con un conseguente impatto sanitario. Sono stati riportati anche effetti su altre funzioni fisiologiche, ma è difficile giungere a conclusioni solide senza repliche indipendenti dei risultati.



AZIENDA
ULSS 9
TREVISO

Effetti campi ELF (a frequenze estremamente basse - fino a 100 KHz)



L'esposizione a **campi elettrici e magnetici a frequenze ELF** provoca l'induzione di correnti e campi elettrici all'interno del corpo. I campi elettrici e la densità di corrente indotti localmente sono di particolare interesse perché sono collegati alla **stimolazione dei tessuti eccitabili, quali nervi e muscoli**.

I corpi umani o animali perturbano significativamente la distribuzione spaziale di un **campo elettrico ELF**. Alle basse frequenze, il corpo è un buon conduttore e le linee di forza del campo perturbato sono quasi perpendicolari alla superficie corporea. **Sulla superficie corporea esposta vengono indotte delle cariche oscillanti che producono correnti all'interno del corpo**. I risultati fondamentali della dosimetria per quanto riguarda l'esposizione umana a campi elettrici ELF indicano che:

- Il campo elettrico all'interno del corpo è di solito **inferiore di cinque o sei ordini di grandezza rispetto al campo elettrico esterno**.
- Poiché l'esposizione è prevalentemente a campi verticali, la direzione predominante dei campi indotti è anch'essa verticale.
- Per un dato campo elettrico esterno, i **campi indotti più elevati si hanno quando il corpo umano è in contatto perfetto con il terreno attraverso i piedi (elettricamente "a terra")**, mentre i più deboli si hanno quando il corpo è isolato dal terreno (nello "spazio libero").
- La corrente totale che fluisce in un corpo a contatto perfetto con il terreno è determinata dalle dimensioni e dalla forma del corpo (postura inclusa) piuttosto che dalla conducibilità dei tessuti.
- La distribuzione delle correnti indotte nei vari organi e tessuti è determinata dalla conducibilità di quei tessuti.
- La distribuzione dei campi elettrici indotti è anch'essa legata alla conducibilità, ma in misura minore rispetto alle correnti indotte.
- **Esiste inoltre un fenomeno distinto, nel quale una corrente interna al corpo viene prodotta dal contatto con un oggetto conduttore posto in un campo elettrico.**



AZIENDA
ULSS 9
TREVISO

Effetti campi ELF (a frequenze estremamente basse - fino a 100 KHz)



Per i **campi magnetici**, la permeabilità dei tessuti è la stessa di quella dell'aria, pertanto il campo all'interno dei tessuti è uguale a quello esterno. I corpi umani ed animali non perturbano significativamente il campo. La principale interazione dei campi magnetici è data dall'induzione (per la legge di Faraday) di campi elettrici e di densità di corrente nei tessuti conduttori. Le indicazioni fondamentali della dosimetria per quanto riguarda l'esposizione dell'uomo a campi magnetici ELF sono:

- I campi elettrici indotti e le correnti indotte dipendono dall'orientamento del campo esterno.
- I campi indotti nel corpo nel suo complesso sono **massimi quando il campo è orientato orizzontalmente**, in direzione frontale rispetto al corpo, ma nel caso di particolari organi i valori più alti si riscontrano per campi orientati trasversalmente.
- I campi elettrici più deboli sono indotti da un campo magnetico orientato lungo l'asse verticale del corpo.
- Per una data intensità e un dato orientamento del campo magnetico, i campi elettrici più intensi vengono indotti nei corpi più grandi.
- La distribuzione di un campo elettrico indotto è legata alla conducibilità dei vari organi e tessuti. Questi hanno un effetto limitato sulla distribuzione della densità di corrente indotta.



E' stata esaminata la plausibilità di diversi meccanismi proposti di interazione diretta e indiretta dei campi elettrici e magnetici ELF. Molti processi divengono **plausibili solo per campi superiori ad una certa intensità**. La mancanza di chiari meccanismi plausibili non esclude però la possibilità di effetti sanitari anche a livelli di campo molto bassi, purché siano rispettati i principi scientifici fondamentali.

Tra i numerosi meccanismi d'interazione diretta dei campi con il corpo umano che sono stati suggeriti, tre si distinguono come potenzialmente operativi a livelli di campo inferiori agli altri:

I **campi elettrici indotti nei tessuti** dall'esposizione a campi elettrici e magnetici ELF **stimolano direttamente le singole fibre nervose** rivestite di mielina, in modo biofisicamente plausibile, quando l'intensità del campo interno supera pochi volt al metro. Campi molto più deboli possono influenzare la trasmissione sinaptica della rete neurale, e non di singole cellule. Questa elaborazione di segnali da parte dei sistemi nervosi è comunemente utilizzata da organismi pluricellulari per rivelare deboli segnali ambientali.

Quello delle **coppie di radicali** rappresenta un meccanismo accettato attraverso il quale i campi magnetici possono avere effetto su tipi specifici di **reazioni chimiche**, di solito con un aumento della concentrazione di radicali liberi reattivi in campi di bassa intensità e un suo abbassamento in campi di alta intensità. Tali aumenti sono stati osservati in campi magnetici di intensità inferiore a 1 mT.

Cristalli di magnetite, cioè piccoli cristalli ferromagnetici di varie specie di ossido di ferro, si trovano nei tessuti umani ed animali, anche se solo in tracce. Come i radicali liberi, anch'essi sono stati collegati all'orientamento ed alla navigazione delle specie migratorie, mentre la presenza di tracce di magnetite all'interno del cervello umano non è tale da permettere di individuare il debole campo geomagnetico. Calcoli basati su ipotesi estreme suggeriscono un limite inferiore di 5 μ T affinché i campi magnetici ELF agiscano sui cristalli di magnetite.



Non si ritiene che altre interazioni biofisiche dirette dei campi, come rottura di legami chimici, forze applicate a particelle cariche e vari meccanismi di "risonanza" a banda stretta possano fornire spiegazioni plausibili per le interazioni, ai livelli di campo che si incontrano in ambito residenziale e professionale.

Per quanto attiene gli **effetti indiretti**, le cariche superficiali indotte dai campi elettrici possono essere percepite e dare luogo a microscosse dolorose quando si tocca un oggetto conduttore. Correnti di contatto si possono produrre in bambini piccoli che tocchino, ad esempio, un rubinetto della vasca da bagno in alcune abitazioni. Ciò produce piccoli campi elettrici nel midollo osseo, possibilmente al di sopra dei livelli di rumore di fondo. Non si sa però se ciò rappresenti un rischio per la salute.

Le linee ad alta tensione producono, per effetto corona, nuvole di ioni elettricamente carichi. E' stato suggerito che questi ioni possano aumentare la deposizione di inquinanti atmosferici sulla pelle e nelle vie aeree, incidendo in maniera potenzialmente negativa sulla salute. Tuttavia, sembra improbabile che gli ioni corona abbiano più che un piccolo effetto, o che ne abbiano affatto, su rischi a lungo termine per la salute, anche nei soggetti maggiormente esposti.

Nessuno dei tre meccanismi diretti sopra descritti sembra una causa plausibile di aumenti dell'incidenza di patologie, ai normali livelli di esposizione degli individui.

Essi diventano infatti plausibili a livelli di ordini di grandezza superiori, e meccanismi indiretti non sono ancora stati sufficientemente investigati. Questa mancanza di un plausibile meccanismo specifico non esclude la possibilità di effetti nocivi per la salute, ma richiede più solidi dati biologici ed epidemiologici.



Effetti neurocomportamentali

L'esposizione a campi elettrici a frequenza industriale provoca, attraverso effetti di carica elettrica di superficie, precise risposte biologiche che **variano dalla percezione al disturbo**. Tali risposte dipendono dall'intensità del campo, dalle condizioni ambientali e dalla sensibilità individuale. La soglia di **percezione diretta** è compresa tra 2 e 20 kV m⁻¹ per il 10% dei volontari, mentre il 5% dei soggetti ha trovato fastidiosi campi di 15 - 20 kV m⁻¹. La **scarica da una persona verso terra** è stata avvertita come **dolorosa** nel 7% dei volontari in un campo di 5 kV m⁻¹. Le soglie per la scarica elettrica da un oggetto carico attraverso un individuo collegato a terra dipendono dalle dimensioni dell'oggetto e richiedono pertanto una valutazione specifica.

Rapidi impulsi di campi magnetici ad alta intensità possono **stimolare il tessuto nervoso periferico e centrale**. Le persone che **soffrono di epilessia, o che ne sono predisposte**, sono verosimilmente più sensibili a campi elettrici ELF indotti nel sistema nervoso centrale (SNC). Inoltre, la **sensibilità alla stimolazione elettrica del SNC** sembra verosimilmente associata a **crisi convulsive familiari, all'utilizzo di antidepressivi triciclici, ad agenti neurolettici e ad altri farmaci che abbassano la soglia per l'attacco**. La funzionalità della **retina**, che è parte del SNC, può essere alterata da un'esposizione a campi magnetici ELF molto più deboli di quelli che provocano una stimolazione nervosa diretta. Una lieve sensazione di sfarfallio, denominata **fosfene magnetico o magnetofosfene**, deriva dall'interazione tra il campo elettrico indotto e le cellule elettricamente eccitabili della retina.

Si è stimato che la soglia di intensità del campo elettrico indotto nel fluido extracellulare della retina si attesti tra circa 10 e 100 mV m⁻¹ a 20 Hz. Vi è tuttavia una notevole incertezza su questi valori.

Sono meno chiari i risultati di studi riguardo ad altri effetti neurocomportamentali. Generalmente, questi studi sono stati condotti a livelli di esposizione inferiori a quelli richiesti per l'induzione degli effetti descritti in precedenza e hanno fornito al più indicazioni di effetti sottili e transitori. Al momento attuale, le condizioni necessarie per provocare questo tipo di risposte non sono ben definite. Ci sono dati che suggeriscono effetti, dipendenti dal campo, sul **tempo di reazione** e sull'**accuratezza nell'effettuare alcuni compiti cognitivi**, avvalorati dai risultati di studi sull'attività elettrica generale del cervello. Studi sulla capacità dei campi magnetici di alterare la **qualità del sonno** hanno fornito risultati contraddittori. Alcune persone dichiarano di essere **ipersensibili ai campi elettromagnetici** in generale. Tuttavia, i dati forniti da studi di provocazione in doppio cieco suggeriscono che i sintomi descritti non siano correlati all'esposizione a campi elettromagnetici.

Esistono solo indicazioni non coerenti e non definitive che l'esposizione a campi elettrici e magnetici ELF causi sintomi depressivi o suicidi. La relativa evidenza è considerata quindi inadeguata.



Sistema neuroendocrino

I risultati di studi su volontari e di studi epidemiologici condotti in ambiente residenziale e professionale suggeriscono che il sistema neuroendocrino **non venga negativamente influenzato dall'esposizione a campi elettrici o magnetici a frequenza industriale**. Ciò è particolarmente vero per i livelli di concentrazione di specifici ormoni circolanti, tra cui la **melatonina** rilasciata dalla ghiandola pineale, e per un certo numero di ormoni rilasciati dalla ghiandola pituitaria e **coinvolti nel controllo del metabolismo e dei processi fisiologici**.

Non è stato osservato, in diverse specie di mammiferi, nessun effetto coerente sugli ormoni correlati a stress dell'asse pituitario-adrenalinico, con la possibile eccezione di un breve stato di stress all'inizio di un'esposizione a campi elettrici ELF di livello così alto da poter essere percepiti. Analogamente, sebbene gli studi effettuati siano pochi, si sono ottenuti risultati prevalentemente negativi o non coerenti per quanto riguarda effetti sui livelli dell'ormone della crescita e di ormoni coinvolti nel controllo dell'attività metabolica o associati al controllo della riproduzione e dello sviluppo sessuale.

Nel complesso, questi dati non indicano che i campi elettrici e/o magnetici alterino il sistema neuroendocrino in modo tale da influire negativamente sulla salute umana; la relativa evidenza è quindi considerata inadeguata.



Malattie neurodegenerative

E' stata avanzata l'ipotesi che l'esposizione a campi ELF sia associata a diverse patologie neurodegenerative. Nel caso del **morbo di Parkinson e della sclerosi multipla**, il numero di studi è piccolo e **non vi sono dati** che indichino una correlazione con queste patologie. Maggiori studi sono stati pubblicati in relazione al morbo di **Alzheimer e alla sclerosi laterale amiotrofica (ALS)**. Alcuni di questi lavori suggeriscono che i soggetti che svolgono "lavori elettrici" potrebbero essere soggetti a un maggior rischio di ALS. Non si è però stabilito finora nessun meccanismo biologico in grado di spiegare l'associazione, anche se questa potrebbe essere dovuta a fattori di confondimento connessi ai lavori elettrici, quali le scosse. Nel complesso, l'evidenza di una correlazione tra esposizione a campi ELF e ALS è **considerata inadeguata**. I pochi studi che hanno indagato l'associazione tra esposizione a campi ELF e morbo di Alzheimer sono incoerenti. Comunque, gli studi di migliore qualità, che si sono concentrati sulla morbilità piuttosto che sulla mortalità, non indicano un'associazione. Nel complesso, l'evidenza di un'associazione tra esposizione a campi ELF e morbo di Alzheimer è inadeguata.

Malattie cardiovascolari

Studi sperimentali relativi ad esposizioni sia a breve sia a lungo termine mostrano che, mentre la scossa elettrica costituisce ovviamente un rischio per la salute, è **improbabile che ai livelli di esposizione comunemente riscontrati in ambito ambientale o professionale si verifichino altri effetti cardiovascolari correlati ai campi ELF**. In letteratura sono segnalate diverse alterazioni cardiovascolari, ma gli effetti risultano per la maggior parte piccoli e i risultati non sono coerenti, né all'interno dei singoli studi né tra studi diversi. Salvo una sola eccezione, nessuno degli studi di morbilità e mortalità per malattie cardiovascolari ha evidenziato correlazioni con l'esposizione. Resta oggetto di speculazione l'esistenza o meno di una specifica associazione tra esposizione e alterazione del controllo autonomo del cuore. Nel complesso, i dati non confortano un'associazione tra esposizione a campi ELF e malattie cardiovascolari.



Immunologia ed ematologia

Le indicazioni di effetti dei campi elettrici o magnetici su componenti del **sistema immunitario** sono generalmente non coerenti. Gran parte delle popolazioni cellulari e degli indicatori funzionali non venivano alterati dall'esposizione. Tuttavia, in qualche studio sull'uomo con campi variabili tra 10 μ T e 2 mT sono state osservate variazioni nelle cellule **natural killer**, sia nel senso di una diminuzione sia in quello di un aumento del numero delle cellule, e nella conta totale dei globuli bianchi, che non hanno mostrato cambiamenti o diminuzioni di numero. In studi su animali si è riscontrata una riduzione dell'attività delle cellule **natural killer** nella femmina di topo ma non nel maschio né in ratti di entrambi i sessi. La conta dei globuli bianchi ha mostrato anch'essa delle incoerenze, con studi diversi che indicavano diminuzioni oppure assenza di variazioni. Le esposizioni degli animali spaziavano su un intervallo ancora maggiore, da 2 μ T a 30 mT. La difficoltà di interpretazione di questi dati, per quanto riguarda il potenziale impatto sulla salute, è dovuta alla grande variabilità delle condizioni di esposizione ed ambientali, al numero relativamente piccolo di soggetti esaminati ed all'ampia gamma di parametri in esame.

Sono stati effettuati pochi studi sugli effetti dei campi magnetici ELF sul **sistema ematopoietico**. Non sono stati evidenziati, negli studi condotti sia sull'uomo che su animali, effetti coerenti dell'esposizione acuta a campi magnetici, o alla combinazione di campi elettrici e magnetici ELF.

Nel complesso, quindi, l'evidenza di effetti dei campi elettrici o magnetici ELF sul sistema immunitario e sul sistema ematologico è considerata inadeguata.



Riproduzione e sviluppo

Nel loro insieme, gli studi epidemiologici **non hanno indicato un'associazione tra effetti nocivi sulla riproduzione ed esposizione della madre o del padre a campi ELF.**

Vi sono alcune indicazioni di un aumento del rischio di aborto associato all'esposizione della madre a campi magnetici, ma queste evidenze sono inadeguate.

Sono state esaminate esposizioni a campi elettrici ELF fino a 150 kV m⁻¹ in diverse specie di mammiferi, anche con studi di grandi dimensioni e nei quali l'esposizione si prolungava su diverse generazioni. I risultati non hanno evidenziato, ripetutamente, alcun effetto nocivo sullo sviluppo.

L'esposizione di mammiferi a campi magnetici ELF **non dà luogo a significative malformazioni esterne, interne o scheletriche**, per campi fino a 20 mT.

Tuttavia, non si possono escludere sottili effetti dei campi magnetici sullo sviluppo scheletrico. Sugli effetti sulla **riproduzione** sono stati pubblicati **pochissimi studi, dai quali non si può trarre nessuna conclusione.**

I risultati di vari studi su modelli sperimentali diversi dai mammiferi (embrioni di pollo, pesci, ricci di mare ed insetti) hanno indicato che i campi magnetici ELF, a livello dei microtesla, possono disturbare il primo sviluppo. I risultati su modelli sperimentali di specie diverse dai mammiferi hanno però, nella valutazione complessiva della tossicità dello sviluppo, un peso minore di quelli dei corrispondenti studi su mammiferi. Nell'insieme, l'evidenza di effetti sullo sviluppo sono deboli e quelle di effetti sul sistema riproduttivo è inadeguata.



Epidemiologia

La classificazione della IARC è stata pesantemente influenzata dall'associazione osservata in studi epidemiologici sulla **leucemia infantile** (evidenza limitata). L'evidenza di altri tumori infantili resta inadeguata.

Successivamente alla monografia della IARC sono stati pubblicati un vari studi sul rischio di **cancro al seno in donne adulte**, in relazione all'esposizione a campi magnetici ELF. Questi studi sono più ampi dei precedenti e meno sensibili a distorsioni, e risultano nel complesso **negativi**. In seguito a questi, l'evidenza di un'associazione tra esposizione a campi magnetici ELF e rischio di cancro al seno viene considerevolmente indebolita e non conforta l'ipotesi di una relazione di causa ed effetto.

Per quanto riguarda **tumori cerebrali e leucemie negli adulti**, i nuovi studi pubblicati dopo la monografia IARC non hanno modificato la conclusione secondo cui, nel complesso, l'evidenza di un'associazione tra campi magnetici ELF e rischio di sviluppare tali patologie resta inadeguata.

Per **altre patologie e per tutte le altre forme di cancro l'evidenza resta inadeguata.**



Effetti acuti

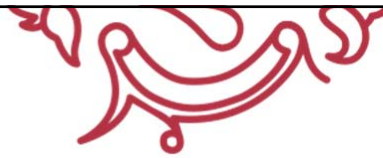
Sono stati accertati effetti biologici acuti che **potrebbero avere conseguenze nocive per la salute**, a seguito di esposizioni a campi elettrici e magnetici di frequenza fino a 100 kHz. Sono quindi **necessari dei limiti di esposizione** e al riguardo esistono linee guida internazionali il cui rispetto fornisce un'adeguata protezione dagli effetti acuti.

Effetti cronici

I dati scientifici che suggeriscono che l'esposizione cronica a campi magnetici a frequenza industriale di bassa intensità (al di sopra di 0,3-0,4 μT) presenti rischi per la salute provengono da studi epidemiologici che delineano un quadro abbastanza coerente di **aumento del rischio di leucemia infantile**. Tra le incertezze nella valutazione del rischio figurano il ruolo che una distorsione nella selezione dei controlli e un'errata classificazione delle esposizioni potrebbe avere nell'osservazione di un'associazione tra campi magnetici e leucemia infantile. Inoltre, praticamente tutti i dati di laboratorio o relativi ai meccanismi di interazione non forniscono sostegno a un'associazione tra campi magnetici ELF di bassa intensità e variazioni delle funzioni biologiche o stati patologici. Nel complesso, l'evidenza non è quindi abbastanza forte da far considerare come causale la relazione, ma è **abbastanza forte da rimanere motivo di attenzione**.

Anche se una relazione di causa ed effetto tra esposizione a campi magnetici e leucemia infantile non è stata stabilita, per fornire dati potenzialmente utili per politiche sanitarie si è calcolato il possibile impatto collettivo sulla salute, assumendo come data la causalità. Questi calcoli dipendono però fortemente dalla distribuzione delle esposizioni e da altre assunzioni e sono quindi molto imprecisi. Assumendo che l'associazione sia causale, si stima che il numero di casi di leucemia infantile nel mondo che potrebbero essere attribuiti all'esposizione possa variare da 100 a 2.400. Questo dato rappresenta comunque tra lo 0,2 e il 4,9% dell'incidenza totale annua dei casi di leucemia infantile, stimati in 49.000 a livello mondiale nel 2000. Quindi, in un contesto globale, l'impatto sulla salute pubblica, ammesso che vi sia, sarebbe limitato ed incerto.

Sono state studiate diverse altre patologie in relazione a una possibile associazione con l'esposizione a campi magnetici ELF. Tra queste, **varie forme di cancro sia nei bambini sia negli adulti, depressione, suicidio, disfunzioni nella riproduzione, disturbi dello sviluppo, alterazioni immunologiche e patologie neurologiche. L'evidenza scientifica a sostegno di una correlazione tra i campi magnetici ELF e l'una o l'altra di queste patologie è molto più debole che per la leucemia infantile e in alcuni casi (ad esempio le malattie cardiovascolari o il cancro al seno) portano a credere che i campi magnetici non causino la malattia.**

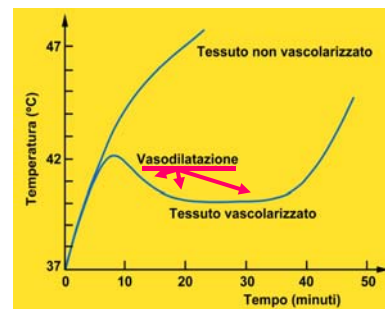
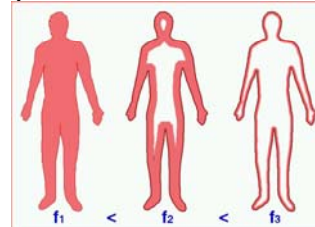


- L'effetto principale è quello termico (se a frequenza > 10 MHz è quasi esclusivo)
- L'effetto dipende anche dalla capacità di compensazione del sistema di termoregolazione e può essere diversificato per organo.
- Organi sensibili (es. testicolo)
- Scarsa vascolarizzazione (es. cristallino)



SAR (Tasso di assorbimento specifico)

- L'aumento di temperatura dipende da:
- Assorbimento energia
- Sistema di termoregolazione
- Stato fisiologico
- Condizioni ambientali:
 - Temperatura esterna
 - Umidità
 - ventilazione



Tipo	Effetti acuti	Effetti cronici
Campi elettici statici	Percezione di effetti superficiali Microscosse	NESSUNO evidenziato
Campi magnetici statici	Con soggetto in movimento: fosfeni, nausea, vertigini, sensazione di sapore metallico in bocca. ?: aritmie, coordinazione occhi mani	?
Campi ELF	Stimolazione tessuti eccitabili (nervi, muscoli) fosfeni, epilessia, microscosse, ?: alterazione dei tempi di reazione	(!?) Dubbi metodologici ma fondato sospetto: leucemia infantile ?: melatonina e ormoni dell'ipofisi, sonno, depressione-suicidio, Alzheimer, sclerosi laterale amiotrofica, sistema immunitario (natural killer), leucemia e tumori cerebrali nell'adulto
Radiofrequenza	Effetto termico	Possibili: cataratta – fertilità ?



- **Ambito di applicazione:** TUTTI gli effetti biofisici **diretti** e gli **effetti indiretti noti**. NON include le ipotesi di effetti a lungo termine.
- **Valori Limite di Esposizione:** riguardano le relazioni scientificamente accertate tra effetti biofisici **diretti a breve termine** ed esposizione a campi elettromagnetici
- RICORDIAMO CHE:

DLgs 81/08
Art 28 comma 1
TUTTI I RISCHI

Art. 2087 codice civile.
Tutela delle condizioni di lavoro.
L'imprenditore è tenuto ad adottare nell'esercizio dell'impresa le misure che, secondo la particolarità del lavoro, l'esperienza e la tecnica, sono necessarie a tutelare l'integrità fisica e la personalità morale dei prestatori di lavoro.



Effetti biofisici **diretti** sono quelli provocati direttamente, tra cui:

- Effetti **termici**
- Effetti non termici: es. **stimolazione muscoli, nervi o organi sensoriali** (Questi effetti possono essere dannosi per la salute mentale e fisica dei lavoratori esposti. Inoltre la stimolazione degli organi sensoriali può comportare sintomi temporanei quali vertigini o fosfeni che possono generare disturbi temporanei o influenzare le capacità cognitive o altre funzioni cerebrali o muscolari e che pertanto possono influire negativamente sulla capacità di un lavoratore di lavorare in modo sicuro (rischi per la sicurezza)
- **Correnti attraverso gli arti**



Effetti biofisici **indiretti**: provocati dalla presenza di un oggetto in un campo elettromagnetico che possono divenire la causa di un rischio per la sicurezza o la salute, quali:

- interferenza con attrezzature e **dispositivi medici elettronici** (compresi stimolatori cardiaci e altri impianti o dispositivi medici portati sul corpo);
- **rischio propulsivo** di oggetti ferromagnetici in campi magnetici statici;
- **innesci di dispositivi elettro-esplosivi** (detonatori);
- **incendi ed esplosioni** dovuti all'accensione di materiali infiammabili provocata da **scintille** prodotte da campi indotti, correnti di contatto o scariche elettriche; nonché
- **correnti di contatto**;



- **Group 1: The agent is *carcinogenic to humans*.**
This category is used when there is *sufficient evidence of carcinogenicity* in humans. Exceptionally, an agent may be placed in this category when evidence of carcinogenicity in humans is less than *sufficient* but there is *sufficient evidence of carcinogenicity* in experimental animals and strong evidence in exposed humans that the agent acts through a relevant mechanism of carcinogenicity.
- **Group 2.**
This category includes agents for which, at one extreme, the degree of evidence of carcinogenicity in humans is almost *sufficient*, as well as those for which, at the other extreme, there are no human data but for which there is evidence of carcinogenicity in experimental animals. Agents are assigned to either Group 2A (*probably carcinogenic to humans*) or Group 2B (*possibly carcinogenic to humans*) on the basis of epidemiological and experimental evidence of carcinogenicity and mechanistic and other relevant data. The terms *probably carcinogenic* and *possibly carcinogenic* have no quantitative significance and are used simply as descriptors of different levels of evidence of human carcinogenicity, with *probably carcinogenic* signifying a higher level of evidence than *possibly carcinogenic*.
- **Group 2A: The agent is *probably carcinogenic to humans*.**
This category is used when there is *limited evidence of carcinogenicity* in humans and *sufficient evidence of carcinogenicity* in experimental animals. In some cases, an agent may be classified in this category when there is *inadequate evidence of carcinogenicity* in humans and *sufficient evidence of carcinogenicity* in experimental animals and strong evidence that the carcinogenesis is mediated by a mechanism that also operates in humans. Exceptionally, an agent may be classified in this category solely on the basis of *limited evidence of carcinogenicity* in humans. An agent may be assigned to this category if it clearly belongs, based on mechanistic considerations, to a class of agents for which one or more members have been classified in Group 1 or Group 2A.



- **Group 2B: The agent is *possibly carcinogenic to humans*.**
This category is used for agents for which there is *limited evidence of carcinogenicity* in humans and less than *sufficient evidence of carcinogenicity* in experimental animals. It may also be used when there is *inadequate evidence of carcinogenicity* in humans but there is *sufficient evidence of carcinogenicity* in experimental animals. In some instances, an agent for which there is *inadequate evidence of carcinogenicity* in humans and less than *sufficient evidence of carcinogenicity* in experimental animals together with supporting evidence from mechanistic and other relevant data may be placed in this group. An agent may be classified in this category solely on the basis of strong evidence from mechanistic and other relevant data.
- **Group 3: The agent is *not classifiable as to its carcinogenicity to humans*.**
This category is used most commonly for agents for which the evidence of carcinogenicity is *inadequate* in humans and *inadequate* or *limited* in experimental animals. Exceptionally, agents for which the evidence of carcinogenicity is *inadequate* in humans but *sufficient* in experimental animals may be placed in this category when there is strong evidence that the mechanism of carcinogenicity in experimental animals does not operate in humans. Agents that do not fall into any other group are also placed in this category. An evaluation in Group 3 is not a determination of non-carcinogenicity or overall safety. It often means that further research is needed, especially when exposures are widespread or the cancer data are consistent with differing interpretations.
- **Group 4: The agent is *probably not carcinogenic to humans*.**
This category is used for agents for which there is *evidence suggesting lack of carcinogenicity* in humans and in experimental animals. In some instances, agents for which there is *inadequate evidence of carcinogenicity* in humans but *evidence suggesting lack of carcinogenicity* in experimental animals, consistently and strongly supported by a broad range of mechanistic and other relevant data, may be classified in this group.