

PROTEZIONE DA INQUINAMENTO ELETTROMAGNETICO

Fabio Garzia
Dipartimento di Ingegneria Elettrica
Università degli Studi "La Sapienza" di Roma
Via Eudossiana 18
00184 Roma
email: fabio.garzia@uniroma1.it

1. INTRODUZIONE

L'esposizione ai campi elettromagnetici, o radiazioni non ionizzanti, tende sempre a crescere a causa dell'introduzione nell'ambiente di nuove sorgenti artificiali, mentre le radiazioni ionizzanti, al contrario, mantengono un contributo relativamente costante in quanto legato a sorgenti naturali. Pertanto si ha un continuo aumento del livello di fondo nell'ambiente con la conseguenza che la popolazione si trova costantemente esposta a livelli di campo via via crescenti.

I livelli attualmente raggiunti, in tempi molto brevi, superano di parecchie volte il livello naturale, esponendo quindi il corpo umano a situazioni che l'evoluzione biologica non ha dovuto fronteggiare sinora, e verso cui potrebbe non aver sviluppato gli opportuni meccanismi di adattamento, difesa e protezione [1].

Il continuo aumento delle esigenze delle telecomunicazioni ha portato ad una proliferazione del numero di dispositivi di trasmissione telefonica cellulare (ripetitori telefonici o stazioni radio base), televisiva e radiofonica installati ormai ovunque sui tetti delle abitazioni, e quindi all'interno di aree densamente popolate, con frequentissimi sforamenti dei limiti di intensità di campo elettromagnetico previsti per la protezione e la tutela della salute delle persone. Tale situazione viene spesso ulteriormente aggravata dalla presenza di linee elettriche ad alta tensione (elettrodotti) utilizzate per il trasporto dell'energia elettrica, le quali sommano gli effetti dovuti alle loro emissioni di campi elettrici e magnetici a bassa frequenza agli effetti dovuti alle emissioni di campi elettromagnetici ad alta frequenza prodotti dalle altre sorgenti suindicate.

Ciò avviene sovente in edifici in cui i normali occupanti sono maggiormente vulnerabili a tali campi elettromagnetici quali scuole e ospedali o comunque all'interno delle abitazioni. Mentre sono ormai ben chiari e noti gli effetti sanitari relativi a esposizioni acute dell'organismo umano quali: l'aumento della temperatura corporea e di particolari organi interni, la stimolazione di tessuti e strutture eccitabili, le variazioni comportamentali, rispetto ai quali è possibile fissare, con precisione, adeguati limiti di esposizione ai campi elettromagnetici, i possibili effetti a lungo termine sono ancora in fase di studio o comunque i risultati ottenuti dalle varie ricerche scientifiche hanno spesso fornito risultati tra loro discordanti o, addirittura, in alcuni casi contrastanti, provocando un acceso dibattito, tuttora in corso, sulla necessità di adottare o meno alcuni criteri di protezione e sulla validità dei limiti stabiliti dall'attuale legislazione.

2. ONDE ELETTROMAGNETICHE

Ogni onda elettromagnetica, di frequenza f , può essere considerata come una particella priva di massa, denominata fotone, la cui energia è pari a hf , essendo h la costante di Planck pari a $6,63 \cdot 10^{-34}$ J s.

L'utilizzo dell'una o dell'altra dipende dal contesto specifico, essendo comunque concetti complementari.

Se si considerano, infatti, onde di frequenza pari a 2,5 MHz (radiofrequenza), un fotone a tale frequenza sarebbe dotato di un'energia pari a 10^{-8} eV, troppo piccola per essere rivelato singolarmente da un ricevitore di media sensibilità, il quale richiederebbe almeno 10^{10} fotoni. Un numero così elevato di fotoni appare, in media, come un'onda continua. In tale regione domina la natura ondulatoria rispetto a quella corpuscolare.

Se si considerano fotoni nella regione della luce visibile, essi si comportano sia come onde (fenomeni di interferenza e diffrazione che illustreremo nel seguito) che come particelle (effetto fotoelettrico).

Se si considerano lunghezze d'onda inferiori, domina la natura corpuscolare rispetto a quella ondulatoria, data l'elevata energia dei fotoni che possono essere rivelati singolarmente.

I fotoni interagiscono con gli elettroni che ruotano intorno al nucleo di un atomo su livelli, o orbitali, ben definiti. Due orbitali differenti sono caratterizzati da un'energia differente e gli elettroni possono salire a livelli superiori se gli viene fornita la giusta energia e viceversa, cedendo una quantità di energia pari alla differenza di energia tra i due livelli.

L'energia viene assorbita o ceduta mediante fotoni, la cui frequenza è funzione della differenza di energia tra i livelli interessati.

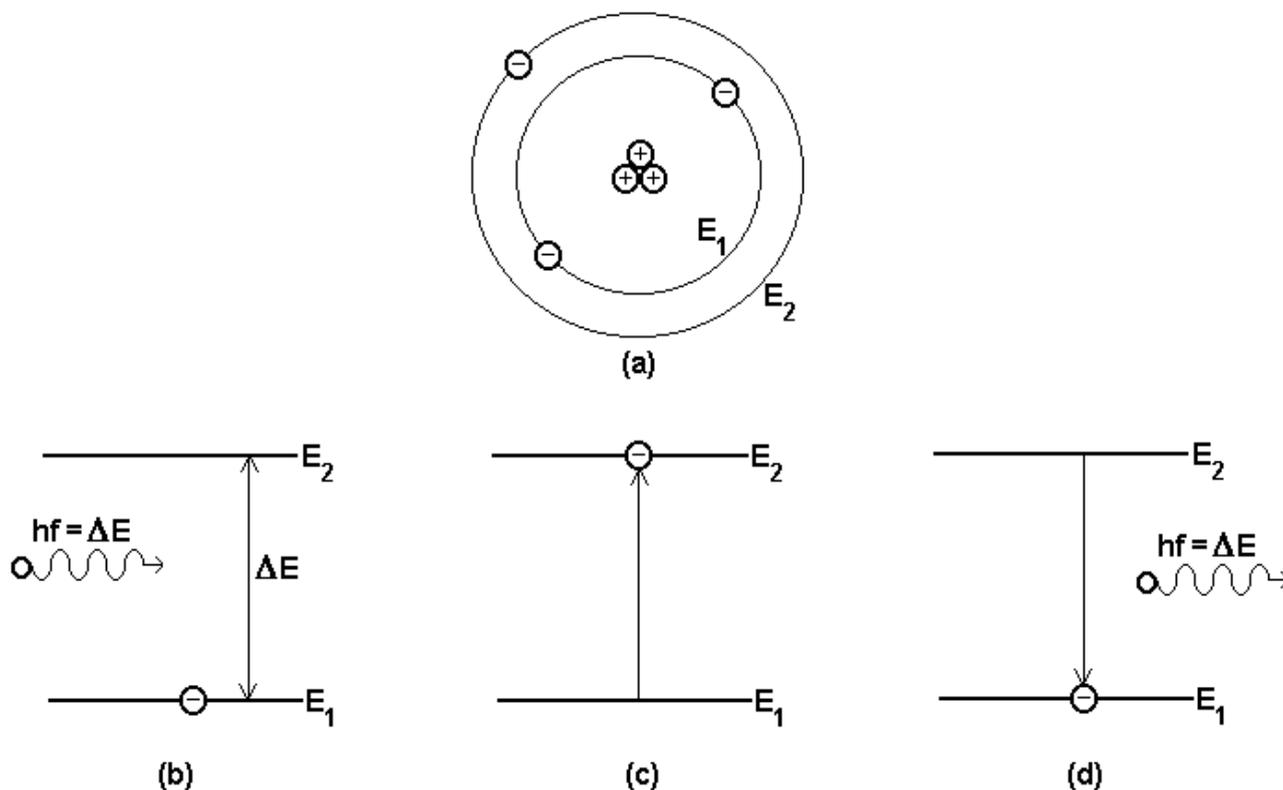


Fig.1 Interazione elettrone –onda elettromagnetica. (a) Struttura di un atomo. (b) Elettrone allo stato di riposo. (c) Elettrone nello stato eccitato dopo l'assorbimento di un fotone di energia hf . (d) Elettrone ritornato allo stato fondamentale dopo l'emissione di un fotone di energia hf .

L'energia può essere assorbita o ceduta eccitando stati vibrazionali, traslazionali rotazionali e altro, sia del singolo atomo sia delle eventuali molecole composte da più atomi legati tra di loro mediante legami specifici.

Se l'energia dei fotoni è molto elevata, essi sono in grado di strappare via gli elettroni dagli orbitali, ionizzando gli atomi, rendendoli estremamente reattivi e provocando eventuali

alterazioni permanenti di struttura intramolecolare o intermolecolare. In tal caso una molecola complessa, quale il DNA può subire dei danni irreparabili.

Il termine di radiazioni non ionizzanti viene quindi utilizzato per tutte quelle radiazioni il cui meccanismo primario di interazione con la materia non è quello della ionizzazione, diversamente si utilizza il termine di radiazioni ionizzanti.

La linea di demarcazione tra radiazioni non-ionizzanti e ionizzanti è fissata, convenzionalmente, a 12 eV, corrispondenti a 100 nm.

Le radiazioni elettromagnetiche non ionizzanti vengono anche denominate NIR (Non Ionizing Radiation), e le sorgenti che le emettono vengono denominate sorgenti NIR.

Le radiazioni elettromagnetiche non ionizzanti la cui frequenza è inferiore ai 300 GHz (microonde) vengono anche denominate campi elettromagnetici mentre le radiazioni elettromagnetiche ionizzanti vengono brevemente denominate radiazioni.

Frequenza (Hz)		Lunghezza d'onda (m)		Nome banda	Tipo di radiazione
10^0	1 Hz	$3 \cdot 10^8$		Campi statici, frequenza industriale, frequenze molto basse	Radiazioni non ionizzanti
10^1	50 Hz	$3 \cdot 10^7$			
10^2		$3 \cdot 10^6$	3 Mm		
10^3	1 kHz	$3 \cdot 10^5$			
10^4		$3 \cdot 10^4$			
10^5		$3 \cdot 10^3$	3 km	Radiofrequenza	
10^6	1 MHz	$3 \cdot 10^2$		Microonde	
10^7		$3 \cdot 10^1$			
10^8		$3 \cdot 10^0$	3 m		
10^9	1 GHz	$3 \cdot 10^{-1}$			
10^{10}		$3 \cdot 10^{-2}$			
10^{11}		$3 \cdot 10^{-3}$	3 mm	Infrarosso	
10^{12}	1 THz	$3 \cdot 10^{-4}$			
10^{13}		$3 \cdot 10^{-5}$			
10^{14}		$3 \cdot 10^{-6}$	3 μ m	Luce visibile	
10^{15}		$3 \cdot 10^{-7}$			
10^{16}		$3 \cdot 10^{-8}$			
10^{17}		$3 \cdot 10^{-9}$	3 nm	Ultravioletto	Banda di transizione
10^{18}		$3 \cdot 10^{-10}$	3 Å		
10^{19}		$3 \cdot 10^{-11}$		Raggi X	Radiazioni ionizzanti
10^{20}		$3 \cdot 10^{-12}$	3 pm		
10^{21}		$3 \cdot 10^{-13}$			
10^{22}		$3 \cdot 10^{-14}$		Raggi γ	

Tabella 1 Spettro di frequenza delle onde elettromagnetiche

Banda di frequenza	Lunghezza d'onda	Nome banda
1 Hz ÷ 10 kHz	330.000 km ÷ 33 km	ELF (Extremely Low Frequency) Frequenze estremamente basse)

10 kHz ÷ 30 kHz	33 km ÷ 10 km	VLF (Very Low Frequency) Frequenze molto basse
30 kHz ÷ 300 kHz	10 km ÷ 1 km	LF (Low Frequency) Frequenze basse
300 kHz ÷ 3 MHz	1 km ÷ 100 m	MF (Medium Frequency) Frequenze medie
3 MHz ÷ 30 MHz	100 m ÷ 10 m	HF (High Frequency) Frequenze alte
30 MHz ÷ 300 MHz	10 m ÷ 1 m	VHF (Very High Frequency) Frequenze molto alte
300 MHz ÷ 3 GHz	1 m ÷ 10 cm	UHF (Ultra High Frequency) Frequenze ultra alte
3 GHz ÷ 30 GHz	10 cm ÷ 1 cm	SHF (Super High Frequency) Frequenze super alte
30 GHz ÷ 300 GHz	1 cm ÷ 1 mm	EHF (Extra High Frequency) Frequenze extra alte

Tabella 2 Spettro di frequenza delle onde elettromagnetiche nella banda 1 Hz ÷ 300 GHz

3. EFFETTI BIOLOGICI E SANITARI

Nell'ambito della protezione dai campi elettromagnetici non ionizzanti si assiste ad una certa confusione nell'utilizzo dei termini di interazione, effetto biologico ed effetto sanitario.

Si parla di interazione quando l'organismo umano, interagisce con un campo elettromagnetico con il risultato di una perturbazione del suo equilibrio precedente. L'interazione non implica, necessariamente, un effetto biologico di una certa rilevanza né, tantomeno, un effetto sanitario.

Si parla di effetto biologico quando, a seguito dell'interazione, l'organismo presenta variazioni di tipo morfologico o funzionale nell'ambito di strutture di livello superiore a quello molecolare, dal punto di vista organizzativo.

Si parla di effetti sanitari quando l'effetto biologico supera i limiti di efficacia dei meccanismi di adattamento dell'organismo, che variano con l'età, il sesso, lo stato di salute, il tipo di attività del soggetto, le condizioni ambientali esterne e la presenza di altri agenti nocivi.

Mentre sono ormai ben chiari e noti gli effetti sanitari relativi a risposte acute dell'organismo umano quali aumento della temperatura corporea e di particolari organi interni, stimolazione di tessuti e strutture eccitabili, variazioni comportamentali, rispetto ai quali è possibile fissare, con precisione, adeguati limiti di esposizione ai campi elettromagnetici, i possibili effetti a lungo termine, quali la cancerogenesi, sono ancora in fase di studio o comunque i risultati ottenuti dalle varie ricerche scientifiche hanno spesso fornito risultati tra di loro discordanti o, addirittura, in alcuni casi contrastanti, provocando

un accesso dibattito, tutt'ora in corso, sulla necessità di adottare o meno alcuni criteri di protezione e sulla validità dei limiti stabiliti dalla legislazione italiana.

In tal senso sono stati creati autorevoli organismi a livello internazionale quali l'ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection o Commissione Internazionale sulla Protezione dalle Radiazioni non ionizzanti), ufficialmente riconosciuto dal WHO (World Health Organization o Organizzazione Mondiale della Sanità), dal IARC (International Agency for Research on Cancer o Agenzia Internazionale), dal ILO (International Labour Office o Ufficio Internazionale del Lavoro), e dal IEC (International Electro-technical Commission o Commissione Elettrotecnica Internazionale). Compito del ICNIRP è quello di promuovere la ricerca in tale campo e raccoglierne costantemente i risultati al fine di fornire un aggiornamento costante sui possibili effetti sull'organismo umano.

3.1 Effetti dei campi elettromagnetici sull'organismo umano

Per quanto riguarda le radiazioni elettromagnetiche, si è già detto che esse vengono suddivise in radiazione ionizzanti e radiazioni non ionizzanti. Le ionizzanti sono rappresentate da tutte quelle radiazioni il cui meccanismo principale di interazione con la materia è rappresentato dalla ionizzazione della materia. Per convenzione si assumono ionizzanti tutte quelle radiazioni la cui energia fotonica è superiore a 12 eV, corrispondente a una lunghezza d'onda di 100 nm.

Le radiazioni la cui frequenza è inferiore a tale limite si definiscono non ionizzanti. Anche se esse non sono in grado di ionizzare la materia, e quindi di alterare le strutture intramolecolari o quelle intermolecolari, possono comunque produrre degli effetti di interazione quali modificazioni termiche, meccaniche, chimiche e bioelettriche, portando all'attivazione di stati traslazionali, rotazionali, vibrazionali, di dipoli permanenti, di carica spaziale di polarizzazione o di oscillazione che ritorna allo stato fondamentale, inducendo rilassamento o dispersione, mediante scattering o cessione di energia ai gradi di libertà disponibili.

I meccanismi di polarizzazione sono rappresentati da: polarizzazione elettrica atomica, con formazione di dipoli; polarizzazione molecolare, con spostamento dalle posizioni di equilibrio dei singoli atomi mediante le cariche scambiate per la formazione del legame molecolare; polarizzazione di orientamento, con torsione dei dipoli permanenti già esistenti; polarizzazione di carica spaziale, dovuta a distorsione della distribuzione delle cariche elettriche intrappolate su interfacce impossibilitate a scaricarsi.

E' dunque evidente che il sistema biologico degli animali appare alle radiazioni elettromagnetiche non ionizzanti come un sistema le cui caratteristiche bioelettriche sono rappresentate da oscillazione di dipoli molecolari, microcorrenti, cariche libere, potenziali tra i tessuti, equilibri ionici di membrane, costanti dielettriche di tessuto, recettori sensibili, nonché risposta risonante dell'intero corpo o di parti di esso.

E' evidente, dunque, che i campi elettrici, magnetici o elettromagnetici, anche se di bassa intensità, mostrano una serie di altri fenomeni di interazione con i tessuti viventi, i cui effetti sono ancora in fase di studio.

L'ICNIRP in un documento prodotto nel 1998 [2] ha già indicato come possibili cause di induzione di leucemia infantile i campi magnetici a bassa frequenza di valore superiore a 0,2 microTesla, conclusione a cui è giunto anche il IARC in un documento prodotto nel 2001 [3], elevando tale limite di rischio a 0,4 microTesla. Per quanto riguarda altri rischi di tipo sanitario tale organismo afferma che allo stato attuale è necessario eseguire ulteriori ricerche poter confermare o escludere con certezza eventuali relazioni esistenti tra campi elettrici, magnetici, elettromagnetici e insorgenza di disturbi e malattie nel corpo umano.

4. LEGISLAZIONE INTERNAZIONALE E ITALIANA

4.1 Introduzione

Gli effetti potenziali dei campi elettromagnetici sull'organismo umano rappresentano un argomento d'interesse scientifico sin dall'inizio del secolo scorso ed hanno ricevuto particolare attenzione negli ultimi 30-40 anni, in seguito al proliferare delle sorgenti di campi elettromagnetici per le applicazioni più disparate.

L'esposizione del pubblico a campi elettromagnetici è regolamentata da una varietà di norme, volontarie o di legge, volte soprattutto alla protezione dagli effetti acuti, di natura soprattutto termica, e non alla protezione dagli effetti a lungo termine in quanto la valutazione dei potenziali rischi dei campi elettromagnetici in tal senso è affetta da parecchie incertezze, come si è già detto in precedenza.

Il prevedere fin da ora dei limiti legislativi volti a prevenire effetti la cui natura non è ancora del tutto nota, porterebbe i soggetti interessati a sostenere ingenti costi economici per far sì che le sorgenti di radiazioni elettromagnetiche non ionizzanti quali elettrodomesti, trasmettitori radio e TV, stazioni radio base per telefonia cellulare e dispositivi vari, rientrino nei limiti più restrittivi, con il risultato di rallentare, eventualmente, lo sviluppo tecnologico in settori strategici per l'economia di una nazione e di scaricare la maggior parte di tali costi sulla collettività per via diretta o indiretta.

Per tale motivo è molto acceso il dibattito tra chi considera la salute dell'essere umano come bene fondamentale da tutelare ad ogni costo e chi considera lo sviluppo economico come un mezzo per la diffusione della ricchezza e del benessere e che non deve essere quindi intralciato da qualunque impedimento considerato superfluo, con l'idea che una parte ridotta della popolazione può eventualmente subire un danno da un determinato fattore se la maggior parte della popolazione può trarre giovamento dal fattore stesso.

La problematica relativa alle radiazioni elettromagnetiche, come già accaduto in passato per situazioni analoghe caratterizzate da incertezza scientifica, porta all'adozione di approcci cautelativi nei confronti di potenziali fattori di danno alla salute. Le principali politiche cautelative [1] adottate sono:

- 1) principio di precauzione;
- 2) prudent avoidance;
- 3) principio ALARA

4.1.1 Principio di precauzione

Il principio di precauzione viene applicato quando ci si trova in una situazione caratterizzata da una elevata incertezza scientifica e si ha necessità di intervenire nei confronti di un rischio che potrebbe rivelarsi grave con il tempo senza attendere i risultati della ricerca scientifica.

Il principio di precauzione è orientato dal rischio, richiedendo una valutazione del rischio, comprese considerazioni di costi/benefici. Il suo impiego è chiaramente mirato a fornire risposte provvisorie a minacce potenzialmente gravi alla salute, fino a quando non siano disponibili dati adeguati per azioni fondate su una maggiore base scientifica.

4.1.2 Prudent avoidance

La "prudent avoidance" è una strategia sviluppata nel 1989 per la gestione del rischio dovuto ai campi elettrici e magnetici a frequenza industriale, definita come l'adozione di provvedimenti per far sì che le persone si mantengano lontani dai campi disegnando opportunamente il tracciato degli impianti e progettando opportunamente sistemi e dispositivi elettronici. In tal senso la "prudent avoidance" fu definita come il prendere misure per evitare le esposizioni laddove ciò comporti costi modesti.

Atti del convegno "La prevenzione degli infortuni, l'igiene del lavoro negli ambienti della ricerca", Consiglio Nazionale delle Ricerche – Servizio di Prevenzione e Protezione, Terrasini (Pa), 2-4 ottobre 2002

Dopo la sua introduzione il principio della “prudent avoidance” si è evoluto verso il significato di provvedimenti semplici, facilmente raggiungibili e a basso costo, volti alla riduzione dell'esposizione a campi elettromagnetici anche in assenza di rischi dimostrabili. In generale, gli enti governativi hanno applicato questa politica solo ai nuovi impianti, dove piccole modifiche di progetto permettono di ridurre i livelli di esposizione del pubblico. Esso non è stato applicato per richiedere modifiche di impianti già esistenti, che in generale risultano molto costose.

Il principio della “prudent avoidance”, per come è definito, prescrive l'adozione di misure a basso costo per ridurre l'esposizione, in assenza di una qualunque previsione scientificamente giustificabile che tali provvedimenti riducano il rischio. Questi provvedimenti sono generalmente sotto forma di raccomandazioni volontarie piuttosto che di limiti o regole stringenti.

4.1.3 Principio ALARA

Il principio ALARA (As Low As Reasonably Achievable, cioè il più basso ragionevolmente raggiungibile), è una politica volta alla minimizzazione di rischi conosciuti, riducendo l'esposizione ai livelli più bassi ragionevolmente possibili tenendo in considerazione i costi, la tecnologia, i benefici per salute pubblica ed altri fattori sociali ed economici. Il principio ALARA viene attualmente utilizzato nel campo della protezione dalle radiazioni ionizzanti dove i limiti sono stabiliti sulla base di un rischio accettabile, piuttosto che sulla base di una soglia. In tale situazione, è ragionevole minimizzare un rischio che si presume possa esistere anche a livelli inferiori ai limiti raccomandati, considerato che ciò che costituisce un rischio accettabile può variare molto da individuo a individuo.

Il principio ALARA non è stato finora applicato per stabilire politiche nei confronti dell'esposizione alle radiazioni elettromagnetiche non ionizzanti, in quanto esso non rappresenta propriamente una politica adeguata per i campi elettromagnetici, sia che si tratti di linee elettriche o di campi a radiofrequenza, data l'assenza di qualunque valore di rischio atteso a bassi livelli di esposizione e data l'ubiquità dell'esposizione stessa.

4.1.4 Adozione delle politiche di cautela

Le politiche di cautela nei confronti dell'esposizione a campi elettromagnetici hanno acquisito popolarità tra la gente, poiché si pensa che tali politiche offrano una protezione ulteriore contro rischi scientificamente non provati. Tuttavia l'applicazione di tali approcci comporta non pochi problemi. La maggiore difficoltà è data dalla mancanza di chiare evidenze di danni alla salute dovuti a un'esposizione cronica a campi elettromagnetici al di sotto dei livelli raccomandati dalle linee guida, o dalla mancanza di qualunque comprensione della natura del danno sanitario, ammesso che esso esista effettivamente. Mentre il peso delle evidenze che si richiedono per attivare una politica cautelativa è indiscutibilmente inferiore a quello richiesto per definire delle linee guida di esposizione, è chiaro che un rischio deve essere identificato e che occorre una certa comprensione di quali siano le condizioni in cui questo rischio possa verosimilmente presentarsi.

Un'altra difficoltà è rappresentata dall'ubiquità di esposizione a campi elettromagnetici, a livelli e in intervalli di frequenze molto variabili che, insieme alle altre difficoltà elencate rende, quindi, difficile creare politiche cautelative che siano coerenti e obiettive. Se si considera, ad esempio, l'ambiente urbano odierno, in cui sono presenti un'infinità di sorgenti a radiofrequenza, rappresentate da trasmettitori a bassa potenza per telecomunicazioni sino agli impianti ad elevata potenza per la diffusione radiotelevisiva, in tale contesto è difficile immaginare una politica cautelativa coerente e obiettiva che riduca al minimo l'esposizione ai campi elettromagnetici a radiofrequenza delle stazioni base per telefonia cellulare, data la presenza di sorgenti molto più potenti nella medesima area

urbana. Ed infatti i tentativi di attuare una politica cautelativa per le antenne della telefonia cellulare sono stati generalmente eseguiti caso per caso, senza alcuna attenzione verso altre sorgenti di energia a radiofrequenza caratterizzate da una maggiore potenza di emissione.

4.1.5 Implicazioni per i limiti stabiliti dalle linee guida

Le considerazioni fatte sinora consigliano che l'adozione di una politica cautelativa per i campi elettromagnetici dovrebbe essere applicata con grande attenzione e consapevolezza. I requisiti per tale politica non sembrano soddisfatti, allo stato attuale delle conoscenze scientifiche, per i campi elettromagnetici a frequenza industriale e a radiofrequenza, anche se possono essere giustificate altre politiche correlate, come la "prudent avoidance".

Un requisito di principio è che tali politiche siano adottate solo a condizione che valutazioni di rischio e limiti di esposizione fondati su basi scientifiche non siano minati dall'adozione di approcci cautelativi arbitrari, situazione che si verificherebbe, ad esempio, se i valori limite venissero abbassati fino a livelli tali da non avere alcuna relazione con i rischi accertati, o se fossero modificati in modo improprio ed arbitrario per tener conto delle incertezze scientifiche. E' comunque sempre possibile introdurre politiche di cautela senza minare normative scientificamente fondate.

Esistono ovviamente altri tipi di misure, non legate all'approccio cautelativo, che possono ridurre le preoccupazioni che sorgono, tipicamente, nella popolazione quando vengono proposti nuovi impianti che rappresentano una fonte di emissione elettromagnetica. Queste misure potrebbero comprendere il coinvolgimento o la partecipazione del pubblico in decisioni riguardanti la scelta del sito di linee elettriche, di sottostazioni o di trasmettitori a radiofrequenza. Inoltre i singoli individui possono scegliere di adottare qualsiasi misura ritengano appropriata alla loro situazione e alle circostanze, quali lo spostamento degli apparati che costituiscono fonti di campi elettromagnetici e che si trovano vicino al letto, quali le radiosvegli, il trasferimento dei letti dei bambini in un'area della stanza da letto caratterizzata da un livello di campo magnetico più basso, lo spegnimento delle coperte elettriche prima di andare a letto, l'utilizzo dell'auricolare quando si intrattengono lunghe conversazioni al telefono cellulare, tenendo il telefono ad una opportuna distanza dal corpo. Tali azioni possono essere idonee per i singoli, secondo la loro percezione dei rischi, ma non dovrebbero essere raccomandate dalle autorità nazionali per motivi sanitari, se non dietro basi scientifiche certe.

4.2 Criteri di protezione dai campi elettromagnetici

La continua attenzione da parte dell'opinione pubblica mondiale nei confronti delle radiazioni elettromagnetiche ha spinto varie organizzazioni internazionali quali l'IRPA/INIRC (International Radiation Protection Association / International Non Ionizing Radiation Committee), organizzazione nata nel 1977, sciolta nel 1992 e sostituita dalla ICNIRP (International Commission on Non Ionizing Radiation Protection), l'ANSI/IEEE (American National Standard Institute/Institute of Electric and Electronic Engineers), il CENELEC (Comité Européen de Normalisation Electrotechnique) ad orientarsi verso un criterio comune basato sulla prevenzione degli effetti acuti (che consistono sostanzialmente in un aumento di temperatura nei tessuti legato all'assorbimento di energia dal campo elettromagnetico), per emettere le proprie raccomandazioni per la protezione dai campi elettromagnetici. Tali raccomandazioni consistono nel fissare degli opportuni limiti di esposizione che, in alcuni casi, si riferiscono a differenti categorie di persone esposte e che consistono nei cosiddetti limiti di base o primari e nei livelli di riferimento o limiti derivati.

Atti del convegno "La prevenzione degli infortuni, l'igiene del lavoro negli ambienti della ricerca", Consiglio Nazionale delle Ricerche – Servizio di Prevenzione e Protezione, Terrasini (Pa), 2-4 ottobre 2002

I limiti di base vengono fissati con riferimento alle soglie relative a risposte acute dell'organismo, quali lo stress dovuto ad aumento indotto di temperatura, e da opportuni coefficienti di sicurezza dipendenti dalla norma specifica. I limiti di base sono espressi in termini di grandezze fisiche relative agli effetti sanitari.

I livelli di riferimento vengono espressi mediante delle tipiche grandezze elettromagnetiche esterne al corpo umano che servono alla caratterizzazione dell'ambiente in cui si trova il corpo stesso, e che sono relativamente semplici da misurare utilizzando la strumentazione opportuna. I livelli di riferimento vengono fissati in maniera tale che se in un determinato ambiente i valori del campo elettromagnetico sono inferiori ai suddetti livelli di riferimento, un eventuale organismo esposto non arriverà mai a superare i limiti di base. Può, al contrario, verificarsi una situazione in cui si sfiorano i livelli di riferimento senza superare i limiti di base.

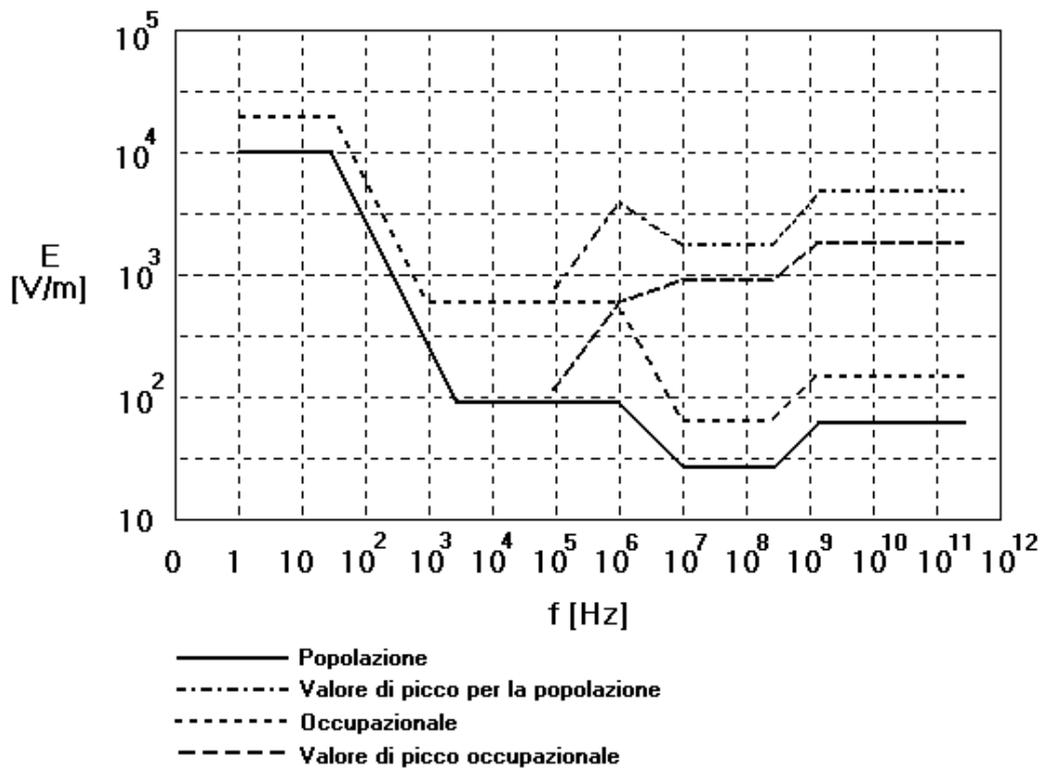
4.3. Riferimenti internazionali

I riferimenti normativi che esistono a livello internazionale per la protezione dai campi elettromagnetici sono volti all'individuazione dei livelli di esposizione al di sopra dei quali possono verificarsi effetti sanitari acuti.

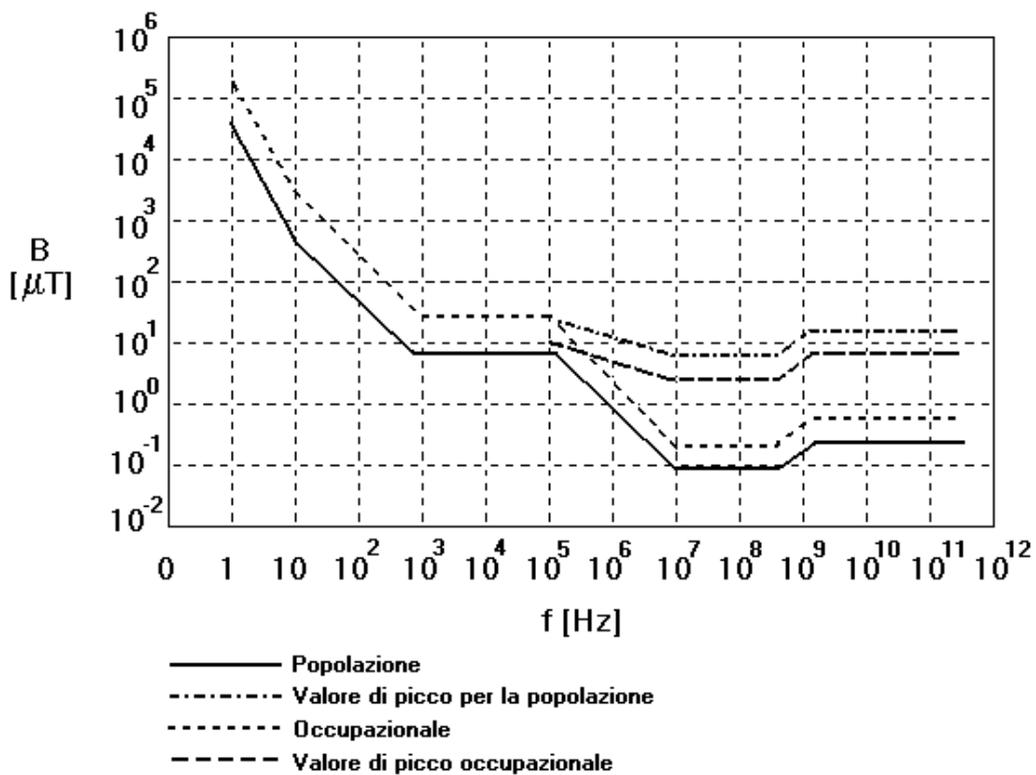
L'organizzazione di riferimento a livello mondiale è stata l'IRPA/INIRC che nel 1992 è stata sciolta e sostituita dall'ICNIRP. La prima organizzazione ha pubblicato nel 1988 delle linee guida [4] che sono state integrate e utilizzate dalla seconda organizzazione per derivare, nel 1998, le nuove linee guida [2] che riguardano l'esposizione a campi elettromagnetici con frequenza fino a 300 GHz sia per gli ambienti di lavoro che per la popolazione, i cui livelli di riferimento sono riportati in tabella.

Gli Stati Uniti, insieme con l'ex Unione Sovietica, sono stati fra i primi a studiare gli effetti dei campi elettromagnetici sull'organismo umano, per motivi soprattutto militari. Le organizzazioni che si sono occupate dell'emanazione di linee guida sono state principalmente l'ANSI/IEEE [5], nel 1991 e riconfermate nel 1999, la FCC (Federal Communications Commission) nel 1996, il NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health), e l'ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienist).

Nell'Unione Europea il CENELEC, organismo a cui appartengono i Comitati Elettrotecnici dei paesi membri tra cui l'Italia mediante il CEI (Comitato Elettrotecnico Italiano), ha pubblicato nel 1994 delle linee guida che fanno riferimento ai limiti di base e ai livelli di riferimento presenti nelle raccomandazioni dell'ICNIRP, sia nell'intervallo 0 Hz÷10 kHz che nell'intervallo 10 kHz÷300 GHz.



LIVELLI DI RIFERIMENTO PER L'ESPOSIZIONE A CAMPI ELETTRICI VARIABILI NEL TEMPO



LIVELLI DI RIFERIMENTO PER L'ESPOSIZIONE A CAMPI MAGNETICI VARIABILI NEL TEMPO

Fig.2 Livelli di riferimento indicati dal ICNIRP [2]

4.4 Legislazione italiana

4.4.1 Legge n. 36/2001

Il legge in oggetto è stata pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale del 7 marzo 2001, n.55, come "Legge-quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici" [6].

In tale legge si coglie la consapevolezza della necessità di una politica integrata di prevenzione e controllo dell'inquinamento ambientale che deve coinvolgere sia l'utilizzo della migliore tecnologia disponibile sia la ricerca sistematica di alternative localizzative, impiantistiche e gestionali.

Le finalità della legge sono: la tutela della salute dei lavoratori, delle lavoratrici e della popolazione dagli effetti dell'esposizione ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici; la promozione della ricerca scientifica per la valutazione degli effetti a lungo termine e l'attivazione di misure di cautela; la tutela dell'ambiente e del paesaggio nonché la promozione dell'innovazione tecnologica volta alla minimizzazione dell'intensità e degli effetti dei campi in oggetto.

Gli ambiti di applicazione riguardano gli impianti, i sistemi e le apparecchiature per usi civili, militari e delle forze di polizia che espongono ai campi in oggetto i soggetti indicati al precedente articolo. La legge in oggetto si applica quindi agli elettrodomesti, agli impianti radioelettrici, agli impianti per telefonia mobile, ai radar e agli impianti di radiodiffusione, si applica limitatamente ai dispositivi di uso domestico, individuale e lavorativo, si applica con riserva nei riguardi delle Forze armate e delle Forze di Polizia, non si applica nei casi di esposizione intenzionale a fini diagnostici e terapeutici.

In tale legge non sono indicati i valori di riferimento per l'esposizione ai campi elettromagnetici, che saranno oggetto di un apposito decreto del Presidente del Consiglio che non è stato ancora varato. In attesa di tale decreto valgono le indicazioni contenute nel decreto del Ministro dell'ambiente 10 settembre 1998 (G.U. 257 del 3 novembre 1998) per quanto riguarda la radiofrequenza [7,8], del decreto del Presidente del Consiglio dei ministri 23 aprile 1992 (G.U. n.232 del 6 maggio 1992) e successive modificazioni e del decreto del Presidente del Consiglio dei ministri 28 settembre 1995 (G.U. n.232 del 4 ottobre 1995) per quanto riguarda i campi elettrici e magnetici a frequenza industriale [9,10].

Per quanto riguarda i limiti a radiofrequenza, contenuti nel decreto del Ministro dell'ambiente 10 settembre 1998, vale quanto indicato nella tabella 3.

Frequenza f (MHz)	Valore efficace di intensità di campo elettrico E (V/m)	Valore efficace di intensità di campo magnetico H (A/m)	Densità di potenza dell'onda piana equivalente (W/m ²)
0,1 ÷ 3	60	0,2	-
3 ÷ 3.000	20	0,05	1
3.000 ÷ 300.000	40	0,1	4

Tabella 3 Limiti di esposizione per la popolazione ai campi elettromagnetici (mediati su un'area equivalente alla sezione verticale del corpo umano e su qualsiasi intervallo di sei minuti).

Per esposizioni della popolazione superiore alle 4 ore, riducendo i limiti nella banda di frequenze compresa tra 3 MHz e 300 GHz, a 6 V/m per il campo elettrico, 0,016 A/m per il campo magnetico, e 0,1 W/m² per la densità di potenza dell'onda piana equivalente.

Per quanto riguarda i campi elettrici e magnetici a frequenza industriale , contenuti nel decreto del Presidente del Consiglio dei ministri 23 aprile 1992, si fissano i limiti di 5 kV/m per il campo elettrico e di 0,1 mT per il campo di induzione magnetica negli ambienti o nelle zone “in cui si possa ragionevolmente attendere che individui della popolazione trascorrono una parte significativa della giornata”. Tali limiti aumentano a 10 kV/m per il campo elettrico ed a 1 mT per il campo di induzione magnetica se l’esposizione è ridotta a qualche ora al giorno. Si fissano inoltre le distanze di sicurezza dei conduttori di linea rispetto a fabbricati adibiti ad abitazione o altra attività che comporta tempi di permanenza prolungati che sono: maggiori di 10 metri per linee a 132 kV, maggiori di 18 metri per linee a 220 kV; maggiori di 28 metri per linee a 380 kV

5. PROTEZIONE DA FONTI DI EMISSIONE DI CAMPI ELETTROMAGNETICI

Il continuo aumento del numero di sorgenti di campi elettromagnetici ha condotto a un corrispondente aumento del livello di fondo dell’ambiente con la conseguenza che l’introduzione di nuove sorgenti deve essere preventivamente valutata attraverso indagini preliminari al fine di evitare il superamento dei limiti previsti dalla legge.

Per tale motivo è necessario agire in due direzioni: la prevenzione, valutando accuratamente il contesto in cui verrà inserita una nuova sorgente, per evitare che la sua introduzione possa condurre ad un sfioramento del livello di campo stabilito dalla legge, e la protezione, attuando tutte quelle tecniche volte a ridurre l’esposizione ai campi elettromagnetici.

Per quanto riguarda la prevenzione, si utilizzano tecniche differenti in funzione della frequenza dei campi (bassa o alta).

Per quanto riguarda la protezione, essa può essere condotta mediante opportuni interventi mitigatori volti a eliminare, o almeno a ridurre, l’accoppiamento fra le sorgenti di campo e i soggetti che risultano esposti. Tali interventi possono essere condotti agendo sulla sorgente, sui soggetti esposti o sullo spazio tra di essi. Gli interventi non sono in genere isolati, in quanto dipendono l’uno dall’altro, e non debbono essere quindi considerati autonomi.

Essi rientrano nelle cosiddette tecniche volte allo studio delle interferenze tra un apparato trasmittente e un apparato ricevente, in cui quest’ultimo è rappresentato dal corpo umano. Tali tecniche vengono studiate, in particolare, dalla cosiddetta compatibilità elettromagnetica che si occupa di garantire il corretto funzionamento di più apparati che emettono onde elettromagnetiche, attuando opportuni provvedimenti di controllo e protezione. Nel caso dell’esposizione umana si è interessati alla riduzione dei livelli di esposizione sino a quelli idonei alla protezione della salute umana.

Esistono comunque una serie di tecniche valide per la protezione dai campi elettromagnetici emessi da sorgenti specifiche a bassa e ad alta frequenza, che si illustreranno nel seguito.

Le sorgenti a bassa frequenza sono sostanzialmente rappresentate da tutti quei dispositivi coinvolti nella generazione, trasporto, distribuzione e utilizzo di energia elettrica quali linee elettriche ad alta e media tensione, stazioni e cabine di trasformazione, impianti elettrici a bassa tensione e apparati utilizzatori.

Le sorgenti ad alta frequenza sono le più numerose e disparate e vengono utilizzate in vari settori quali l’industriale, il domestico, il medicale e sanitario, le radiotelecomunicazioni, la ricerca. Un elenco generale, ma non esaustivo, è riportato nella tabella 4.

Sorgente	Frequenza	Potenza	Valori tipici dei campi elettromagnetici - distanza di riferimento dalla sorgente	Banda
Saldatrice elettrica	10 kHz	-	2000 μ T – 0,3 cm 60 μ T – 0,7 m	VLF (f=10 kHz-30 kHz) (λ =33 km – 10 km)
Circuiti interni TV	15 kHz	-	1-10 V/m – 0,2 μ T	
Forno a induzione	25 kHz	-	1250 μ T – 0,1 m 15 μ T – 1 m	
Riscaldatore a induzione	100 kHz		1 mT – 0,1 m	LF (f=30 kHz-300 kHz) (λ =10 km – 1 km)
Sistemi controllo accessi con badge	115 kHz ÷ 130 kHz	1÷20 W		
Trasmittitore radio AM in onde medie (OL)	155 kHz ÷ 286 kHz	10÷5000 kW		
Monitor video	400 kHz		1 V/m, 0,1 μ T – 0,5 m	
Trasmittitore radio AM in onde medie (OM)	525 kHz ÷ 1605 kHz	2÷600 kW	25 V/m – 10 m 1 V/m – 300 m	
Elettrobisturi ed elettrocauterizzatori	500 kHz ÷ 2400 kHz	0,1÷5 kW		MF (f=300 kHz-3 MHz) (λ =1 km – 100 m)
Riscaldatore industriale e induzione		1÷400 kW	12 A/m – 0,1 m 1 V/m – 300 m	
Bobine per il riscaldamento dei plasmi		1÷400 kW		
Stufe a induzione per riscaldamento domestico-uffici		5÷50 W		
Trasmittitore radio AM in onde corte (OC)	3,95 MHz ÷ 26,1 MHz	100 kW	100 m	
Incollatrice della plastica, carta, tessuti, legno		0,5÷200 kW	100 V/m, 5 A/m - 5 m	HF (f=3 MHz-30 MHz) (λ =100 m – 10 m)
Presse dielettriche	27,12 MHz	1,5 kW	200 V/m – 0,5 m	
Induratrici ad induzione	27,12 MHz		0,5 m	
Sistemi di processo tipo Wood	27,12 MHz	2 kW	0,5 m	
Disinfestatori industriali da insetti e larve		1÷50 kW		
Walkie-Talkies CB	27,12 MHz	5 W	0,2 m	
Trattamenti di diatermia (Marconiterapia)	27,12 MHz		500 V/m - 0,5 m 1000 V/m, 1,6 A/m – sul corpo	

Trasmettitori TV VHF	47 MHz ÷ 230 MHz	5 kW	5 V/m – 50 m	VHF (f=30 MHz-300 MHz) (λ=10 m – 1 m)
Trasmettitori radio in FM	87,5 MHz ÷ 108 MHz	10 kW	10 V/m – 70 m	
Radar metereologici	Banda P 200 ÷ 390 MHz	100÷ 100000 kW		
Telefonia Cittadina	470 MHz	100 W		UHF (f=300 MHz-3000 MHz) (λ=1 m – 0,1 m)
Trasmettitori TV UHF	470 MHz ÷ 862 MHz	5 kW	50 V/m – 100 m	
Telefoni cordless	46 MHz ÷ 60 MHz	0,1÷1 W		
Stazioni radiobase analogici	450 MHz ÷ 465 MHz	8÷35 W		
Compagnie telefoniche	410 MHz ÷ 430 MHz	8 W		
Applicazioni di Diatermia	433 MHz		25 W/m ² – 0,5 m	
Ponti radio	450 MHz	0,5 ÷ 1000 W		
Stazioni radiobase GSM	890 MHz ÷ 960 MHz	50 W/ canale	3 V/m – 20 m	
	1710 MHz ÷ 1880 MHz	10 W/ canale	0,5 V/m – 20 m	
Apparecchi mobili GSM	890 MHz ÷ 960 MHz	2 W	10÷30 V/m – 0,1 m	
	1710 MHz ÷ 1880 MHz	2 W		
Stazioni radiobase TACS	935 MHz ÷ 960 MHz	120 ÷ 2800 W		
Stazione radio base DECT	1850 MHz ÷ 1900 MHz	0,25 ÷ 4 W		
Apparecchi mobili TACS	890 MHz ÷ 915 MHz	0,1÷1 W		
Vulcanizzazioni dielettriche	915 MHz ÷ 2450 MHz		0,7 ÷ 5 W/m ² – 0,3 m	
Schede di rete senza cavi (wireless)	2400 MHz	0,5 W		
Stazioni di terra satellitari (VSAT), marittime globali, sistemi di sicurezza e di protezione	1,5 ÷ 1,8 GHz		8 W/m ²	
Applicazioni di diatermia	2,45 GHz		100 W/m ² – 0,3 m	
Forni a microonde	2,45 GHz		0,06 W/m ² – 0,3 m 0,6 W/m ² – 0,05 m	

Ecografi a effetto Doppler	2,45 GHz	0,5÷2 W		
Sistemi di protezione antitaccheggio	0,9 ÷ 10 GHz		2 mW/m ²	
Radar metereologici	Banda L 390 ÷ 1550 MHz	100÷ 100000 kW		
Sistemi per il controllo del traffico aereo	1 ÷ 10 GHz	0,2÷20 kW	100 m	
Ponti radio	3,7 ÷ 4,2 GHz 5,925 ÷ 6,425 GHz 10,7 ÷ 11,7 GHz	0,5 ÷ 1000 W		
Sistemi per rilevamento passaggio autoveicoli (TELEPASS)	5,7 GHz	0,1÷0,5 kW		
Radar di puntamento	4÷ 6 GHz		42 kW/m ² , 4 kV/m	
Essiccatori e sterilizzatori industriali		5÷100 kW		
Stazioni di terra per la trasmissione verso satelliti	Banda C 5,85 ÷ 6,65 GHz Banda KU 14 ÷ 14,5 GHz Banda KA 27 ÷ 31 GHz	50÷3000 W		SHF (f=3 GHz-30 GHz) (λ=0,1 m – 10 cm)
Stazioni satellitari e trasportabili	13 ÷ 14 GHz 11 ÷ 12 GHz		10 W/m ²	
Radar per il controllo del traffico aereo	9 ÷ 35 GHz	100 mW	2,5 W/m ² – 3 m 1 W/m ² – 3 m	

Radar civili per il controllo del traffico marittimo	Banda S 3 ÷ 3,246 GHz Banda X 5,46 ÷ 5,65 GHz Banda KU 9,32 ÷ 9,5 GHz	50÷1000 kW Potenza media: 5÷100 kW		
Radar militari per la difesa aerea	10 ÷ 40 GHz	50÷1000 kW Potenza media: 5÷100 kW		
Radar metereologici	Banda X 5,2 ÷ 10,9 GHz	100÷100000 kW		
Sistemi radio di comunicazione	10 ÷ 20 GHz	0,5 W	0,5 mW/m ² sul fascio principale	
Segnali video analogici e trasmissioni digitali	30 ÷ 55 GHz	1 W		EHF (f=30 GHz-300 GHz) (λ=10 cm – 1 cm)

Tabella 4 Varie fonti di campi elettromagnetici

Le misure di emissione di campo elettrico, magnetico ed elettromagnetico variano con la frequenza di lavoro della sorgente di interesse, con le caratteristiche della stessa e con l'ambiente in cui essa opera.

L'operazione di misura risulta essere tutt'altro che semplice e in tal senso un valido riferimento è rappresentato dalle indicazioni fornite dal CEI (Comitato Elettrotecnico Italiano) [11,12].

5.1 Protezione da fonti di emissione di campi elettrici e magnetici a bassa frequenza

Per quanto riguarda gli elettrodotti e gli apparati alimentati in corrente alternata a frequenza industriale, si parla di campi magnetici e di campi elettrici, considerando le due grandezze disgiunte l'una dall'altra, diversamente dalla situazione in alta frequenza in cui si opera con campi elettromagnetici.

Come ben noto, l'intensità del campo elettrico (misurato in V/m o più usualmente in kV/m) cui si trova esposto un soggetto è direttamente proporzionale al potenziale (tensione o voltaggio) cui si trova il conduttore e inversamente proporzionale alla distanza, espressa in metri, cui si trova la persona, purché, nello spazio interposto tra la sorgente e il corpo non vi siano degli ostacoli (ad es. pareti di un fabbricato), che schermino parzialmente o totalmente il campo elettrico.

L'intensità del campo magnetico è direttamente proporzionale alla corrente che fluisce nel conduttore e decresce con la distanza che separa il conduttore dalla persona. Deve essere quindi chiaro ed evidente che non si hanno campi magnetici se non c'è circolazione di corrente: ad esempio un elettrodotto a 380 kV nel quale non circoli corrente, perché le linee, ad esempio, sono aperte ad un'estremità ma sia in tensione, non emette campi magnetici significativi.

Come già indicato in precedenza, per ridurre l'esposizione ai campi elettrico e magnetico è necessario in ambedue i casi allontanarsi il più possibile dalla sorgente ovvero attenuare l'entità della sorgente ovvero a parità di intensità interporre tra la persona o la cosa, un opportuno schermo. Esaminando in generale le tre alternative, si può osservare quanto segue:

- 1) nel primo caso, cioè l'allontanamento dalla sorgente, il campo (elettrico e/o magnetico) si attenua con legge inversamente proporzionale alla distanza "R" dalla sorgente ma non è sempre detto che ciò sia possibile ovvero questa scelta potrebbe risultare molto onerosa, si pensi ad esempio ad una fascia di rispetto attorno ad un elettrodotto ed al corrispondente vincolo di utilizzo del territorio con tutti gli annessi e connessi. Pertanto, questa tecnica è utilizzabile esclusivamente per i campi magnetici prodotti dai conduttori all'interno di un fabbricato o alle apparecchiature (utensili od elettrodomestici) presenti nelle abitazioni.
- 2) la seconda tecnica è sicuramente più valida ed operativamente è quello che si tende a fare oggi attraverso varie modalità, in particolare, relativamente agli elettrodotti. Per le apparecchiature e/o per gli utensili i costruttori si adeguano ai valori che i vari paesi impongono.
- 3) in fine l'uso di schermi è la strategia vincente e quella più immediata; per i campi elettrostatici l'interposizione di uno schermo è certamente idoneo a ridurre i kV/m cui risulta esposta una persona; per i campi magnetici la schermatura non è altrettanto semplice anche se efficace.

Nelle figure 3 sono riportati i campi magnetici trasversali prodotti da elettrodotti caratterizzati da varie configurazioni geometriche.

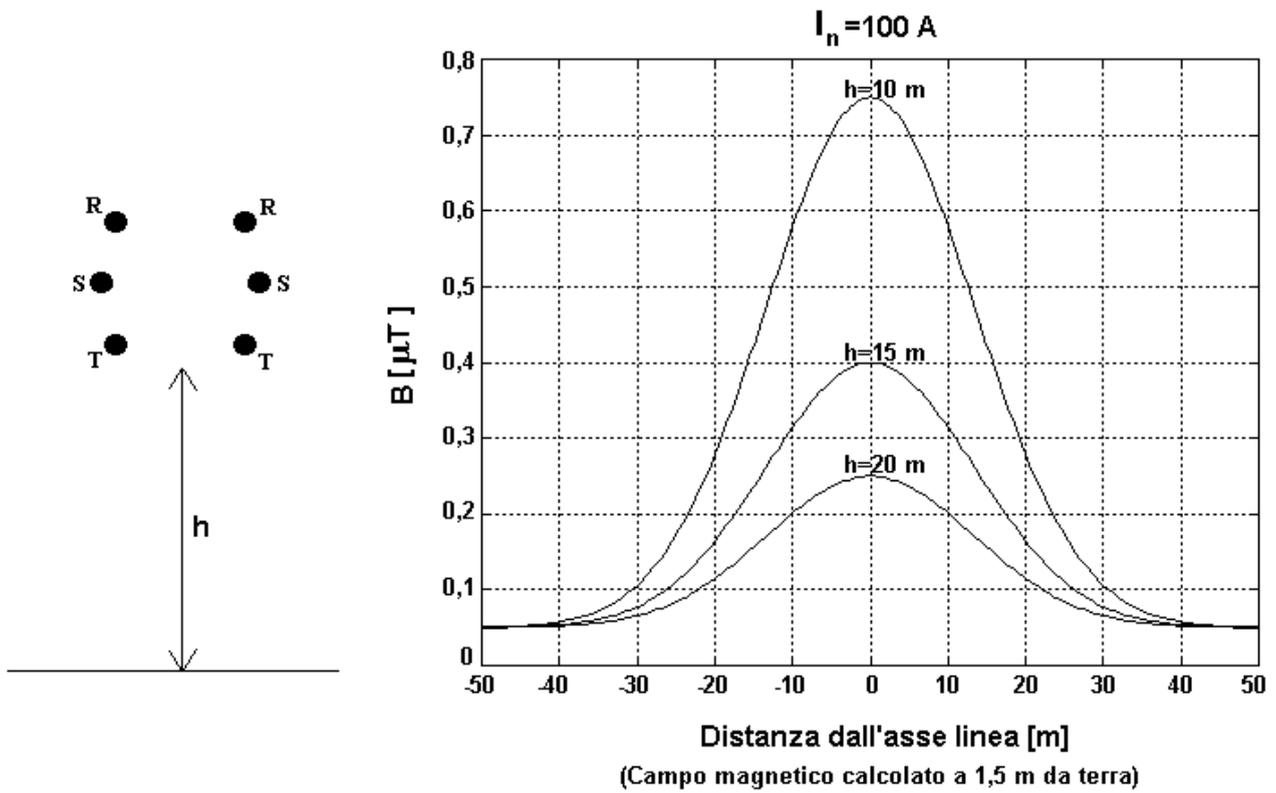


Fig. 3A Campo magnetico prodotto da una doppia terna simmetrica e influenza dell'altezza h .

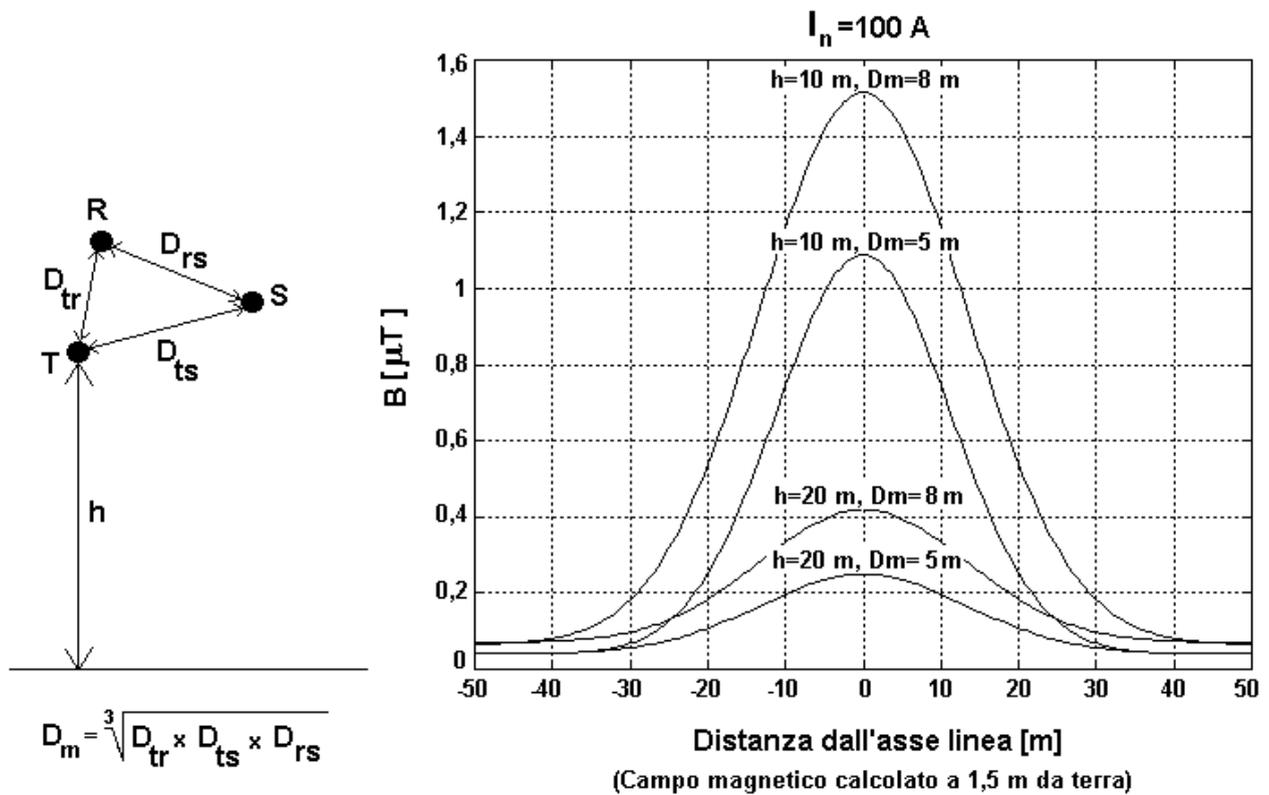


Fig.3B Campo magnetico prodotto da una terna semplice e influenza della mutua distanza tra le fasi

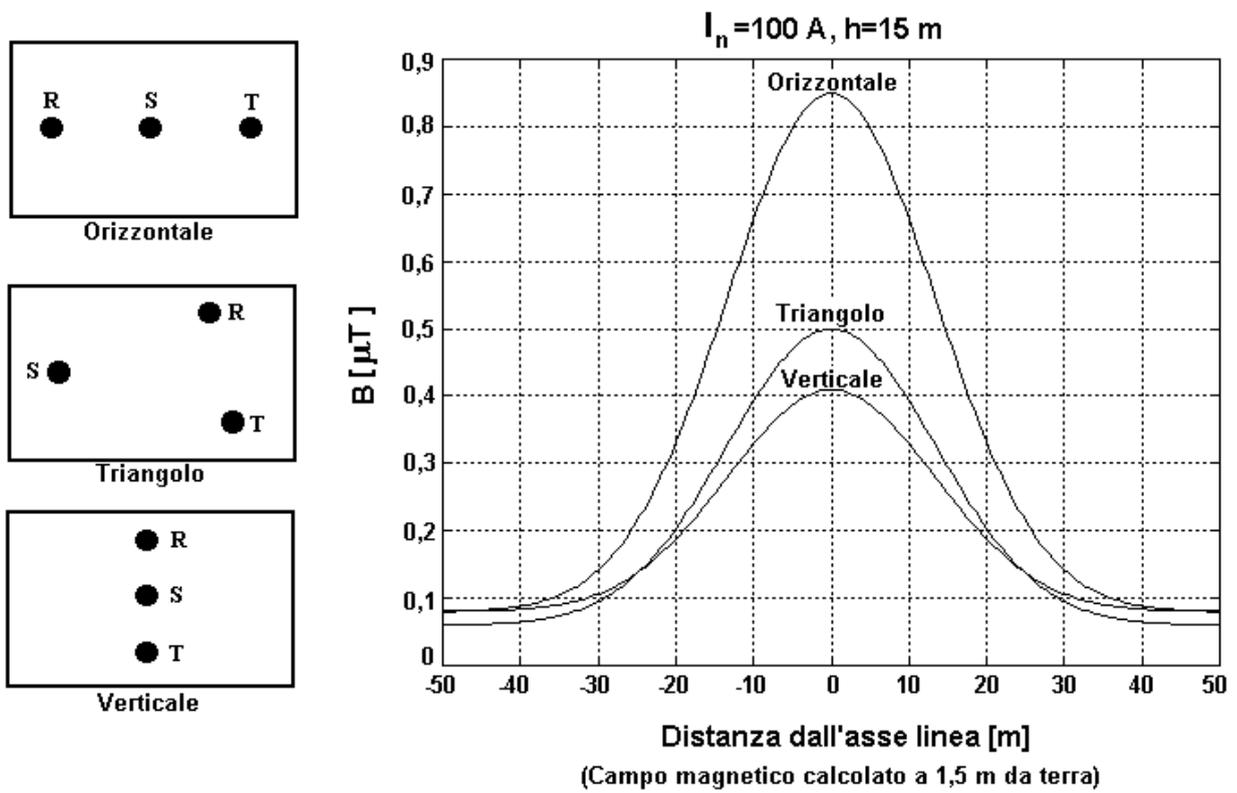


Fig.3C Campo magnetico prodotto da terne semplici e influenza dell'allineamento dei conduttori

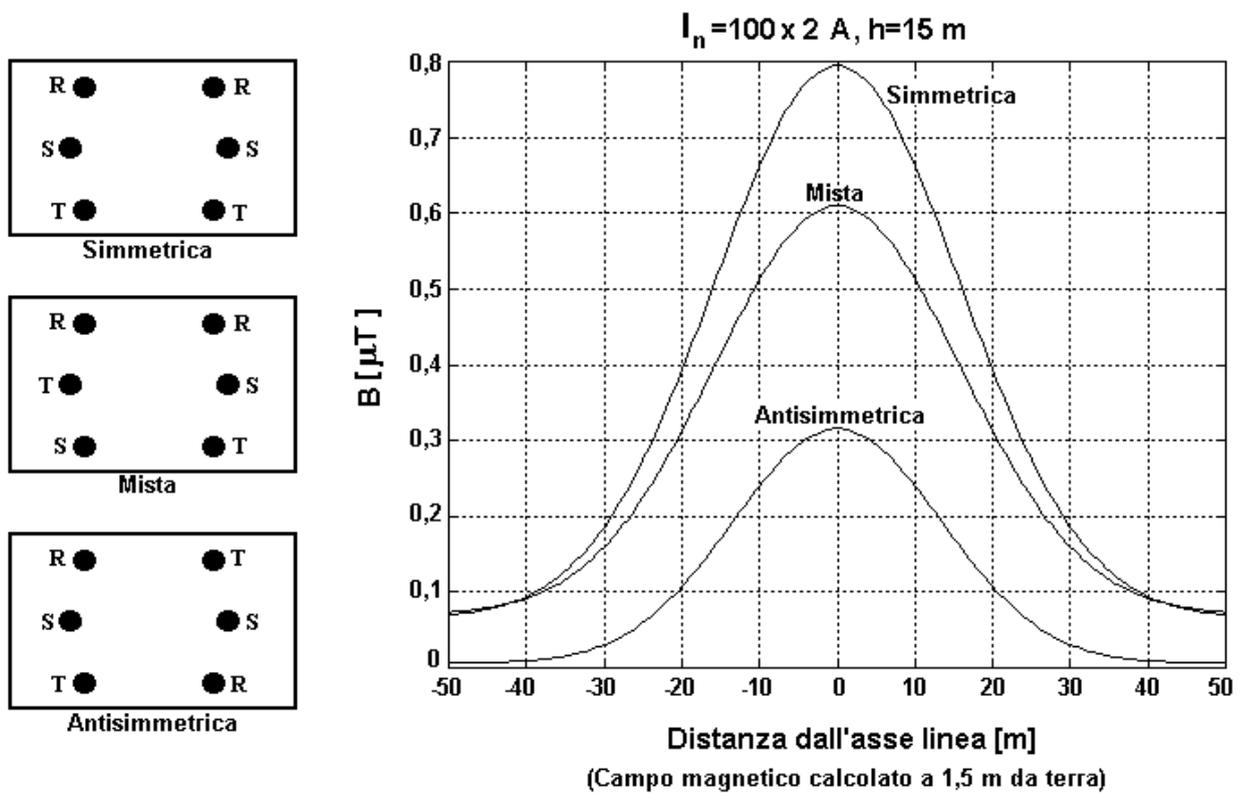


Fig.3D Campo magnetico prodotto da una doppia terna simmetrica (varie configurazioni) e influenza della sequenza delle fasi

5.2 Protezione da fonti di emissione di campi elettromagnetici ad alta frequenza

Per quanto riguarda la protezione dai campi elettromagnetici ad alta frequenza, esistono una serie di tecniche fondamentali valide in generale, che si illustreranno nel seguito, le quali vengono utilizzate per ridurre gli effetti dei campi elettromagnetici. Esse sono rappresentate dalle schermature, dalla messa a terra, dai filtraggi e isolamenti elettrici, dal corretto posizionamento, inteso come interposizione di una corretta distanza tra la sorgente e le persone interessate e il corretto orientamento dell'apparecchiatura al fine di ridurre l'emissione.

Esistono anche una serie di tecniche specifiche che dipendono dalle specifiche situazione e che verranno illustrate nel seguito dopo le tecniche fondamentali.

5.2.1 Tecniche fondamentali

5.2.1.1 Schermature

E' ben noto che gli schermi costituiti da materiali conduttori, tipicamente metalli, rappresentano un ostacolo nei confronti dei campi elettromagnetici sia a causa della riflessione che avviene all'interfaccia aria/metallo, metallo/aria, e sia a causa della dissipazione di energia all'interno del metallo. I fattori di cui sopra possono essere prevalenti l'uno rispetto all'altro in funzione del tipo di metallo, dello spessore e del tipo di campo che lo viene a interessare, che può essere elettrico, magnetico o elettromagnetico.

Per frequenze superiori al MHz, la maggior parte dei metalli è in grado di abbattere quasi integralmente qualunque tipo di campo incidente. Per tale motivo si può isolare la sorgente inserendola in un ambiente opportunamente schermato con metalli, o, al contrario, proteggere le persone in un ambiente chiuso utilizzando la medesima tecnica. Per schermare l'ambiente si può ricorrere a reti metalliche del tipo da recinzione, ricordando che all'aumentare delle dimensioni delle maglie della rete diminuisce il corrispondente potere schermante della rete.

Qualora ci fosse bisogno di praticare delle aperture, è necessario che alla chiusura delle stesse avvenga una corrispondente chiusura elettrica della struttura metallica, al fine di evitare l'ingresso dei campi. Se è presente una saldatura o un contatto meccanico almeno ogni ventesimo di lunghezza d'onda, si può ritenere soddisfacente la continuità elettrica ai fini dell'effetto schermante.

5.2.1.2 La massa e la messa a terra

Quando si parla di massa, si intende la parte metallica, di un circuito elettronico, caratterizzata dalla maggiore estensione geometrica. La massa è rappresentata da tutte le strutture metalliche e dai telai che compongono un'apparecchiatura che possono essere isolati o connessi tra di loro dal punto di vista elettrico. A loro volta le masse possono essere connesse elettricamente all'involucro dell'apparecchiatura, se di tipo metallico, oppure no. La massa viene utilizzata come elettrodo di riferimento per tutti i circuiti interni e viene quindi utilizzata per la connessione di uno dei due poli di alimentazione, utilizzandola come percorso di rientro per le correnti.

Al fine di ridurre il più possibile le emissioni spurie dei campi è fortemente raccomandato collegare tra di loro tutte le masse, insieme all'involucro, e connettere l'intero sistema a terra.

Le connessioni debbono essere efficaci dal punto di vista dei campi elettromagnetici, il che significa che la lunghezza dei conduttori di connessione deve essere inferiore a un ventesimo della lunghezza d'onda, al fine di mantenere ragionevolmente ridotto il valore

dell'impedenza e della radiazione. Inoltre le dimensioni delle sezioni trasversali debbono essere mantenute della maggiore dimensione possibile e compatibile con gli spazi a disposizione, anche se ai fini dei campi elettromagnetici la parte utile alla conduzione è rappresentata dal perimetro più esterno dei conduttori piuttosto che dalla loro area.

E' inoltre importante ricordare che la terra a cui ci si riferisce ai fini della sicurezza non coincide con la terra dal punto di vista dei campi elettromagnetici a radiofrequenza. Infatti la terra di sicurezza viene in genere ottenuta mediante conduttori eccessivamente lunghi e dalla sezione ridotta, che non viene vista come un cortocircuito elettrico dai campi a radiofrequenza. Una buona messa a terra per radiofrequenza può essere ottenuta: cercando di avvicinare il più possibile l'apparecchio in considerazione al suolo; inserendo una lastra metallica, collegata a terra, al di sotto dell'apparecchio o degli apparecchi a cui è necessario connettere elettricamente i singoli involucri, e/o una rete metallica interrata con picchetti interrati e saldati alla rete stessa; ricorrere all'utilizzo di conduttori caratterizzati da una larga sezione e una lunghezza ridotta; utilizzare collegamenti di terra, ovunque sia possibile, la cui distanza reciproca non sia superiore a un ventesimo della lunghezza d'onda.

5.2.1.3 Filtraggi e isolamenti elettrici

I campi elettromagnetici tendono ad essere convogliati dalle strutture metalliche che creano dei percorsi di dispersione, sottraendo energia dagli applicatori che dovrebbero irradiarla.

Una possibile e comunissima via di fuga è rappresentata dalla rete elettrica, che permette l'uscita di radiofrequenza al di fuori degli ambienti schermati e controllati. Un'altra via di fuga è rappresentata dai dispositivi di azionamento e controllo connessi al generatore e all'apparecchiatura.

Tali fughe possono essere evitate ricorrendo a trasformatori di isolamento e di separazione; a trasformatori di neutralizzazioni o longitudinali; a balun; a filtri di rete.

5.2.1.4 Posizionamento

Per posizionamento si intende l'opportuno distanziamento e orientamento fra l'apparecchiatura che emette radiofrequenza indesiderata e l'oggetto vittima dell'emissione. Tale posizionamento risulta essere molto complesso da gestire se l'oggetto è rappresentato dall'uomo, in quanto, in genere, esso risulta essere in movimento rispetto alla sorgente di emissione.

Poiché l'ampiezza dei campi elettromagnetici decresce con la distanza, si può sempre cercare di allontanare il più possibile la popolazione dalla sorgente o, alternativamente, interdire l'accesso nella zona caratterizzata da elevati valori di campo, previa esecuzione di un'opportuna campagna di misure per individuare correttamente l'estensione della zona suddetta.

5.2.2 Tecniche specifiche e interventi mitigatori

Le tecniche specifiche si applicano di volta in volta in funzione delle caratteristiche delle sorgenti di emissione quali stazioni radio base, ponti radio, antenne per radiotelecomunicazione, ecc, in quanto le relative antenne di emissione sono caratterizzate da lobi di irradiazione tipici dei campi elettromagnetici che vengono a generare un volume di rispetto all'interno del quale il campo è superiore ai massimi livelli previsti dalla legge. Ulteriori informazioni sono disponibili nella letteratura specifica [1].

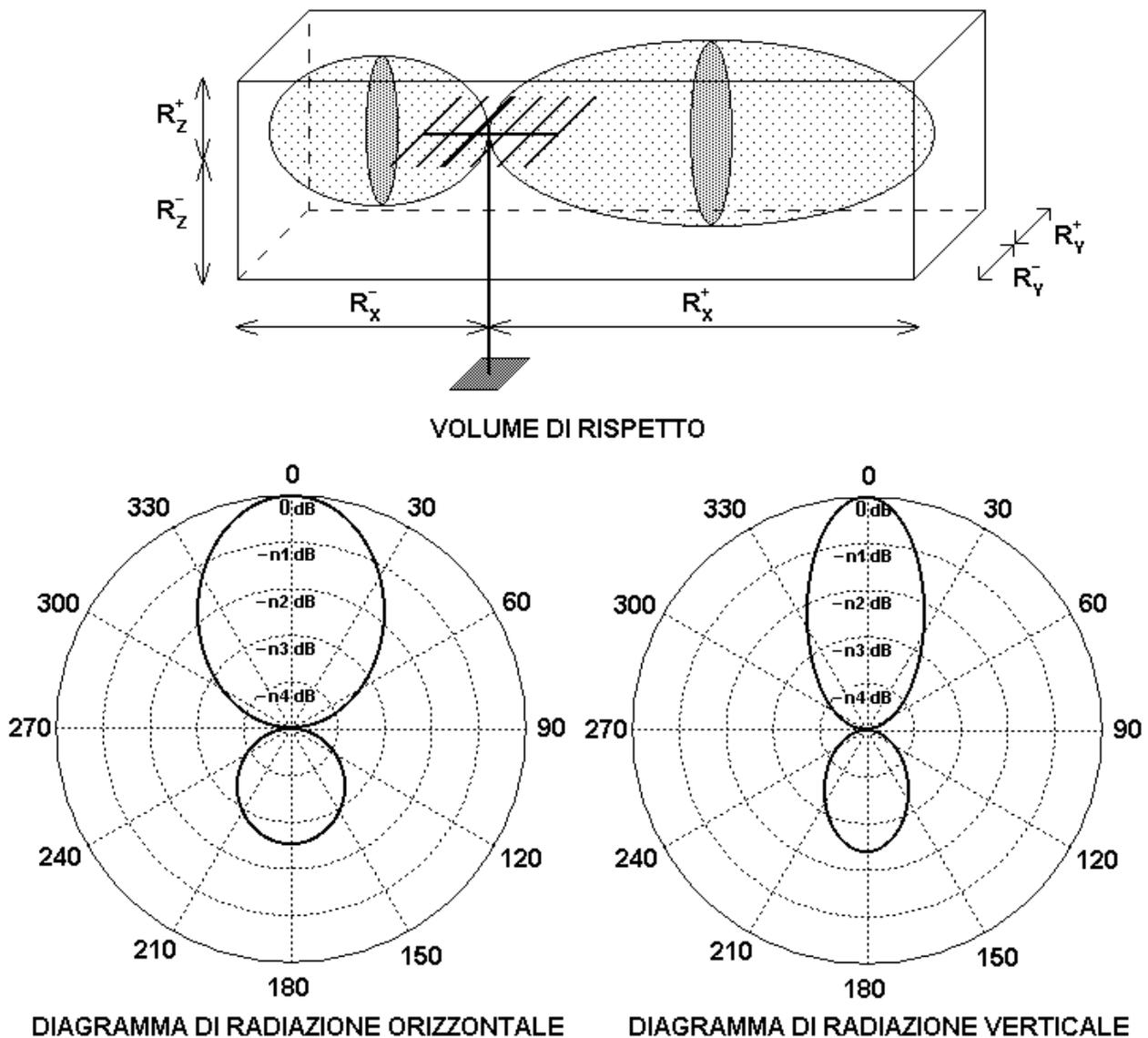


Fig.4 Volume di rispetto e diagrammi di radiazioni per una antenna generica.

Gli interventi mitigatori sono volti a eliminare, o almeno a ridurre, una situazione preesistente di elevato livello di campo elettromagnetico. L'azione di mitigazione può essere sostanzialmente rivolta verso la sorgente o verso la zona da proteggere, e rientra nella categoria, più generali, degli interventi generali illustrati in precedenza.

Per quanto riguarda gli interventi del primo tipo, l'azione più semplice che si possa fare, quando è possibile se l'impianto si trova in una zona extraurbana, consiste nell'eseguire una campagna di misure intorno all'impianto, al fine di verificare l'estensione dell'area all'interno della quale il campo elettromagnetico supera i limiti consentiti dalla legge, e di restringere opportunamente l'accesso a tali zone mediante opportuni sistemi di difesa fisica, quali recinzioni, ed eventualmente di difesa elettronica quali sistemi antintrusione e controllo accessi.

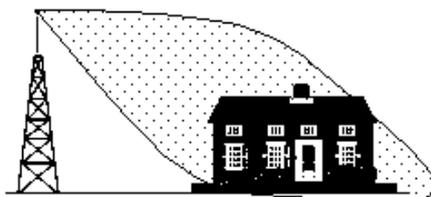
Se l'impianto di trasmissione si trova in territorio urbano, non è in genere possibile evitare che delle persone si possano trovare all'interno della zona caratterizzata da un campo elettromagnetico al di sopra dei limiti consentiti, in quanto, nella maggior parte dei casi, le antenne si trovano collocate su tralicci o sul tetto delle abitazioni e i lobi di radiazione possono interessare direttamente le abitazioni circostanti. In tal caso si può operare un

intervento di riduzione a conformità agendo su parametri differenti. Il primo consiste nel variare, se possibile, la posizione dell'antenna, spostando o eventualmente rialzando il traliccio di supporto, riducendo il livello di campo nella zona di interesse, facendo però attenzione che tale spostamento dell'antenna non comporti un aumento del livello di campo in un'altra zona dove siano presenti delle persone. Oltre allo spostamento fisico dell'antenna, si può operare una variazione della sua inclinazione sia in direzione verticale (tilt) che in direzione orizzontale. Il secondo parametro che si può variare è rappresentato dal diagramma di radiazione, che consente di modificare l'ampiezza, la posizione e l'orientamento dei lobi principali e secondari, riducendo il livello del campo emesso verso le direzioni di interesse ai fini protezionistici. Un altro parametro variabile è rappresentato, semplicemente, dalla potenza di emissione del trasmettitore che rappresenta l'intervento più vantaggioso dal punto di vista economico poiché non richiede alcun intervento fisico sull'antenna e sulle strutture di supporto.

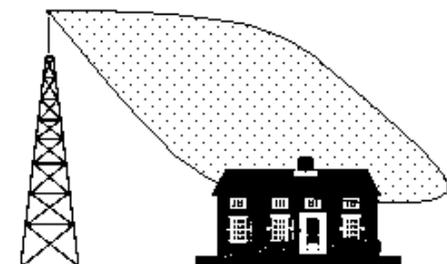
Per garantire l'effettivo raggiungimento degli obiettivi di bonifica è necessario effettuare delle misure a banda stretta prima, durante e dopo l'intervento per essere certi che il superamento dei limiti sia proprio dovuto all'impianto in oggetto e che l'intervento effettuato abbia avuto un esito favorevole.

Tutti gli interventi illustrati devono essere eseguiti direttamente dal proprietario dell'impianto e previa sua autorizzazione in quanto, oltre all'eventuale onere economico, tali interventi comportano una variazione della zona di copertura. Tale eventuale riduzione della copertura può essere ovviata introducendo dei trasmettitori secondari, installati in posizioni favorevoli, al fine di garantire la medesima copertura, se non addirittura superiore, rispetto a quella garantita dall'utilizzo di un solo impianto, pur riducendo il livello di campo al quale viene esposta la popolazione. E' evidente che tale intervento richiede un maggiore onere economico da parte del proprietario dell'impianto.

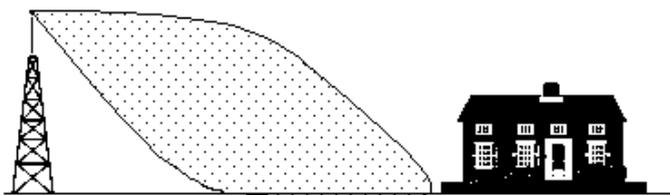
Per quanto riguarda gli interventi rivolti alla zona da proteggere si può ricorrere all'utilizzo di materiali schermanti, rappresentati da lastre di materiale conduttore o da reti metalliche, la cui trama è funzione della frequenza da schermare, accuratamente connessi a terra. Tale intervento risulta essere relativamente costoso, soprattutto se deve essere effettuato all'interno di abitazioni già utilizzate, per le inevitabili difficoltà che esso comporta. Bisogna, inoltre, sempre considerare che i campi elettromagnetici ad alta frequenza subiscono una notevole attenuazione quando attraversano le pareti e le altre strutture che compongono un edificio, ma in alcuni casi tale attenuazione può non rivelarsi sufficiente. Bisogna inoltre ricordare che il campo viene scarsamente attenuato da strutture quali finestre, dato le limitate capacità schermanti dei vetri: in tal senso si possono trovare sul mercato tessuti appositamente studiati per attenuare il campo elettromagnetico ed essere utilizzati come tendaggi, ricordando però di ricorrere a case produttrici di comprovata fama che garantiscano i risultati dichiarati mediante studi scientifici e ricerche per non avere spiacevoli sorprese dopo l'acquisto e l'installazione.



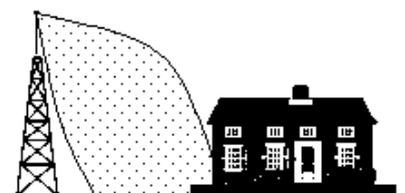
SITUAZIONE DA MITIGARE



**MITIGAZIONE PER
INNALZAMENTO**



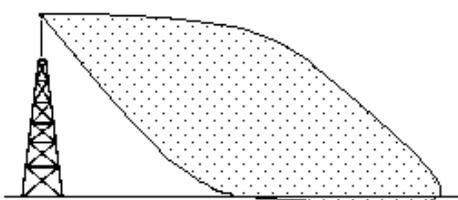
**MITIGAZIONE PER
ALLONTANAMENTO**



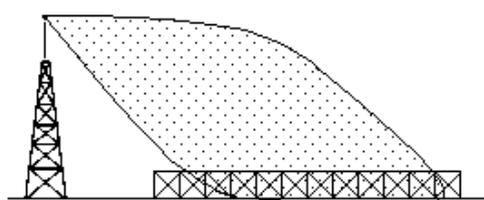
**MITIGAZIONE PER MODIFICA DI
INCLINAZIONE DELL'ANTENNA
(TILT)**



**MITIGAZIONE PER MODIFICA TILT E
INTRODUZIONE DI TRASMETTITORI
SECONDARI**



SOLUZIONE DA MITIGARE
(Libero accesso ad area caratterizzata
da elevati livelli di campo)



**MITIGAZIONE PER RESTRIZIONE
DELL'ACCESSO**

6. CONCLUSIONI

Da quanto detto sinora si è visto quanto sia complesso e multidisciplinare il settore della protezione dall'inquinamento elettromagnetico e come sia necessario essere in possesso di competenze specifiche in vari campi per affrontare le problematiche correlate.

Al fine di evitare interventi eccessivamente onerosi e comportamenti non adeguati rispetto ai possibili pericoli effettivi, l'approccio raccomandato è quello che si ispira ai principi di cautela, in maniera tale da prevenire esposizioni eccessive ai campi elettromagnetici e proteggere dagli stessi con costi ragionevoli e strategie opportune, attendendo i risultati che la ricerca scientifica fornirà via via nel tempo.

7. BIBLIOGRAFIA E NORME DI RIFERIMENTO

[1] F.Garzia, G.M.Veca, L'Inquinamento elettromagnetico – Fondamenti tecnici e principi normativi, Carocci Editore (2002).

[2] ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection), Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz), Health Physics, Vol. 74, n. 4, pp. 494-522 (1998)

[3] IARC (International Agency for Research on Cancer), Evaluation of carcinogenic risks to humans: static and extremely low frequency electric and magnetic fields”, IARC Monographs, Vol.80, June 2001.

[4] IRPA/INIRC, Guidelines on limits of exposure to radiofrequency electromagnetic fields in the frequency range from 100 kHz to 300 GHz, Health Physics, Vol. 54: 115-123 (1988).

[5] IEEE, Standard for Safety Levels with respect to human exposure to radiofrequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz, Revision of ANSI C95.1.1882, 1991.

[6] Legge 22 febbraio 2001, n.36 - Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici. (G.U. del 7 marzo 2001, n.55)

[7] Decreto del ministero dell'ambiente 10 settembre 1998, n. 381 - Regolamento recante norme per la determinazione dei tetti di radiofrequenza compatibili con la salute umana. (G.U. 3 novembre 1998, n.257)

[8] Decreto interministeriale 10 settembre 1998, n. 381 - “Regolamento recante norme per la determinazione dei tetti di radiofrequenza compatibili con la salute umana”. (G.U. Serie Generale n. 257 del 3 Novembre 1998)

[9] Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 23 aprile 1992 - Limiti massimi di esposizione ai campi elettrico e magnetico generati alla frequenza industriale nominale (50 Hz) negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno. (G.U. 6 maggio 1992, n. 104)

[10] Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 28 settembre 1995 - Norme tecniche procedurali di attuazione del Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 23 aprile 1992 relativamente agli elettrodotti. (G.U. 4 ottobre 1995, n. 232)

[11] 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 Comitato Elettrotecnico Italiano, Milano, 2001

Atti del convegno “La prevenzione degli infortuni, l'igiene del lavoro negli ambienti della ricerca”, Consiglio Nazionale delle Ricerche – Servizio di Prevenzione e Protezione, Terrasini (Pa), 2-4 ottobre 2002

[12] CEI 211-7, Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell'intervallo di frequenza 10 kHz – 300 GHz, con riferimento all'esposizione umana, CEI Comitato Elettrotecnico Italiano, Milano, 2001

Atti del convegno “La prevenzione degli infortuni, l'igiene del lavoro negli ambienti della ricerca”, Consiglio Nazionale delle Ricerche – Servizio di Prevenzione e Protezione, Terrasini (Pa), 2-4 ottobre 2002