

E' RAGIONEVOLE AVERE PAURA DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI?



Giancarlo Buccella

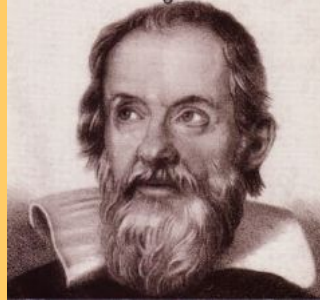
Sommario

- **Richiami di alcuni concetti fisici;**
- **Cenni sulle linee elettriche;**
- **Cenni sulle RF;**
- **Interazione dei CEM con il corpo umano;**
- **Le valutazioni delle commissioni scientifiche internazionali;**
- **Il quadro normativo;**
- **Cosa è il principio di precauzione?**
- **Cosa fa l'Arta-Abruzzo in materia di CEM.**

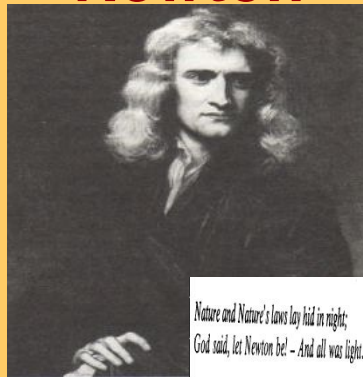
Richiami di alcuni concetti fisici

I magnifici quattro... più uno!

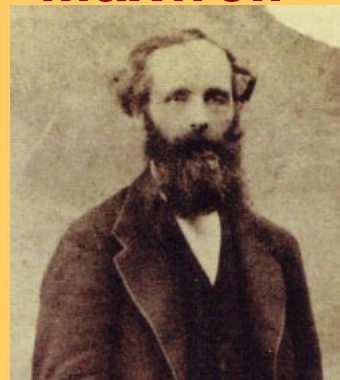
Galileo Galilei



Newton



Maxwell



Fermi



Yukawa



Int. gravitazionale Int. elettromagnetica

Int. Debole

(decadimento beta,...)

Int. Forte (forze nucleari)

$$F = k \frac{M_1 M_2}{R^2}$$

1686

Philosophiae Naturalis Principia Mathematica
Attualmente valida solo in prima
approssimazione: sostituita dalla Relatività
Generale

$$F = qE + q \times v \times B$$

1873

Treatise on electricity
and magnetism

Attualmente valida senza però l'idea originaria
dell'etere

$$n \rightarrow p + \beta^- + \bar{\nu}_e$$

1934

Articolo: "Tentativo di una teoria
dell'emissione dei raggi beta" su "Ricerca
scientifica" e Zeitschrift für Physik ("Nature" la rifiutò perché troppo
astratta! Attualmente valida con l'aggiunta del principio di Parità
(1957)

???

1935

"On the Interaction of Elementary
Particles. I." (Proc. Phys.-Math. Soc.
Japan, 17, 48),

Le quattro forze fondamentali



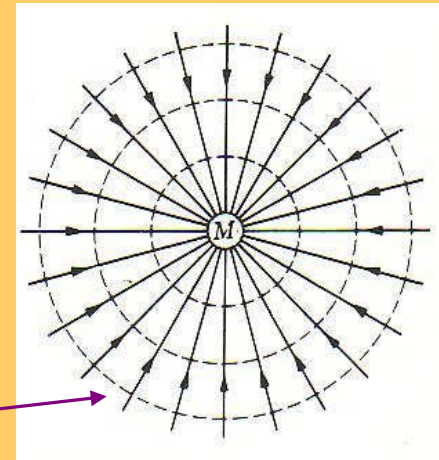
Teoria	Interazione	Mediatore	Magnitudine relativa	Andamento	Raggio d'azione
Cromodinamica quantistica	Forza nucleare forte	gluone	10^{38}	$1/r^7$	1.4×10^{-15} m
Elettrodinamica	Interazione elettromagnetica	fotone	10^{36}	$1/r^2$ $1/r$	∞
Teoria elettrodebole	Interazione debole	Bosoni Z e W	10^{25}	$1/r^5$ a $1/r^7$	10^{-18} m
Teoria della relatività generale	Gravità	gravitone	10^0	$1/r^2$	∞

Cosa è un campo di forze

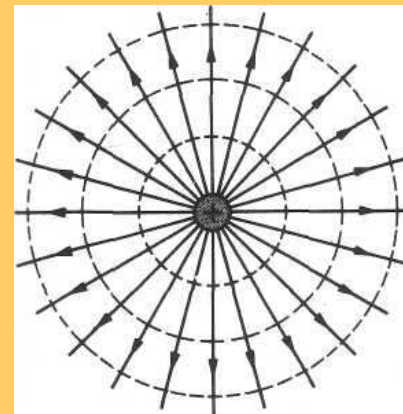
Campo di forze: regione dello spazio in cui si manifesta l'azione di una forza.

Le caratteristiche di un campo sono schematizzate graficamente dalle **linee di forza**, curve che seguono l'andamento della forza in questione, specificandone in ogni punto l'intensità, la direzione e il verso.

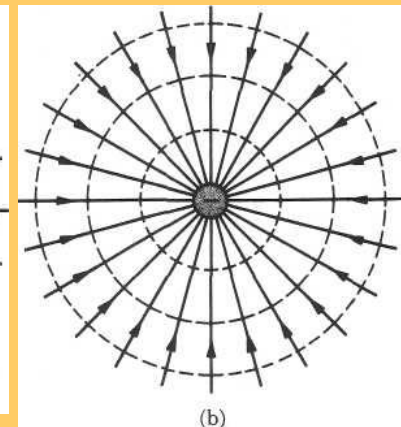
Campo gravitazionale



Campo elettrostatico



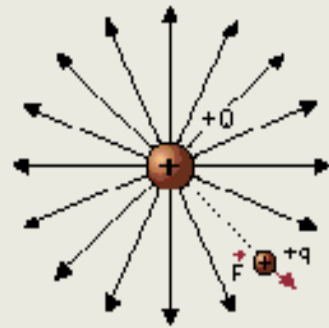
$q > 0$



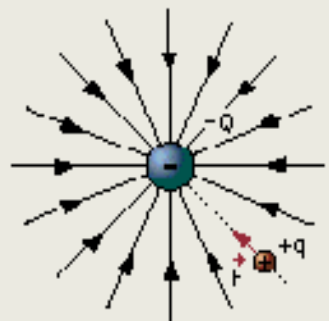
$q < 0$

Linee del campo elettrico (statico)

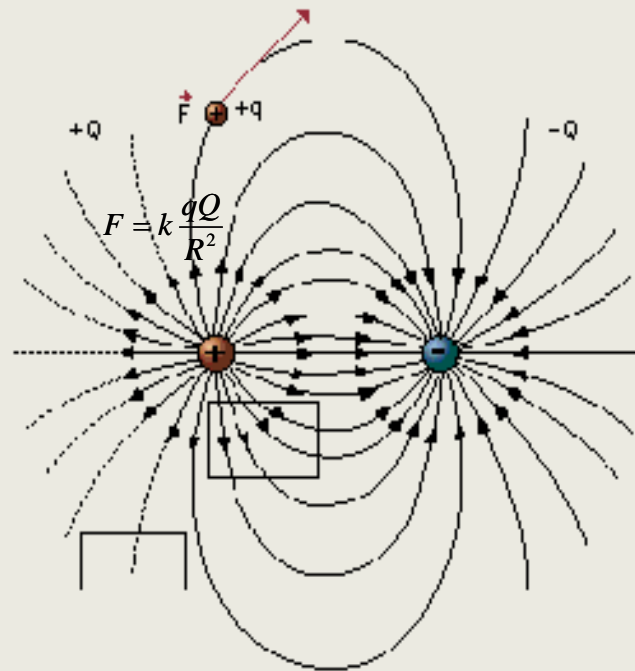
La sorgente del campo elettrico (statico) è la carica elettrica (in quiete o in moto uniforme)



▲ 1. Campo di forze generato da una carica elettrica puntiforme positiva +Q.



▲ 2. Campo di forze generato da una carica elettrica puntiforme negativa -Q.



▲ 3. Campo di forze generato da un sistema di due cariche elettriche puntiformi di segno opposto (dipolo elettrico).

$$F = k \frac{qQ}{R^2}$$

Campo di forze gravitazionale

La sorgente del campo gravitazionale è la massa.

Ogni corpo dotato di massa esercita una forza attrattiva verso qualsiasi altro corpo.

$$F = k \frac{mM}{R^2}$$



La terra attira verso il suo centro la mela, ma anche la mela attira a sé la terra; la terra prevale perché ha più massa.

Campo di forze elettrodinamiche

**Forza di
Lorenz**

$$\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}).$$

$$\mathbf{E} = \frac{-q}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{\mathbf{e}_{r'}}{r'^2} + \frac{r'}{c} \frac{d}{dt} \left(\frac{\mathbf{e}_{r'}}{r'^2} \right) + \frac{1}{c^2} \frac{d^2}{dt^2} \mathbf{e}_{r'} \right].$$

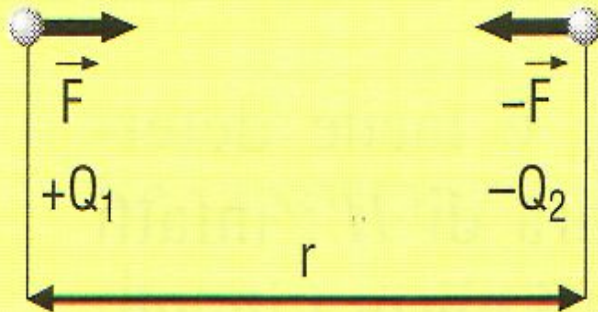
$$\mathbf{B} = -\mathbf{e}_{r'} \times \mathbf{E}/c.$$

$$E_x(t) = \frac{-q}{4\pi\epsilon_0 c^2 r} a_z \left(t - \frac{r}{c} \right).$$

**Campo di radiazione, dovuto
solamente all'accelerazione della
carica in direzione perpendicolare (z)
alla linea di visione (x).**

Le sorgenti della Forza elettrica e magnetica (statici)

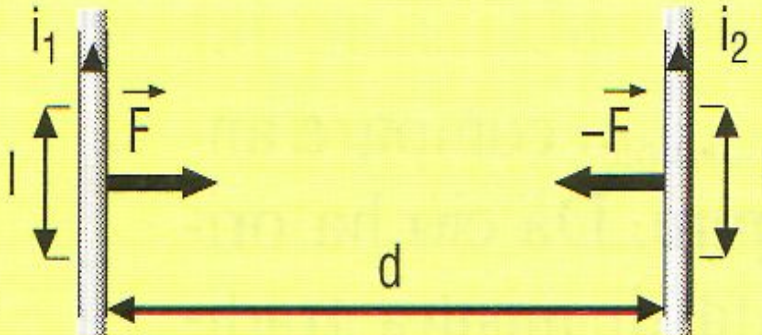
Cariche in quiete o con velocità uniforme



Forza elettrostatica fra due cariche in quiete

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

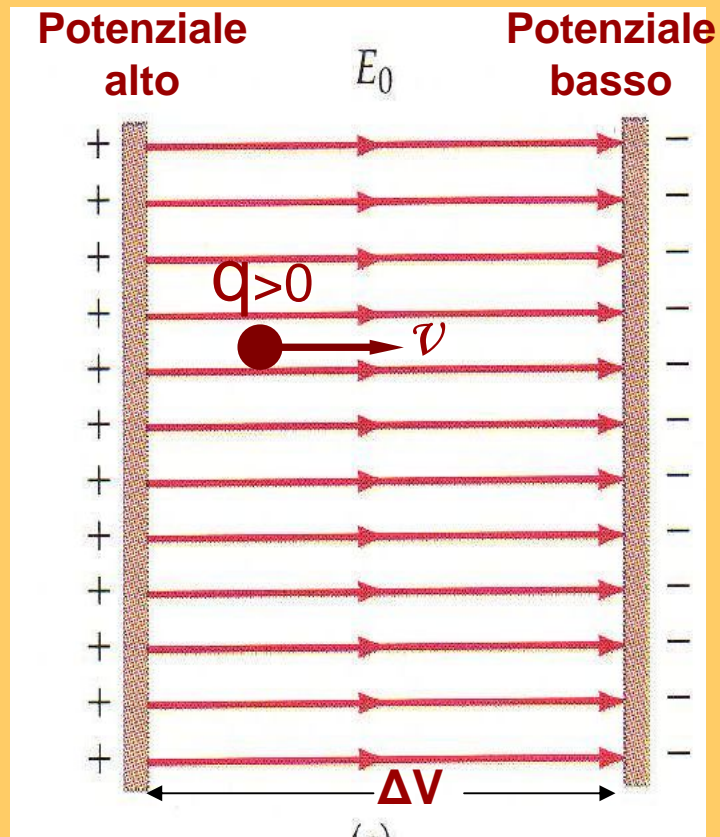
Correnti continue



Forza magnetostatica fra due correnti continue

$$F = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{i_1 i_2 l}{d}$$

Al campo elettrico statico (essendo conservativo) viene associato un potenziale



Per campi uniformi: $E = \Delta V/d$

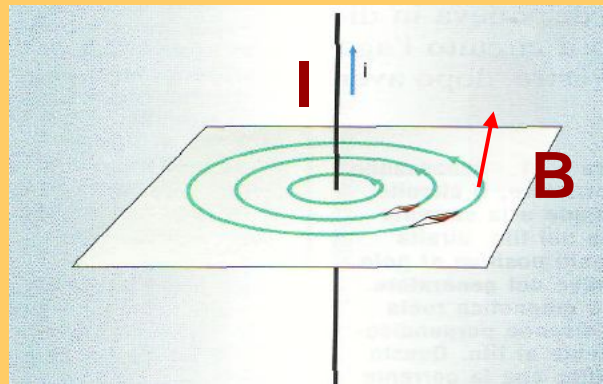
Esempio di campo elettrico molto intenso



La scarica disruptiva si ha quando il campo supera la rigidità dielettrica dell'aria (circa 3MV/m); "effetto corona" è detto del fenomeno luminoso generato da scariche elettriche nell'aria nei pressi di un filo percorso da corrente

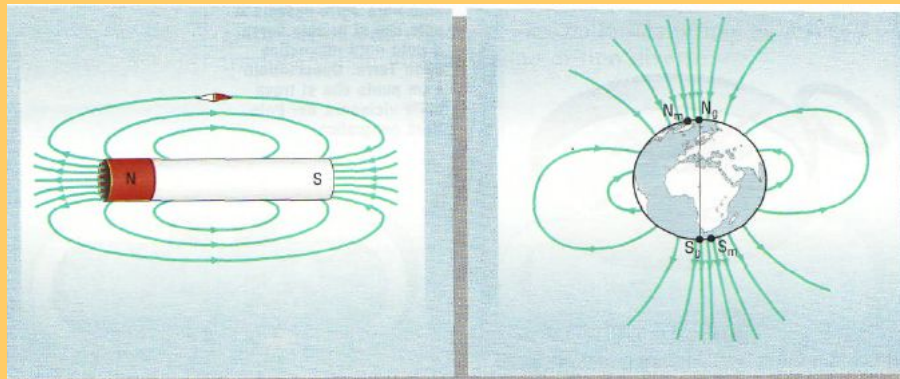
Linee del campo magnetico (statico)

La sorgente del campo magnetico statico
è la corrente elettrica continua



Esempi di campi magnetici statici

La calamita



La terra

Alcune definizioni

- Essendo $E = - \text{grad } V$
più alta è la tensione (ΔV) più
intenso è il campo elettrico.
- I campi magnetici si creano
quando circola una corrente
elettrica, più alta è la corrente
più intenso è il campo
magnetico.

Confronto fra E e B

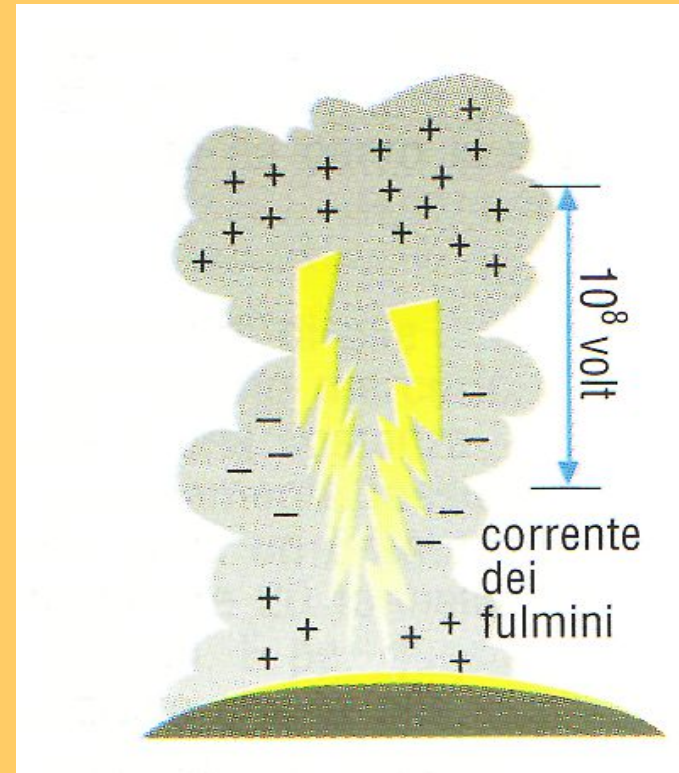
Campi elettrici	Campi magnetici
<ol style="list-style-type: none">1. I campi elettrici derivano dalla tensione2. La loro intensità si misura in volt al metro (V/m)3. Un campo elettrico può essere presente anche se un apparecchio è spento4. L'intensità del campo elettrico diminuisce con la distanza dalla sorgente5. La maggior parte dei materiali scherma in qualche misura i campi elettrici	<ol style="list-style-type: none">1. I campi magnetici derivano dalla corrente elettrica2. La loro intensità si misura in ampere al metro (A/m). Generalmente, i ricercatori usano al suo posto una grandezza associata, l'induzione magnetica (di solito misurata in microtesla, μT, o in millitesla, mT)3. I campi magnetici esistono solo se un apparecchio è acceso e circola una corrente4. L'intensità del campo magnetico diminuisce con la distanza dalla sorgente5. I campi magnetici non sono schermati dalla maggior parte dei materiali

Il campo magnetico statico, entro certi limiti, può essere schermato usando materiali, cosiddetti ferromagnetici come ferro, nichel e varie leghe.

I fulmini

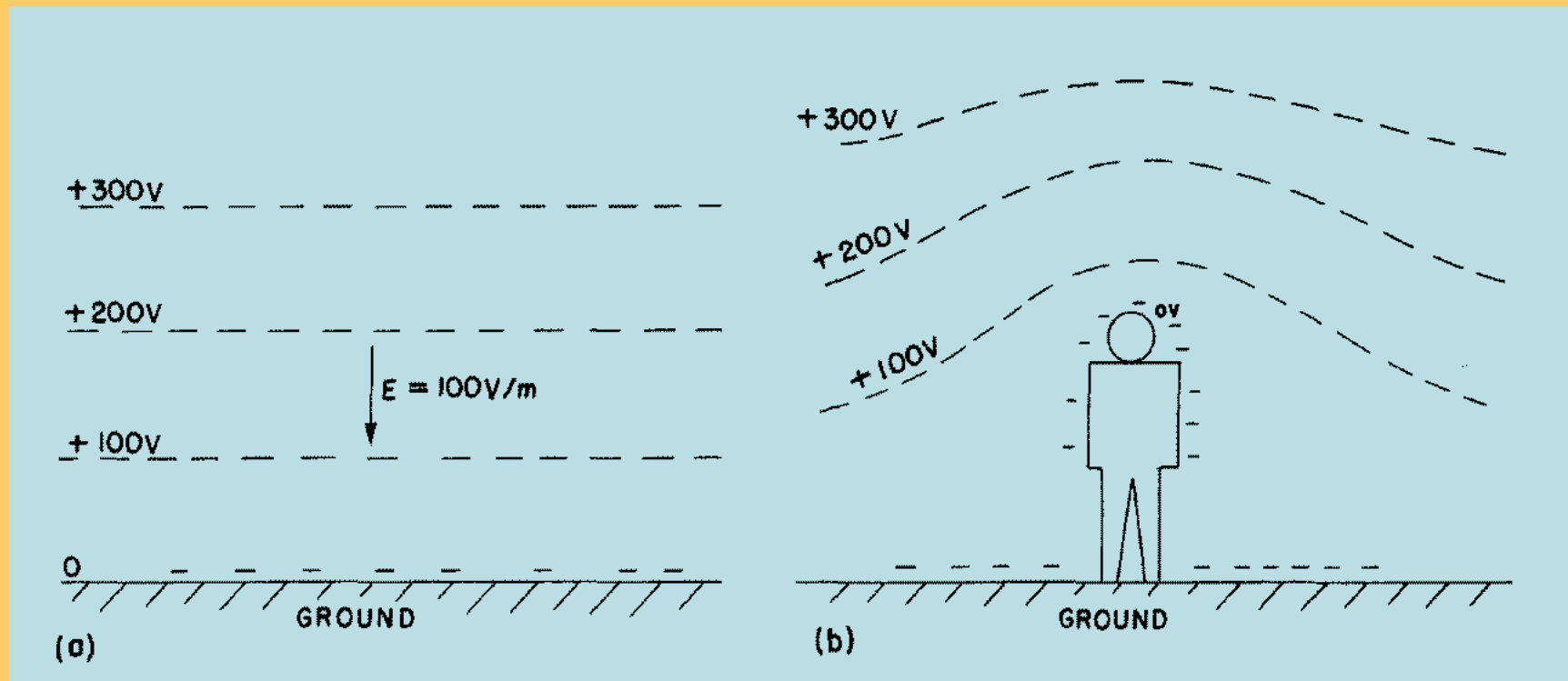


La ddp tra nube e suolo (oppure tra due nubi) è di circa 100 MV, la corrente può raggiungere punte di 10 000 A, trasportando una carica di 20 C. In una giornata limpida la ddp tra cielo e terra è di circa 0.4 MV



Durante un temporale di media intensità viene sviluppata una potenza elettrica di qualche centinaia di MW (quella di una piccola centrale elettrica).

Il campo elettrostatico al suolo



Campo elettrostatico di un uomo che cammina su tappeto

Treni a corrente continua e treni magnetici



**Treno italiano ad alta velocità,
a corrente continua.**

**Assorbe una potenza di circa 6 MW
ad una tensione di 3 kV**

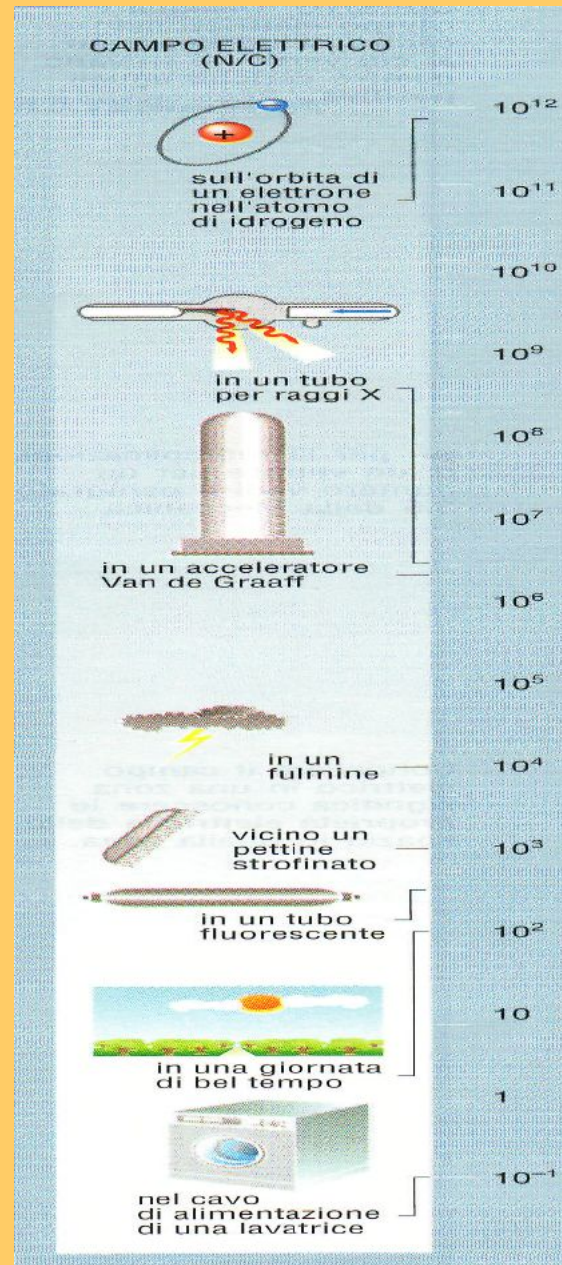


**Treno giapponese a
levitazione magnetica**

**Maglev (magnetic levitation) velocità
di oltre 300 Km/h**

**Il 3 aprile 2007 il [V150](#), il nuovo treno
superveloce francese che ha raggiunto la
velocità di 570 Km. orari, diventando così il treno
più veloce del mondo**

Alcuni valori comparativi di E e V



Cos'è un'onda (1)

Tutti i fenomeni fisici macroscopici si dividono in due grandi classi:

- ***Fenomeni corpuscolari***
- ***Fenomeni ondulatori***

I primi sono caratterizzati dall'averne una certa posizione nello spazio, una certa traiettoria, nel loro moto trasportano massa (en. cinetica).

I secondi invece sono delocalizzati, non seguono una traiettoria definita, infatti possono aggirare degli ostacoli (diffrazione), trasportano energia non associata a nessuna massa.

Cos'è un'onda (2)

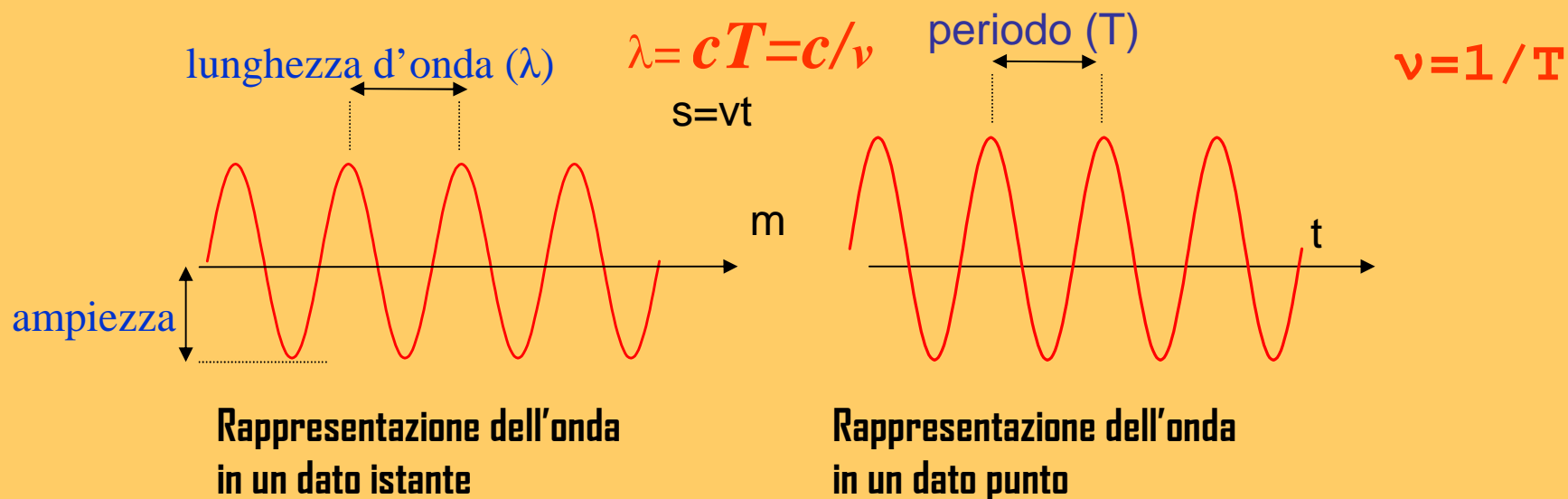
Un'onda è una perturbazione che si propaga nello spazio trasportando energia senza che vi sia trasporto di materia.

Un'onda ha sempre origine in una sorgente che produce la perturbazione.

- Quando accendiamo una radio, il suono si propaga nella stanza, quando un motoscafo passa la sua scia si propaga fino alla riva, quando accendiamo una lampadina la luce si propaga nella stanza, ecc...

Grandezze che definiscono un'onda

Ad un'onda elettromagnetica, è associata una **lunghezza d'onda** (distanza fra due picchi consecutivi) un'**ampiezza** (altezza dei picchi) e una **fase** (posizione dell'onda a $t=0$)



Le equazioni di Maxwell

Nel vuoto

$$\begin{aligned} I \quad \vec{\nabla} \cdot \vec{E} &= \frac{\rho}{\epsilon_0} \\ II \quad \vec{\nabla} \times \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ III \quad \vec{\nabla} \cdot \vec{B} &= 0 \\ IV \quad \vec{\nabla} \times \vec{B} &= \mu_0 \vec{J} + \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \end{aligned}$$

Nel mezzo materiale

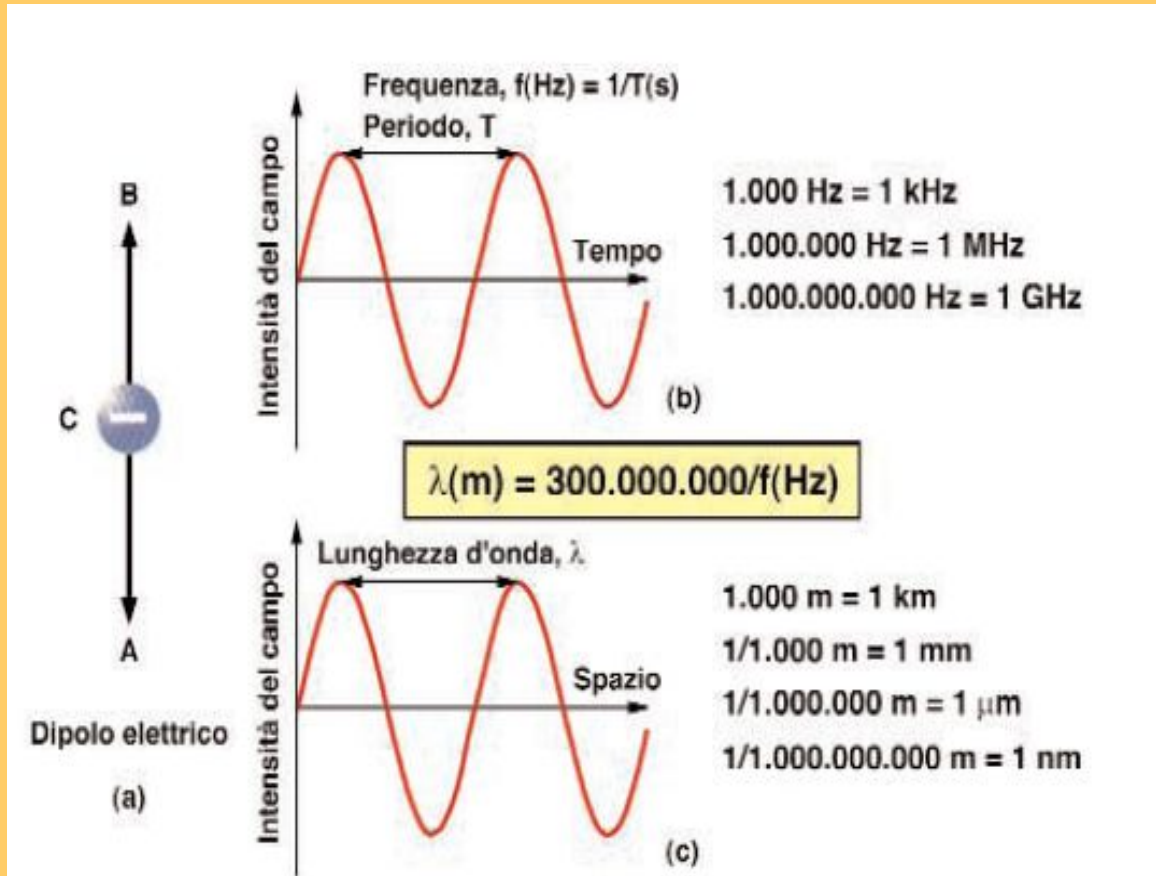
$$\begin{aligned} \vec{\nabla} \cdot \vec{D} &= \rho \\ \vec{\nabla} \times \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \vec{\nabla} \cdot \vec{B} &= 0 \\ \vec{\nabla} \times \vec{H} &= \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \vec{D} &= \epsilon_0 \epsilon_r \vec{E} \\ \vec{B} &= \mu_0 \mu_r \vec{H} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \vec{D} &= \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P} \\ \vec{B} &= \mu_0 \vec{H} + \vec{M} \end{aligned}$$

μ_r e ϵ_r descrivono le caratteristiche del mezzo

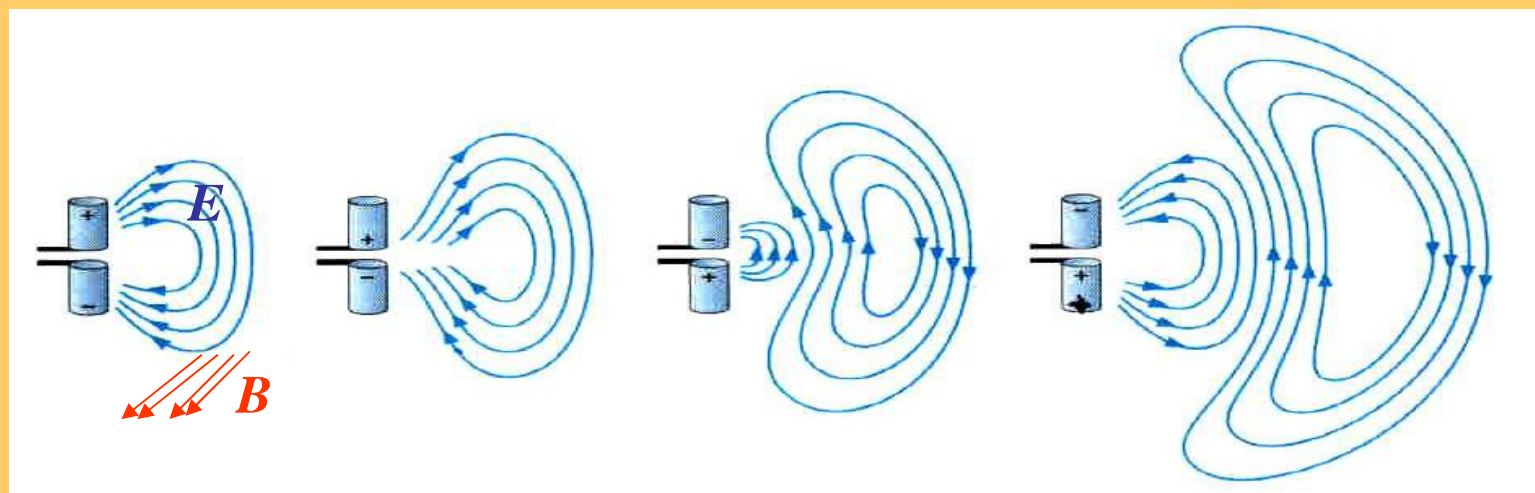
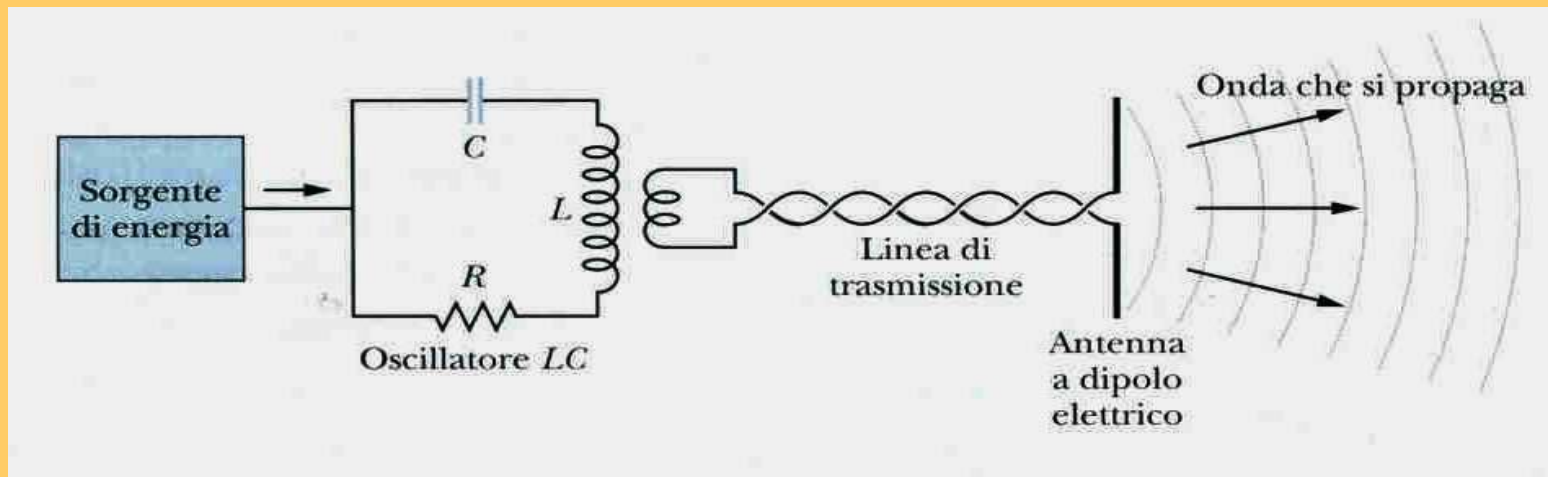
La sorgente dell'onda e.m.



La sorgente del campo e.m. è la carica accelerata

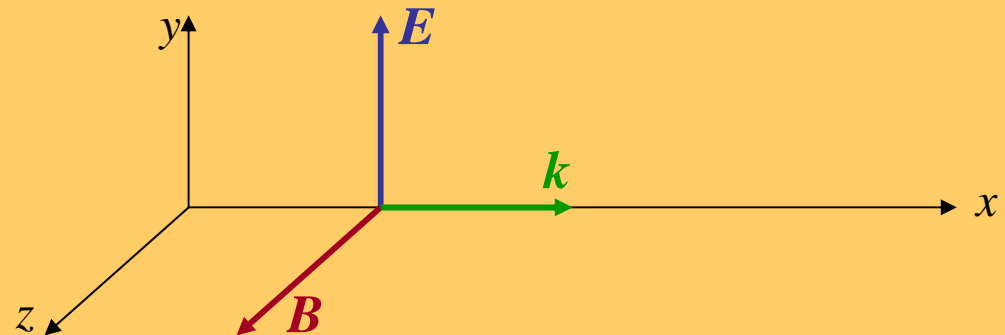
Usualmente si genera un'onda e.m. con un moto accelerato di più cariche cioè una corrente oscillante, una carica oscillante è certamente accelerata (altrimenti non si genererebbe una oscillazione).

generazione di un'onda e.m.



I campi elettrici e magnetici che si propagano: l'onda e.m.

Soluzione delle equazioni di Maxwell è **l'onda elettromagnetica**. L'onda viaggia nella direzione del vettore k con campi elettrici e magnetici perpendicolari fra loro e perpendicolari a k (polarizzazione rettilinea)



Nell'ipotesi di assenza di cariche e correnti e che i campi dipendano da una sola coordinata si ha:

$$E(x,t) = E_0 \sin(\omega t - kx)$$

$$B(x,t) = B_0 \sin(\omega t - kx)$$

$$\omega = \text{pulsazione} = 2\pi f$$

$$k = \text{numero d'onda} = 2\pi/\lambda$$

$$c = \lambda f = \omega/k = \text{velocità della luce}$$

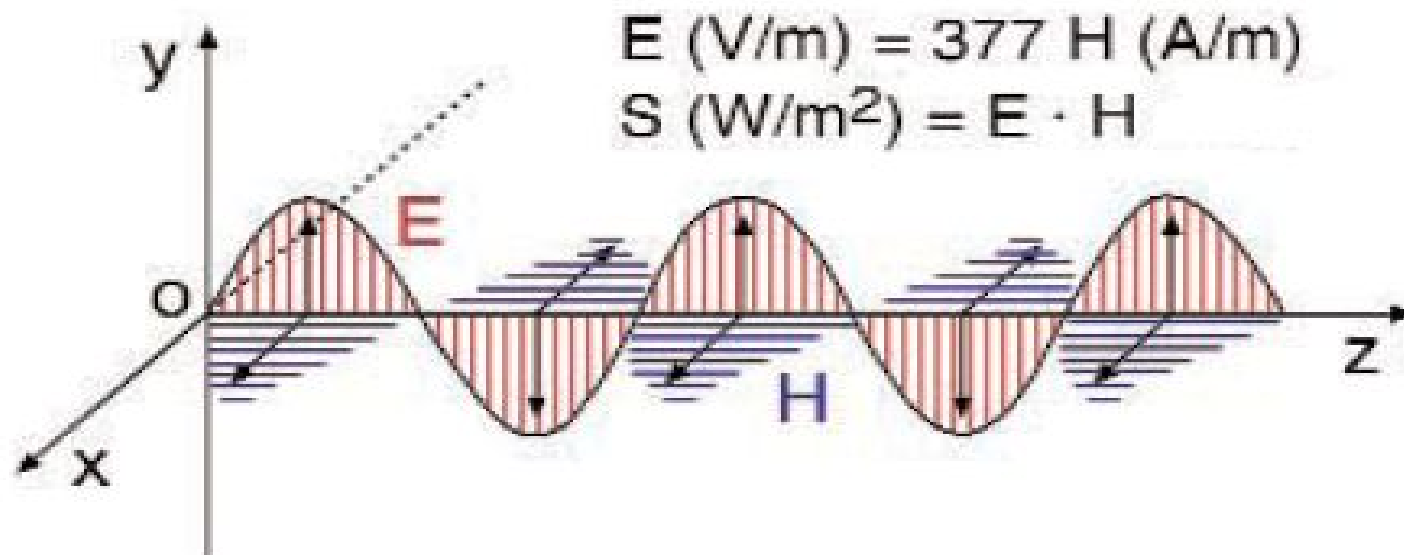
relazione fra E e B:

$$\frac{\partial E}{\partial x} = - \frac{\partial B}{\partial t}$$
$$- \frac{\partial B}{\partial x} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t}$$

$$E/B = Z \quad (\text{campo lontano})$$

$$Z = \sqrt{(\mu/\epsilon)} c^2 = 1/\epsilon_0 \mu_0 = 377 \Omega$$

l'onda piana sinusoidale

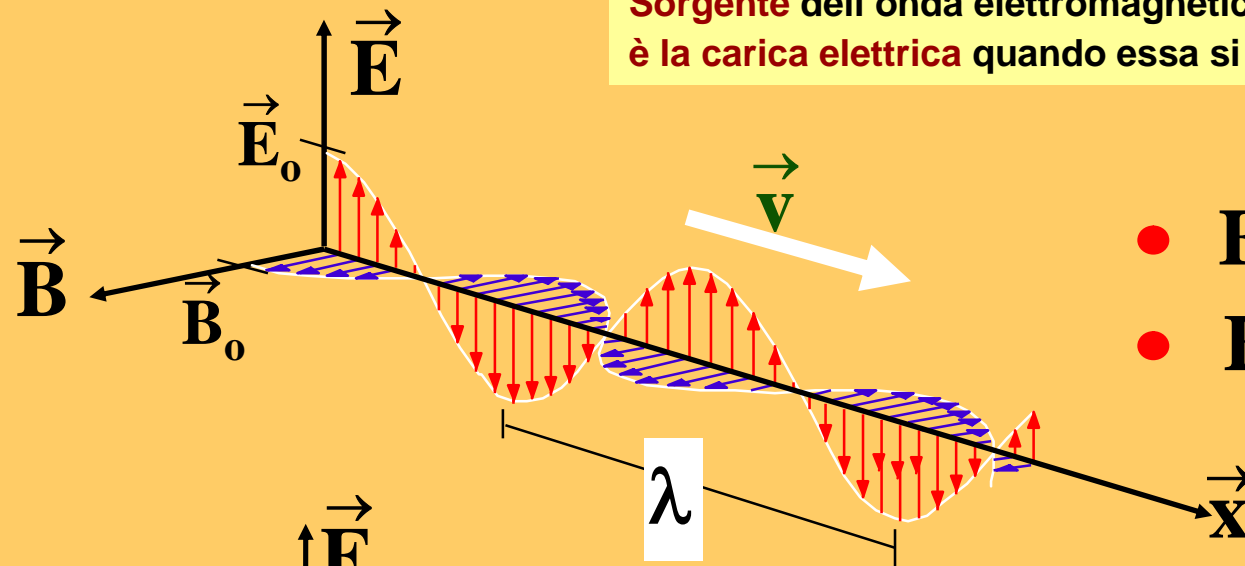


- Quando il campo elettrico e il campo magnetico variano sinusoidalmente nel tempo divengono, reciprocamente, uno sorgente dell'altro e danno luogo a un campo elettromagnetico, una situazione in cui non è più possibile scindere la componente elettrica da quella magnetica. Il campo elettromagnetico non si mantiene più localizzato attorno alla sua sorgente, ma si propaga a distanza in teoria infinita, assumendo una struttura di tipo radiativo.

COME SI PROPAGA IL CAMPO

Sorgente dell'onda elettromagnetica

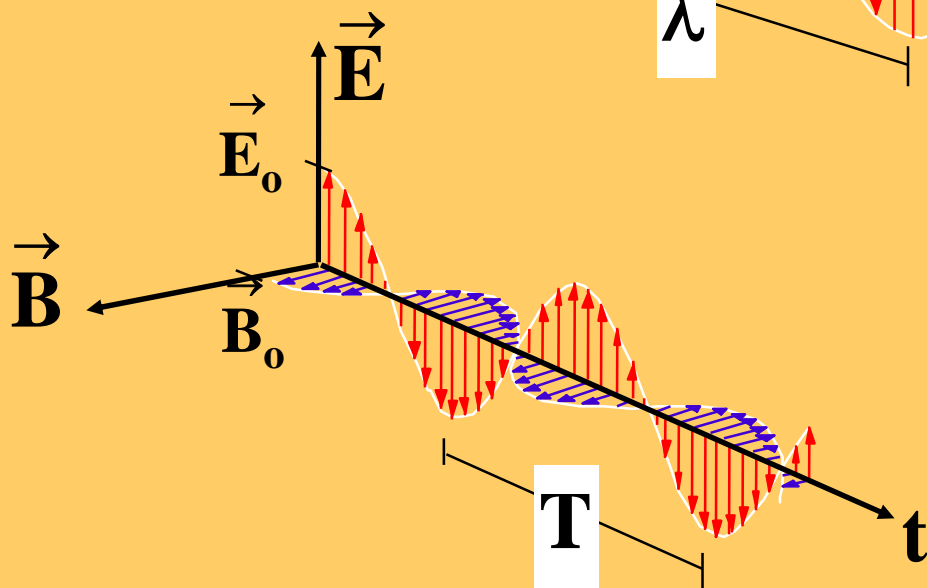
è la carica elettrica quando essa si muove di moto accelerato



- $\mathbf{E} = \mathbf{E}(\mathbf{x}, t)$
- $\mathbf{B} = \mathbf{B}(\mathbf{x}, t)$

$$E = E_0 \sin(kx - \omega t)$$

E è polarizzato
rettilinearmente



l'onda elettromagnetica

- *La sorgente dell'onda è la carica accelerata (carica che oscilla oppure una corrente oscillante)*
- *è energia che si propaga nel tempo e nello spazio*
- *non ha bisogno di nessun mezzo materiale per la propagazione*
- *viaggia alla velocità della luce nel vuoto o con velocità $v = c/n$ nella materia (n è l'indice di rifrazione del mezzo: $n_{\text{aria}} \sim 1$) inoltre n è correlato alla costante dielettrica dalla seguente relazione $n = \sqrt{\epsilon_r \mu_r}$*
- *viene emessa o assorbita in interazioni con le cariche o le correnti elettriche della materia in “pacchetti di onda” detti fotoni*

Cos'è un campo elettromagnetico

- Un campo elettromagnetico è una zona di spazio nella quale è presente un'onda e.m., dove cioè con appositi strumenti è possibile misurare il valore di due grandezze fisiche dette:
 - **campo elettrico E (V/m)**
 - **induzione magnetica B (T)** o il campo ad esso associato detto **campo magnetico H (A/m)**
- Nel vuoto (e praticamente anche in aria) la relazione tra B ed H è fissa e vale $B = \mu_0 H$ quindi dalla conoscenza dell'uno si ricava immediatamente il valore dell'altro.

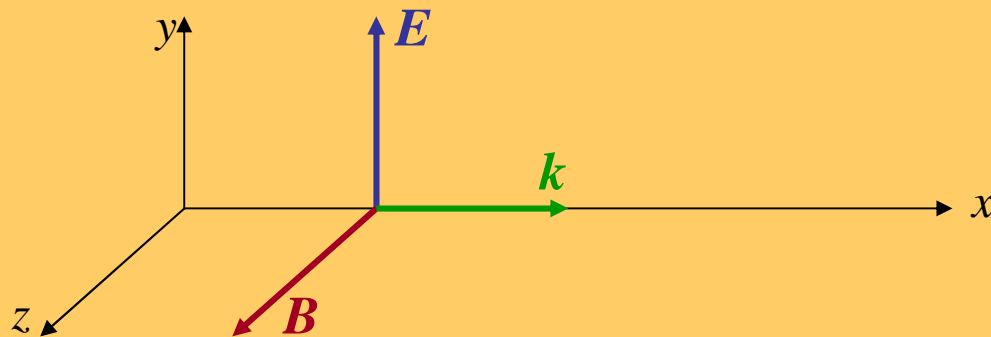
Essendo E e B in genere correlati fra loro per le RF, è sufficiente far riferimento al solo campo elettrico, mentre per le ELF ciò non vale, ed occorre misurare ambedue i campi (E lo si ritiene costante e B variabile con l'intensità di corrente)

L'energia dell'onda

Il vettore di Poynting

rappresenta il flusso di energia dell'onda =
potenza incidente per unità di superficie : W/m^2

ed ha la direzione di k (direzione del moto)



Ad es. ad un campo elettrico oscillante di valore efficace di 6 V/m ("valore di attenzione" per le RF) è associato un flusso di energia di 0.1 W/m²

$$S = (E \times B) / \mu_0$$

$$(\mu_0 = 1.26 \times 10^{-6} \text{ m Kg/C}^2)$$

Modulo (medio) di S

$$S = \frac{1}{2} \epsilon_0 c E_0^2$$

$$\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Energia dell'onda classica e quantistica

Energia classica (densità) dell'onda e.m. (J/m^3)

$$u = \epsilon_0 E^2$$

Energia quantistica (fotonica) dell'onda e.m. (J)

$$E = h\nu$$

oppure

$$E = hc/\lambda$$

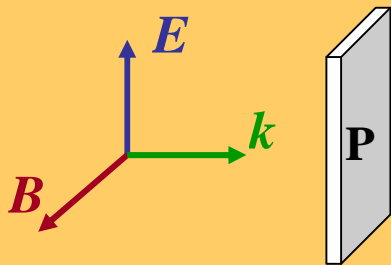
La relazione che raccorda le due interpretazioni è la seguente:

$$\frac{\text{N}^\circ \text{ probabile di fotoni}}{\text{Volume unitario}} = \epsilon_0 E^2 / h\nu$$

esempio: le onde del cellulare

se nel punto **P** si misura un flusso di energia S dal cellulare di $\approx 1 \text{ W/m}^2$ (cioè 1 joule/sec m^2), quanto vale il campo?

$$S = \frac{1}{\mu_0 c} E^2 = \frac{c}{\mu_0} B^2$$



$$E^2 = \mu_0 c |\vec{S}| = 4\pi 10^{-7} \text{ TmA}^{-1} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1} \cdot 1 \text{ Js}^{-1} \text{ m}^{-2} \approx 400 \text{ V}^2 \text{ m}^{-2}$$

Cioè il campo vale circa: $E = 20 \text{ V/m}$

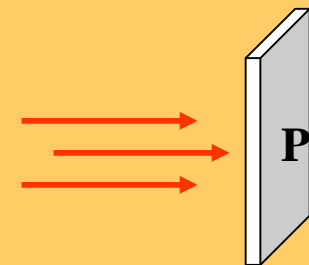
Questo campo decade poi con la distanza dal cellulare come $1/r$

Di tale radiazione **quanti fotoni** in 1 secondo attraverseranno 1 m^2 di superficie? (supponendo una frequenza $f \approx 1 \text{ GHz}$ (tipica del sistema GSM))-

$$N = E/h\nu = 1(\text{J}) / (6.6 \cdot 10^{-34} \cdot 10^9) = \mathbf{15 \cdot 10^{23} \text{ fotoni}}$$

$$E_{\text{fotone}} = hf = 6.6 \cdot 10^{-34} \cdot 10^9 = 6.6 \cdot 10^{-25} \text{ J} = \mathbf{4 \cdot 10^{-6} \text{ eV}} = \mathbf{4 \mu\text{eV}}$$

(nel visibile $E \approx 2 \text{ eV}$)



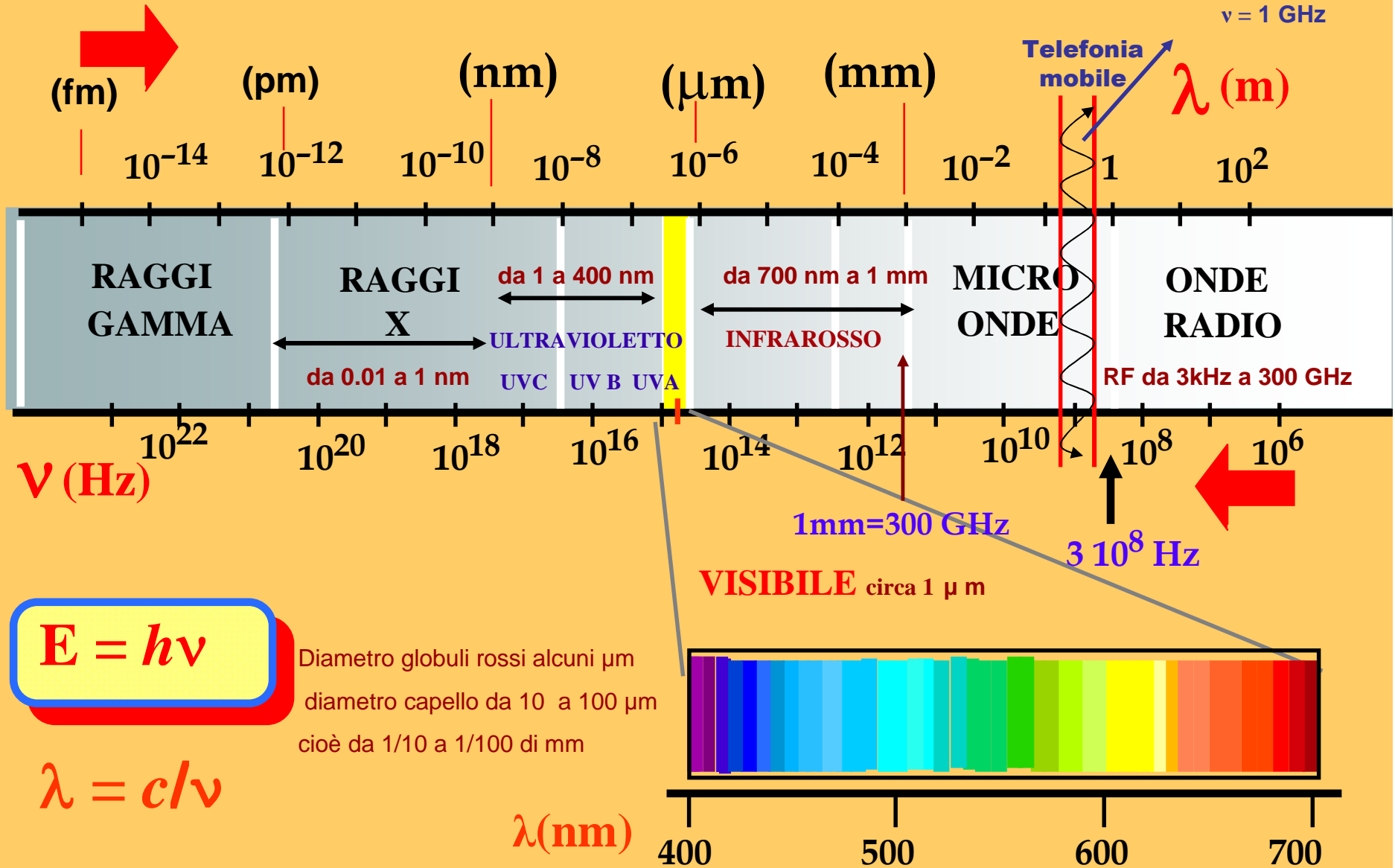
Suddivisione schematica dello spettro e.m.

Campi statici	meno di 1 <u>Hz</u>	∞	Risonanza magnetica, elettrolisi industriale
Campi a bassa frequenza (ELF)	Fino a 100 <u>kHz</u>	∞ - 3 <u>km</u> (a 50 <u>Hz</u> $\lambda=6000$ <u>km</u>)	elettrodomesti, elettrodomestici 50 Hz (60 Hz in Canada, Usa e Giappone)
Onde radio (RF)	0.1-1000 <u>MHz</u>	3 <u>km</u> - 30 <u>cm</u>	Trasmettitori <u>radio-TV-telefonini</u>
Microonde (MW)	1-1.000 <u>GHz</u>	30 <u>cm</u> -0.3 <u>mm</u>	Comunicazioni - forni a microonde
Infrarossi (IR)	1-350 <u>THz</u>	0.3 <u>mm</u> -0.8 <u>um</u>	Corpi caldi (temperatura ambiente)
Luce visibile	350-700 <u>THz</u>	0.8 <u>um</u> -0.4 <u>um</u>	Corpi molto caldi (migliaia di gradi)- reazioni chimiche
Ultravioletti (UV)	10^{15} - 10^{17} <u>Hz</u>	400- 3 <u>nm</u>	Arco voltaico - raggi solari
Raggi X	10^{17} - 10^{21} <u>Hz</u>	3 <u>nm</u> - 0.3 <u>pm</u>	Radiografie, schermo televisori
Raggi gamma	oltre 10^{21} <u>Hz</u>	< 0.3 <u>pm</u>	Reazioni nucleari, <u>radioattiva'</u>

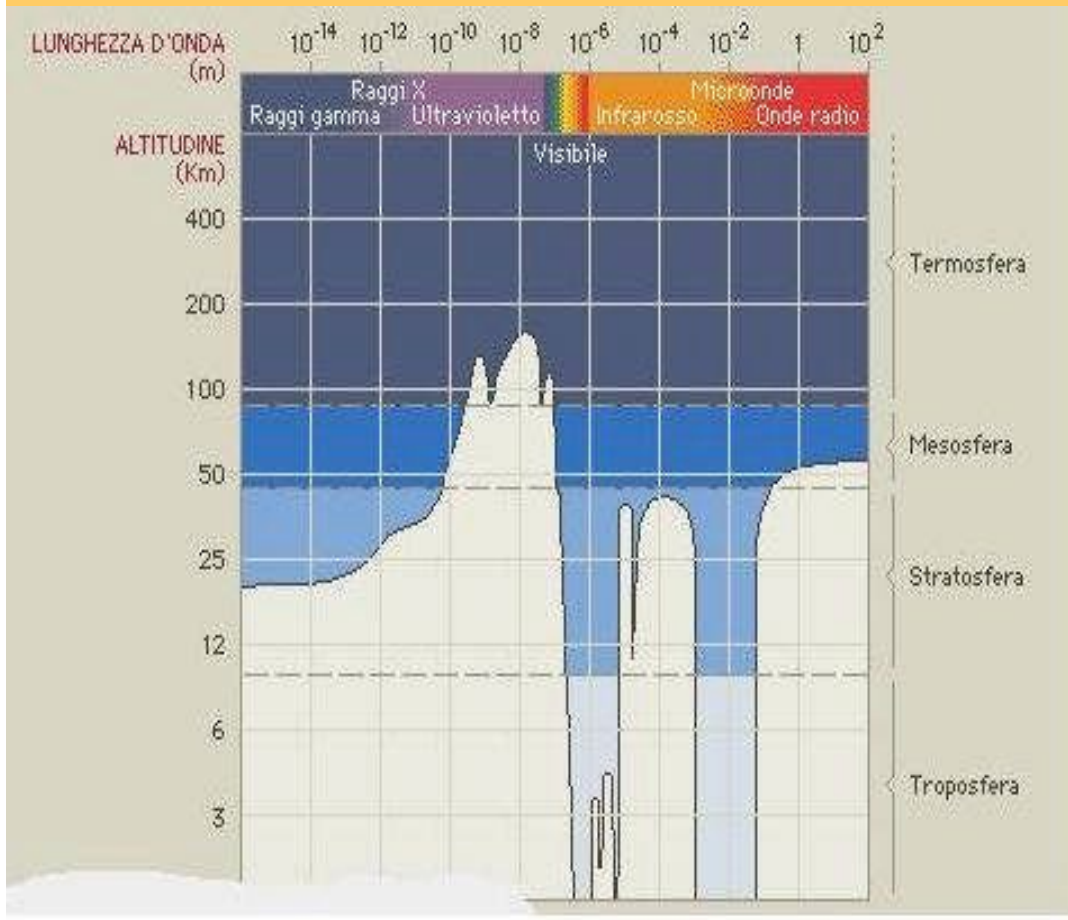
Lunghezza d'onda tipica delle RF (telefonia mobile) $\lambda = 30$ cm (1 GHz)

LO SPETTRO ELETTROMAGNETICO (1)

$\lambda = 30 \text{ cm}$
 $\nu = 1 \text{ GHz}$



Quello che arriva dal Sole...

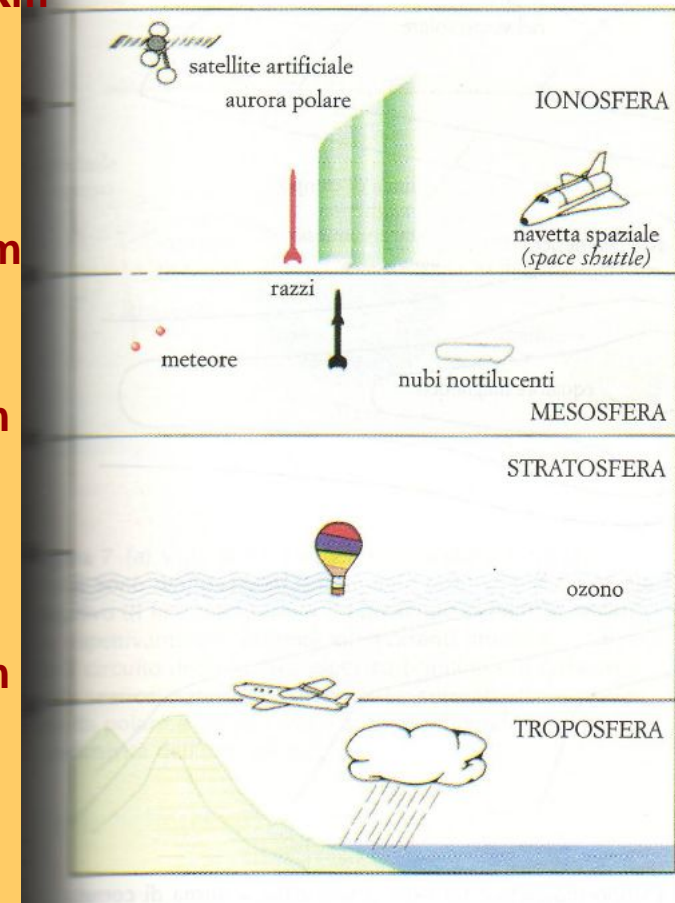


1000 Km

100 Km

50 Km

10 Km



Le sorgenti dei campi

- **Le sorgenti naturali** dei campi e.m. sono ad es. il Sole (sostanzialmente al suolo arriva rad. visibile e infrarosso), il cosmo (rad. visibile, radio, fossile a 3°K, lampi gamma...), la Terra (campo magnetico ed elettrico statico e radioattività (radiazione Gamma))
- **Le sorgenti artificiali** sono ad es. le antenne RTV e di Telefonia mobile, gli elettrodotti e tutte le apparecchiature elettriche - Tv, Pc, impianto di cablaggio elettrico delle nostre case, apparecchiature industriali, ecc...

Cenni sulle ELF – tensioni di rete (50Hz)

Le linee elettriche

- **Linee elettriche di trasporto ad altissima tensione (AAT - 220-380 kV):** sono dedicate al trasporto dell'energia elettrica e sono l'ossatura di base del sistema elettrico. Collegano le centrali di produzione alle stazioni primarie dove la tensione viene abbassata dal valore di trasporto a quello delle reti di distribuzione ed interessano, di norma, ambiti super regionali.
- **Linee elettriche di distribuzione ad alta tensione (AT - in prevalenza 132-150 kV):** partono dalle stazioni elettriche primarie ed alimentano le grandi utenze.
- **Linee elettriche di distribuzione a media tensione (MT- in pre-valenza 15-20 kV):** partono dalle cabine primarie ed alimentano le cabine secondarie e le medie utenze industriali e talvolta utenti particolari.
- **Linee elettriche di distribuzione a bassa tensione (BT - 220-380 V):** partono dalle cabine secondarie e alimentano gli utenti della zona.

Caratteristiche delle linee

linee ad	AAT	1500 A
linee ad	AT	da 300 a 720 A
linee a	MT	350 A

In genere lavorano con metà del valore della corrente massima di esercizio normale

Linee

Corde intrecciate di rame o alluminio (meno conducibile ma più leggero), avvolte su un'anima di corda d'acciaio

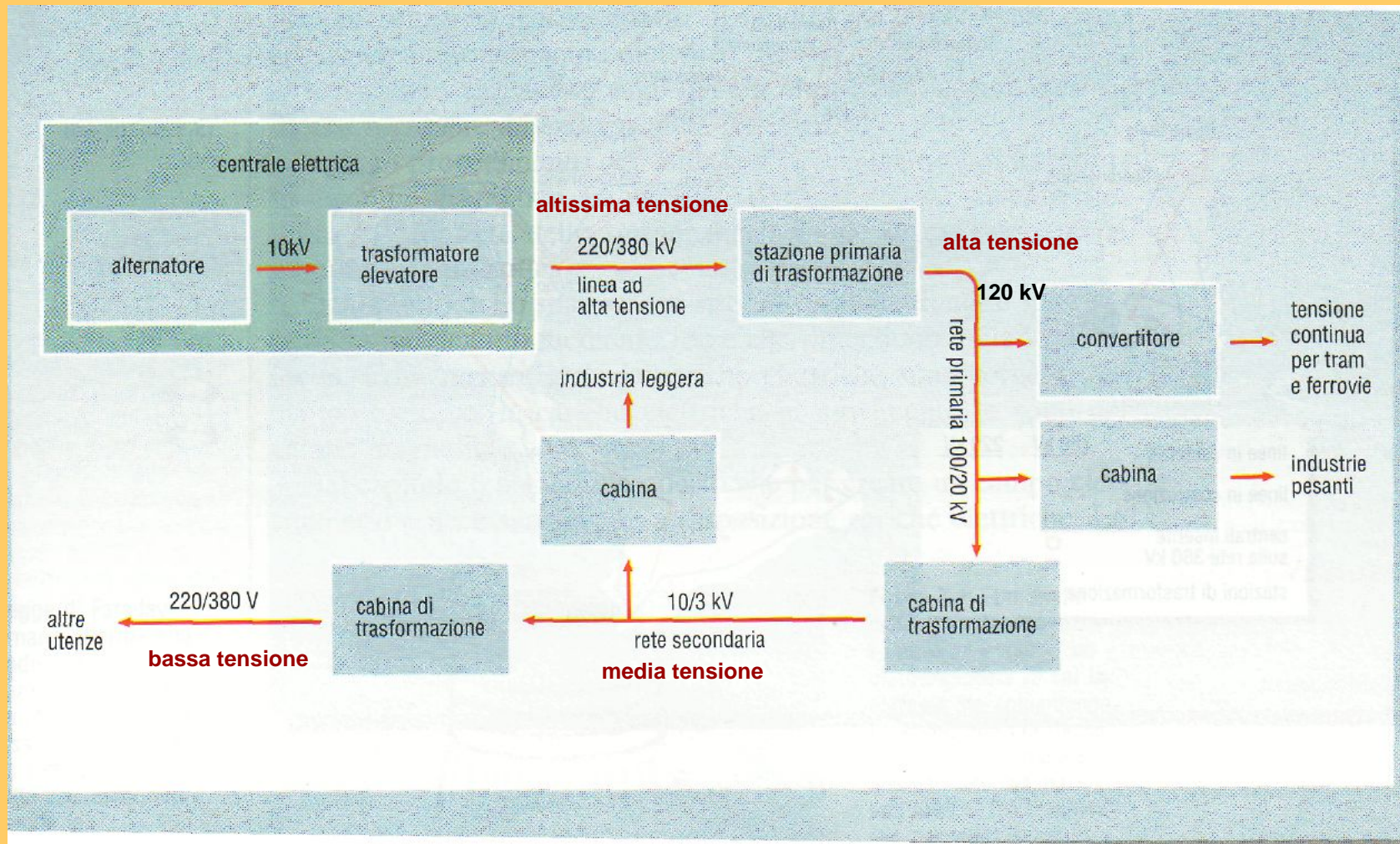
Isolatori

Simili a coppe di vetro rovesciate, servono ad isolare i cavi dal sostegno

Sostegni

Supporti verticali : tralicci di acciaio o cemento alti almeno 11 m su aree adibite ad attività ricreative, piazzali e simili altrimenti per linee da es di 220 kV almeno 7metri

Distribuzione dell'energia elettrica



Una stazione primaria di trasformazione

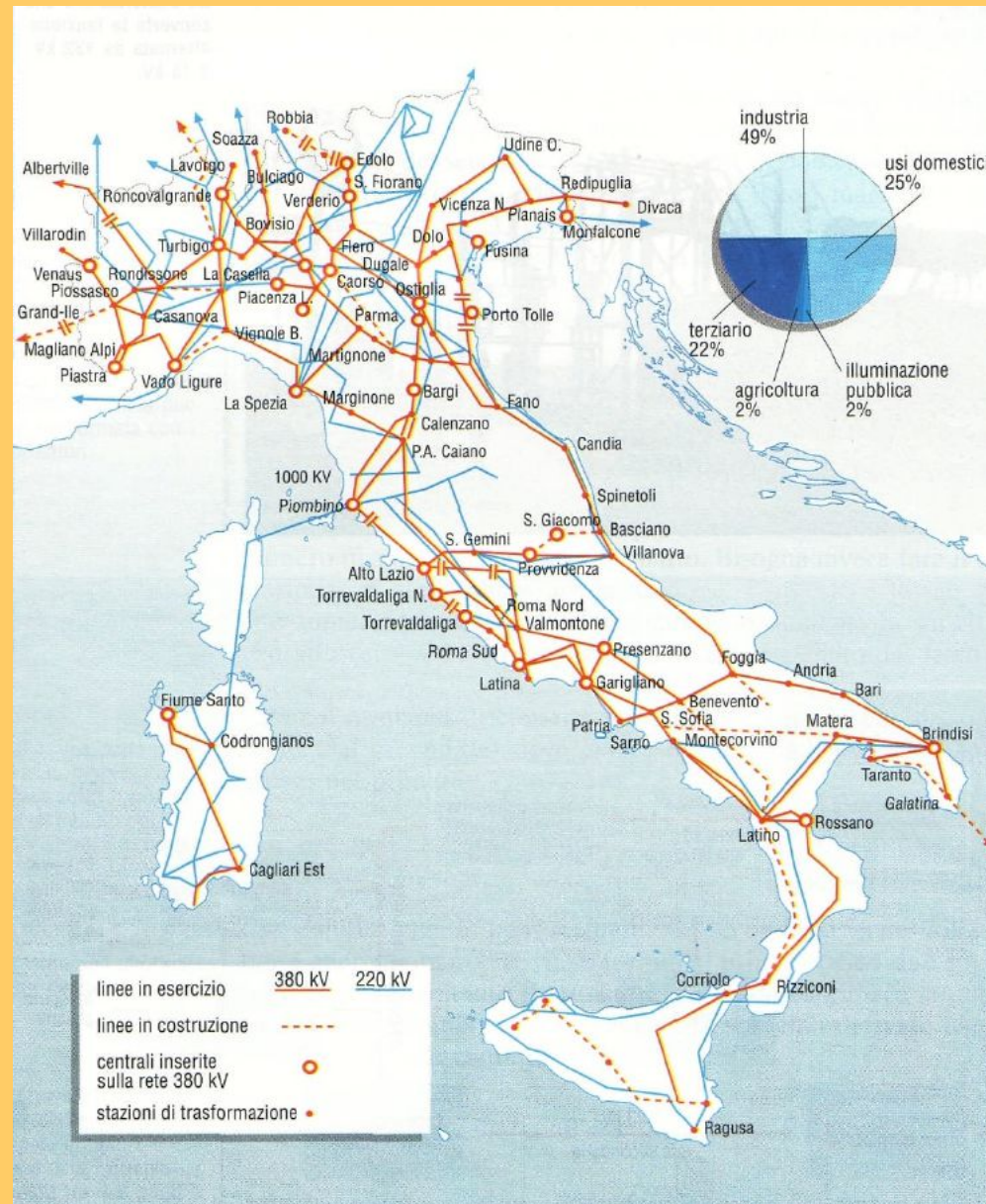


Le autostrade dell'alta tensione

Il 31 maggio 1999 nasce in seno all'ENEL la società Terna, dedicata al settore della trasmissione, che alla fine del 2010 (dato Terna), possedeva

67 000 km di linee,

431 stazioni elettriche di trasformazione e smistamento e 22 linee di interconnessioni con l'estero



Lunghezza delle linee elettriche della rete italiana al 31 dicembre 2010

Dati TERNA

Secondo regione e tensione di esercizio

Segue Tabella 7

	380 kV	220 kV	Totale	Superficie kmq.	Densità m/kmq.
	km di linea				
Piemonte	809	1.084	1.894	25.399	75
Valle d'Aosta	128	240	368	3.263	113
Lombardia	1.518	2.143	3.661	23.861	153
Trentino Alto Adige	-	1.155	1.155	13.607	85
Veneto	604	1.242	1.846	18.392	100
Friuli Venezia Giulia	170	245	415	7.855	53
Liguria	194	400	594	5.421	110
Emilia Romagna	950	317	1.268	22.124	57
Italia Settentrionale	4.373	6.827	11.200	119.922	93
Toscana	1.104	325	1.430	22.997	62
Umbria	88	162	250	8.456	30
Marche	218	101	318	9.694	33
Lazio	1.380	355	1.715	17.207	100
Italia Centrale	2.770	943	3.713	58.354	64
Abruzzi	253	262	515	10.798	48
Molise	61	46	107	4.438	24
Campania	686	689	1.375	13.595	101
Puglia	1.095	152	1.247	19.362	64
Basilicata	297	141	438	9.992	44
Calabria	607	142	749	15.080	50
Sicilia	253	1.531	1.784	25.708	69
Sardegna	318	551	870	24.090	36
Italia Meridionale e Insulare	3.570	3.515	7.084	123.063	58
ITALIA	10.713	11.284	21.997	301.338	73

Linee 500 kV c.c. (SA.PE.I.): km 494 (*)

Linee 400 kV c.c. (Italia - Grecia): km 465,7 (*)

Linee 200 kV c.c. (SA.CO.I.): km 430,8 (*)

Linee 150 - 120 kV appartenenti alla Rete di Trasmissione Nazionale (RTN): km 38.854,8

Totale linee 150 - 120 kV (RTN ed altre reti): km 45.758,2

Tot. 45 000 (AT)+ 22 000(AAT) = 67 000 km

(*) Lunghezza comprendente le linee di elettrodo a mare.

Valori di E_{eff} al suolo

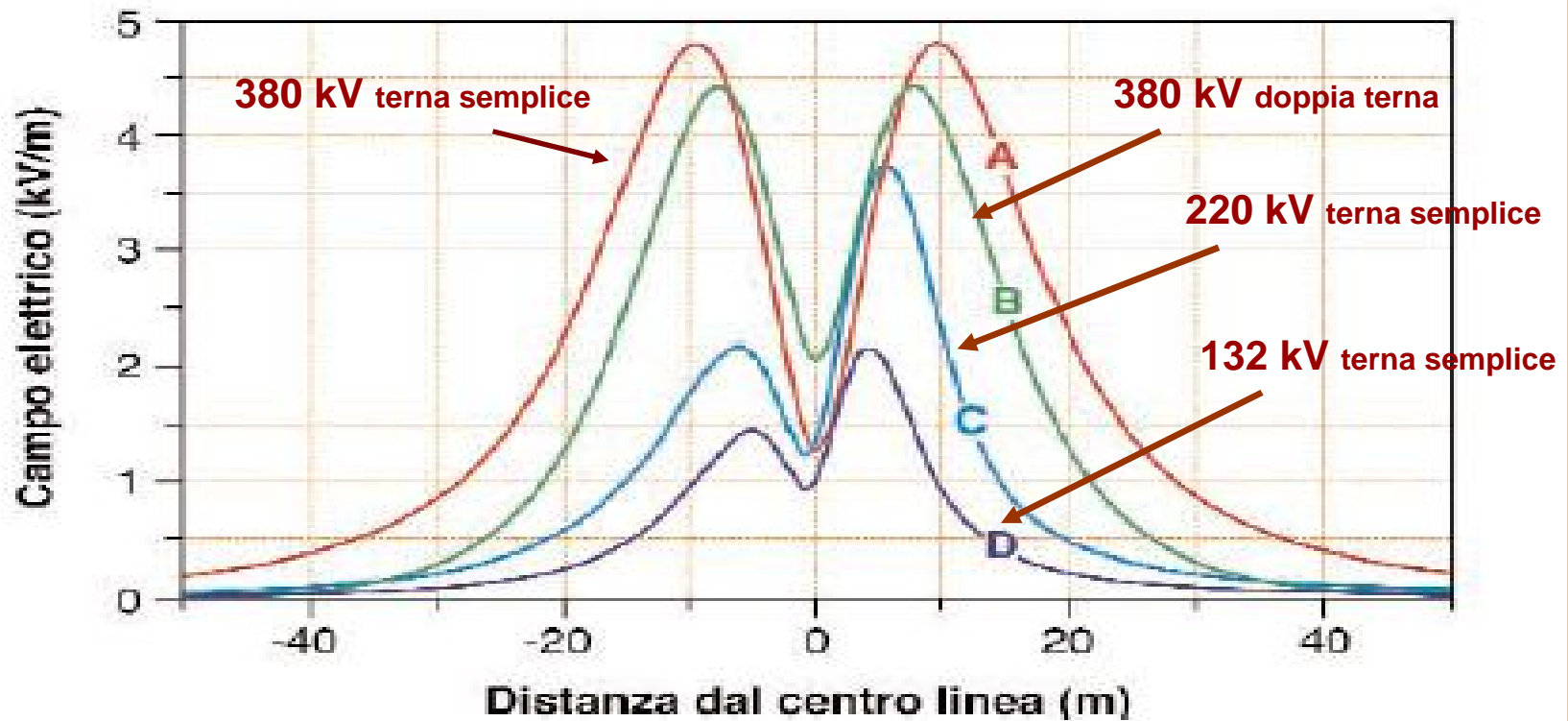


Fig. 2.2 - Profili laterali del campo elettrico (valori efficaci) calcolati, a livello del suolo, per quattro tipi di linee ad alta tensione nella sezione trasversale corrispondente alla minima distanza cavo-terreno (A: linea a 380 kV a semplice terna; B: linea a 380 kV a doppia terna; C: linea a 220 kV a semplice terna; D: linea a 132 kV a semplice terna).

Valori di B_{eff} al suolo

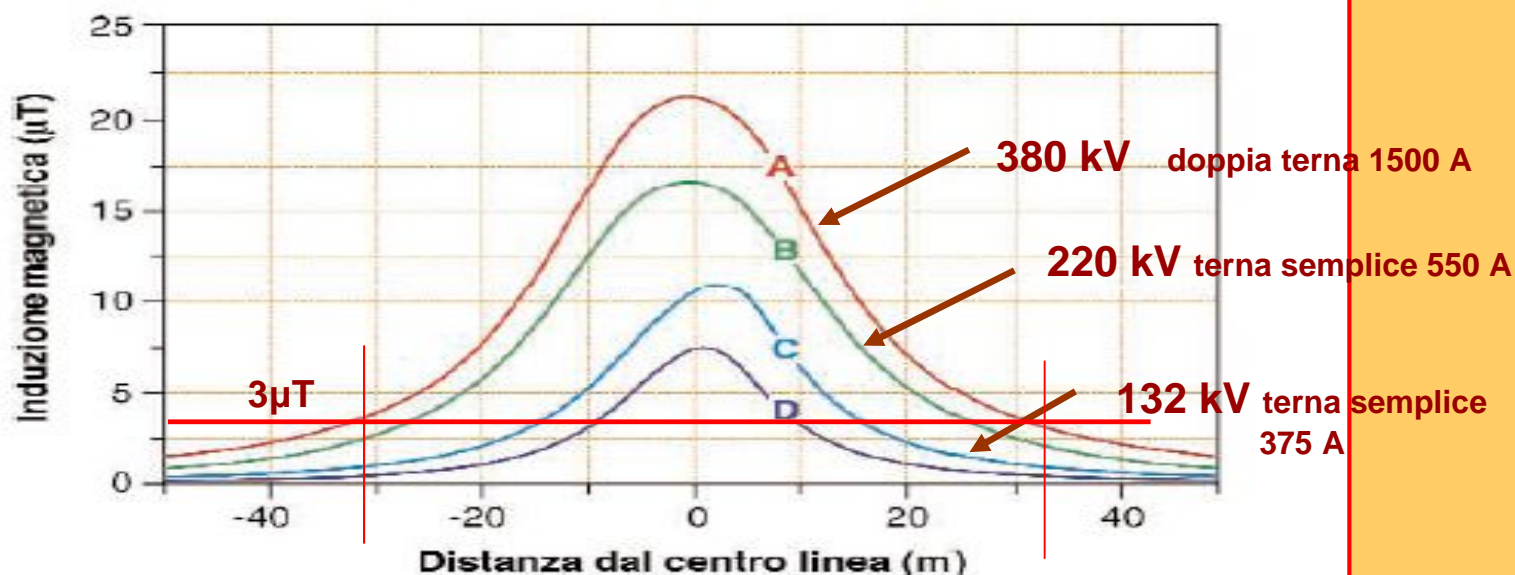


Fig. 2.3 - Profili laterali del campo d'induzione magnetica (valori efficaci) calcolati, a livello del suolo, per quattro tipi di linee ad alta tensione nella sezione trasversale corrispondente alla minima distanza cavo-terreno e alle massime condizioni di carico (A: linea a 380 kV e 1,5 kA a semplice terna; B: linea a 380 kV e 1,5 kA a doppia terna; C: linea a 220 kV e 550 A a semplice terna; D: linea a 132 kV e 375 A a semplice terna).

Dati indicativi	15-20 kV	MT	4÷10 m
Fasce di rispetto	132-150 kV	AT	15÷30 m
	220-380 kV	AAT	30÷80 m

Confronto di B a terra generato da un elettrodotto interrato e aereo ($I=720\text{ A}$)

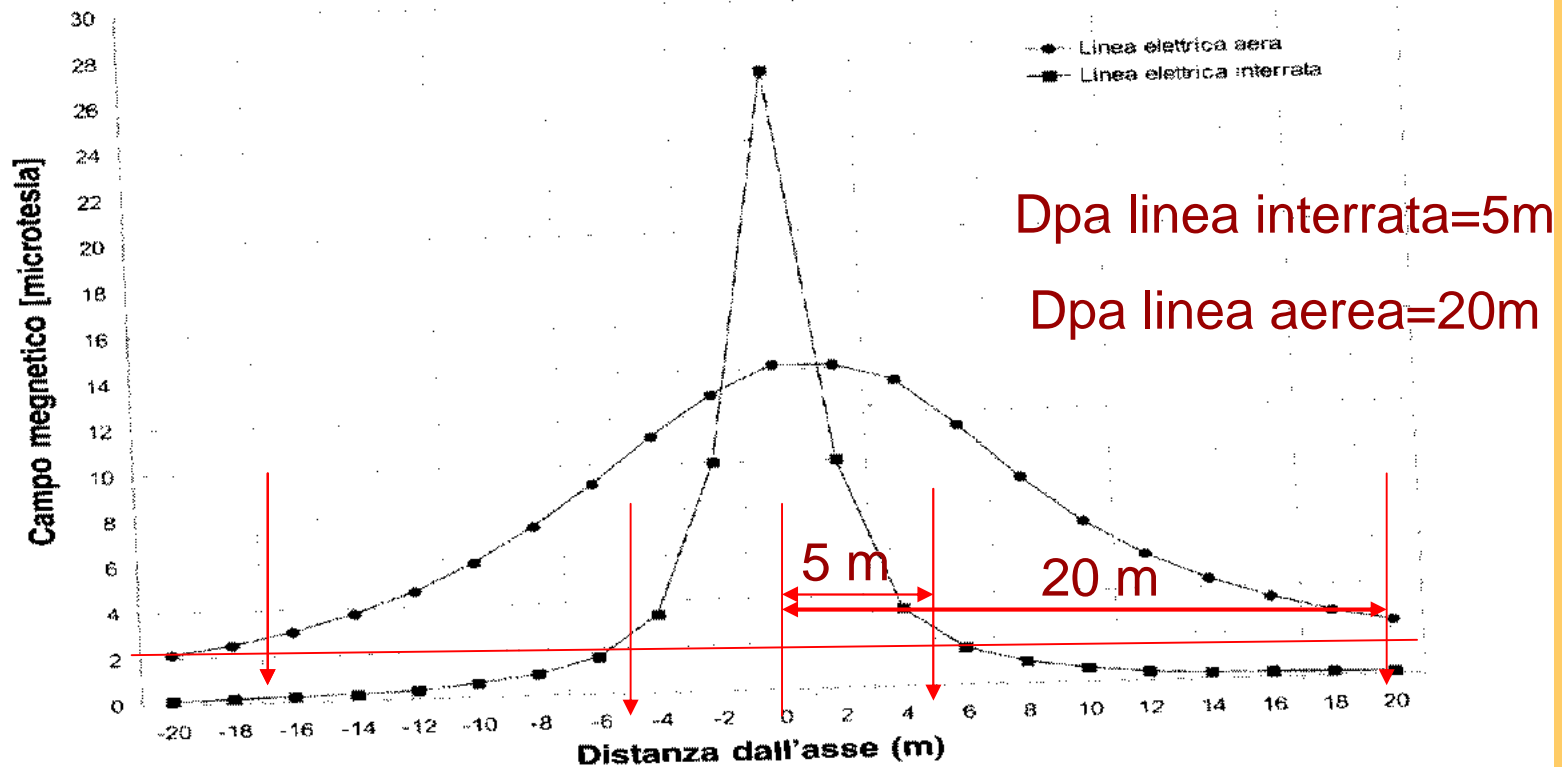


Figura 3 – Andamento del campo magnetico al suolo generato da una linea elettrica aerea ad alta tensione e da una linea elettrica interrata di tensione corrispondente con i cavi disposti a terna piana ($I = 720\text{ A}$)

Confronto di B a terra generato da un elettrodotto interrato e aereo ($I=1500\text{ A}$)

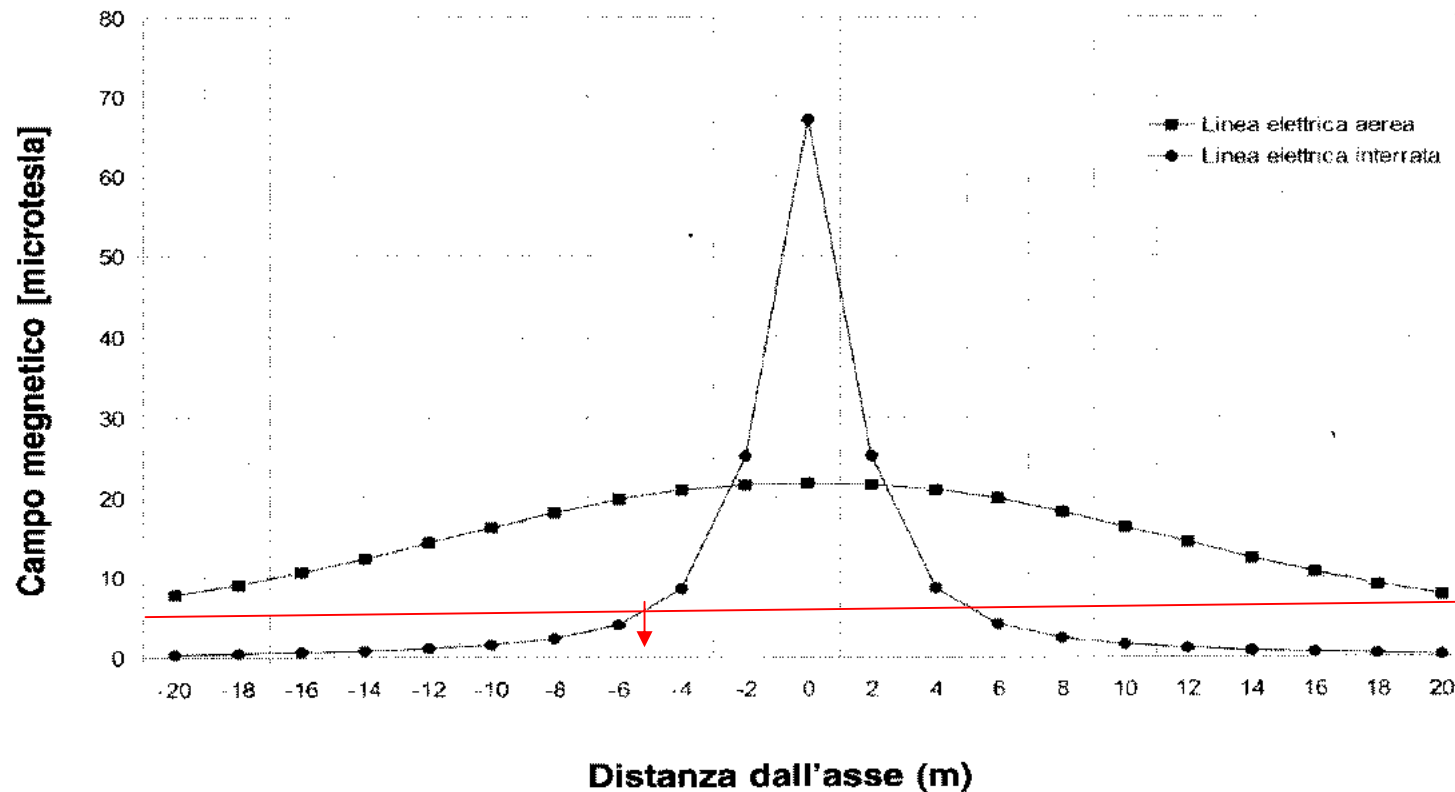

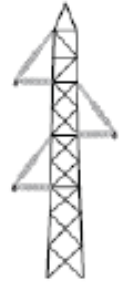
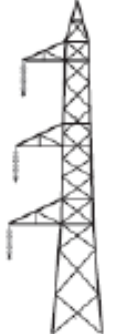





Figura 4 – Andamento del campo magnetico al suolo generato da una linea elettrica aerea ad altissima tensione e da una linea elettrica interrata di tensione corrispondente con i cavi disposti a terna piana ($I = 1.500\text{ A}$)

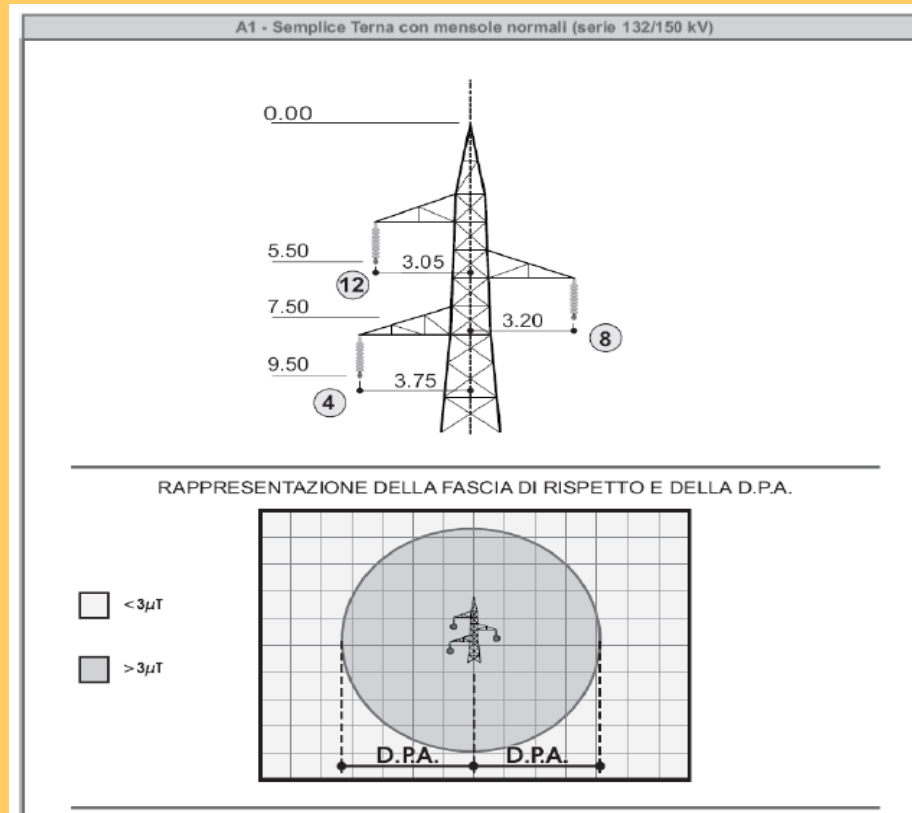
Alcuni esempi di Dpa (1)

Tipologia sostegno	Formazione	Armamento	Corrente	DPA (m)
Semplice Terna con mensole normali (serie 132/150 kV) <u>Scheda A1</u>	22.8 mm 307.75 mm²		576	18
			444	16
	31.5 mm 585.35 mm²		870	22
			675	20
Semplice Terna con mensole isolanti (serie 132/150 kV) <u>Scheda A2</u>	22.8 mm 307.75 mm²		576	16
			444	14
	31.5 mm 585.35 mm²		870	19
			675	17
Semplice Terna a bandiera con mensole normali (serie 132/150 kV) <u>Scheda A3</u>	22.8 mm 307.75 mm²		576	21sx 14dx
			444	19sx 12dx
	31.5 mm 585.35 mm²		870	25sx 18dx
			675	23sx 16dx

Alcuni esempi di Dpa (2)

<p>CAVI INTERRATI Semplice Terna cavi disposti in piano (serie 132/150 kV)</p> <p>Scheda A14</p>	<p>108 mm 1600 mm²</p>		<p>1110</p>	<p>5.10</p>
<p>CAVI INTERRATI Semplice Terna cavi disposti a trifoglio (serie 132/150 kV)</p> <p>Scheda A15</p>	<p>108 mm 1600 mm²</p>		<p>1110</p>	<p>3.10</p>
<p>CABINA PRIMARIA ISOLATA IN ARIA (132/150kV - 15/20kV) Trasformatori 63MVA</p> <p>Scheda A16</p>	<p>Distanza tra le fasi AT = 2.20 m</p>		<p>870</p>	<p>14</p>
<p>Distanza tra le fasi MT = 0.37 m</p>	<p>2332</p>		<p>7</p>	

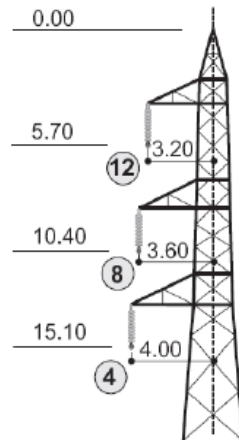
Alcuni esempi di Dpa (3) -150 kV



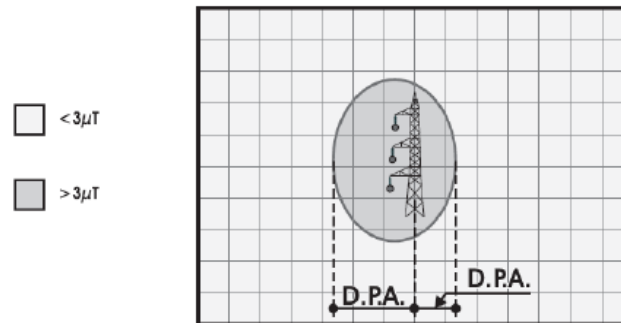
CONDUTTORI IN ALLUMINIO-ACCIAIO							
Diametro Esterno [mm]	Sezione Totale [mm ²]	CEI - 11-60 Portata [A]					
		ZONA A			ZONA B		
		Corrente A	D.P.A. m	Rif.to	Corrente A	D.P.A. m	Rif.to
22.8	307.75	576	18	A1a	444	16	A1b
31.5	585.35	870	22	A1c	675	20	A1d

Alcuni esempi di Dpa (4) – 150 kV

A3 - Semplice Tema a bandiera con mensole normali (serie 132/150 kV)



RAPPRESENTAZIONE DELLA FASCIA DI RISPETTO E DELLA D.P.A.



$< 3\mu T$

$> 3\mu T$

CONDUTTORI IN ALLUMINIO-ACCIAIO							
Diametro Esterno [mm]	Sezione Totale [mm ²]	CEI - 11-60 Portata [A]					
		ZONA A			ZONA B		
		Corrente A	D.P.A. m	Rif.to	Corrente A	D.P.A. m	Rif.to
22.8	307.75	576	21sx 14dx	A3a	444	19sx 12dx	A3b
31.5	585.35	870	25sx 18dx	A3c	675	23sx 16dx	A3d

Tabella valori di campo magnetico elettrodomestici



Campo magnetico statico medio

terrestre: 50 μ

(ai poli: 70 μ T, all'equatore: 30 μ T)

Valori tipici del fondo in un appartamento in area urbana circa 0.1 μ T, in area rurale circa 0.01 μ T

Tipiche intensità del campo magnetico prodotto da dispositivi domestici a varie distanze

Apparato elettrico	A 3 cm (μ T)	A 30 cm (μ T)	A 1 m (μ T)
Asciugacapelli	6 – 2000	0,01 – 7	0,01 – 0,03
Rasoio elettrico	15 – 1500	0,08 – 9	0,01 – 0,03
Aspirapolvere	200 – 800	2 – 20	0,13 – 2
Lampada fluorescente	40 – 400	0,5 – 2	0,02 – 0,25
Forno a microonde	73 – 200	4 – 8	0,25 – 0,6
Radio portatile	16 – 56	1	<0,01
Forno elettrico	1 – 50	0,15 – 0,5	0,01 – 0,04
Lavatrice	0,8 – 50	0,15 – 3	0,01 – 0,15
Ferro da stiro	8 – 30	0,12 – 0,3	0,01 – 0,03
Lavastoviglie	3,5 – 20	0,6 – 30	0,07 – 0,3
Computer	0,5 – 30	<0,01	
Frigorifero	0,5 – 1,7	0,01 – 0,25	<0,01
Televisore a colori	2,5 – 50	0,04 – 2	0,01 – 0,15

Per la maggior parte degli apparati domestici l'induzione magnetica alla distanza di 30 cm è molto al di sotto del limite per il pubblico fissato dalle linee guida e pari a 100 μ T

(Fonte: Ufficio Federale per la Sicurezza dalle Radiazioni, Germania, 1999).

Le distanze di normale funzionamento sono indicate in grassetto

Valore indicato come “obiettivo di qualità” dell'induzione magnetica: 3 μ T

per luoghi con permanenza superiori alle 4 ore giornaliere

Tabella valori di campo elettrico a frequenza di rete (50 Hz)

Tipiche intensità di campo elettrico misurate in prossimità di apparecchiature domestiche (alla distanza di 30 cm)

(Fonte: Ufficio Federale per la Sicurezza dalle Radiazioni, Germania, 1999)

Apparecchiatura elettrica	Intensità del campo elettrico (V/m)
Ricevitore stereo	180
Ferro a stiro	120
Frigorifero	120
Frullatore	100
Tostpane	80
Asciugacapelli	80
Televisore a colori	60
Caffettiera elettrica	60
Aspirapolvere	50
Forno elettrico	8
Lampada a incandescenza	5
Valore limite delle linee guida	5000

Cenni sulle Radiofrequenze (RF) (100kHz-300 GHz)

Le HF si possono suddividere per comodità in radiofrequenze e microonde

RF (radio frequenze)

da 3 kHz a 300 GHz

(da 100 km a 1 mm)

MO (micro onde)

da 300 MHz 300 GHz

(da 1 m a 1 mm)

- Quindi come si vede le Mo sono incluse nella classificazione nelle RF
- Gli apparati che generano radiazioni elettromagnetiche non ionizzanti a radiofrequenze e microonde possono essere suddivisi in tre grandi categorie:
 - * **riscaldatori industriali;**
 - * **apparati per telecomunicazioni;**
 - * **apparecchiature per applicazioni biomedicali.**

La presenza di tali tipi di radiazioni nell'ambiente esterno è legata soprattutto a sorgenti dedicate a telecomunicazioni, come i ripetitori radio TV, ed impiegate per la telefonia cellulare, tra cui si devono considerare sia le stazioni radio base sia i telefoni cellulari, ed i segnali provenienti dai satelliti.

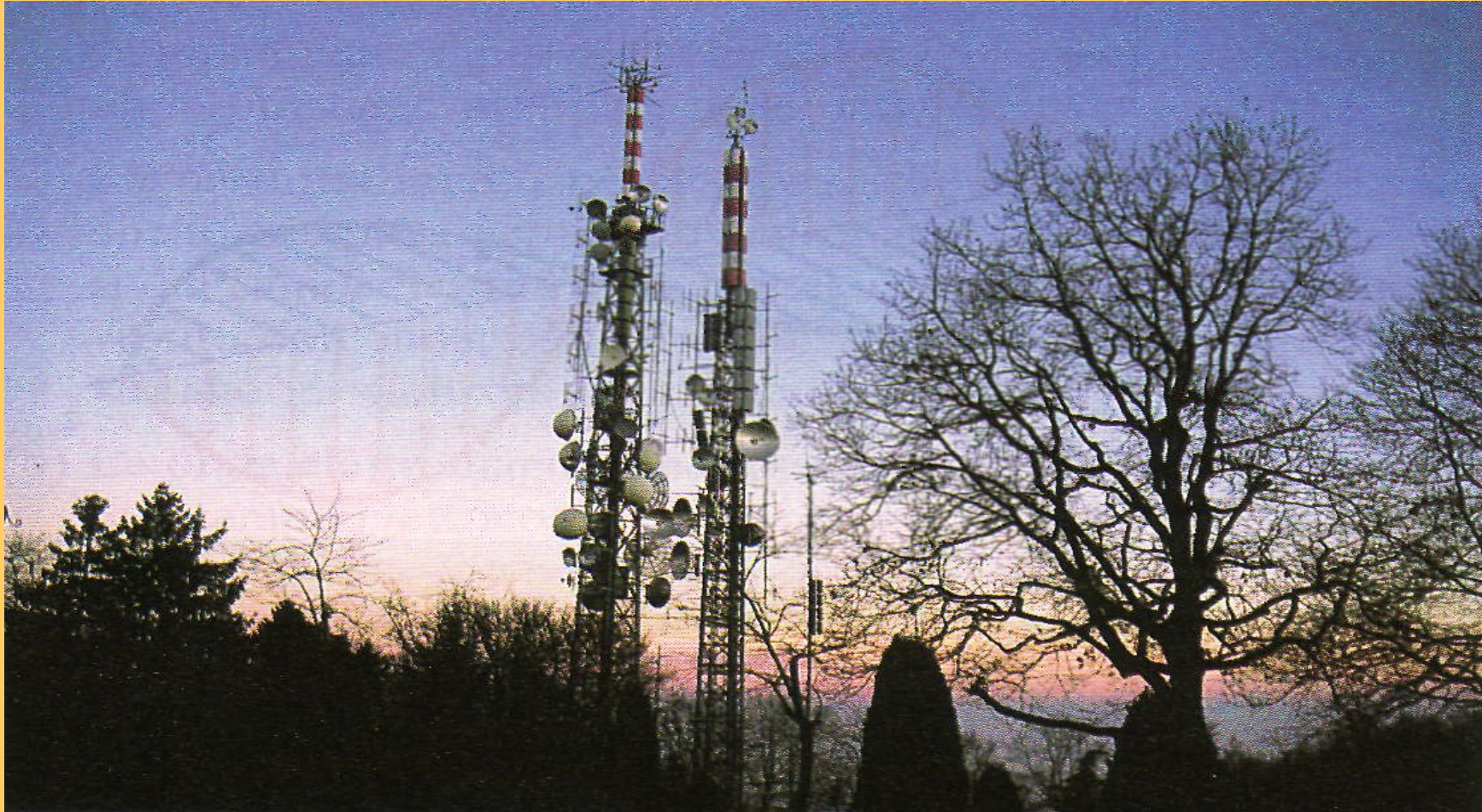
Impatto ambientale (1) -Sito trasmittente RTV composito



Impatto ambientale (2) - Traliccio palazzo ENEL - Pescara



Impatto ambientale (3)



I principali servizi delle RF

- **Servizi di diffusione radiofonica e televisiva**, nei quali un sito - detto *ripetitore* - irradia un campo elettromagnetico con l'obiettivo di raggiungere il maggior numero possibile di utenti. La comunicazione avviene "a senso unico", dal ripetitore verso gli utenti.
- **Servizi di telefonia cellulare**, nei quali è possibile realizzare una serie di collegamenti bidirezionali tra un sito centrale (che in questo caso prende il nome di *stazione radio base : SRB*) ed un numero massimo prefissato di utenti contenuti in una area limitata, detta *cella*, servita dalla stazione stessa.
- **Reti di comunicazione radio ad uso privato**, come quelle utilizzate da radiotaxi, ambulanze, aziende pubbliche di trasporto, pubblica sicurezza, forze armate.
- **Altre applicazioni di telecomunicazione o assimilabili**, come per esempio i *walkie-talkie*, le comunicazioni hobbistiche o di servizio sulla banda CB (dall'inglese *Citizen Band*), le vere e proprie comunicazioni radioamatoriali, i collegamenti punto-punto e punto-multipunto.

Principali applicazione dei campi RF

Applicazione		Frequenz a	Ambito				
			domestic o Piastr e di cottura	ind ustriale Lavorazione di metalli	sanitario	civile	militare
Riscaldamento elettromagnetico	a induzione magnetica	da 50 Hz a 3 MHz					
	a perdite dielettriche	da 3 a 50 MHz		Incollaggio del legno, saldatura della plastica	Marconiterapia		
	a microonde	oltre 300 MHz (in particolare 915 e 2450 MHz)	Forno a microonde	Essiccazione di ceramica, sterilizzazione e cottura di prodotti alimentari	Radarterapia		
Telecomunicazioni		oltre 30kHz	Cordless Walkie- talkieRadia- matori	Applicazioni specialistiche Collaudo e manutenzione e di apparati	Applicazioni specialistiche	Diffusione RTV, telefonia cellulare	Telecomunic azioni militari
Altre applicazioni essenzialmente di tipo biomedicale		varie	Sistemi antifurto	Prospezioni, indagini non distruttive	Risonanza magnetica, ecc	Controllo del traffico aereo (RADAR, radiofari)	

Elementi base di un sito trasmettitore

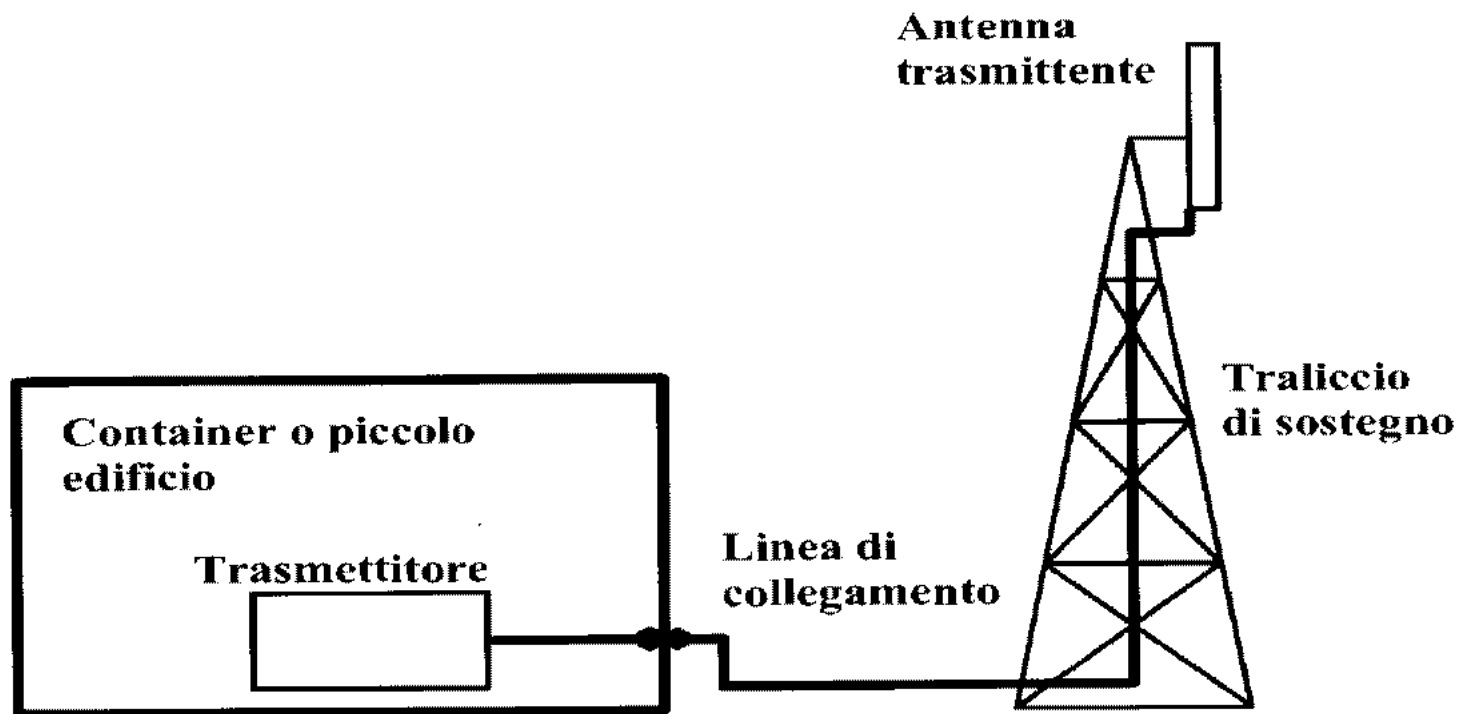


Figura 1 – *Schema generale della struttura di un sito trasmettitore*

Schema di un trasmettitore

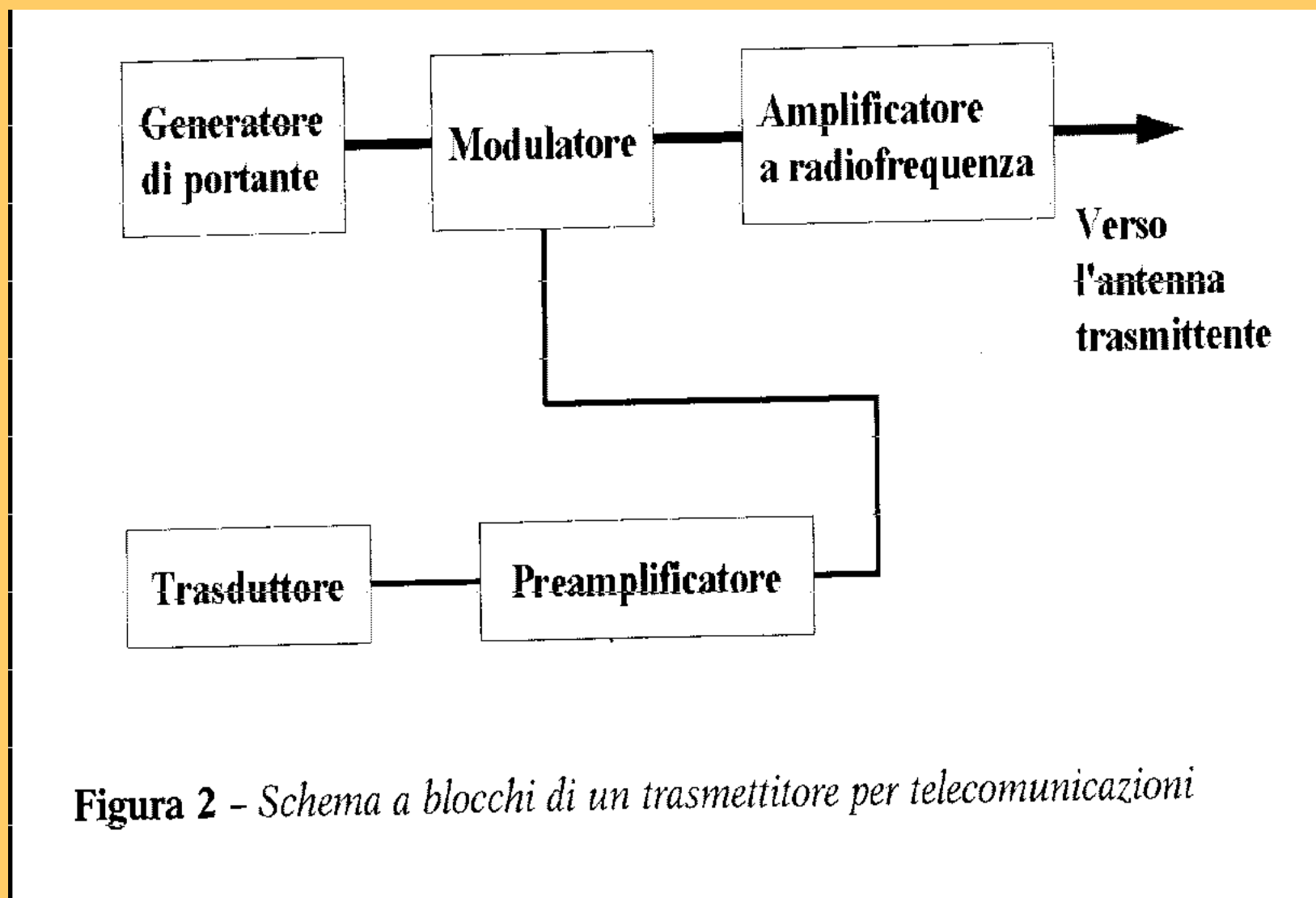
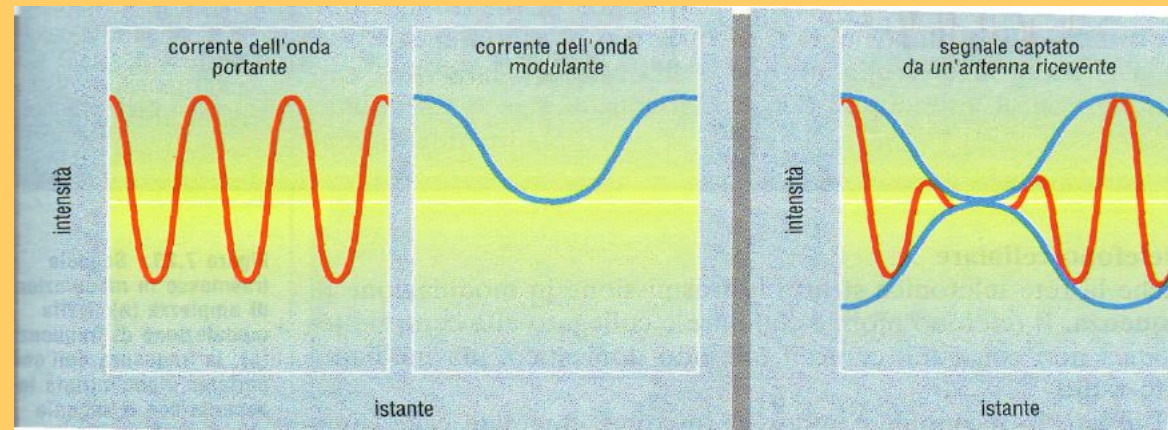
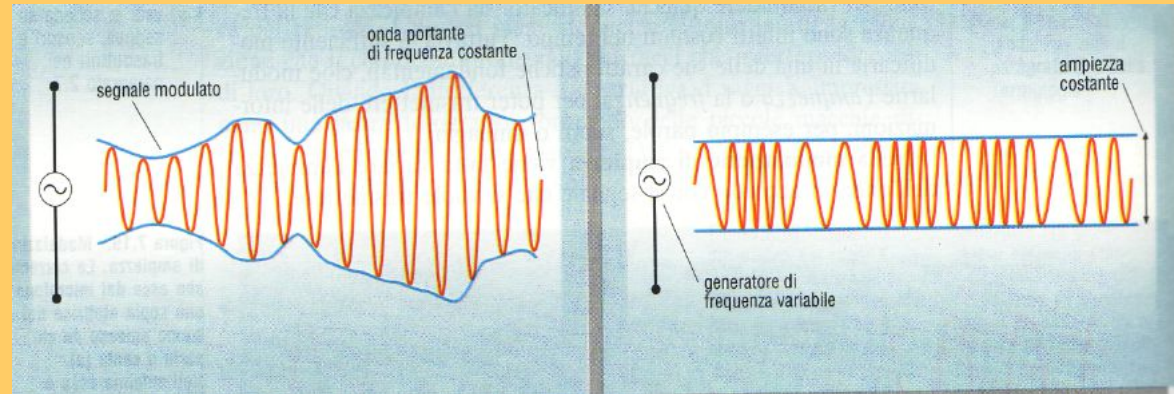
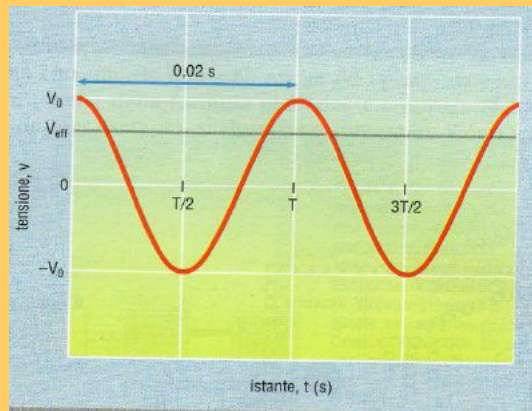


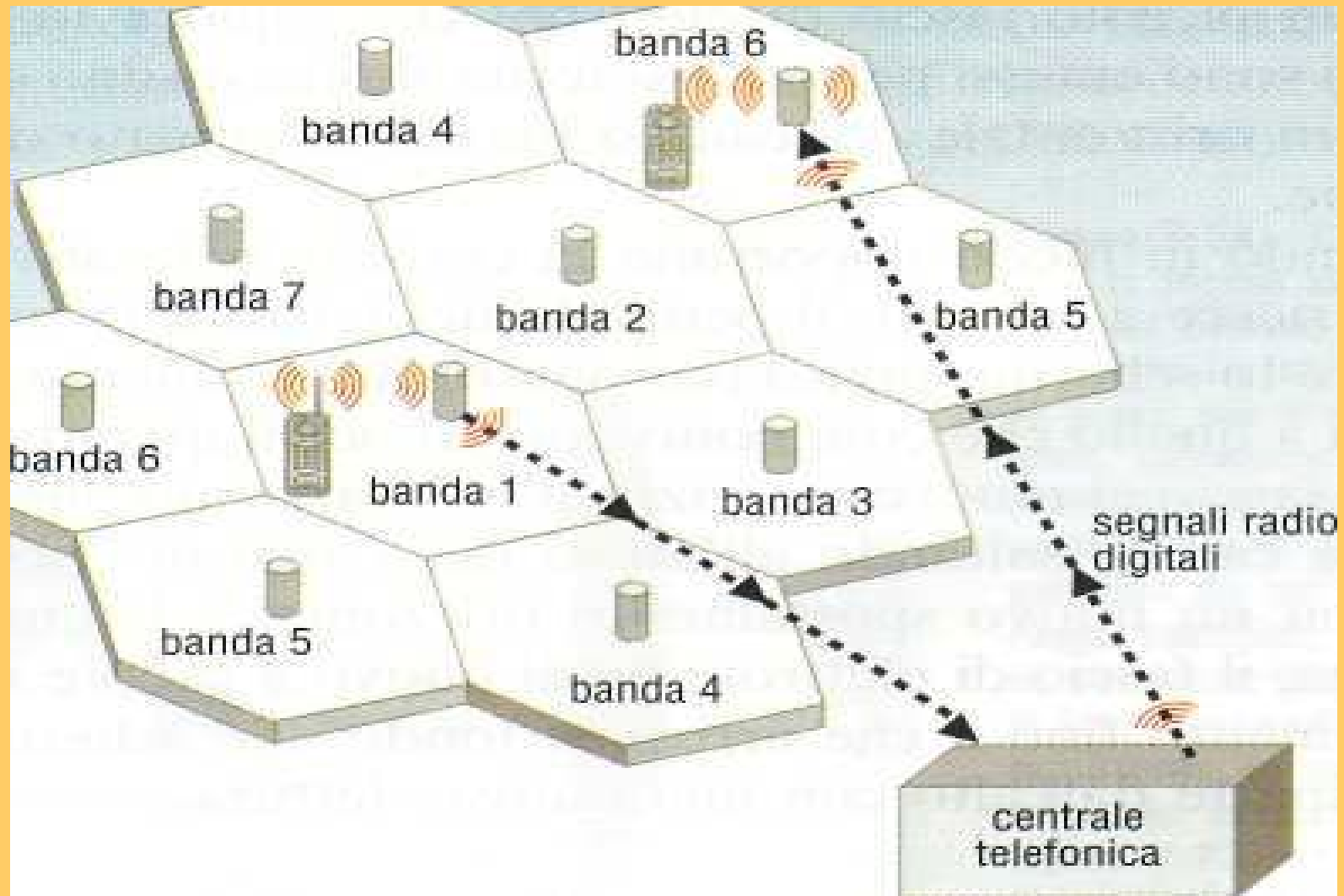
Figura 2 - Schema a blocchi di un trasmettitore per telecomunicazioni

Segnale modulato

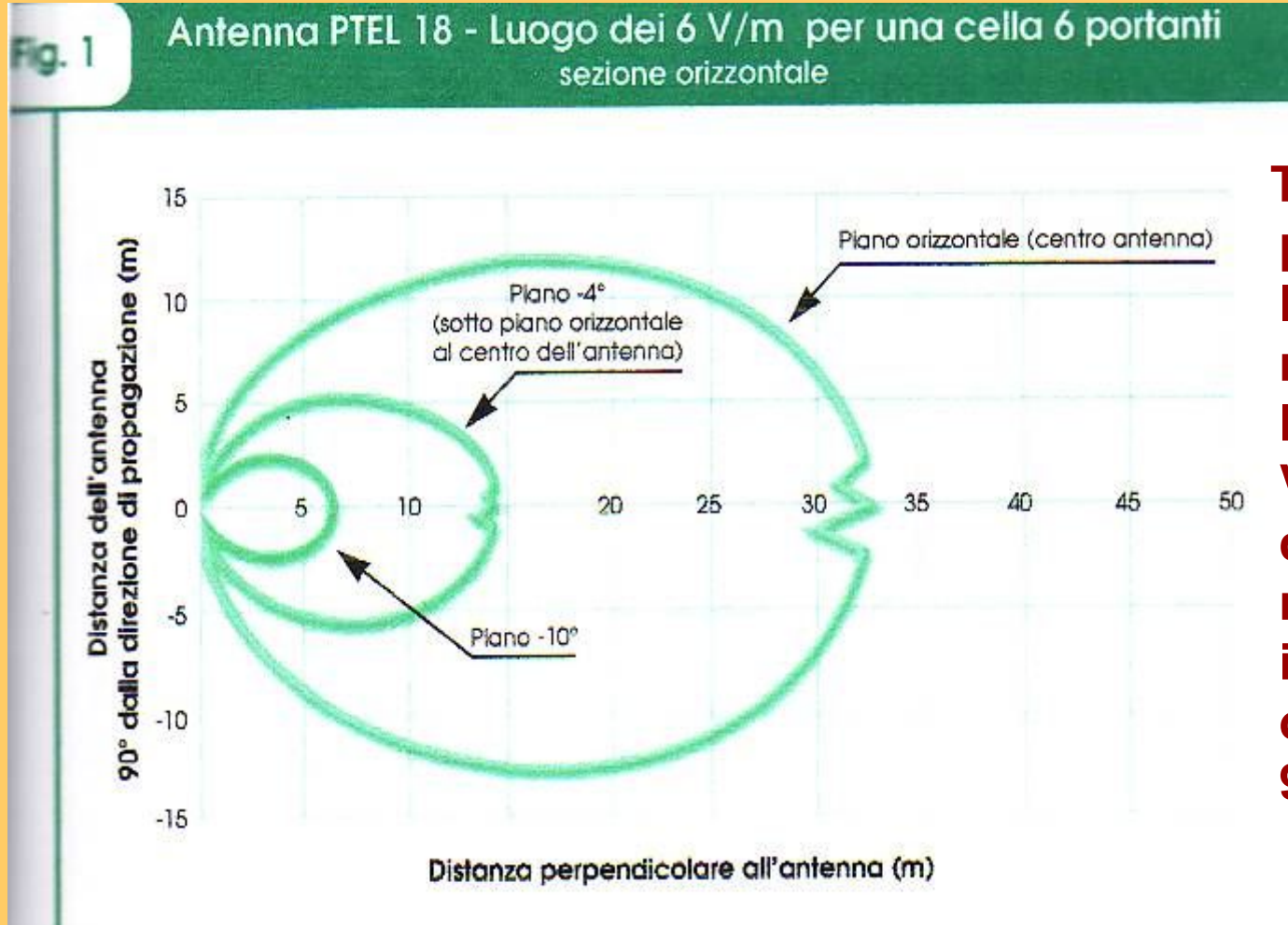


La modulazione può avvenire modulando uno dei tre parametri caratteristici di un'onda: l'intensità (ampiezza), la frequenza e la fase.

Divisione territoriale a celle: sistema cellulare



Linee di isocampo a 6 V/m



Tipicamente per una SRB la distanza max (per l'isocampo a 6 V/m) nella direzione di massimo irraggiamento oscilla fra 30 e 90 m

Le antenne SRB

- Al suolo, i livelli di campo elettrico che si riscontrano **entro un raggio di 100-200** m da una stazione radio base sono generalmente compresi **tra 0.1 e 2 V/m**, mentre il decreto nazionale fissa a 20 V/m il limite di esposizione e a 6 V/m la misura di cautela (nel caso di edifici adibiti a prolungata permanenza (ossia maggiore delle 4 ore giornaliere)).
- All'aumentare dell'altezza da terra, il campo elettrico aumenta in quanto ci si avvicina alla direzione di massimo irraggiamento delle antenne trasmettenti (che di solito sono poste a 25-30 m da terra). A scopo cautelativo, nella zona circostante l'impianto, è necessario che non siano presenti edifici elevati in un raggio di circa 30-90 metri, secondo del tipo di del diagramma di irradiazione. In zone caratterizzate da alta densità di popolazione è necessaria l'installazione di un numero elevato di SRB, tuttavia la vicinanza relativa tra gli impianti stessi impone che le potenze in antenna siano mantenute, per quanto possibile, ridotte onde evitare i problemi dovuti alle interferenze dei segnali.

Confronto potenze dei cellulari

- Il telefono cellulare è una parte del sistema che costituisce le rete radiomobile. È un dispositivo a bassa potenza che riceve e trasmette radiazione elettromagnetica (in sostanza è una ricetrasmittente) nella banda delle cosiddette microonde (intorno al GHz).
- I tipi di sistema radiomobile usati in Italia, con le relative frequenze e

Sistema mobile	Frequenza (MHZ)	Potenza massima (W)	Potenza media (W)
E-TACS	900	0,6	-
GSM 900	880-915	2	0,25
DCS 1800	1710-1780	1	0,125
DECT cordless	1880-1900	0,25	0,01

UMTS

2100

0.25

0.02

<http://www.bag.admin.ch/themen/strahlung/00053/00673/04265/index.html?lang=it>

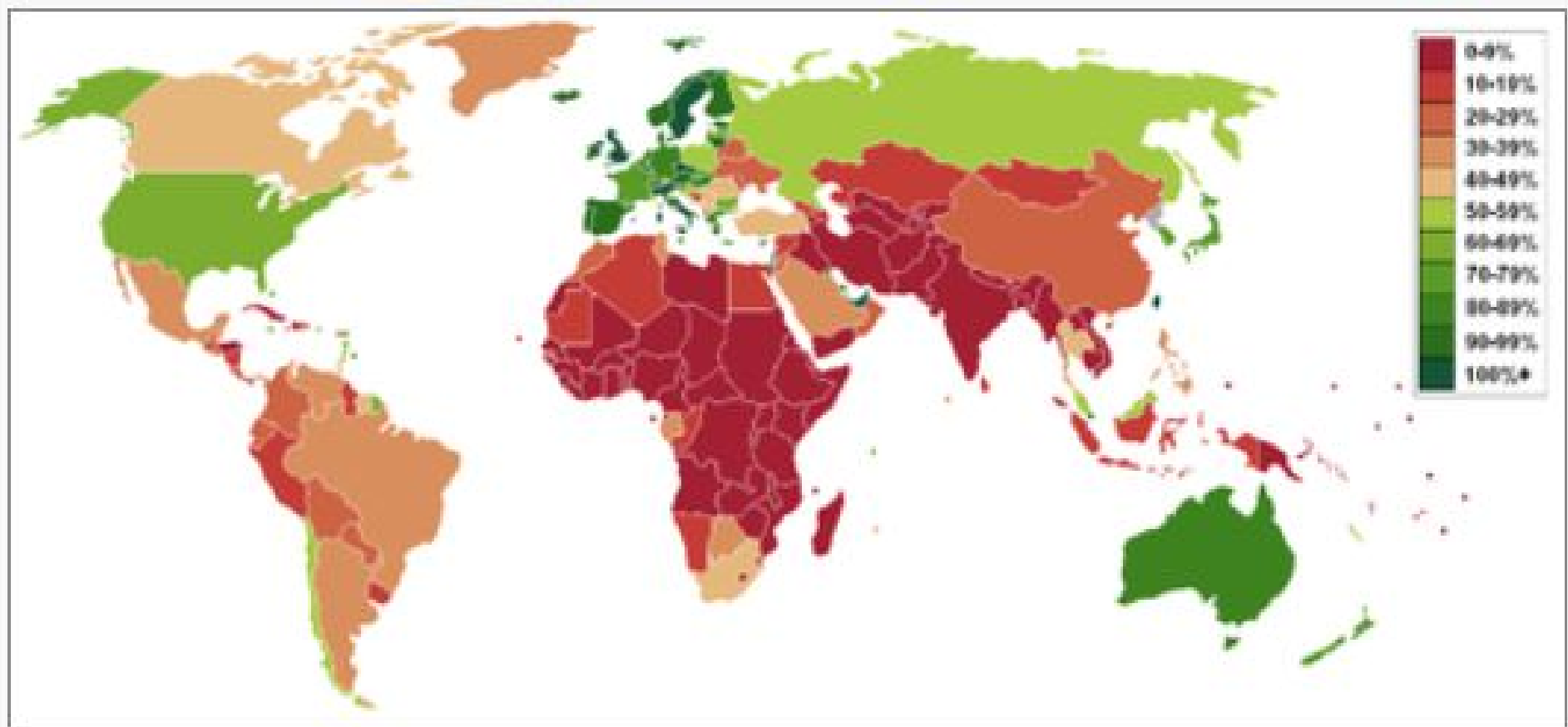
Potenza di trasmissione del cellulare

- È importante distinguere tra potenza di picco, potenza di trasmissione massima e potenza di trasmissione effettiva. Per potenza di picco s'intende l'irradiazione massima raggiunta da un cellulare in un certo istante. La potenza di trasmissione massima indica l'irradiazione massima di un cellulare nell'arco del tempo. La potenza di trasmissione effettiva è generalmente inferiore alla potenza di trasmissione massima. Se la qualità del collegamento è buona, il cellulare trasmette a una potenza nettamente inferiore. La potenza necessaria alla trasmissione è determinata dalla stazione di base.

GSM: la **potenza di picco è di 1 o 2 W**. Durante una telefonata, il cellulare trasmette solo per 1/8 del tempo omettendo peraltro il ventiseiesimo impulso, per cui la potenza di trasmissione massima è di 120mW o di 240 mW. Nella trasmissione dei dati con le tecnologie GPRS o Edge la potenza di trasmissione massima varia da 0,5 a 1 W. La potenza viene ulteriormente indebolita di circa 2 volte utilizzando la modalità di trasmissione discontinua (Discontinuous Transmission Mode - DTX), che interrompe la trasmissione durante le pause nella conversazione.

UMTS: la **potenza di picco** e la potenza di trasmissione massima durante il collegamento (traffico dati e conversazioni telefoniche) sono **pari a 250 mW**, in quanto la trasmissione è continua. La potenza di trasmissione viene adeguata 1500 volte al secondo alla qualità del collegamento e alla capacità di trasmissione. Questo riduce considerevolmente la potenza di trasmissione media rispetto alla tecnologia GSM (a pari velocità di trasmissione e numero di conversazioni telefoniche).

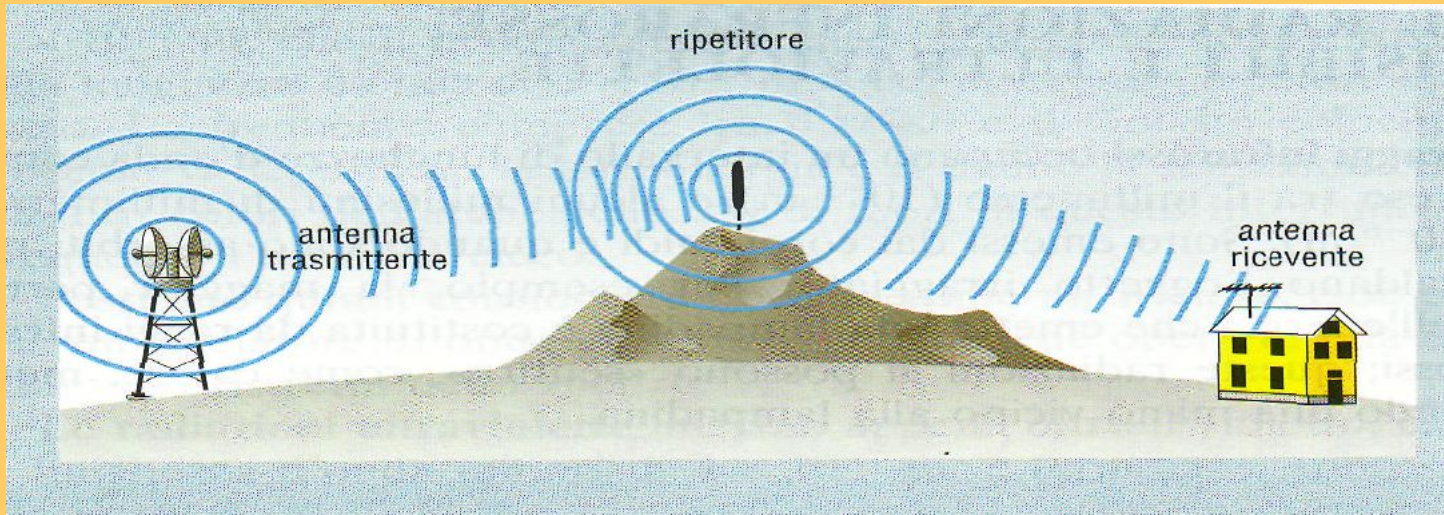
Mappa della distribuzione dei cellulari nel mondo



Uso dei cellulari nel mondo in percentuale alla popolazione; 100%+ indica in media più di un cellulare per persona



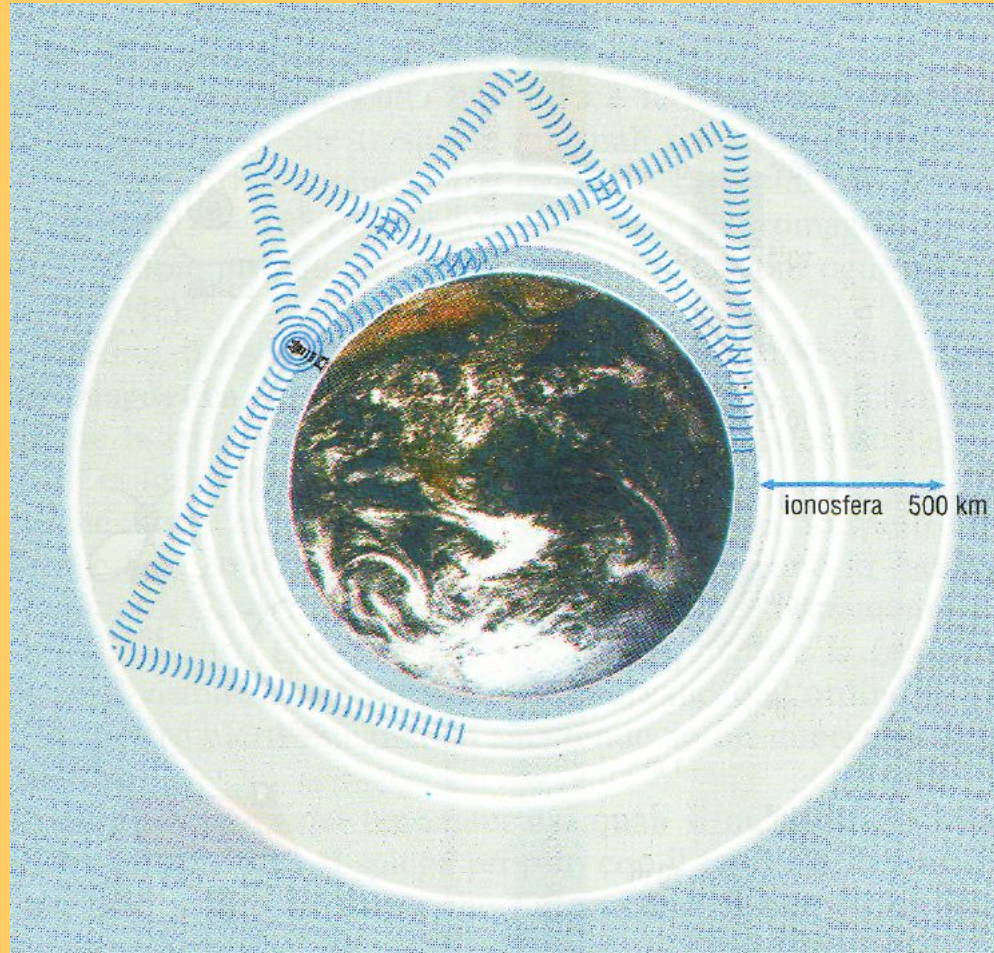
Trasmissione dei segnali



Gli apparati per telecomunicazione sono sistemi che per svolgere la loro funzione devono emettere verso l'esterno, con la massima efficienza, l'energia elettromagnetica generata e amplificata da un trasmettitore; questa emissione avviene attraverso un trasduttore, anche chiamato antenna trasmittente. Le antenne sono quindi dispositivi aventi la funzione di trasduttori per operare la trasformazione di un segnale elettrico in energia elettromagnetica irradiata nello spazio libero (antenne trasmettenti) oppure effettuare la conversione inversa (antenne riceventi).

La trasmissione può essere di tipo broadcasting oppure di tipo direttivo: nel primo caso l'antenna deve diffondere il segnale su aree abbastanza vaste per raggiungere il maggior numero di utenti possibile, mentre nel secondo le antenne costituiscono un ponte radio, cioè un collegamento tra due punti in vista.

Trasmissione in riflessione dalla ionosfera



Le onde radio che hanno frequenze comprese fra 10 kHz e 10 MHz sono le trasmissioni radio in onde corte e medie (la cui lunghezza d'onda varia da 10 km a 10 m) possono essere trasmesse a distanze di diverse migliaia di km, grazie alla riflessione che esse subiscono da parte degli strati ionizzati dell'atmosfera.

La legge di propagazione di un'onda e.m. dalle antenne RTV e SRB

- La legge con cui si propaga un campo elettrico una volta che è abbandonata l'antenna è la seguente:

$$E = \frac{\sqrt{30 G(\theta, \varphi) P}}{R}$$

La dipendenza dall'inverso di R (e non di R² come nel caso stazionario) offre la possibilità di trasmettere segnali a distanza, in quanto il segnale "decade" lentamente.

G è il guadagno dell'antenna

P è la potenza totale di alimentazione dell'antenna (in watt)

R è la distanza (in metri) a cui si vuole calcolare il valore di E

L'intensità di E

- La potenza del trasmettitore stabilisce ***l'intensità del campo elettromagnetico irradiato***. Se, la potenza in antenna raddoppia, l'ampiezza del campo elettrico subisce un incremento del 40% circa:

infatti se raddoppia P (con R e G cost.):

$$E_2 = k(2P)^{1/2} = 1.4 kP = 1.4 E_1 = E_1 + 40\% E_1$$

Mentre la densità di potenza S essendo proporzionale ad E^2 segue lo stesso andamento della potenza.

I campi reattivi e radiativi

- La potenza elettromagnetica generata dal trasmettitore eccita nelle strutture metalliche dell'antenna una distribuzione di cariche e di correnti elettriche oscillanti. Queste producono rispettivamente un campo elettrico ed un campo magnetico oscillanti nella regione di spazio immediatamente circostante l'antenna (*regione dei campi reattivi*) i quali poi, grazie alla mutua generazione tra campo elettrico e campo magnetico che sta alla base del fenomeno della radiazione, generano un campo elettromagnetico che si allontana indefinitamente dalla sorgente. La *regione dei campi reattivi* si estende, fino ad una distanza dall'antenna trasmittente dell'ordine di una lunghezza d'onda, cioè per esempio: **qualche centinaio di metri per le OM, circa 3 metri per le emittenti radio FM, da 30 cm a 2 metri per le emittenti televisive e da 15 a 30 cm per la telefonia cellulare.**
- 1. Zona di **Campi reattivi** E e B sono scorrelati (***fino a circa 1 λ***)
- 2. Zona di **Campi radiativi**, E e B sono correlati: (noto uno si calcola l'altro)
e vale la relazione **$S = E^2/Z = Z H^2 = E H$**

Caratteristiche tecniche dei più importanti servizi di telecomunicazioni

Tabella 4 – *Caratteristiche tecniche dei più importanti servizi di telecomunicazione*

	Frequenza [MHz]		Larghezza del canale [kHz]	Potenza [kW]	Guadagno G_{MAX}	Codifica del segnale	Modulazione	Accesso multiplo	Duplex	
	downlink	uplink								
Emittenti radiofoniche ad onde medie	0.5265 ÷ 1.6065		10	1 ÷ 500	poche unità	analogica	di ampiezza	FDMA	Non applicabile	
Emittenti radiofoniche FM	87.5 ÷ 108		200	1 ÷ 12	5 ÷ 50	analogica	di frequenza	FDMA		
Emittenti TV	VHF I-II	52.5 ÷ 68	7000	0.1 ÷ 1	1 ÷ 100	analogica	di ampiezza per il video, di frequenza per l'audio	FDMA		
	VHF III	174 ÷ 230								
	UHF IV	470 ÷ 590	8000							
	UHF V	614 ÷ 854								
Stazioni radio base per la telefonia cellulare	TACS	917 ÷ 950	872 ÷ 905	25	fino a 0.3 potenza tipica per le macrocelle 20 W circa	fino a 70	analogica	di frequenza	FDMA	FDD
	GSM	925 ÷ 960	880 ÷ 915	200			digitale	di frequenza GMSK	FDMA+TDMA	FDD
	DCS	1805 ÷ 1880	1710 ÷ 1785				di frequenza GFSK	(FDMA+TDMA)	TDD	
	DECT	1880 ÷ 1900		5000			di fase QPSK	TD-CDMA	TDD	
	UMTS terrestre asimmetrico	1900 ÷ 1920 e 2010 ÷ 2025					W-CDMA	FDD		
	UMTS terrestre simmetrico	2110 ÷ 2170	1920 ÷ 1980							
	UMTS satellitare	2170 ÷ 2200	1980 ÷ 2010							

Interazione dei CEM con il corpo umano

Effetti biologici e effetti sanitari

i campi elettromagnetici possono indurre **effetti biologici** che in alcuni casi possono portare ad **effetti di danno alla salute**

è importante comprendere la differenza tra i due effetti

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

- **Organizzazione Mondiale della Sanità - Progetto Internazionale CEM**
- **Promemoria n. 182 - Proprietà fisiche e effetti sui sistemi biologici**
- **www.who.int/peh-emf**

CAMPO MAGNETICO STATICO

EFFETTI SANITARI

- **assenza di effetti significativi su parametri fisiologici, connessi allo sviluppo e al comportamento per valori d'induzione magnetica fino a 2 T**
- **esposizione a lungo termine a campi d'induzione magnetica minori di 200 mT non sembrano avere conseguenze sullo stato di salute**
- **se il campo d'induzione magnetica supera qualche millitesla, possono sussistere potenziali rischi sanitari in portatori di pacemaker, impianti ferromagnetici e altri dispositivi elettronici**

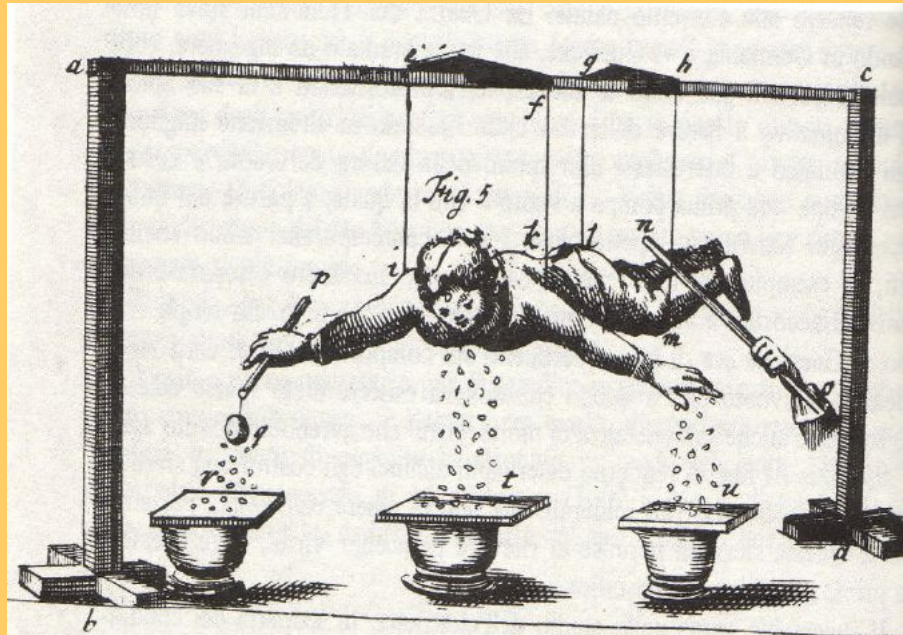
Cosa succede quando siamo esposti ai CEM

- Nel corpo umano esistono anche in assenza di campi esterni, piccolissime correnti dovute a reazioni chimiche che sono parte delle normali funzioni fisiologiche dell'organismo, ad es. nel sistema nervoso, durante la digestione, durante l'attività cerebrale, l'attività cardiaca.

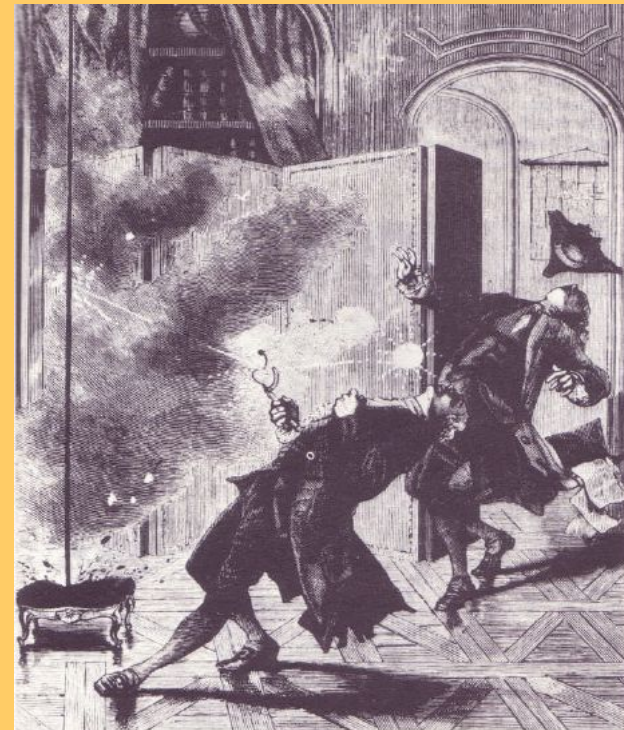
Effetti biologici e sanitari

- Al di sopra di certi livelli i CEM possono innescare effetti biologici ma ciò non implica che compaiano anche effetti sanitari (nocivi).
- Il dibattito attuale si concentra sulla possibilità o meno che esposizioni seppur minime ma prolungate nel tempo possano sollecitare risposte biologiche che poi possano tramutarsi in effetti sulla salute.

Il corpo umano è conduttore?



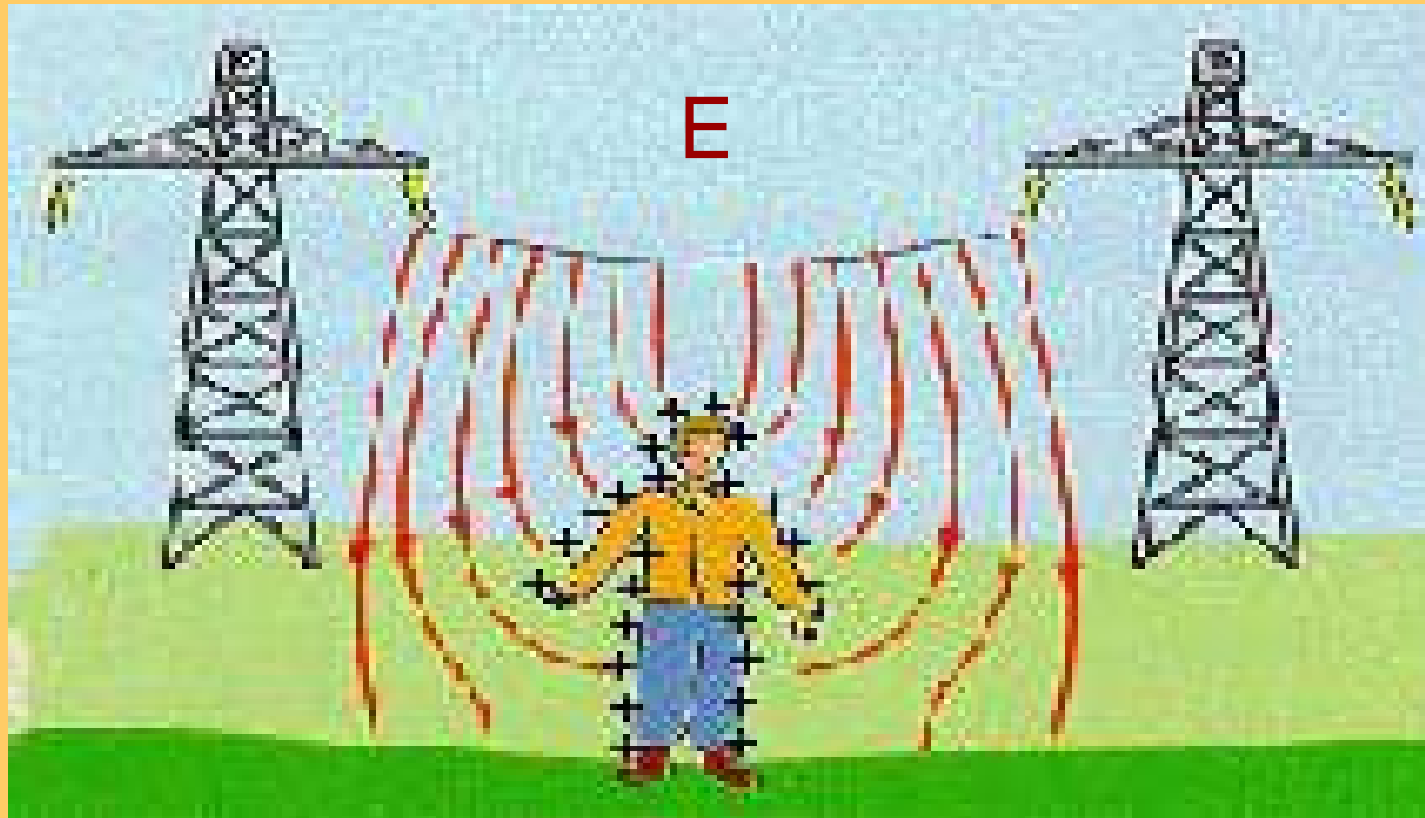
Un esperimento di Stephen Gray relativo alla sua più importante scoperta, la conduzione elettrica. Qui egli mostra la conduttività di un ragazzo (da un trattato di Doppelmayr, 1744)



La tragica conclusione di un importante esperimento elettrico eseguito da G. W. Richmann a Pietroburgo. Il ricercatore, ignaro del grande pericolo che correva, si avvicinò a un parafulmine isolato durante un temporale e restò fulminato, mentre l'assistente perse conoscenza.

- **Il corpo umano è un buon conduttore per frequenze inferiori a 1 MHz**
- **Per frequenze maggiori di 30 GHz è un buon dielettrico**
- **Per frequenze intermedie esso sarà un dielettrico tanto più cattivo quanto minore è la frequenza.**

Gli effetti delle ELF (1)

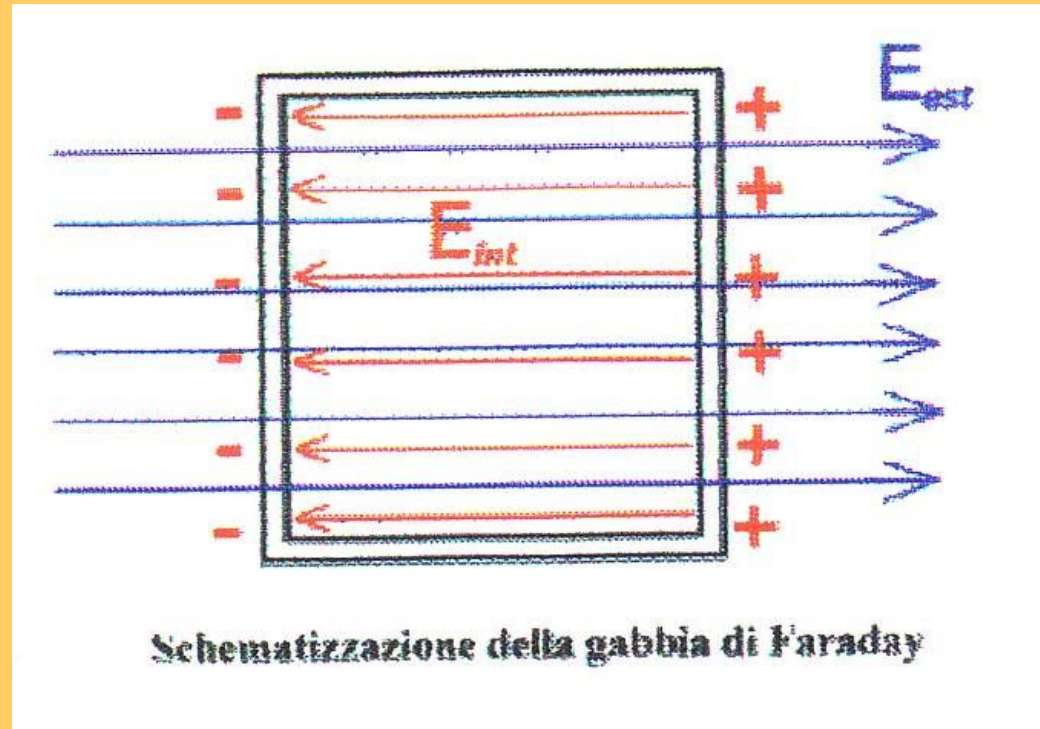


* I **campi elettrici statici** non penetrano nel corpo, ma possono essere percepiti attraverso il movimento dei peli cutanei. Se si eccettuano le scariche elettriche dovute a forti campi elettrici statici, questi ultimi non sembrano avere effetti significativi sulla salute.

• I **campi elettrici** agiscono esattamente come su qualsiasi altro mezzo composto di cariche, influenzando la distribuzione delle cariche sulla loro superficie e provocando un **flusso di cariche che tende a scaricarsi verso terra.**

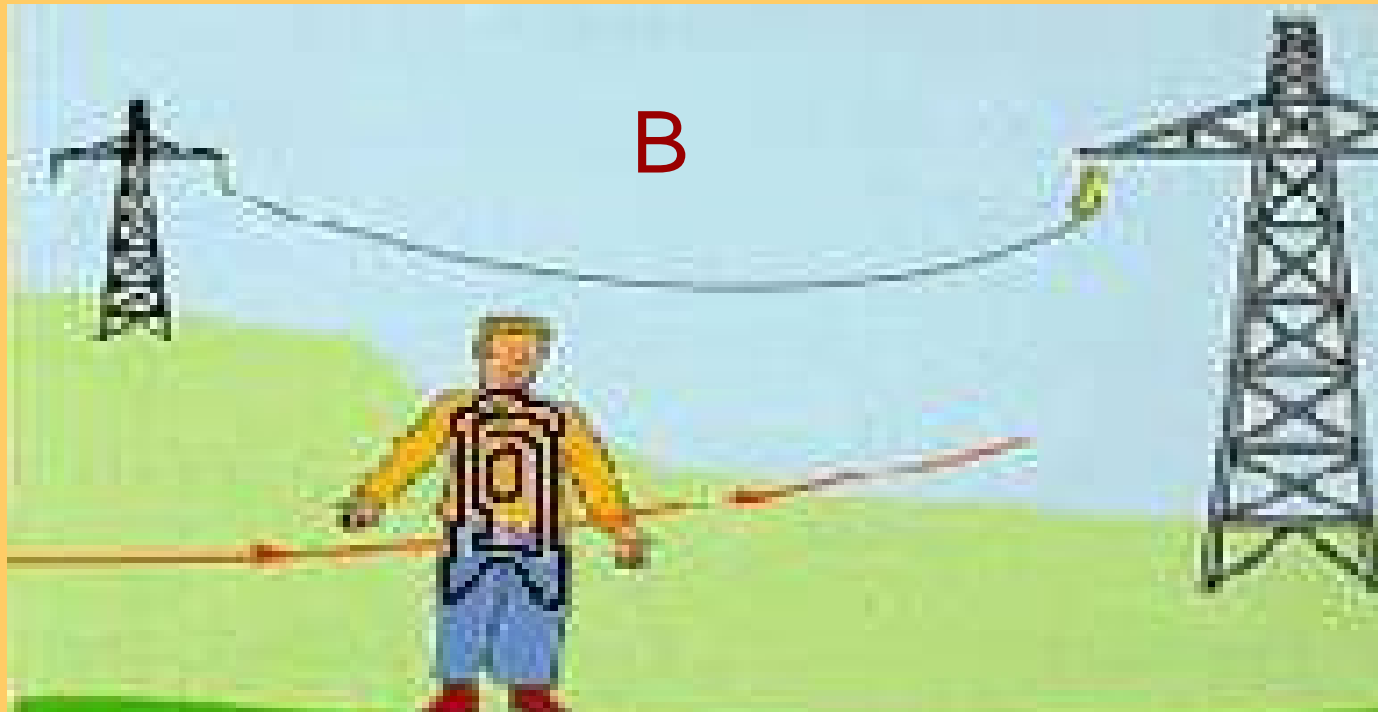
L'effetto schermante ai campi elettrici “La gabbia di Faraday”

All'interno della
”gabbia”
il campo elettrico
è nullo



Per “gabbia” si intende qualunque struttura conduttiva, ad es. l’armatura di una casa in cemento armato è in buona approssimazione una “gabbia di Faraday”

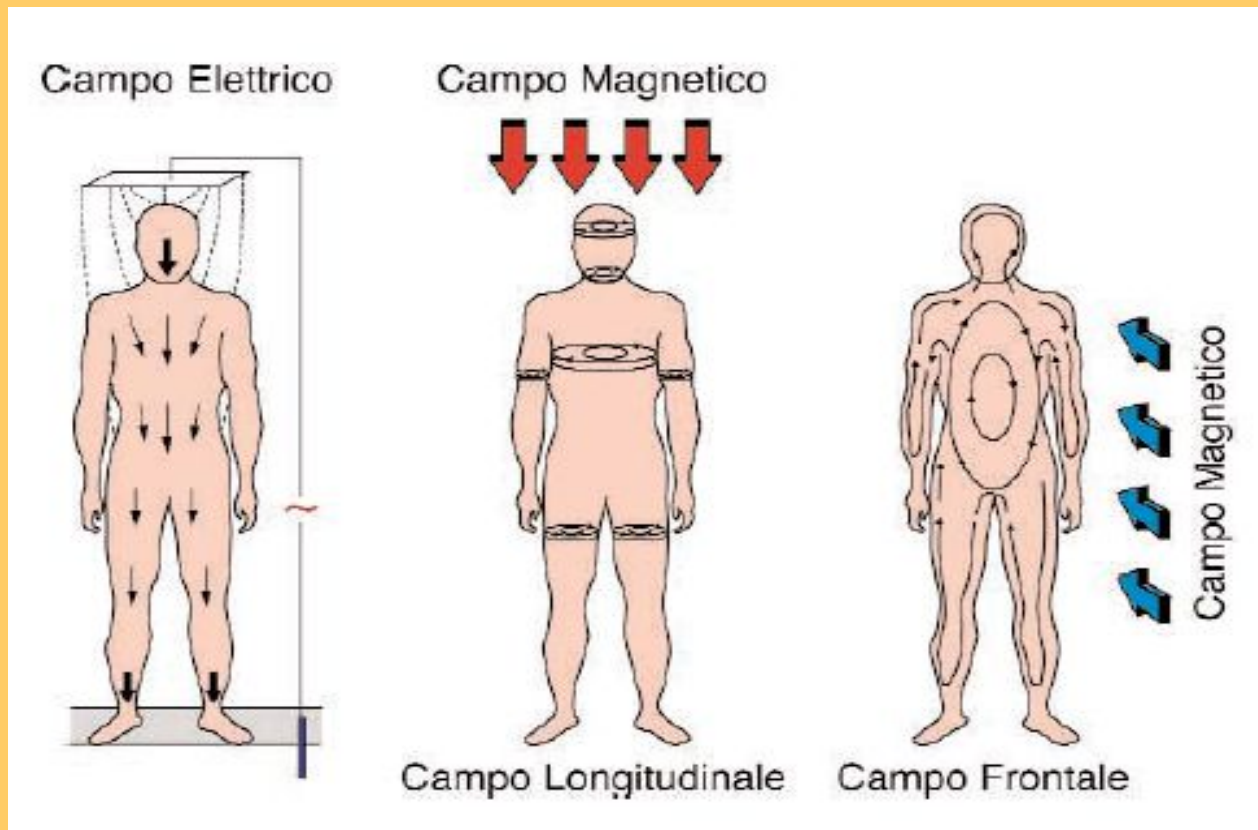
Gli effetti delle ELF (2)



* 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. Ma intensità così elevate non si incontrano nella vita quotidiana. Comunque, vi è insufficiente informazione sugli effetti di un'esposizione prolungata a campi magnetici statici, ai livelli che si incontrano negli ambienti di lavoro.

• I **campi magnetici** invece provocano la circolazione di deboli correnti all'interno del corpo, sotto un elettrodotto ad es. i valori di tali correnti sono molto al di sotto di quelli necessari per innescare le prime reazioni muscolari e/o nervose.

Gli effetti dei campi



Limiti di base (50Hz) (ICNIRP)

- Limiti di base e livelli di riferimento raccomandati dall'ICNIRP per i campi elettrici e magnetici a 50 e 60 Hz.

Tipo d'esposizione	50 Hz	60 Hz
Lavoratori		
Limite di base	10 mA/ m ²	10 mA/ m ²
Livello di riferimento, E	10 kV/m	8,33 kV/m
Livello di riferimento, H	400 A/m	333 A/m
Livello di riferimento, B	500 μT	417 μT
Popolazione		
Limite di base	2 mA/ m ²	2 mA/ m ²
Livello di riferimento, E	5 kV/m	4,17 kV/m
Livello di riferimento, H	80 A/m	67 A/m
Livello di riferimento, B	100 μT	83 μT

Gli effetti delle RF

- Il riscaldamento dei tessuti è il principale effetto biologico delle RF. Nei forni a microonde ciò è sfruttato per cuocere i cibi. Il livello oltre il quale possono verificarsi effetti sanitari –oltre un grado - si hanno per SAR di 4 W/Kg al quale corrisponde una densità di potenza di 100 W/m² pari (nelle condizioni di campo lontano) a un campo elettrico di 200V/m, tali valori si hanno solo in prossimità (pochi metri) da trasmettitori con potenze di 10 kW!!
- I valori dei campi RF ai quali siamo normalmente esposti sono molto al di sotto dei valori necessari per indurre un sia pur minimo effetto di riscaldamento significativo.

I tre campi di indagine

- **Primo** – **Ricerche di laboratorio** su sistemi cellulari mirano a chiarire i meccanismi fondamentali sottostanti ad un eventuale collegamento tra esposizione ai CEM ed effetti biologici.
- **Secondo** – **Ricerche su animali** (che sono più direttamente collegate a situazioni reali).
- **Terzo** – **Ricerche sull'uomo mediante studi epidemiologici**, sono indagini statistiche su gruppi di popolazione o mirate a gruppi professionali omogenei, che cercano di mettere in evidenza possibili relazioni di causa-effetto. Essendo la problematica molto complessa è molto difficile rilevare effetti piccoli (come quelli dei CEM)

Le valutazioni delle commissioni scientifiche internazionali

VALUTAZIONE DELL'OMS per le RF

Una rassegna della letteratura ha concluso che non esiste nessuna chiara evidenza che l'esposizione a campi a radiofrequenza abbrevi la durata della vita umana, né che induca o favorisca il cancro.

(WHO 1998)

VALUTAZIONE DELLA IARC per le ELF

- La IARC (Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro) ha da poco (2011) affermato che i campi magnetici ELF sono forse cancerogeni per l'uomo, sulla base di associazioni statistiche coerenti tra elevati valori di campi magnetici in ambienti residenziali e **un raddoppio di rischio di leucemia infantile**. I bambini che sono esposti a campi magnetici residenziali inferiori ai $0.4 \mu\text{T}$ non presentano invece aumenti di rischio.

Non si è trovata invece nessuna evidenza coerente che l'esposizione dei bambini a campi elettrici o magnetici ELF sia associata a tumori cerebrali o a nessun altro tipo di tumori solidi.

Non si è trovata nessuna evidenza coerente che l'esposizione residenziale o professionale degli adulti a campi magnetici ELF aumenti il rischio di qualsiasi forma di cancro.

(Comunicato stampa IARC del 27 giugno 2001)

Cosa significa raddoppio di rischio

In Italia (dati ISTAT 2011) ci sono circa 9 milioni di bambini (da 0 a 14 anni) ed ogni si anno purtroppo sie ne ammalano (di leucemia) circa 400, ciò significa che il coeff di rischio Cr è

$Cr = 400 / 9\,000\,000 = 44 \times 10^{-6}$ (che significa 44 bambini ogni milione)

Si calcola che circa il 3 per mille di essi sia esposto a campi magnetici superiori a $0.4 \mu T$ (questo limite è quello che è venuto fuori da certi studi come potenzialmente pericoloso)

Bene allora vediamo quanti sono gli esposti:

$E = 9\,000\,000 \times 0.003 = 27\,000$ di questi esposti quanti si ammaleranno? Basta moltiplicare Cr per 27 000 che fa 1.2

Quindi fra gli esposti ci si aspetta circa un caso all'anno

Ora facendo riferimento agli studi più pessimistici si prevederebbe un raddoppio del rischio a causa dell'esposizione

e questo significa che ci dovremmo aspettare $2Cr \cdot 27\,000$ casi ossia 2 casi all'anno, quindi uno in più di quelli dovuti a cause naturali.

Questo caso in più deve essere imputato all'esposizione ai campi magnetici? Certamente NO in quanto la IARV ha classificato i campi magnetici nel terzo gruppo e non nel primo (certamente cancerogeni). Quindi neanche per quel singolo caso in più è possibile fare una correlazione con l'esposizione!!

CLASSIFICAZIONE DEL RISCHIO delle ELF

Classe
1

Cancerogeno per l'uomo (normalmente in base ad una forte evidenza di cancerogenicità nell'uomo)

Asbesto (amianto)
Iprite (gas tossico)
Tabacco
Radiazione gamma

•Classe
2A

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

•Classe
2B

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)

Caffé
Gas di scarico dei motori a benzina
Fumi di saldatura
Campi magnetici ELF

Classificazione IARC

Classificazione degli agenti in base alla loro cancerogenità secondo l'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC).

CATEGORIA DI CANCEROGENITA'	CARATTERISTICHE DEGLI AGENTI
Gruppo 1 L'agente è cancerogeno per l'uomo.	Questa categoria è usata quando esiste un'evidenza sufficiente di cancerogenità nell'uomo.
Gruppo 2A L'agente è probabilmente cancerogeno per l'uomo.	Questa categoria è usata quando esiste un'evidenza limitata di cancerogenità nell'uomo ed un'evidenza sufficiente di cancerogenità nell'animale
Gruppo 2B L'agente è possibilmente cancerogeno per l'uomo.	Questa categoria è usata quando esiste un'evidenza limitata di cancerogenità nell'uomo ed un'evidenza meno che sufficiente di cancerogenità nell'animale
Gruppo 3 L'agente non è classificabile quanto alla sua cancerogenità nell'uomo.	Questa categoria è usata quando esiste un'evidenza inadeguata di cancerogenità sia nell'uomo sia nell'animale
Gruppo 4 L'agente è probabilmente non cancerogeno per l'uomo.	Questa categoria è usata quando le evidenze suggeriscono l'assenza di cancerogenità sia nell'uomo sia nell'animale

Esempi di classificazione

Tab. 10 - Esempi di classificazione di agenti o circostanze di esposizione in base alla loro cancerogenicità (IARC)

CATEGORIA DI CANCEROGENICITA'	ESEMPI DI AGENTI O CIRCOSTANZE
Gruppo 1 Cancerogeni	Asbesto Benzene Radon Radiazione solare Bevande alcoliche Fumo di tabacco
Gruppo 2A Probabilmente cancerogeni	Benzopirene Formaldeide Gas di scarico dei motori diesel Lavoro come parrucchiere Lampade solari

Esempi di classificazione (segue)

Gruppo 2B Possibilmente cancerogeni	Lampade solari Atrazina DDT Gas di scarico di motori a benzina Saccharina Caffè Falegnameria Campi magnetici ELF Telefoni cellulari (2011)
Gruppo 3 Non è classificabile	Lampade fluorescenti Fibre acriliche Cloruro di vinile Bitume Tè
Gruppo 4 Probabilmente non cancerogeni	Caprolattame (unico agente in questa categoria)

Piccola considerazione

- Secondo un rapporto dell'OMS, una **esposizione continua al benzene**-classificato in prima classe (leucemico certo) - **entro i limiti di legge** ($10\mu\text{g}/\text{m}^3$) comporta in Italia **2500 nuovi casi di leucemia.**

QUAL'E' L'OGGETTO DEL DIBATTITO?

- Il fatto che i campi CEM possano agire sull'organismo umano dando luogo a effetti biologici di vario tipo è quasi ovvio, considerando il ruolo che tensioni e correnti elettriche interne al corpo svolgono in numerosi processi fisiologici. Ciò che è tuttora oggetto di dibattito scientifico è la possibilità che questi effetti biologici si traducano, per la loro natura ed entità, in effetti sanitari a lungo termine per esposizioni a bassi livelli prolungate nel tempo.
- Gli effetti sanitari a breve termine sono invece ben documentati e compresi e costituiscono la base per la definizione dei limiti di esposizione, sui quali si registra un largo consenso della comunità scientifica. Sono infatti oltre una ventina i Paesi che hanno adottato in qualche forma, i limiti di esposizione raccomandati dalla ICNIRP, l'OMS ha avviato da parte sua un'azione di armonizzazione delle varie normative nazionali, mentre l'UE nel 1999 ha varato una raccomandazione per l'adozione del quadro suggerito dalle linee guida dell'ICNIRP del 1998 (approvata da tutti gli stati membri eccetto l'Italia).

25.000 articoli in 30 anni

- Infatti un certo numero di **studi epidemiologici** suggerisce piccoli aumenti di rischio di leucemia infantile, per le ELF, però gli scienziati non sono in genere giunti alla conclusione che questi risultati riflettano una relazione di causa – effetto, a questa conclusione si è giunti perché essa è la più ragionevole, tenendo conto di **TUTTI i fattori in gioco**. Infatti **gli studi su animali e su cellule in vitro non hanno messo in evidenza relazioni certe di cancerogenesi**.

Difficoltà di escludere rischi molti piccoli

- Gli studi sull'uomo sono ottimi per identificare grandi effetti, come la connessione tra fumo e cancro, Purtroppo, sono molto meno in grado di distinguere un piccolo effetto dalla mancanza di effetti. Se i campi elettromagnetici, ai tipici livelli ambientali, fossero potenti cancerogeni, sarebbe stato molto facile dimostrarlo. E' però molto più difficile dimostrare se i campi elettromagnetici di bassa intensità sono un debole cancerogeno. Infatti, anche nel caso in cui uno studio di ampie proporzioni non mostri alcuna associazione, non potremo mai essere del tutto sicuri che non esista nessuna relazione. **L'assenza di un effetto potrebbe significare che effettivamente non ne esiste alcuno ma potrebbe altrettanto bene significare che l'effetto è semplicemente non rivelabile con il nostro metodo di misura.** Quindi, i risultati negativi sono generalmente meno convincenti di quelli fortemente positivi.

Giudizio dei ricercatori sulle ELF

- La situazione più difficile di tutte, che purtroppo si è verificata con gli studi epidemiologici sui campi elettromagnetici, è quella in cui **un complesso di studi fornisce deboli risultati positivi, che sono però incoerenti tra loro.** In questa situazione, è verosimile che gli stessi scienziati si dividano sulla significatività dei dati. Comunque, *per le ragioni esposte in precedenza, la maggior parte degli scienziati e dei medici concordano nell'affermare che qualunque tipo di effetto sanitario dei campi elettromagnetici di bassa intensità, ammesso che esista effettivamente, è verosimilmente piccolo anche in relazione agli altri rischi (inquinamento chimico dell'aria e dei cibi) che si incontrano nella vita quotidiana.*

I CEM SONO DANNOSI ALLA SALUTE?

- Nonostante molti studi, le evidenze di effetti cancerogeni di qualsiasi genere restano molto controverse.
- *E' comunque accertato che, se i CEM avessero un effetto cancerogeno, l'aumento di rischio, sarebbe estremamente basso.*

Comunicazione OMS maggio 2011

- **L'Agencia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC), organismo che fa parte dell'Organizzazione mondiale della sanità (OMS), ha pubblicato un documento in cui afferma che i telefoni cellulari potrebbero potenzialmente avere effetti cancerogeni sugli esseri umani. Il rapporto è la conclusione di un'ampia ricerca condotta da un gruppo di esperti dello IARC, che hanno analizzato e verificato le decine di studi e analisi condotte negli ultimi anni in campo scientifico per verificare l'eventuale pericolosità dei telefoni cellulari e dei ripetitori delle reti mobili.**
- **Gli esperti hanno classificato i cellulari nel gruppo 2B nella classificazione degli elementi e dei prodotti che possono causare il cancro nell'uomo. Il gruppo 2B è il terzo nella classificazione dello IARC, che colloca nel gruppo 1 le sostanze sicuramente cancerogene per gli esseri umani e nel 2A quelle che sono probabilmente cancerogene.**
- **Nel 2B rientrano tutti quegli agenti che sono potenzialmente cancerogeni. La lista è molto lunga e in un certo senso tranquillizzante. Nello stesso gruppo dove sono stati collocati i telefoni cellulari ci sono la benzina, gli oli combustibili e anche il caffè.**
- **PRESS RELEASE N° 208 della WHO - 31 maggio 2011**

Giudizio della IARC sulle ELF (2001)

- L'insieme degli studi disponibili indica che le evidenze di cancerogenicità per l'uomo sono limitate e concernono la leucemia infantile, mentre sono inadeguate per le altre sedi tumorali, e che la relazione tra esposizione ai tipi di campi presi in considerazione e rischio di tumori non è sufficientemente chiara.
- In tal senso si è anche espressa la IARC che, sulla base dei dati disponibili nel 2001, ha così valutato le associazioni tra esposizione a campi elettrici e magnetici e insorgenza di tumore:
 - Vi è limitata evidenza di cancerogenicità per l'uomo del campo magnetico a frequenze estremamente basse, per quanto riguarda la leucemia infantile.
 - Vi è inadeguata evidenza di cancerogenicità per l'uomo del campo magnetico a frequenze estremamente basse, per quanto riguarda gli altri tumori.
 - Vi è inadeguata evidenza di cancerogenicità per l'uomo dei campi elettrici e magnetici statici e del campo elettrico a frequenze estremamente basse.

Giudizio della IARC sulle ELF (2001)

- Vi è inadeguata evidenza di cancerogenicità per l'animale sperimentale del campo magnetico a frequenze estremamente basse.
- Non vi sono dati di rilievo sulla cancerogenicità per l'animale sperimentale dei campi elettrici e magnetici statici e del campo elettrico a frequenze estremamente basse.

Sulla base di tali valutazioni il campo magnetico a frequenze estremamente basse è stato classificato come "possibile cancerogeno per l'uomo" (Gruppo 2B) e i campi elettrici e magnetici statici e il campo elettrico a frequenze estremamente basse sono stati valutati come "non classificabili per la loro cancerogenicità per l'uomo" (Gruppo 3).

Non sono emerse successivamente informazioni tali da modificare, a giudizio della Commissione, il parere della IARC sulla pericolosità in senso cancerogeno del campo magnetico a frequenze estremamente basse e, in particolare, alle frequenze industriali di 50/60 Hz. Pertanto, la Commissione, allo stato attuale delle conoscenze, condivide la precedente valutazione. (2004)

Le conoscenze scientifiche attuali non forniscono elementi atti a consigliare di limitare la vicinanza (o il tempo di utilizzo) a sorgenti domestiche. (Andreucci e Bevitori 2003)

Gli studi proseguono...

- Notevoli sforzi sono in corso nella comunità internazionale per approfondire gli studi sulle connessioni tra CEM (sia ELF che RF) e cancro, ed in particolare se l'esposizione a livelli molto bassi di campo possa provocare effetti nocivi sulla salute.
- L'OMS ha avviato nel 1996 un grande Progetto Internazionale CEM della durata di 10 anni che sta tutt'oggi proseguendo (2011)...

Il quadro normativo

Limiti di base: SAR

- Limiti di base raccomandati dall'ICNIRP per campi elettrici e magnetici variabili nel tempo con frequenze fino a 10 GHz.

Tipo di esposizione	Intervallo di frequenza	Densità di corrente per la testa e il torace (mA/m ²) (valore efficace)	SAR mediato sul corpo intero (W/kg)	SAR locale (testa e torace) (W/kg)	SAR locale (arti) (W/kg)
Esposizione lavorativa	fino a 1 Hz	40	-	-	-
	1 - 4 Hz	40/f	-	-	-
	4 Hz - 1 kHz	10	-	-	-
	1 - 100 kHz	f/100	-	-	-
	100 kHz - 10 MHz	f/100	0,4	10	20
	10 MHz - 10 GHz	-	0,4	10	20
Esposizione della popolazione	fino a 1 Hz	8	-	-	-
	1 - 4 Hz	8/f	-	-	-
	4 Hz - 1 kHz	2	-	-	-
	1 - 100 kHz	f/500	-	-	-
	100 kHz - 10 MHz	f/500	0,08	2	4
	10 MHz - 10 GHz	-	0,08	2	4

5 volte superiore ai limiti per la popolazione

Limiti per cellulari

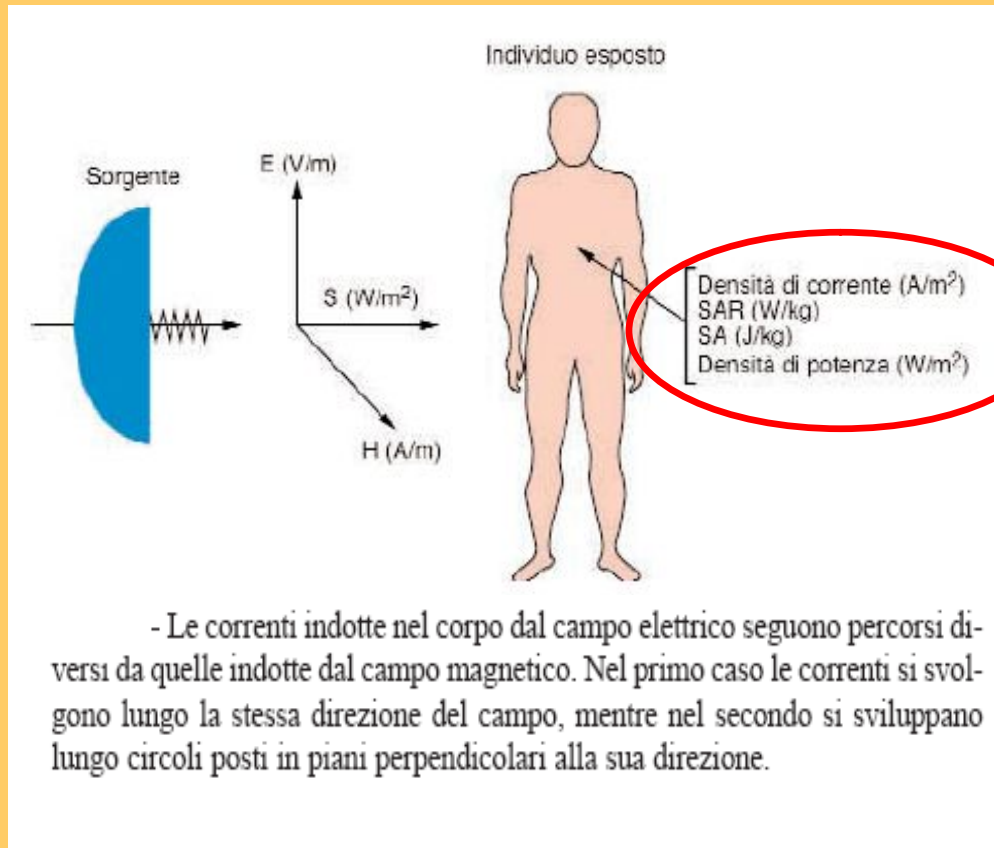
50 volte minore del minimo valore significativo (effetti evidenti) che è di 4 W/Kg

Note:

1. f è la frequenza in hertz.
2. Tutti i valori di SAR devono essere mediati su un qualunque intervallo di 6 minuti.

- Il SAR (Specific Absorption Rate – tasso specifico di assorbimento) è l'unità di misura della quantità di energia elettromagnetica assorbita dal corpo umano

Grandezze significative



Queste sono le grandezze fisiche (dosimetriche) che definiscono i limiti di base: SAR; 0.08 W/Kg mediato sull'intero corpo, oppure 2 W/Kg sul solo capo (100 kHz-10 GHz)

Dalle grandezze fisiche si derivano le grandezze radiometriche (che caratterizzano l'ambiente in cui il corpo è inserito) che sono facilmente misurabili: E e B.

QUADRO NORMATIVO 1

- Le prime raccomandazioni riguardanti l'esposizione a CEM (Micro onde) furono emanate negli USA nell'immediato dopoguerra per proteggere soprattutto gli operatori che lavoravano ai radar.
- Nel 1977 l'IRPA (Associazione Internazionale per la Protezione dalle Radiazioni) creò al suo interno l'INIRC (Comitato Internazionale per le Radiazioni Non Ionizzanti) che si trasformò **nel 1992** in **una organizzazione indipendente l'ICNIRP** che è un'organizzazione di riconosciuto prestigio scientifico internazionale accreditata presso l'OMS e l'UE. **Il suo scopo fondamentale è quello di fornire ai governi indicazioni su rigorose basi scientifiche circa la protezione dalle radiazioni non ionizzanti.**
- I valori indicati dalla Commissione per quanto riguarda i limiti di esposizione sono basati esclusivamente su effetti biologici e sanitari scientificamente accertati, cioè descritti da studi scientifici criticamente convalidati (peer-review), **a giudizio dell'ICNIRP, gli unici effetti a tutt'oggi documentati sono quelli acuti.**

La Linea Guida fondamentale

- Nel 1998 la ICNIRP pubblica le **Linee Guida -Aprile 1998-** con le quali fornisce una panoramica delle caratteristiche fisiche, dei metodi e strumenti di misura, delle sorgenti e delle applicazioni delle NIR, insieme ad una approfondita rassegna della letteratura sugli effetti biologici e ad una valutazione dei rischi sanitari all'esposizione dei NIR. Tali informazioni hanno creato la base scientifica per il successivo sviluppo e definizione quantitativa dei limiti di esposizione sia per il pubblico che per le persone professionalmente esposte, nonché dei codici di comportamento nei riguardi delle NIR.

Livelli di riferimento ICNIRP per i lavoratori Linea Guida (Health Physics, vol. 74 n.4 Aprile 1998)

- Livelli di riferimento ICNIRP per l'esposizione lavorativa a campi elettrici e magnetici variabili nel tempo (valori efficaci dei campi non perturbati).

Intervallo di frequenza	Intensità del campo elettrico (V/m)	Intensità del campo magnetico (A/m)	Induzione magnetica (microtesla)	Densità di potenza dell'onda piana equivalente P_{eq} (W/m ²)
fino a 1 Hz	-	$1,63 \times 10^5$	2×10^5	-
1 - 8 Hz	20000	$1,63 \times 10^5 / f^2$	$2 \times 10^5 / f^2$	-
8 - 25 Hz	20000	$2 \times 10^4 / f$	$2,5 \times 10^4 / f$	-
0,025 - 0,82 kHz	$500 / f$	$20 / f$	$25 / f$	-
0,82 - 65 kHz	610	24,4	30,7	-
0,065 - 1 MHz	610	$1,6 / f$	$2,0 / f$	-
1 - 10 MHz	$610 / f$	$1,6 / f$	$2,0 / f$	-
10 - 400 MHz	61	0,16	0,2	10
400 - 2000 MHz	$3f^{1/2}$	$0,008f^{1/2}$	$0,01f^{1/2}$	$f/40$
2 - 300 GHz	137	0,36	0,45	50

circa 100 V/m

Note:

1. f come indicato nella colonna relativa all'intervallo di frequenza.
2. Se i limiti di base sono rispettati e possono essere esclusi effetti avversi indiretti, i valori di intensità di campo possono essere superati.
3. Per frequenze comprese tra 100 kHz e 10 GHz, P_{eq} , E^2 , H^2 , e B^2 devono essere mediati su qualsiasi intervallo di 6 minuti.

Tali valori sono stati recepiti dalla UE con la Direttiva 2004/40/CE del 2004

Livelli di riferimento ICNIRP per la popolazione

Linea Guida (Healt Physics, vol. 74 n.4 Aprile 1998)

Tabella 8.5 - Livelli di riferimento ICNIRP per l'esposizione della popolazione a campi elettrici e magnetici variabili nel tempo (valori efficaci dei campi non perturbati).

Intervallo di frequenza	Intensità del campo elettrico (V/m)	Intensità del campo magnetico (A/m)	Induzione magnetica (microtesla)	Densità di potenza dell'onda piana equivalente P_{eq} (W/m ²)
fino a 1 Hz	-	$3,2 \times 10^4$	4×10^4	-
1 - 8 Hz	10000	$3,2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^4 / f^2$	-
8 - 25 Hz	10000	$4000 / f$	$5000 / f$	-
0,025 - 0,82 kHz	$250 / f$	$4 / f$	$5 / f$	-
0,8 - 3 kHz	$250 / f$	5	6,25	-
3 - 150 kHz	87	5	6,28	-
0,15 - 1 MHz	87	$0,73 / f$	$0,92 / f$	-
1 - 10 MHz	$87 / f^{1/2}$	$0,73 / f$	$0,92 / f$	-
10-400 MHz	28	0,073	0,092	2
<u>400 - 2000 MHz</u>	$1,375 f^{1/2}$	$0,0037 f^{1/2}$	$0,0046 f^{1/2}$	$f / 200$
2 - 300 GHz	61	0,16	0,20	10

**41 V/m per 900 MHz e
58 V/m per 1800 MHz**

Tali valori sono stati recepiti dalla UE con la Direttiva 2004/40/CE del 2004

QUADRO NORMATIVO 2

Il Consiglio dell'UE ha emanato il 12/7/1999 una raccomandazione agli Stati membri nella quale si ribadiva ad ogni Stato che le normative in materia di CEM

- Siano basate sui migliori dati scientifici disponibili;
- Prevedano limiti di base e livelli di riferimento;
- Siano conformi alle raccomandazioni dell'ICNIRP.

La raccomandazione è stata approvata quasi unanimemente, con il solo voto contrario dell'Italia. Nel nostro paese infatti è stata adottata una politica di precauzione basata su un approccio completamente diverso, che non prevede limiti di base, dando corso ad un lavoro di fantasia si sono introdotte tre definizioni.

QUADRO NORMATIVO 3

- **Limite di esposizione:** valore che non deve essere superato in alcuna condizione di esposizione, ai fini della tutela della salute dagli effetti acuti.
- **Valore di attenzione:** valore che non deve essere superato negli ambienti abitativi, scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze prolungate. Esso costituisce la misura di cautela ai fini della protezione da possibili effetti a lungo termine.
- **Obiettivi di qualità:** sono i criteri localizzativi, gli standard urbanistici, le prescrizioni e le incentivazioni per l'utilizzo delle migliori tecnologie disponibili, che hanno il fine di consentire la minimizzazione progressiva dell'esposizione ai CEM.

QUADRO NORMATIVO 4

Legge quadro del 22/2/2001 n.36

La legge attribuisce competenze allo Stato, alle Regioni, alle Province e ai Comuni. In particolare, lo Stato ha il compito:

- **di fissare limiti, valori di attenzione e gli obiettivi di qualità;**
- di promuovere attività di ricerca e di sperimentazione;
- di coordinare la raccolta e la diffusione dei dati;
- **di istituire il catasto nazionale** delle sorgenti fisse e delle aree interessate dall'emissione delle stesse;
- **di stabilire i criteri per l'attuazione dei piani di risanamento** indicando tempi e priorità;
- di stabilire le metodologie di misurazione;
- di attivare accordi di programma con i titolari dei vari impianti al fine di sviluppare le migliori tecnologie possibili per minimizzare gli impatti sanitari e ambientali;
- **di definire i tracciati degli elettrodotti con tensione superiore a 150 kV** e determinare delle fasce di rispetto per tali infrastrutture che rappresentano un vincolo per eventuali sviluppi urbanistici;

QUADRO NORMATIVO 5

- . A **Regioni, Province e Comuni** competono i seguenti obblighi:
 - **la localizzazione dell'emittenza radiotelevisiva;**
 - **la fissazione di criteri per l'installazione degli impianti per la telefonia cellulare che tengano conto, oltre che della tutela della salute, anche della salvaguardia dell'ambiente e del paesaggio;**
 - **la definizione dei tracciati degli elettrodotti con tensione non superiore a 150 kV e la determinazione delle relative fasce di rispetto;**
 - **la realizzazione del catasto regionale** in stretto coordinamento con quello nazionale;
 - l'individuazione di strumenti e di azioni per il raggiungimento degli obiettivi di qualità;
 - il concorso all'approfondimento delle conoscenze scientifiche.

QUADRO NORMATIVO 6

- Le Regioni stabiliscono, inoltre, le competenze delle Province e dei Comuni e pertanto devono provvedere alla emanazione di leggi regionali di recepimento della legge quadro.
- La legge ha avviato un processo che sarà possibile chiudere soltanto quando saranno completati tutti gli atti di recepimento, siano essi decreti dello stato che leggi regionali. che regolamenti comunali.

// DPCM 8 luglio 2003 frequenze di rete (50 Hz)

- **I limiti massimi di esposizione**, quali valori da non superare in alcuna condizione;
- **i valori di attenzione** (tutti i luoghi adibiti a permanenza superiore alle 4 ore);
- **gli obiettivi di qualità**, da non superare nella progettazione dei nuovi elettrodotti in corrispondenza di: ambienti abitativi, ambienti scolastici, luoghi adibiti a permanenza non inferiore alle quattro ore, nonché nella progettazione di nuovi insediamenti in prossimità di elettriche.

Le fasce di rispetto dagli elettrodotti

- ***Il decreto definisce anche le fasce di rispetto ovvero quella parte del territorio dove non è consentita alcuna destinazione di edifici ad uso residenziale, scolastico, sanitario, con uso che comporti una permanenza superiore alle quattro ore, le cui modalità di individuazione saranno comunque oggetto di un successivo provvedimento che è stato emanato dal Ministero dell'Ambiente con Decreto 29 maggio 2008.***

Ministero dell'Ambiente con Decreto 29 maggio 2008: Metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti.

- In questa guida si fa innanzitutto riferimento agli obiettivi di qualità di cui all'art.4 del DPCM 8 luglio 2003 in cui si fissa il valore di 3 microtesla
- Sono escluse dall'applicazione della metodologia
- Linee esercite a frequenza diversa da quella di rete (50Hz)
- Linee telefoniche
- Linee di illuminazione pubblica inferiore ai 5 kV
- Linee in MT in cavo cordato ad elica (interrate o aerea) —tipico degli impianti fotovoltaici.

In modo approssimativo, solamente per dare degli ordini di grandezza si può dire che:

- **Per elettrodotti in MT (15-20 kV) Dpa da 4 a 10 m**
- **Per elettrodotti in AT (132-150 kV) Dpa da 15 a 30 m**
- **Per elettrodotti in AAT (220-380 kV) Dpa da 30 a 80 m**

Valori di legge (DPCM 8/7/2003) per frequenze di rete (50 Hz)

	Induzione magnetica	Campo elettrico
Limiti di esposizione	100 μT	5 kV
Valori di attenzione	10 μT *	-----
Obiettivi di qualità	3 μT *	-----

*** Tali valori sono da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.**

// DPCM 8 luglio 2003 alte frequenze (RF)

- **I limiti massimi di esposizione**, quali valori da non superare in alcuna condizione;
- **I valori di attenzione** (tutti i luoghi adibiti a permanenza superiore alle 4 ore);
- **gli obiettivi di qualità**, da non superare all'interno di edifici adibiti a permanenza superiore alle quattro ore e nelle loro pertinenze (balconi, terrazzi, cortili, ad esclusione dei lastricati solari).

***Valori di legge (DPCM 8/7/2003)
per frequenze da 0.1 MHz a 300 GHz (RF)***

	Campo elettrico	Campo magnetico	Densità di potenza
Limiti di esposizione *	20 V/m	0.05 A/m	1 W/m²
Valori di attenzione	6 V/m	0.016 A/m	0.1 W/m²
Obiettivi di qualità	6 V/m	0.016 A/m	0.1 W/m²

* Per frequenze fra 3 MHz e 3 GHz

Tabella comparativa dei valori limite di campo elettrico dei maggiori paesi industrializzati

	900 MHz	1800 MHz
ICNIRP	41	58
CENELEC	41	58
DIN/VDE (Germania)	41	58
USA – FCC/IEE	47	61
Regno Unito	41	58
Australia	41	58
Francia	41	58
Giappone	47	61
Olanda	109	180
Nuova Zelanda	41	58
Svezia	41	58
Svizzera	41	58
ITALIA	20 (6)	20 (6)

20 è il limite di esposizione ; 6 è l'obiettivo di qualità

Limiti proposti (ICNIRP) per campi magnetici statici

La legislazione italiana vigente non suggerisce limiti specifici per l'esposizione a campi magnetici.

Le attuali conoscenze scientifiche escluderebbero ogni effetto nocivo su principali parametri vitali negli organismi superiori per effetto di esposizioni temporanee a induzioni magnetiche statiche fino a 2T.

Dall'analisi dei meccanismi di interazione accertati, l'esposizione cronica a induzioni magnetiche di 200mT non dovrebbe avere conseguenze negative per la salute.

Si raccomanda, quindi, che il limite di esposizione professionale sia pari ad un valore di 200 mT, mediato nel tempo su una giornata di lavoro, con un valore massimo di 2 T. La restrizione di 200 mT è conservativa, per l'attuale mancanza di conoscenze sugli effetti a lungo termine dell'esposizione.

In conseguenza di tali premesse sono stati proposti i seguenti limiti derivati:

Esposizione occupazionale	Limite di esposizione
8 h/giorno	200 mT

Il limite di esposizione per la popolazione prevede un ulteriore fattore 5 di sicurezza, che si traduce in un limite per esposizione continua di 40 mT.

Popolazione	Limite di esposizione
Esposizione continua	40 mT

In ogni caso, è da tenere presente che

campi magnetici anche estremamente bassi possono causare danni molto gravi nei portatori di pace-maker cardiaco o altre apparecchiature medicali impiantate,

LIMITI D'ESPOSIZIONE ICNIRP PER I CAMPI MAGNETICI STATICI

(campo geomagnetico medio: circa 50 μ T)

TIPO D'ESPOSIZIONE	INDUZIONE MAGNETICA
<p>Lavoratori</p> <ul style="list-style-type: none">- Media pesata sull'intera giornata lavorativa (TWA)- Valore massimo- Esposizione solo degli arti	<p>200 mT</p> <p>2 T</p> <p>5 T</p>
<p>Popolazione</p> <ul style="list-style-type: none">- Esposizione continua	<p>40 mT</p>

Casi di particolare attenzione per campi statici

Popolazione casi particolari	Limite di esposizione
Portatori di pacemaker e defibrillatori	0,5 mT
Portatori di protesi auricolari elettroniche, pompe per insulina, protesi attive a controllo elettronico e sistemi di stimolazione muscolare	Pochi mT

Campo magnetico terrestre (medio)

0.05 mT (50 μ T)

Segnaletica per locali con $B > 0.5$ mT

(dieci volte il fondo)



I valori maggiori di campo statico sono quelli all'interno dei treni ad alta velocità (operanti a 30 kV) che sono di circa 1 mT (20 volte il fondo), i treni a levitazione magnetica hanno valori all'interno che possono arrivare anche a 10 mT, mentre sui binari arriva a 1T. In diagnostica (risonanza magnetica) si arriva fino a 2 T !!!

**Che cosa è il principio di
precauzione**

COSA E' IL PRINCIPIO DI PRECAUZIONE?

- Il “principio di precauzione” (locuzione non corretta: è in corso una sua revisione e andrebbe sostituita con il più corretto “criterio di precauzione”) è un approccio di gestione del rischio in una situazione di incertezza scientifica, che esprime l’esigenza di **un’azione a fronte di un rischio potenzialmente grave** senza attendere i risultati della ricerca scientifica.

EC-DG XXIV, 1999

Enunciato del PdP

La sua prima versione fu quella della “World Chart for Nature” del 1982, ma il suo atto di nascita lo si fa risalire all’enunciato dell’Art. 15 della Dichiarazione di Rio (1992)

«Where there are threats of serious or irreversible damage, lack of full scientific certainty shall not be used as a reason for postponing cost-effective measures to prevent environmental degradation».

«Ove vi siano minacce di danno grave o irreversibile, l’assenza di certezze scientifiche non deve servire come pretesto per posporre l’adozione di misure, anche non a costo zero, volte a prevenire il degrado ambientale».

La UE pone una precisazione (trattato di Maastricht, 1992) “Una condizione necessaria (ma non sufficiente) per invocare (non per applicare) il PdP, è che i rischi siano stati individuati: ossia non è sufficiente ipotizzarli!!

L'Europa e il PdP

La norma vigente in Europa è così espressa: “La politica comunitaria in materia ambientale dovrà mirare ad un alto livello di protezione. Essa dovrà essere basata sul PdP e sui principi che azioni preventive debbano essere prese perché il danno ambientale sia, in via prioritaria, corretto alla fonte”

Come si vede, non riferendosi a dati scientifici oggettivi, le definizioni restano qualitative.

In aggiunta si precisa che la UE dovrà tenere conto dei dati scientifici disponibili così come dei benefici potenziali e dovrà tener conto altresì dei costi sia delle azioni andrebbero intraprese che sia in mancanza di esse. Ossia una analisi costi/benefici

Le questioni di fondo irrisolte che pone il PdP

- Da quanto visto finora, emergono due questioni di fondo:
- **a)** il problema dell'eventuale contraddizione tra accertamenti di rischio valutabili scientificamente (analisi del rischio) e definizione e invocazione di pericoli ambientali anche al di fuori dei dati scientifici (percezione del rischio);
- **b)** la carenza di informazione ambientale, ossia vi è spesso carenza di dati scientifici utili per stabilire se trattasi di rischio o meno.
- Un grave equivoco è senz'altro la pretesa che la scienza fornisca le prove di innocuità addirittura prima della sperimentazione. L'asserzione che un prodotto o una data tecnologia sia totalmente innocua non può per principio essere fatta dalla scienza.
- **Es.** Se mi date da bere un bicchiere d'acqua fresca, la scienza per principio non può affermare che nel berla non morirò !! Sono infatti troppe le variabili in gioco.

Il rischio di applicazione è...

- Il rischio del PdP è che quello spazio di dubbio lasciato dalla scienza potrebbe essere riempito da affermazioni arbitrarie che, dando voce ai singoli e parziali risultati della scienza che tornano comodi ed utili per certi interessi !!

LINEE GUIDA FONDAMENTALI DEL PdP

- **Valutazione oggettiva del rischio**
- **Massima trasparenza nella valutazione delle opinioni**
- **Misure da adottare proporzionali al rischio**
- **Misure basate su una valutazione costi/benefici**
- **Assegnazione di responsabilità per la produzione di prove scientifiche**
- **Misure a carattere provvisorio**

QUANDO SI ADOTTA IL PdP?

- Il ricorso al PdP presuppone l'identificazione di effetti potenzialmente negativi, conseguenti a un fenomeno, a un prodotto o a una procedura, nonché una valutazione scientifica del rischio

- Comunicazione del 2/2/2000 della Commissione Europea
- G.U. n. C 46 del 17/2/1983 (pag.1)

SONO STATI IDENTIFICATI DEI RISCHI?

- ELF
- I campi magnetici a frequenza industriale sono stati classificati come *possibilmente cancerogeni, esclusivamente per la leucemia infantile.*
- (IARC 2001)
- RF
- Una rassegna della letteratura ha concluso che *non esiste nessuna chiara evidenza che l'esposizione a campi a radiofrequenza abbrevi la durata della vita umana,* né che induca o favorisca il cancro.
- (WHO 1998)

ANALISI COSTI-BENEFICI?

- Un'analisi costi-benefici presuppone una valutazione quantitativa del beneficio sanitario atteso (riduzione dei casi) in corrispondenza a ogni riduzione dell'esposizione.
- Questa condizione presuppone a sua volta la conoscenza di una curva esposizione-risposta che **tutti gli studi scientifici non hanno evidenziato!**
- **Quindi non è possibile fare un'analisi costi-benefici nel caso dei CEM**

APPLICAZIONE CORRETTA DEL PdP?

- **Il processo di applicazione del PdP è stato avviato in base al rischio misurato (ossia accertato scientificamente) o al rischio percepito?**
- **Qual è il ruolo che gioca la componente scientifica?**
- **Quali le conseguenze in termini di percezione del rischio da parte della popolazione?**

Un nuovo enunciato?!

- Allora esso potrebbe essere sostituito secondo Franco Battaglia (docente di Chimica-Fisica presso l'Università di Roma-tre) dal seguente enunciato molto più preciso, stringente e privo di equivoci:

“ Ove vi siano minacce scientificamente accertate di danno serio o irreversibile, le autorità politiche sono obbligate ad adottare misure, anche non a costo zero ma proporzionale al rischio, volte a prevenire il degrado ambientale”

La situazione Regionale per gli impianti RTV (al 31/12/2004)

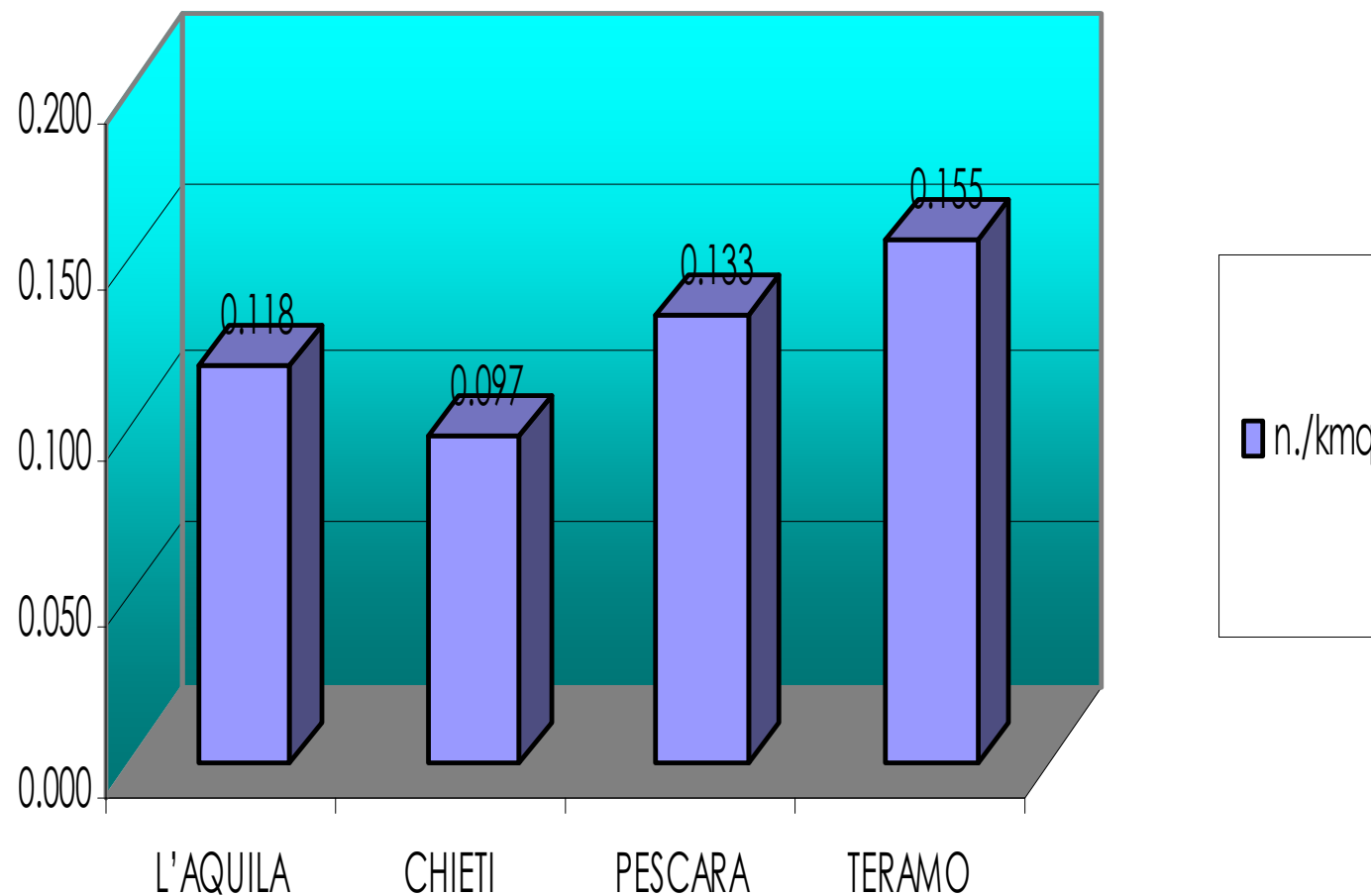


Provincia	Impianti radiotelevisivi N°	Superficie kmq	N° Impianti per superficie (n°/kmq)
L'AQUILA	594	5.034	0,118
CHIETI	250	2.587	0,097
PESCARA	163	1.225	0,133
TERAMO	301	1.948	0,155
Totale	1.308	10.794	0,121 (Un impianto ogni 10 Kmq circa)

Tab. 15.1: Densità impianti radiotelevisivi rapportati alle superfici provinciali. □

Fonte: Ministero delle Comunicazioni, Ispettorato Territoriale Abruzzo-Molise di Sulmona, ISTAT.

Grafico della densità degli impianti RTV



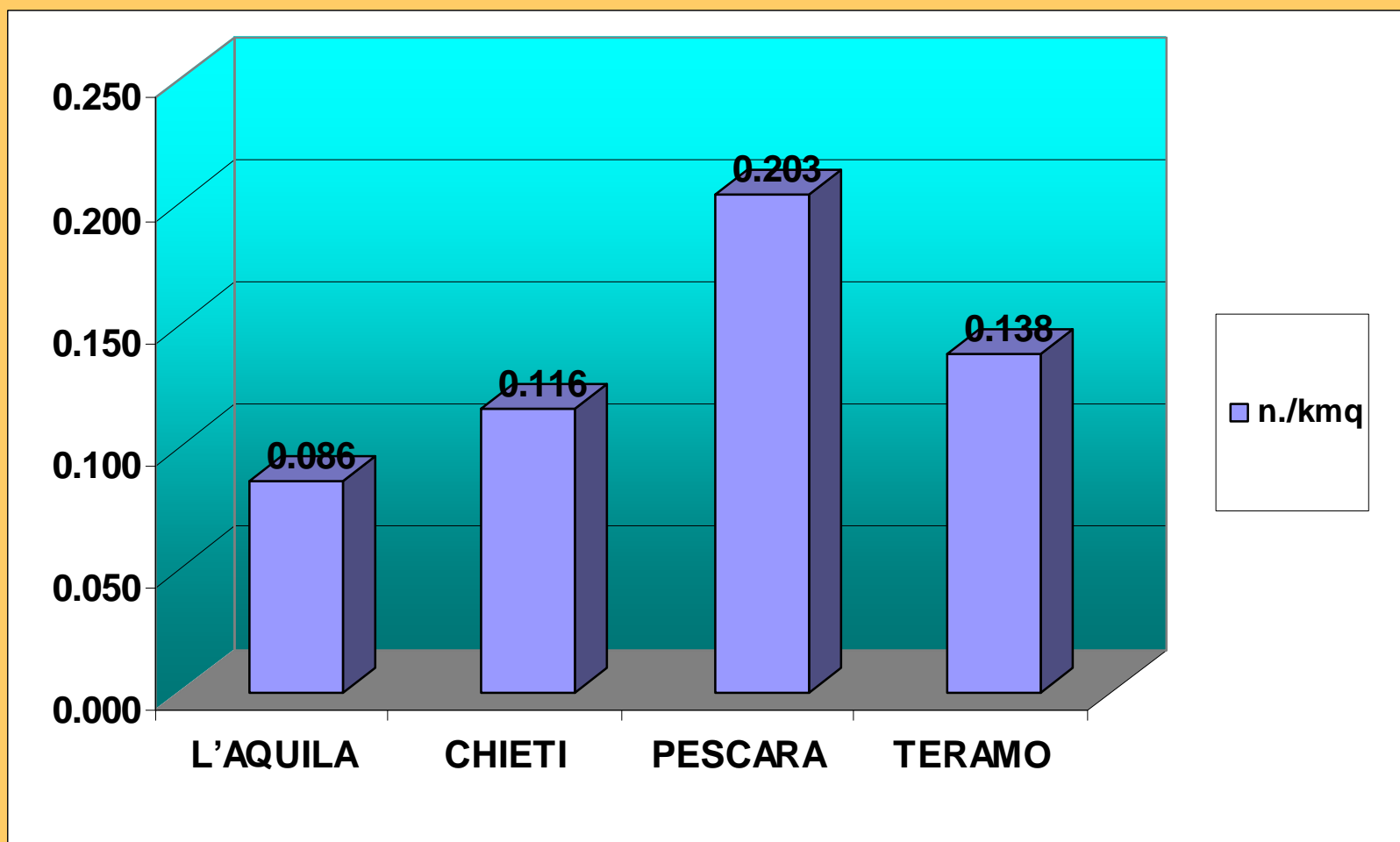
La situazione Regionale per gli impianti SRB (al 31/12/2004)

Provincia	Stazioni Radio Base n.	Superficie Kmq	SRB per superficie n./kmq
L'AQUILA	433	5.034	0,086
CHIETI	301	2.587	0,116
PESCARA	249	1.225	0,203
TERAMO	270	1.948	0,138
Totale	1.253	10.794	0,116

Tab. 1.5.3: Densità Stazioni Radio Base rapportate alle superfici provinciali.

Fonte: Ministero delle Comunicazioni, Ispettorato Territoriale Abruzzo-Molise di Sulmona, ISTAT.

Grafico della densità degli impianti SRB

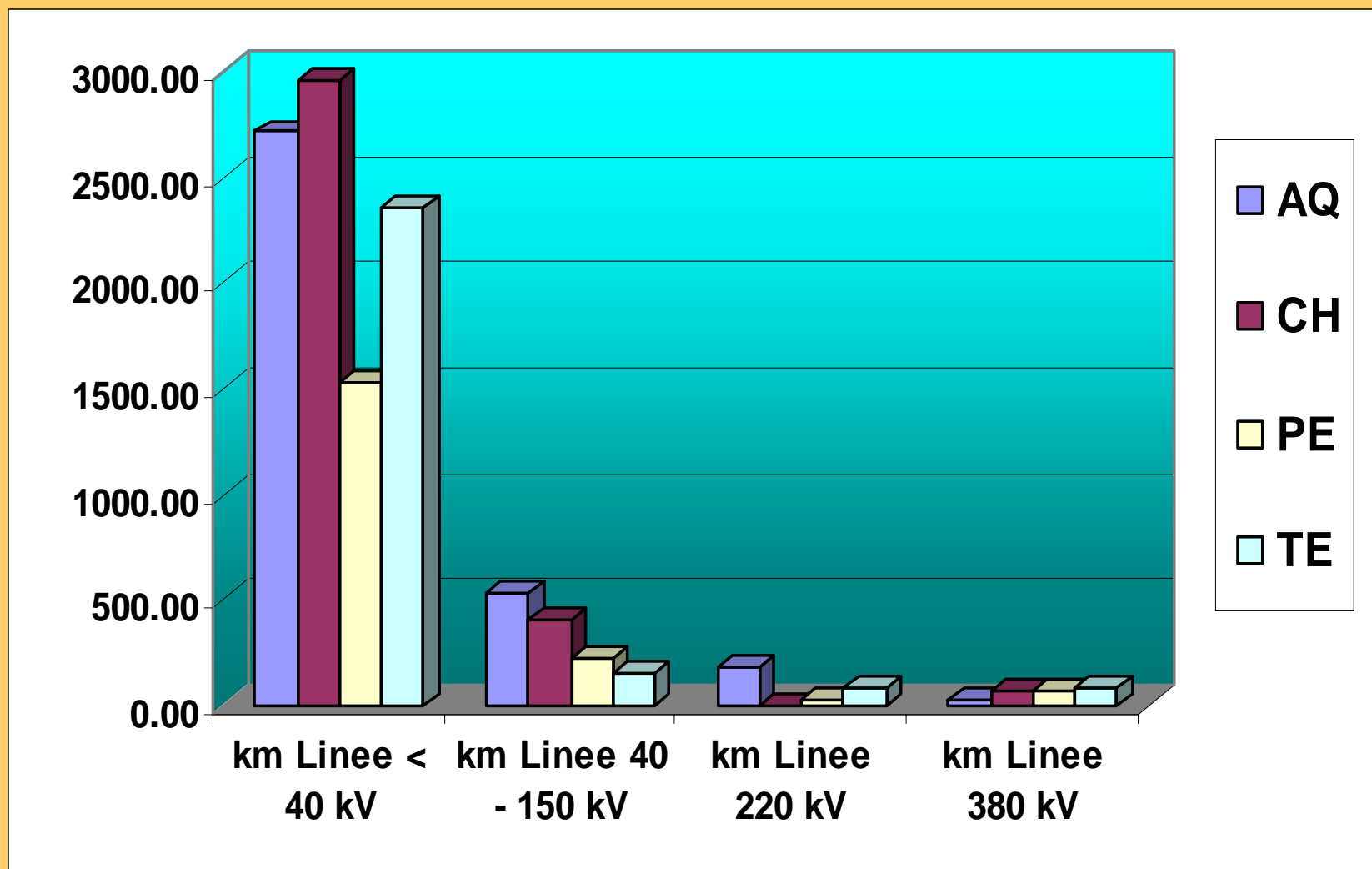


La situazione Regionale per le linee elettriche

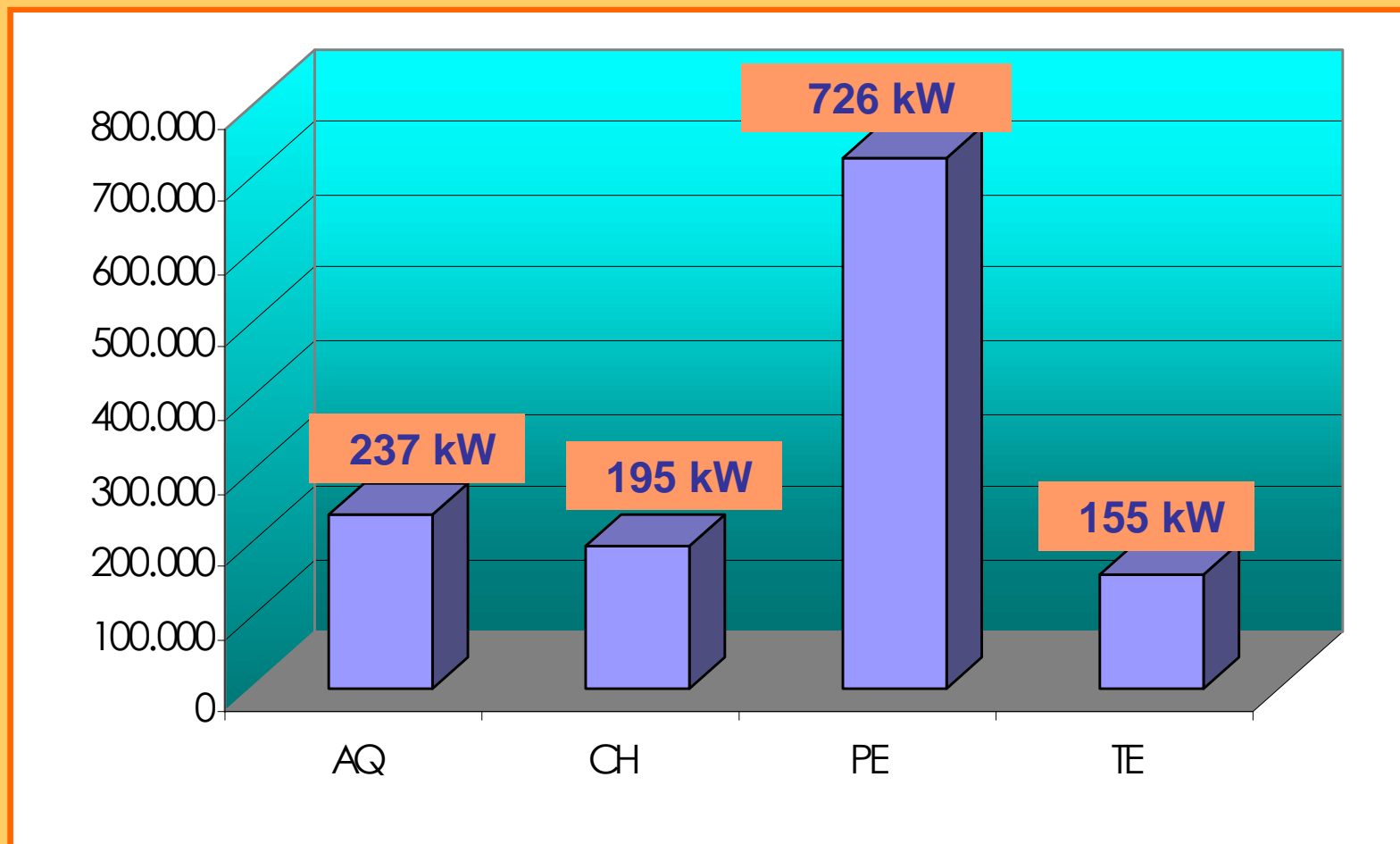
ANNO 2002				
Provincia	Linee < 40 kV km	Linee 40 - 150 kV km	Linee 220 kV km	Linee 380 kV km
L'AQUILA	2.680,50	524,06	178,289	26,853
CHIETI	2.947,40	393,02	0,000	71,585
PESCARA	1.481,20	223,50	29,139	70,444
TERAMO	2.315,90	154,73	111,067	67,636
Totale	9.425,00	1.295,30	318,50	236,52
Superficie Regionale kmq	10.794,02			
Linee per superficie Km/100 kmq	87,317	12,0	2,951	2,191

Tab. 1.5.5: Sviluppo linee elettrodotti (ELF) suddivise per tensione e rapportate alla superficie regionale. □
Fonte: ENEL Distribuzione S.p.A. (Sedi di Roma e L'Aquila), TERNA S.p.A., ACEA Trasmissione S.p.A., ISTAT.

Grafico della densità delle linee elettriche



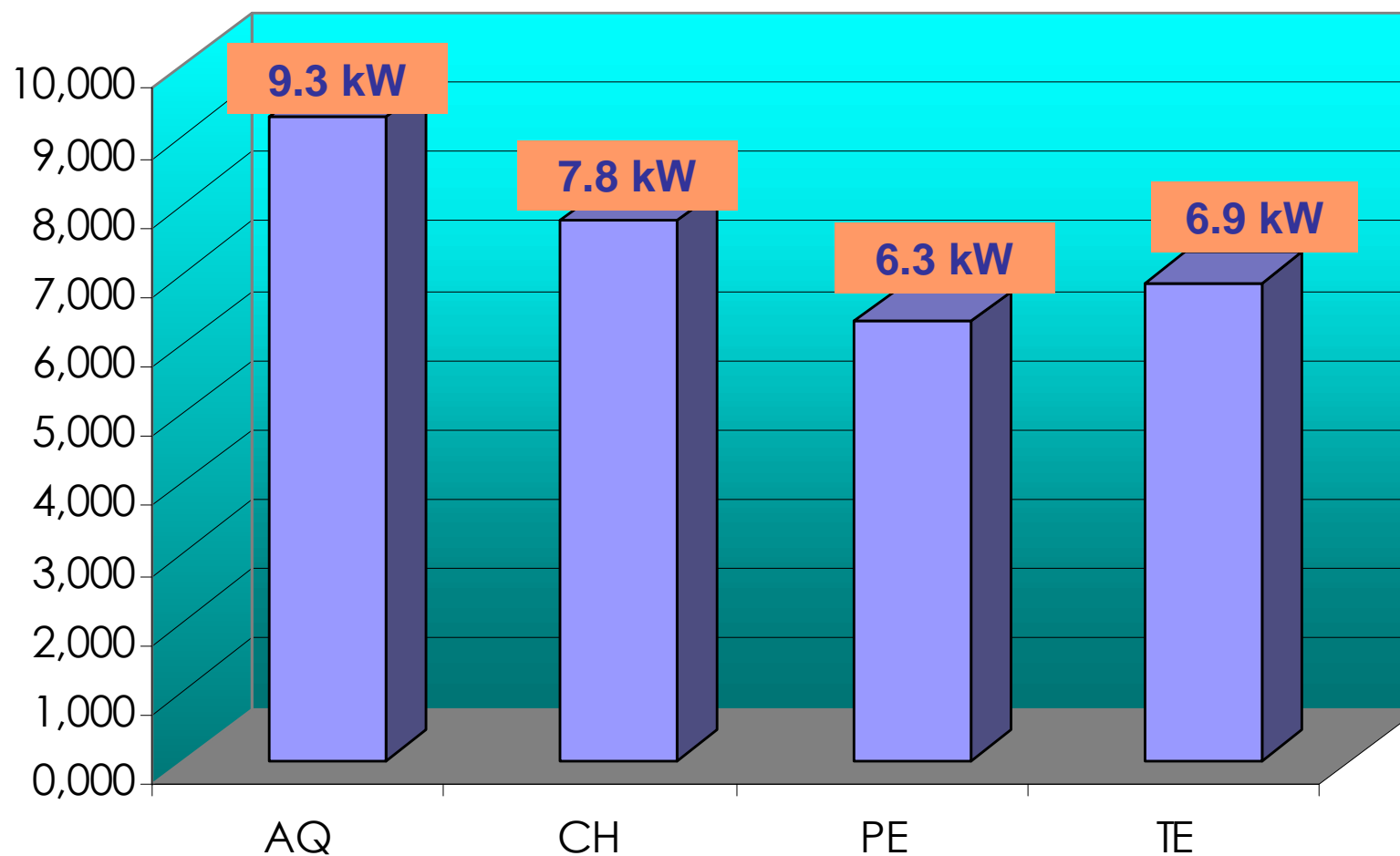
Potenza emessa dagli impianti RTV



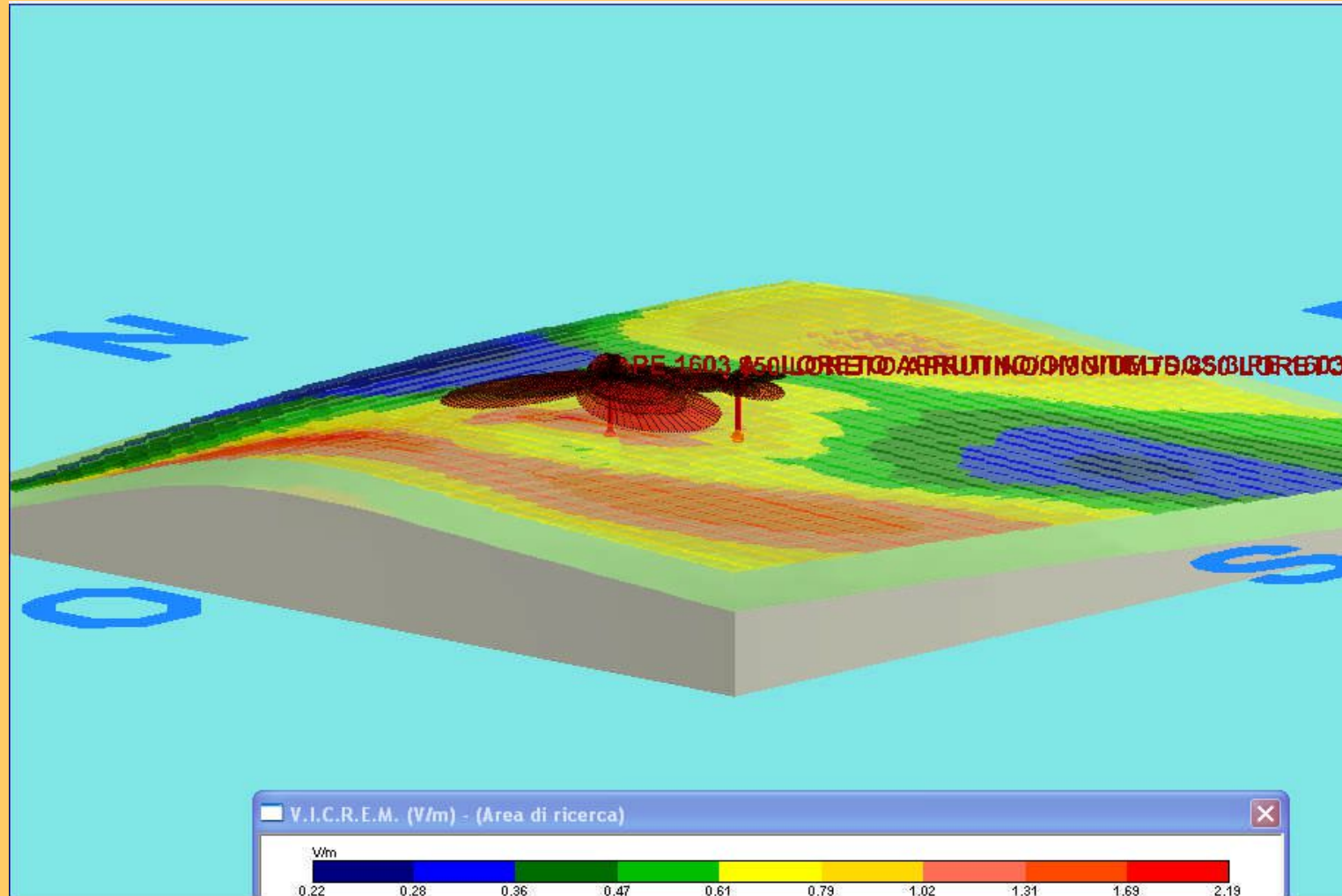
Considerazioni

- Come è facilmente osservabile dalla Figura precedente, la Provincia di Pescara è quella che presenta la potenza complessiva più elevata rispetto alle altre Province. Un apporto consistente è dato dal sito di S. Silvestro nel Comune di Pescara, dove ci sono numerosi impianti radiotelevisivi posizionati all'interno del centro abitato.
- A differenza degli impianti SRB, gli impianti RTV sono concentrati in un numero minore di siti, utilizzando potenze più elevate in quanto devono servire aree più vaste, ragion per cui contribuiscono in modo maggiore alla potenza complessiva esercitata sul territorio.

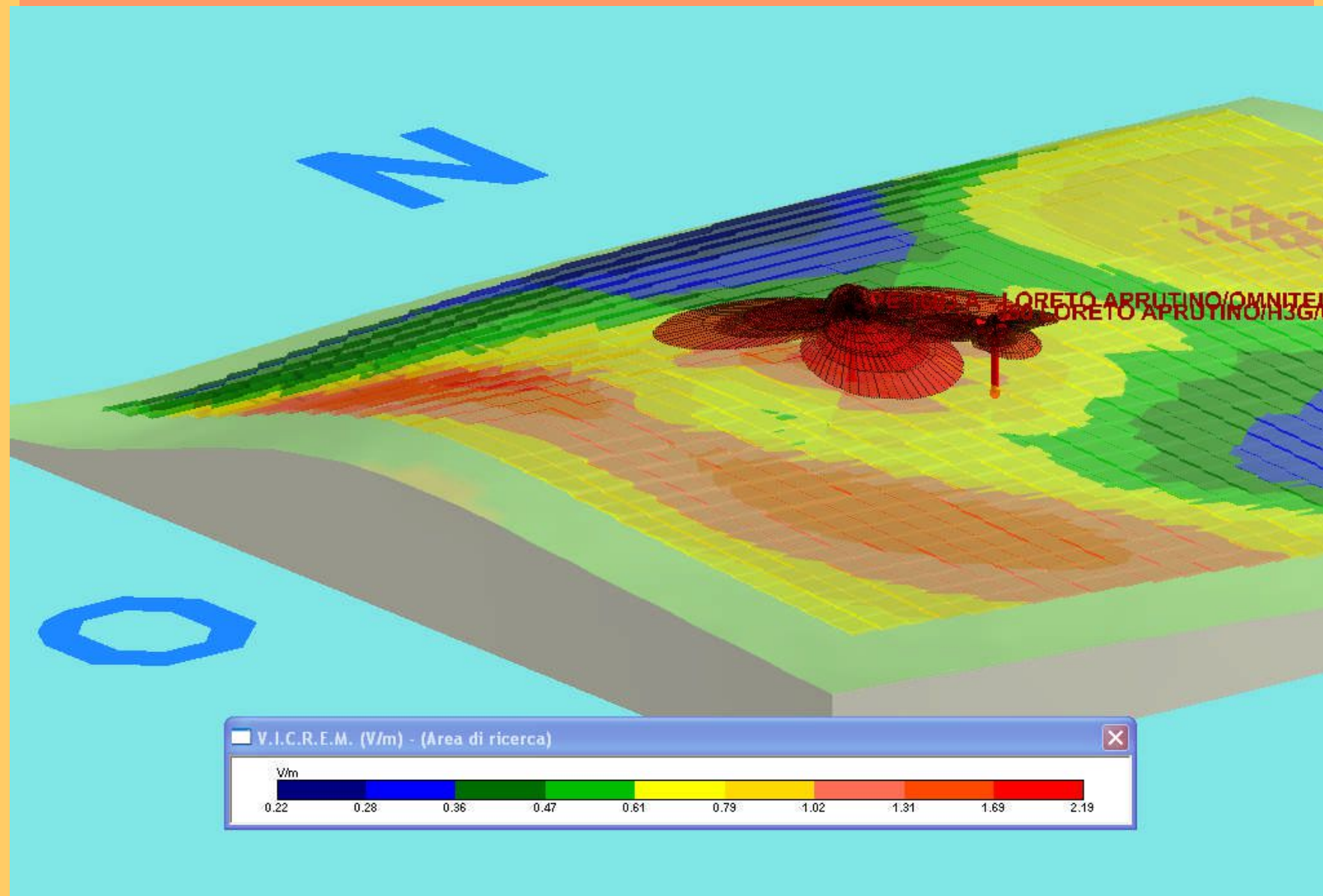
Potenza emessa dagli impianti SRB



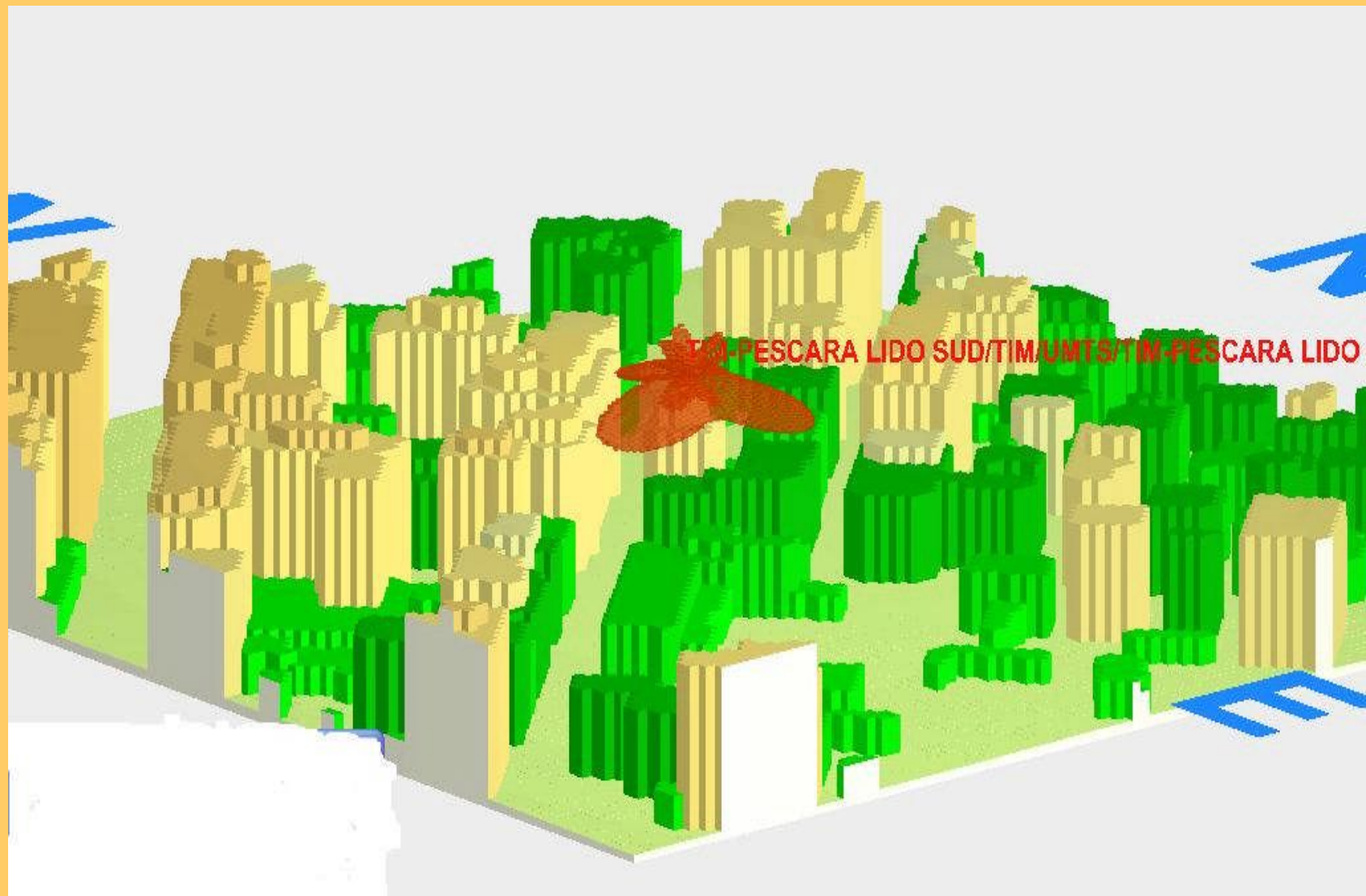
Simulazione di calcolo con il software Vicrem dei lobi di emissione di un'antenna SRB



Simulazione di calcolo con il software Vicrem



Simulazione di calcolo con il software Vicrem



Grazie per l'attenzione

