

# LICEO SCIENTIFICO “L. DA VINCI”

## CAMPI ELETTROMAGNETICI E SOCIETÀ

### Tema tecnico- scientifico

#### 1) INTRODUZIONE

Il progresso tecnologico, con tutte le applicazioni industriali, commerciali e domestiche dei campi elettromagnetici (CEM ), ha comportato vari rischi.

In ogni momento della giornata siamo parte integrante di campi elettromagnetici detti anche EMF (dall' inglese “Electro Magnetic Fields”) che emettono radiazioni considerate non ionizzanti, in quanto non superano una certa frequenza.

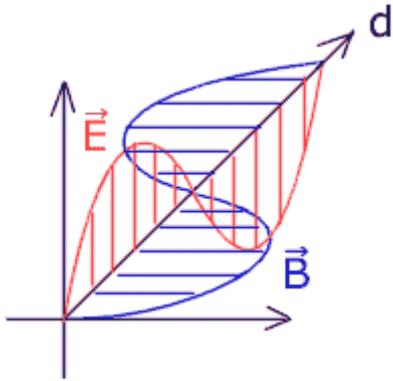
Le sorgenti naturali e artificiali generano energia elettro magnetica sotto forma di onde elettromagnetiche;esse possono essere caratterizzate attraverso la loro **lunghezza d'onda**, la loro **frequenza** o la loro **energia**.

- La **frequenza** è il numero d'oscillazioni che passano per un determinato punto nell'unità di tempo. Essa è misurata in cicli al secondo o hertz. I multipli usati per descrivere i campi a radiofrequenza (RF) comprendono il kilohertz (kHz) pari a mille cicli al secondo, il megahertz (MHz) pari ad un milione di cicli al secondo e il gigahertz (GHz) pari ad un miliardo di cicli al secondo.
- Tanto più corta è la lunghezza d'onda, tanto più alta è la frequenza;
- Un'onda elettromagnetica consiste di piccolissimi pacchetti d'energia chiamati fotoni. L'energia d'ogni pacchetto è direttamente proporzionale alla frequenza dell'onda: più alta è la frequenza, maggiore è la quantità d'energia d'ogni fotone.

Un onda elettromagnetica può essere piana, ed è formata da due componenti, una di campo elettrico  $\vec{E}$  e una di campo magnetico  $\vec{B}$ ,perpendicolari tra loro

# LICEO SCIENTIFICO “L. DA VINCI”

ed entrambe ortogonali alla direzione di propagazione dell'onda. Queste componenti non sono costanti nel tempo e oscillano tra un massimo e un minimo con una precisa frequenza di oscillazione  $\nu$ . Ad ogni frequenza è associata una lunghezza d'onda  $\lambda$  che è inversamente proporzionale alla frequenza secondo la relazione:



$$\lambda \nu = c$$

dove  $c$ , è la velocità della luce nel vuoto.

Queste onde consistono di campi elettrici e magnetici oscillanti che interagiscono in vari modi con i sistemi biologici, come cellule, piante, animali o l'uomo, determinati dall'intensità del campo e dalla quantità di energia di ogni fotone. Le onde elettromagnetiche di bassa frequenza sono indicate come “*Campi elettromagnetici*” e quelle a frequenza molto alta come “*radiazioni elettromagnetiche*”.

**Il campo** è il risultato della corrente e della tensione elettrica ed è diviso in una parte elettrica ed una parte magnetica. Nei cellulari, radar, ripetitori televisivi, ecc. il campo oscilla ad alta frequenza, la sua parte più significativa è quella elettrica, si può schermare con il metallo e si misura in volt/metro (V/m). Negli elettrodomestici e negli elettrodomestici la parte più significativa è quella magnetica che non si può schermare, il campo oscilla a bassa frequenza, 50/60Hz e di misura in micro-Tesla con uno strumento differente da quello per i V/m.

Il progetto internazionale CEM dell'OMS vuole dare risposte alle preoccupazioni che sono sorte a campi a radiofrequenza (RF) e a microonde, a

# LICEO SCIENTIFICO “L. DA VINCI”

campi a frequenza estremamente bassa (ELF) e a campi elettrici e magnetici statici.

- ✓ I campi a radio frequenza (RF) producono riscaldamento e inducono correnti elettriche.
- ✓ I campi RF a frequenze al di sopra di circa 1MHz provocano riscaldamento, facendo muovere ioni e molecole d'acqua. Anche a bassi livelli d'energia RF producono una piccola quantità di calore che è smaltito dai normali processi di termoregolazione del corpo senza che la persona se ne renda conto. Tuttavia è stato accertato che l'esposizione a tali campi, troppo deboli per causare il riscaldamento, possono avere conseguenze negative sulla salute compreso il cancro e la perdita della memoria.
- ✓ I campi RF di frequenze al di sotto di circa 1MHz inducono cariche e correnti elettriche che possono stimolare le cellule di tessuti come nervi e muscoli.

I campi elettrici e magnetici a frequenze estremamente basse (ELF) inducono cariche e correnti elettriche.

- ✓ I campi elettrici ELF esistono ogni volta che una carica (o una tensione) è presente, indipendentemente dal fatto che vi sia un flusso di corrente elettrica. A intensità molto elevate, i campi elettrici possono essere percepiti attraverso la vibrazione dei peli cutanei. Tuttavia, alcuni studi suggeriscono che l'esposizione a bassi livelli di questi campi sia associata ad un aumento dell'incidenza di tumori infantili o ad altri effetti nocivi per la salute.
- ✓ I campi magnetici ELF si creano ogni volta che vi è un flusso di corrente elettrica. Essi penetrano facilmente nel corpo umano; alcuni studi

# LICEO SCIENTIFICO “L. DA VINCI”

epidemiologici hanno segnalato associazioni tra i campi ELF ed il cancro, specialmente nei bambini.

Mentre l'azione fondamentale di questi campi sui sistemi biologici è l'induzione di cariche e correnti elettriche, è stato provato che si verificano anche altri effetti, che potrebbero portare a danni per la salute ma solo a intensità di campo molto elevate.

- ✓ I campi elettrici statici non penetrano nel corpo, ma possono essere percepiti attraverso il movimento dei peli cutanei
- ✓ I campi magnetici statici hanno virtualmente la stessa intensità all'interno e all'esterno del corpo. Campi magnetici statici molto intensi possono alterare il flusso sanguigno o modificare i normali impulsi nervosi.

## 2) COME PRODURRE UN CAMPO MAGNETICO

Un campo magnetico può esser prodotto mediante corrente elettrica, materiale magnetico o per induzione. La variazione di un flusso magnetico induce un campo elettrico esprimibile tramite la:

⇒ legge d' induzione di Faraday-Neumann-Lenz:

$$\oint_{\gamma} \vec{E} \times d\vec{l} = - \frac{d}{dt} \left[ \phi_S(\vec{B}) \right]$$

Qui  $\vec{E}$  rappresenta il campo elettrico indotto in una spira chiusa facendo variare il flusso del campo magnetico  $\phi_S(\vec{B})$  che attraversa la spira. Nella spira circola corrente dovuta alla variazione di flusso magnetico e la corrente viene chiamata “corrente indotta”.

# LICEO SCIENTIFICO “L. DA VINCI”

La variazione di un flusso elettrico induce un campo magnetico e questo tipo di induzione è governato dalla legge di induzione di Maxwell (fisico scozzese che per primo concepì una teoria elettromagnetica completa) che si compone come segue:

la circuitazione del campo magnetico produce effetti che sono di due tipi e sono indicati nell'equazione di Ampere-Maxwell:

$$\oint_{\gamma} \vec{B} \times d\mathbf{l} = \mu_0 \mathbf{i}_c + \mu_0 \mathbf{i}_s$$

$$\oint_{\gamma} \vec{B} \times d\mathbf{l} = \mu_0 \mathbf{i} + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{d}{dt} \left[ \phi_s(\vec{E}) \right]$$

il primo dei due termini del secondo membro dell'equazione rappresenta il contenuto della legge di Ampere e si riferisce alla corrente di conduzione mentre il secondo è il vero effetto induttivo e rappresenta la “corrente di spostamento”.

Il cerchietto sul simbolo di integrale indica che l'integrale è operato lungo un cammino chiuso  $\gamma$ .

Così le due equazioni che specificano le caratteristiche di un campo magnetico  $\mathbf{B}$  generato nei due modi diversi cioè mediante una corrente il primo e tramite una variazione del campo elettrico il secondo, danno il risultato nella stessa forma.

Quando è presente una corrente ma non una variazione di flusso elettrico, il primo dei due addendi al secondo membri è nullo e la legge di Ampere-

# LICEO SCIENTIFICO "L. DA VINCI"

Maxwell si riduce alla legge di Ampere. Se invece si ha una variazione di flusso elettrico ma non una corrente è il secondo addendo ad annullarsi e tale legge si riduce alla legge d'induzione di Maxwell

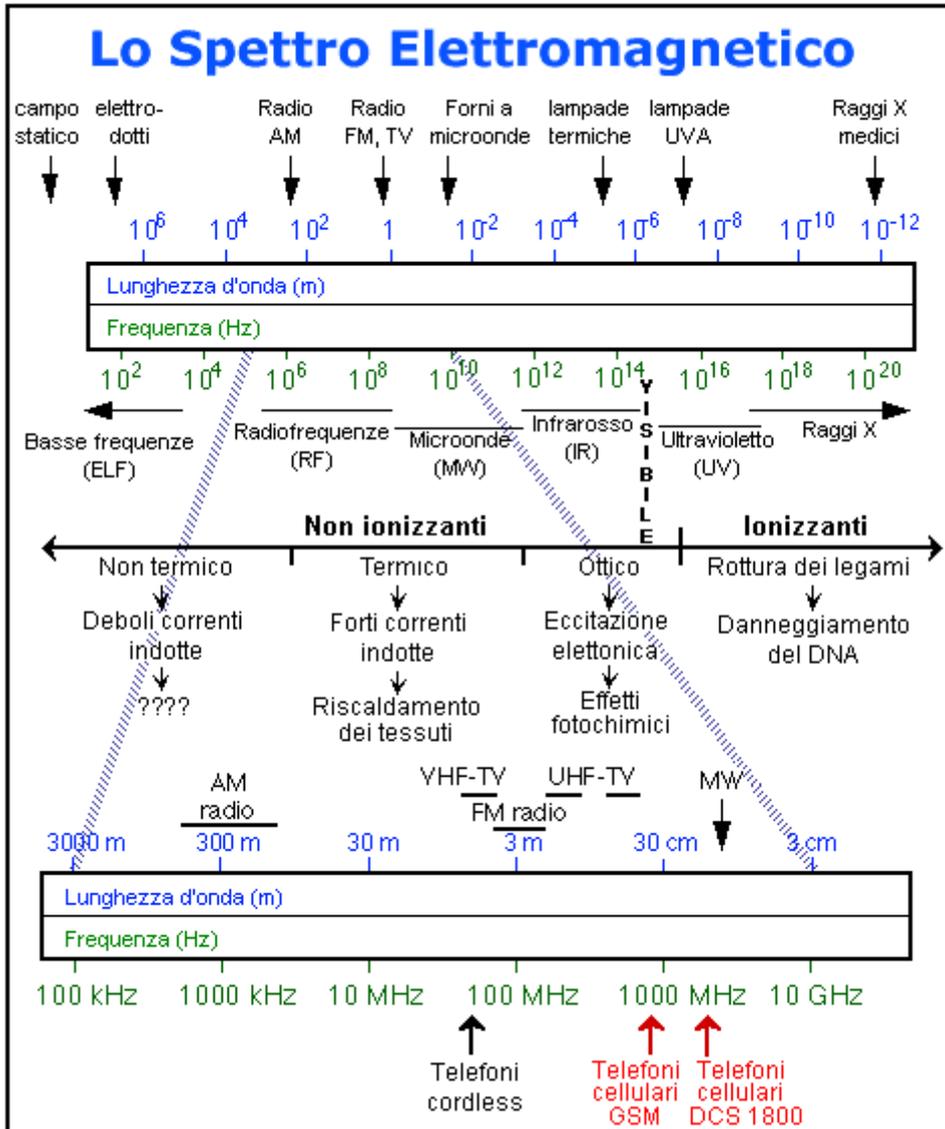
## 2.1) EQUAZIONI DI MAXWELL

NOME	EQUAZIONE	DESCRIZIONE
Legge di Gauss per il campo elettrico	$\oint_S \vec{E} \times \hat{n} dS = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0}$	Lega il flusso elettrico netto alla carica elettrica netta racchiusa
Legge dell'induzione di Faraday	$\oint_{\gamma} \vec{E} \times dl = -\frac{d}{dt} \left[ \phi_S(\vec{B}) \right]$	Lega il campo elettrico indotto alla variazione di flusso magnetico
Legge di Gauss per il campo magnetico	$\oint \vec{B} \times \hat{n} dA = 0$	Assenza del monopolo magnetico. Le linee di forza sono chiuse
Legge di Ampere-Maxwell	$\oint_{\gamma} \vec{B} \times dl = \mu_0 i + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d}{dt} \left[ \phi_S(\vec{E}) \right]$	Lega il campo magnetico indotto alla variazione di flusso elettrico e alla corrente

Dunque un campo elettromagnetico è una regione di spazio occupata da un'onda elettromagnetica, che è generata dal moto accelerato di cariche elettriche. Secondo la loro frequenza ed energia, le onde elettromagnetiche

# LICEO SCIENTIFICO “L. DA VINCI”

possono essere classificate come “*radiazioni ionizzanti*” o “*radiazioni non ionizzanti*”(NIR)



## 3) VARI TIPI DI RADIAZIONE

### 3.1) Le radiazioni non ionizzanti

Con Radiazioni non ionizzanti(NIR) si indicano quelle parti dello spettro elettromagnetico in cui l' energia fotonica è troppo bassa per rompere legami

# LICEO SCIENTIFICO “L. DA VINCI”

atomici (comprendono, quindi, i campi elettromagnetici nell'intervallo da 0 a 300GHz).

Le NIR comprendono la *radiazione ultravioletta(UV)*, *la luce visibile*, *la luce infrarossa*, *i campi a radiofrequenze e microonde*, *i campi a frequenze estremamente bassa (ELF)* ed *i campi elettrici e magnetici statici*.

Tuttavia, riguardo le NIR, vi sono pareri contrastanti. Infatti alcuni studiosi affermano che le *NIR*, anche di alta intensità, *non possono provocare la ionizzazione in un sistema biologico*, ma riscaldano i tessuti, alterano le reazioni chimiche o inducono correnti elettriche nei tessuti e nelle cellule, altri affermano che ad alte intensità, le radiazioni non ionizzanti sono dannose per la salute.

## 3.2) Effetti NIR

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

E' fondamentale, pertanto, la distinzione tra effetti biologici ed effetti sanitari. Questo aspetto è stato più volte precisato dall'OMS (Organizzazione Mondiale della Sanità), che definisce così i due effetti:

- Un effetto biologico si verifica quando l'esposizione alle onde elettromagnetiche provoca qualche variazione fisiologica notevole o rilevabile in un sistema biologico.
- Un effetto di danno alla salute si verifica quando l'effetto biologico è al di fuori dell'intervallo in cui l'organismo può normalmente compensarlo, e ciò porta a qualche condizione di detrimento delle salute.
- Alcuni effetti biologici possono essere innocui, come ad esempio l'aumento della circolazione sanguigna dopo un leggero aumento del riscaldamento da parte del sole. Alcuni effetti possono essere vantaggiosi

# LICEO SCIENTIFICO “L. DA VINCI”

come la sensazione di calore da parte dei raggi diretti del sole in una giornata fredda, o possono portare ad effetti positivi per la salute come nel caso del sole che aiuta la produzione di vitamina D. Altri conducono ad effetti nocivi per la salute, come il dolore per le ustioni solari o il cancro della pelle.

Nel valutare gli effetti sulla salute e biologici delle **radiazioni non ionizzanti** si tratta da un lato di distinguere tra gli effetti acuti prodotti da campi forti e il carico a lungo termine prodotto da campi deboli e dall'altro lato tra gli effetti dei campi a bassa ed alta frequenza.

## Effetti acuti delle radiazioni intense

I campi intensi a bassa frequenza provocano nel corpo delle correnti elettriche. Tali correnti possono influenzare cellule eccitabili (cellule nervose o muscolari). Gli effetti dipendono dalla densità di corrente indotta nel corpo. Nel caso di campi molto forti, si hanno disturbi del sistema nervoso centrale, aumenti della pressione sanguigna e aritmie cardiache.

Le **radiazioni** ad alta frequenza sono assorbite dal tessuto corporeo e lo riscaldano (effetto termico). L'effetto dipende dall'intensità, dalla durata e dalla frequenza delle **radiazioni**. Se l'aumento del calore corporeo supera gli 1 – 2 gradi Celsius, l'effetto è pari a quello prodotto dalla febbre o dal forte caldo e porta ad una riduzione dell'attività mentale e ad una perturbazione delle funzioni corporee. Gli organi scarsamente irrorati dal sangue, come l'occhio, sono particolarmente colpiti da tale riscaldamento. Al di sotto di una certa intensità di radiazione **non** vi sono più effetti termici in quanto il corpo è in grado di compensare lievi sbalzi di temperatura.

## Effetti delle radiazioni deboli

# LICEO SCIENTIFICO “L. DA VINCI”

Gli effetti biologici dei campi deboli nell'intervallo a bassa frequenza, in particolare per i campi magnetici attorno ad elementi di erogazione di corrente da 50 Hz, sono noti. Tuttavia **non** è ancora chiaro se questo possa pregiudicare la salute delle persone. E' dimostrato che si ha un'influenza sulla permeabilità delle membrane cellulari e sul metabolismo della melatonina, l'ormone che dipende dalla luce, regola il ciclo diurno-notturno e ha effetti anticancerogeni. Esiste inoltre un legame statistico tra i campi magnetici a bassa frequenza e i casi di leucemia nei bambini.

Per elettrosensibilità si intendono poi una serie di disturbi come indisposizione, disturbi del sonno, nervosismo, mal di testa e stanchezza, che i soggetti colpiti riconducono ad effetti di linee ed apparecchiature elettriche e impianti di trasmissione di vario tipo.

Allo stato attuale delle conoscenze, la scienza **non** può né confermare né escludere gli effetti dannosi dell'esposizione a lungo termine a campi elettromagnetici deboli. Vi è però motivo di sospettare che anche le **radiazioni non ionizzanti** deboli al di sotto dei valori limite d'immissione possano influenzare la salute. Tali effetti sono però difficili da dimostrare perché entrano spesso in gioco cause diverse e perché la sensibilità varia da individuo a individuo. La ricerca continua ad occuparsene.

## Effetti su apparecchi elettronici

Oltre ad avere effetti biologici e sulla salute, i campi e le onde elettromagnetiche producono anche effetti sulle apparecchiature elettroniche, che vanno costruite in modo da **non** disturbarsi a vicenda (compatibilità elettromagnetica). Ad esempio, apparecchi acustici e pacemaker possono essere disturbati da cellulari che si trovino nelle immediate vicinanze. Anche gli apparecchi elettronici sensibili degli ospedali (reparto di rianimazione) o sugli

# LICEO SCIENTIFICO “L. DA VINCI”

aerei possono essere disturbati dalle **radiazioni** ad alta frequenza, ragion per cui in tali ambienti è vietato l'uso di determinati apparecchi (cellulari, PC).

## Effetti termici e non termici

Gli effetti biologici dei campi elettromagnetici dipendono principalmente dalla potenza trasportata dalla radiazione.

L'energia trasportata da un'onda elettromagnetica che attraversa un tessuto biologico viene dissipata all'interno del tessuto stesso sotto forma di calore. Il campo magnetico oscillante induce nel tessuto una corrente elettrica che dissipa potenza a causa delle proprietà dielettriche del mezzo. Campi elettromagnetici con densità di potenza superiore ai  $10\text{mW}/\text{cm}^2$  possono provocare danni biologici per **effetto termico**: gli effetti acuti del campo magnetico sono dovuti all'induzione di corrente elettrica nei tessuti( fino a  $10\text{A}/\text{m}^2$  per campi magnetici molto intensi), e vanno da interferenze nella percezione sensoriale (visiva e tattile), alla fibrillazione ventricolare, fino al riscaldamento dei tessuti. Si ipotizza che le radiofrequenze e i campi a basse frequenze, anche se emessi con potenza inferiore a  $10\text{mW}/\text{cm}^2$ , possano causare danni biologici con **effetti non termici**. 🌐📶

## **Effetti acuti**

Gli effetti acuti possono manifestarsi come immediata conseguenza di esposizioni elevate al di sopra di una certa soglia. Sono stati segnalati:

- a) per esposizione alle alte frequenze (stazioni radio base, impianti radiotelevisivi, telefoni cellulari,...);
  - opacizzazione del cristallino, anomalie alla cornea;
  - ridotta produzione di sperma;
  - alterazioni delle funzioni neurali e neuromuscolari;

# LICEO SCIENTIFICO “L. DA VINCI”

- alterazioni nel sistema immunitario;
- b) per esposizione alle basse frequenze (linee elettriche, elettrodomestici, ....)
- effetti sul sistema visivo e sul sistema nervoso centrale
- stimolazione di tessuti eccitabili
- extrasistole e fibrillazione ventricolare

Gli effetti cronici possono manifestarsi dopo periodi anche lunghi di latenza in conseguenza di lievi esposizioni, senza alcuna soglia certa. Tali effetti hanno una natura probabilistica: all'aumentare della durata dell'esposizione aumenta la probabilità di contrarre un danno ma non l'entità del danno stesso. Per quanto riguarda le alte frequenze, l'OMS sostiene che “non c'è nessuna evidenza convincente che l'esposizione a RF abbrevi la durata della vita umana, né che induca o favorisca il cancro”. Per l'esposizione alla basse frequenze, alcuni studi hanno ipotizzato un aumento del rischio per la leucemia infantile. La normativa attuale sui CEM è fortemente cautelativa.

## EFFETTI ACUTI DEL CAMPO MAGNETICO

Effetto	Campo magnetico	Densità di corrente
Riscaldamento dei tessuti (0,4 W/Kg)	1.600.000mT	10.000mA/m <sup>2</sup>
Induzione di extrasistole (rischio di fibrillazione)	130.000mT	800mA/m <sup>2</sup>
Percezione sensoriale, magnetofosfeni	16.000mT	100mA/m <sup>2</sup>

### 3.3) Radiazioni ionizzanti

Verso la fine del 19° secolo sono state scoperte altre radiazioni provenienti da materiali radioattivi (dette anche radiazioni nucleari) e i raggi X. Una particolare proprietà di queste forme di radiazione è la capacità di ionizzare gli

# LICEO SCIENTIFICO “L. DA VINCI”

atomi cioè causare la perdita di elettroni da parte di atomi elettricamente neutri. L'atomo acquista una carica positiva e diventa ione.

Nelle cellule degli esseri viventi le radiazioni possono formare ioni che reagiscono chimicamente con le molecole biologiche. Le reazioni chimiche possono danneggiare o addirittura distruggere le cellule o talvolta mutarne le caratteristiche ereditarie(DNA).

## *Proprietà delle radiazioni ionizzanti*

Le radiazioni ionizzanti si presentano sotto diversi aspetti che differiscono per proprietà come la carica, la massa, l'energia, la capacità di penetrare nella materia, la capacità di ionizzare i materiali e il comportamento nei campi elettrici o magnetici.

Le radiazioni ionizzanti sono quelle che hanno frequenza superiore a  $10^{15}$  Hz, e comprendono l'UV lontano, raggi X e raggi gamma.

## **Raggi X**

Furono scoperti da Roentgen nel 1895 che ne identificò diverse proprietà:

- Hanno la capacità di ionizzare i gas;
- Viaggiano in linea retta e non sono deviati da campi elettrici o magnetici;
- La pellicola fotografica è sensibile ai raggi X;
- I raggi X sono capaci di penetrare oggetti e materiali, ed il grado di penetrazione dipende dalla natura dei materiali.
- I raggi X viaggiano alla velocità della luce e la relazione tra la loro lunghezza d'onda,  $\lambda$ , e la loro frequenza,  $\nu$ , è data dalla formula:  $\lambda\nu = c$

# LICEO SCIENTIFICO "L. DA VINCI"

, nella quale  $c$  è la velocità della luce. Il valore di  $\lambda$  è considerevolmente minore per i raggi X di quanto sia per la luce visibile.

Roetgen scoprì i raggi X dirigendo un fascio di raggi catodici (cioè di elettroni veloci) contro la parete di un tubo di vetro. La natura e l'origine dei raggi X poterono essere spiegati soltanto in seguito, dopo che Bohr ebbe sviluppato il suo modello dell'atomo. Si capì che i raggi X non si generano, ma provengono dagli elettroni che orbitano intorno al nucleo atomico.

## *Radiazioni nucleari*

La scoperta di queste radiazioni si deve a Henri Bequerel, Pierre e Marie Curie, Ernest Rutherford.

La ricerca dimostrò che le radiazioni sono di tre tipi:

- **Radiazioni  $\alpha$** : La radiazione  $\alpha$  è composta da nuclei degli atomi di He. Ogni nucleo è formato da due protoni e due neutroni. La loro capacità di penetrare i materiali non è grande: non penetrano più di pochi centimetri nell'aria e basta uno strato di cartoncino per assorbirli. Tuttavia sono capaci di ionizzare un gran numero di atomi nella breve distanza percorsa dalla materia.
- **Radiazioni  $\beta$** : le radiazioni  $\beta$  sono costituite da elettroni. La loro velocità di emissione varia. Esse penetrano fino a un metro nell'aria e il loro potere ionizzante è molto minore di quello delle radiazioni  $\alpha$ .
- **Raggi gamma**: radiazioni elettromagnetiche di altissima frequenza, comprese tra  $10^{19}$  e  $10^{22}$  Hz, emesse da sostanze radioattive o da altri processi nucleari subatomici, come l'annichilazione elettrone-positrone, che

# LICEO SCIENTIFICO “L. DA VINCI”

possiedono un elevato potere di penetrazione, maggiore dei raggi X, di cui hanno minor lunghezza d'onda. Grazie a questa alta penetrazione nei tessuti e a una ridotta attività ionizzante, sono particolarmente utili nella terapia dei tumori e per la conservazione degli alimenti.

## RAGGI GAMMA

- I raggi gamma sono più penetranti sia della radiazione alpha sia della radiazione beta, ma sono meno ionizzanti.
- I raggi gamma si distinguono dai raggi X per la loro origine: i gamma sono prodotti da transizioni nucleari o comunque subatomiche, mentre gli X sono prodotti da transizione energetiche dovute ad elettroni in rapido movimento.
- Poiché è possibile per alcune transizioni elettroniche superare le energie di alcune transizioni nucleari, i raggi X più energetici si sovrappongono con i raggi gamma più deboli.
- Sono più difficili da fermare e la loro capacità ionizzante è molto minore di quella dei raggi  $\beta$ .

### 3.4) MISURA DELLE DOSI DI RADIAZIONI IONIZZANTI

Le unità di misura per mezzo delle quali si definiscono le proprietà e gli effetti delle radiazioni ionizzanti sono la **dose assorbita** e la **dose equivalente**, e il **Becquerel**.

La *dose assorbita* è una misura di dose (energia per unità di massa) di radiazione assorbita effettivamente da un oggetto specifico. La sua unità S.I. è il Gray (Gy). Una precedente unità ora non più ammessa ma ancora molto in uso è il rad (dall'inglese *radiation absorbed dose*). Sono definite come segue:

# LICEO SCIENTIFICO "L. DA VINCI"

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/Kg} = 100 \text{ rad}$$

La *dose equivalente* permette di esprimere gli effetti biologici moltiplicando la dose assorbita (in Gy o rad) per un *fattore di qualità* FQ, che si trova in tabelle di riferimento facilmente reperibili.

RAGGI X	FQ=1
ELETTRONI	FQ=1
NEUTRONI LENTI	FQ=5
PARTICELLE ALFA	FQ=10

Strumenti di controllo individuale personalizzati, quali rivelatori con pellicole sensibili alle radiazioni detti *dosimetri*, sono tarati in modo da registrare le dosi equivalenti in sievert. L'unità S.I. di dose equivalente è il sievert (Sv). Una precedente unità, il rem, è ancora in uso. La loro definizione è:

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ Gy} * \text{FQ} = 100 \text{ rem}$$

## 3.5) LE RADIAZIONI IONIZZANTI E L'UOMO

Nel corso della vita ciascuno di noi è esposto ad una quantità più o meno elevata di radiazioni ionizzanti. Un fondo di radiazioni naturali, proveniente dalla terra o dall'universo, è presente ovunque. Altre forme di radiazioni alle quali siamo esposti sono immesse nell'ambiente per le attività dell'uomo. Gli effetti delle radiazioni sulle persone si possono distinguere in *effetti a breve termine* ed *effetti a lungo termine*. Si considerano effetti a breve termine quelli che si manifestano dopo un mese o due dall'esposizione alle radiazioni e un'ulteriore distinzione si ha tra effetti somatici ed effetti genetici.

# LICEO SCIENTIFICO “L. DA VINCI”

Le radiazioni ionizzanti sono dannose per gli esseri viventi perché causano ionizzazioni nelle cellule, con la formazione di ioni fortemente reattivi come lo ione  $O_2^-$ . Questi ioni possono produrre reazioni chimiche indesiderabili all'interno della cellula, danneggiandola. Le radiazioni ionizzanti sono ampiamente usate in applicazioni mediche e tecnologiche e perciò si è resa necessaria un'unità di misura delle medesime per indicare il danno che esse recano al corpo umano. La dose di radiazioni non è adatta allo scopo poiché il danno dipende non soltanto dalla quantità di energia assorbita ma anche dal tipo di radiazioni assorbite e da quali organi e tessuti sono stati esposti.

Sono maggiormente soggetti gli organi in cui avvengono frequenti divisioni cellulari:

Tessuti/Organi	Sensibilità
GONADI	0,25
SENO	0,15
MIDOLLO OSSEO	0,12
POLMONI	0,12
TIROIDE	0,03
SUPERFICIE DELLE OSSA	0,03
ALTRI ORGANI	0,06

- Effetti acuti delle radiazioni

Gli effetti acuti delle radiazioni si manifestano uno o due mesi dopo una breve esposizione dell'intero corpo a radiazioni ionizzanti che penetrano all'interno del corpo. L'intervallo di tempo tra l'esposizione alle radiazioni e la comparsa della sindrome è chiamato *periodo di latenza*. Oltre alla *sterilità*, si possono distinguere tre gruppi di malattie, ognuno dei quali è caratterizzato da una

# LICEO SCIENTIFICO “L. DA VINCI”

particolare sindrome: la sindrome ossea, quella intestinale e quella del sistema nervoso centrale. Durante il periodo di latenza, se la dose è maggiore di 1Sv (100 rem) si possono manifestare anche altri sintomi della malattia da radiazione come nausea, mal di testa, vomito e diarrea. Con dosi maggiori i sintomi si avvertono prima e sono più gravi.

- ## Sterilità

Una dose locale di 0,5Sv sugli organi genitali maschili può provocare modificazioni temporanee nello sperma. Una dose superiore a 10Sv causa sterilità permanente. Le radiazioni possono anche causare la sterilità nelle donne, ma occorre una dose maggiore che per gli uomini. Nelle donne si verificano cambiamenti ormonali e un basso livello di radiazione può provocare la cessazione temporanea delle mestruazioni.

- ## Sindrome intestinale

La sindrome intestinale è dovuta ai danni subiti dalle cellule precorritrici della membrana mucosa intestinale. Poiché la produzione di nuove cellule è interrotta, nel giro di pochi giorni l'intestino perde la sua capacità di assorbire cibo, Sali e liquidi. Si ha dunque una perdita di liquidi e Sali e possono verificarsi emorragie. Con una dose superiore ai 10Sv, la morte segue dopo pochi giorni a causa dell'alterazione del metabolismo. A differenza della sindrome del midollo osseo che richiede l'esposizione alle radiazioni di tutto il corpo, la sindrome intestinale può essere causata da un'esposizione localizzata alle radiazioni.

- ## Sindrome del midollo osseo

# LICEO SCIENTIFICO “L. DA VINCI”

Se le cellule precorritrici responsabili della formazione di nuove cellule per divisione cellulare, contenute nelle ghiandole linfatiche e nel midollo osseo, sono danneggiate, cessa la produzione di nuovi globuli rossi e bianchi nel sangue e la resistenza alle infezioni e il numero di piastrine del sangue si riducono notevolmente, causando gravi emorragie. Con dosi superiori a 5Sv, è improbabile che un numero sufficiente di cellule precorritrici sopravviva all'irraggiamento, quindi è probabile che sopravvenga la morte a causa della perdita di sangue o di infezioni.

- [Sindrome del sistema nervoso centrale](#)

La causa di tale sindrome non è la cessazione della divisione delle cellule (perché nel cervello degli adulti non si verifica divisione cellulare), ma il danneggiamento delle cellule del cervello. La sindrome può sopravvenire in seguito all'esposizione localizzata della testa. Molte nostre conoscenze sulle malattie da radiazioni derivano dalle osservazioni effettuate durante esperimenti sugli animali. A queste conoscenze si aggiungono quelle derivanti dall'osservazione medica delle vittime dell'esplosioni nucleari di Hiroshima e Nagasaki e di vittime di incidenti sul lavoro con potenti sorgenti di radiazioni. La relazione tra la dose di radiazione ricevuta e i sintomi di malattia da radiazione per gli uomini è nota con minore precisione che per gli animali da laboratorio; La ragione di ciò è che dopo gli incidenti da radiazioni, la dose di radiazioni ricevuta può essere determinata solo approssimativamente ricostruendo le circostanze degli incidenti. Inoltre, di solito negli incidenti non si sa come fosse distribuita sulle varie parti del corpo delle vittime la radiazione ricevuta.

# LICEO SCIENTIFICO “L. DA VINCI”

## 3.6) EFFETTI SOMATICI RITARDATI

Gli effetti ritardati delle radiazioni si manifestano solo qualche mese o qualche anno dopo l'esposizione. Gli effetti somatici sono quelli che interessano il corpo della persona che è stata esposta alle radiazioni, escluse le gonadi, attraverso le quali vengono a verificarsi gli effetti sulla discendenza.

I più importanti effetti ritardati sono l'insorgere della *leucemia* (danni ai globuli bianchi del sangue) e la formazione di *tumori* (cancro). Entrambe le malattie si manifestano abbastanza frequentemente anche in persone che non hanno ricevuto elevate dosi di radiazioni

## EFFETTI GENETICI

Le conoscenze sugli effetti genetici delle radiazioni sono ancora piuttosto incerte. Sono disponibili dati riguardanti esperimenti con topi ma non si sa fino a che punto le conclusioni derivanti da questi dati possano essere applicate agli uomini. Al momento la dose di raddoppio, cioè la dose per cui il numero di mutazioni indotte è doppio del numero di mutazioni prodotte dalle radiazioni spontanee naturali, è generalmente stimata essere di 1Sv.

Perché si sviluppi un tumore, è necessario innanzitutto una mutazione genetica, dovuta a diversi fattori, come l'esposizione ad agenti genotossici (ad esempio l'esposizione a radiazioni ionizzanti) o un errore nella replicazione del DNA. Ma è comunque necessario che vi sia anche un'azione “epigenetica”, ovvero capace di favorire la trasformazione di una cellula precancerogena in una cellula cancerogena.

## 4) Tecniche e tipi di misura dei CEM

# LICEO SCIENTIFICO “L. DA VINCI”

Gli strumenti commerciali disponibili per effettuare misurazioni di CEM possono essere sommariamente suddivisi in tre diverse tipologie:

- **misuratori di campo** (*field meters*);
- **misuratori di densità di potenza** (*hazard monitors*);
- **analizzatori di spettro elettromagnetico** (*spectrum analyzers*).

Le prime due categorie rappresentano i cosiddetti strumenti di misura in *banda larga*, strumenti cioè che misurano l'intensità del campo elettromagnetico senza discriminare le diverse componenti spettrali o le diverse sorgenti di radiazione a frequenza diversa.

## 4.1) I misuratori di campo

I misuratori di campo sono strumenti che consentono di misurare l'intensità di campo elettrico o magnetico in banda larga. Forniscono quindi il valore del campo complessivo presente nel punto di misura. Un misuratore di campo è generalmente costituito da un'unità principale, contenente l'elettronica di elaborazione del segnale, corredata da un indicatore analogico o digitale, e di una sonda o sensore a esse collegata.

Le sonde possono essere isotrope o anisotrope.

Le prime forniscono una risposta costante a parità di campo incidente su una banda operativa in frequenza più o meno estesa (*operating frequency range* della sonda) in modo svincolato e indipendente sia dall'orientazione della sonda stessa, sia dalla direzione di propagazione e dalla direzione dell'onda.

Per quanto riguarda le *sonde isotrope* esse possono essere realizzate combinando opportunamente alcune antenne riceventi, per loro natura anisotrope. Le sonde isotrope per campo elettrico sono costituite da tre dipoli elettrici disposti mutuamente ortogonali in modo da misurare separatamente le

# LICEO SCIENTIFICO “L. DA VINCI”

tre componenti del campo elettrico lungo i tre assi individuati dalla terna di dipoli, comunque vengano disposti rispetto alla sorgente.

Dette  $E_x$ ,  $E_y$  e  $E_z$ , le tre componenti del campo rilevate dai tre dipoli, si legge nel quadrante dello strumento il valore di  $E$ , calcolato tramite la formula:

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2}$$

analogamente le sonde isotrope per campo magnetico sono realizzate utilizzando tre dipoli magnetici, ossia tre spire, disposti mutuamente ortogonali in modo da misurare separatamente le tre componenti del campo magnetico  $H_x$ ,  $H_y$ ,  $H_z$  per poi effettuarne la somma vettoriale:

$$H = \sqrt{H_x^2 + H_y^2 + H_z^2}$$

Le *sonde anisotrope* invece forniscono una risposta fortemente dipendente dall'orientazione del sensore nello spazio. Con l'uso di tali sonde risulta più agevole individuare la direzione di massimo irraggiamento del campo, ma la misura in un punto necessita di tre rilevamenti, ciascuno dei quali deve essere effettuato con l'asse della sonda orientato lungo direzioni disposte mutuamente ortogonali.

## [4.2\) Misuratori di densità di potenza](#)

Tali strumenti sono tra i più diffusi in ambito protezionistico, data la loro semplicità d'uso e la loro versatilità. Bisogna però ricordare che i misuratori di densità di potenza devono essere utilizzati in condizioni di campo lontano; solo in tale situazione forniscono misurazioni e dati utilizzabili a fini radioprotezionistici. In condizioni di campo lontano si può risalire dalla misura di densità di potenza irradiata espressa in [ W/m<sup>2</sup> ] o in [ mW/cm<sup>2</sup> ] (unità di misura quest'ultima dieci volte più grande della precedente) alla valutazione del

# LICEO SCIENTIFICO “L. DA VINCI”

campo elettrico e del campo magnetico; esprimendo il campo  $E$  in  $[V/m]$ , l'impedenza  $Z_0$  pari a  $377\Omega$  e la densità di potenza  $S$  in  $[W/m^2]$ , si ha:

$$E = \sqrt{Z_0 S}$$

Per il campo magnetico, esprimendo il campo magnetico  $H$  in  $[A/m]$ , si può scrivere:

$$H = \sqrt{\frac{S}{Z_0}}$$

## 4.3) Analizzatori di spettro

L'analizzatore di spettro elettromagnetico è uno strumento che consente di studiare i segnali elettrici nel dominio della frequenza, riuscendo così ad avere informazioni ulteriori rispetto all'osservazione globale e indiscriminata di un misuratore di campo, il quale fornisce l'indicazione del solo valore efficace del segnale o di un oscilloscopio, con il quale è possibile osservare l'andamento del segnale nel dominio del tempo. Con l'analizzatore di spettro si può presentare su uno schermo fluorescente (CRT) la rappresentazione di qualunque segnale nel dominio della frequenza. L'oscilloscopio consente di osservare l'andamento temporale dell'ampiezza del segnale: per questa ragione si dice che l'oscilloscopio opera nel dominio del tempo (*time domain*); e infatti sul suo display si ha sull'asse  $y$  riportata l'ampiezza del segnale, sull'asse  $x$  la rappresentazione del tempo. L'analizzatore di spettro riesce invece a visualizzare, in un certo intervallo di frequenze, la composizione del segnale sia in ampiezza sia in frequenza. Sul display si ha analogamente un asse  $y$  che rappresenta l'ampiezza del segnale e un asse  $x$  che rappresenta la scala delle frequenze. Si

# LICEO SCIENTIFICO “L. DA VINCI”

può immaginare facilmente quante e quali applicazioni trovino un valido strumento nell’analizzatore di spettro:

- l’analisi dei segnali;
- le telecomunicazioni in genere;
- lo studio delle EMI(*ElectroMagnetic Interferences* o interferenze elettromagnetiche);
- il collaudo di apparati elettronici;
- non ultimo l’utilizzo per fini protezionistici e ambientali.



anisotrope

sonde isotrope e



*Misuratore di densità di potenza*

## 5) MAGNETISMO TERRESTRE

La terra è un enorme magnete. Il campo magnetico terrestre può essere rappresentato come il campo di un dipolo magnetico posto in un punto vicino al centro della terra. In linea di principio, le linee di **B** del campo magnetico terrestre entrano nell'emisfero nord ed escono dall'emisfero sud della superficie terrestre. La direzione del campo vicino alla superficie terrestre sono convenientemente specificate, rispetto alla terra stessa, in termini di **declinazione magnetica** (l'angolo tra il vero nord geografico e la componente orizzontale del campo) e **inclinazione magnetica** (l'angolo tra un piano orizzontale e la direzione del campo). Per misurare queste quantità si utilizzano i *magnetometri* o *bussole* o *clinometri*. Lo strumento per misurare l'inclinazione è un magnete analogo montato in modo da poter ruotare liberamente in un piano verticale. Il campo magnetico terrestre, dunque, è approssimativamente quello di un dipolo, che forma un angolo di  $11,5^\circ$  con l'asse di rotazione terrestre, con le linee di campo magnetico che emergono dall'emisfero sud della Terra.

# LICEO SCIENTIFICO “L. DA VINCI”

## 5.1) CAMPI ELETTROMAGNETICI NATURALI

Nel nostro pianeta abbiamo campi elettrici e magnetici naturali statici in presenza dei quali la vita ha trovato le condizioni favorevoli per evolversi. Tutte le specie viventi sono sensibili alle emissioni elettromagnetiche soprattutto perché gli organismi viventi hanno sensori del sistema nervoso sensibili a porzioni dello spettro elettromagnetico naturale.

- **La radiazione fossile.**

La più importante prova sperimentale a favore della teoria del Big Bang è la cosiddetta radiazione fossile (o radiazione cosmica di fondo), residuo in forma di energia radiante della grande esplosione da cui ebbe origine l'universo primordiale. Prevista alla fine degli anni '40 dal fisico George Gamow, essa venne individuata casualmente nel 1968 da due ricercatori dei Bell Laboratories, che in tal modo confermarono l'ipotesi dell'origine “calda” dell'universo.

Gli scopritori della radiazione predetta da Gamow sono due ingegneri della Bell Telephone Company, Arno Penzias e Robert Wilson. Essi non cercavano la radiazione fossile, ma stavano tentando di stabilire quali fossero le cause di rumore che disturbavano le trasmissioni a microonde da e per i satelliti per teletrasmissioni. La storia si ripeteva: più di trent'anni, un altro ingegnere della Bell Telephone Company, Karl Jansky, scopriva per caso le radioemissioni galattiche, mentre cercava le cause di rumore che disturbavano le trasmissioni transoceaniche a onde corte. Penzias e Wilson stavano scrutando tutto il cielo con un'antenna a corno collegata a un ricevitore per lunghezze d'onda di pochi centimetri. Eliminate le cause di rumore terrestre, si accorsero che, in qualunque direzione puntassero

# **LICEO SCIENTIFICO “L. DA VINCI”**

l'antenna, restava un tenue rumore di fondo costante. Intanto, all'Università di Princeton, due astrofisici, Robert Dicke e James Peebles, memori delle previsioni di Gamow, stavano progettando uno strumento per tentare di scoprire proprio la radiazione fossile. Quando seppero della scoperta di Wilson e Penzias probabilmente saltarono dalla gioia, per poi mordersi le mani per non averla rivelata per primi. Per essere sicuri che questa radiazione era proprio quella contenuta nell'universo primordiale e poi raffreddata dall'espansione, si doveva accertare che, ad ogni lunghezza d'onda, l'emissione per unità di volume fosse proprio quella di un corpo nero a temperatura di pochi gradi assoluti. È stato necessario eseguire moltissime misure a lunghezze d'onda comprese tra una decina di centimetri e qualche frazione di millimetro. A lunghezze d'onda maggiori, l'emissione sincrotrone da parte della Via Lattea diventa predominante, a lunghezze d'onda di pochi millimetri e nell'infrarosso, la nostra atmosfera assorbe e riemette in modo predominante. Quindi, una misura della radiazione fossile era possibile solo fra 10 centimetri e 10 millimetri. Le misure indicavano un buon accordo con la curva teorica di un corpo nero a circa 3°K. Le osservazioni furono tentate da località a grande altitudine e molto secche e da palloni. Varie misure da parte di diversi gruppi di ricercatori e con tecniche diverse davano risultati in buon accordo fra loro: la curva si accordava con quella di un corpo nero alla temperatura di 2,75 gradi assoluti con un'incertezza più o meno inferiore al decimo di grado.

Il satellite COBE, lanciato il 18 Novembre 1989, ha tracciato una mappa che evidenzia lo spettro della radiazione fossile, identico a quello di un corpo nero alla temperatura di 2,735° e che non presenta deviazioni, almeno entro una precisione dell'1 per cento e per la limitata regione esplorata fino a ora.

**Perché i campi elettromagnetici non naturali possono far male**

# LICEO SCIENTIFICO “L. DA VINCI”

Questi tipi di campi deviano il corretto magnetismo naturale in punti della casa ben precisi. Ecco perché chi dorme con la testa vicina ad un muro dove nella stanza accanto c'è un frigorifero o un televisore o una lavatrice, ha una sensazione di stanchezza, sente di non riuscire a carburare, di non essersi riposato. Questo perché qualsiasi attività che viene svolta in quel punto risulta essere disturbata. Lo stesso accade quando si colloca il letto in una camera dove l'impianto elettrico ha spine di presa di corrente accanto al cuscino, sotto il letto o ancor peggio, quando i fili della abatjour (lampade da comodino) sono a 60 cm dalla nostra testa. Altre piccole patologie d'allarme sono i crampi alle gambe dopo 4-5 ore di lavoro alla scrivania dell'ufficio (generalmente la gamba è quella più vicina al pc o alle prese di corrente). Pertanto, è necessario schermare i campi elettromagnetici.

## Cosa succede quando si dorme

In alcune ore del sonno (fase rem), il cervello rigenera e fa crescere le nostre cellule. Durante questa laboriosa operazione, avviene un fisiologico abbassamento della soglia del sistema immunitario. Se durante queste ore siamo sottoposti a campi elettrici e magnetici che interferiscono con gli impulsi inviati dal cervello alle nostre cellule e ai nostri organi, ci può essere un impedimento per una corretta crescita, rigenerazione e riequilibrio del nostro corpo. Inoltre le onde ad alta frequenza sono dei **vasocostrittori**, cioè non permettono il regolare flusso del sangue, restringendo le nostre arterie.

## Tralicci e telefonini : perché fanno male?

# LICEO SCIENTIFICO “L. DA VINCI”

Sia che si tratti di campi magnetici a bassa frequenza che ad alta , il meccanismo sostanziale che provoca i danni all'organismo è lo stesso: la trasformazione dell'energia elettromagnetica in calore, soprattutto a causa della elevata presenza di acqua nel nostro corpo. E' stato calcolato che l'uso di un cellulare per cinque minuti di seguito, è in grado di provocare un aumento di temperatura di un grado, nell'area circostante; in tal modo il meccanismo di termoregolazione dell'organismo viene attivato in maniera artificiale, ma quando il carico termico è eccessivo la cellula soffre , o addirittura muore. Ma in che modo ? ecco alcuni esempi:

1. la permeabilità al calcio della membrana cellulare viene modificata :in questo modo si modifica la sintesi delle proteine all' interno di ogni cellula.
2. All' interno di ogni cellula si possono verificare rotture dei cromosomi, o modificazioni del loro ciclo di duplicazione.
3. Può diminuire l'attività e l'efficacia dei linfociti T, quelli che attaccano gli antigeni e le cellule cancerose.
4. La concentrazione dell'enzima ornitina decarbossilasi , fondamentale per la crescita cellulare.
5. L'epifisi , o ghiandola pineale, nel cervello, viene stimolata dal campo magnetico proprio come dalla luce solare: blocca cioè la propria attività. Si altera così il ciclo del sonno, e ci sono disturbi dell'umore.

## Cellulari: radiazioni bizzarre

La ricerca sui telefoni cellulari, per accertarne la pericolosità, è iniziata a metà degli anni Novanta. Impossibile, dunque, avere dati epidemiologici

# **LICEO SCIENTIFICO “L. DA VINCI”**

accurati o risultanze definitive. Tuttavia ricerche sono in corso in tutto il mondo.

1. Presso l'Università di Bristol un gruppo di volontari è stato soggetto a radiazioni identiche a quelle emesse dai cellulari .
2. All'Università di Nottingham alle stesse radiazioni sono state sottoposte larve in fase di crescita di nematodi (particolari vermi): si è notato che la divisione cellulare risultava accelerata.
3. All'Università di Seattle, dove opera Henry Lai ,i cervelli di cavie “trattate” con le microonde hanno prodotto le stesse endorfine che sintetizzavano quando erano sottoposte a situazioni di stress violento. E alla fine degli esperimenti, i topi si trovavano nella stessa situazione delle cavie esposte a radiazioni ionizzanti o a sostanze chimiche cancerogene.
4. Alla Clinica Otorinolaringoiatrica di Verona , l'equipe del prof. Vittorio Colletti sta compiendo ricerche sull'effetto del cellulare sul nervo uditivo. Con pazienti (consenzienti) operati a cranio aperto, è stata simulata una telefonata, appoggiando il cellulare sull'orecchio. Si è riscontrato che dopo due minuti di telefonata il nervo uditivo entrava in condizioni critiche:condizioni che, se si verificano durante un intervento chirurgico, portano alla sua sospensione.

## ***Elettrodotti***

# LICEO SCIENTIFICO “L. DA VINCI”

L'energia elettrica viene portata dai centri di produzione agli utilizzatori (case, industrie...) per mezzo di elettrodotti che lavorano con tensioni di intensità variabile fino a 380.000 volt (380 kV).



La rete di distribuzione dell'energia elettrica è formata da una grande maglia di elettrodotti che costituiscono un complesso circuito caratterizzato dalle linee, dalle centrali elettriche e dalle cabine di trasformazione. Queste ultime hanno la funzione di trasformare la corrente ad alta tensione prodotta dalle centrali dapprima in media tensione e poi in tensioni più basse fino ai valori utilizzati nelle applicazioni pratiche. Per tensioni fino a 15000 Volt e per tratte di linee urbane in bassa tensione a volte vengono utilizzate le linee interrate. Gli elettrodotti, nei quali circola una corrente alternata alla frequenza di 50 Hz, producono campi elettrici e magnetici variabili nel tempo.

Un impianto elettrico per la produzione e la distribuzione dell'energia elettrica è composto da diverse parti:

1. Centrali di produzione che trasformano una fonte naturale di energia in energia elettrica. I generatori producono una tensione che nelle stazioni di trasformazione annesse alla centrale viene elevata al valore più adatto per il trasporto (130, 200 o 380 kV);
2. Linee di trasporto, che collegano le centrali ai centri di consumo più importanti (grandi città e grandi centri industriali) trasportando la corrente alle tensioni di 130, 200 o 380 kV;
3. Stazioni riceventi primarie, collocate in prossimità dei centri di consumo, che trasformano l'energia dalla tensione di trasporto a quella delle reti di distribuzione;

# LICEO SCIENTIFICO "L. DA VINCI"

4. Reti di trasmissione a 60 o 130 kV, che alimentano le stazioni secondarie di trasformazione a 10-30 kV.
5. Rete di distribuzione a media tensione (10-30 kV) che alimenta le cabine di trasformazione dell'energia alla tensione di utilizzazione diretta (bassa tensione).
6. Rete di distribuzione a bassa tensione (220 o 380 V), che raggiunge ogni singolo utilizzatore della zona.

La corrente viene distribuita alternata e non diretta per diversi motivi: innanzitutto si può variare la tensione di una corrente alternata con un semplice trasformatore. Inoltre la corrente alternata riduce le perdite a parità di tensione, perché queste sono proporzionali al quadrato della corrente.

Una corrente alternata infatti dissipa meno potenza di una corrente continua: la potenza dissipata per effetto termico (effetto Joule) è data dall'espressione:

$$W=R i(t)^2$$

Mentre per la corrente continua (DC) la corrente vale sempre  $i(t)=I_0$ , per la corrente alternata (AC) il valore della corrente varia nel tempo:  $i(t)=I_0 \cdot \sin(\omega t)$ .

La potenza dissipata in un periodo di oscillazione vale quindi nei due casi:

$$W_{AC} = R \cdot \int_0^{2\pi} i(t)^2 \cdot dt = R \cdot \int_0^{2\pi} I_0^2 \cdot \sin^2 \omega t \cdot dt = \pi R I_0^2$$

$$W_{DC} = R \cdot \int_0^{2\pi} I_0^2 \cdot dt = 2\pi R I_0^2$$

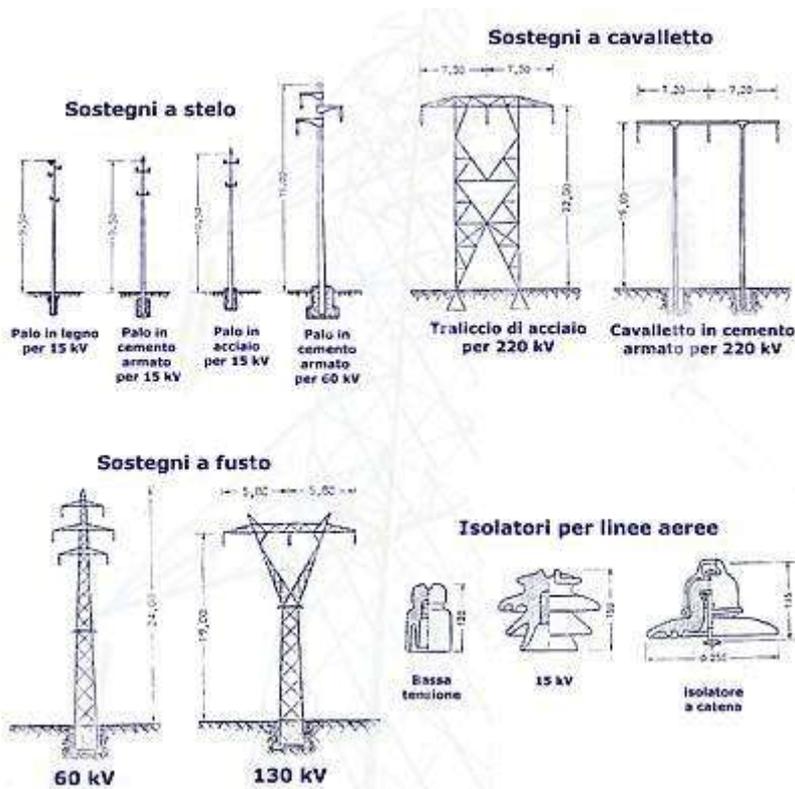
La distribuzione dell'energia elettrica avviene principalmente attraverso due tipologie di elettrodotti: linee in cavo e linee aeree.

# LICEO SCIENTIFICO "L. DA VINCI"

Le linee in cavo sono costituite da conduttori avvolti in appositi materiali isolanti in modo da permettere una maggiore vicinanza tra i conduttori senza il rischio di scariche.

Le linee aeree sono costituite da fili conduttori tesi in aria tra sostegni (pali, tralicci...) e fissati ad essi attraverso elementi isolanti.

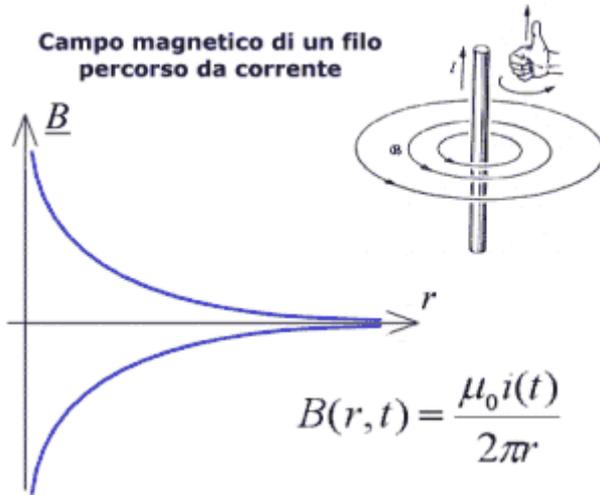
I sostegni normalmente usati per le linee di trasporto aeree ad alta tensione sono tralicci di acciaio o cemento armato, mentre per la distribuzione della media e bassa tensione si impiegano sostegni di cemento armato o legno.



Come già visto introducendo le sorgenti di campo, una corrente alternata genera un campo magnetico la cui intensità è proporzionale all'intensità di corrente trasportata dal conduttore.

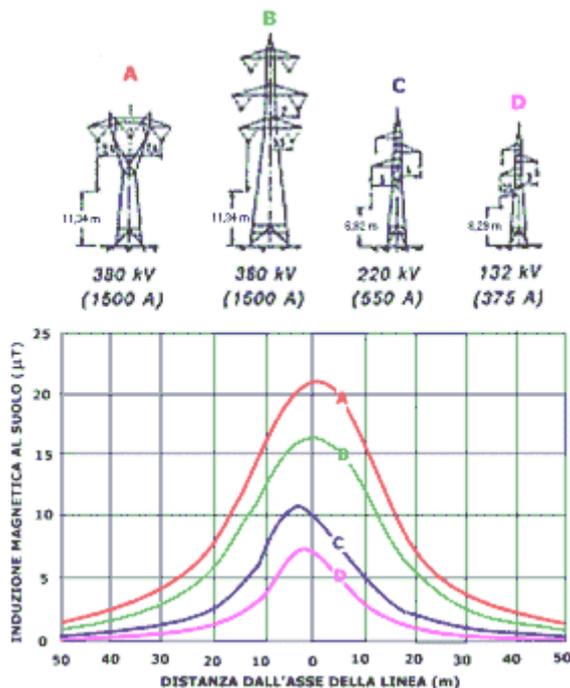
Le linee di campo magnetico descrivono delle circonferenze concentriche su piani perpendicolari al conduttore; l'intensità del campo diminuisce con la distanza e si inverte di segno con la stessa frequenza della corrente (50 Hz).

# LICEO SCIENTIFICO "L. DA VINCI"



L'intensità del campo magnetico sarà quindi maggiore per le linee ad alta tensione, perché la corrente ( $i$ ) è proporzionale alla tensione ( $V$ ) secondo un coefficiente (la conduttanza  $G$ ) caratteristico del materiale di cui è costituito il conduttore. D'ora innanzi considereremo l'intensità di campo magnetico in modulo, ricordando che la direzione del vettore  $\underline{B}$  si inverte 50 volte al secondo.

## Campo magnetico di elettrodotti

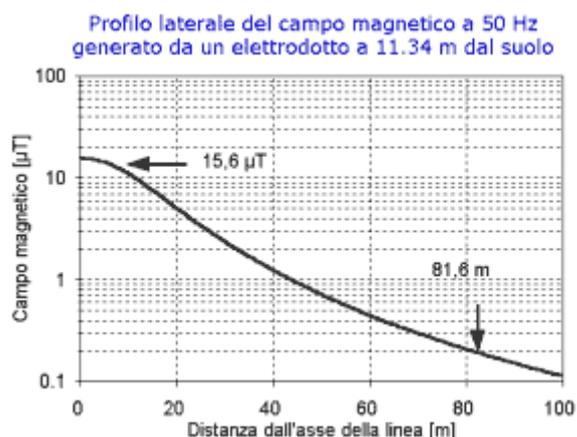


Analizziamo ora l'andamento del campo magnetico nello spazio consideriamo ad esempio un elettrodotto ad alta tensione da 380 kV.

# LICEO SCIENTIFICO “L. DA VINCI”

La normativa italiana (DMLP 16/01/91) impone che per questo elettrodotto la distanza da terra sia di almeno 11,34 m.

La massima intensità del campo magnetico a terra si ha lungo la proiezione della linea di conduzione: per questo elettrodotto posto a 11,34 m di altezza la massima intensità a terra è di 15,6 mT.



Questo valore rientra nei limiti fissati dalla normativa, ma è superiore alla soglia raccomandata delle indagini epidemiologiche che hanno individuato un possibile rischio per la salute per esposizioni prolungate a campi di intensità superiore a 0,2 mT. Per scendere sotto la soglia di attenzione epidemiologica bisogna allontanarsi dalla linea di ben 81,6 m.

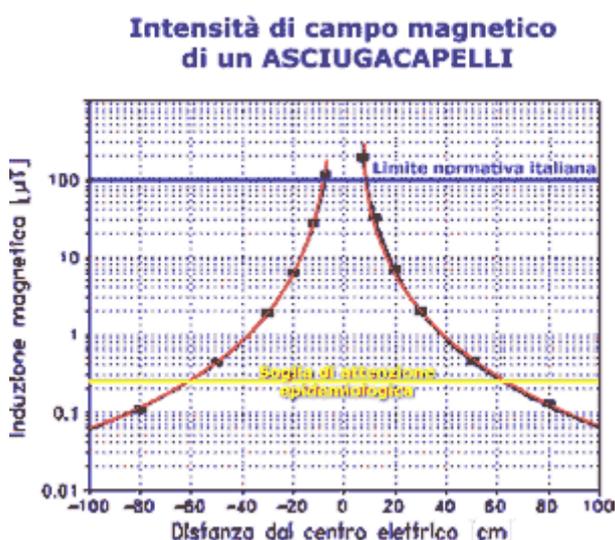
Vedremo più avanti diversi metodi per limitare l'esposizione al campo prodotto da una linea di conduzione elettrica.

## *Ambiente domestico*

Negli ambienti domestici, nelle scuole e negli uffici si trovano molti dispositivi alimentati da corrente elettrica di rete, alternata a 50 Hz. I trasformatori di tensione e i motori elettrici di questi apparecchi sono sorgenti di campi elettromagnetici e, data la prolungata esposizione e l'uso ravvicinato, sono interessanti i fini dello studio dell'inquinamento elettromagnetico.

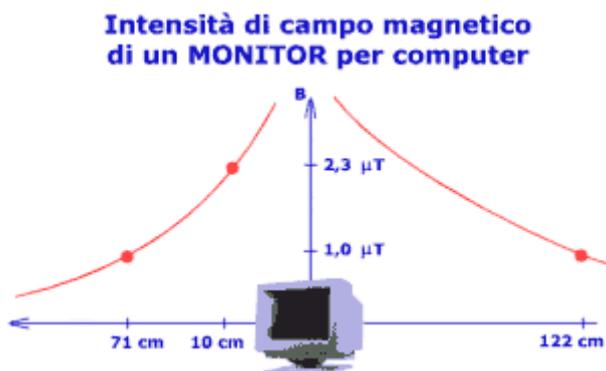
# LICEO SCIENTIFICO “L. DA VINCI”

Tipiche sorgenti di campo nell’ambiente domestico sono sorgenti isolate di dimensioni contenute, come elettrodomestici e macchine per ufficio (computer, fotocopiatrici...). Questi apparecchi possono emettere un campo magnetico che supera abbondantemente la soglia di attenzione epidemiologica e a volte anche i limiti fissati dalla normativa di sicurezza. Un esempio è dato da uno studio condotto dall’Istituto Ricerca sulle Onde Elettromagnetiche (IROE) del CNR su un asciugacapelli elettrico, che per la sua stessa natura viene impiegato molto vicino alla testa dell’utente. Dalle misurazioni effettuate si ottiene che ad una distanza inferiore a 60 cm il campo magnetico ha intensità superiore alla soglia di attenzione (0,2 mT), mentre il limite della normativa italiana (100 mT) viene superato misurando il campo a meno di 10 cm dall’apparecchio.



Un altro dispositivo elettrico che genera un forte campo magnetico e a cui l’utente è esposto per lunghi periodi è il monitor per computer: si è osservato che la massima intensità di campo si rileva nelle parti laterali e posteriori del monitor, dove occorre allontanarsi di ben 122 cm per scendere a 1 mT; nella parte anteriore si ha la stessa intensità alla distanza di 71 cm.

# LICEO SCIENTIFICO “L. DA VINCI”



Come mostrano questi esempi, è possibile che nelle immediate vicinanze degli apparecchi si superi il limite di sicurezza di 100 mT. L'intensità del campo decade rapidamente con la distanza, ma per rientrare nei limiti suggeriti dalle indagini epidemiologiche bisogna allontanarsi mediamente di 60-80 cm, che può essere una distanza eccessiva per l'utilizzo di alcuni apparecchi.

Segue una tabella che riporta l'intensità di campo magnetico (in mT) tipico di alcuni diffusi elettrodomestici:

<b>Elettrodomestico</b>	<b>a 3 cm</b>	<b>a 30 cm</b>	<b>a 1 m</b>
fornello elettrico grande	150	45	0,02
fornello elettrico piccolo	80	4	0,2
forno	3	0,5	0,4
forno a microonde	200	8	0,6
lavastoviglie	7	1	0,08
frigorifero	1,7	0,25	0,01
lavatrice	50	3	0,15
macchina per il caffè	7	0,25	-
tostapane	18	0,7	0,01

# LICEO SCIENTIFICO “L. DA VINCI”

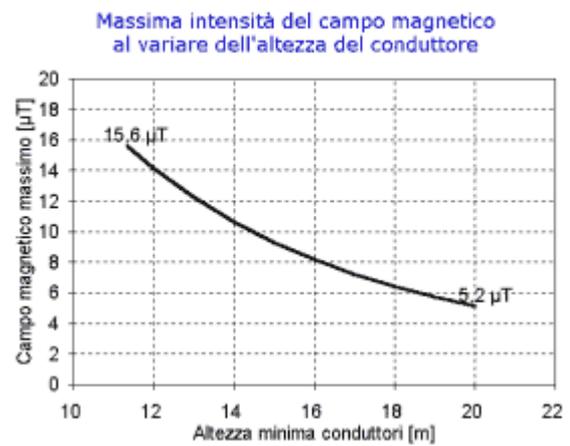
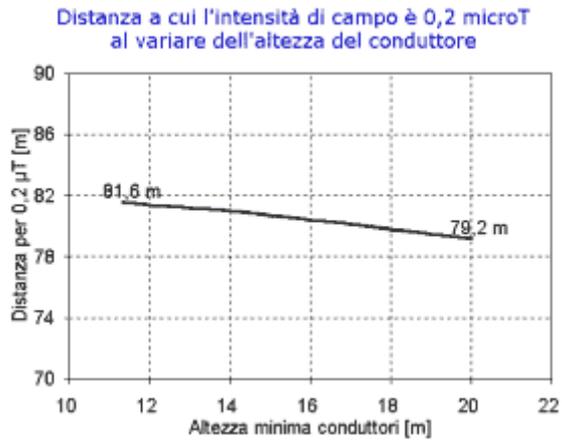
ferro da stiro	30	0,3	0,025
mixer	450	4	0,02
aspirapolvere	800	20	2
asciugacapelli	750	10	0,3
rasoio	1500	9	0,3
televisione	50	2	0,15
lampada fluorescente	200	3	0,06

## *Controllo del campo prodotto da elettrodotti*

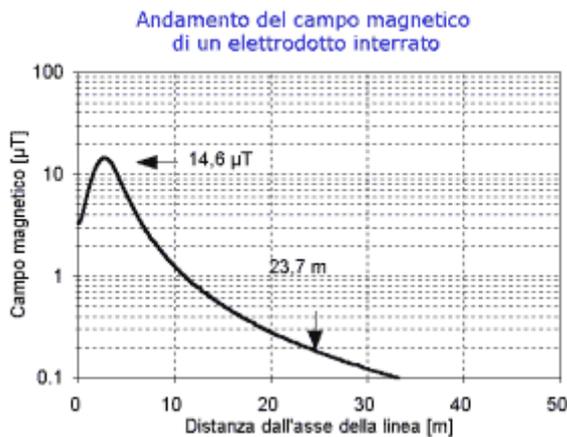
Molti studi sono stati condotti sull'andamento dei campi di elettrodotti, storicamente la prima sorgente analizzata in relazione all'esposizione di residenti nei pressi delle linee elettriche.

Il metodo più diretto per attenuare l'intensità del campo elettrico e magnetico, e di conseguenza garantire alle abitazioni più vicine il rispetto dei limiti di esposizione, è quello di **aumentare la distanza dalle sorgenti**: aumentare la fascia di rispetto intorno alla linea elettrica, oppure aumentare l'altezza da terra delle linee. Entrambe le soluzioni però non sono ottimali, perché difficilmente si potranno spostare abitazioni già esistenti, e innalzare le linee, oltre che aumentare il già non indifferente impatto ambientale, contribuirebbe molto poco ad abbassare l'intensità di campo.

# LICEO SCIENTIFICO "L. DA VINCI"

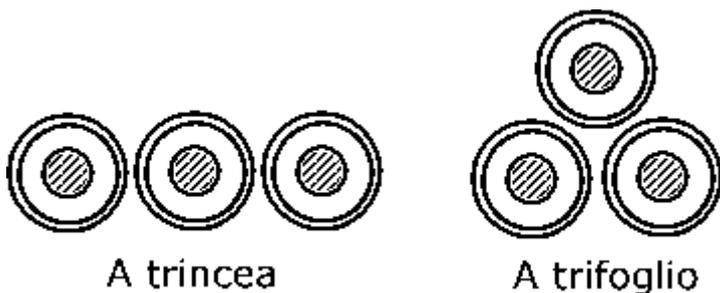


Una alternativa è costituita dall'impiego di **elettrodotti interrati**, che producono un campo la cui intensità massima, a parità di tensione, al livello del suolo è maggiore di quella degli elettrodotti aerei, ma decresce più rapidamente con la distanza (si scende sotto la soglia di attenzione a circa 24 m di distanza dall'asse della linea).



Le linee interrate prevedono una guaina isolante che avvolge i conduttori e sono realizzate secondo due disposizioni: a **trincea** e a **trifoglio**. La disposizione a trifoglio consente di ridurre ulteriormente l'intensità di campo, perché i campi prodotti, interagendo tra loro, si attenuano a vicenda.

# LICEO SCIENTIFICO “L. DA VINCI”



Le linee interrate presentano però alcuni svantaggi, primo fra tutti il maggiore costo di installazione e di manutenzione (da 3 a 6 volte rispetto a linee aeree).

Una tecnologia più recente è quella delle **linee compatte** nelle quali, grazie all'impiego di mensole isolanti, i conduttori sono molto vicini tra loro e, come nei cavi interrati disposti a trifoglio, interagendo tra loro attenuano il campo prodotto. Anche in questo caso però i costi sono molto elevati; inoltre sono richiesti sostegni più ravvicinati tra loro, non sempre realizzabili.

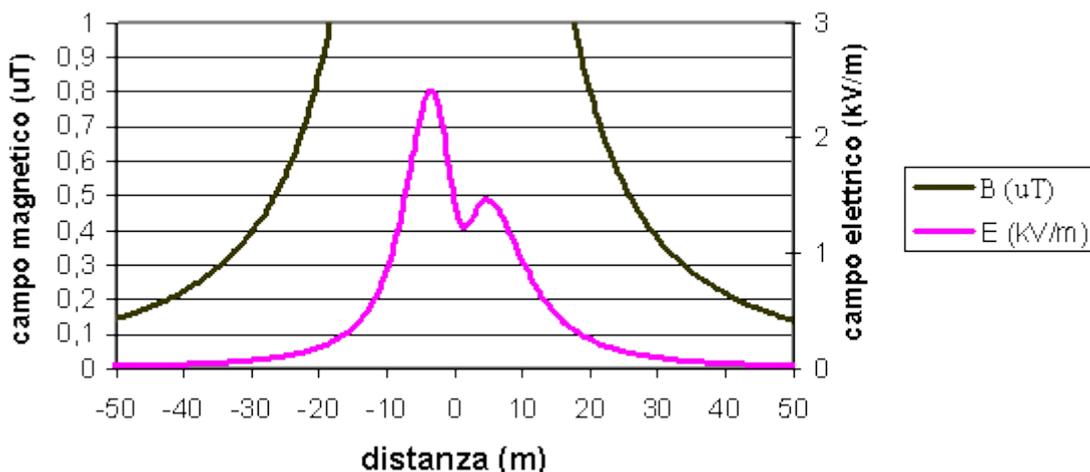
Infine è possibile usare **cavi aerei**, simili ai cavi tripolari interrati disposti a trifoglio, ma montati su pali di sostegno. Anche in questo caso l'avvicinamento dei conduttori attenua notevolmente l'intensità del campo: una linea da 20 kV genera un campo a terra di 0,2 mT se in cavo aereo e di 4,5 mT se in linea aerea tradizionale. Anche questa tipologia è poco impiegata a causa dei maggiori costi di realizzazione.

Il campo elettrico è facilmente schermabile da parte di materiali quali legno o metalli, ma anche alberi o edifici: tra l'esterno e l'interno degli edifici si ha quindi una riduzione del campo elettrico.

Il campo magnetico è difficilmente schermabile e diminuisce soltanto allontanandosi dalla linea.

L'interramento delle linee permette di diminuire i campi nello spazio circostante, ma questa soluzione ha costi molto elevati e può essere effettuata solo per tratti limitati.

# LICEO SCIENTIFICO "L. DA VINCI"



**Tipico profilo del campo magnetico (B) ed elettrico (E) generato da una linea ad alta tensione (132 kV, singola terna, 275 A) in funzione della distanza dalla proiezione sul terreno dell'asse della linea**

## Normativa italiana ed internazionale

### *Normativa italiana*

Le prime norme che limitano l'esposizione a campi elettromagnetici sono state concepite per gli elettrodotti, che furono le prime sorgenti approfonditamente investigate e sicuramente le più diffuse.

Solo di recente si è posto il problema di specificare delle regole anche per altre sorgenti, quali le antenne per telecomunicazioni, ovvero antenne trasmettenti radiotelevisive e ripetitori per telefonia mobile.

In linea generale le norme riprendono i suggerimenti dati dagli enti scientifici che hanno studiato il problema e hanno definito dei limiti di esposizione accettabili e compatibili con la salute umana.

### Normativa per gli elettrodotti

Prima del 1992 gli elettrodotti italiani dovevano rispettare le norme tecniche del CEI (Centro Elettrotecnico Italiano), che specificavano le distanze minime dei conduttori dal terreno e dagli edifici in funzione della tensione nominale di

# LICEO SCIENTIFICO "L. DA VINCI"

esercizio; queste norme erano basate esclusivamente sulla necessità di evitare il rischio di scarica tra il conduttore e il terreno.

Nel 1991 il Ministero dei Lavori Pubblici ha introdotto il concetto di tutela della salute in relazione ai possibili effetti dei campi elettromagnetici generati dalle linee elettriche. Questa esigenza di regolamentazione venne soddisfatta dal Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 23 aprile 1992, che fissa i "limiti massimi di esposizione ai campi elettrico e magnetico generati alla frequenza industriale nominale di 50 Hz negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno".

Le massime intensità di campo elettrico e di induzione magnetica consentite in aree destinate all'uso continuativo da parte della popolazione sono fissate in 5 kV/m per il campo elettrico e in 0,1 mT per l'induzione magnetica; in aree destinate ad uso occasionale i valori si innalzano rispettivamente a 10 kV/m e 1 mT.

Vengono anche definite le distanze minime tra i conduttori delle linee elettriche e i fabbricati adibiti a permanenza prolungata:

380 kV	220 kV	132 kV
28 m	18 m	10 m

La successiva norma tecnica (DPCM 28/09/95) privilegia il contenimento dell'intensità dei campi, mentre non impone il rispetto delle distanze di sicurezza.

## **Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 23 aprile 1992**

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

# **LICEO SCIENTIFICO “L. DA VINCI”**

## IL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI

Visto l'art. 2, comma 14, della legge 8 luglio 1986, n. 349, il quale prevede che il Ministro dell'ambiente, di concerto con il Ministro della sanità, propone al Presidente del Consiglio dei Ministri la fissazione, tra l'altro, dei limiti massimi di esposizione per inquinamenti di natura fisica relativamente all'ambiente esterno ed abitativo di cui all'art. 4 della legge 23 dicembre 1978, n. 833;

Visto il decreto interministeriale 16 gennaio 1991 di modifica del regolamento di esecuzione della legge 28 giugno 1986, n. 339, approvato con decreto interministeriale 21 marzo 1988, n. 449, recante norme tecniche per la disciplina della costruzione e dell'esercizio di linee elettriche aeree esterne; modifiche apportate in relazione a possibili effetti sulla salute derivanti dai campi elettromagnetici dagli stessi prodotti;

Considerata la necessità di fissare limiti per l'esposizione della popolazione ai campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti;

Rilevata la necessità ai sensi del citato art. 4 della legge 23 dicembre 1978, n. 833, di assicurare condizioni e garanzie di salute uniformi;

Su proposta del Ministro dell'ambiente, di concerto con il Ministro della sanità;

Decreta

### Art. 1. Campo di applicazione

Il presente decreto fissa i limiti massimi di esposizione, relativamente all'ambiente esterno ed abitativo, ai campi elettrico e magnetico generati alla frequenza industriale nominale (50Hz).

Non si applica alle esposizioni professionali sul luogo di lavoro ed alle esposizioni intenzionali di pazienti sottoposti a diagnosi e cure mediche.

### Art. 2. Definizioni

Ai fini dell'applicazione del presente decreto si assumono le seguenti definizioni:

# **LICEO SCIENTIFICO “L. DA VINCI”**

a) intensità di campo elettrico è: il valore quadratico medio delle tre componenti mutuamente perpendicolari in cui si può pensare scomposto il vettore campo elettrico nel punto considerato, misurato in volt al metro (V/m);

b) intensità di induzione magnetica è: il valore quadratico medio delle tre componenti mutuamente perpendicolari in cui si può pensare scomposto il vettore campo magnetico nel punto considerato, misurato in tesla (T);

c) elettrodotto è l'insieme delle linee elettriche propriamente dette, sottostazioni e cabine di trasformazione.

## Art. 3. Misure

Le misure dei campi elettrico e magnetico di cui all'art. 1 dovranno essere effettuate secondo gli specifici standard internazionali riconosciuti.

Gli aggiornamenti eventualmente necessari circa i metodi e le condizioni di riferimento per le misure, nonché gli standard per la strumentazione, saranno definiti, su proposta della commissione di cui al successivo art. 8, con decreto del Ministro dell'ambiente.

## Art. 4. Limiti di esposizione e criteri di applicazione

Sono definiti i seguenti limiti:

5 kV/m e 0,1 mT, rispettivamente per l'intensità di campo elettrico e di induzione magnetica, in aree o ambienti in cui si possa ragionevolmente attendere che individui della popolazione trascorrono una parte significativa della giornata;

10 kV/m e 1 mT, rispettivamente per l'intensità di campo elettrico e di induzione magnetica, nel caso in cui l'esposizione sia ragionevolmente limitata a poche ore al giorno.

I valori di campo elettrico sono riferiti al campo elettrico imperturbato, intendendosi per tale un campo elettrico misurabile in un punto in assenza di persone, animali e cose non fisse.

## Art. 5. Distanze di rispetto dagli elettrodotti

Con riferimento alle linee elettriche aeree esterne a 132 kV, 220 kV e 380 kV, si adottano, rispetto ai fabbricati adibiti ad abitazione o ad altra attività che

# **LICEO SCIENTIFICO “L. DA VINCI”**

comporta tempi di permanenza prolungati, le seguenti distanze da qualunque conduttore della linea:

linee a 132 kV 10 m

linee a 220 kV 18 m

linee a 380 kV 28 m

Per linee a tensione nominale diversa, superiore a 132 kV e inferiore a 380 kV, la distanza di rispetto viene calcolata mediante proporzione diretta da quelle sopra indicate.

Per linee a tensione inferiore a 132 kV restano ferme le distanze previste dal decreto interministeriale 16 gennaio 1991. Per eventuali linee a tensione superiore a 380 kV le distanze di rispetto saranno stabilite dalla commissione di cui al successivo art. 8.

La distanza di rispetto dalle parti in tensione di una cabina o da una sottostazione elettrica deve essere uguale a quella prevista, mediante i criteri sopra esposti, per la più alta tra le tensioni presenti nella cabina o sottostazione stessa.

## **Art. 6. Autorizzazioni**

Per gli elettrodotti di nuova costruzione, ai fini autorizzativi, rimangono ferme le disposizioni di cui alla legge 9 gennaio 1991, n. 9, e la normativa che regola i rischi da elettrocuzione.

## **Art. 7. Risanamenti**

Nei tratti di linee elettriche esistenti dove non risultano rispettati i limiti di cui all'art. 4 e le condizioni di cui all'art. 5 dovranno essere individuate azioni di risanamento. Entro diciotto mesi dall'entrata in vigore del presente decreto, gli esercenti degli elettrodotti dovranno presentare al Ministero dell'ambiente una relazione contenente i criteri generali di intervento e i criteri di priorità scelti, basati anche su parametri oggettivizzabili quali individui esposti per km, valori di dosi cumulative e simili.

Nei successivi dodici mesi gli esercenti dovranno presentare i progetti delle tratte di elettrodotti interessate al risanamento. Entro sessanta giorni dalla

# **LICEO SCIENTIFICO “L. DA VINCI”**

pubblicazione del presente decreto, i Ministeri dell'ambiente, della sanità, dell'industria, del commercio e dell'artigianato e dei lavori pubblici dovranno definire un accordo procedimentale per la valutazione dei suddetti progetti di risanamento ai fini del rilascio delle autorizzazioni alla costruzione così come disciplinate dal testo unico 11 dicembre 1933, n. 1175.

Nel progetto di risanamento oltre agli interventi necessari va indicato il programma cronologico.

I programmi di risanamento debbono essere completati entro il 31 dicembre 2004.

## **Art. 8. Commissione tecnico-scientifica**

Per l'aggiornamento normativo e l'approfondimento delle tematiche relative ai problemi igienico-sanitari è istituita con decreto del Ministero dell'ambiente, entro sessanta giorni dalla pubblicazione del presente decreto, un'apposita commissione tecnico-scientifica composta da rappresentanti del Ministero dell'ambiente, del Ministero dell'industria, del commercio e dell'artigianato, del Ministero della sanità, dell'ENEL, dell'ENEA, dell'Istituto superiore di sanità e dell'ISPESL.

La commissione è presieduta dal direttore generale del servizio per la prevenzione dell'inquinamento atmosferico ed acustico e delle industrie a rischio del Ministero dell'ambiente.

Roma, 23 aprile 1992

Il Ministro dell'ambiente RUFFOLO

Il Ministro della sanità DE LORENZO

## **Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 28 settembre 1995**

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

# **LICEO SCIENTIFICO “L. DA VINCI”**

IL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI

Visto l'art. 2, comma 14, della legge 8 luglio 1986, n. 349;

Visto il decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 23 aprile 1992;

Visto il decreto del Ministro dei lavori pubblici 16 gennaio 1991;

Sentito il Comitato elettrotecnico italiano;

Sentita la Commissione tecnico-scientifica di cui all'art. 8 del decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 23 aprile 1992;

Considerate le iniziative su normative tecniche sperimentali avviate in ambito comunitario sulla limitazione delle esposizioni ai campi elettromagnetici per la popolazione ed i lavoratori;

Viste le relazioni inoltrate al Ministero dell'Ambiente da parte degli esercenti di elettrodotti ai sensi dell'art. 7, comma 1, del decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 23 aprile 1992;

Su proposta del Ministro dell'ambiente di concerto con il Ministro della Sanità;

Decreta

Art. 1.

Il presente decreto si applica ai campi elettromagnetici generati dagli elettrodotti e dalle relative stazioni e cabine elettriche.

Art. 2.

Le intensità delle componenti di campo elettrico e di induzione magnetica, di cui ai punti a) e b) dell'art. 2 del decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 23 aprile 1992, sono da intendersi espresse in valore efficace; il valore

# **LICEO SCIENTIFICO “L. DA VINCI”**

quadratico medio di cui agli stessi punti, è da intendersi come radice quadrata della somma dei quadrati delle componenti.

Art. 3.

Per la prima fase di attuazione del decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 23 aprile 1992 le azioni di risanamento, verranno effettuate in base alle prescrizioni del art. 4 del decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 23 aprile 1992, integrate dalle disposizioni del presente decreto.

Esse dovranno inoltre essere conformi alla legge 28 giugno 1986, n. 339, e relativo regolamento di esecuzione del 21 marzo 1988 ed al decreto del Ministero dei lavori pubblici del 16 gennaio 1991.

Art. 4.

A far data dai dodici mesi successivi alla data di entrata in vigore del presente decreto, i progetti di risanamento verranno presentati al Ministero dell'Ambiente con cadenza annuale, secondo le priorità indicate nelle relazioni sopracitate inviate dagli esercenti degli elettrodotti, tenendo conto dell'obbligo di garantire la continuità del servizio elettrico.

Entro quattro mesi dalla data di entrata in vigore del presente decreto, gli esercenti degli elettrodotti dovranno inoltrare al Ministero dell'ambiente il programma generale dei progetti sopra richiamati, articolato secondo i suddetti criteri, segnalando tuttavia i casi di programmazione temporale vincolata all'esercizio degli elettrodotti stessi.

Il completamento delle azioni di risanamento è fissato al 31 dicembre 2004.

Il presente decreto sarà pubblicato nella Gazzetta Ufficiale della Repubblica italiana.

## **Normativa per le telecomunicazioni**

Con la crescente diffusione di telefoni cellulari e la conseguente installazione di numerosissime antenne base per la telefonia mobile, l'attenzione si è focalizzata

# LICEO SCIENTIFICO "L. DA VINCI"

sulle sorgenti di radiofrequenze, come antenne base per telefonia mobile e antenne trasmettenti radiotelevisive. Solo molto di recente (1998) sono state fissati dei limiti di intensità per queste sorgenti con un decreto del ministero dell'ambiente.

## Decreto 381/98 del Ministero dell'Ambiente

Con il decreto 381/98 del Ministero dell'Ambiente il 10/09/1998 vengono fissati i "tetti di radiofrequenze compatibili con la salute umana". Il ministero ritiene necessario definire delle misure cautelative, nonostante le incertezze sull'effettiva dannosità dei campi elettromagnetici, almeno nei casi di esposizione per periodi di tempo prolungati.

Il decreto fissa i limiti di intensità dei campi elettrici e magnetici, nonché la massima densità di potenza emessa, per sistemi di telecomunicazioni e radiotelevisivi che operano con frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz; ricordiamo che le antenne base per telefonia mobile emettono frequenze di 900 e 1800 MHz (si trovano quindi nella 2° fascia).

Frequenza (MHz)	Intensità di campo elettrico E (V/m)	Intensità di campo magnetico H (A/m)	Densità di potenza (W/m <sup>2</sup> )
0,1 - 3	60	0,2	-
>3 - 3.000	20	0,05	1
>3.000 – 300.000	40	0,1	4

# **LICEO SCIENTIFICO “L. DA VINCI”**

I valori di intensità di campo e di potenza vanno intesi mediati su un'area di 2 m<sup>2</sup> e un tempo di 6 minuti. Questo limita l'incidenza di punti singolari e di brevi picchi di intensità.

Negli edifici adibiti a permanenze prolungate (almeno 4 ore al giorno) i limiti sono più restrittivi e sono indipendenti dalla frequenza:

Intensità di campo elettrico E	Intensità di campo magnetico H	Densità di potenza
6 V/m	0,016 A/m	0,1 W/m <sup>2</sup>

La legge prevede anche la messa a norma degli impianti già esistenti, secondo modalità e tempi da definire da parte dalle Regioni.

**Decreto del ministero dell'Ambiente del 10 settembre 1998, n. 381.**

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

IL MINISTRO DELL'AMBIENTE

D'INTESA CON IL MINISTRO DELLA SANITÀ

E IL MINISTRO DELLE COMUNICAZIONI

Vista la legge 31 luglio 1997, n. 249, articolo 1, comma 6, lettera a), n. 15), il quale dispone, tra l'altro, che il Ministero

# **LICEO SCIENTIFICO “L. DA VINCI”**

dell'ambiente d'intesa con il Ministero della sanità e con il Ministero delle comunicazioni, sentiti l'Istituto superiore di sanità e l'Agenzia nazionale per la protezione dell'ambiente (ANPA), fissa i tetti di radiofrequenze compatibili con la salute umana, tenendo anche conto delle norme comunitarie;

Visto il parere favorevole dell'Agenzia nazionale per la protezione dell'ambiente;

Visto il parere dell'Istituto superiore di sanità nel quale, pur condividendosi l'esigenza di una politica cautelativa che individui obiettivi di qualità anche al di là dell'adozione di limiti di esposizione mirati alla tutela degli effetti acuti, sono state manifestate perplessità, in considerazione dell'attuale stato di conoscenza scientifica, nei riguardi dell'adozione di misure più restrittive specifiche per l'esposizione a campi modulati in ampiezza;

Ritenuta la necessità di riservare misure più cautelative perlomeno nei casi in cui si possono verificare esposizioni a campi elettromagnetici per tempi prolungati, da parte di recettori sensibili non esposti per ragioni professionali;

Visto il parere espresso dalla conferenza permanente per i rapporti tra lo Stato, le regioni e le province autonome nella seduta del 7 maggio 1998, con il quale si esprime parere favorevole allo schema di decreto, subordinandolo all'accoglimento di due proposte di modifica, rispettivamente all'articolo 4, comma 2, ed all'articolo 5, comma 1;

Ritenuto di non accogliere la proposta di emendamento all'articolo 4, comma 2, in quanto renderebbe meno certa e sicura la tutela della popolazione per effetti a lungo termine conseguenti ad esposizione prolungata;

Udito il parere del Consiglio di Stato, espresso dalla sezione consultiva per gli atti normativi nell'adunanza del 31 agosto 1998;

# **LICEO SCIENTIFICO “L. DA VINCI”**

Vista la comunicazione al Presidente del Consiglio dei Ministri, a norma dell'articolo 17, comma 3, della legge 23 agosto 1998, n. 400, del 10 settembre 1998, n. prot. UL/98/16640;

A D O T T A il seguente regolamento:

## Art. 1. Campo di applicazione

1. Le disposizioni del presente decreto fissano i valori limite di esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici connessi al funzionamento ed all'esercizio dei sistemi fissi delle telecomunicazioni e radiotelevisivi operanti nell'intervallo di frequenza compresa fra 100 kHz e 300 GHz.

2. I limiti di esposizione di cui al predetto decreto, non si applicano ai lavoratori esposti per ragioni professionali.

## Art. 2. Definizioni ed unità di misura

1. Le definizioni delle grandezze fisiche citate nel decreto e le corrispondenti unità di misura sono riportate in allegato A che, unitamente agli allegati B e C, è parte integrante del presente decreto.

# LICEO SCIENTIFICO "L. DA VINCI"

## Art. 3. Limiti di esposizione

1. Nel caso di esposizione al campo elettromagnetico i livelli dei campi elettrici, magnetici e della densità di potenza, mediati su un'area equivalente alla sezione verticale del corpo umano e su qualsiasi intervallo di sei minuti, non devono superare i valori di tabella 1.

Frequenza (MHz)	Intensità di campo elettrico E (V/m)	Intensità di campo magnetico H (A/m)	Densità di potenza (W/m <sup>2</sup> )
0,1 - 3	60	0,2	-
>3 - 3.000	20	0,05	1
>3.000 – 300.000	40	0,1	4

2. Nel caso di campi elettromagnetici generati da più sorgenti, la somma dei relativi contributi normalizzati, definiti in allegato B, deve essere minore dell'unità.

## Art. 4. Misure di cautela ed obiettivi di qualità

# **LICEO SCIENTIFICO “L. DA VINCI”**

1. Fermi restando i limiti di cui all'articolo 3, la progettazione e la realizzazione dei sistemi fissi delle telecomunicazioni e radiotelevisivi operanti nell'intervallo di frequenza compresa fra 100 kHz e 300 GHz e l'adeguamento di quelle preesistenti, deve avvenire in modo da produrre i valori di campo elettromagnetico più bassi possibile, compatibilmente con la qualità del servizio svolto dal sistema stesso al fine di minimizzare l'esposizione della popolazione.

2. Per i fini di cui al precedente comma 1, in corrispondenza di edifici adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore non devono essere superati i seguenti valori, indipendentemente dalla frequenza, mediati su un'area equivalente alla sezione verticale del corpo umano e su qualsiasi intervallo di sei minuti: 6 V/m per il campo elettrico, 0,016 A/m per il campo magnetico intesi come valori efficaci e, per frequenze comprese tra 3 Mhz e 300 GHz, 0,10 W/m<sup>2</sup> per la densità di potenza dell'onda piana equivalente.

3. Nell'ambito delle proprie competenze, fatte salve le attribuzioni dell'Autorità per le garanzie nelle comunicazioni, le regioni e le province autonome disciplinano l'installazione e la modifica degli impianti di radiocomunicazione al fine di garantire il rispetto dei limiti di cui al precedente articolo 3 e dei valori di cui al precedente comma, il raggiungimento di eventuali obiettivi di qualità, nonché le attività di controllo e vigilanza in accordo con la normativa vigente, anche in collaborazione con l'Autorità per le garanzie nelle comunicazioni, per quanto attiene all'identificazione degli impianti e delle frequenze loro assegnate.

## Art. 5. Risanamenti

1. Nelle zone abitative o sedi di attività lavorativa per lavoratori non professionalmente esposti o nelle zone comunque accessibili alla popolazione ove sono superati i limiti fissati al precedente articolo 3 e all'articolo 4, comma 2, devono essere attuate azioni di risanamento a carico dei titolari degli impianti. Le modalità ed i tempi di esecuzione per le azioni di risanamento sono prescritte dalle regioni e province autonome, secondo la regolamentazione di cui al precedente articolo 4, comma 3.

# **LICEO SCIENTIFICO “L. DA VINCI”**

2. La riduzione a conformità da svolgere nell'ambito dell'attività di risanamento deve essere effettuata in accordo a quanto riportato nell'allegato C.

Art. 6. Entrata in vigore

1. Il presente decreto entra in vigore dopo sessanta giorni dalla sua pubblicazione nella Gazzetta Ufficiale della Repubblica italiana.

Il presente decreto, munito del sigillo dello Stato, sarà inserito nella Raccolta ufficiale degli atti normativi della Repubblica italiana. È fatto obbligo a chiunque spetti di osservarlo e di farlo osservare.

Roma, 10 settembre 1998

p. Il Ministro dell'ambiente CALZOLAIO

p. Il Ministro della sanità BETTONI BRANDINI

p. Il Ministro delle comunicazioni VITA

## **Nuova procedura del Comune di Milano**

Il 13 Aprile 1999 il Comune di Milano ha approvato una nuova procedura per il rilascio delle concessioni per l'installazione di antenne base per telefonia mobile. Ora le concessioni saranno rilasciate solo dopo che l'Ufficio di igiene e la ASL avranno verificato che l'intensità dei campi prodotti dalle nuove antenne rispettino i limiti di legge.

# LICEO SCIENTIFICO "L. DA VINCI"

## Nuova legge della Regione Lombardia

Nel mese di Maggio 1999 sarà discussa in Consiglio Regionale la proposta di legge per la protezione della popolazione e dei lavoratori esposti a campi elettromagnetici e a radiofrequenza. La legge recepisce la normativa nazionale (DMA 381/98) sui limiti di esposizione alle radiofrequenze e introduce alcuni importanti elementi di novità: considera anche le esposizioni professionali, e soprattutto prescrive che non saranno più autorizzate nuove installazioni di antenne radiotelevisive nel territorio cittadino, permettendone invece l'installazione in territorio extraurbano e soprattutto in aree non residenziali.

## *Normative internazionali*

Quasi ogni Paese industrializzato ha affrontato in maniera abbastanza autonoma la questione del contenimento dell'esposizione dei cittadini ai campi elettromagnetici.

Esistono enti scientifici internazionali, anche a livello europeo, che hanno prodotto diversi gli studi, e i cui suggerimenti sono stati generalmente recepiti dai legislatori.

<b>Ente</b>	<b>Norma</b>	<b>Valori</b>
IRPA - INIRC - ICNIRP (Gennaio 1990)	Interim guidelines on limits of exposure to 50/60 Hz electric and magnetic fields	100 mT per esposizione continuative, 1 mT per esposizioni di poche ore al giorno

# LICEO SCIENTIFICO "L. DA VINCI"

CENELEC (1994)	European prestandard ENV 50166-1: Human exposure to electromagnetic fields: low frequency (0 Hz - 100 kHz)	640 mT
-------------------	---	--------

In futuro i paesi della Comunità Europea dovranno conformarsi ad una normativa comune prodotta dalla Commissione Europea, mentre al momento si osserva una certa variabilità nei limiti.

Vengono di seguito riportate a titolo di esempio i limiti di esposizione fissati da alcuni importanti Paesi.

Nel **Regno Unito** una legge del 1993 ha recepito le direttive del NRPB (National Radiological Protection Board), fissando i limiti di potenza massima per i telefoni cellulari:

<i>Frequenza</i>	<i>Potenza massima</i>
900 MHz	26 W/m <sup>2</sup>
1,8 GHz	96 W/m <sup>2</sup>

# LICEO SCIENTIFICO "L. DA VINCI"

Negli **Stati Uniti**, la normativa proposta dall'ANSI/IEEE (American National Standards Institute / Institute of Electric and Electronic Engineers) nel 1991 da dato luogo ad una legge che fissa il SAR (specific energy absorption rate) massimo in 1,6 W/kg mediato su 1g di tessuto.

In **Germania** la potenza specifica assorbita è invece fissata ad un valore leggermente più alto, di 2,0 W/m<sup>2</sup>.

---

## Conclusioni

### *Discordanza tra limiti di legge e suggerimenti epidemiologici*

Come abbiamo visto, gli studi epidemiologici suggeriscono come soglia di rischio potenziale per gli effetti dei campi elettromagnetici a bassa frequenza (generati da elettrodotti) un'intensità di campo magnetico di 0,2 mT. La normativa italiana invece fissa in 100 mT la massima intensità di campo accettabile, tutelano così dagli effetti acuti (effetti termici) accertati dei campi elettromagnetici.

La normativa di sicurezza fissa un limite (100 mT) più alto dei risultati delle indagini epidemiologiche (0,2 - 0,4 mT) perché riconosce alle indagini disponibili una limitata attendibilità, principalmente a causa della scarsa significatività statistica (bassissima incidenza delle patologie considerate), le frequenti discordanze tra indagini simili, e soprattutto l'assenza di prove biologiche e di un modello di meccanismo biologico che spieghi i risultati ottenuti.

Inoltre si ritiene che l'abbattimento della soglia da 100 mT a 0,2 mT comporterebbe un impegno quasi insostenibile a discapito di altre iniziative sanitarie di maggior rilievo.

### *Opinioni di enti scientifici*

L'ente statunitense NIEHS (National Institute of Environmental Health Sciences) ha effettuato una valutazione critica degli studi pubblicati sulla potenziale dannosità dei campi elettromagnetici, e ritiene che vi siano limitate prove epidemiologiche sulla associazione tra leucemia infantile ed esposizione

# LICEO SCIENTIFICO “L. DA VINCI”

residenziale a campi di elettrodotti e sull'associazione tra leucemia ed esposizione occupazionale. Ha inoltre fatto notare che non vi sono adeguate prove sperimentali di tali relazioni.

La stessa analisi è stata condotta dal ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection), che ritiene non vi siano convincenti prove scientifiche che i campi prodotti dalle linee elettriche possano essere classificati come cancerogeni, ovvero come iniziatori di processi cancerogeni. Anche questo ente considera insufficienti gli studi di laboratorio sugli effetti cancerogeni di questi campi. Riguardo gli studi epidemiologici, l'ICNIRP riconosce che esistono indicazioni che la presenza di elettrodotti sia statisticamente associata ad un aumento del rischio di cancro, ma considera i dati epidemiologici ancora troppo inconcludenti per essere usati nella redazione di linee guida per la limitazione dell'esposizione ai campi, soprattutto in assenza di prove di laboratorio a supporto.

## *Opinioni dei gruppi ambientalisti*

Diversi gruppi ambientalisti sia internazionali che italiani sono attenti ai rischi per la salute derivanti dall'esposizione a campi elettromagnetici.

L'azione di questi gruppi si concentra sulla informazione e sensibilizzazione del pubblico attraverso convegni e manifestazioni divulgative, e attraverso azioni politiche di pressione sulle amministrazioni, anche locali, perché venga realizzata una normativa soddisfacente.

I gruppi ambientalisti insistono sul principio di precauzione, per cui se esiste il dubbio che i campi elettromagnetici possano essere dannosi per la salute, anche in assenza di conferme certe si deve agire per limitare il più possibile l'esposizione a fattori potenzialmente dannosi.

Inoltre sostengono la necessità di un attento controllo delle sorgenti, attraverso un censimento, e l'opportunità di una pianificazione urbanistica, attraverso l'ARPA, che eviti l'installazione di sorgenti in zone non idonee.

Promuovono inoltre a livello politico una revisione dei limiti di legge, che attualmente prevengono solo gli effetti acuti dell'esposizione a campi, per portare il limiti di intensità da 100 mT a 0,2 mT, limite di attenzione indicato dalle indagini epidemiologiche, e la distanza dagli elettrodotti a 150 m.

# **LICEO SCIENTIFICO "L. DA VINCI"**

Infine insistono sulla necessità di iniziare al più presto il processo di risanamento e di messa a norma dei molti impianti attualmente in funzione anche se "fuori legge" per quanto riguarda l'intensità delle radiazioni emesse.

## ***Opinioni dei produttori di sistemi per telefonia mobile***

I produttori di sistemi per telefonia mobile naturalmente non gradiscono la preoccupazione del pubblico e cercano quindi di fornire informazioni rassicuranti, citando gli studi che ridimensionano i sospetti di dannosità dell'uso di tali apparecchi.

Si può dire in ogni caso in maniera obbiettiva che sia gli apparecchi telefonici sia dalle antenne base vengono realizzati in modo da rispettare i limiti di esposizione previsti dalla legge. In particolare, per quanto riguarda l'installazione di antenne base, è dovere delle autorità cittadine verificare che non vengano superati i limiti di intensità fissati dalla legge (si veda al riguardo l'esempio del Comune di Milano citato nel capitolo sulla normativa).

Al dubbio che i limiti di legge non siano sufficienti a tutelare la salute degli utilizzatori e dei cittadini, i produttori rispondono che nessun ente scientifico ritiene necessario rendere i limiti più severi di quelli attualmente in vigore.

## **Bibliografia**

1. Michael H. Orn, Handbook of engineering control methods for occupational radiation protection; Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1992
2. M. Alonso, J. Finn, Elementi di fisica per l'Università, Volume II: campi e onde; Masson – Addison-Wesley, Milano, 1993
3. N. Faletti, Trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica; Patron, Bologna, 1963
4. Incontro di studio "Onde elettromagnetiche: ambiente, salute e normativa" 27 aprile 1999, Provincia di Milano, settore Ecologia, Milano.

# **LICEO SCIENTIFICO “L. DA VINCI”**

## BIBLIOGRAFIA

1. “Antenne sicure” G. Leveratto edizioni Hoelpli
2. “La fisica nella scuola” C. Bottino- S. Pugliese Dona (A.I.F.)
3. “Quanti particelle cosmologia” M.E. Bergamaschi – P. Marazzini – L .  
Mazzoni C. Signorelli Editore
4. “Fondamenti di fisica: Elettromagnetismo” D. Halliday - R. Resnick – J.  
Walzer editore Zanichelli
5. Università degli studi di Catania
6. LEGAMBIENTE
7. Fonti da internet 🌐