



Aspetti rilevanti di Sicurezza ed Antincendio in ambito sanitario

ESPERTO CEM IN AMBITO SANITARIO

Ing. Aldo DELIA

*Presidente Commissione Integrata in ambito sanitario
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma*

Roma, 05/10/2024



Sorgenti di inquinamento

Ambiente esterno e di vita

Linee per il trasporto dell'energia elettrica

- Maggiore rilevanza dell'induzione magnetica
- Esposizione variabile e dipendente dalla distanza
- Frequenza sorgente 50Hz (ed eventuali armoniche)
- Minore contributo da cabine di trasformazione urbane



Sorgenti indoor

- Appareti alimentati da rete 50Hz (elettrodomestici)
- Maggiore esposizione da rasoi e asciugacapelli
- Esposizione media poco significativa





Sorgenti di inquinamento

Ambiente esterno e di vita

Sistemi radiotelevisivi

- Frequenze radio da 155KHz a 108MHz
- Frequenze TV da 470 a 862 MHz
- Potenze elevate, siti mediamente in aree poco abitate
- Potenziale esposizione fino a qualche decina di V/m



Stazioni radio base per telefonia mobile

- Frequenze da 900MHz a circa 2,1GHz
- Potenze decrescenti da GSM a UMTS
- Fascio di emissione molto stretto sul verticale
- Popolazione esposta raramente sopra 3V/m



Sorgenti di inquinamento

Ambiente esterno e di vita

Radiomobili

- Telefoni cellulari, cordless, radio portatili, CB
- Frequenze da 27MHz a 500MHz (cellulari come SRB)
- Potenze contenute ma distanze brevi dalle sorgenti
- Assorbimento specifico nella testa significativo (soprattutto radiomobili)



Sistemi radar

- Alta potenza, emissione impulsiva
- Frequenze da 1GHz ad oltre 10GHz
- Radionavigazione, meteorologia.
- Aeroporti, navi, porti. Basso impatto protezionistico.



Sorgenti di inquinamento

Ambiente esterno e di vita

Impianti di rilevamento di prossimità

- Sistemi antirapina e antitaccheggio
- Lettori prossimità controllo accessi
- Frequenze da pochi KHz a circa 100KHz
- Breve esposizione.



Sorgenti di inquinamento

Ambienti di lavoro

Campi magnetici statici

- Processi di elettrolisi nella lavorazione dell'alluminio
- Operatori su motrici ferroviarie in C.C.
- Centri ricerche (reattori nucleari, acceleratori)
- Possibili interferenze su stimolatori cardiaci e protesi metalliche
- R.M.N. (campo magnetico statico fino a 2T e componente RF oscillante tra 1 e 100MHz)



Sorgenti di inquinamento

Ambienti di lavoro

Campi e.m. ELF ambienti industriali

- Cablaggi trasporto e impiego energia elettrica
- Sottostazioni autonome impianti industriali.
- Maggior contributo induzione magnetica
- Forni elettrici fusione metalli ($100\mu\text{T}$ - 10mT).
- Saldatrici (sorgenti più importanti per corrente e vicinanza dell'operatore)
- Linee a corrente alternata dell'alta velocità ferroviaria



Sorgenti di inquinamento

Ambienti di lavoro

Riscaldatori industriali a radiofrequenza

- In Italia più di 10.000 apparati
- Apparecchi per riscaldamento a perdite dielettriche (incollaggio e piegatura legno, saldatura e stampaggio plastica, essiccamento fibre tessili). Frequenze da pochi MHz fino a 100MHz. Campo E prevalente.
- Apparecchi per riscaldamento a induzione (saldatura, indurimento, tempera, fusione metalli e semiconduttori). Frequenze da 50Hz sino a poche decine di MHz. Campo B prevalente.
- Apparecchi per diatermia per terapia fisica (marconiterapia 27.12MHz, radarterapia 2.45GHz). Campo E prevalente a valori importanti.
- Elettrobisturi (500KHz-2.4 GHz, 200V/m a 1000V/M)



Sorgenti di inquinamento

Ambienti di lavoro

Apparati per telecomunicazioni

- Operatori su torri e tralicci per installazione e manutenzione sistemi radio FM, TV (esposizione a diverse centinaia di V/m)
- Esposizione rilevante anche per stazioni radio base se la distanza del manutentore è minima.
- Esposizione più contenuta per sistemi radar (rotazione antenna e pulsazione segnale)
- Esposizione personale polizia, vigili del fuoco ambulanze a sistemi radiocomunicazione a 400MHz

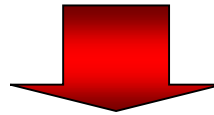




: EFFETTI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI

L'INTERAZIONE DEI CAMPI E.M. CON L'UOMO RIGUARDA:

- I RISCHI,
- LE PROBLEMATICHE,
- GLI EFFETTI BIOLOGICI.



Occorre valutare come l'uomo possa accoppiarsi con i campi e.m. e diventare lui stesso un'antenna.

Il valore dell'energia della radiazione è fissata a 12 eV, per cui è stata fatta la seguente suddivisione:

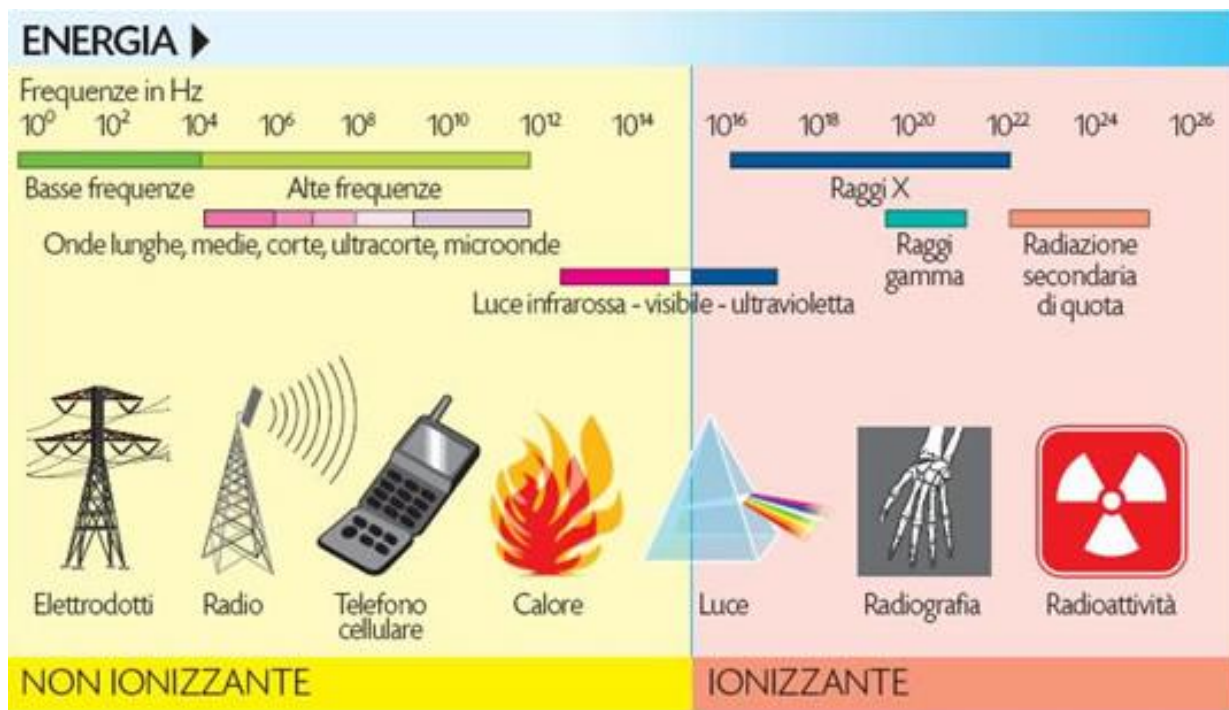
- Radiazioni non ionizzanti hanno un valore di energia < 12 eV
- Radiazioni ionizzanti hanno un valore di energia > 12 eV



EFFETTI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI

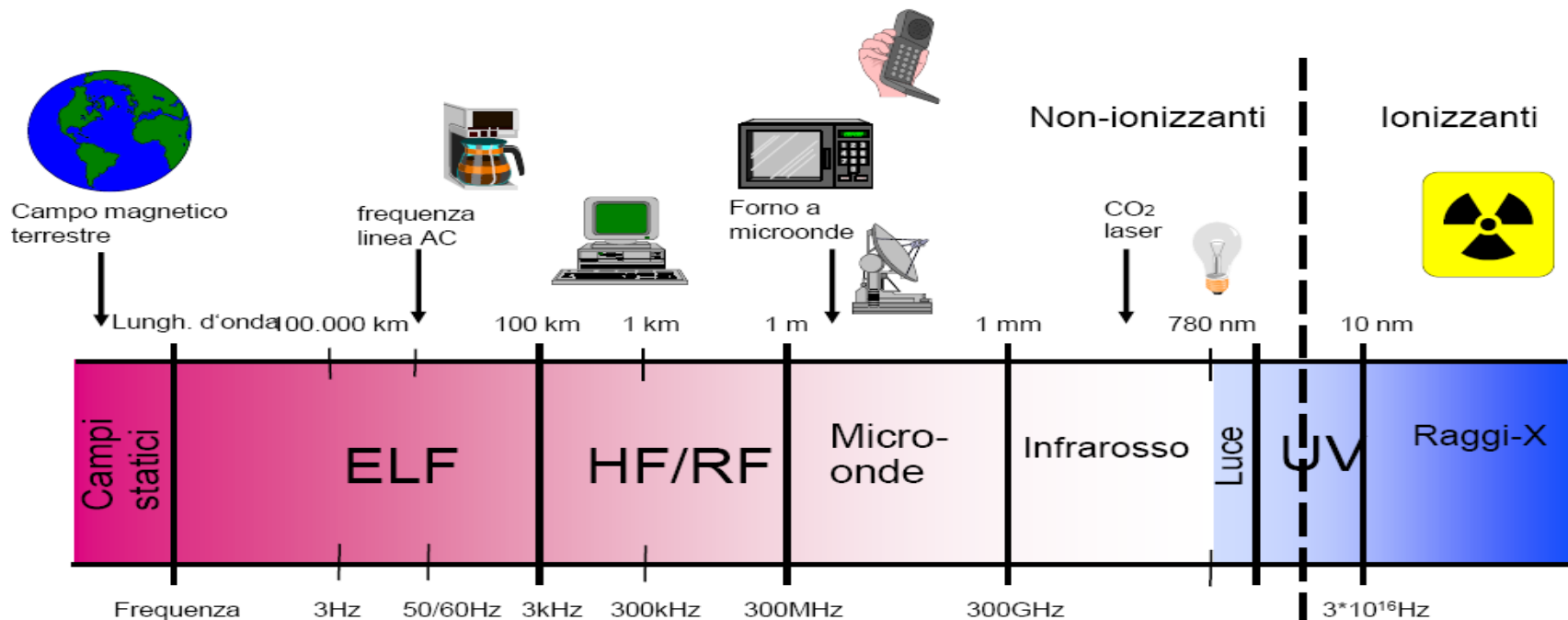
Occorre sottolineare che

lo spettro delle radiazioni non ionizzanti comprende anche gli ultrasuoni (energia meccanica e non elettromagnetica) che si propagano su di un substrato e non nel vuoto come accade per i campi elettromagnetici.





Spettro elettromagnetico





Frequenze tipiche

Frequenza (f)		Lungh.d'onda (λ)
50 / 60 Hz	Distrib. energia	6000 / 5000 km
50 kHz	Saldatura	6 km
27 MHz	CB radio, diatermia	11.1 m
100 MHz	FM radio	3 m
433 MHz	Applicazioni industriali	0.7 m
900 MHz	Telefonia mobile	0.33 m
2.45 GHz	Microonde, industria	0.12 m
6 GHz	Radio digitale	0.05 m
20 GHz	Trasmissioni satellitari	0.015 m

$$\lambda = c / f$$

$$c = 300.000 \text{ km/s}$$



Il rischio da campi elettromagnetici (CEM)

I CEM comprendono in particolare :

LE RADIOFREQUENZE (RF),

LE MICROONDE (MO),

LE COSIDDETTE ELF (radiazioni a frequenze estremamente basse)

I CAMPI ELETTRICI E MAGNETICI STATICI.

I rischi da CEM non comprendono i rischi da contatto con parti in tensione che sono oggetto di altra normativa.



EFFETTI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI

Per valutare gli **effetti dei campi elettromagnetici sul corpo umano** occorre ricordare quali sono i principali elementi che costituiscono l'organismo umano:

- l'acqua costituisce il 90% della composizione alla nascita dell'uomo e poi va via via diminuendo nel corso della vita
- le molecole di azoto
- le molecole di carbonio

Il potenziale di prima ionizzazione degli atomi di H, O, C, N è di 12 eV.

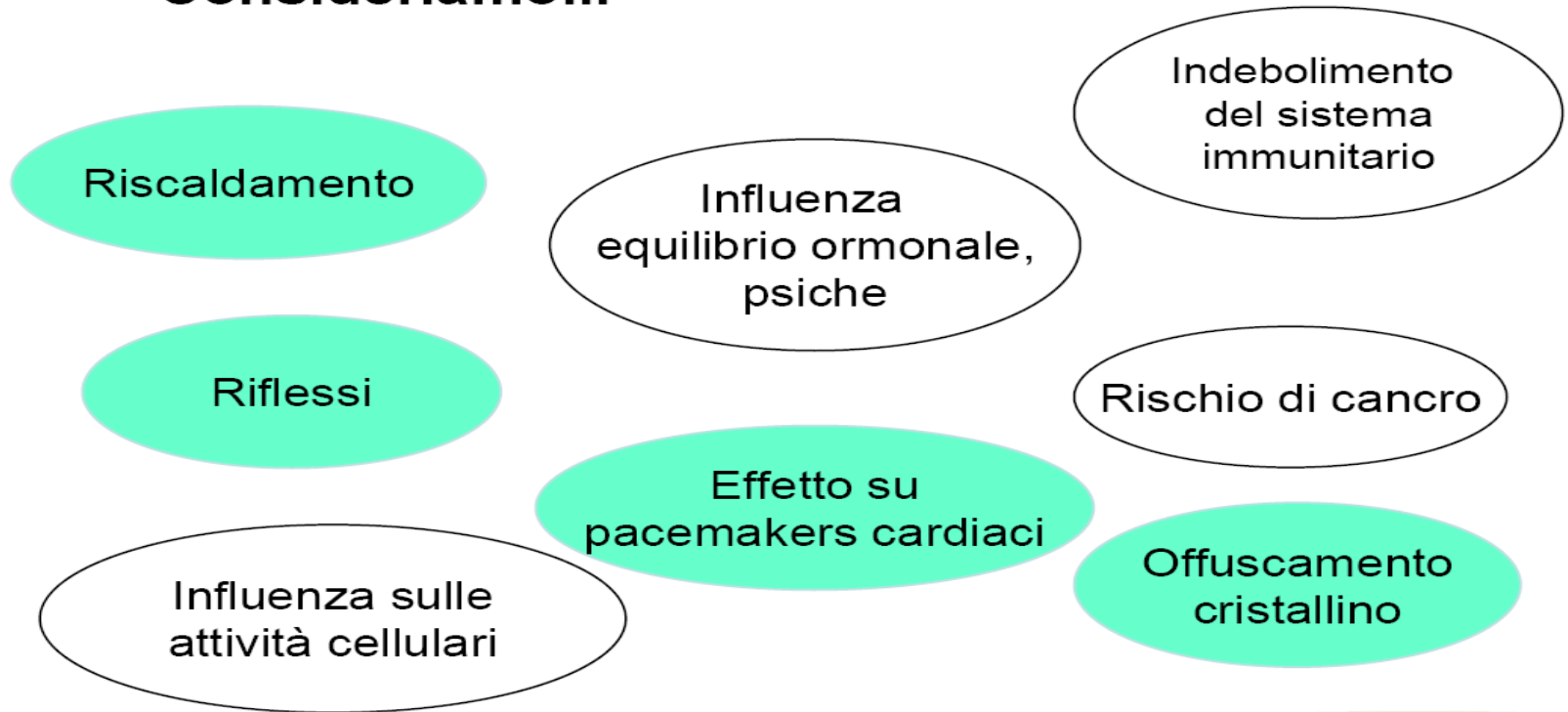


EFFETTI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI

Gli effetti delle RF (fino a 300 MHz con $\lambda = 1\text{m}$) e delle MW (Da 300 MHz a 300 GHz con $\lambda = 1\text{ mm}$) dipendono dal campo elettrico e/o magnetico che possono indurre delle correnti all'interno dei corpi esposti e quindi produrre del calore che se non viene opportunamente smaltito può provocare delle lesioni (scottature) fino all'insorgere dei tumori (frequenze che vanno oltre i 300 GHz riguardano la radiazione ottica).



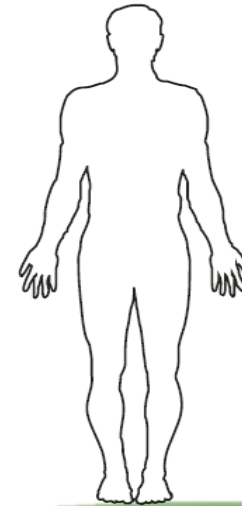
Consideriamo...





AF/RF: Effetti termici

- **RF scalda il corpo dall'interno**
 - ⇒ Non esiste un "termostato" interno
 - ⇒ Recettori del calore sulla pelle
 - ⇒ Il corpo non può reagire in tempo
- **L'esposizione dell'intero corpo a 4 W/kg**
 - ⇒ Riscaldamento di 1 ° C





Effetti indiretti



- Ustioni da radio frequenza
- Protesi elettroniche (es pacemakers)
- Valori limite specifici per i dispositivi



AF/RF: valori tipici SAR

Valore basale (corpo a riposo)	1 W/kg
Leggera attività	3 - 5 W/kg
Radioterapia	10 - 50 W/kg
1° C riscaldamento corporeo	4 W/kg
Limite base da ICNIRP (lavoratore)	Fattore sicurezza 10 ↓ 0.4 W/kg
	Fattore sicurezza 5 ↓
Limite base da EN e DIN VDE (popolazione)	0.08 W/kg



EFFETTI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI

Per ragioni tecnologiche, legate all'accoppiamento con la materia, le frequenze da 100 Hz a pochi kHz non sono molto utilizzate.



EFFETTI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI

I campi e.m. sono sempre stati presenti sulla terra, anche quando l'uomo non era in grado di produrli.

L'uomo si è evoluto in tale ambiente, però oggi la situazione ambientale è tale per cui il livello della radiazione prodotta dall'uomo è piuttosto elevata: l'uomo ha modificato notevolmente l'ambiente, provocando quello che secondo alcuni viene definito un "inquinamento elettromagnetico".



EFFETTI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI

Quantitativamente si può dire che:

- un fotone a 300 MHz ha un'energia di circa 1.35×10^{-9} eV
- un fotone a 300 GHz ha un'energia di circa 1.2×10^{-3} eV



EFFETTI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI

L'acqua ha un forte momento di dipolo elettrico permanente e colpita dal fotone cerca di seguire il verso del campo e.m.; tale campo farà muovere miliardi di volte le molecole d'acqua e tali moti rotazionali faranno sì che si abbiano assorbimenti di energia e quindi ciò produrrà un aumento della temperatura.



EFFETTI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI

Un elemento importante da tenere presente è che la capacità di penetrare della radiazione aumenta all'aumentare dell'energia. Indicato con "d" lo spessore di penetrazione, si vede che è pari a 3-4 cm nel caso di una bistecca posta in un forno a MW.



EFFETTI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI

Per quanto riguarda il forno a MW la frequenza utilizzata è di 2.45 GHz;

il sistema all'interno del forno viene investito da ogni lato dalla radiazione, per cui tutta la massa dell'oggetto viene portata a temperature elevate in tempi molto brevi.

Le pareti interne dei forni a MW sono degli specchi riflettenti per cui non assorbono ma riflettono la radiazione ed il calore va direttamente all'interno dell'oggetto contribuendo a ridurre i tempi necessari per riscaldare gli alimenti.



EFFETTI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI

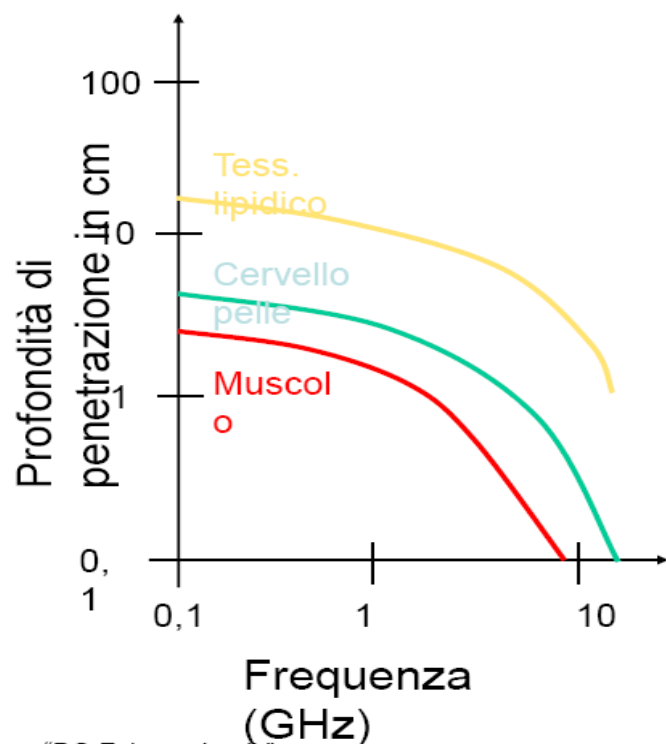
Molto prima della popolarità dei forni a MW esistevano, in campo industriale, diversi riscaldatori che utilizzavano frequenze relativamente basse: 13,6 MHz e c.a. 27 MHz (λ c.a. 11 m) per cui l'operatore che si trovava a contatto con esse era sempre in una situazione di campo vicino. I forni a MW rappresentano oggi l'unica sorgente che è controllata dalla sorgente stessa. C'è un magnetron che viene convogliato in una guida d'onda e quindi si diffonde nell'ambiente rappresentato da superfici riflettenti.



EFFETTI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI

La capacità di penetrazione è legata alla lunghezza d'onda (λ) e non alla potenza, che influenza solo i tempi di riscaldamento.

AF/RF: Profondità di penetrazione



- La profondità di penetrazione dipende dal **tipo di tessuto** e dalla **frequenza**
- La penetrazione decresce alle frequenze più alte
- Oltre 10 GHz: **assorbimento superficiale** $\Rightarrow$ bruciatura della pelle

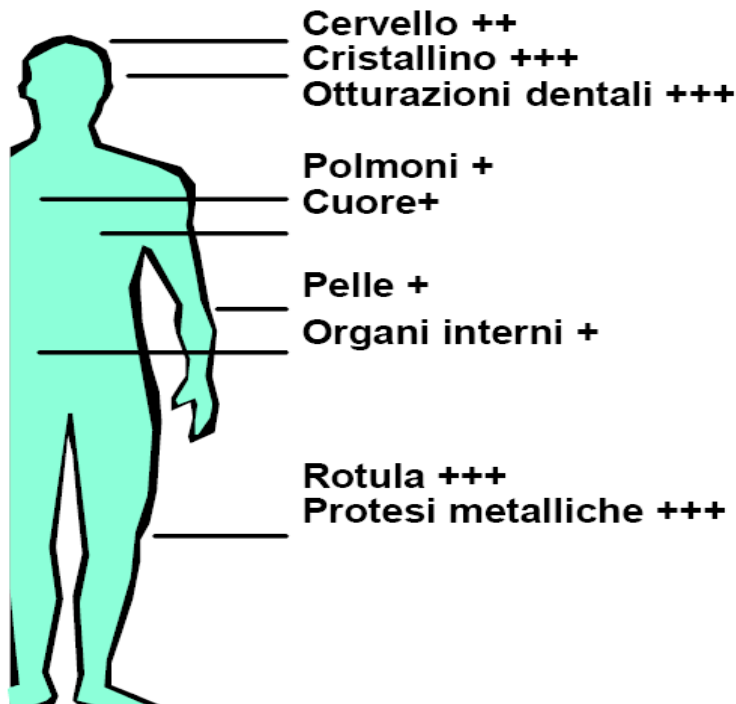


EFFETTI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI

La struttura dell'organismo umano è tale per cui una radiazione incontra diversi strati interagendo con essa: aria, pelle, muscolo ed infine l'osso.



AF/RF: parti del corpo a rischio



Esposizione di un
campo omogeneo di un
segnale non modulato
Basso assorbimento +
Medio assorbimento ++
Alto assorbimento +++



EFFETTI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI

Dal punto di vista sanitario i sensori che danno lo stimolo del caldo e del freddo sono dei sistemi sottocutanei per cui sono estremamente rapidi nella loro risposta.

All'infrarosso si ha che la massa che è interessata all'esposizione è molto piccola, mentre il gradiente termico è elevato per cui ciò fa reagire immediatamente il sensore che invia tale informazione al cervello.



EFFETTI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI

Nel caso delle MW si ha una deposizione elevata di energia nello strato sottopelle fino a raggiungere degli strati in profondità: a tali livelli il gradiente termico è più basso e considerando la capacità della pelle a disperdere tale radiazione si ha che tanto più la frequenza è elevata ($\lambda = 10-100$ cm) tanto più aumenta il tempo di percezione del dolore. Un esempio può essere quello offerto dalla marconiterapia che comporta tali fenomeni ed il dolore è proprio quello generato dal riscaldamento dei muscoli.



EFFETTI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI

Gli effetti termici sull'organismo umano dovuti ai campi e.m. sono estremamente importanti: tutte le normative oggi vigenti si basano proprio sugli effetti termici che determinano la pericolosità (noto lo spettro d'azione e la composizione dose/effetto). Dato un certo intervallo di frequenza (e quindi a partire da una certa lunghezza d'onda $\lambda = c/f$, con $c = 300\text{mila km/s}$) si possono valutare gli effetti, mantenendo costante l'intensità e quindi si può calcolare l'intensità di energia, il livello (threshold level) che fa comparire un determinato effetto.



EFFETTI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI

Per esempio nel caso telefoni cellulari con la vecchia tecnica GSM (Global System for Mobile) il range di frequenza era intorno ai 900 MHz, e poichè nel caso peggiore si aveva un assorbimento da parte della testa del 50% dell'energia irradiata dal cellulare, se si emettevano 3 W si potevano avere fino ad 1.5 W di assorbimento.



EFFETTI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI

Per esempio nel caso telefoni cellulari con la vecchia tecnica GSM (Global System for Mobile) il range di frequenza era intorno ai 900 MHz, e poichè nel caso peggiore si aveva un assorbimento da parte della testa del 50% dell'energia irradiata dal cellulare, se si emettevano 3 W si potevano avere fino ad 1.5 W di assorbimento.



EFFETTI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI

Se l'effetto termico interessa l'intero corpo, può produrre notevoli effetti: un tessuto sottoposto all'esposizione di una certa dose di radiazione presenta un aumento della temperatura, e quindi, dopo un certo tempo di attivazione del meccanismo di termoregolazione, che comporta un abbassamento della temperatura, se l'esposizione non viene arrestata si potrebbe arrivare alla morte del tessuto stesso.



EFFETTI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI

Le stesse condizioni ambientali possono influenzare sul fenomeno dell'assorbimento: nel caso siamo in presenza di un'elevata umidità relativa, si modificherà la capacità di scambio del calore verso l'esterno.



EFFETTI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI

Per quanto riguarda il cristallino, gli effetti possono essere prodotti solo da campi e.m. che vanno da 300 MHz a 3-4 GHz e ciò è dovuto alla natura biologica dell'occhio; l'esposizione deve presentare potenze $> 10 \text{ mW/cm}^2$ (si noti che il livello massimo è di 5 mW/cm^2) ed inoltre la durata del periodo di latenza è proporzionale alla dose assorbita: il rapporto Assorbimento/Riflessione varia al variare della frequenza ed è quindi particolarmente difficile misurare la dose assorbita (cioè l'energia assorbita) nel comune posto di lavoro. Le lesioni vanno poi analizzate secondo i metodi di analisi e di valutazione medica. Si tenga infine presente che l'esposizione ai campi a MW può provocare la riduzione del velo lacrimale tra la cornea e la palpebra e quindi si ha uno sfregamento delle terminazioni nervose; inoltre la denutrizione dovuta ai campi a MW può provocare la cataratta.



EFFETTI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI

2. *Tessuto ben vascolarizzato*: inizialmente presenta una risposta sovrapponibile a quella precedente, si ha un overshoot e poi un rilassamento; ciò è tipico dei muscoli.



EFFETTI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI

Per valutare ciò che accade in un tessuto reale, occorre valutare il SAR (Specific Absorbed Rate, indica quanti W/kg mediamente il corpo umano può assorbire) dai profili di temperatura e notare la non uniformità della profondità: l'interfaccia è tale per cui l'energia viene in parte assorbita prima che venga riflessa. Il corpo umano in parte assorbe ed in parte riflette la radiazione. Nel caso siamo in presenza di una radiazione con frequenza pari a 27,12 MHz questa riesce ad arrivare fino all'interfaccia muscolo-osso. Il trasferimento di energia aumenta all'aumentare con la frequenza e la vascolarizzazione dei tessuti consente la dispersione del calore assorbito. Tutto ciò è comprovato dalle applicazioni medicali: oggi esiste il trattamento del tumore con l'ipertermia. L'ipertermia è tale per cui si sottopone un tessuto ai campi e.m. per cui viene ad essere scaldato anche il tumore; occorre però controllare attentamente i livelli di esposizione per non alterare i tessuti circostanti: infatti ciò può produrre dei gradienti termici all'interno dell'organismo e quindi provocare effetti collaterali.



EFFETTI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI

Per avere gli equilibri termici occorre una certa costanza elettrica e termica, per cui se determino un differenza di temperatura si ha anche una variazione di potenziale che va a perturbare l'equilibrio. Occorre sempre tenere in giusta considerazione gli effetti dovuti ai gradienti termici; si consideri che **45° C** è il limite massimo per tutti i tessuti umani, oltre il quale si possono avere degli effetti irreversibili sulla struttura.



EFFETTI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI

Un elemento da tenere sempre in considerazione sono gli eventuali elementi metallici che possono essere presenti all'interno del tessuto sottoposto a forti campi magnetici: questi elementi si surriscaldano generando delle correnti indotte che vanno a danneggiare permanentemente i tessuti. Si ha quindi a che fare con una corrente di contatto, cioè la scarica elettrica, che è determinata dal fatto che un oggetto metallico immerso in un campo magnetico produce dei potenziali per cui tale oggetto scarica comportandosi come un'antenna. Dal punto di vista protezionistico, se la scarica elettrica fa venire meno al controllo della protezione, può dar luogo a dei seri danni.



EFFETTI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI

Dal punto di vista termico l'uomo presenta una frequenza di risonanza a 60-70 MHz, per cui a seconda di dove cade la frequenza dell'apparecchiatura, se cade nell'intorno di tale frequenza si può avere un aumento della temperatura corporea. Occorre inoltre sottolineare che la frequenza di risonanza si sposta verso destra per gli individui di piccola statura.



EFFETTI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI

E' estremamente importante tenere conto se il corpo è a contatto con il terreno, per cui ha la possibilità di cortocircuitare la RF a terra, oppure no. Per un individuo alto 1,75 m, la frequenza di risonanza è di 70-80 MHz, ma se l'individuo è a contatto con la terra la $f_{ris} = 1/2(70-80 \text{ MHz})$, mentre l'assorbimento è di 10 mW/cm².



EFFETTI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI

Per quanto riguarda gli effetti delle radiazioni a MW sulle gonadi maschili, si deve tenere presente che queste devono trovarsi ad una temperatura di 36°C , cioè leggermente inferiore rispetto alla temperatura sistemica (37°C) affinché possano riprodurre le caratteristiche genetiche dell'individuo con il minor errore possibile. Tanto più aumento la temperatura, tanto più modifico il patrimonio genetico. Tale organo, avendo una circolazione sanguigna piuttosto limitata, presenta una bassa capacità di smaltire e diffondere il calore. Inoltre a tutto ciò va aggiunta la possibilità che si vada a ridurre la velocità degli spermatozoi che quindi non riescono più a fertilizzare gli ovuli femminili.



EFFETTI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI

L'effetto termico è collegato al SAR, cioè al carico termico, mentre l'effetto di stimolazione è collegato alla densità di corrente: se sia ha un campo in cui le linee di forza entrano nel corpo, per frequenze $f < 10$ MHz scorrerà una corrente che contribuisce all'effetto SAR a stimola le cellule nei tessuti che può eccitare. Praticamente si avrà una combinazione della corrente con i campi elettrico e magnetico: quando si ha a che fare con una tale sorgente ($f < 10$ MHz), dal punto di vista della corrente, ho una sorgente che dà luogo ad E e H di una certa entità, per cui il sistema va visto come un insieme di due sorgenti in quanto sia E che H contribuiscono all'insorgenza della corrente nel corpo.



EFFETTI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI

A bassa frequenza è assai difficile scaldare un individuo con la corrente. Il livello di frequenze oltre il quale non si ha più il fenomeno che la corrente diventi la sorgente di stimolazione è di 10 MHz.



EFFETTI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI

Infine si ha l'effetto uditivo e la grandezza significativa che lo caratterizza è la SA (Specific Absorption) espressa in Joule/Kg: rappresenta una quantità di energia e non un flusso.

Tale effetto è dovuto agli stress collegati a campi elettromagnetici pulsati, con impulsi $< 30 \mu\text{sec}$ (vedi per esempio il radar), che determina un effetto adiabatico data la brevità del fenomeno; l'individuo percepisce un suono la cui frequenza è pari a quella di ripetizione degli impulsi: ciò porta ad un aumento della temperatura celebrale che ne fa aumentare il volume provocando un aumento della massa meccanica del condotto uditivo dall'interno verso l'esterno.



EFFETTI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI

Tutto ciò fa comprendere quanto sia importante valutare gli effetti transitori e gli effetti termici. Questo è il quadro dei limiti primari su cui si basano le normative che non tengono affatto conto degli effetti non termici.

I limiti primari, vedendo le normative IRPA, ANSI, Direttiva Europea, progetto CENELEC, hanno in comune le grandezze di base: SAR, Densità di corrente.



SORGENTI DI ENERGIA ELETTROMAGNETICA

Le principali sorgenti a MW sono:

- riscaldamento industriale
- applicazioni mediche (vedi la Risonanza Magnetica le cui macchine arrivano all'ordine dei Tesla -attualmente, in via sperimentale, stanno cominciando a comparire magneti dell'ordine di 7 T – CNR di Pisa. Un magnete a 4 T è installato a Trieste), creando effetti biologici significativi; nella Risonanza Magnetica viene utilizzato l'effetto di risonanza con un campo a RF che viene assorbita all'interno del corpo
- forni a MW
- trasmissioni di energia elettrica (vedere ENEL, FS)
- sistemi di TLC

Considerando frequenze fino a 300 GHz, cioè fino alla luce del visibile, si vede che l'organismo umano si accoppia in modo diverso con la frequenza, cioè l'organismo umano ha un comportamento diverso a seconda della frequenza del campo a cui è sottoposto. Salendo di molto in frequenza si ha poi il fenomeno dell'effetto pelle.



SORGENTI DI ENERGIA ELETTRROMAGNETICA

- I campi statici sono presenti in natura e finora non hanno costituito problemi nocivi. Il rischio, se esiste, è inferiore al rischio del fondo naturale del pianeta. I campi magneto-statici terrestri sono di $50 \mu\text{T}$ (0,5 G).



SORGENTI DI ENERGIA ELETTROMAGNETICA

- Campi a 50 Hz prodotti dai conduttori che trasportano la corrente: i tralicci che sostengono 2 o 3 conduttori opportunamente distanziati fra loro, creano nell'ambiente circostante un campo elettrico (che dipende dalla tensione) e magnetico (che dipende dalla corrente che circola nelle linee) completamente disaccoppiati. Il campo elettrico E (V/m) presenta una distribuzione sotto la linea che dipende dalle fasi; allontanandoci dalla linea si può osservare che i campi decrescono rapidamente. Andando a distanze dal traliccio di 20-30 m si hanno due picchi di 1 kV/m.



SORGENTI DI ENERGIA ELETTROMAGNETICA

Per quanto riguarda l'andamento del campo magnetico H ($\mu\text{T}/\mu\text{A}$) si hanno andamenti tali per cui allontanandoci di 20-30 m si hanno conseguenze tipiche di sorgenti note. Al di sotto della campata di 400 m, a 11 m dal suolo, si ha un campo $E = 5 \text{ kV/m}$ mentre vicino al traliccio si arriva fino a $E = 1 \text{ kV/m}$.

Poichè una linea a 380 kV è tale per cui deve esserci una distanza minima pari a 28 m dalle costruzioni, l'ENEL ha adottato la politica ad innalzare i suoi tralicci (anzichè cambiarli totalmente).



SORGENTI DI ENERGIA ELETTROMAGNETICA

L'andamento del campo elettrico diminuisce man mano che ci si allontana dai cavi, per cui la linea guida è tale per cui occorre mettere dei distanziatori che tengono bloccati i cavi in modo, tra l'altro, di evitare che si attorciglino a causa del vento e che non producano scariche pericolose.



Per valutare quello che viene fatto oggi nel mondo, si consideri che a Montreal le linee ad alta tensione sono aeree e non interrate.

Ci sono anche i trasformatori (che trasformano la Media Tensione a quella di utilizzo) che vengono montati sullo stesso palo. Per tenere conto delle correnti disperse, queste vengono messe a terra attaccandosi ai tubi dell'acqua (ciò non rispecchia proprio quelle che dovrebbero essere le misure di sicurezza).



SORGENTI DI ENERGIA ELETTROMAGNETICA

Le caratteristiche legate alla frequenza sono tali per cui si suddivide l'intervallo delle MW in sotto intervalli. Le radiotrasmissioni utilizzano intere bande di frequenze ed all'interno di queste sono state riservate delle frequenze ISM per usi Industriali, Scientifici e Medici.

Nel caso di alte frequenze, il campo E ed H dipendono sempre più l'uno dall'altro. I campi E ed H, incontrando un corpo materiale durante la loro propagazione, possono interagire con esso e quindi trasferirgli energia.

Si consideri che nel vuoto le due grandezze sono legate dalla relazione:

$$E/H = 377 \, \Omega \text{ (impedenza del mezzo)}$$



SORGENTI DI ENERGIA ELETTROMAGNETICA

Una sorgente materiale ha dimensioni finite ed irraggerà i campi in tutte le direzioni; però ponendoci lontani dalla sorgente stessa, si può arrivare a situazioni tali per cui l'oggetto investito risulti talmente piccolo rispetto al raggio di curvatura da considerare piana la distribuzione del campo e.m..



NATURA CAMPI E.M.

I campi E ed H sono accoppiati in campo lontano, per cui la radiazione può considerarsi come successione di onde piane. L'energia e.m. fornita all'antenna alimentata si allontana dall'antenna stessa. A distanze $r < d$ (campo vicino) le situazioni si complicano ed il rapporto E/H costante, ma dipende fortemente dalla sorgente: le due grandezze, E ed H , vanno allora misurate separatamente.



NATURA CAMPI E.M.

I campi a bassa frequenza sono quelli con λ elevati per cui stiamo sempre in condizioni di campo vicino, poichè altrimenti ci dovremmo porre a distanze di svariati km ($\gg \lambda$) per stare in condizioni di campo lontano (basse frequenze: onde chilometriche).



GRAZIE PER L'ATTENZIONE

Ing. Aldo DEIA

331-75.16.623 – aldo.delia.ing@gmail.com