

Campi elettromagnetici e salute

Federica Poli

fechpoli@tin.it

Introduzione

“**Elettrosmog**”: inquinamento prodotto dai campi elettrici e magnetici generati dalle radiazioni appartenenti alla sezione non ionizzante (NIR) dello spettro elettromagnetico; si sovrappone al **fondo elettromagnetico naturale**, che ha come sorgenti principali la Terra, l’atmosfera e il sole

Campo magnetico: perturbazione di una regione spaziale determinata dalla presenza nell’intorno di una distribuzione di corrente elettrica o di massa magnetica [A/m]

Campo elettrico: perturbazione di una regione spaziale determinata dalla presenza nell’intorno di una distribuzione di carica elettrica [V/m]

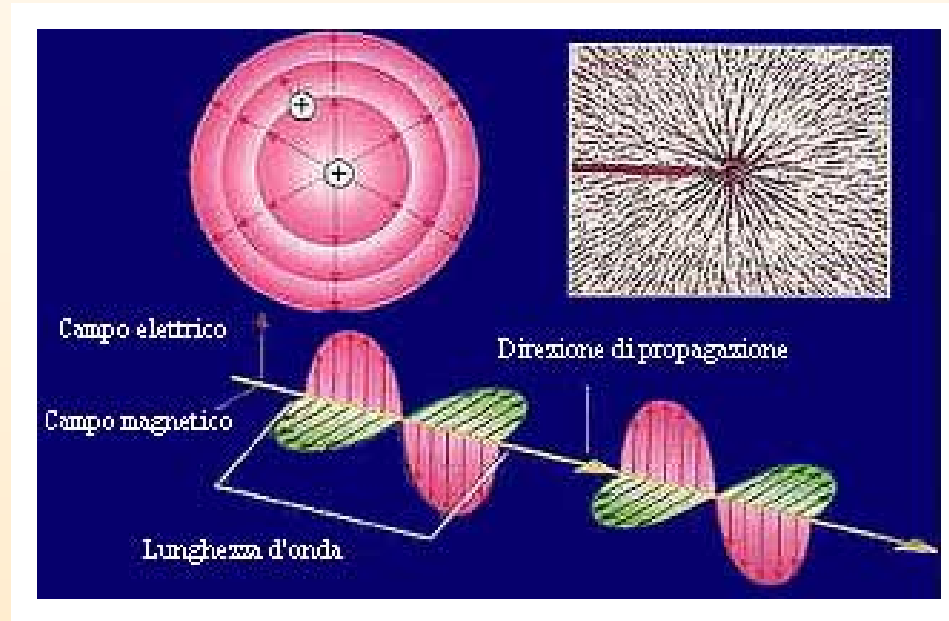
Campo elettromagnetico: un campo elettrico variabile nel tempo genera, in direzione perpendicolare a se stesso, un campo magnetico variabile che, a sua volta, influisce sul campo elettrico stesso \Rightarrow campi concatenati determinano nello spazio la propagazione di un campo elettromagnetico

- **campo vicino**: in prossimità della sorgente il campo elettrico e il campo magnetico assumono rapporti variabili con la distanza;
- **campo lontano**: a una certa distanza dalla sorgente il rapporto tra campo elettrico e campo magnetico rimane costante.

Onde elettromagnetiche

L'energia elettromagnetica può trasferirsi da luogo a luogo per propagazione.

Onde elettromagnetiche: fenomeni oscillatori, generalmente di tipo sinusoidale, costituiti da due grandezze, il **campo elettrico** e il **campo magnetico**, che variano periodicamente nel tempo.



In campo lontano i due campi sono in fase, ortogonali tra loro e trasversali rispetto alla direzione di propagazione.

Spettro elettromagnetico

Classificazione delle onde elettromagnetiche in base alla **frequenza** (numero di oscillazioni effettuate dall'onda nell'unità di tempo [Hz]) o alla **lunghezza d'onda** (distanza percorsa dall'onda in un periodo di oscillazione)

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

Radiazione elettromagnetica e materia

La radiazione e.m. può essere assorbita solo in **quanti** di energia $h\nu$, dove h è la *costante di Planck* e ν è la frequenza.

Ionizzazione: rimozione di un elettrone da un atomo o da una molecola
 \Rightarrow è necessaria un'energia di alcuni eV

1 eV è l'energia necessaria per muovere un elettrone di carica e da un'armatura a massa ad una al potenziale di -1 V

Radiazioni Ionizzanti (*Ionising Radiation*, IR): radiazioni ad alta frequenza con quanti di energia maggiori di 1 eV , in grado di ionizzare atomi e molecole e di danneggiare i tessuti biologici

- lontano ultravioletto;
- raggi x;

Radiazioni Non Ionizzanti (*Non-Ionising Radiation*, NIR): poichè $h\nu \ll eV$, non può avvenire la ionizzazione di atomi o molecole

- campi e.m. a frequenza estremamente bassa (ELF);
- campi e.m. a radiofrequenza (RF);
- microonde (MW).

Radiazioni Ionizzanti

I danni indotti dalle radiazioni ionizzanti (IR) sulle macromolecole biologiche possono dare origine a processi di cancerogenesi diretta¹.

Sorgenti naturali

- radiazione cosmica;
- radiazione terrestre: radionuclidi presenti nella crosta terrestre.

Sorgenti artificiali

- mediche;
- industriali;
- militari.

Il **radon** è la principale fonte naturale di esposizione per l'uomo.

Studi di epidemiologia in ambito professionale: **minatori**

⇒ evidenze dell'insorgenza del tumore del polmone

⇒ esposizione al radon classificata come **cancerogena** per l'uomo

¹Relazione sullo stato dell'ambiente, RSA 2001

Radon

Gas nobile presente in natura con tre isotopi radioattivi

^{222}Rn , ^{220}Rn , ^{219}Rn

che sono, rispettivamente, i prodotti intermedi del decadimento di

^{238}U , ^{232}Th , ^{235}U

^{222}Rn è l'isotopo più importante dal punto di vista sanitario:

- relativa abbondanza in natura del capostipite ^{238}U ;
- tempo di dimezzamento sufficientemente lungo (3.82 giorni) per allontanarsi dal suolo, dove si forma, ed essere inalato direttamente o attraverso particelle sospese.

Il radon si deposita nei tessuti bronchiali e polmonari, e, per decadimento, rilascia energia sottoforma di particelle che irradiano le cellule epiteliali.

Esposizione indoor a radon

Difficoltà ad estrapolare il rischio per la popolazione a partire dai risultati degli studi sui minatori: le esposizioni per questi ultimi sono circa un ordine di grandezza superiori a quelle sperimentate nell'ambiente di vita;

- incertezza sul meccanismo, di tipo **lineare** o con **soglia**, attraverso cui agisce il radon a basse dosi ⇒ necessità di scegliere tra diversi modelli di relazione dose-risposta ⇒ diverse stime dei rischi per la popolazione

Possibilità di effetti congiunti del **fumo di sigaretta** e dell'esposizione a radon nell'insorgenza del tumore al polmone;

- presenza di un sinergismo indicata da alcuni studi sperimentali ed epidemiologici
- incertezza sul tipo di interazione, moltiplicativo o sub-moltiplicativo

Negli ultimi anni sono stati condotti diversi **studi epidemiologici** per valutare gli effetti dell'esposizione a radon direttamente nella popolazione generale.

Risultati degli studi epidemiologici

Da calcoli svolti sui risultati di 8 recenti studi epidemiologici emerge che a livelli indoor di radon di 200 Bq/m^3 ², pari alla concentrazione massima per le case di futura costruzione in molti Paesi europei, corrisponde un incremento del rischio relativo combinato per tumore polmonare pari a 1.19.

Sono attualmente in corso in tutto il mondo numerosi studi caso-controllo di popolazione volti a stimare il rischio di tumore polmonare in funzione dell'esposizione residenziale cumulativa al radon, considerando anche le abitudini al fumo.

L'EPA e il *National Cancer Institute* hanno recentemente stimato che ogni anno negli Stati Uniti circa 15000 nuovi casi di tumore polmonare sono attribuibili all'esposizione a questo gas. Il radon è il secondo fattore di rischio, dopo il fumo attivo, per questa neoplasia.

²Il becquerel Bq è l'unità derivata della radioattività nel SI: è uguale ad una disintegrazione o trasformazione nucleare per secondo, quindi $1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$.

Livelli di esposizione indoor a radon in Italia (1989-1994)³

I più alti livelli di radon nelle abitazioni sono stati osservati nel Lazio, in Lombardia, in Friuli Venezia Giulia e in Campania: le concentrazioni medie misurate sono, rispettivamente, 119, 111, 99 e 95 Bq/m^3 .

A livello nazionale il 4.0% e lo 0.9% delle abitazioni presentano concentrazioni superiori, rispettivamente, a 200 e 400 Bq/m^3 , cioè i valori di riferimento per le case esistenti e di futura costruzione raccomandati dalla Commissione europea.

Il livello di radon dipende dal piano delle abitazioni: il suolo è una sorgente importante dei livelli indoor.

Alte concentrazioni del gas sono state misurate anche ai piani alti delle abitazioni: sorgenti di radon sono presenti anche nei materiali da costruzione.

³Indagine condotta dall'Istituto Superiore di Sanità e dall'Agenzia Nazionale per la protezione dell'ambiente

Radiazioni Non Ionizzanti

Le radiazioni non ionizzanti (NIR) sono troppo deboli, in termini di energia trasmessa, per rompere i legami delle molecole biologiche e per produrre ionizzazione.

L'“**elettrosmog**” riguarda le radiazioni non ionizzanti comprese nel range di frequenza $0 \div 300 \text{ GHz}$. Poichè le onde elettromagnetiche presentano caratteristiche diverse a seconda della frequenza, le sorgenti di campo vengono suddivise in due categorie:

- sorgenti di campo a **frequenza estremamente bassa** (*Extremely Low Frequency*, ELF), $0 \div 3 \text{ kHz}$;
- sorgenti di campo ad alta frequenza, che comprendono le **radiofrequenze** (RF), $30 \text{ kHz} \div 300 \text{ MHz}$, e le **microonde** (MW), $300 \text{ MHz} \div 300 \text{ GHz}$.

Sorgenti di campo a frequenza estremamente bassa (ELF)

Alle frequenze estremamente basse i campi elettromagnetici sono “quasi statici”, cioè sono caratterizzati da due entità distinte:

campo elettrico: è proporzionale alla tensione elettrica e si misura in V/m ;

campo magnetico: è generato dalle correnti elettriche che scorrono nei conduttori; alle basse frequenze si considera l'**induzione magnetica**, misurata in T e proporzionale alla corrente che genera il campo magnetico.

L'esposizione a campi ELF dovuta ad una determinata sorgente è valutabile misurando separatamente l'entità del campo magnetico e di quello elettrico.

In relazione alle diverse caratteristiche del campo emesso, vi sono due tipologie di sorgenti:

sorgenti per il trasporto e la distribuzione dell'energia elettrica: elettrodotti ad alta, media e bassa tensione, linee elettriche di distribuzione;

sorgenti per l'utilizzo dell'energia elettrica: dispositivi alimentati a corrente elettrica alla frequenza di 50 Hz , come elettrodomestici, videotermini, ecc.

Sorgenti per il trasporto e la distribuzione dell'energia elettrica

Il trasporto e la distribuzione dell'energia elettrica avvengono tramite **elettrodotti** = conduttori aerei sostenuti da opportuni dispositivi, tralicci, in cui fluisce corrente elettrica alternata alla frequenza di 50 Hz
⇒ dagli elettrodotti si generano sia un campo elettrico, sia un campo magnetico

Campo elettrico:

- l'intensità aumenta con la tensione della linea e diminuisce con la distanza dal conduttore: il valore in un punto è costante nel tempo poiché la tensione della linea è costante;
- è facilmente schermabile da oggetti come legno e metallo, ma anche da alberi ed edifici ⇒ all'interno di un edificio il campo elettrico subisce una riduzione che dipende dai materiali componenti e dalla struttura edilizia.

Campo magnetico:

- l'intensità diminuisce al crescere della distanza dalla linea;
- non è schermabile dalla maggior parte dei materiali comuni ⇒ è invariato all'interno degli edifici.

Consistenza del sistema elettrico nazionale

Il sistema elettrico nazionale è gestito, per la maggior parte, dall'ENEL e, per una porzione inferiore, dalle Aziende Elettriche Municipalizzate e dalle Ferrovie dello Stato (ANPA 2000).

	ENEL	Aziende Municipalizzate	FS	Funzione	Tracciati
Tipologia	linee AAT	linee AAT	linee AAT	Sono dedicate al trasporto e sono l'ossatura di base del sistema elettrico nazionale; collegano gli impianti di produzione con la rete di distribuzione. Interessano di norma ambiti super regionali	Non interessano in pratica le aree urbanizzate
Tensione	(220/380 kV)	(220 kV)	(220 kV)		
Lunghezza	20.600 km	2.075 km	11 km		
Tipologia	linee AT	linee AT	linee AT	Partono dalle 229 stazioni elettriche e alimentano le cabine primarie o in qualche caso clienti particolari (ad es. grande industria); rispondono a esigenze di sviluppo e/o miglioramento del servizio di aree su scala regionale	Interessano solo marginalmente le aree urbanizzate (periferie delle città)
Tensione	(132/150 kV)	(120-150 kV)	(132-150 kV)		
Lunghezza	36.500 km	1.985 km	6.177 km linee AT (66 kV) 2.975 km		
Tipologia	linee MT	linee MT	linee MT	Partono dalle 1.774 cabine primarie (AT/MT) e alimentano le cabine secondarie o, talvolta, clienti particolari	Interessano spesso le aree urbanizzate
Tensione	(15-20 kV)	28.200 km	5.000 km		
Lunghezza	322.000 km				
Tipologia	linee BT	linee BT		Partono dalle 394.000 cabine secondarie (MT/BT) e alimentano i singoli clienti	Interessano necessariamente le aree urbanizzate
Tensione	(380 V)	126.000 km			
Lunghezza	685.000 km				

Linee di trasmissione

Linee ad alta tensione

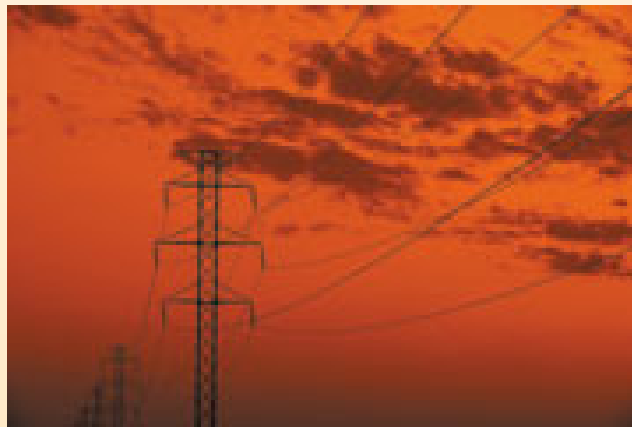
Linee aeree con due o più conduttori, mantenuti ad una certa distanza da tralicci metallici e sospesi a questi ultimi tramite isolatori.

In Italia si utilizzano le tensioni:

- 380 *kV*: trasmissioni su grandi distanze;
- 220 *kV*: trasmissione e distribuzione primaria;
- 132/150 *kV*: distribuzione.

Vantaggi:

- maggiore efficienza di trasmissione con tensioni elevate;
- minor numero di installazioni necessarie ⇒ minore compromissione del territorio



Linee di trasmissione (2)

Linee a media tensione

Funzionano generalmente con una tensione di esercizio di 15 kV e sono utilizzate soprattutto per la fornitura ad industrie, centri commerciali, ecc. Possono essere:

- aeree;
- interrate: per effetto della reciproca vicinanza dei cavi, isolati, si ha una maggiore compensazione delle componenti vettoriali associate alle diverse fasi \Rightarrow l'intensità a livello del suolo immediatamente al di sopra dei cavi di una linea interrata è inferiore a quella immediatamente al di sotto di una linea aerea.

Linee a bassa tensione

Trasportano la corrente per la fornitura alle piccole utenze, come abitazioni, esercizi pubblici o altre attività lavorative artigianali: la tensione può essere di 220 o 380 V . I conduttori possono essere:

- aerei;
- interrati.

Solitamente sono ammarati agli edifici, cioè entrano negli stessi ed alimentano il quadro contatori: la corrente è poi distribuita ai singoli utenti.

Cabine di trasformazione

Modificano l'energia elettrica dalla tensione di trasporto a quella di distribuzione richiesta.

Stazioni primarie di trasformazione

- trasformazione da 380 kV a 132 kV ;
- punto di arrivo e di partenza di più linee aeree;
- notevole spazio occupato \Rightarrow costruite in zone con scarsa presenza di abitazioni \Rightarrow pochi problemi di esposizione della popolazione.

Cabine elettriche di trasformazione o cabine secondarie

- per la trasformazione dalla media tensione alla bassa tensione (MT/BT) sono di diverse tipologie:
 - ▷ *cabine box e a torre separate dal resto degli edifici;*
 - ▷ *cabine collocate in edifici destinati alla permanenza di persone (abitazioni, scuole, uffici, ecc.);*
 - ▷ *cabine minibox, di dimensione ridotta, da collocare in ambito urbano;*
- inserite in aree vicine agli edifici e, in alcuni casi, all'interno degli edifici stessi;
- sostituite, in aree rurali con case sparse, da "posti di trasformazione MT/BT" situati su monopalo.

Sorgenti per l'utilizzo dell'energia elettrica

Tutti i dispositivi che utilizzano energia elettrica sono sorgenti di un campo elettromagnetico ELF.

Utilizzo di elettrodomestici + presenza di corrente nella rete di alimentazione dell'abitazione \Rightarrow produzione di un campo magnetico ELF di fondo in ambiente domestico ($\gg 0.05 \mu T$).

Il **campo elettrico** deriva dai conduttori inseriti nelle prese \Rightarrow è presente anche quando gli apparecchi elettrici sono spenti, ma collegati alla rete.

Il **campo magnetico** si produce quando gli apparecchi vengono messi in funzione e in essi circola corrente.

Livelli di campo magnetico per elettrodomestici a 3 cm, 30 cm, 100 cm⁴

ELETTRODOMESTICI (50 Hz)	CAMPO MAGNETICO (µT) ALLA DISTANZA DI		
	3 CM	30 CM	100 CM
APRISCATOLE	1000-2000	3,5-30	0,07-1
ASCIUGABIANCHERIA	0,3-8	0,08-0,3	0,02-0,06
LAVATRICE	0,8-50	0,15-3	0,01-0,15
LAVASTOVIGLIE	3,5-20	0,6-3	0,07-0,3
TRAPANO	400-800	2-3,5	0,08-0,2
LAMPADA DA TAVOLO	40-400	0,5-2	0,05-0,25
ROBOT DA CUCINA	60-700	0,6-10	0,02-0,25
ASCIUGACAPELLI	6-2000	<0,01-1	<0,01-0,3
FERRO DA STIRO	8-30	0,12-0,3	0,01-0,025
FORNO A MICROONDE	75-200	4,8	0,25-0,6
FORNO ELETTRICO	1-50	0,15-0,5	0,04-0,091
TERMOSIFONE	10-180	0,15-5	0,01-0,25
FRIGORIFERO	0,5-1,7	0,01-0,25	<0,01
RASOIO ELETTRICO	15-1500	0,08-7	<0,01-0,3
TELEVISORE	25-50	0,04-2	<0,01-0,15
TOSTAPANE	7-18	0,06-0,7	<0,01
ASPIRAPOLVERE	200-800	2,20	0,13-2
COPERTA ELETTRICA	2-3	0,1-0,2	<0,05

⁴NPBR, vol. 3, n. 1, 1992

Effetto biologico e danno alla salute

Le onde elettromagnetiche possono produrre **effetti biologici** che *talvolta*, ma *non sempre* possono portare ad **effetti di danno alla salute**⁵.

Effetto biologico: si ha quando l'esposizione alle onde elettromagnetiche provoca qualche variazione fisiologica notevole o rilevabile in un sistema biologico.

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.

⁵WHO, Promemoria n. 182, Maggio 1998

Effetti sanitari dei campi elettrici e magnetici ELF

L'azione fondamentale di questi campi sui sistemi biologici è l'**induzione** di **cariche** e **correnti elettriche**⁶.

L'intensità delle correnti indotte per effetto dell'esposizione a campi ELF di livelli pari a quelli che normalmente si riscontrano nell'ambiente è minore di quella delle correnti prodotte naturalmente all'interno del corpo.

Studi sul campo elettrico

- gli effetti di esposizioni fino a 20 kV/m sono pochi ed innocui;
- non è dimostrato alcun effetto sulla riproduzione e lo sviluppo di animali ad intensità maggiori di 100 kV/m .

Studi sul campo magnetico

- è scarsa l'evidenza sperimentale dell'influenza sulla fisiologia e il comportamento dell'uomo alle intensità presenti in casa o nell'ambiente.

⁶WHO, Promemoria n. 205, Novembre 1998

Effetti sanitari dei campi elettrici e magnetici ELF (2)

Cancro

- non c'è nessuna evidenza convincente che l'esposizione a campi ELF provochi danni diretti alle molecole biologiche, tra cui il DNA ⇒ è improbabile che possano iniziare il processo di cancerogenesi;
- si deve stabilire se l'esposizione a campi ELF possa influenzare la promozione o co-promozione del cancro.

1979: studio epidemiologico di Wertheimer e Leeper che segnala un'associazione tra leucemia infantile certe caratteristiche dei circuiti che collegavano le case dei soggetti alle linee di distribuzione dell'elettricità ⇒ numerosi studi di verifica

1996: analisi dei risultati da parte dell'**Accademia Nazionale delle Scienze** degli Stati Uniti

- la residenza vicino ad elettrodotti è associata ad un aumento del rischio di leucemia infantile (rischio relativo 1.5), ma non di altre forme di cancro;
- non emerge un'analoga associazione tra il cancro e l'esposizione residenziale degli adulti.

Effetti sanitari dei campi elettrici e magnetici ELF (3)

Numerosi studi su soggetti esposti per motivi professionali a campi ELF, svolti nell'ultimo decennio, presentano molte contraddizioni ⇒ non risulta confermata una relazione di causa ed effetto tra l'esposizione ai campi ELF e il cancro

1998: l'Istituto Nazionale per le Scienze di Sanità Ambientale (*National Institute of Environmental Health Sciences, NIEHS*) convoca un gruppo di lavoro internazionale per una revisione critica dei risultati di una ricerca durata 5 anni volta a replicare ed estendere gli studi che segnalavano effetti con potenziali implicazioni per la salute: secondo i criteri stabiliti dall'*Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (International Agency for Research on Cancer, IARC)*, i campi ELF devono essere considerati come un

“possibile cancerogeno per l'uomo” = agente per cui vi è una limitata evidenza di cancerogenicità nell'uomo ed un'evidenza meno che sufficiente negli animali da laboratorio

⇒ non si può escludere, in base all'evidenza disponibile, che l'esposizione a campi ELF causi il cancro, ma sono necessarie ulteriori ricerche, focalizzate e di alta qualità, per risolvere il problema

Effetti sanitari dei campi elettrici e magnetici ELF (4)

2001: un gruppo di lavoro della IARC esamina gli studi relativi alla cancerogenicità dei campi elettrici e magnetici statici ed ELF⁷ e stabilisce che

- i **campi magnetici ELF** devono essere classificati come “possibili cancerogeni per l’uomo”, sulla base degli studi epidemiologici relativi alla leucemia infantile;
- le evidenze scientifiche relative a tutti gli altri tipi di tumori nei bambini e negli adulti, nonché quelle relative ad altri tipi di esposizione (cioè a **campi statici** ed a **campi elettrici ELF**) sono **non classificabili**, poiché le informazioni scientifiche sono insufficienti o incoerenti

Due recenti analisi dei dati aggregati di diversi studi epidemiologici hanno fornito indicazioni che sono state cruciali nella valutazione della IARC. Questi studi suggeriscono che, in una popolazione esposta a **campi magnetici mediamente superiori a 0.3-0.4 μT** , si possa sviluppare un numero doppio di casi di leucemia infantile rispetto ad una popolazione con esposizione inferiore. Nonostante la gran mole di dati, rimane ancora incerto se l’aumento dell’incidenza di leucemie sia dovuto all’esposizione ai campi magnetici o a qualche altro fattore.

⁷WHO, Promemoria n. 263, Ottobre 2001

Effetti sanitari dei campi elettrici e magnetici ELF (5)

La leucemia è una malattia rara: attualmente, essa viene diagnosticata ogni anno a 4 bambini su 100.000 di età compresa tra 0 e 14 anni. Anche un'esposizione media al di sopra di $0.3-0.4 \mu T$ nelle abitazioni è rara: dai risultati degli studi epidemiologici si può stimare che meno dell'1% della popolazione sia esposta a questi livelli laddove si utilizza energia elettrica a 240 V, anche se questo numero potrebbe essere più alto dove si utilizza la tensione di 120 V.

L'analisi effettuata dalla IARC affronta il problema della possibilità che i campi elettrici e magnetici ELF pongano un rischio di cancro. Il prossimo passo del processo è quello di giudicare la verosimiglianza di tumori causati nella popolazione generale dalle normali esposizioni e di valutare i dati scientifici relativi ad altre patologie, diverse dal cancro.

Effetti sanitari dei campi elettrici e magnetici ELF (6)

Alcuni esempi di comuni agenti classificati dalla IARC.

Classificazione	Agente
Cancerogeno per l'uomo (normalmente in base ad una forte evidenza di cancerogenicità nell'uomo)	Asbesto Iprite Tabacco Radiazione gamma
Probabilmente cancerogeno per l'uomo (normalmente in base ad una forte evidenza di cancerogenicità negli animali)	Gas di scarico dei motori diesel Lampade solari Radiazione UV Formaldeide
Possibilmente cancerogeno per l'uomo (normalmente sulla base di una evidenza nell'uomo che è considerata credibile, ma per la quale non si possono escludere altre cause)	Caffè Gas di scarico dei motori a benzina Fumi di saldatura Campi magnetici ELF

Effetti sanitari dei campi elettrici e magnetici ELF (7)

Nel 1996, l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) ha avviato il Progetto internazionale Campi elettromagnetici (CEM) per analizzare i problemi sanitari associati all'esposizione a campi elettromagnetici.

L'OMS prevede di condurre una valutazione di tutti gli effetti sanitari dovuti all'esposizione a campi ELF nel 2002-2003.

Una classificazione dei campi magnetici ELF come possibilmente cancerogeni è stata effettuata, ma rimane la possibilità che esistano altre spiegazioni per l'associazione osservata tra campi magnetici ELF e leucemia infantile. In particolare, meritano di essere esaminati con rigore il problema delle distorsioni nella selezione dei soggetti per gli studi epidemiologici e quello dell'esposizione ad altri tipi di campi ⇒ nuovi studi

Il Progetto CEM dell'OMS si propone di aiutare le autorità nazionali a soppesare i benefici ed i possibili rischi sanitari di tecnologie elettriche, e di assisterle nel decidere quali misure protettive possano essere richieste. E' particolarmente difficile suggerire misure protettive per i campi ELF, perché non si sa quali caratteristiche dei campi potrebbero essere coinvolte nello sviluppo della leucemia infantile e quindi debbano essere ridotte, e nemmeno si sa se siano i campi magnetici ELF ad essere responsabili di questo effetto. Un possibile approccio è quello di adottare politiche volontarie per ridurre l'esposizione a campi ELF, secondo criteri di costo/efficacia.

Studi sui campi ELF in Italia

Sono disponibili alcune **stime** del rischio di leucemia infantile attribuibile ad esposizioni residenziali a campi magnetici di intensità superiore a $0.2 \mu T$.

È in corso di realizzazione uno **studio multicentrico** di tipo **caso-controllo** (SETIL) sull'eziologia della leucemia, del linfoma non Hodgkin e del neuroblastoma in età infantile: è uno studio epidemiologico volto a valutare l'associazione delle patologie descritte con i fattori di rischio conosciuti o possibili. In particolare, questo studio considera l'esposizione a:

- campi magnetici ELF a $50 Hz$;
- radiazioni ionizzanti;
- agenti chimici (solventi, benzene, fumo passivo, inquinamento da traffico, insetticidi)

e quella connessa all'attività lavorativa dei genitori.

Nella ricerca verranno inoltre considerati indicatori di esposizione ad agenti infettivi e le vaccinazioni⁸.

⁸Relazione sullo stato dell'ambiente, RSA 2001

Sorgenti di campo ad alta frequenza

Alle alte frequenze, $30 \text{ kHz} \div 300 \text{ GHz}$, il campo elettrico e il campo magnetico sono mutuamente correlati \Rightarrow costituiscono il **campo elettromagnetico**: ha la proprietà di propagarsi nello spazio.

Si considera di solito l'**intensità** del campo elettromagnetico, che si misura in W/m^2 , ma si può fare riferimento ai valori di campo elettrico [V/m] e di campo magnetico [A/m].

Le sorgenti dei campi elettromagnetici ad alta frequenza sono le correnti elettriche variabili. A seconda della frequenza si distinguono:

sorgenti a radiofrequenza (RF), $30 \text{ kHz} \div 300 \text{ MHz}$, utilizzate per le telecomunicazioni;

sorgenti microonde (MW), $300 \text{ MHz} \div 300 \text{ GHz}$, usate generalmente in campo sanitario e domestico.

Le sorgenti tipiche dell'inquinamento alle alte frequenze sono costituite da impianti di telefonia mobile, diffusione radio-TV, radar, stazioni per la trasmissione satellitare, radio-amatori (CB), ponti radio, ecc.

Impianti fissi per telecomunicazioni

Apparati per le telecomunicazioni = sistemi che emettono verso l'esterno, con la massima efficienza, l'energia elettromagnetica generata e amplificata da un trasmettitore.

L'emissione avviene attraverso un'**antenna trasmittente**, con la funzione di **trasduttore**, poichè trasforma un segnale elettrico in energia elettromagnetica irradiata nello spazio libero; l'**antenna ricevente** effettua la conversione inversa.

L'esposizione a campi elettromagnetici ad alta frequenza è in aumento, in relazione in particolare agli sviluppi nel settore delle telecomunicazioni, soprattutto della **telefonia cellulare**.

Le previsioni delle industrie indicano che nel **2005** vi saranno circa **1 miliardo e 600 milioni** di abbonati ai servizi di telefonia mobile.

Reti cellulari a radiofrequenza

Il **telefono mobile** invia e riceve informazioni (dati, messaggi vocali, fax, ecc.) tramite **radiocomunicazione**.

telefono mobile \rightarrow **segnale RF**, $f \rightarrow$ stazione radio base più vicina

telefono mobile \leftarrow **segnale RF**, $f' \leftarrow$ stazione radio base più vicina

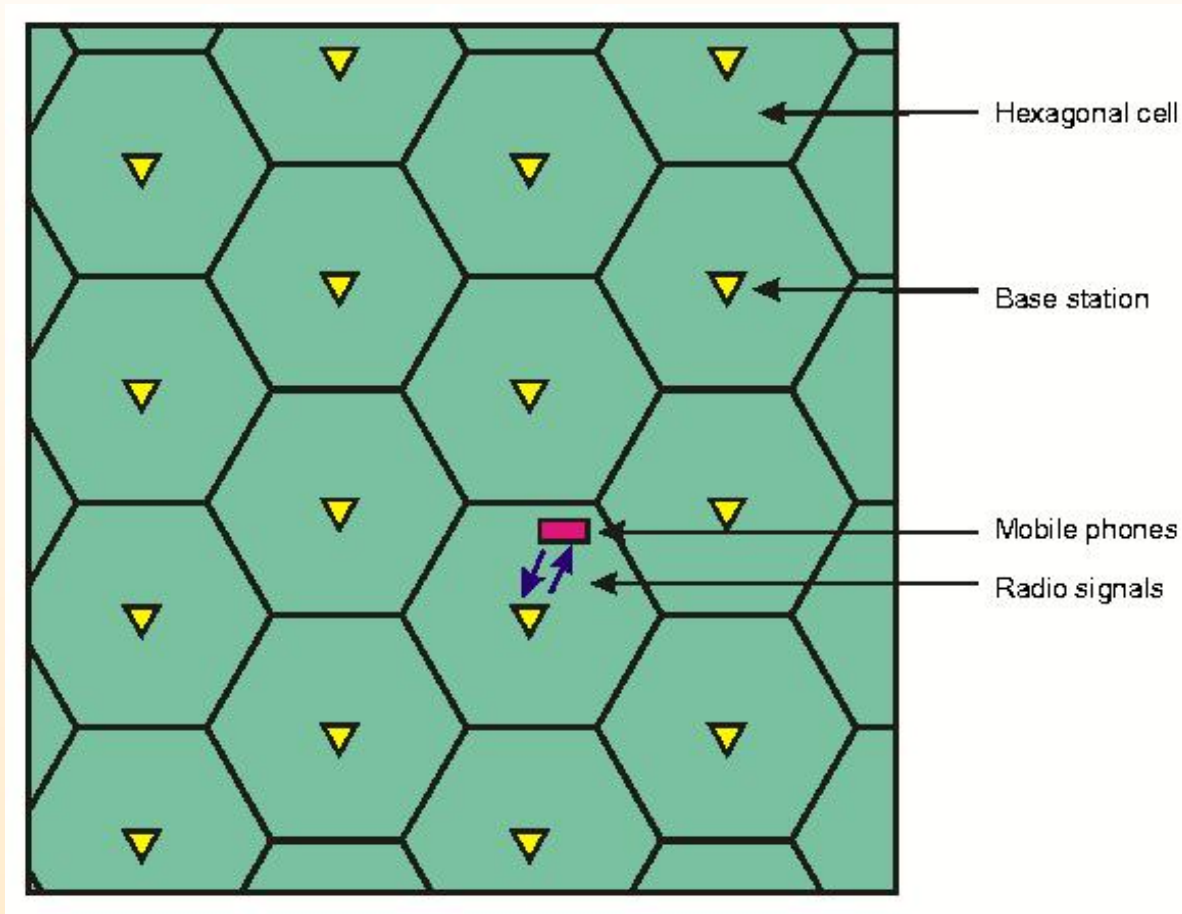
$$f \sim f'$$

Dalla stazione radio base il segnale è trasmesso alla rete telefonica principale con

- cavi telefonici;
- links radio a frequenza più alta (13, 23 o 38 GHz , MW) verso l'antenna di un terminale connesso alla rete telefonica: la potenza è bassa e il fascio delle antenne molto stretto \Rightarrow massima intensità di $45 \mu W/m^2$ al suolo a $15 m$ dall'antenna

Reti cellulari a radiofrequenza (2)

Una rete cellulare **ideale** consiste in una *mesh* di **celle esagonali**, ognuna con una stazione radio base al centro.



Nella pratica la copertura si allontana dal modello ideale a causa della topografia del suolo e della disponibilità di siti per le stazioni radio base.

Reti cellulari a radiofrequenza (3)

Le frequenze sono riutilizzate ad alcune celle di distanza.

Capacità della rete = numero di chiamate telefoniche che possono essere effettuate contemporaneamente

Dipende da:

- estensione dello spettro di frequenze disponibili;
- diametro delle celle;
- capacità del sistema di funzionare correttamente in presenza di un'interferenza di background dovuta alle altre celle.

Aumento del numero degli utenti \Rightarrow riduzione progressiva della dimensione delle celle: stazioni radio base con antenne più basse e minore potenza
 \Rightarrow maggiore riutilizzo delle frequenze

Tecnologie della telefonia cellulare

TACS (*Total Access Communication System*)

- primo sistema cellulare;
- sistema di **trasmissione analogica** a divisione di frequenza (**FDMA**);
- banda assegnata
 - ▷ *935 ÷ 960 MHz per la trasmissione dalla stazione radio base al terminale mobile;*
 - ▷ *890 ÷ 915 MHz per la trasmissione dal terminale mobile alla stazione radio base;*
- canale di 25 *kHz* di banda, utilizzato da un solo utente alla volta;
- potenza massima del terminale mobile (cellulare) da 0.6 a 10 *W*, suddivisa in 4 classi di potenza;
- potenza massima all'antenna di trasmissione del singolo canale di una stazione radio base di circa 20 *W*;
- classificazione delle stazioni radio base secondo il territorio coperto:
 - ▷ **antenna a settore**: *raggio di copertura del segnale da 2 a 8 km per settore;*
 - ▷ **antenna omnidirezionale**: *raggio di copertura del segnale fino a 15 km.*

Tecnologie della telefonia cellulare (2)

GSM (*Global System for Mobile Communications*)

- standard europeo per la **trasmissione digitale** per la telefonia cellulare;
- sistema composto da una rete di **stazioni radio base (SRB)** distribuite sul territorio: ognuna si occupa di
 - ▷ *trasmissione e ricezione dei segnali provenienti dai cellulari;*
 - ▷ *modulazione e demodulazione;*
 - ▷ *codifica del segnale;*
 - ▷ *trasmissione del segnale di controllo;*
 - ▷ *assegnazione del canale di trasmissione ai terminali mobili;*
- banda assegnata
 - ▷ *935 ÷ 960 MHz e 1835 ÷ 1880 MHz per la trasmissione dalla stazione radio base al terminale mobile;*
 - ▷ *890 ÷ 915 MHz e 1740 ÷ 1785 MHz per la trasmissione dal terminale mobile alla stazione radio base;*
- canale di 200 kHz di banda, 124 nella banda dei 900 MHz e 224 nella banda dei 1800 MHz;
- tecnica di trasmissione ad accesso multiplo a divisione di tempo (**TDMA**) ⇒ 8 utenti possono trasmettere contemporaneamente dati sulla stessa portante a frequenza assegnata;

Tecnologie della telefonia cellulare - GSM (3)

- pacchettizzazione dei dati digitali in *burst* (time-slot di 0.577 ms) trasmessi modulando in **fase** la portante assegnata dalla stazione radio base con un filtro a inviluppo costante \Rightarrow **GMSK** (*Gaussian Minimum Shift Keying*).

Ogni SRB utilizza solo alcuni dei canali di trasmissione per non disturbare le stazioni radio base vicine.

La potenza di trasmissione dei canali a disposizione della singola SRB è continuamente regolata per ridurre le interferenze.

telefono mobile \rightarrow informazioni su livello e qualità del segnale ricevuto
 \rightarrow **SRB**

\Rightarrow SRB comunica al cellulare come cambiare la potenza di trasmissione; inoltre modifica la propria potenza, aumentandola se il terminale mobile si allontana, diminuendola se si avvicina.

Controllo dinamico della potenza \Rightarrow riduzione del livello di potenza complessiva irradiata dalla SRB

Modalità discontinua di trasmissione tra SRB e cellulare: quando l'utente non parla, la potenza trasmessa dal cellulare diminuisce sensibilmente.

Tecnologie della telefonia cellulare - GSM (4)

Stazione radio base ⇒

Centrale di controllo base ⇒

- assegnazione e gestione dei canali radio;
- ricerca della migliore frequenza di trasmissione a disposizione e passaggio a tale frequenza (*frequency hopping*);
- trasferimento delle conversazioni in atto ad altre SRB adiacenti per non interrompere la comunicazione di un utente in movimento;

Centrale di commutazione (*Mobile Switching Center*)

- gestione delle procedure di inizializzazione;
- instradamento, controllo e chiusura delle chiamate;
- ...
- gestione della connessione con le altre reti di telefonia mobile e fissa (*Gateway Mobile Switching Center*).

Tecnologie della telefonia cellulare - GSM (5)

La **localizzazione** e la **disposizione** delle SRB dipende da:

- numero di utenti da servire in ciascuna area;
- interferenze con altre SRB dei diversi gestori;
- orografia della zona;
- presenza di ostacoli.

Le SRB sono classificate, in base al territorio coperto, in:

- **macrocelle**: raggio di copertura del segnale da 15 a 30 *km*;
- **celle**: raggio di copertura del segnale da 1 a 15 *km*;
- **microcelle**: raggio di copertura del segnale da 200 a 1000 *m*;
- **picocelle**: raggio di copertura del segnale inferiore a 200 *m*.

Tecnologie della telefonia cellulare - GSM (6)

La **potenza** associata ad ogni **canale di trasmissione** di una **SRB** può arrivare a 100 W nelle macrocelle, e diminuisce fino a $5\text{-}15\text{ W}$ col ridursi del raggio di copertura: nelle microcelle la potenza per ogni canale è inferiore a 1 W .

Per ogni cella, un canale di trasmissione è esclusivamente dedicato alle informazioni base per i cellulari: tale canale trasmette sempre alla massima potenza.

La **potenza massima** di trasmissione di un **terminale mobile** varia da 0.8 a 20 W , suddivisa in 5 classi di potenza, a 900 MHz , mentre varia da 0.6 a 10 W , suddivisa in 4 classi di potenza, a 1800 MHz .

Il primo collegamento del telefono mobile all'accensione è preceduto dalla trasmissione di una breve sequenza di bit alla massima potenza di trasmissione, non essendo possibile stabilire a priori la distanza dalla SRB.

Tecnologie della telefonia cellulare - GSM (6)

La SRB è composta generalmente da 3 supporti porta-antenne orientati nelle tre direzioni, sfasate di 120° .

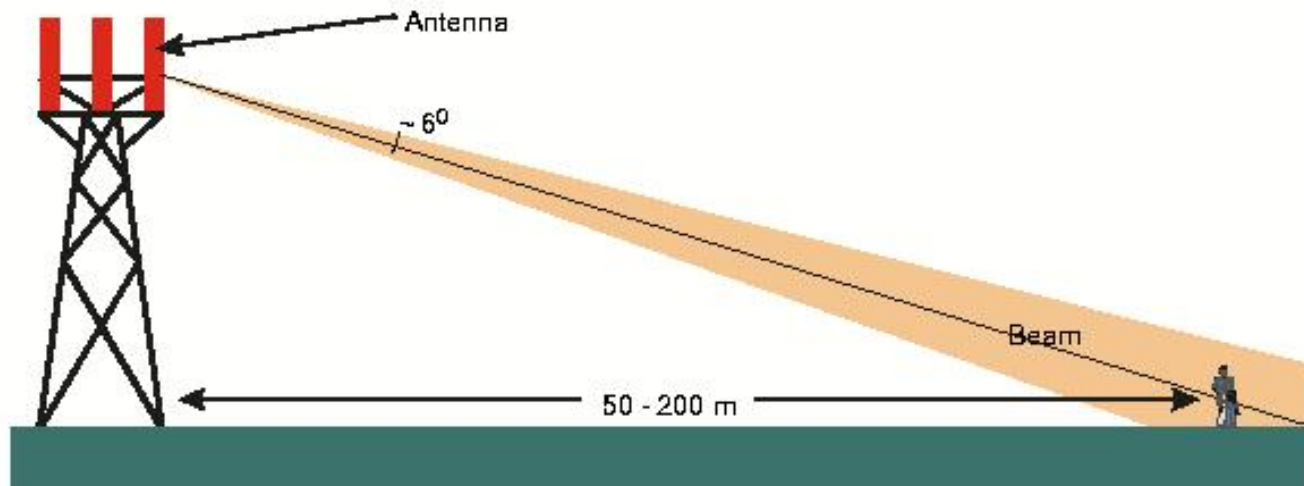
L'installazione tipica delle antenne di trasmissione e ricezione è su una struttura porta-antenne posta alla sommità di un palo metallico ad altezza elevata rispetto agli edifici circostanti.

Installazione di SRB su edifici in posizione più elevata \Rightarrow aumenta l'**area di copertura** = porzione di territorio in cui il segnale captato da un terminale mobile è al di sopra del livello minimo per garantire una buona qualità di segnale

Necessità di ridurre interferenze del segnale che si riflette sulle strutture fisse \Rightarrow installazione dell'antenna su un palo e non direttamente sul prospetto degli edifici

Gran parte della potenza è concentrata in un **fascio quasi orizzontale** (leggermente diretto verso il basso), che ha un'**apertura verticale** di 6° : i lobi laterali sono molto deboli. Il fascio raggiunge il terreno solitamente a una distanza di 50-200 *m* dal palo su cui si trova l'antenna.

Antenne della telefonia cellulare GSM



Tecnologie della telefonia cellulare: GSM in Italia

Numero di impianti SRB e potenza complessiva, agosto 2000 (fonte: ANPA 2000).

Regione	Numero di impianti SRB (1)	Potenza impianti SRB (kW)	Numero di impianti SRB (2)	Impianti SRB per 10.000 abitanti (3)
Piemonte	1.624	200,0	822	1,9
Valle d'Aosta	83	4,5	87	7,2
Lombardia	dnd	dnd	1.387	1,5
Trentino-Alto Adige	569 (4)	15,0	347	3,7
Veneto	856	dnd	830	1,8
Friuli-Venezia Giulia	dnd	dnd	396	3,3
Liguria	600	180,0	504	3,1
Emilia-Romagna	926	78,0	937	2,4
Toscana	dnd	dnd	794	2,2
Umbria	151	dnd	193	2,3
Marche	336	30,0	262	1,8
Lazio	dnd	dnd	1.005	1,9
Abruzzo	450	2,3	309	2,4
Molise	dnd	dnd	91	2,8
Campania	387	dnd	597	1,0
Puglia	134 (5)	17,0	660	1,6
Basilicata	137	12,4	238	3,9
Calabria	463	dnd	412	2,0
Sicilia	dnd	dnd	792	1,6
Sardegna	200 (6)	10,0	466	2,8
Italia	6.916	549,2	11.129	1,9

Legenda: dnd dato non disponibile.

(1) I dati si riferiscono al questionario CTN-AGF.

(2) Gestori nazionali di telefonia mobile (Tim, Omnitel, Wind).

(3) Il dato sugli impianti è quello fornito dai gestori della telefonia mobile; il dato sugli abitanti è di fonte ISTAT, 1999.

(4) Il dato si riferisce alla sola provincia di Bolzano e documenta il numero di antenne.

(5) Il dato si riferisce alla sola provincia di Taranto.

(6) Il dato si riferisce alla sola provincia di Sassari.

Tecnologie della telefonia cellulare (7)

DECT (*Digital Enhanced Cordless Telecommunications*)

- costituito da una rete di stazioni fisse che emettono a RF per la comunicazione pubblica mediante telefoni portatili detti “**cordless**”;
- tecnica di trasmissione mista del tipo
 - ▷ **MC (Multi Carrier)**: si utilizzano 10 portanti spaziate di 1.728 MHz comprese nella banda 1880 ÷ 1900 MHz;
 - ▷ **TDMA (Time Division Multiple Access)**: più utenti possono ricevere o trasmettere il segnale da una stessa portante RF;
 - ▷ **TDD (Time Division Duplex)**: è permessa la trasmissione e la ricezione tra il sistema fisso e il sistema mobile, e tra il sistema mobile e il fisso sullo stesso canale di trasmissione;
- metodo di modulazione utilizzato GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*);
- potenza nominale tipica di trasmissione di ogni stazione fissa di 250 mW ⇒ potenza nominale di ogni canale di circa 0.25 mW;
- diametro massimo dell’area di copertura di circa 300 m per un sistema con potenza nominale di 250 mW.

Tecnologie della telefonia cellulare (8)

UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*)

- terza generazione di tecnologia mobile per le telecomunicazioni;
- bande di frequenza assegnate:
 - ▷ $1920 \div 1980$ MHz e $2110 \div 2170$ MHz di spettro simmetrico;
 - ▷ $1900 \div 1920$ MHz e $2010 \div 2025$ MHz di spettro asimmetrico;
- tecnica di trasmissione ad accesso multiplo a divisione di codice **CDMA** (*Code Division Multiple Access*);
- canali di 5 MHz di banda utilizzati da più utenti contemporaneamente.

Altre sorgenti di campi elettromagnetici ad alta frequenza

Antenne radio-televisive (RTV)

I sistemi di trasmissione radio-televisiva sono costituiti da impianti di varia grandezza e potenza: la potenza può anche raggiungere **centinaia di kW** nel caso di trasmissione a copertura nazionale o internazionale.

Gli impianti sono installati su tralicci metallici posti all'altezza del suolo o, più raramente, sui tetti di edifici (televisioni e radio private).

Bande utilizzate per il **servizio radiofonico in modulazione di ampiezza**:

- $0.155 \div 0.286 \text{ MHz}$ (onde lunghe);
- $0.525 \div 1.605 \text{ MHz}$ (onde medie);
- $3.950 \div 21.100 \text{ MHz}$ (onde corte).

Bande utilizzate per la **modulazione di frequenza**: $87.5 \div 108 \text{ MHz}$.

Bande utilizzate per il **servizio televisivo**:

- banda I e III: $47 \div 230 \text{ MHz}$ (VHF);
- banda IV e V: $470 \div 862 \text{ MHz}$ (UHF);
- $30 \text{ kHz} \div 3 \text{ MHz}$ (LF, MF).

Antenne radio-televisive in Italia

Numero di impianti RTV e potenza complessiva per 12 Regioni, agosto 2000.

Regione	Numero impianti RTV	Potenza impianti RTV (kW)	Impianti RTV per 10. 000 abitanti
Piemonte	1.000	20.000	2,3
Valle d' Aosta	149	8	12,4
Bolzano p.a. (1)	1.334	256	29,0
Veneto	1.643	dnd	3,6
Liguria	4.523	900	27,8
Emilia-Romagna	2.292	2.511	5,8
Umbria	708	dnd	8,5
Marche	1.293	607	8,9
Abruzzo	1.547	1.591	12,1
Campania	926	dnd	1,6
Puglia (2)	45	61	2,2
Calabria	252	dnd	1,2
Totale	15.712	25.934	5,2

Legenda: dnd dato non disponibile

(1) Il dato documenta il numero di antenne.

(2) Il dato si riferisce alla sola provincia di Taranto.

Antenne radio-televisive in Italia (2)

Potenza degli impianti RTV e SRB per 8 Regioni, agosto 2000 (fonte: ANPA 2000).

Regione	Potenza RTV (kW)	Potenza SRB (kW)
Piemonte	20.000	200
Valle d' Aosta	8	5
Bolzano p.a.	256	15
Liguria	900	180
Emilia-Romagna	2.511	78
Marche	607	30
Abruzzo	1.591	2
Puglia	61	17
Totale	25.934	527

La **“pressione elettromagnetica”** più consistente è esercitata dagli impianti radio-televisivi.

Le emittenti radio-televisive sono le più critiche per l'entità dei campi e.m. e l'esposizione della popolazione anche perchè in questo settore si ha una **crescita disordinata** e l'**assenza** di una **pianificazione delle frequenze** e di un **controllo sulle potenze impiegate**.

Altre sorgenti di campi elettromagnetici ad alta frequenza (2)

Parabole di trasmissione dati satellitari

I sistemi di trasmissione via satellite sono usati principalmente per:

- trasmissione di dati e di immagini televisive in digitale;
- telerilevamento da satellite;
- gestione di satelliti commerciali e militari.

La banda di trasmissione è tra 100 MHz e 275 GHz : il maggior utilizzo si ha in

- banda L, $1.12 \div 1.76 \text{ GHz}$;
- banda C, $5.85 \div 6.65 \text{ GHz}$;
- banda Ku, $14.0 \div 14.5 \text{ GHz}$;
- banda Ka, $27.0 \div 31.0 \text{ GHz}$.

Le antenne delle stazioni di ricezione terrestre sono costituite da un **riflettore parabolico circolare** con diametro tanto maggiore quanto più è grande la distanza dal ricevitore, il satellite. I livelli dei campi sono molto bassi nelle vicinanze dell'antenna per l'alto guadagno e l'alta direttività del fascio emesso: solo i punti più vicini alla parabola sono caratterizzati da intensità dei campi elevata.

Altre sorgenti di campi elettromagnetici ad alta frequenza (3)

Ponti radio

Hanno lo scopo di collegare tra di loro due punti lontani a distanza visiva e senza ostacoli intermedi: sono usati in alternativa alla posa di cavi per la trasmissione di dati e la fonia. Possono essere:

- unidirezionali: un'antenna trasmette i segnali verso la seconda antenna che ha il solo compito di ricevere tali dati;
- bidirezionali: sistemi utilizzati per l'automazione, il monitoraggio e il controllo a distanza degli impianti.

Le antenne utilizzate, di solito **horn** o **parabole circolari**, hanno:

- elevato guadagno;
- alta direzionalità del fascio principale: la maggior parte dell'energia è irradiata in 2.5° o meno;
- alta stabilità e assenza di interferenze nel collegamento.

Altre sorgenti di campi elettromagnetici ad alta frequenza - ponti radio (4)

Le bande utilizzate sono:

- VHF;
- UHF;
- 2300 ÷ 2400 *MHz*;
- 10.30 ÷ 10.68 *GHz*;
- 14.25 ÷ 14.50 *GHz*;
- 17.30 ÷ 17.70 *GHz*.

I livelli di potenza in trasmissione variano, a seconda dell'impianto, da **pochi W** ad **alcune centinaia di W** complessivi, suddivisi in uno o più canali di trasmissione.

I livelli di campo e.m. sono in generale bassi a causa di

- elevato guadagno delle antenne;
- alta direttività;
- limitazioni imposte dal Ministero al raggio dell'area servita dal fascio emesso.

Le intensità dei campi aumentano solo per gli edifici posti nelle immediate vicinanze dell'antenna e nella direzione di orientamento del ponte radio.

Altre sorgenti di campi elettromagnetici ad alta frequenza (5)

Impianti per radioamatori

Radar

Le applicazioni più frequenti sono:

- difesa aerea;
- controllo del traffico aereo, navale e veicolare;
- sistemi di atterraggio strumentale;
- meteorologia.

Le frequenze normalmente usate per i radar di controllo aereo, navale, veicolare e di difesa aerea sono determinate dalla risoluzione spaziale dell'oggetto di cui si vuole conoscere la posizione e la velocità \Rightarrow i radar militari sono generalmente caratterizzati da una frequenza molto elevata, dell'ordine di varie decine di GHz .

Le potenze utilizzate per il trasmettitore sono generalmente considerevoli, anche dell'ordine del MW . Tale potenza è usata per l'emissione di **impulsi di breve durata** \Rightarrow la **potenza media irradiata** è in generale 1000 volte minore della potenza nominale dell'antenna trasmittente. La **rotazione** dell'antenna del radar riduce ulteriormente la potenza irradiata in un punto.

Altre sorgenti di campi elettromagnetici ad alta frequenza - radar (6)

Bande di frequenza utilizzate per i **radar militari**:

- banda S: UHF e SHF, da 1550 a 5200 MHz ;
- banda C: SHF, da 3900 a 6200 MHz ;
- banda X: SHF, da 5200 a 10900 MHz ;
- banda J: SHF, da 10900 a 18000 MHz ;
- banda K: SHF e EHF, da 18000 a 36000 MHz ;
- banda Q: EHF, da 36000 a 47000 MHz .

Bande di frequenza utilizzate per i **radar** usati per il **controllo della navigazione marittima civile e mercantile**:

- banda S: da 3000 a 3246 MHz ;
- banda X: da 5460 a 5650 MHz e da 9320 a 9500 MHz .

Bande di frequenza utilizzate per i **radar** usati per la **meteorologia**:

- banda P: VHF, da 220 a 390 MHz ;
- banda L: UHF, da 390 a 1550 MHz ;
- banda X: SHF, da 5200 a 10900 MHz .

Effetti sanitari dei campi ad alta frequenza

La soglia degli effetti biologici del campo elettromagnetico ad alta frequenza dipende da:

- frequenza;
- densità di potenza;
- caratteristiche dei tessuti.

Esposizione umana alle alte frequenze \Rightarrow alterazioni fisiologiche dovute soprattutto all'innalzamento locale della temperatura dei tessuti \Rightarrow Tasso di assorbimento specifico (SAR): derivata rispetto al tempo dell'energia elementare assorbita o dissipata in una massa elementare o volume elementare dV di densità ρ

$$SAR = \frac{d}{dt} \left(\frac{dW}{dm} \right) = \frac{d}{dt} \left(\frac{dW}{\rho dV} \right) \quad (1)$$

L'unità di misura del SAR è W/Kg .

Tasso di assorbimento specifico (SAR)

$f > 10 \text{ MHz}$

$$SAR = \left(\frac{\sigma E_i^2}{\rho} \right) = c_i \left(\frac{dT}{dt} \right) , \quad (2)$$

dove σ è la conducibilità del tessuto o dell'organo [S/m], E_i è il valore efficace dell'intensità del campo elettrico nel tessuto corporeo [V/m], c_i è il calore specifico del corpo [$J/Kg \cdot ^\circ C$], $\left(\frac{dT}{dt} \right)$ è la derivata rispetto al tempo della temperatura del tessuto o dell'organo [$^\circ C/s$].

$f < 10 \text{ MHz}$

$$SAR = \left(\frac{J^2}{\rho\sigma} \right) , \quad (3)$$

dove J è il valore efficace della densità di corrente indotta nel tessuto corporeo [A/m^2].

Valori limite del SAR determinati con metodi sperimentali e di calcolo \Rightarrow valori massimi consentiti per le grandezze del campo elettromagnetico.

Campi elettromagnetici ad alta frequenza e salute pubblica

I campi RF a frequenze al di sopra di circa 1 MHz provocano soprattutto **riscaldamento**, facendo muovere ioni e molecole d'acqua entro il mezzo in cui questi si trovano. Anche bassi livelli di energia RF producono una piccola quantità di calore, ma questo è smaltito dai normali processi di termoregolazione del corpo senza che la persona se ne renda conto.

Un certo numero di studi condotti a queste frequenze suggerisce che l'esposizione a campi RF troppo deboli per causare il riscaldamento possano avere conseguenze negative sulla salute, compreso il cancro e la perdita della memoria. Identificare ed incoraggiare ricerche coordinate su questi temi aperti è uno degli obiettivi principali del **Progetto internazionale Campi elettromagnetici (CEM)** dell'OMS.

I campi RF di frequenze al di sotto di circa 1 MHz inducono soprattutto **cariche e correnti elettriche**, che possono stimolare le cellule di tessuti come nervi e muscoli. Correnti elettriche esistono già all'interno del corpo, come fattore normale delle reazioni chimiche che fanno parte della vita. Se i campi RF inducono correnti che superano in misura significativa il livello di fondo nel corpo, vi è la possibilità di conseguenze negative per la salute.

Campi elettromagnetici ad alta frequenza e salute pubblica (2)

Ala **frequenza di risonanza**, diversa per ciascun tessuto umano, si verifica un assorbimento più efficiente dell'energia trasportata dal campo elettromagnetico.

Il picco di assorbimento di energia per un corpo umano esposto ad un campo e.m. imperturbato si ha quando l'altezza è $0.4 \cdot \lambda$ della sorgente. Ad es., per una persona di altezza e peso medio in condizioni di isolamento da terra il massimo di assorbimento si ha per sorgenti con frequenza di circa 70 MHz , quando il corpo esposto è allineato al vettore del campo elettrico; per lo stesso corpo medio, posto in buon contatto con il terreno, il picco si ha per sorgenti con frequenza di circa 35 MHz .

Altezza e peso della popolazione variabile \Rightarrow intervallo di frequenze in cui è massimo il picco dell'energia assorbita $10 \div 400 \text{ MHz} \Rightarrow$ limiti di esposizione in campo internazionale più restrittivi, per il **campo elettrico**, nel range $30 \div 300 \text{ MHz}$ e, per il **campo magnetico**, nel range $100 \div 300 \text{ MHz}$.

I tessuti del corpo umano hanno una migliore resistenza all'esposizione a campi elettromagnetici di **maggiore intensità**, purchè di **breve durata**: le norme internazionali prevedono allora che le misure ad alta frequenza siano mediate in un intervallo di tempo variabile da 6 a 30 minuti.

Effetti sanitari: telefoni mobili e SRB

L'esposizione ai campi a RF di chi utilizza un telefonino è molto superiore a quella di chi vive vicino ad una stazione radio base.

I campi alle frequenze della telefonia mobile penetrano nei tessuti esposti fino ad 1 *cm* di profondità. L'energia RF assorbita dal corpo produce **calore**: i processi di termoregolazione del corpo sono sufficienti per rimuoverlo. A livelli troppo bassi per produrre un riscaldamento significativo, l'energia RF interagisce con i tessuti corporei, ma **nessuno studio ha dimostrato effetti negativi sulla salute per livelli di esposizione inferiori ai limiti raccomandati dalle linee guida internazionali.**

Gli studi finora svolti hanno valutato le conseguenze dell'esposizione a breve termine dell'**intero corpo** a campi RF di livello più alto di quelli solitamente associati alle comunicazioni mobili ⇒ pochi studi si sono concentrati sull'esposizione localizzata della **testa** ai campi RF.⁹

L'**OMS** ha identificato ricerche necessarie per una migliore valutazione dei rischi, promuovendone la sovvenzione da parte delle organizzazioni competenti.

⁹WHO, Promemoria n. 193, giugno 2000

Effetti sanitari: telefoni mobili e SRB (2)

Cancro

L'evidenza scientifica attuale indica che l'esposizione a campi RF come quelli emessi dai telefoni cellulari e dalle SRB **non inducono o favoriscono il cancro**.

Nessuna evidenza di induzione o promozione di tumori cerebrali è stata dimostrata da diversi studi su animali esposti a campi RF simili a quelli emessi da telefoni cellulari.

Non sono ancora chiare le implicazioni sanitarie dello studio del 1997 che ha mostrato che i campi RF accrescono il tasso di sviluppo di linfomi in ratti geneticamente modificati: diverse ricerche sono in corso per confermare questi risultati e capire la loro rilevanza per il cancro nell'uomo.

Di recente si sono conclusi 3 studi epidemiologici che non hanno trovato **nessuna evidenza convincente di aumenti del rischio di insorgenza di cancro o di alcuna altra malattia**, in relazione all'uso di telefoni cellulari.

Altri rischi sanitari

Altri effetti legati all'impiego di telefoni mobili, come i cambiamenti nell'attività cerebrale, nei tempi di reazione e nell'andamento del sonno, sono **minimi e non sembrano avere alcun impatto sanitario significativo**. Sono in corso studi di conferma di questi risultati.

Effetti sanitari: telefoni mobili e SRB (3)

La Commissione Internazionale per la Protezione dalle Radiazioni Non Ionizzanti (ICNIRP) ha sviluppato linee guida internazionali che offrono, con ampi margini di sicurezza, protezione contro tutti i rischi accertati dell'energia a RF.

I livelli dei segnali emessi dalle SRB nelle aree accessibili al pubblico sono molto al di sotto delle linee guida internazionali.

I livelli di esposizione dell'utente dovuti al telefono cellulare sono considerevolmente superiori, ma rimangono sempre al di sotto dei limiti fissati dalle linee guida internazionali.

Oltre ad aver avviato il Progetto CEM, l'OMS conduce ricerche sui campi a RF: è in atto un ampio studio epidemiologico, coordinato dalla IARC, che coinvolge 10 Paesi ed è volto ad individuare connessioni tra l'utilizzo di telefoni cellulari e tumori della testa e del collo. La conclusione dello studio è prevista nel 2003.

Effetti sanitari: telefoni mobili e SRB (4)

Nessuna delle recenti revisioni della letteratura ha concluso che l'esposizione ai campi a RF prodotti dai telefoni cellulari o dalle SRB provochi alcun effetto negativo sulla salute.

Ulteriori ricerche, necessarie per giungere ad una migliore valutazione dei rischi, saranno completate e valutate entro il 2003-2004: nel frattempo l'OMS raccomanda un rigoroso rispetto delle linee guida sanitarie e delle misure precauzionali.

Le attuali conoscenze scientifiche non evidenziano la necessità di particolari precauzioni per l'utilizzo dei telefoni mobili. Se il singolo utente è preoccupato, può scegliere di limitare l'esposizione, diminuendo la durata delle telefonate o utilizzando dispositivi a viva voce o auricolari per tenere il cellulare lontano dal corpo e dalla testa.

Effetti sanitari: telefoni mobili e SRB in Italia

L'Italia detiene il primato europeo per il numero di possessori di telefonino, con un tasso di crescita costante.

In Italia l'Istituto Superiore di Sanità sta partecipando ad uno studio internazionale coordinato dallo IARC, che vede coinvolti 14 Paesi. È uno studio caso-controllo sui tumori cerebrali, del nervo acustico e delle ghiandole salivari in relazione alla esposizione a RF connesse all'uso di telefoni cellulari. Saranno osservati 8000 casi delle patologie di interesse nell'arco di tre anni: i risultati non saranno disponibili fino al 2004.

Effetti sanitari: radar

I radar operano generalmente a RF tra **300 MHz** e **15 GHz**.

$1 \text{ MHz} < f < 10 \text{ GHz}$

I campi a RF penetrano nei tessuti esposti e producono calore in seguito all'assorbimento di energia.

Per produrre effetti noti di danno alla salute in persone esposte a campi a RF in questo range di frequenza occorre un **SAR** di almeno **4 W/Kg**.

$f > 10 \text{ GHz}$

I campi a RF sono assorbiti alla superficie della pelle e pochissima energia penetra nei tessuti sottostanti. La quantità dosimetrica fondamentale per i campi a RF in questo range di frequenza è l'**intensità del campo**, misurata come **densità di potenza** [W/m^2].

I campi a RF con $f > 10 \text{ GHz}$ con densità di potenza **maggiori di 1000 W/m^2** producono effetti di danno alla salute, come **cataratte** e **ustioni cutanee**.¹⁰

¹⁰WHO, Promemoria n. 226, Giugno 1999.

Effetti sanitari: radar (2)

Gli studi condotti finora hanno considerato principalmente effetti sanitari diversi dal cancro, come le risposte dei sistemi fisiologici e di termoregolazione, le variazioni nel comportamento, l'opacizzazione del cristallino (cataratta) o le malformazione alla nascita dovute all'esposizione acuta a livelli relativamente alti di campi a RF.

Cancro

I risultati degli studi epidemiologici che hanno indagato i possibili legami tra l'esposizione ai campi RF e il rischio di cancro sono di difficile interpretazione, a causa delle differenze di progettazione e di esecuzione. Dall'analisi critica di questi studi, svolta da gruppi nazionali e internazionali, emerge che **non vi è alcuna chiara evidenza di un legame tra l'esposizione ai campi a RF e un aumento del rischio di cancro.** L'OMS ha aggiunto che **non c'è alcuna evidenza scientifica convincente che l'esposizione ai campi a RF abbrevi la durata della vita umana.** Sono comunque necessari ulteriori studi.

Effetti sanitari: radar (3)

Effetti termici

Sono stati studiati gli effetti dei campi a RF sugli animali, compresi i primati. I primi sintomi di effetti negativi che si manifestano nell'animale al crescere dell'intensità del campo sono:

- perdita di resistenza;
- avversione al campo;
- ridotta capacità di svolgere compiti mentali.

Effetti di danno nell'uomo potrebbero verificarsi, come suggerito da questi studi, per esposizioni, localizzate o dell'intero corpo, tali da **umentare la temperatura dei tessuti di più di 1°**. I possibili effetti comprendono l'induzione di cataratte e varie risposte dei sistemi fisiologici e di termoregolazione all'aumentare della temperatura corporea.

Questi effetti, ben accertati, sono alla base delle limitazioni dell'esposizione dei lavoratori del pubblico a campi a RF.

Effetti sanitari: radar (4)

Effetti non termici

Come è stato riportato da diversi gruppi di ricerca, alterazioni della mobilità degli **ioni calcio**, responsabili della trasmissione delle informazioni nelle cellule dei tessuti, sono dovute ad esposizioni a livelli di campi a RF troppo bassi per provocare riscaldamento (valori di SAR molto bassi). Questi effetti non sono comunque provati in misura sufficiente da costituire una base per la limitazione dell'esposizione.

Campi a RF pulsati

Casi di soppressione delle reazioni sussultorie e di stimolazione di movimenti del corpo in topi coscienti sono stati riportati in seguito all'esposizione a campi pulsati molto intensi.

Persone con udito normale percepiscono campi pulsati a RF di frequenze comprese nel range $200 \text{ MHz} \div 6.5 \text{ GHz} \Rightarrow$ **effetto uditivo delle microonde**.

Dovrebbe essere evitata, se possibile, un'esposizione prolungata o ripetuta, che potrebbe essere stressante.

Effetti sanitari: radar (5)

Nelle aree normalmente accessibili al pubblico, i livelli ambientali dei campi a RF prodotti dai radar sono almeno **1000 volte** al di sotto dei limiti per l'esposizione continua della popolazione, previsti dalle linee guida dell'**ICNIRP**, e **25000 volte** al di sotto dei livelli per i quali sono stati accertati i primi effetti sanitari provocati dai campi a RF.

Attorno ad ogni installazione radar è richiesto un ampio programma di misura e di comunicazione dei pericoli, oltre ad efficaci misure protettive.

Per impedire sia ai lavoratori sia al pubblico di entrare in aree dove i livelli di RF superano i limiti, si utilizzano:

- **controlli tecnici:** interblocchi, dispositivi elettronici per impedire che i radar puntino verso determinate zone e schermature;
- **controlli amministrativi:** allarmi acustici e visivi, cartelli di segnalazione e restrizioni di accesso attraverso barriere, blocchi di porte o limitazioni del tempo di accesso al radar.

Se i controlli tecnici e amministrativi non sono sufficienti, i lavoratori dovrebbero usare oggetti per la protezione personale, come abiti conduttivi, guanti e scarpe di sicurezza, per assicurare il rispetto degli standard di esposizione.

Campi elettromagnetici e salute pubblica - Politiche cautelative¹¹

Incertezza scientifica ⇒ approccio cautelativo nella gestione dei rischi sanitari.

Problemi di salute pubblica, di igiene del lavoro e di igiene ambientale
⇒ politiche di cautela

- principio di precauzione;
- “*prudent avoidance*”;
- principio ALARA.

¹¹OMS - Promemoria Marzo 2000

Principio di precauzione

Politica di gestione del rischio applicata in circostanze caratterizzate da un alto grado di incertezza scientifica: riflette la necessità di intervenire nei confronti di un rischio potenzialmente grave senza attendere i risultati della ricerca scientifica.

Trattato di Roma: “le politiche ambientali della comunità devono essere basate sul principio di precauzione”.

2 febbraio 2000: la **Commissione Europea** apporva un comunicato sul principio di precauzione, fornendo linee guida per la sua applicazione. I provvedimenti fondati sul principio di precauzione dovrebbero essere:

- adattati ai livelli di protezione scelti;
- non discriminatori nella loro applicazione: dovrebbero trattare situazioni confrontabili alla stessa maniera;
- coerenti con altri provvedimenti già presi: dovrebbero essere confrontabili nella loro portata e nella loro natura con provvedimenti già presi in aree equivalenti, in cui sono disponibili tutti i dati scientifici;

Principio di precauzione (2)

- basati su un esame dei potenziali benefici e costi di azioni fatte o mancate (inclusa, laddove appropriata e fattibile, un'analisi economica dei costi/benefici);
- di natura provvisoria, cioè suscettibili di revisione alla luce dei nuovi dati scientifici;
- in grado di assegnare la responsabilità della produzione delle prove scientifiche necessarie per una più completa valutazione dei rischi.

Il principio di precauzione è **“orientato ai rischi”**: richiede una valutazione dei rischi e considerazioni di costo/beneficio.

“Prudent avoidance”

Inizialmente sviluppata come strategia per la gestione del rischio nel caso di campi elettrici e magnetici a frequenza industriale da Morgan, Florig e Nair (Carnegie Mellon University, 1989).

Consiste in provvedimenti **semplici**, **facilmente raggiungibili** e a **basso costo**, per ridurre l’esposizione a campi elettromagnetici anche in assenza di rischi dimostrabili. Questa politica è di solito applicata dagli enti governativi solo ai nuovi impianti, non per richiedere modifiche di impianti già esistenti, in generale molto dispendiose.

La “*prudent avoidance*” prescrive l’adozione di misure a basso costo per ridurre l’esposizione, in assenza di qualunque previsione scientificamente giustificabile che tali provvedimenti riducano il rischio.

Provvedimenti = **raccomandazioni volontarie**

La *Food and Drug Administration* (FDA) degli Stati Uniti nel 1999 ha esortato l’industria della telefonia mobile a progettare telefoni che minimizzano l’esposizione a campi e.m. a RF, fino ai livelli necessari al funzionamento del dispositivo: questa può essere considerata una forma di “*prudent avoidance*”.

La “*prudent avoidance*” non richiede una valutazione dei potenziali benefici per la salute.

ALARA: As Low As Reasonably Achievable

Politica atta a **minimizzare rischi conosciuti**, mantenendo l'esposizione ai livelli più bassi ragionevolmente possibili tenendo in considerazione

- i costi;
- la tecnologia;
- i benefici per la salute pubblica;
- altri fattori sociali ed economici.

Il principio ALARA è usato soprattutto per la protezione dalle **radiazioni ionizzanti**, poichè i limiti non sono stabiliti sulla base di una soglia, ma di un **“rischio accettabile”**.

Esso non costituisce una politica appropriata per i campi elettromagnetici, a causa dell'assenza di qualunque rischio prevedibile a bassi livelli di esposizione e dell'ubiquità dell'esposizione stessa.

Politiche di cautela e campi elettromagnetici

L'applicazione delle politiche di cautela nei riguardi dell'esposizione a campi elettromagnetici è molto problematica a causa di:

- mancanza di chiare evidenze di danni sanitari dovuti a un'esposizione cronica a campi elettromagnetici minori dei livelli raccomandati dalle linee guida;
- mancanza di qualunque comprensione della natura del danno sanitario, ammesso che esista;
- ubiquità, nella società moderna, dell'esposizione a campi elettromagnetici a livelli ed entro range di frequenze molto variabili ⇒ difficoltà a creare politiche cautelative coerenti ed eque.

Politiche cautelative per i campi elettromagnetici dovrebbero essere adottate solo con grande attenzione e consapevolezza, e a condizione che le valutazioni di rischio e i limiti di esposizione fondati su base scientifica non siano minati dall'adozione di approcci cautelativi arbitrari.

I singoli possono scegliere di adottare qualsiasi misura ritengano appropriata alla loro situazione e alle circostanze.

DPCM 23 aprile 1992

Limiti massimi di esposizione ai campi elettrico e magnetico generati dalla frequenza industriale nominale (50 Hz) negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno.

Tutela la popolazione dagli **effetti acuti** delle emissioni prodotte dagli **elettrodotti** e dalle relative **stazioni** e **cabine elettriche**.

Il decreto si applica alle **esposizioni in ambiente esterno ed abitativo**, ma non alle esposizioni professionali sul luogo di lavoro e a quelle intenzionali di pazienti sottoposti a diagnosi e cure mediche (art. 1).

Sono fissati limiti di esposizione e criteri di applicazione (art. 4).

Aree e ambienti in cui si può ragionevolmente attendere che individui della popolazione trascorrono una parte significativa della giornata:

Campo elettrico (kV/m)	Induzione magnetica (mT)
5	0.1

Esposizione ragionevolmente limitata a poche ore al giorno:

Campo elettrico (kV/m)	Induzione magnetica (mT)
10	1

DPCM 23 aprile 1992 (2)

Rispetto ai fabbricati adibiti ad abitazione o ad altra attività che comporta tempi di permanenza prolungati, qualunque conduttore delle **linee aeree esterne** deve essere ad una **distanza** (art. 5):

- ≥ 10 *m* per linee a 132 *kV*;
- ≥ 18 *m* per linee a 220 *kV*;
- ≥ 28 *m* per linee a 380 *kV*.

DPCM 28 settembre 1995

Norme tecniche procedurali di attuazione del decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 23 aprile 1992 relativamente agli elettrodotti.

Stabilisce, per facilitare l'attuazione delle disposizioni contenute nella normativa del 1992, che i **progetti di risanamento**, per un primo periodo, vengano effettuati solo in base al requisito del **limite di esposizione** (art. 4 del DPCM 23 aprile 1992), non considerando il rispetto delle distanze indicate all'art. 5.

DM 10 settembre 1998

Regolamento per la determinazione dei tetti di radiofrequenza compatibili con la salute umana.

Stabilisce i valori limite di esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici connessi al **funzionamento** ed all'**esercizio** dei **sistemi fissi delle telecomunicazioni** e di quelli **radiotelevisivi** che operano nel range di frequenze $100 \text{ kHz} \div 300 \text{ GHz}$. I limiti fissati non si applicano ai lavoratori esposti per ragioni professionali. Il decreto riguarda solo gli impianti fissi per le telecomunicazioni: le prescrizioni non si possono applicare ai sistemi radar e ai telefoni mobili.

I livelli del campo elettrico E , magnetico H e della densità di potenza S , mediati su un'**area equivalente alla sezione verticale del corpo umano** e su qualsiasi **intervallo di 6 minuti**, non devono superare i seguenti valori (art. 3):

f (MHz)	E (V/m)	H (A/m)	S (W/m ²)
0.1 ÷ 3	60	0.2	-
3 ÷ 3000	20	0.05	1
3000 ÷ 300000	40	0.1	4

DM 10 settembre 1998 (2)

I precedenti limiti sono ridotti, sull'intero range di frequenza, per esposizioni non inferiori a 4 ore (art. 4, comma 2).

f (MHz)	E (V/m)	H (A/m)	S (W/m ²)
0.1 ÷ 3	6	0.016	-
3 ÷ 300000	6	0.016	0.1

Il decreto ministeriale fissa limiti massimi di esposizione ai campi elettromagnetici molto più restrittivi di quelli riconosciuti a livello internazionale da comunità scientifiche e da amministrazioni centrali di altri Paesi.

DM 10 settembre 1998 (3)

Per tutelare eventuali soggetti sensibili da possibili effetti a lungo termine, dovuti ad esposizione prolungata a bassi livelli di campo, e per evitare le “esposizioni indebite”, rispetto alla qualità del servizio che si vuole assicurare, il decreto stabilisce che la progettazione e la realizzazione dei nuovi apparati, e l’adeguamento di quelli preesistenti avvenga in modo da minimizzare l’esposizione al campo della popolazione.

Le **Regioni** e le Province Autonome disciplinano l’**installazione** e la **modifica** degli impianti di radiocomunicazione per garantire il rispetto dei limiti dell’art. 3 e dell’art. 4 comma 2, e il raggiungimento di eventuali **obiettivi di qualità**, e le attività di controllo e vigilanza in accordo con la normativa vigente (art. 4 comma 3).

Allegati del DM 381/98

Allegato A - Definizioni ed unità di misura

La **densità di potenza elettromagnetica** S è la potenza elettromagnetica che fluisce attraverso l'unità di superficie, normale alla direzione di propagazione: nella regione di campo lontano S è legata al valore efficace del campo elettrico E_{eff} e al valore efficace del campo magnetico H_{eff} dalla relazione

$$S = \frac{E_{eff}^2}{\eta} = \eta \cdot H_{eff}^2 \quad , \quad (4)$$

dove $\eta = 377 \Omega$ è l'impedenza dello spazio libero.

La **media sull'intervallo temporale** (t_1, t_2) di una grandezza $p(t)$ variabile nel tempo è data da

$$P = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} p(t) dt \quad (5)$$

Allegati del DM 381/98 - A (2)

Il **valore efficace** di una grandezza periodica $a(t)$ è definito come

$$A_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_t^{t+T} a^2(t) dt} \quad (6)$$

Gli **obiettivi di qualità** sono valori di campo elettromagnetico da conseguire nel breve, medio e lungo periodo, usando tecnologie e metodiche di risanamento disponibili, al fine di realizzare obiettivi di tutela.

Allegati del DM 381/98 (2)

Allegato B - Modalità ed esecuzione delle misure e delle valutazioni

Le intensità dei campi elettromagnetici possono essere determinate mediante calcoli o mediante misure: le misure sono necessarie ogni volta che i calcoli fanno prevedere valori di campo elettrico e magnetico che superano $1/2$ dei limiti suddetti. In caso di discordanza fra valore calcolato e valore misurato, è acquisito il valore misurato.

In presenza di più sorgenti, il limite complessivo di esposizione è 1, da ottenere come somma dei contributi normalizzati delle singole sorgenti: i singoli contributi si determinano dividendo il quadrato del valore misurato del campo, elettrico o magnetico, per il quadrato del valore limite corrispondente.

Allegati del DM 381/98 (3)

Allegato C - Riduzione a conformità

In presenza di contributi di campi elettromagnetici generati da diverse sorgenti, che concorrono in un dato punto al superamento dei limiti di esposizione, si procede alla **riduzione a conformità**.

Sia E_i il campo elettrico della i -ma sorgente, L_i il limite corrispondente: si calcolano i contributi normalizzati che le varie sorgenti producono nel punto considerato.

$$C_i = E_i^2 / L_i^2 \quad (7)$$

Se la somma

$$C = \sum_i C_i \quad (8)$$

supera il valore 1, i limiti di esposizione non sono soddisfatti e i diversi segnali E_i vanno ridotti in modo che risulti $C \leq 0.8$ per una maggior tutela della popolazione.

Siano R_i i contributi C_i che singolarmente superano il valore 0.8: a ciascuno dei corrispondenti segnali E_i deve essere applicato un coefficiente di riduzione β_i in modo che $\beta_i \cdot R_i = 0.8$. Se la somma

Allegati del DM 381/98 - C (4)

$$C = \sum_j C_j + \sum_i \beta_i \cdot R_i \quad (9)$$

supera il valore 0.8 i vari segnali E_i devono essere ulteriormente ridotti per ottenere $C \leq 0.8$.

Dall'insieme dei contributi da normalizzare devono essere esclusi i segnali che danno un contributo inferiore a 1/100, che sono indicati convenzionalmente con $\sum_k A_k$. La 8 può allora essere scritta come:

$$C = \sum_n \frac{E_n^2}{L_n^2} + \sum_k A_k + \sum_i \beta_i \cdot R_i = \sum_n \frac{E_n^2}{L_n^2} + \sum_k A_k + \sum_i \beta_i \cdot \frac{E_i^2}{L_i^2} \quad (10)$$

Sostituendo nella 10 $C = 0.8$, $E_i = \sqrt{\alpha}E_i$ e $E_n = \sqrt{\alpha}E_n$, si ottiene

$$0.8 - \sum_k A_k = \alpha \left(\sum_n \frac{E_n^2}{L_n^2} + \sum_i \beta_i \cdot \frac{E_i^2}{L_i^2} \right) \quad (11)$$

dove α è il coefficiente di riduzione e E_i , E_n i nuovi valori, ridotti a conformità, dei campi elettrici.

Linee Guida Applicative del DM 381/98

Regolamento recante norme per la determinazione dei tetti di radiofrequenza compatibili con la salute umana.

Campo di applicazione (art. 1)

Il decreto regola gli impianti fissi per la telefonia mobile (SRB), per la generazione e trasmissione dei segnali radio e televisivi, tra cui i ponti radio, gli impianti di comunicazione satellitari, gli impianti fissi utilizzati dai radioamatori, ecc., con esclusione dei sistemi mobili, come i telefoni cellulari, gli scanner, gli apparecchi CB portatili e tutte le altre apparecchiature (fisse o mobili) che utilizzano radiazione elettromagnetica nell'intervallo di frequenza considerato, ma che non operano nel settore delle telecomunicazioni o delle trasmissioni radiotelevisive, ad esempio i radar.

Non si applica invece ai lavoratori professionalmente esposti, cioè a coloro che, operando nel settore della costruzione, esercizio, manutenzione, ecc. degli impianti, devono essere a conoscenza dei rischi legati all'esposizione ai campi elettromagnetici e sono periodicamente sottoposti a controlli sanitari in ottemperanza al D.Lgs. 626/94: i dipendenti di società del settore non adibiti alle mansioni connesse con l'esposizione a radiazioni non ionizzanti non sono professionalmente esposti e quindi vanno assimilati alla popolazione.

Linee Guida Applicative del DM 381/98 (2)

Limiti di esposizione (art. 3)

Il requisito della **media spaziale** impone che vengano effettuate più misure nel punto d'indagine, almeno due corrispondenti alla **testa** e al **tronco**, cioè ad una altezza di **1.90 m** e **1.10 m**. Ognuna di queste deve essere a sua volta il risultato della **media temporale** su 6 minuti.

Se la differenza tra le due misure è maggiore del 25% del valore più elevato tra le due, quindi è maggiore dell'incertezza di misura, è opportuno effettuarne una terza a **1.50 m** da terra, per poi calcolare una **media** dei tre risultati.

Il **punto di indagine** viene individuato attraverso una prima serie di misure nell'area in esame al fine di rilevare il **punto di massima esposizione**: non si sceglie, come nella prassi generale dell'igiene ambientale, il punto dove il soggetto trascorre la maggior parte del tempo.

Tutte le medie devono essere considerate come **medie aritmetiche** sulla **densità di potenza** o come **medie quadratiche** delle **intensità** del campo elettrico o magnetico.

Linee Guida Applicative del DM 381/98 (3)

Misure di cautela ed obiettivi di qualità (art.4 , commi 1 e 2)

La frase del decreto "...in corrispondenza di edifici adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore..." va interpretata come relativa a tutte le **aree interne di edifici**, ad esempio abitazioni, sedi di attività lavorative, scuole, ospedali, ambienti destinati all'infanzia, e loro **pertinenze esterne**, nel caso in cui sia ragionevole pensare che vi possa essere permanenza prolungata nel tempo, cioè non inferiore a 4 ore nell'arco della giornata, e comunque ricorrente. Ai fini delle verifiche dei **valori di cautela** sono pertanto da considerare, ad esempio, anche aree esterne come balconi, terrazzi, giardini e cortili.

Il valore di 6 V/m deriva dalla scelta di applicare un ulteriore fattore 10 di riduzione alla **densità di potenza**, la grandezza fisica significativa dal punto di vista dosimetrico, data l'assenza di dati sperimentali sufficienti. Si passa così da un valore di 1 W/m^2 , corrispondente a circa 20 V/m per il valore limite del campo elettrico nel caso di onda piana equivalente, a 0.1 W/m^2 , corrispondenti invece a 6 V/m . Questo valore è superiore al livello ambientale, tipicamente compreso tra 0.1 e 2 V/m , rilevabile attualmente in una grande città, dove sono presenti numerosi impianti.

Linee Guida Applicative del DM 381/98 (4)

I limiti possono essere facilmente rispettati con una corretta pianificazione ed installazione sia degli impianti per la telefonia cellulare che di quelli utilizzati per le comunicazioni radiotelevisive.

I **Comuni** possono adottare un provvedimento formalizzato per garantire la tutela della salute, dell'ambiente e del paesaggio e la minimizzazione dell'esposizione ai campi elettromagnetici.

Valore di cautela = strumento per assicurare che l'introduzione di tecnologie di radiodiffusione e di radiocomunicazione non peggiori le condizioni ambientali.

Obiettivo di qualità = strumento per contenere ulteriormente nel medio e lungo termine il livello di inquinamento, altrimenti in rapida crescita.

Linee Guida Applicative del DM 381/98 (5)

Competenze e controlli (art.4 , comma 3)

Regioni e **Province autonome** hanno il compito di disciplinare:

- l'installazione e la modifica degli impianti di radiocomunicazione per garantire il rispetto dei limiti di cui all'art. 3 e dei valori di cautela precedenti;
- le modalità e tempi di esecuzione dei risanamenti;
- il conseguimento di eventuali obiettivi di qualità;
- le attività di controllo e di vigilanza.

Linee Guida Applicative del DM 381/98 (6)

Risanamenti (art.5)

Nel caso in cui i limiti di cui all'art. 3, e/o i valori di cui all'art. 4, comma 2 risultino superati in zone accessibili alla popolazione o in zone abitative, nelle sedi di attività lavorative per operatori non professionalmente esposti, devono essere attuate **azioni di risanamento** a carico dei titolari degli impianti.

Nelle situazioni di non conformità i titolari degli impianti possono determinare una riduzione consensuale dei livelli di campo elettromagnetico mediante un criterio diverso da quello indicato nell'allegato C, come, ad esempio, quello della **riduzione iterativa**, motivando opportunamente tale scelta e comunicandola all'organo di controllo.

Linee Guida Applicative del DM 381/98 (7)

Allegato B - Modalità di esecuzione delle misure e delle valutazioni

Le misure obbligatorie sono state inserite non per la scarsa affidabilità dei programmi di calcolo previsionale, ma piuttosto in considerazione della difficoltà di conoscere in maniera sufficientemente precisa tutti i parametri di ingresso, come, ad esempio, le caratteristiche tecniche degli impianti. Poiché può accadere che i siti siano molto complessi, con un elevato numero di impianti, e che i parametri di progetto o quelli dichiarati dai produttori degli impianti o dai loro gestori, possano differire da quanto riscontrabile nella realtà, si è privilegiato, nell'ottica della massima cautela possibile, il momento della misura, almeno nei casi in cui gli errori nei parametri di ingresso possono essere significativi.

Le misure vanno effettuate ordinariamente in **banda larga**: nel caso in cui venga superato il **50%** del valore limite o misura di cautela è consigliabile effettuare un'**analisi in banda stretta** dei segnali presenti, oltre il **75%** dei suddetti limiti tale analisi diventa assolutamente **necessaria**.

Le antenne hanno dimensioni non trascurabili:

- biconiche: $1.2 \text{ m} \times 0.4 \text{ m}$;
- dipoli a mezz'onda: $10 \div 40 \text{ cm}$;
- log periodiche: $0.4 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$,

quindi è sufficiente un solo punto di misura a **1.5 m** di altezza.

Linee Guida Applicative del DM 381/98 (8)

È necessario precisare le condizioni di funzionamento degli impianti al momento delle rilevazioni: tali condizioni dovrebbero rispecchiare la massima potenzialità degli impianti stessi o consentire di valutare il valore di campo presente per estrapolazione. Se questo non è possibile, è necessario effettuare misure in banda stretta, in base a cui ricostruire i valori massimi di esposizione attesi su qualunque intervallo di 6 minuti.

Per la verifica dei limiti fissati dal decreto le misure vanno effettuate nei luoghi accessibili alla popolazione ritenuti a maggior rischio, mentre per la verifica dei valori di cautela dell'art. 4 vanno effettuate in primo luogo in corrispondenza degli edifici di maggiore altezza, in prossimità delle direzioni di massimo irraggiamento delle antenne considerate, e dei ricettori particolarmente sensibili, come edifici destinati all'infanzia, scuole, ospedali.

Per valutare l'adeguatezza degli strumenti di misura si può far riferimento, tra le altre, alle **norme tecniche ANSI** che richiedono che gli strumenti utilizzati siano isotropi entro 1 dB ed abbiano un fattore di calibrazione noto con un'incertezza massima di 2 dB, e alle **norme ISO 45000** e **ISO 9000**, che raccomandano che gli strumenti utilizzati siano tarati e riferibili. Il **Servizio Italiano di Taratura (SIT)**, istituito con la legge 273/91, costituisce il riferimento nazionale.

Linee Guida Applicative del DM 381/98 (9)

Allegato C - Riduzione a conformità

I fattori di riduzione da applicare ai diversi contributi sono determinati in modo tale che il livello globale di campo elettrico risultante sia ridotto ad un valore inferiore a 0.8 - 0.9 volte il limite, invece che ad un valore strettamente inferiore. In questo modo si tiene conto del fatto che le misure ambientali, in base a cui si è rilevato il superamento, sono affette da un errore che potrebbe comportare una **sottostima** del livello reale di campo \Rightarrow maggiore tutela sull'effettivo rispetto del limite.

L'errore nella rilevazione sperimentale del campo elettrico, inevitabile perché connesso al metodo di misura, risulta particolarmente significativo nelle rilevazioni ambientali: le condizioni meno controllate della misura comportano un aumento delle incertezze associate al dato rilevato.

Il valore L_i presente nell'allegato C va inteso, oltre che come valore limite (art. 3), anche come valore di cautela (art. 4 comma 2), laddove applicabile.

Linee Guida Applicative del DM 381/98 (10)

Esempio di calcolo per la riduzione a conformità

In un punto di misura si rilevano segnali provenienti da due trasmettitori radiofonici, un trasmettitore televisivo ed una stazione radiobase per telefonia mobile. I trasmettitori radiofonici emettono segnali alle frequenze di 89 MHz e 95 MHz, quello televisivo alla frequenza di 599.25 MHz (frequenza del segnale video - canale 38) e la stazione radiobase presenta due portanti con frequenze di 944 MHz e 948 MHz. I livelli di campo elettrico misurati sono i seguenti:

Sorgente	f (MHz)	E_i (V/m)	L_i (V/m)
Radio FM 1	89	14	20
Radio FM 2	95	23	20
Televisione	599.25	6	20
SRB Portante 1	944	0.18	20
SRB Portante 2	948	0.18	20

Con E_i si intende il contributo della singola sorgente, quindi, se una stessa sorgente emette su più frequenze, come nel caso della stazione radio base, per individuarne il contributo occorre sommare quadraticamente i contributi delle singole frequenze di emissione. Sostituendo i valori misurati nella 8, si ottiene $C = 1.9 > 1$.

Linee Guida Applicative del DM 381/98 (11)

Inizialmente occorre ridurre la sorgente radio 2 che produce singolarmente un contributo superiore al limite (23 V/m). Il coefficiente di riduzione β si ricava dalla relazione $\beta \cdot R_i = 0.8$.

$$\beta = 0.8 \cdot \frac{L_i^2}{E_i^2} = 0.6 \quad . \quad (12)$$

In seguito all'applicazione del coefficiente di riduzione così calcolato per il contributo relativo, il livello di campo elettrico della sorgente radio 2 si riduce di un coefficiente pari a $\sqrt{\beta} = 0.78$, passando da 23 V/m a 17.8 V/m . La nuova situazione globale è allora:

Sorgente	f (MHz)	E_i (V/m)	L_i (V/m)
Radio FM 1	89	14	20
Radio FM 2	95	17.8	20
Televisione	599.25	6	20
SRB Portante 1	944	0.18	20
SRB Portante 2	948	0.18	20

Linee Guida Applicative del DM 381/98 (12)

Ripetendo la somma dei contributi relativi, C risulta ancora maggiore di 1, per cui occorre applicare il coefficiente di riduzione a tutte le sorgenti che contribuiscono per più di 1/100. La stazione radio base fornisce un contributo relativo pari a 0.000156, per cui non viene coinvolta nell'ulteriore procedura di riduzione. Il nuovo coefficiente di riduzione α è dato dalla 11.

Seguendo questa procedura si ricava un valore $\alpha = 0.58$ che dà luogo ai seguenti valori di campo, ridotti a conformità:

Sorgente	f (MHz)	E_i (V/m)	L_i (V/m)
Radio FM 1	89	10.7	20
Radio FM 2	95	13.6	20
Televisione	599.25	4.6	20
SRB Portante 1	944	0.18	20
SRB Portante 2	948	0.18	20

Confronto tra i limiti nazionali ed internazionali per le frequenze tipiche della telefonia mobile

Con le recenti iniziative normative l'Italia è uno dei primi Paesi al mondo ad avere espressamente adottato e tradotto in misure pratiche ed attuabili il **principio di cautela** per la protezione dai possibili effetti a lungo termine dei campi elettromagnetici. Confrontando i limiti per le frequenze tipiche della telefonia cellulare fissati dalle diverse normative nazionali ed internazionali, si nota come l'Italia non solo abbia adottato valori più bassi rispetto agli altri Paesi, ma sia anche l'unico Stato in cui sono stati fissati dei valori di cautela per esposizioni prolungate.¹²

	Limite E (V/m)		Limite H (A/m)		Limite S (W/m ²)	
	900 MHz	1800 MHz	900 MHz	1800 MHz	900 MHz	1800 MHz
ICNIRP	41.25	58.3	0.11	0.15	4.5	9
CENELEC	41.1	58.1	0.10	0.15	4.5	9
DIN/VDE (D)	41.1	58.1	0.10	0.15	4.5	9
ANSI (USA)	-	-	-	-	6	12
NRPB (UK)	112.5	194	0.29	0.52	33	100
Italia	20	20	0.05	0.05	1	1
Italia (+ 4 ore)	6	6	0.016	0.016	0.1	0.1

¹²Chiara Cremonesi - ARPA di Piacenza *Atti del workshop "Risk Assessment of Electromagnetic Pollution from Mobile Phone Networks"* Varenna, May 10th 2000.

Attività di risanamento in Italia

L'ANPA ha eseguito un censimento nelle diverse regioni sul piano degli interventi di risanamento.

Per quanto riguarda i campi a RF, le attività di risanamento finora eseguite riguardano due tipologie di sorgenti, RTV e SRB, e sono così distribuite:

- 23% sulle SRB;
- 9% sugli insediamenti RTV.

Emerge che l'ambito coperto dal DM 381/98 è quello che attualmente evidenzia il maggior numero di superamenti: gli impianti radiotelevisivi hanno l'impatto maggiore, in termini di inquinamento elettromagnetico, e richiedono quindi una più intensa attività di risanamento.

Legge 20 marzo 2001 n. 66

Conversione in legge, con modificazioni, del decreto legge 23 gennaio 2001 n.5, recante disposizioni urgenti per il differimento di termini in materia di trasmissioni radiotelevisive analogiche e digitali, nonché per il risanamento di impianti radiotelevisivi.

Prevede sanzioni per i titolari di impianti di diffusione sonora e televisiva che superano i valori stabiliti dal DM 381/98 e non procedono alla **“riduzione in conformità”** ordinata dalla Regione competente.

Normativa regionale sull'elettromagnetismo

In mancanza di una normativa nazionale omogenea, alcune Regioni hanno legiferato in materia di elettromagnetismo \Rightarrow situazioni diverse.

I provvedimenti regionali sono volti a:

- fissare i criteri per il rilascio delle concessioni o delle autorizzazioni;
- prevenire gli effetti a lungo termine delle radiazioni non ionizzanti;
- colmare le lacune del DM 381/98 per la tutela della popolazione e dei lavoratori professionalmente esposti.

Emilia Romagna

- **L.R. 10 del 22 Febbraio 1993** (con modificazioni ed integrazioni disposte dalla L.R. 21/04/1999, n. 3 - Art. 90)
norme in materia di opere relative a linee ed impianti elettrici fino a 150 kV, delega di funzioni amministrative;
- **Direttiva applicativa della L.R. n.10/93;**
- **L.R. 30 del 31 Ottobre 2000**
norme per la tutela della salute e la salvaguardia dell'ambiente dall'inquinamento elettromagnetico;
- **Direttiva applicativa della L.R. n.30/00.**

Legge quadro 22 febbraio 2001, n. 36

Protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici.

Definisce i principi fondamentali e le competenze specifiche in materia di inquinamento elettromagnetico, con l'obiettivo di:

- tutelare la salute dei lavoratori e della popolazione dagli effetti dell'esposizione a determinati livelli di elettromagnetismo;
- promuovere la ricerca scientifica per la valutazione degli effetti a lungo termine e per l'attivazione di misure di cautela da adottare in applicazione del **principio di precauzione** di cui all'art. 174 par. 2 del Trattato istitutivo dell'Unione Europea;
- tutelare l'ambiente e il paesaggio;
- promuovere l'innovazione tecnologica e le azioni di risanamento volte a minimizzare l'intensità e gli effetti dei campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici.

Legge quadro 22 febbraio 2001, n. 36 (2)

Campo di applicazione

La Legge quadro si applica a impianti, sistemi e apparecchiature per usi civili, militari e delle forze di polizia, che possono causare l'esposizione a campi con frequenza compresa nel range $0 \text{ Hz} \div 300 \text{ GHz}$ in ambiente esterno e interno. Gli impianti per telefonia e i radar sono compresi nella sfera di applicazione della Legge, mentre ne sono esclusi i casi di esposizione intenzionale per scopi diagnostici o terapeutici: ad apparecchi e dispositivi di uso domestico, individuale e lavorativo si applicano solo le norme relative alla etichettatura ed alle schede informative per cui i fabbricanti sono obbligati verso gli utenti.

Strumenti di tutela

La **tutela della salute umana** viene raggiunta con due "strumenti" principali:

- definizione di tre diversi limiti per gli impianti fissi sorgenti di inquinamento elettromagnetico: **limiti di esposizione**, **valori di attenzione** e **obiettivi di qualità**;
- **informazione** agli utenti per gli impianti di uso domestico e lavorativo, per fornire tutte le notizie utili riguardo alla distanza minima consigliata dall'apparecchiatura, ai livelli di esposizione prodotti e alle prescrizioni di sicurezza da rispettare.

Legge quadro 22 febbraio 2001, n. 36 (3)

Limite di esposizione: valore di campo elettrico, magnetico e elettromagnetico, considerato come **valore di immissione**, definito ai fini della tutela della salute da **effetti acuti**, che non deve essere superato in alcuna condizione di esposizione della popolazione e dei lavoratori.

Valore di attenzione: valore di campo elettrico, magnetico e elettromagnetico, considerato come **valore di immissione**, che non deve essere superato negli ambienti abitativi, scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze prolungate; è una **misura di cautela** per la protezione da possibili **effetti a lungo termine**, e deve essere raggiunto nei tempi e modi previsti dalla legge.

Obiettivi di qualità:

- i **criteri localizzativi**, gli **standard urbanistici**, le **prescrizioni** e le **incentivazioni** per l'impiego delle migliori tecnologie disponibili, indicati dalle **leggi regionali** secondo le competenze definite;
- i valori di campo elettrico, magnetico e elettromagnetico, fissati dallo **Stato** per la **progressiva minimizzazione** dell'esposizione ai campi stessi.

Legge quadro 22 febbraio 2001, n. 36 (4)

Competenze dello Stato:

- fissare i limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità;
- promuovere attività di ricerca, di sperimentazione tecnico-scientifica, di raccolta, elaborazione e diffusione dati;
- istituire un Catasto Nazionale delle sorgenti fisse e mobili di campi e.m. e delle aree interessate dall'emissione delle stesse;
- determinare i criteri di elaborazione dei piani di risanamento, indicando tempi e priorità;
- stabilire tecniche di misurazione e rilevamento dell'inquinamento elettromagnetico;
- realizzare accordi con gestori e proprietari di elettrodotti e di impianti di emissione radiotelevisiva e telefonia mobile per promuovere tecnologie e tecniche di costruzione che permettano di minimizzare le emissioni nell'ambiente e di tutelare il paesaggio;
- definire i tracciati degli elettrodotti con tensione superiore a 150 kV ;

Legge quadro 22 febbraio 2001, n. 36 (5)

- determinare i parametri per la previsione di fasce di rispetto per gli elettrodotti in cui non è consentita alcuna destinazione di edifici ad uso residenziale, scolastico, sanitario o ad uso che comporti una permanenza non inferiore a 4 ore.

Competenze delle Regioni:

- individuare i siti di trasmissione e gli impianti di telefonia mobile, radio-elettrici e per la radio-diffusione;
- definire i tracciati degli elettrodotti con tensione non superiore a 150 kV ;
- determinare le modalità per il rilascio delle autorizzazioni all'installazione degli impianti;
- concorrere all'individuazione di strumenti e azioni per il raggiungimento degli obiettivi di qualità, e all'approfondimento delle conoscenze scientifiche relative agli effetti sulla salute derivanti dall'inquinamento elettromagnetico;
- adottare i piani di risanamento;
- definire le competenze di Province e Comuni, provvedendo all'emanazione di leggi regionali di recepimento della Legge quadro.

Legge quadro 22 febbraio 2001, n. 36 (6)

La Legge quadro **non è immediatamente operativa** per intero: l'efficacia di alcuni aspetti è subordinata all'**emanazione di successivi decreti attuativi** per fissare i limiti di esposizione, il valore di attenzione, gli obiettivi di qualità, le tecniche di rilevamento e i parametri per la previsione di fasce di rispetto per gli elettrodotti.

Continua ad applicarsi nel frattempo la **normativa previgente**. I provvedimenti emanati prima della legge quadro, che continuano a trovare attuazione, in via transitoria, fino all'emanazione dei decreti attuativi della legge quadro stessa, sono:

- DPCM 23 aprile 1992;
- DPCM 28 settembre 1995;
- DM 10 settembre 1998;
- Legge 20 marzo 2001 n. 66.

Una serie di atti normativi dovranno essere emanati per avviare l'attività di risanamento.

Legge quadro 22 febbraio 2001, n. 36 (7)

Le funzioni di **controllo** e **vigilanza sanitaria e ambientale** per l'attuazione della Legge quadro sono attribuite alle **Amministrazioni provinciali e comunali**, che si avvalgono delle **ARPA** (Agenzie Regionali per l'Ambiente) o, in assenza di queste, dell'**ANPA** (Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente), dei **PMP** (Presidi Multinazionali di Prevenzione), dell'**ISPESL** e degli ispettori territoriali del Ministero delle Comunicazioni a supporto delle autorità locali.

Per i luoghi di lavoro e per i controlli all'interno degli impianti delle Forze di Polizia si applica la normativa del settore.

La Legge quadro prevede anche **sanzioni amministrative**.

Ad esempio, chiunque nell'esercizio o nell'impiego di una sorgente o di un impianto che genera campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici superi i limiti di esposizione ed i valori di attenzione previsti nei decreti attuativi, è punito con la sanzione amministrativa del pagamento di una somma da 2 a 600 milioni.