



Campi elettromagnetici

Seminario ai sensi del DLgs 81/2008
20 gennaio 2009



Dalla fisica: sui campi elettromagnetici



Origine dei campi

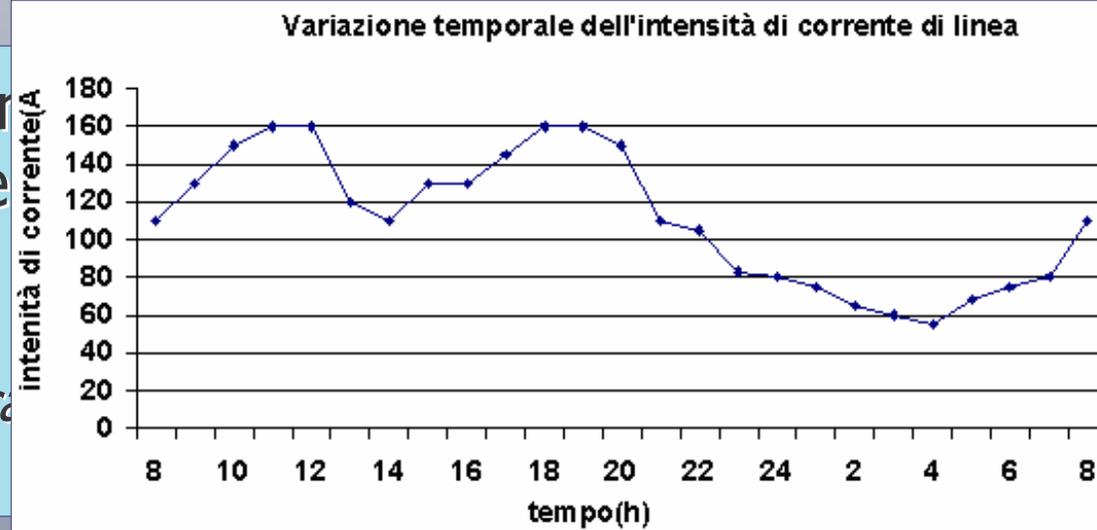
Tensione \longrightarrow Campo elettrico

$$E = \frac{dV}{dt}$$

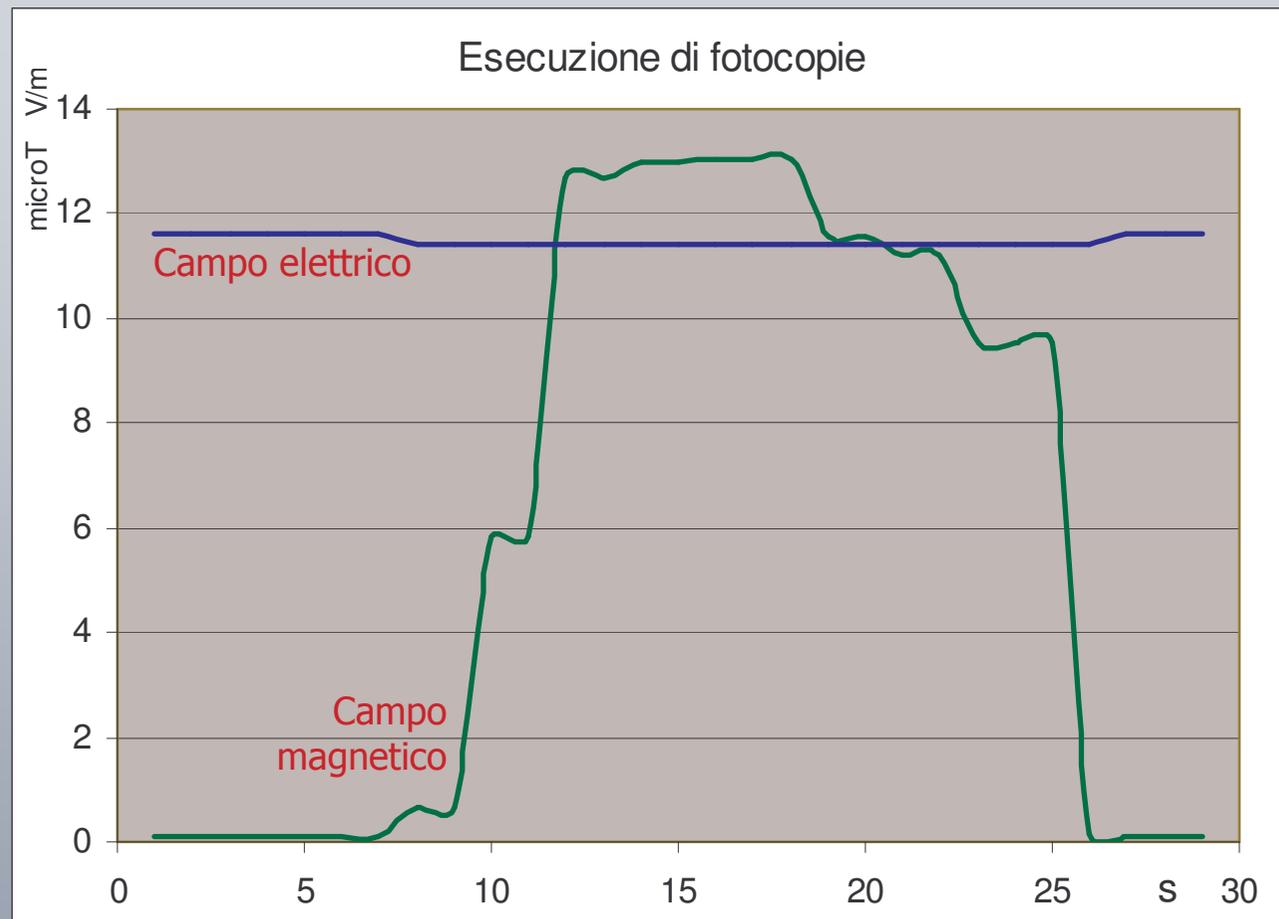
$$B = \frac{\mu_0 i}{4\pi} \int \frac{dl}{r^2}$$

Corrente \longrightarrow Campo magnetico

Attorno a un
un campo e
Un'antenna
Se una ca



Fotocopiatrice

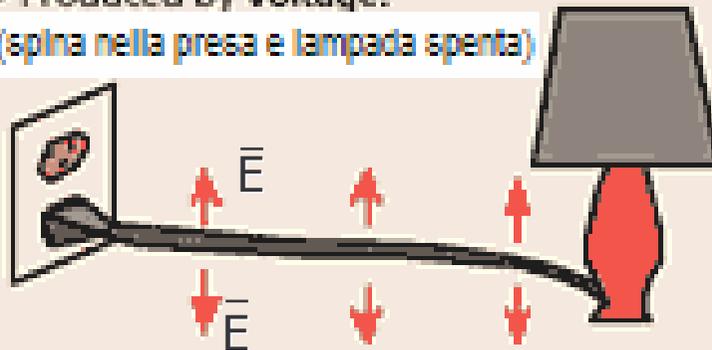


Il campo elettrico rimane praticamente costante.
Il campo magnetico segue l'assorbimento di corrente

Origine dei campi

Electric Fields

- Produced by voltage.
(spina nella presa e lampada spenta)

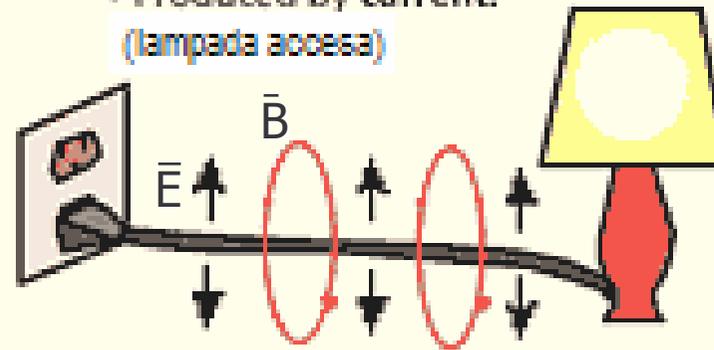


Lamp plugged in but turned off.
Voltage produces an electric field.

- Measured in volts per meter (V/m) or in kilovolts per meter (kV/m).
- Easily shielded (weakened) by conducting objects such as trees and buildings.
- Strength decreases rapidly with increasing distance from the source.

Magnetic Fields

- Produced by current.
(lampada accesa)



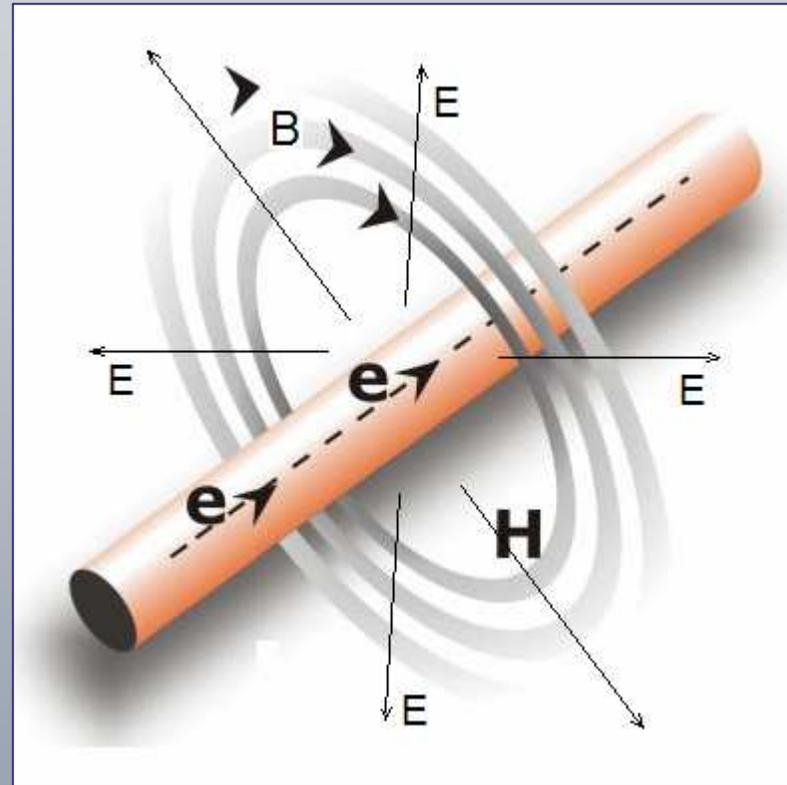
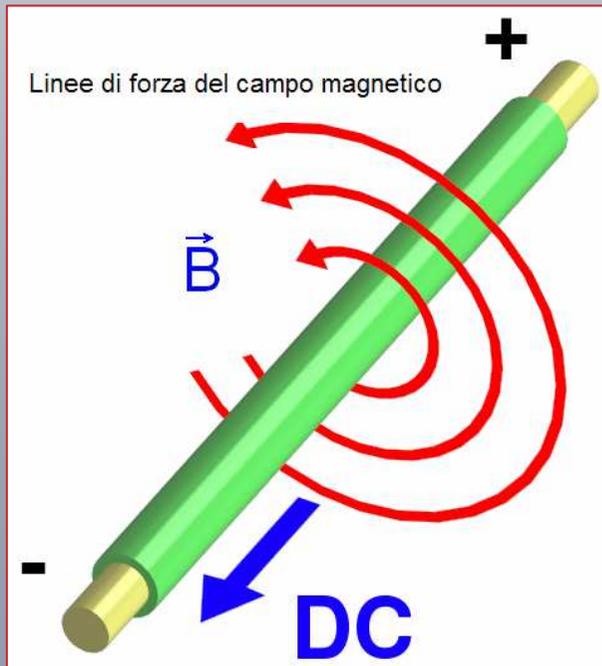
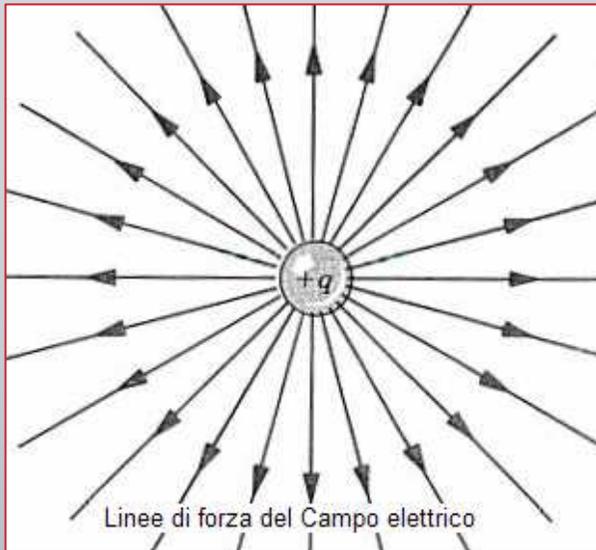
Lamp plugged in and turned on. Current now produces a magnetic field also.

- Measured in tesla (T) or gauss (G).
- Not easily shielded (weakened) by most material.
- Strength decreases rapidly with increasing distance from the source.

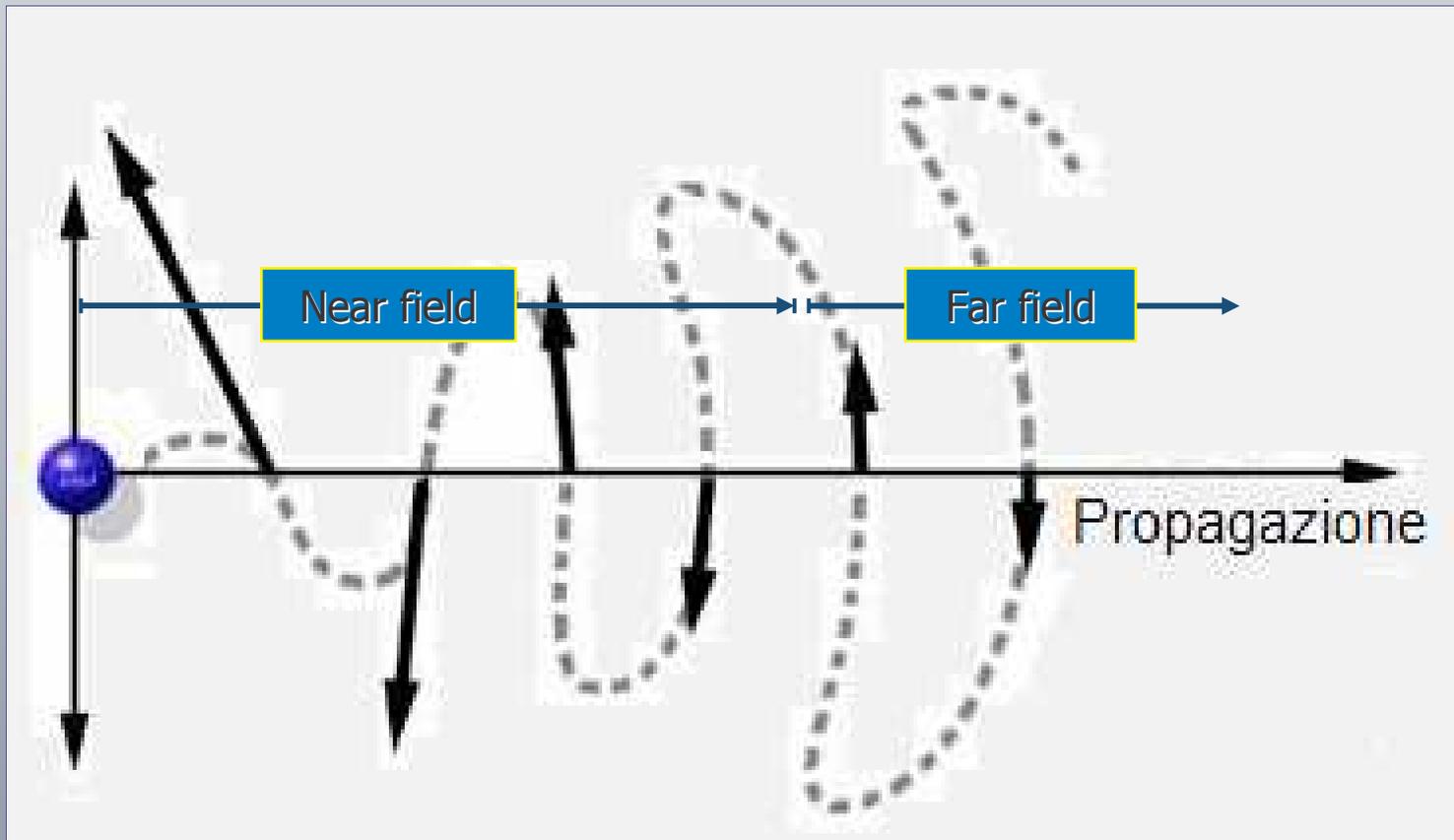
Il campo elettrico dipende dalla tensione: è **costante**.

Il campo magnetico dipende dall'intensità di corrente: **non è costante**.





Onda e fronte d'onda



$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial \tau^2} = c^2 \cdot \nabla^2 \Phi$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$



Campo vicino e Campo lontano

Dal potenziale magnetico vettore

$$A = \frac{\mu}{4\pi} \bar{M} \frac{e^{-\sigma r}}{r} = \frac{\mu}{4\pi} \int_V J_i \frac{e^{-\sigma r}}{r} dV$$

...

Campo vicino: $r \ll \lambda$

$$H = \frac{M}{4\pi r^2} \hat{\vartheta} \sin \vartheta \hat{\varphi}$$

$$E = \frac{1}{j\omega\epsilon} \frac{\mu}{4\pi} \left(\frac{1}{r^3} \cos \vartheta \hat{r} + \frac{1}{r^3} \sin \vartheta \hat{\varphi} \right)$$

Campo lontano: $r \gg \lambda$

$$E = j\mu \frac{M}{2\lambda} \frac{e^{-j\beta r}}{r} \sin \vartheta \hat{\vartheta}$$

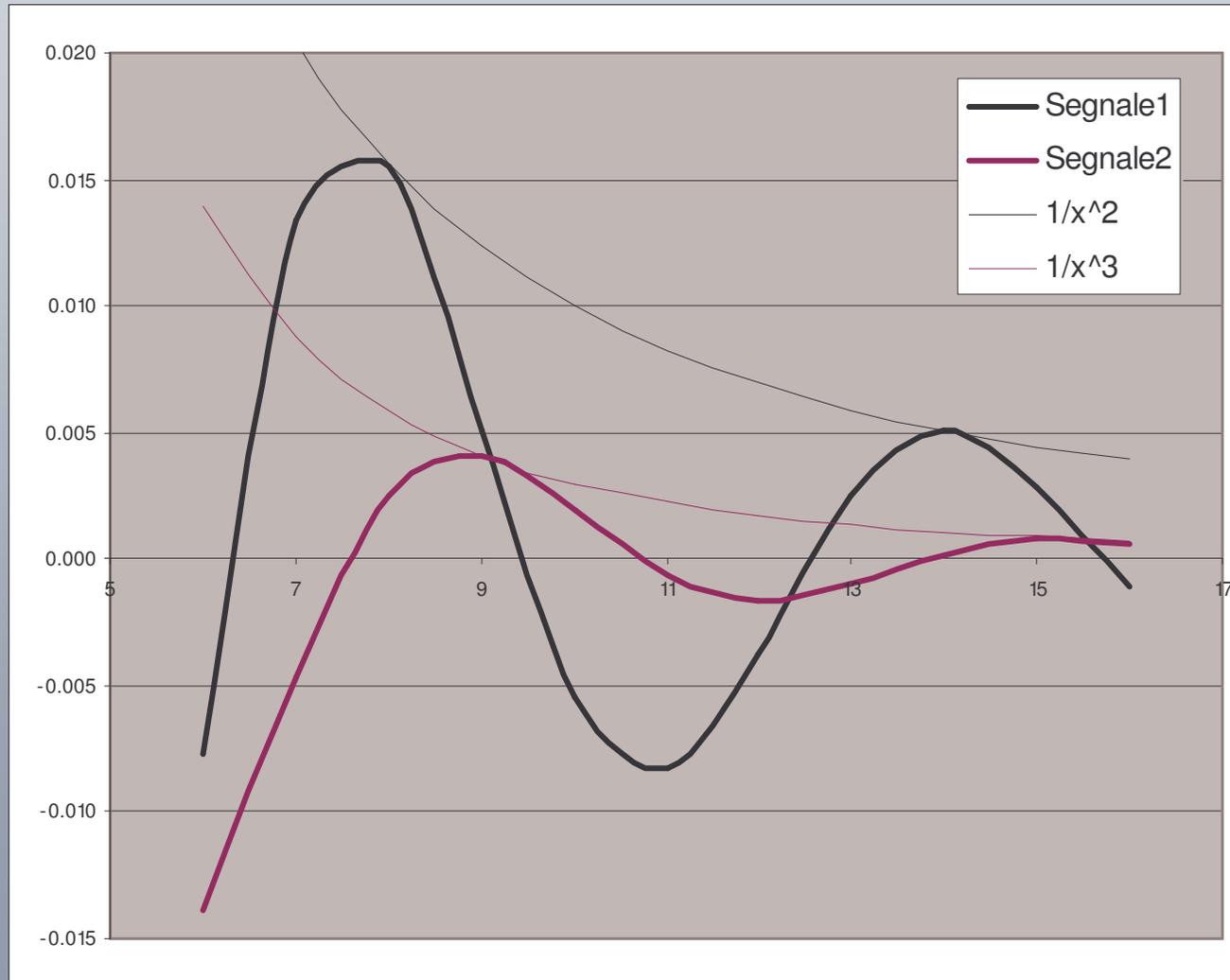
$$H = j \frac{M}{2\lambda} \frac{e^{-j\beta r}}{r} \sin \vartheta \hat{\varphi}$$

$$\frac{E}{H} = 377 \Omega$$

Misure separate per \bar{E} e \bar{B} nel punto.



Campo vicino



Campo vicino – Campo lontano

Frequenza	Lunghezza d'onda	Campo vicino ($\lambda \leftrightarrow d^2/\lambda$)
50 Hz	6 000 km	<i>Sempre campo vicino</i>
100 MHz	3 m	10 m
900 MHz	40 cm	40 cm (telefonino)
		5 m (Stazione radio base)
1 GHz	30 cm	1 m



Meccanismi di possibile interazione

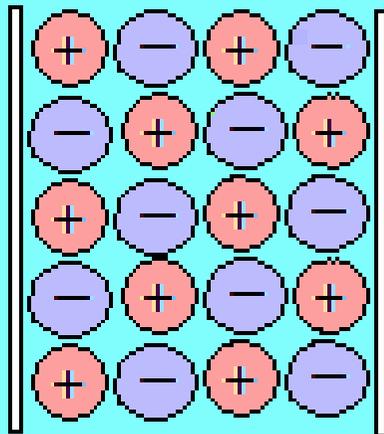


Polarizzazione della carica spaziale

Campo elettrico

$$\vec{E} = 0$$

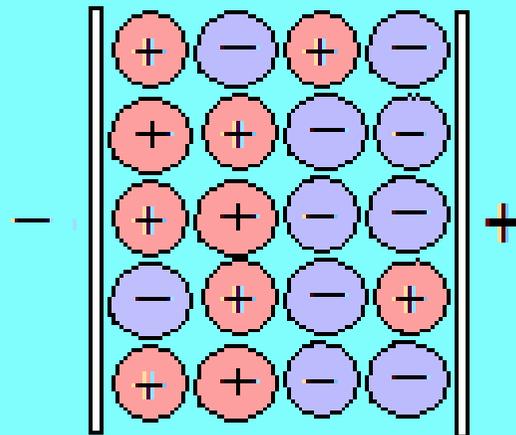
(assente)



Campo elettrico

$$\vec{E} \neq 0$$

(presente)



Meccanismi di interazione

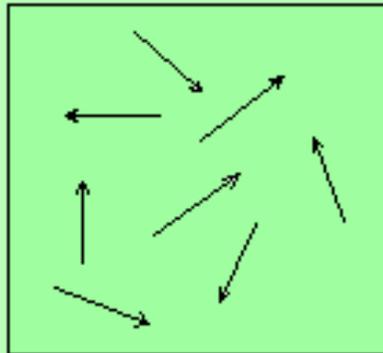
La polarizzazione di carica spaziale è dovuta alla presenza di ostacoli (quali membrane isolanti, barriere di potenziale) che si oppongono al libero fluire dei portatori di carica all'interno del materiale.



Polarizzazione per orientamento

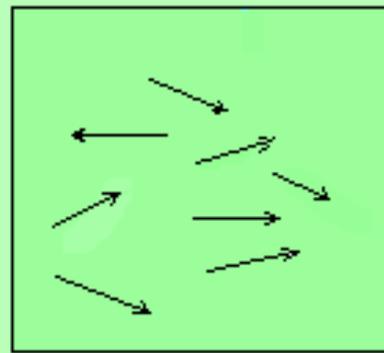
Campo elettrico

$\vec{E} = 0$
(assente)



Campo elettrico

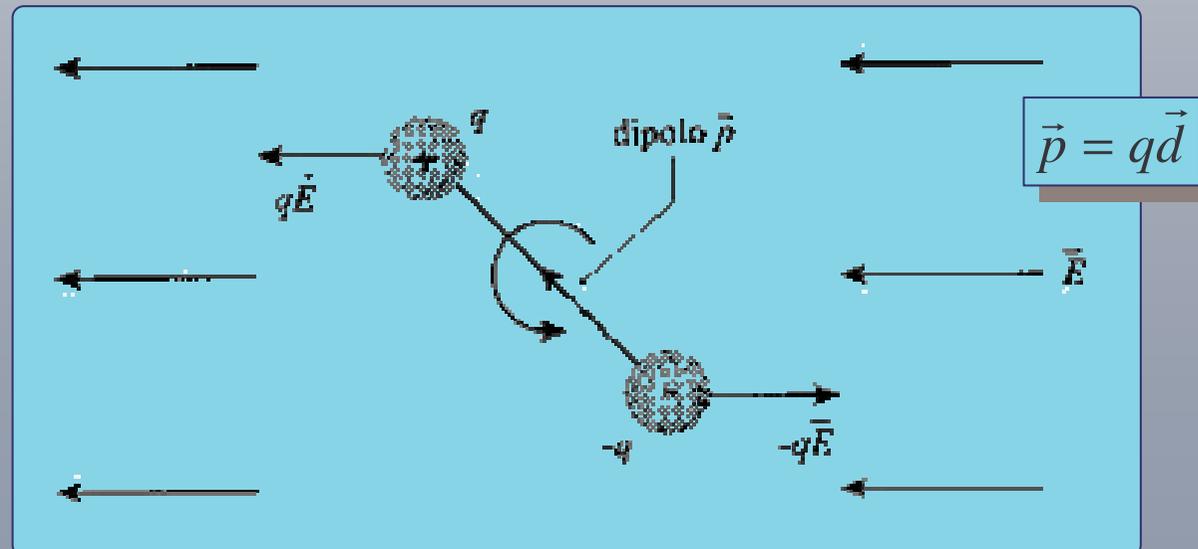
$\vec{E} \neq 0$
(presente)



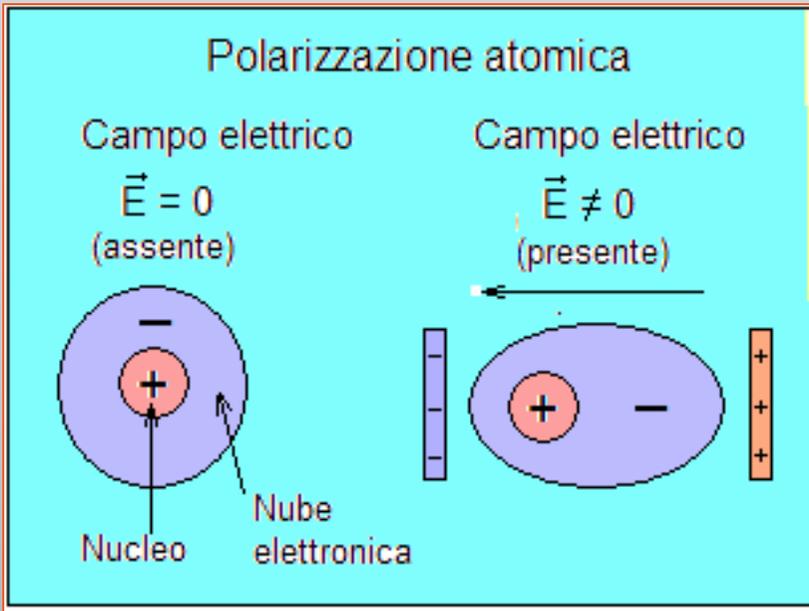
Meccanismi di interazione

In presenza di campo elettrico i dipoli tendono a disporsi paralleli ad esso

*Molecole
d'acqua,
aminoacidi,
zuccheri,
proteine ...*



Polarizzazione atomica

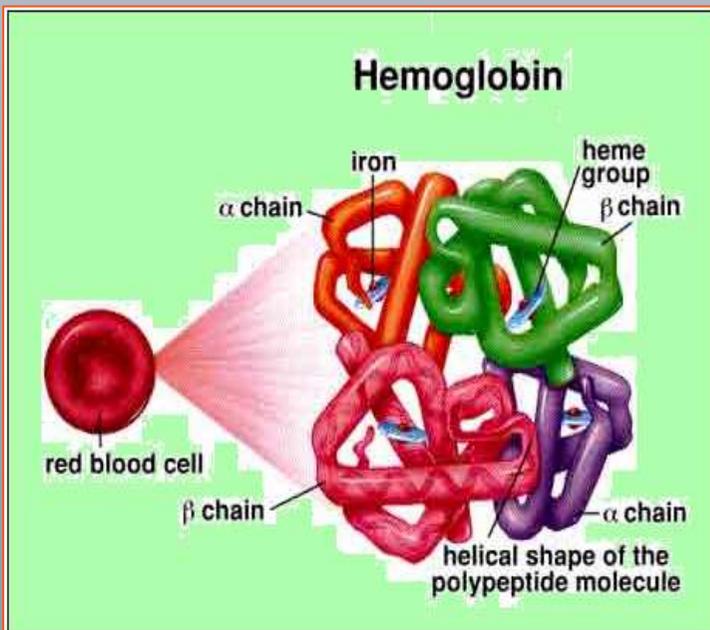


H^+ ,
 OH^- ,
 Na^+ ,
 K^+ ,
 Cl^- ,
 P^+ ,
 Ca^{++} ...

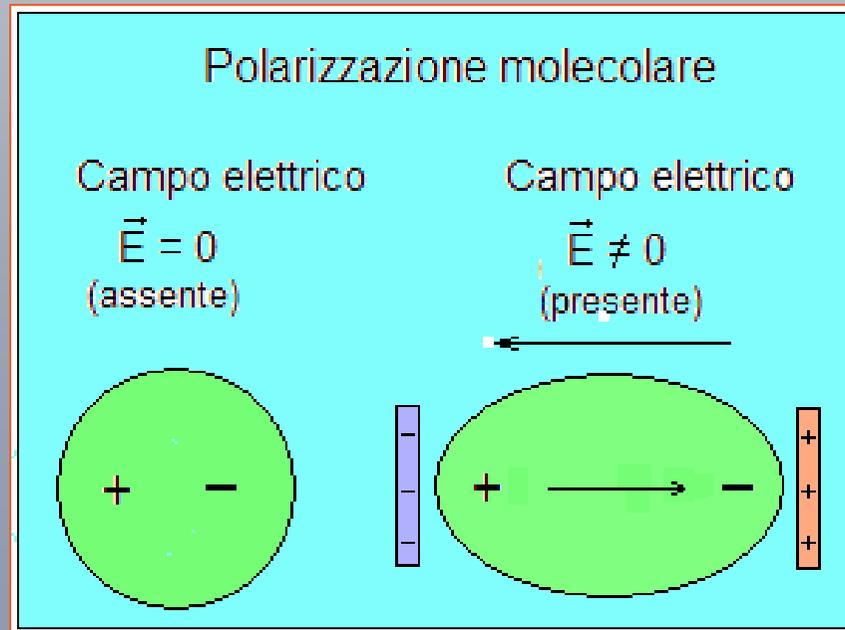
Meccanismi di interazione

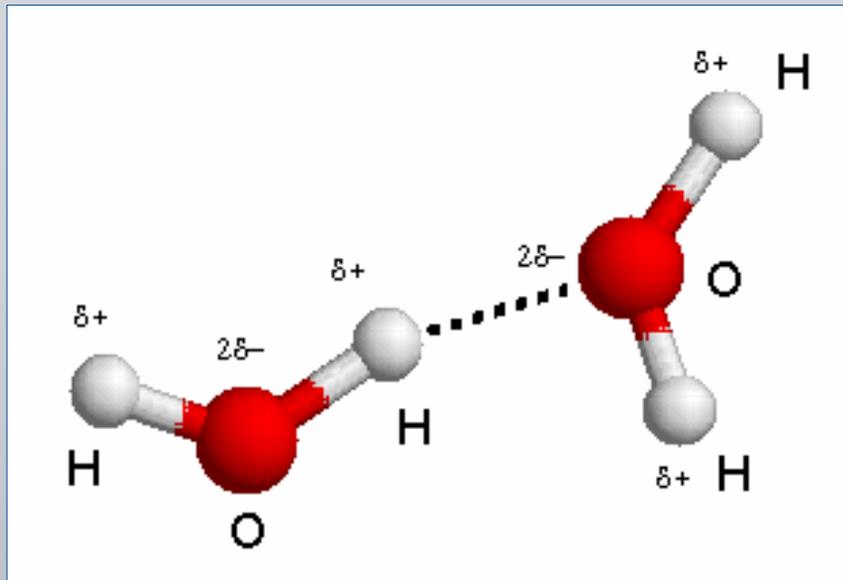
$$\vec{P} = \epsilon_0 \chi \vec{E}$$

Hemoglobin

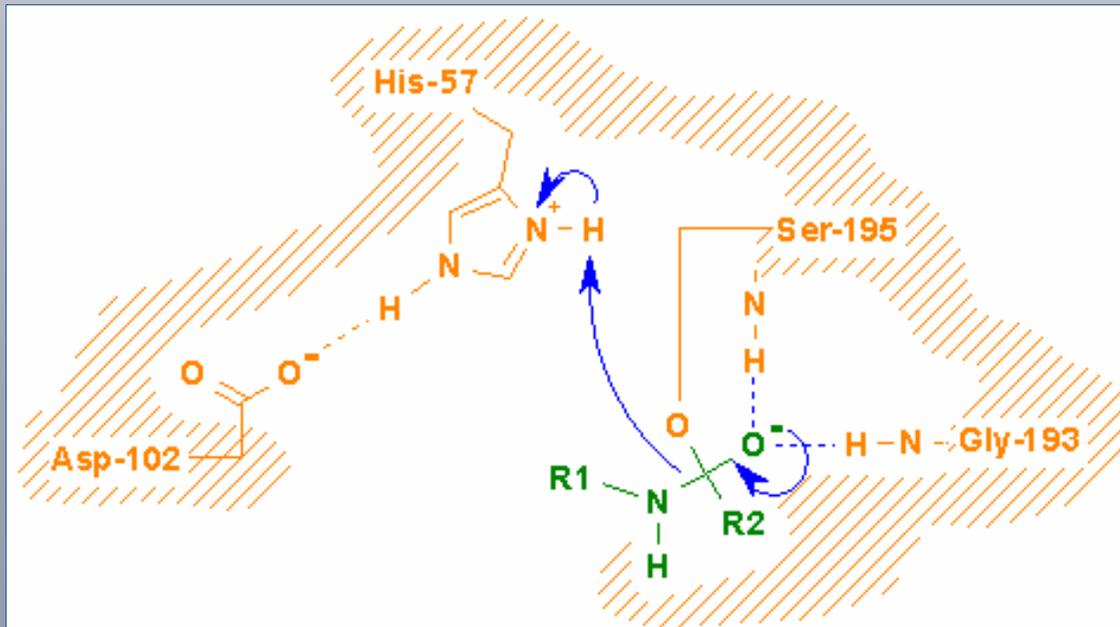


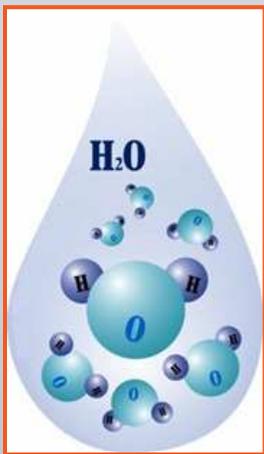
Polarizzazione molecolare





Meccanismi di interazione





Polarizzazione molecolare

Campo elettrico
 $\vec{E} = 0$
(assente)

Campo elettrico
 $\vec{E} \neq 0$
(presente)

Microonde: il forno

Molecola
d'acqua

Allineamento della molecola polare dell'acqua in un campo elettrico alternato

Direzione di
propagazione
dell'onda →

Andamento del campo elettrico alternato

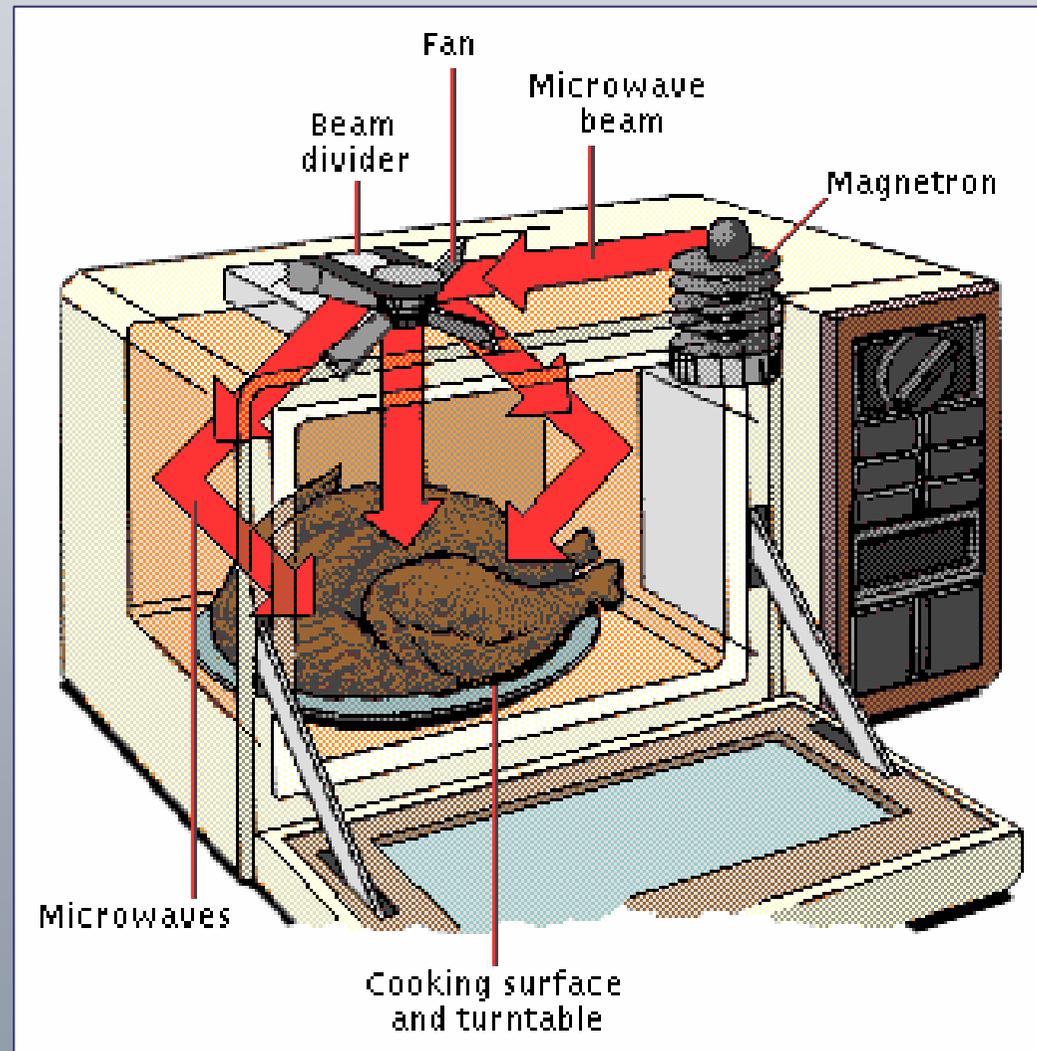


Forno a microonde

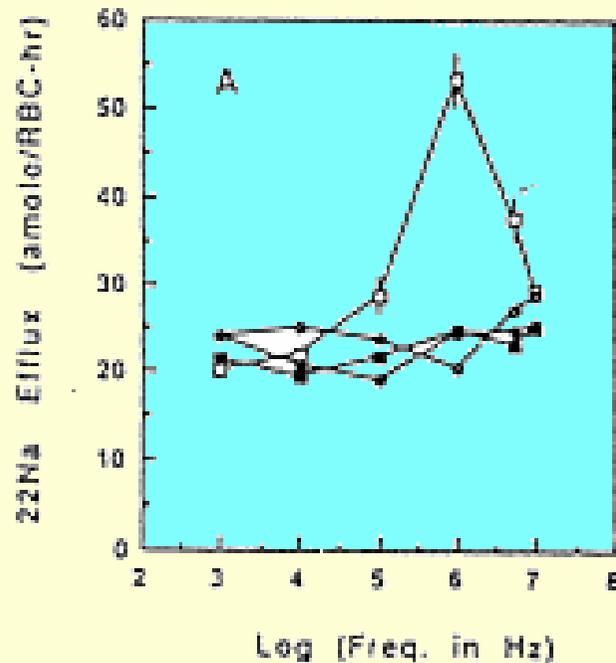
In questo range
diventa prevalente
l'assorbimento di
energia nei tessuti
attraverso il rapido
movimento
oscillatorio di
molecole di acqua

(SAR, W/kg)

[$\lambda = 1 \text{ mm} \div 1 \text{ dm}$]



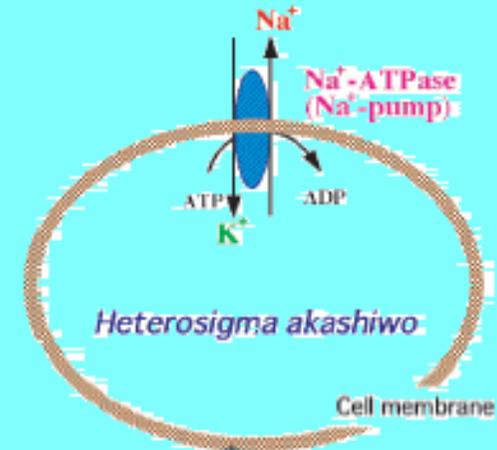
Membrane



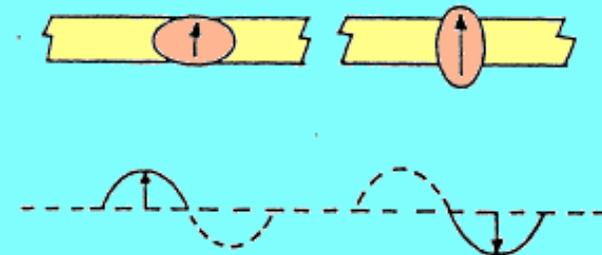
Sodio

I quadretti aperti mostrano l'effetto di campi elettromagnetici sul movimento del sodio (*una pompa più veloce*).

I quadretti pieni rappresentano controlli.



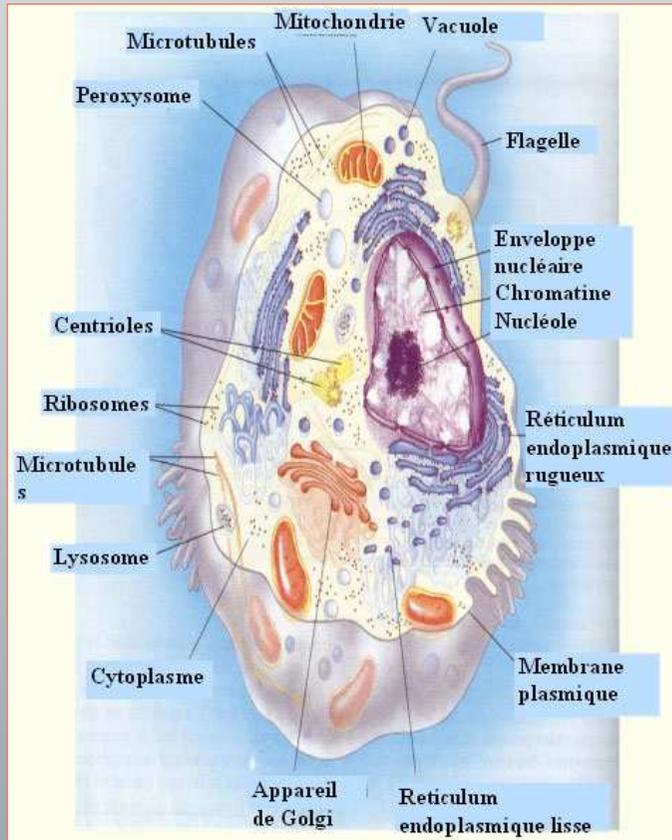
Modello di trasporto attraverso la membrana cellulare



Un campo elettrico sinusoidale potrebbe cambiare la forma di una proteina nella membrana cellulare



Cellule e ioni (concentrazioni)

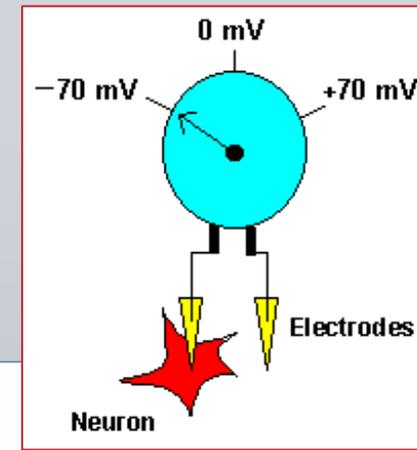
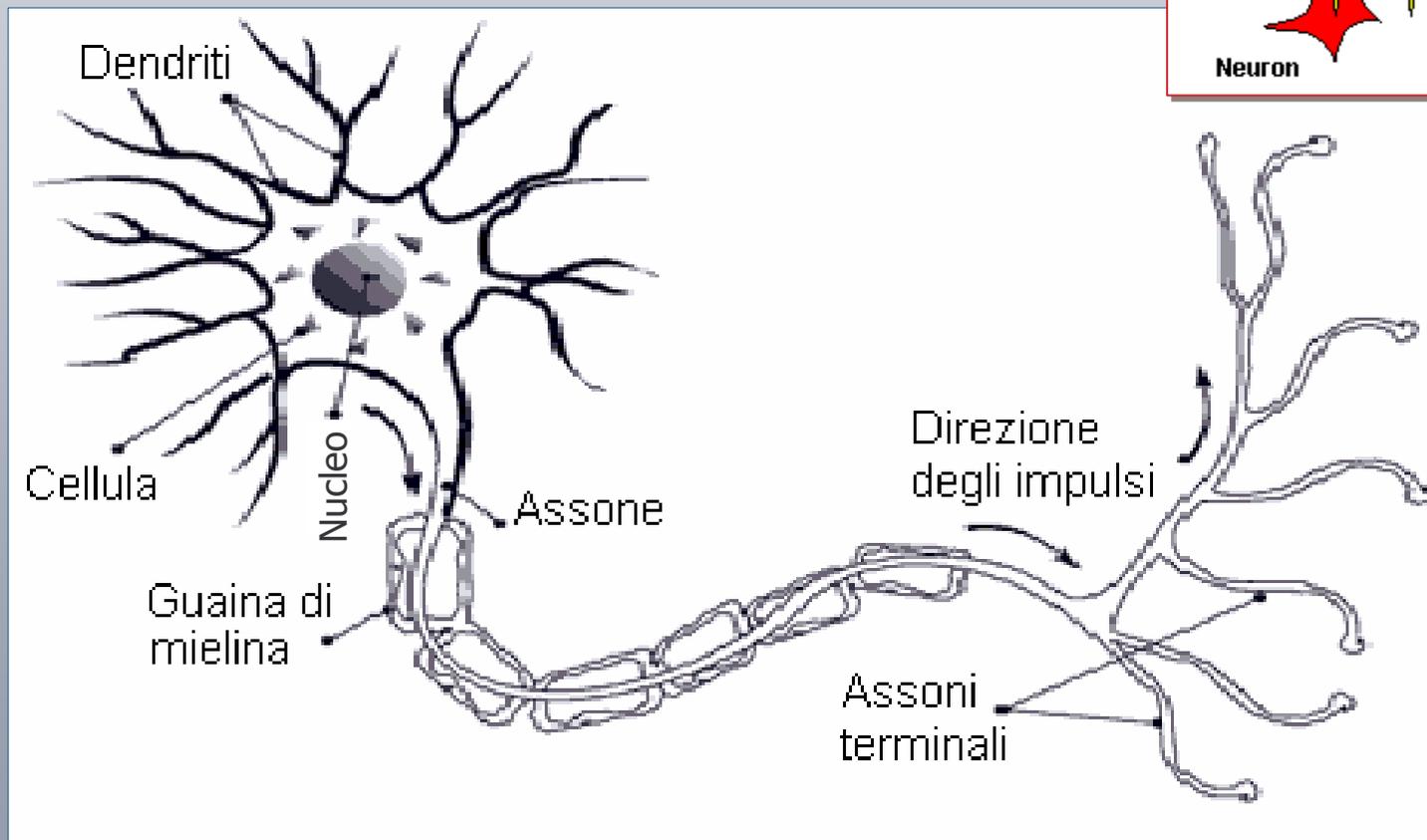


Concentrazione di ioni nelle cellule

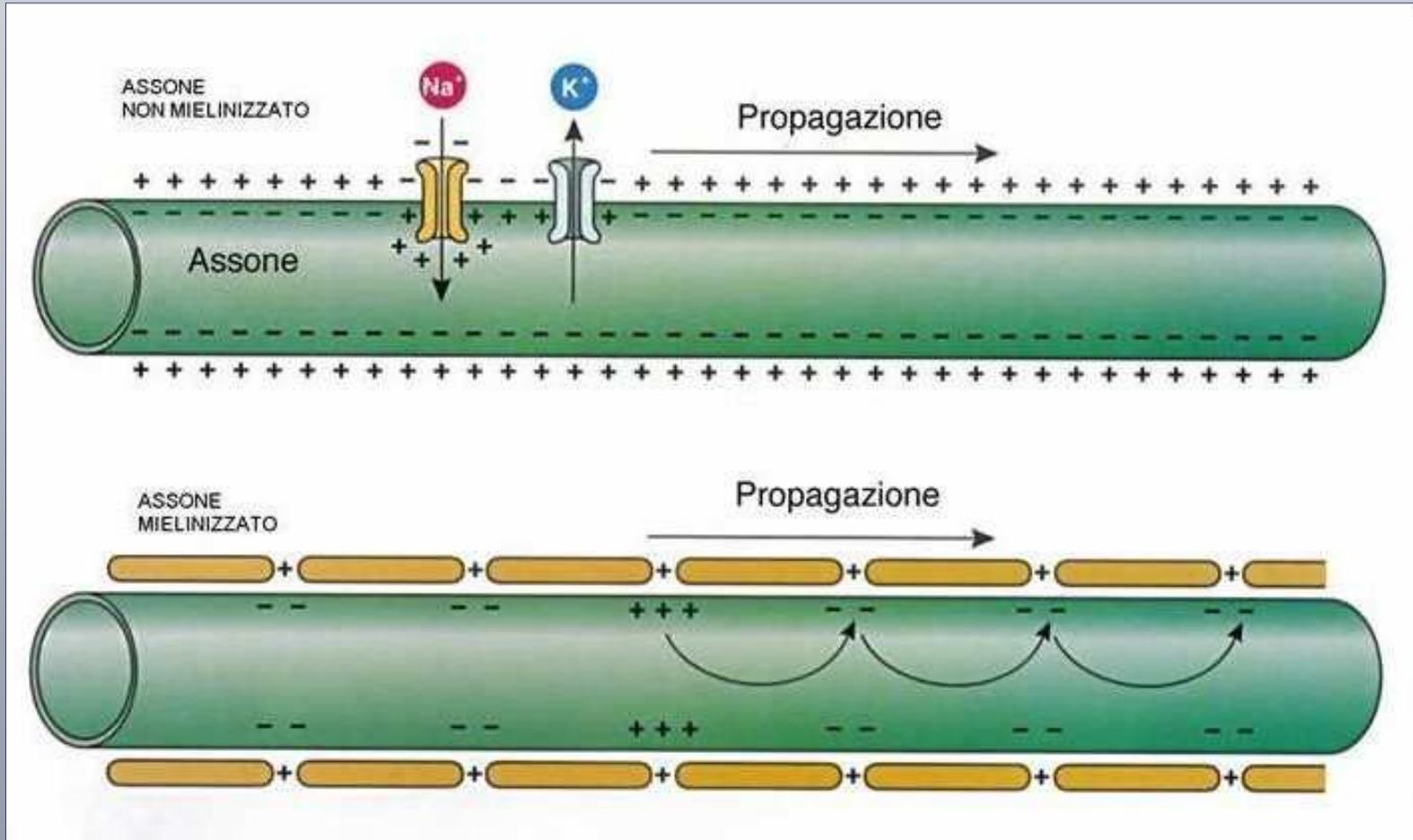
Ione	Dentro (mM)	Fuori (mM)
Na ⁺	5 - 15	145
K ⁺	140	5
Mg ²⁺	30	1 - 2
Ca ²⁺	1 - 2	2.5 - 5
H ⁺	4×10 ⁻⁵	4×10 ⁻⁵
Cl ⁻	4	110



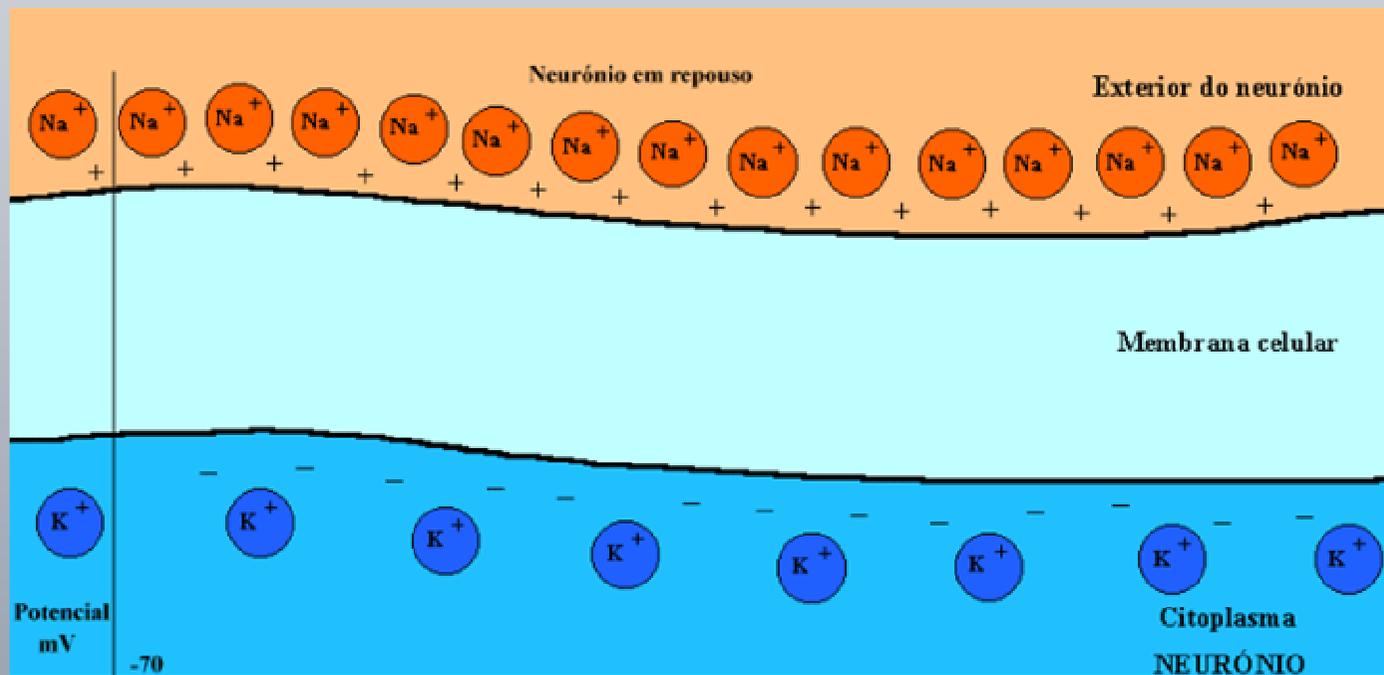
Trasmissione nervosa



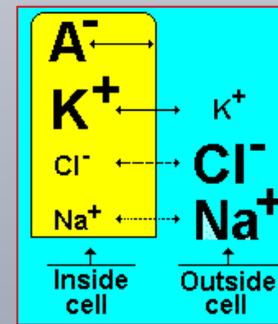
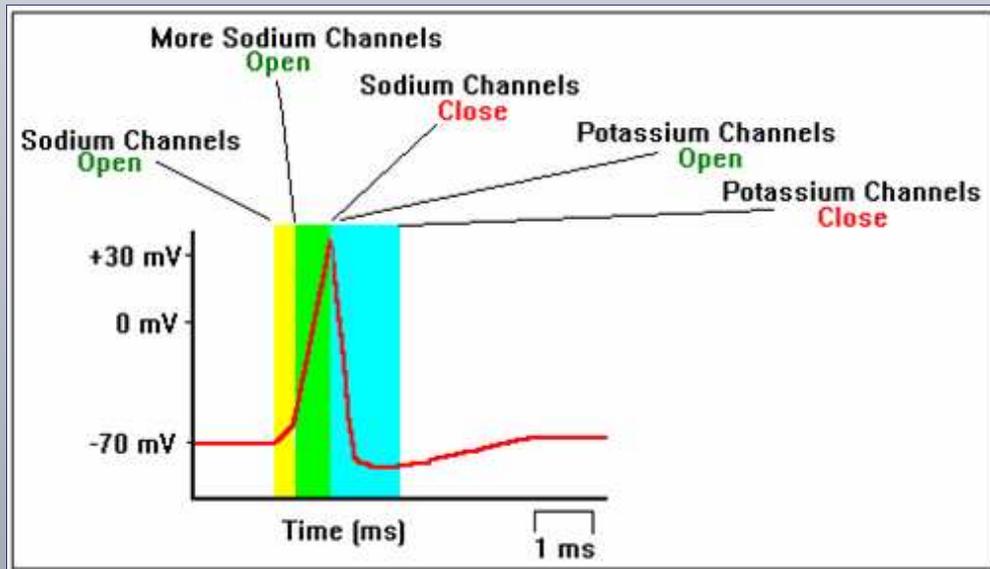
Trasmissione nervosa



Trasmissione nervosa



Trasmissione nervosa



Potenziale d'azione:
è una variazione del potenziale di membrana che si propaga lungo la membrana di cellule eccitabili.

Meccanismi di interazione

Le forze elettromagnetiche possono indurre:

- **spostamenti** di cariche libere (ioni) dalla loro posizione non perturbata;
- **vibrazioni** in cariche legate (elettroni in un atomo), atomi entro molecole);
- **rotazioni** di molecole dipolari, (soprattutto molecole di acqua);
- **riorientazioni** di molecole dipolari
- **spostamento** o **rotazioni** di cellule.



Sulla possibilità di interazione

Fenomeno	Energia di attivazione (eV)	Frequenza corrispondente (Hz)
Rottura del legame idrogeno	0.08 - 0.2	$2.3 \cdot 10^{13}$ - $4.8 \cdot 10^{13}$ Infrarossi
Cambio reversibile di conformazione delle proteine	0.4	10^{13} Infrarossi
Rottura del legame covalente	5	$1.2 \cdot 10^{13}$ Ultravioletto
Ionizzazione	≈ 12 (13,7 H)	$2.4 \cdot 10^{15}$ Ultravioletto
Visibile estremo	$1.2 \cdot 10^{-3}$	$300 \cdot 10^9$

$$E = h\nu$$



Interazioni sul corpo umano basse frequenze



Meccanismi macroscopici di interazione

Frequenze
molto basse
(ELF)

induzione di correnti elettriche

Frequenze
più alte
(RF/MW)

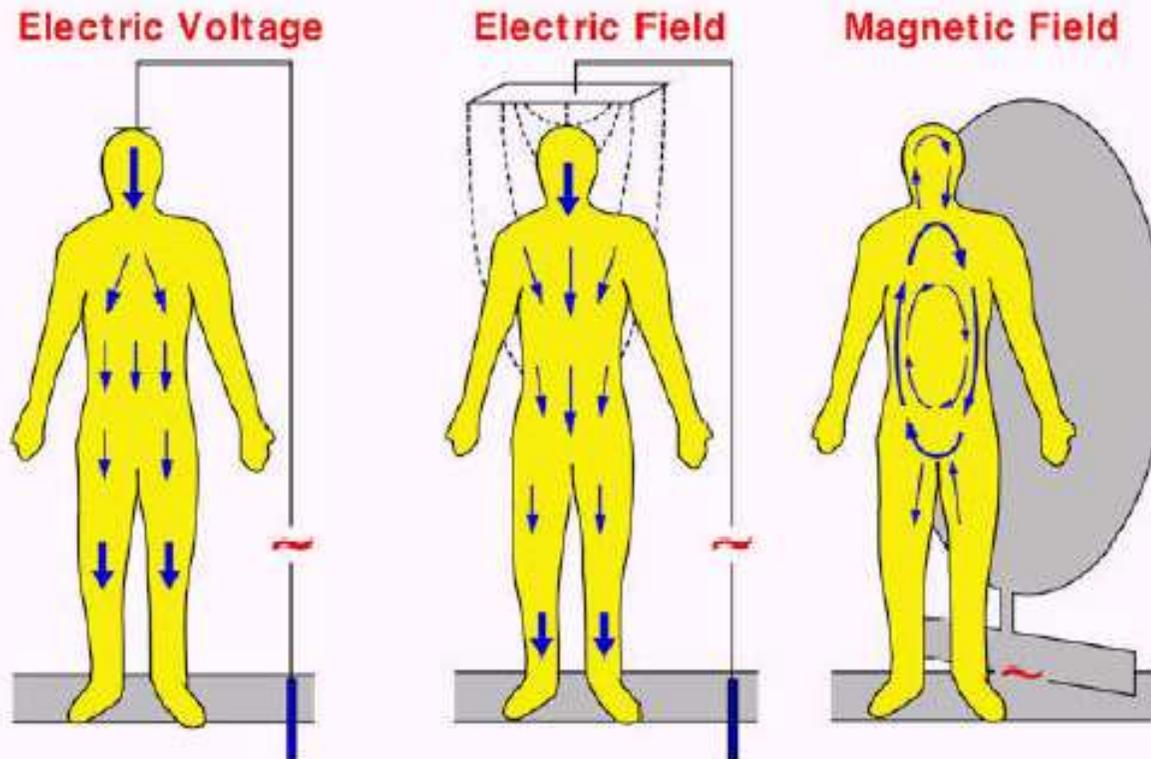
assorbimento di energia



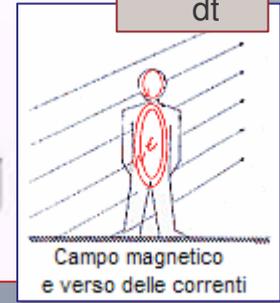
Fino ad **1 MHz** prevale
l'induzione di correnti elettriche
nei tessuti elettricamente stimolabili
(**nervi e muscoli**)

Induzione di correnti

THE PHYSICAL MECHANISM: INDUCTION OF ELECTRIC CURRENTS



$$i \propto \frac{d\Phi(\vec{B})}{dt}$$



Critero per la protezione: mantenere le correnti indotte
< 10 mA/m² per i lavoratori e < 2 mA/m² per la popolazione.



Principali effetti biologici nell'induzione di corrente nell'intervallo di frequenza 1- 300 Hz

Densità di corrente (mA/m ²)	Effetti
> 1000	Extrasistole e fibrillazione ventricolare (rischi per la salute ben determinati)
100-1000	Stimolazione dei tessuti eccitabili (possibili rischi per la salute)
10-100	Possibili effetti sul sistema nervoso
1-10	Effetti non dimostrati

**Limite
IGNIRP**

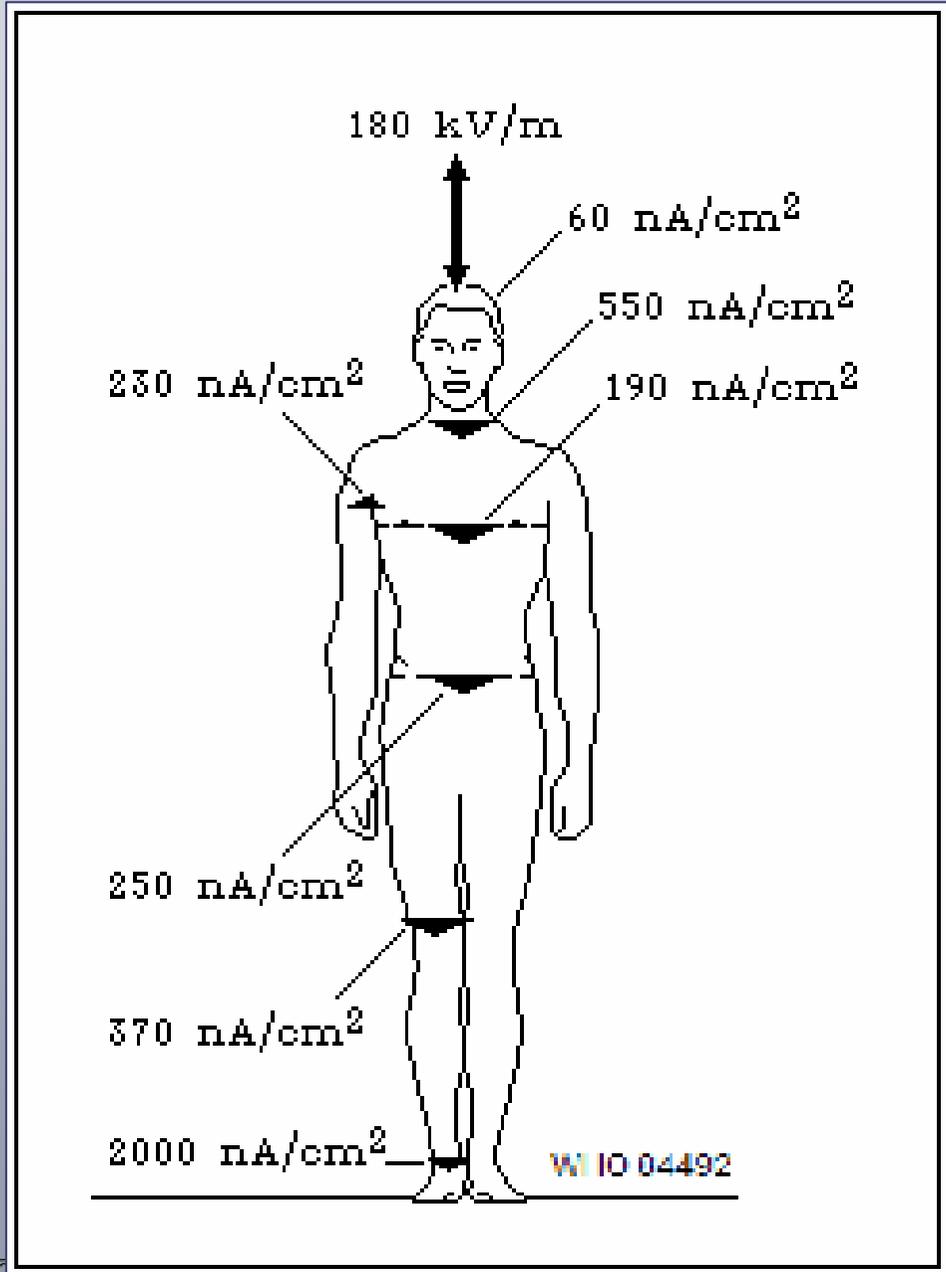
Si tratta di effetti a soglia: perché si verifichi la stimolazione la densità di corrente elettrica deve essere maggiore di un determinato valore. Questo permette di fissare limiti di esposizione finalizzati alla totale prevenzione di questi effetti



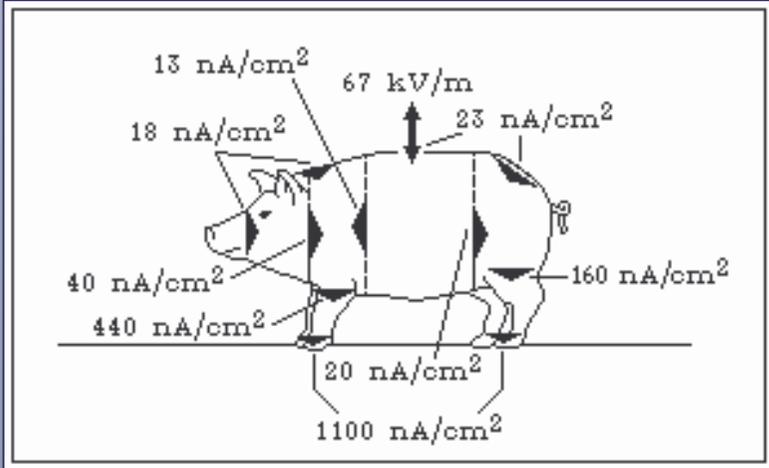
Campo magnetico a 50 Hz

<i>Effetto</i>	μT	<i>Conseguenze</i>
Riscaldamento dei tessuti	1.600.000	Gravissime
Induzione di extrasistole rischio di (fibrillazione)	130.000	Gravissime
Percezione sensoriale	16.000	Gravi
Limite ICNIRP per popolazione (e legislazione italiana)	100	Non accertate
Rumore elettrofisiologico	centinaia	Non accertate



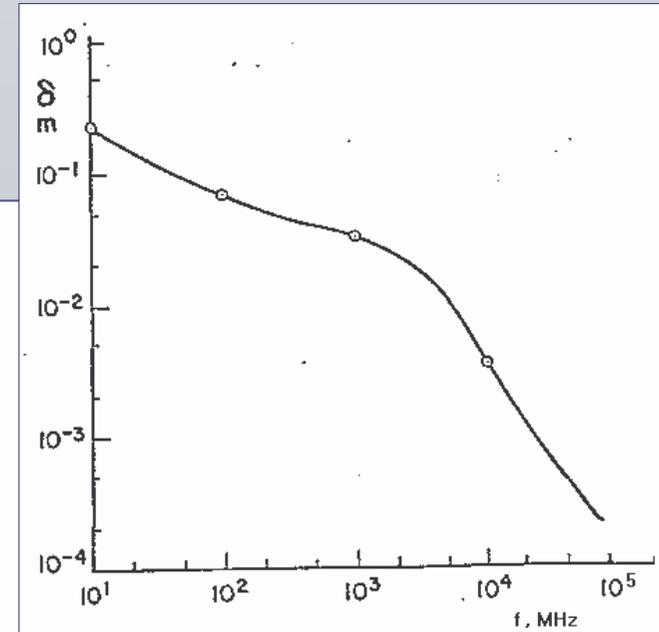
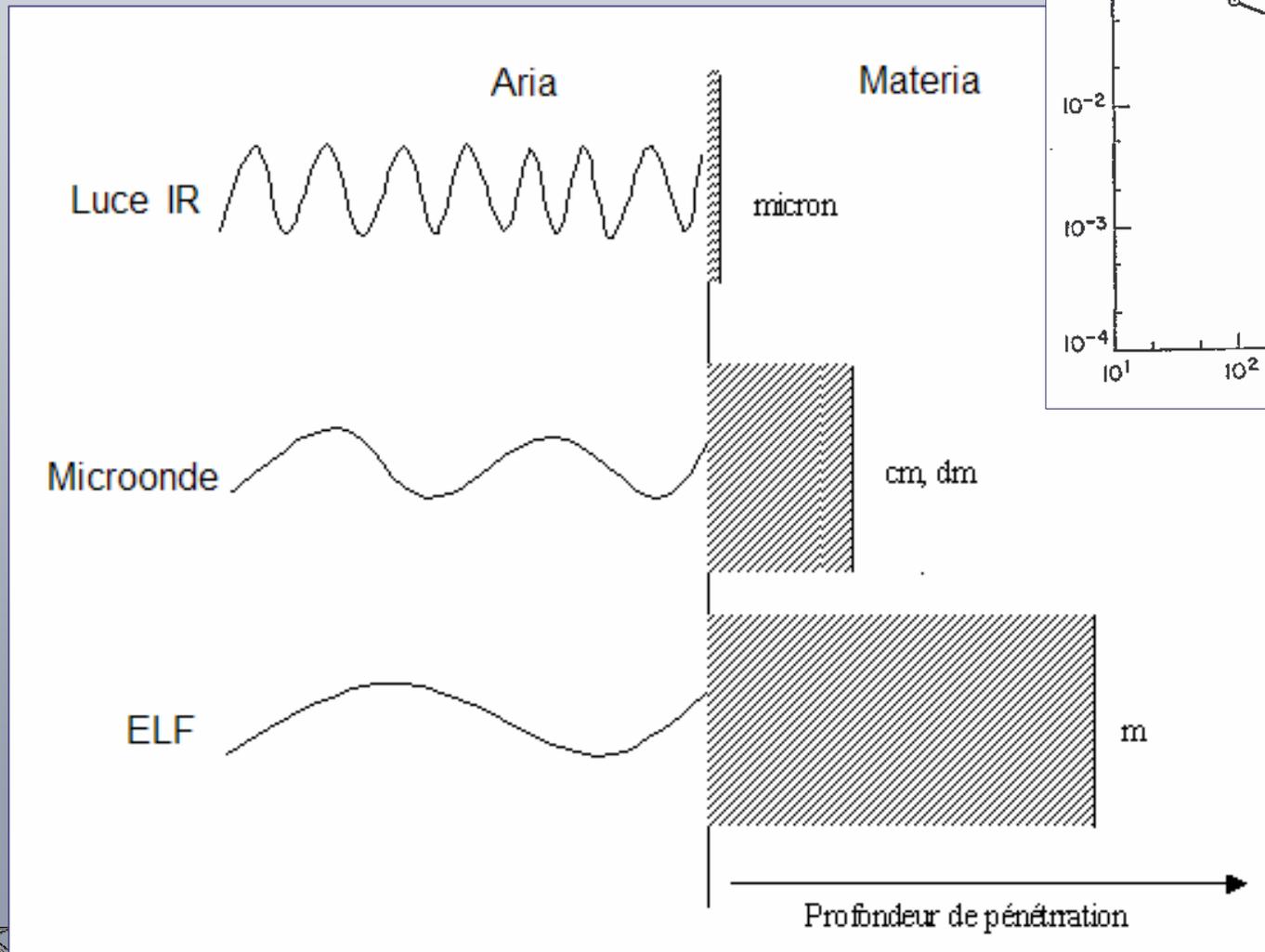


Densità di correnti indotte

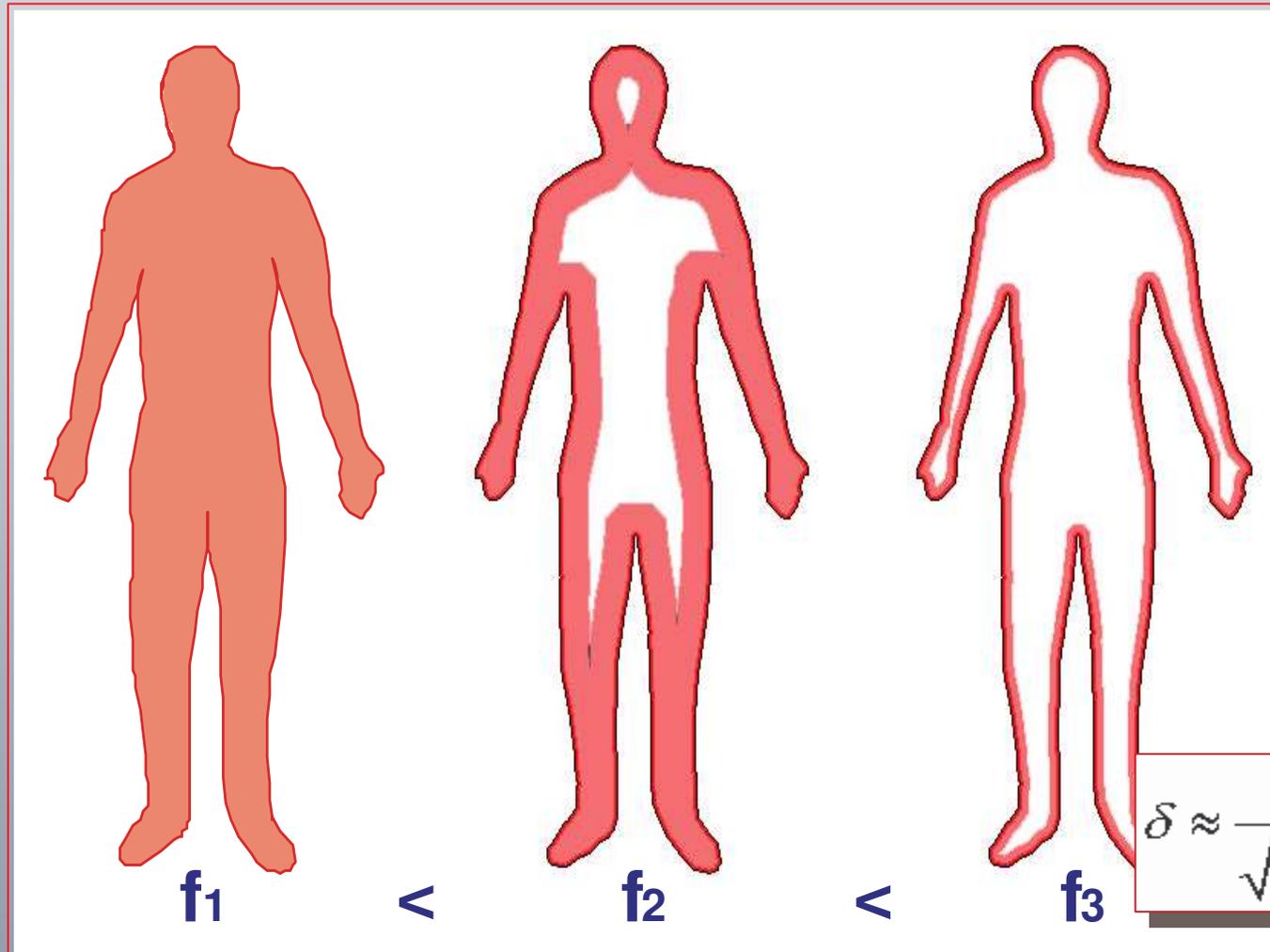


Interazioni sul corpo umano alte frequenze





Profondità di penetrazione



The antenna of a cellular telephone emits radio frequency electromagnetic fields that can penetrate 4 – 6 cm into the human brain.

Dimbylow PJ Mann SM. SAR calculation in an anatomically realistic model of the head ... for 900 MHz and 1.8 GHz. Phys Med Biol 1994;39:1537-44



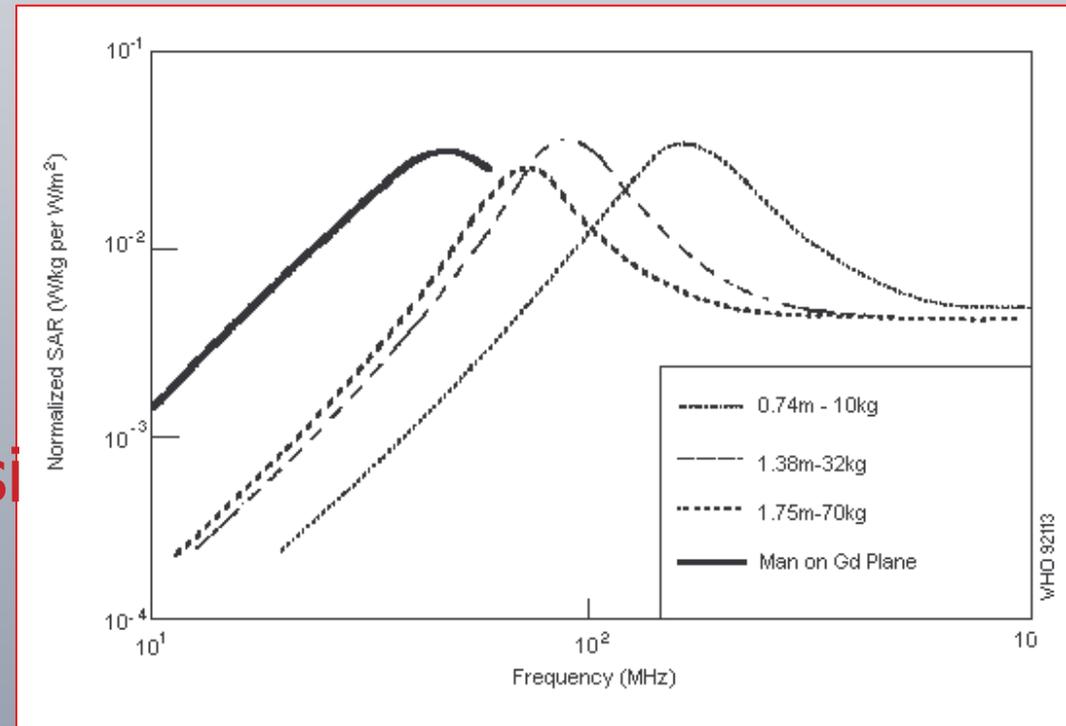
II SAR

Assorbimento specifico di energia

□ Fornisce la potenza assorbita da un corpo e dà quindi un'idea della sollecitazione termica a cui l'organismo è sottoposto;

□ E' un parametro importante, in quanto si può misurare sperimentalmente.

□ definito oltre i 10 MHz



$$SAR = \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{dW}{\rho dV} \right) \quad (W / k)$$



SAR e induzione di effetti biologici nocivi

SAR	Effetti
100 W/kg (medio)	Ipertermia generalizzata, insufficienza dei meccanismi termoregolatori
100 W/kg (locale)	Rapida induzione di cataratta nell'animale
10 - 100 W/kg (medio)	Ipertermia generalizzata o localizzata, risposta termoregolatoria di grado variabile; Inibizione temporanea o permanente della spermatogenesi; Induzione di aborto e malformazioni fetali; risposte neuroendocrine ed immunologiche collegate allo stress termico
1 - 4 W/kg (medio)	Soglia di induzione di effetti comportamentali e di risposte fisiologiche collegate a stress nell'animale

Meccanismi macroscopici di interazione

ELF	RF
Passano attraverso il corpo	Penetrano solo entro un piccolo spessore di tessuto
Inducono la circolazione di correnti elettriche nel corpo. A livelli di esposizione a campi pari a quelli che si riscontrano normalmente nel nostro ambiente l'intensità è minore di quella delle correnti prodotte naturalmente all'interno del corpo	Provocano un aumento della temperatura superficiale del corpo. La penetrazione diminuisce al crescere della frequenza



Sull'epidemiologia



Scopo e metodo

- L'epidemiologia studia la distribuzione ed i determinanti dello stato di salute nelle **popolazioni**: intende identificare **relazioni tra esposizioni ad agenti** (fisici, chimici, biologici) **ed effetti sulla salute**.
- Vengono impiegati studi osservazionali in cui **l'esposizione viene "vissuta" (non assegnata)**.
- Per motivi etici l'epidemiologia analitica non può basarsi su esperimenti poiché l'assegnazione del livello di trattamento sarebbe sotto il controllo dello sperimentatore.



Effetti a lungo termine

Si è diffuso un timore molto indefinito di cancerogenicità.
Ma i casi che lo hanno provocato sono solo due:

Linee elettriche:



Leucemia infantile

Telefonini:



Tumori al capo (cervello)



Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC - Istituzione specialistica dell'OMS): Promemoria N° 263 Ottobre 2001

Classificazione	Agente
Cancerogeno per l'uomo (normalmente in base ad una forte evidenza di cancerogenicità nell'uomo)	<ul style="list-style-type: none">- Asbesto- Iprite- Tabacco- Radiazione gamma
Probabilmente cancerogeno per l'uomo (normalmente in base ad una forte evidenza di cancerogenicità negli animali)	<ul style="list-style-type: none">- Gas di scarico dei motori diesel- Lampade solari- Radiazione UV- Formaldeide
Possibilmente cancerogeno per l'uomo (normalmente sulla base di una evidenza nell'uomo che è considerata credibile, ma per la quale non si possono escludere altre cause)	<ul style="list-style-type: none">- Caffé- Gas di scarico dei motori a benzina- Fumi di saldatura- Campi magnetici ELF



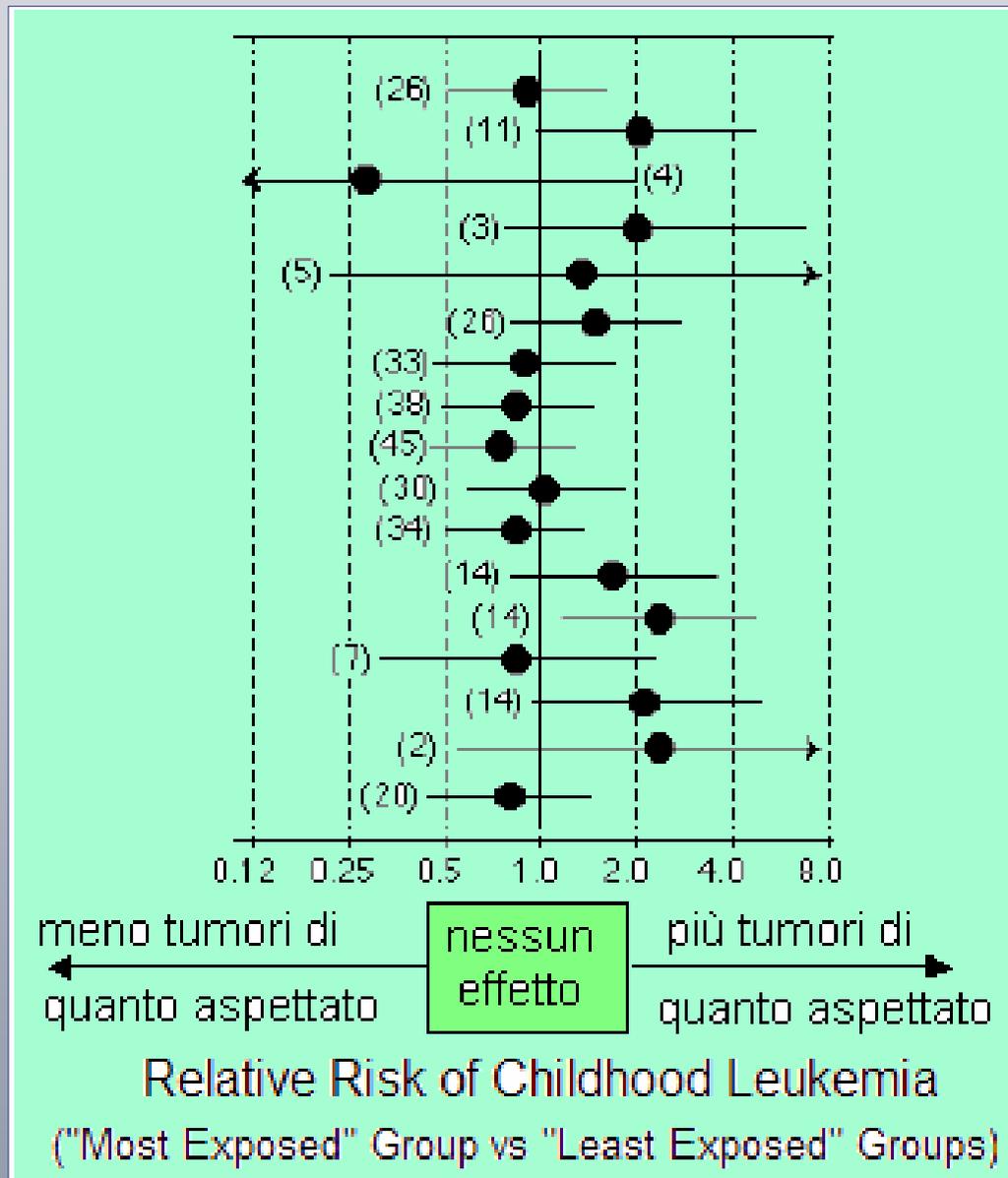
Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC - Istituzione specialistica dell'OMS): Promemoria N° 263 Ottobre 2001

I campi magnetici ELF sono stati classificati come possibilmente cancerogeni per l'uomo, sulla base degli studi epidemiologici relativi alla **leucemia infantile**.

Le evidenze scientifiche relative a **tutti gli altri tipi di tumori** nei bambini e negli adulti, nonché quelle relative ad altri tipi di esposizione (cioè a campi statici ed a campi elettrici ELF) sono stati considerati non classificabili, perché le informazioni scientifiche erano insufficienti o incoerenti.



50 Hz: studi sulla leucemia infantile



Wertheimer & Leeper [C1]

All 1980-1994 studies pooled

1995-1999 Studies

Very-high wire code [C35]

Measured average $\geq 0.4 \mu\text{T}$ [C35]

Calculated $\geq 0.145 \mu\text{T}$ before diagnosis [C33]

Measured average $\geq 0.2 \mu\text{T}$ [C34]

Very-high wire code [C43]

Very-high wire code at diagnosis [C44]

Very-high wire code 2 yrs pre-diagnosis [C44]

Measured average $\geq 0.27 \mu\text{T}$ [C44]

Calculated $\geq 0.27 \mu\text{T}$ 2 yrs pre-diagnosis [C44]

Calculated $\geq 0.27 \mu\text{T}$ life time [C44]

Personal monitor $\geq 0.27 \mu\text{T}$ [C44]

Interior measured average $\geq 0.15 \mu\text{T}$ [C45]

Exterior measured average $\geq 0.15 \mu\text{T}$ [C45]

Very-high wire code [C46]

Personal monitor $\geq 0.15 \mu\text{T}$ [C46]

Measured average $\geq 0.2 \mu\text{T}$ [C48]

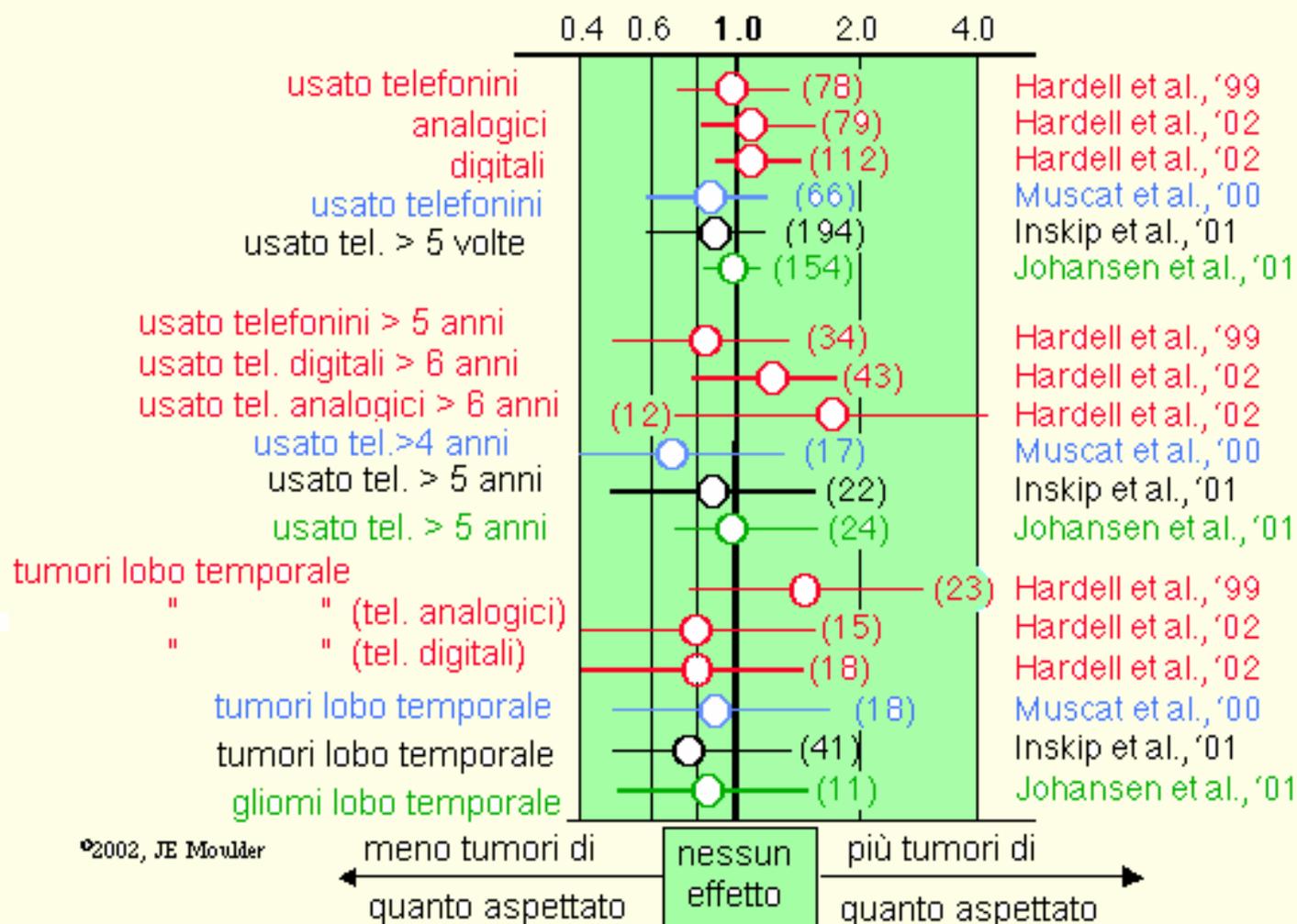
Measured average $\geq 0.2 \mu\text{T}$ [C49]

All 1995-1999 studies pooled

RISCHIO RELATIVO: parametro che indica quanto l'esposizione al campo magnetico renda più probabile l'insorgenza della patologia esaminata.



Rischio relativo di tumori maligni al cervello



MHz: Tumori cerebrali

RISCHIO RELATIVO: parametro che indica quanto l'esposizione al campo elettromagnetico renda più probabile l'insorgenza della patologia esaminata.



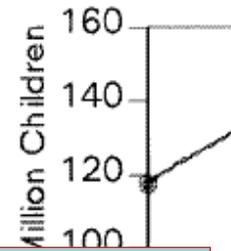
Fattori confondenti

- A causa del contesto ampio in cui deve avvenire l'osservazione, le misure possono essere influenzate da fattori di distorsione in maniera molto maggiore che nelle situazioni sperimentali.
- Una fonte di distorsione viene definito con *confondimento*:
- **Il confondimento è una situazione in cui un fattore diverso da quello in studio è responsabile, almeno in parte, dell'associazione osservata.**
- Quando è presente un fattore di confondimento, i dati grezzi mostrano un quadro non corretto della correlazione tra causa ed effetto.



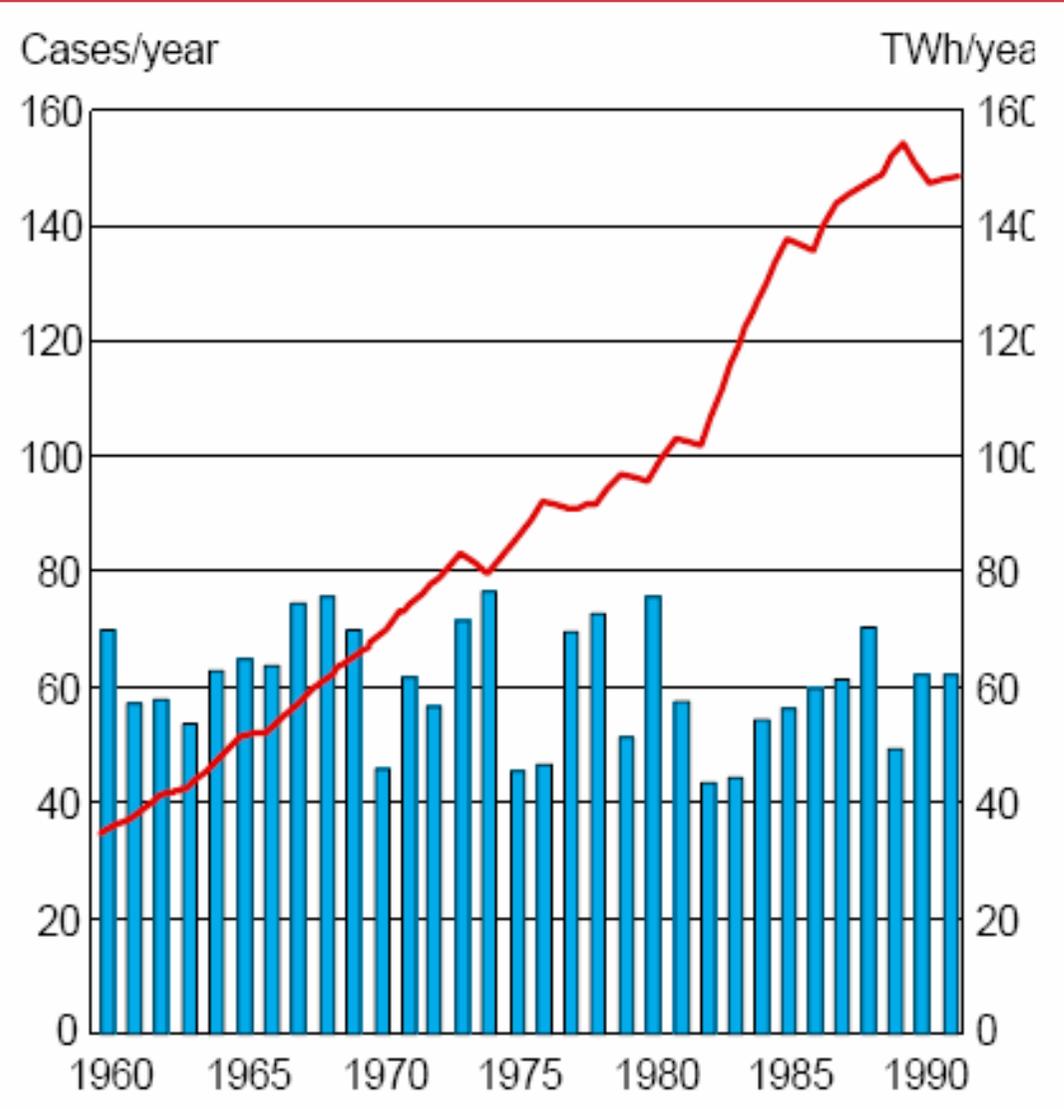
Sul confronto

R K Adair



Casi annui di leucemia (istogramma) e consumo di energia elettrica in Svezia (linea)

Figure 2. The increase in the number of children in Sweden from 1945 to 1990 along with the annual cases of leukemia and the consumption of electricity in Sweden.



Due esempi .1

British Journal of Cancer (2000) 83(5), 692-698

Ahlbom, N Day, M Feychting, E Roman, J Skinner ...

A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukemia

Studio epidemiologico in Canada, Danimarca, Finlandia, Germania, Nuova Zelanda, Norvegia, Svezia, USA, Inghilterra.

Conclude:

In summary, for exposure **up to 0.4 μT** our data demonstrate relative risks near the **no-effect** level.

... the 99.2% of children residing in homes with exposure levels $< 0.4 \mu\text{T}$ had estimates compatible with no increased risk, while the **0.8% of children with exposure $\geq 0.4 \mu\text{T}$** had a relative risk estimate of approximately 2, which is unlikely to be due to random variability.



Esempi .1

Ultima frase dell'abstract e dell'articolo:

The explanation for the elevated risk estimate is unknown, *but selection bias may have accounted for some of the increase.*

“La spiegazione per questa stima di rischio elevato non è nota”, ma *alcune distorsioni nel protocollo d'indagine potrebbero spiegare almeno in parte i risultati.*



Esempi .2

Journal of the National Cancer Institute, Vol. 98, No. 23, December 6, 2006

Joachim Schüz , Rune Jacobsen , Jørgen H. Olsen , John D. Boice Jr , Joseph K. McLaughlin , Christoffer Johansen

Cellular Telephone Use and Cancer Risk: Update of a Nationwide Danish Cohort

Dal 1982 – 1995 al 2002: 420.095 persone



Esempi. 2

In conclusion,

we found **no increased risk of brain tumors, acoustic neuromas, salivary gland tumors, eye tumors, leukemias, or overall cancer** in this large, nationwide cohort study of cellular telephone subscribers in Denmark.

There was also **no increased risk of brain tumors and leukemias** observed among the 56 648 persons whose subscription to cellular telephone service was **greater than 10 years**.

Moreover, the narrow confidence intervals provide evidence that any large association of risk of cancer and cellular telephone use can be excluded.



Esempi. 3

Radiation Protection Dosimetry, October 16 2008, pp. 1-10

Joachim Schüz¹ and A. Ahlbom²

Exposure to electromagnetic fields and the risk of childhood leukemia: a review

1 Institute of Cancer Epidemiology, Danish Cancer Society, Copenhagen, Denmark

2 Institute of Environmental Medicine, Karolinska Institute, Stockholm, Sweden



Esempi. 3

Abstract:

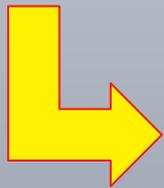
Extremely low-frequency magnetic fields have been classified as possibly carcinogenic to humans, mainly based on epidemiological studies consistently showing an association between long-term average exposures to magnetic fields above 0.3/0.4 microT and the risk of childhood leukaemia. ***No mechanism to explain this finding has been established and no support for a causal link emerged from experimental studies.*** Chance or bias cannot be ruled out with reasonable confidence as an explanation for the observed association. If the association is causal, it explains only a small fraction of childhood leukaemia cases. There were some reports of childhood leukaemia clusters in the vicinity of high-power radio and television broadcast transmitters in studies in Australia and Italy. **However, recent large-scale systematic studies in Korea and Germany show no association between exposure to radio frequency electromagnetic fields emitted from broadcast towers and childhood leukaemia risk. ...**



Sugli effetti a lungo termine

Da quanto esposto emerge che studi epidemiologici sembrano indicare una possibile relazione tra esposizioni croniche anche a bassi livelli ed aumento di rischio di leucemia infantile e tumori al cervello (soglia su $0,4 \mu\text{T}$).

Assenza di un quadro coerente di indicazioni epidemiologiche



Mancanza di adeguate prove biologiche sul meccanismo di azione dei CEM



Non è possibile stabilire una relazione di causa - effetto tra l'esposizione e una forma di tumore.



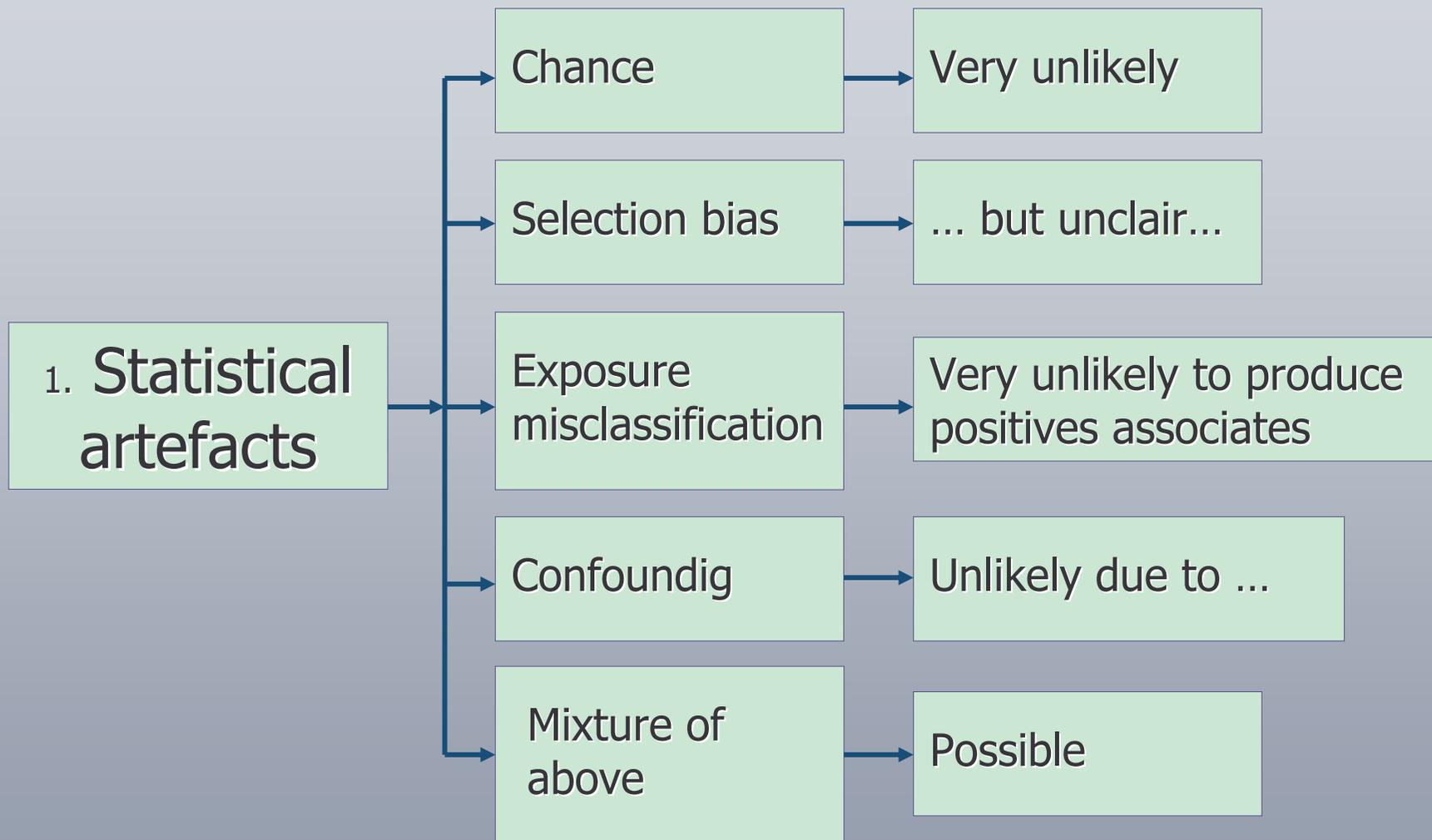
Epidemiological studies show an association between to magnetic fields above 0.3/0.4 μT and risk of childhood leukemia

1. Statistical artefacts

2. Alternative explanations

3. Casual link





J. Schuz A. Ahlbom
Exposure to electromagnetic fields and risk of childhood leukemia: a review
Radiation Protection Dosimetry - October 2008



2. Alternative explanations

Immune system

Unlikely few supportive data

Melatonin

Unlikely few supportive data

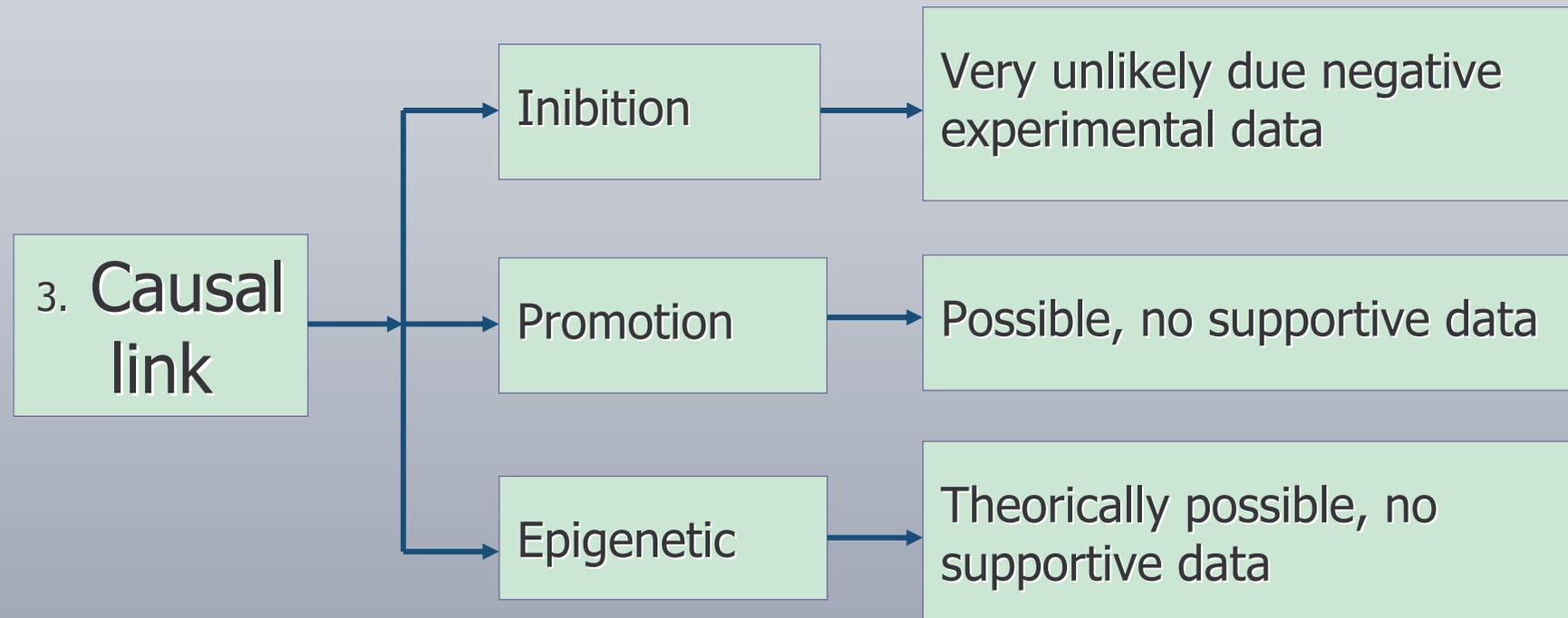
Contact currents

Unlikely

Unknow alternative

Theoretically possible, yet to be uncovered





Extremely low-frequency magnetic fields have been classified as possibly carcinogenic to humans, mainly based on epidemiological studies consistently showing an association between long-term exposures to magnetic fields above 0.3/0.4 μT and the risk of childhood leukemia.

No mechanism to explain this finding has been established

No support for a causal link emerged from experimental studies



Sulla legislazione



Legislazione 1

Legge 22 febbraio 2001, n. 36

Legge quadro sulla protezione dall'esposizione a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici (G.U. n. 55 del 7 marzo 2001) che fissa i principi fondamentali e le competenze per la tutela dell'ambiente e della salute dei cittadini.

Stabilisce la necessità di adottare:

- *limiti di esposizione,*
- *valori di attenzione,*
- *obiettivi di qualità.*

L'Italia è il primo Paese ad avere una legge quadro sull'inquinamento elettromagnetico. Questa legge è ispirata al *principio di precauzione*.



Legislazione 1a

- **Limiti di esposizione:** valori del campo elettrico, magnetico o elettromagnetico considerati come valori di immissione, che non devono essere superati in alcuna condizione di esposizione.
- **Livelli di attenzione:** valori del campo elettrico, magnetico o elettromagnetico considerati come valori di immissione che non devono essere superati negli ambienti abitativi, scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze prolungate. Essi costituiscono misure di cautela ai fini della protezione da possibili effetti a lungo termine.
- **Obiettivi di qualità:** limiti sui valori del campo elettrico, magnetico o elettromagnetico, da conseguire nel breve, medio e lungo periodo, anche attraverso l'uso di tecnologie e metodi di risanamento disponibili, al fine di realizzare gli obiettivi di cautela previsti, anche con riferimento alla 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, etc.



Legislazione 2: popolazione

DECRETO DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI 8 luglio 2003 (in G.U. n. 200 del 29 agosto 2003) - Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la **protezione della popolazione** dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli **elettrodotti**.

Induzione magnetica	100 μT
Campo elettrico	5 kV/m
Aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere	10 μT da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nel normali condizioni di esercizio.
Obiettivo di qualità	3 μT



Legislazione 3: popolazione

DECRETO DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI 8 luglio 2003 (in G.U. n. 199 del 28 agosto 2003) - Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la **protezione della popolazione** dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra **100 kHz e 300 GHz**.

ALLEGATO B

Tabella 1	Intensità di campo elettrico E (V/m)	Intensità di campo Magnetico H (A/m)	Densità di Potenza D (W/m ²)
Limiti di esposizione			
0,1 < f ≤ 3 MHz	60	0,2	-
3 < f ≤ 3000 MHz	20	0,05	1
3 < f ≤ 300 GHz	40	0,01	4



Lavoratori: dall'Europa

**DIRETTIVA 2004/40/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO
del 29 aprile 2004**

sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici) (diciottesima direttiva particolare ai sensi dell'articolo 16, paragrafo 1, della direttiva 89/391/CEE).

Articolo 1

Oggetto e campo di applicazione

1. ... stabilisce prescrizioni minime di protezione dei lavoratori contro i rischi per la loro salute e la loro sicurezza che derivano, o possono derivare, dall'esposizione ai campi elettromagnetici (da 0 Hz a 300 GHz) **durante il lavoro.**
3. La presente direttiva non riguarda ipotizzati effetti a lungo termine.



Legislazione 4

DECRETO LEGISLATIVO 19 novembre 2007, n. 257

Attuazione della direttiva 2004/40/CE sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici). *(pubblicato nella Gazzetta Ufficiale italiana n. 9 del 11 gennaio 2008).*

Entrava in vigore il 26-1-2008.



Legislazione 5

Decreto legislativo 9 aprile 2008, n. 81

Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123,
in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro

Gazzetta Ufficiale n. 101 del 30-4-2008

Titolo VIII

AGENTI FISICI

Capo IV

**Protezione dei lavoratori dai rischi di esposizione a campi
elettromagnetici**



Legislazione 6

Titolo VIII

AGENTI FISICI

Capo IV

Protezione dei lavoratori dai rischi di esposizione a campi elettromagnetici

Titolo XIII

NORME TRANSITORIE E FINALI

Art. 306.

(Disposizioni finali)

3. Le disposizioni di cui al titolo VIII, capo IV entrano in vigore alla data fissata dal primo comma dell'articolo 13, paragrafo 1, della direttiva 2004/40/CE; ...



Legislazione 6

DIRETTIVA 2008/46/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO
del 23 aprile 2008

che modifica la Direttiva 2000/40/CE sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici)

Articolo 1

All'articolo 13, paragrafo 1, della direttiva 2004/40/CE, il primo comma è sostituito dal seguente:

«1. Gli Stati membri mettono in vigore le disposizioni legislative, regolamentari e amministrative necessarie per conformarsi alla presente direttiva entro il 30 aprile 2012.



Legislazione 7

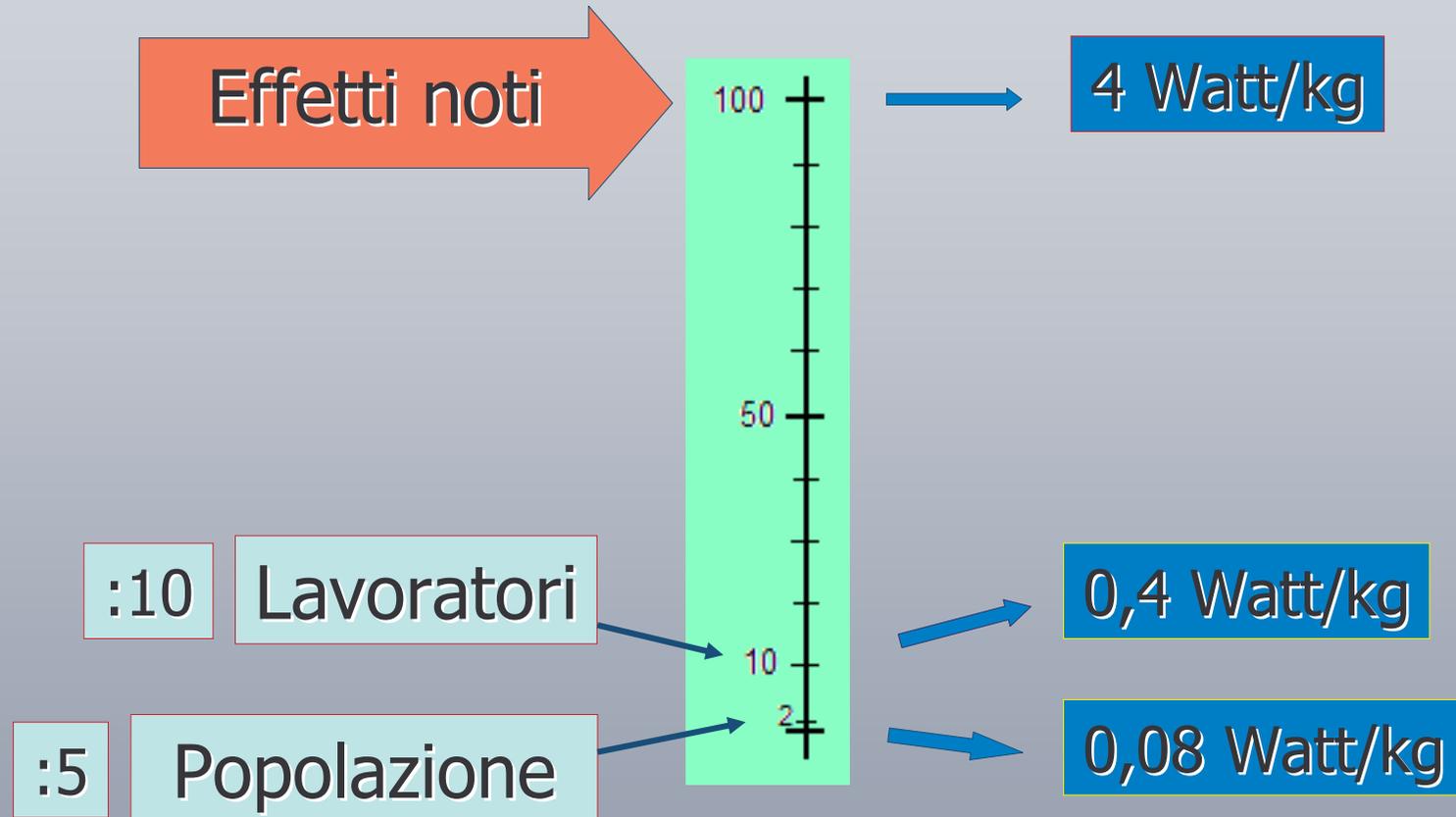
DELIBERAZIONI DELLA GIUNTA REGIONALE

- n. 1138 del 21/7/2008: **Modifiche ed integrazioni alla DGR 20 maggio 2001, n. 197 “Direttiva per l’applicazione della Legge regionale 31 ottobre 2000, n. 30 recante ‘Norme per la tutela e la salvaguardia dell’ambiente dall’inquinamento elettromagnetico’”**

Regione Emilia Romagna: Bollettino Ufficiale del 25 agosto 2008



Sulla formulazione dei limiti legali



Sulla formulazione dei limiti legali

Popolazione: si tratta di individui

- di qualsiasi età e stato di salute,
- con possibilità di esposizione inconsapevole,
- senza possibilità di adottare precauzioni.

Lavoratori: si tratta di

- persone adulte,
- che lavorano in situazioni note,
- e possono adottare precauzioni appropriate.



Protezione lavoratori e popolazione

DPCM 8 luglio 2003 (protezione popolazione)			
	<i>E</i> (V/m)	<i>B</i> (μ T)	<i>P</i> (W/m ²)
50 Hz	5000	100	//
2,45 GHz	20	//	1



Valori di azione ICNIRP per l'esposizione professionale			
Frequenza	<i>E</i> (V/m)	<i>B</i> (μ T)	<i>P</i> (W/m ²)
50 Hz	10 000	500	//
2,45 GHz	137	0,45	50 (5 mW/cm ²)



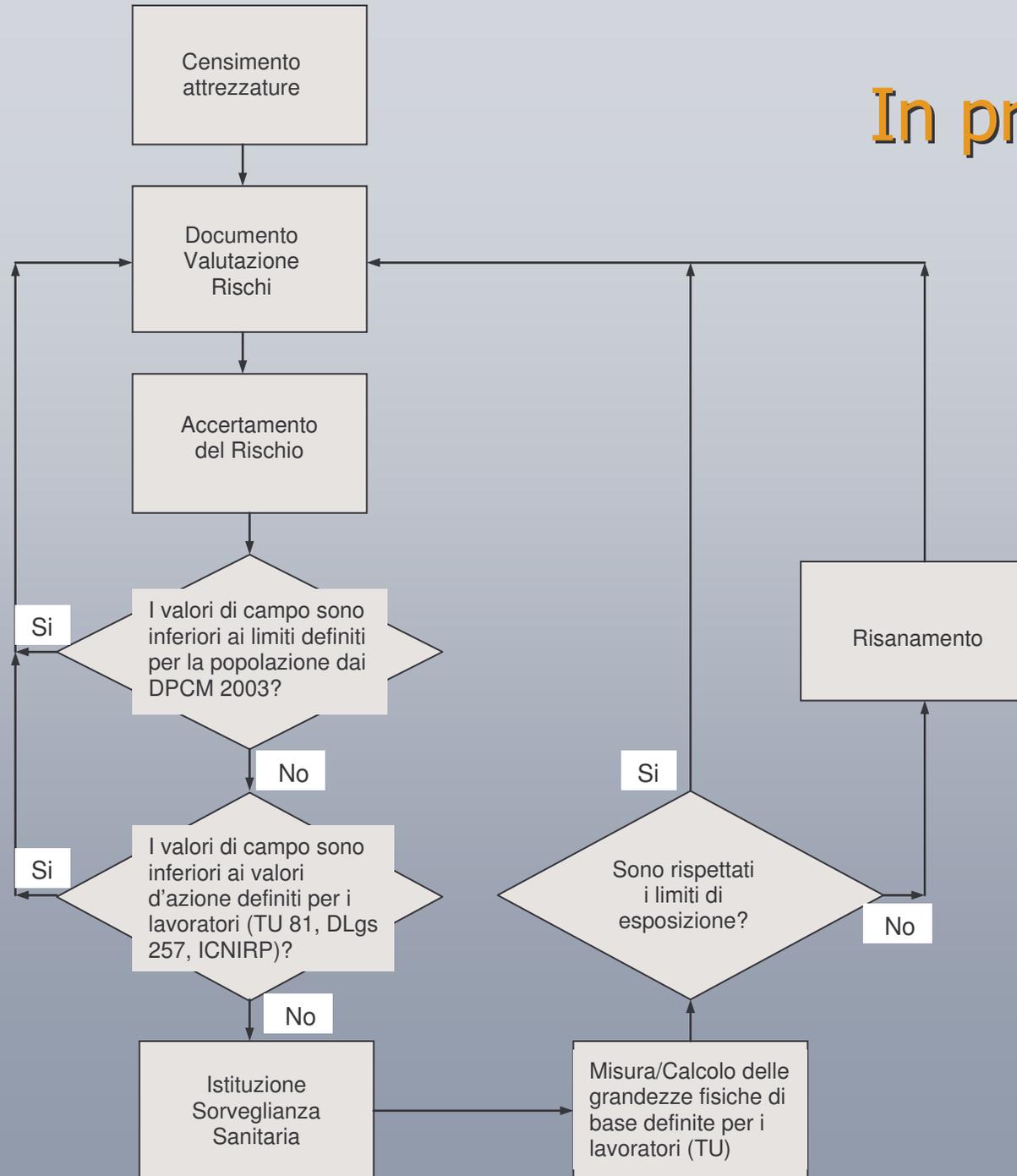
Protezione lavoratori e popolazione

Altre frequenze					
ICNIRP: valori di azione (protezione lavoratori)				DPCM 8 luglio 2003 (protezione popolazione)	
Formulazione		Frequenza (MHz) ⁽¹⁾	Limite (V/m)	Frequenza (MHz)	Limite (V/m)
MHz		900	90	900	20 (6)
400 – 2000	$3 \cdot f^{1/2}$	1800	127	1800	20 (6)
		1900	131	1900	20 (6)
GHz	V/m	MHz	V/m	MHz	V/m
2 - 300 ⁽²⁾	137	2400	137	3 - 3000	20 (6)

(1) GSM; (2) UMTS, Access point (CED).



In pratica



Situazioni e misure



Sulle misure

Misure in *banda larga*:

definiscono il campo totale nel sito di misura, a non danno informazioni sui singoli segnali che concorrono a formare il valore misurato.



Sulle misure

Probe EHP50A: Misure isotropiche di campi elettrici e magnetici a bassa frequenza: 5 Hz – 100 kHz



Probe EP-330: misure isotropiche di campi elettrici 100 kHz - 3 GHz

Probe EP-183: misure isotropiche di campi elettrici: 1 MHz – 18 GHz



Strumenti del Servizio di FISICA SANITARIA



Misure di verifica di un limite: criteri generali (Norma CEI 211-7)

- Solo banda larga se:
 - si devono individuare i punti critici di un'area
 - il risultato in banda larga non supera il 75% del limite più basso applicabile.
- Banda stretta se:
 - sono presenti sorgenti che operano a frequenze con limiti diversi ed il valore in banda larga è maggiore del 75% del limite più basso applicabile.
 - è evidenziato con il banda larga e il superamento del limite deve essere fatta la "riduzione a conformità".
- In caso di non coincidenza tra le misure in banda larga ed in banda stretta VALGONO i risultati delle misure in BANDA STRETTA.



Stazioni Radio Base: misure in banda larga

- Verificare l'isotropia del sensore prima dell'uso.
- Verificare di essere in campo radiativo lontano ($> 10-12$ m dall'antenna).
- Misurare il campo elettrico per 6 minuti (impostando lo strumento alla funzione "Average").
- Durante la misura lo strumento non deve subire interferenze.
- Lo strumento deve essere lontano (per quanto possibile) da superfici conduttrici - in ambienti confinati la sonda deve essere a distanza almeno tripla delle sue dimensioni dalle pareti.



Stazioni Radio Base: misure in banda larga

- L'operatore a distanza maggiore di 3 m.
- Le misure si fanno negli spazi accessibili ai soggetti potenzialmente esposti.
- Il n° di misure deve essere statisticamente significativo per descrivere la distribuzione temporale e spaziale dei campi
 - le misure si fanno all'altezza di 1,1 m 1,5 m 1,9 m e si calcola il livello medio.
 - il tempo di misura deve essere abbastanza lungo, almeno di 6 minuti
 - si fanno le misure nel periodo di emissione massimo



Misure in banda larga

Per rendere la misura isotropica (risposta indipendente dalla direzione di propagazione del campo elettromagnetico) l'antenna viene realizzata con tre elementi mutuamente ortogonali, (dipoli o loop). A ciascuno di essi è collegato il rivelatore che genera una tensione o una corrente continua proporzionale al quadrato dell'intensità del campo a radio frequenza.

Nel misuratore viene utilizzato un circuito non lineare che fornisce la radice quadrata della somma dei segnali in uscita dai rivelatori; in questo modo l'uscita del misuratore è proporzionale al valore quadratico medio del campo:

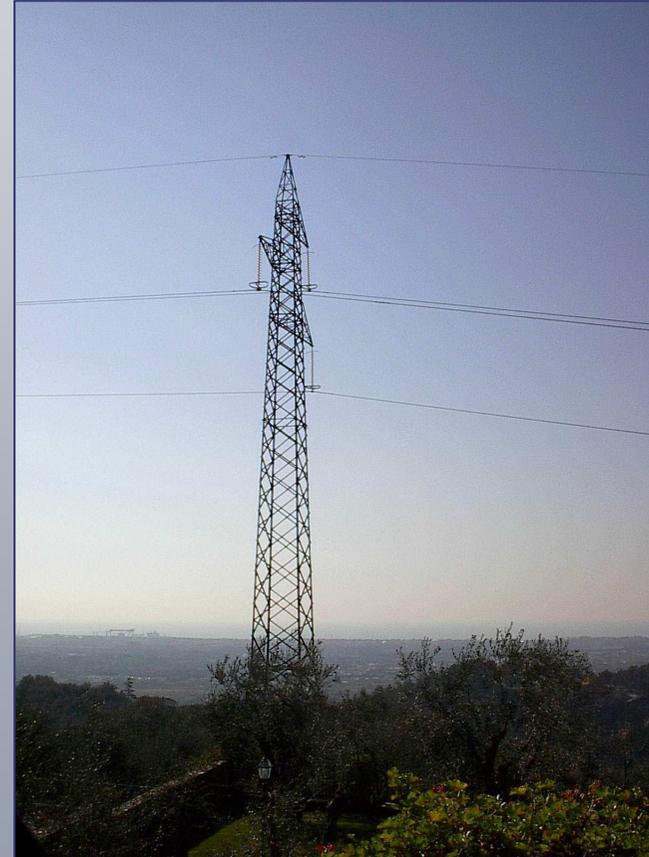
$$|E| = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2}$$

$$|B| = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2}$$

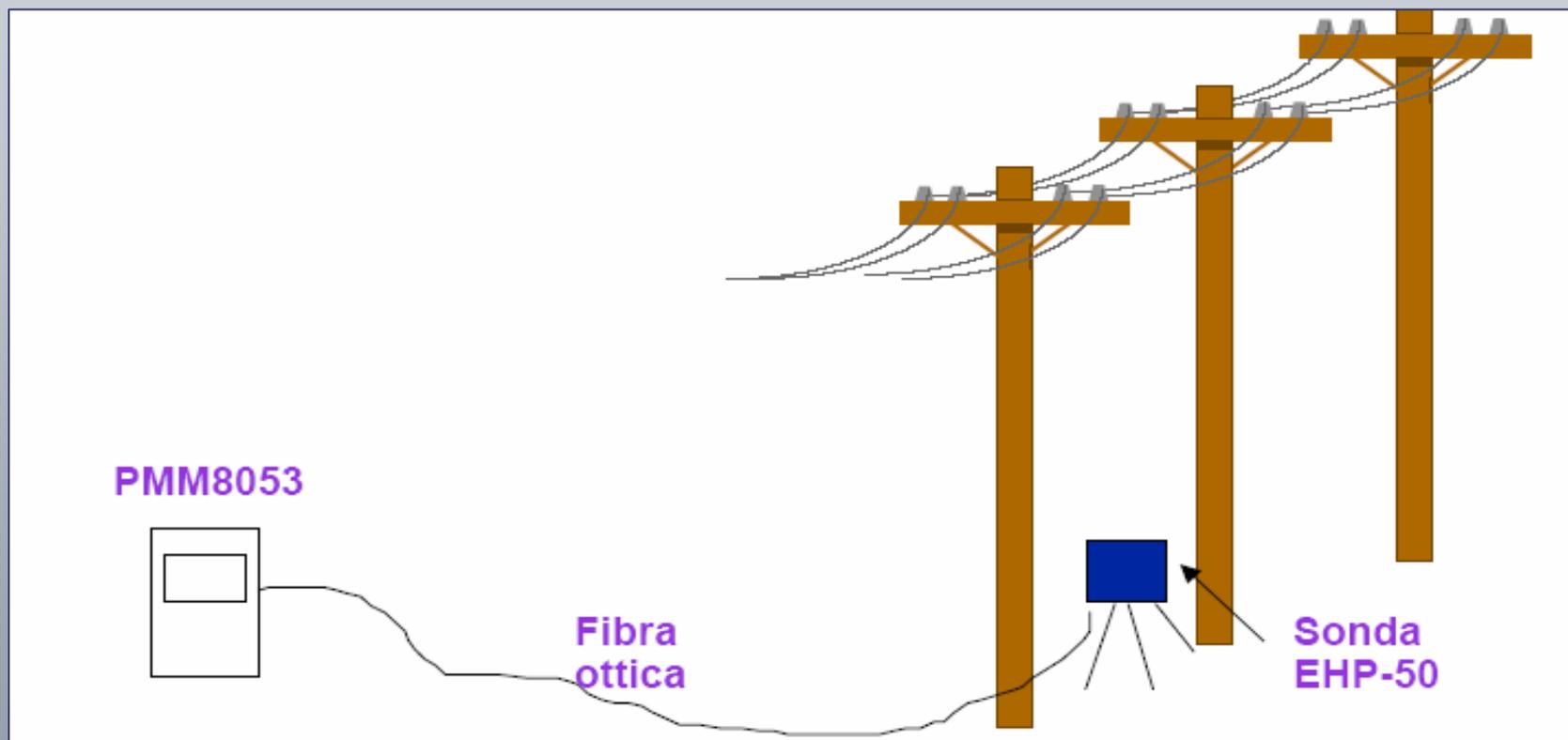


Misura per i campi 50 Hz

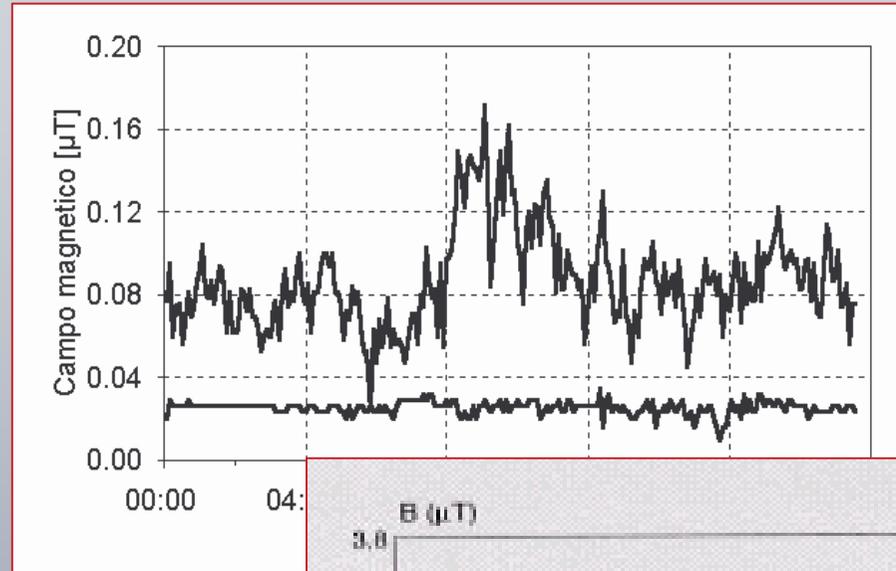
- Caratterizzazione spaziale
 - Si eseguono misure spot in vari ambienti frequentati da persone per individuare i punti con esposizione più significativa.
 - Le misure si fanno (normalmente) ad una altezza dal pavimento pari a 1 - 1,5 m.
- Caratterizzazione Temporale
 - Si imposta lo strumento per campionare ogni minuto.
 - Lo si lascia per almeno 24 ore.



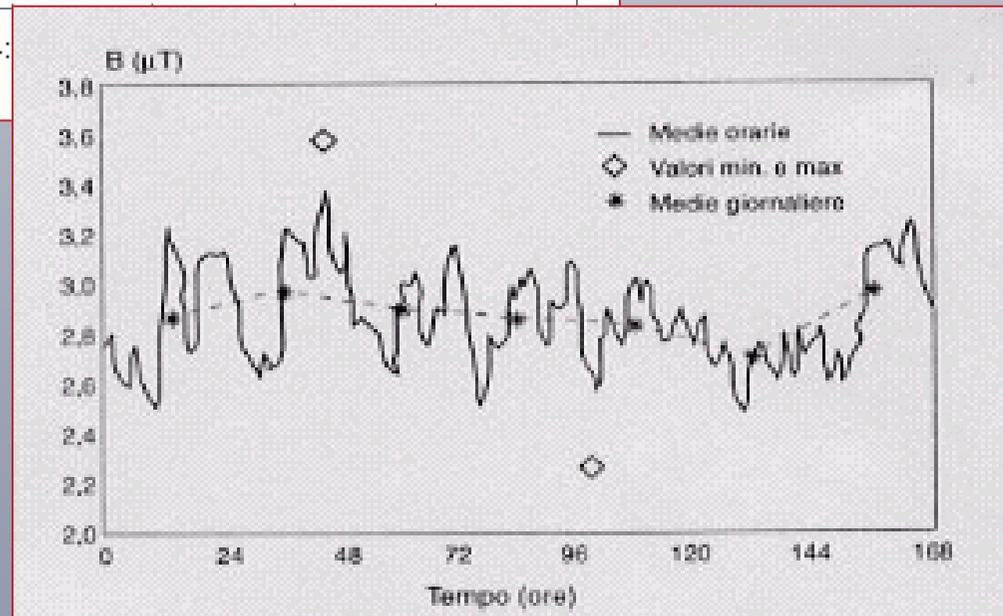
Misure di campo elettromagnetico a 50 Hz



In appartamento

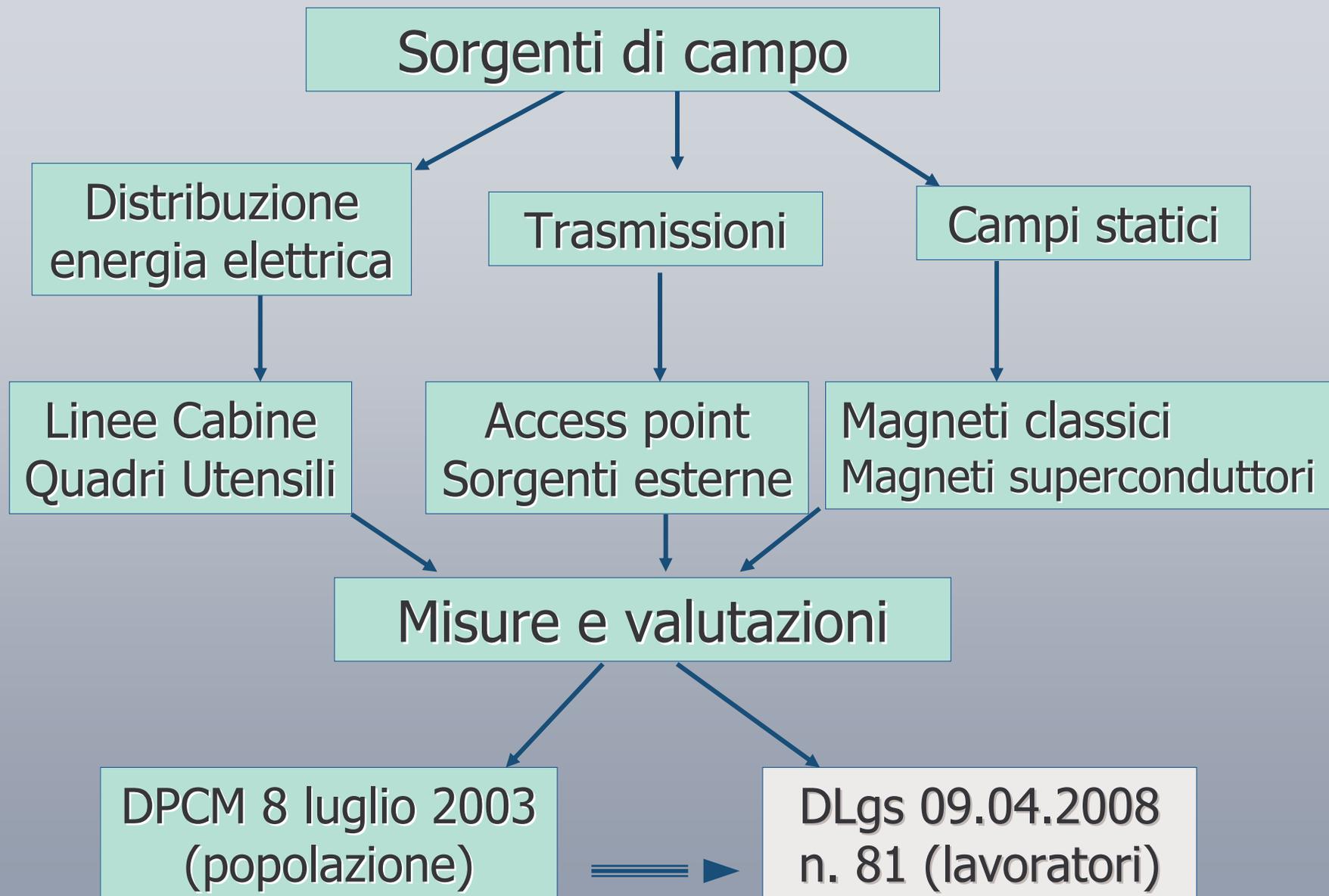


Un appartamento urbano e uno periferico



Medie giornaliere (asterischi), medie orarie (linea continua) e valori minimi e massimi registrati in un periodo di una settimana in una abitazione vicina (distanza circa pari a 30 m) ad una linea ad alta tensione.





Distribuzione dell'energia elettrica

- Linee media tensione,
- Cabine di trasformazione,
- Quadri di distribuzione,
- Macchine utensili.

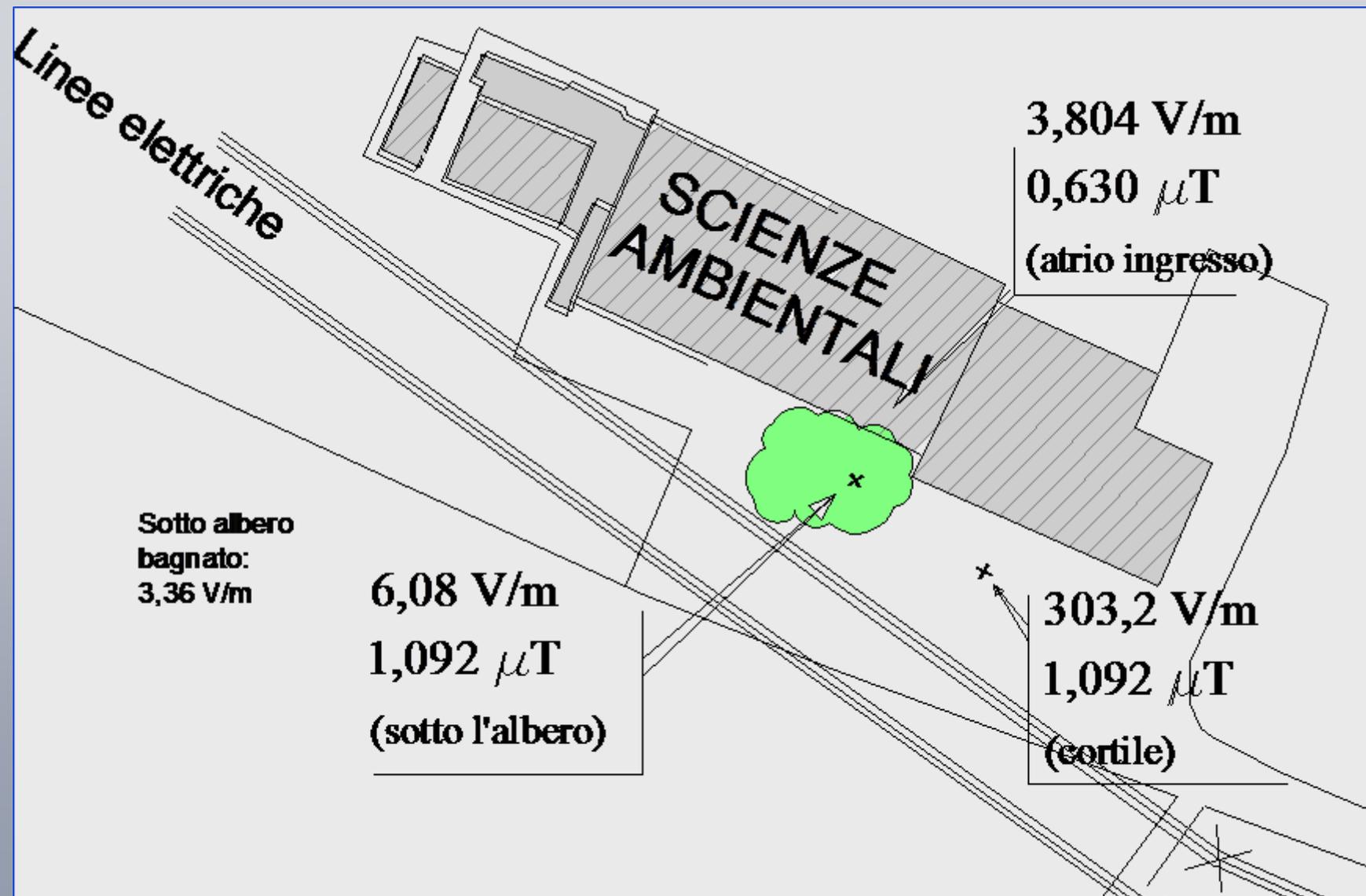


50 Hz: Limiti per lavoratori e popolazione

Frequenza di rete (50 Hz)				
ICNIRP Guidelines (protezione lavoratori)			DPCM 8 luglio 2003 (protezione popolazione)	
kHz	Campo elettrico	Campo magnetico	Campo elettrico	Campo magnetico
0,025 – 0,82	10000 V/m	500 μ T	5000 V/m	100 μ T



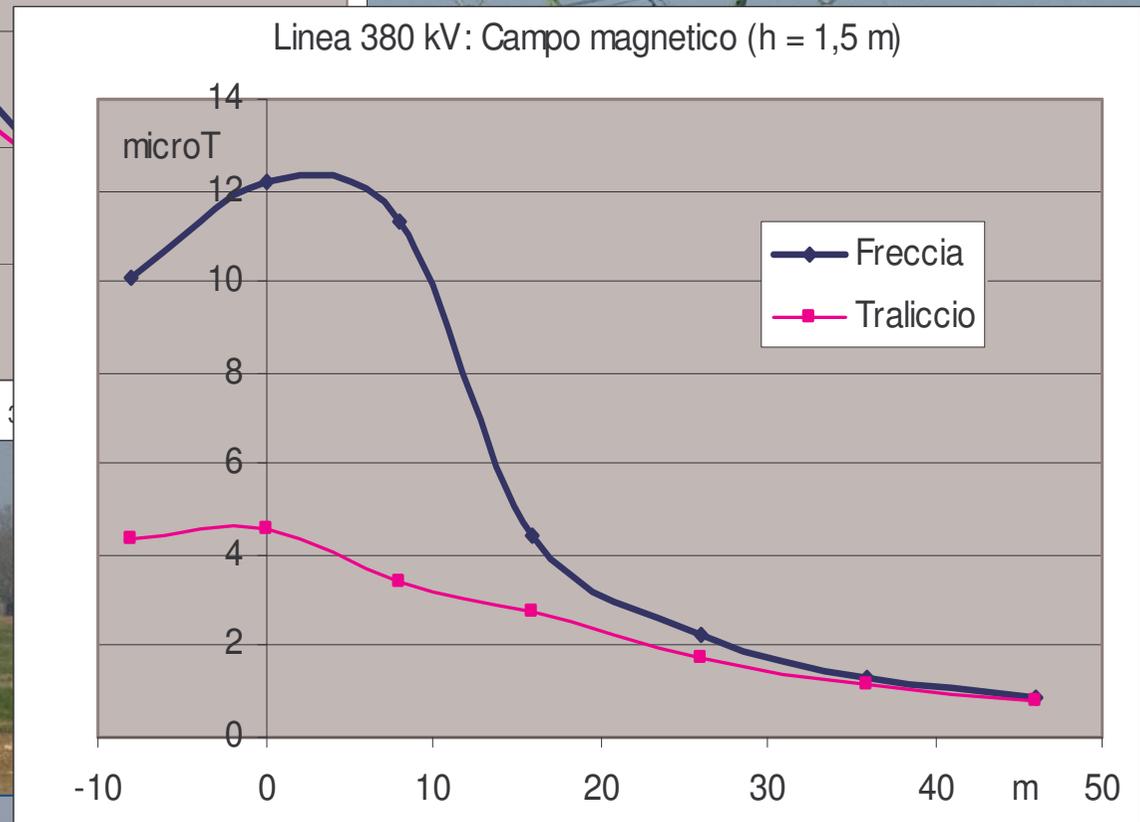
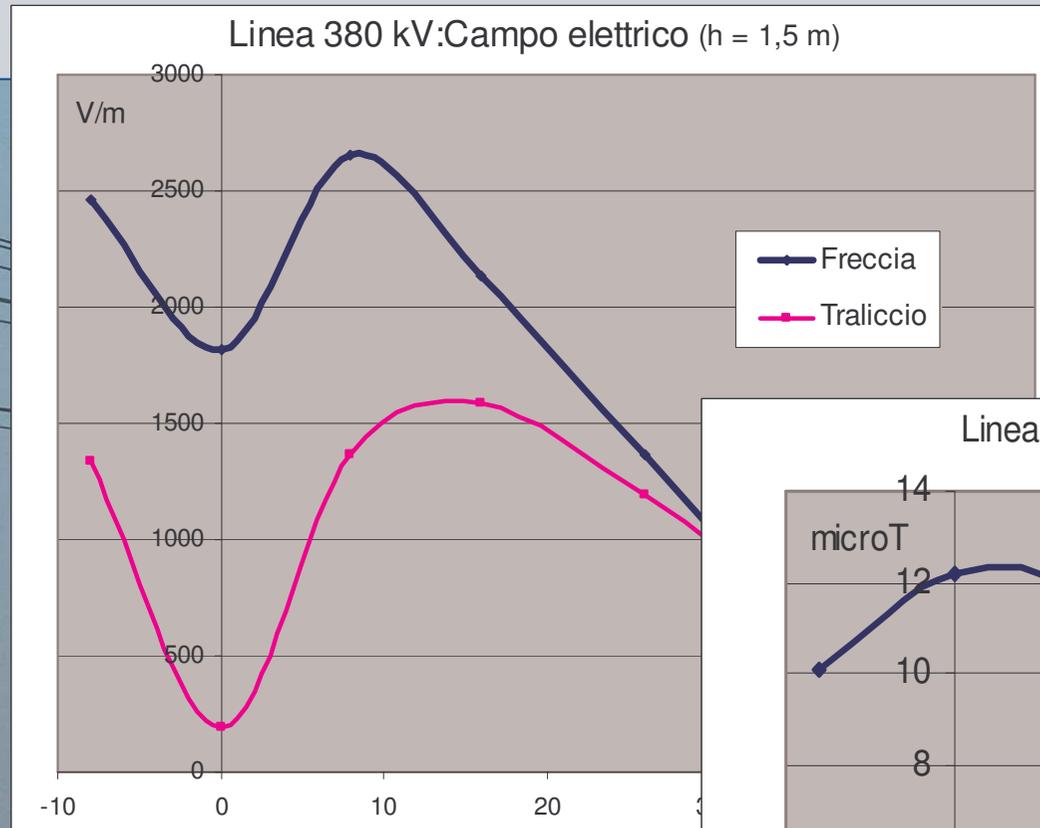
Scienze Ambientali



ICNIRP: 10 000 V/m, 500 μT
DPCM 2003: 5000 V/m, 100 μT



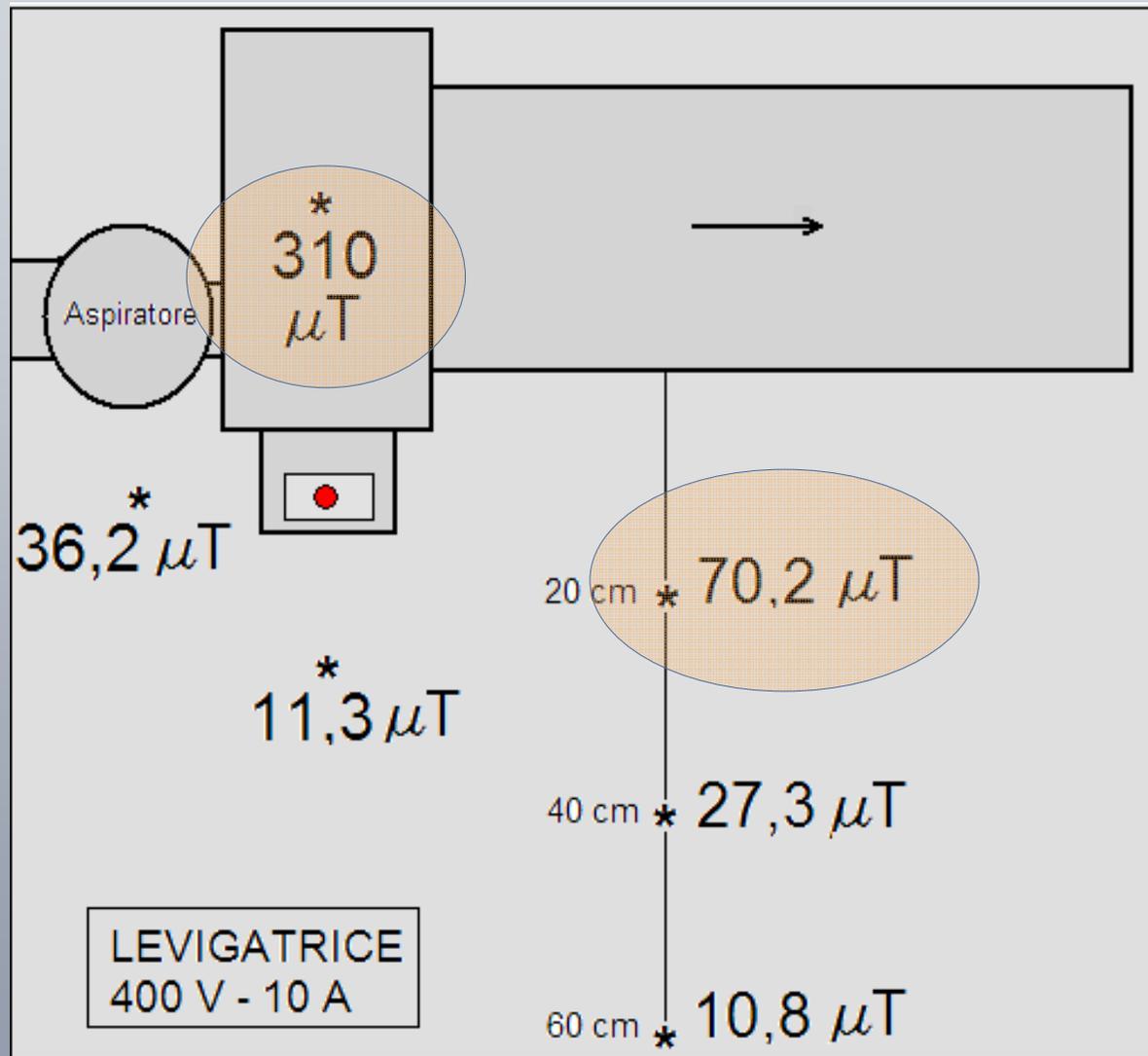
Linea 380 kV



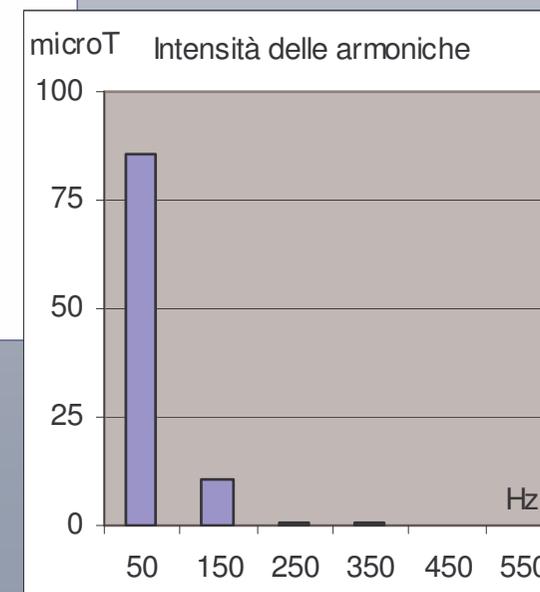
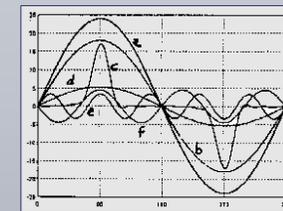
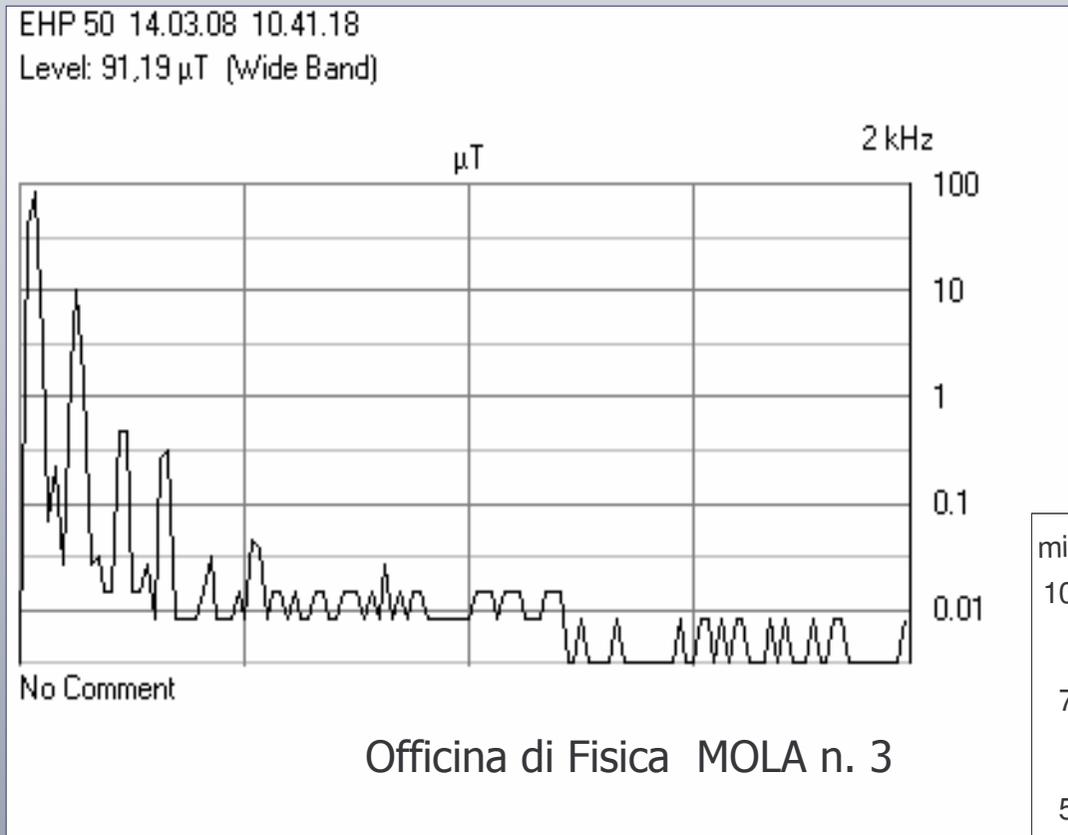
ICNIRP: 10 000 V/m, 500 μ T
DPCM 2003: 5000 V/m, 100 μ T



Officina di Fisica Levigatrice



50 hz e armoniche



Altre frequenze



Sulle misure

Misure in *banda stretta*:

riescono a valutare il peso delle singole frequenze, permettendo di discriminare tra segnali di provenienza diversa.



Stazioni Radio Base: riduzione a conformità

La riduzione dei contributi dei campi elettromagnetici generati da diverse sorgenti, che concorrono in un dato punto al superamento dei limiti di esposizione di cui all'art. 3 e dei valori di cui all'art. 4, comma 2, deve essere eseguito dalla sorgente i -esima, con L_i il corrispondente limite desunto dalla tab. 1, si calcolano i contributi normalizzati che le varie sorgenti producono nel punto in considerazione nel modo seguente:

$$C_i = E_i^2 / L_i^2$$

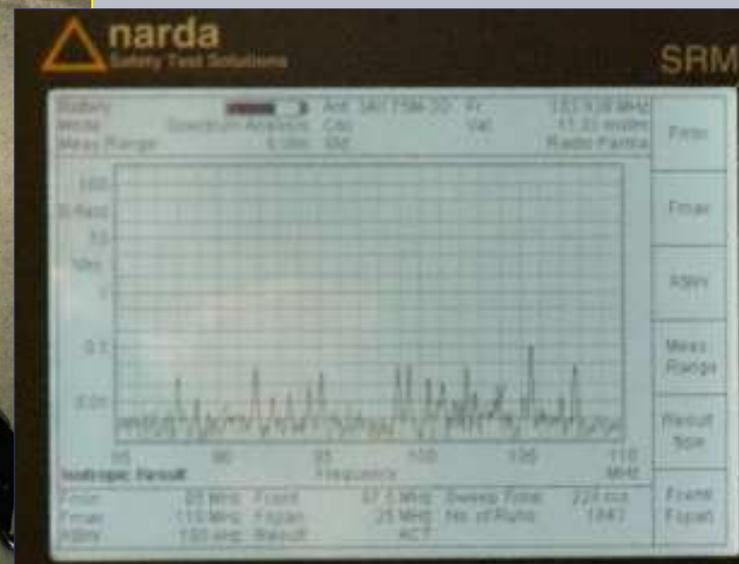
Se la somma

$$C = \sum_i C_i$$

supera il valore 1 i limiti di esposizione non sono soddisfatti ed i vari segnali E_i vanno pertanto ridotti in modi che risulti $C \leq 0,8$ ai fini di maggior tutela della popolazione.



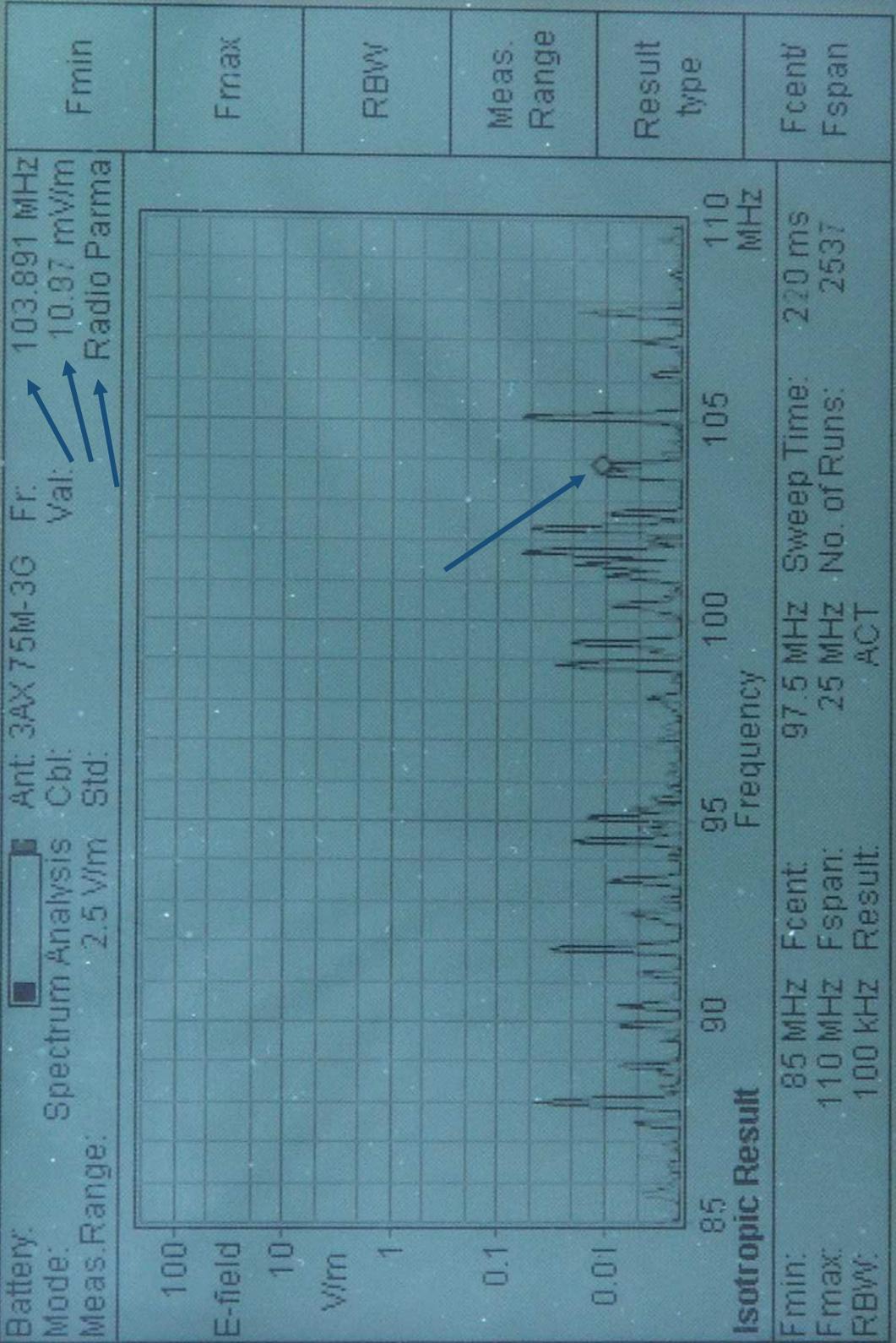
Analizzatore di spettro



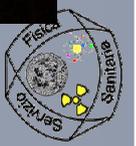
Distribuzione

- Access Point (*interni*)
- Antenne radio base (*esterne*)
- Antenne per trasmissioni radio (*esterne*)





Battery: Ant: 3AX 75M-3G FM Parma		Move Info Bar
Mode: Safety Evaluation Cbl:		z
Meas. Range: 2.5 V/m Std:		
Service	Value	Frequency
F Ind: 14 Sub: 1 Num: 1 MAN Date: 12.06.07 Time: 10:00:01		
Radio Italia	128.4 mV/m	100.350 MHz to 100.450 MHz
Radio Italia	7.959 mV/m	100.550 MHz to 100.650 MHz
R 101	125.6 mV/m	101.050 MHz to 101.150 MHz
Punto Radio	882.3 mV/m	101.350 MHz to 101.450 MHz
Discoradio	764.2 mV/m	101.650 MHz to 101.750 MHz
Radio Parma	10.04 mV/m	101.950 MHz to 102.050 MHz
RTL 102.5	143.3 mV/m	102.250 MHz to 102.350 MHz
Radio Zeta	71.62 mV/m	102.650 MHz to 102.750 MHz
Radio 24	94.56 mV/m	103.650 MHz to 103.750 MHz
Radio Parma	97.33 mV/m	103.850 MHz to 103.950 MHz
Total	1.773 V/m	87.450 MHz to 107.750 MHz
Isotropic Result		
Fmin:	87.45 MHz	
Fmax:	107.75 MHz	
RBW:	20 kHz	Result
	AVG	4
	AVG	RECALL

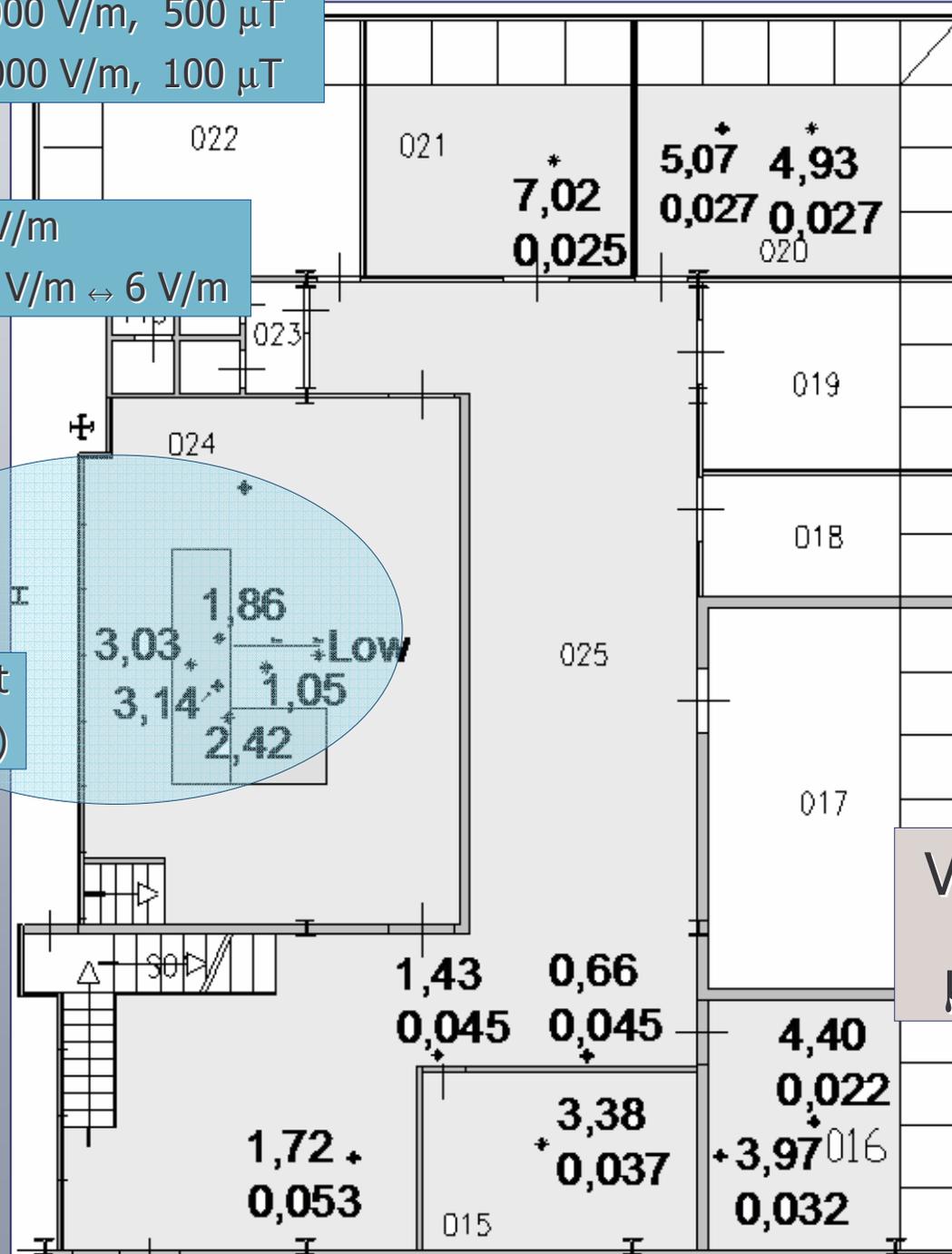


ICNIRP: 10 000 V/m, 500 μ T
 DPCM 2003: 5000 V/m, 100 μ T

ICNIRP: 137 V/m
 DPCM 2003: 20 V/m \leftrightarrow 6 V/m

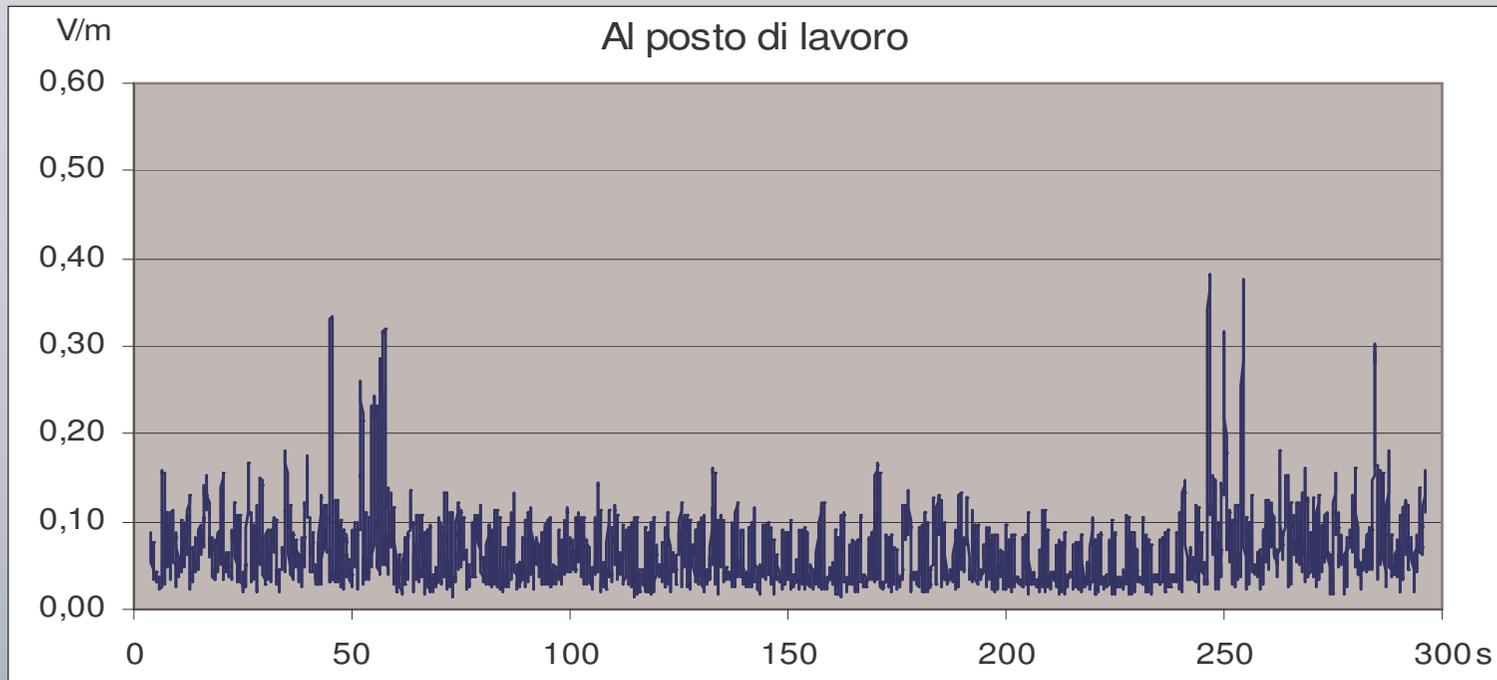
CED
 (banda
 larga)

Access point
 (V/m)



V/m
 μ T



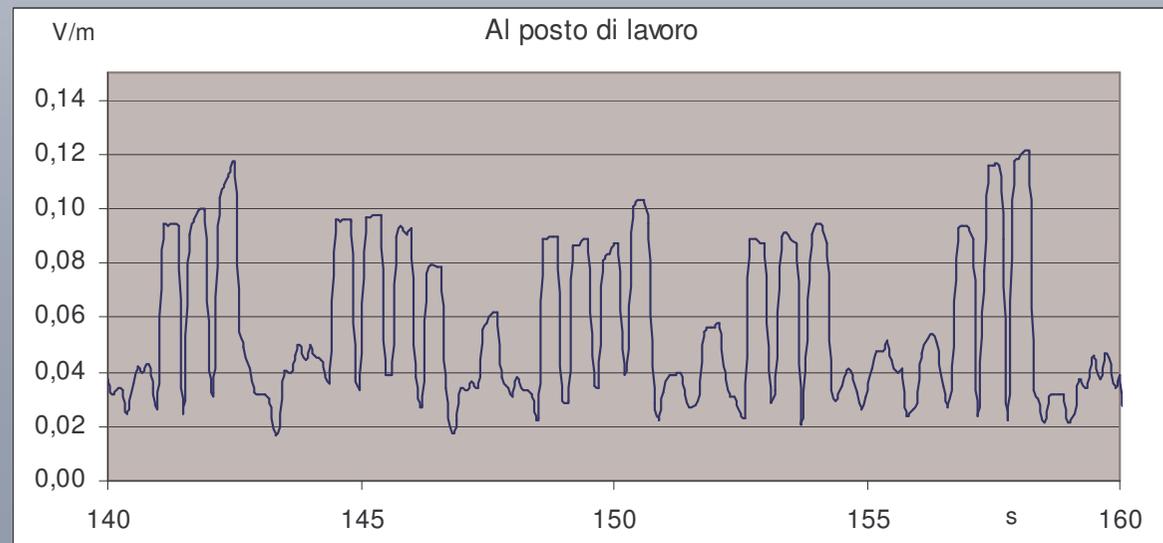


CED
(banda stretta)

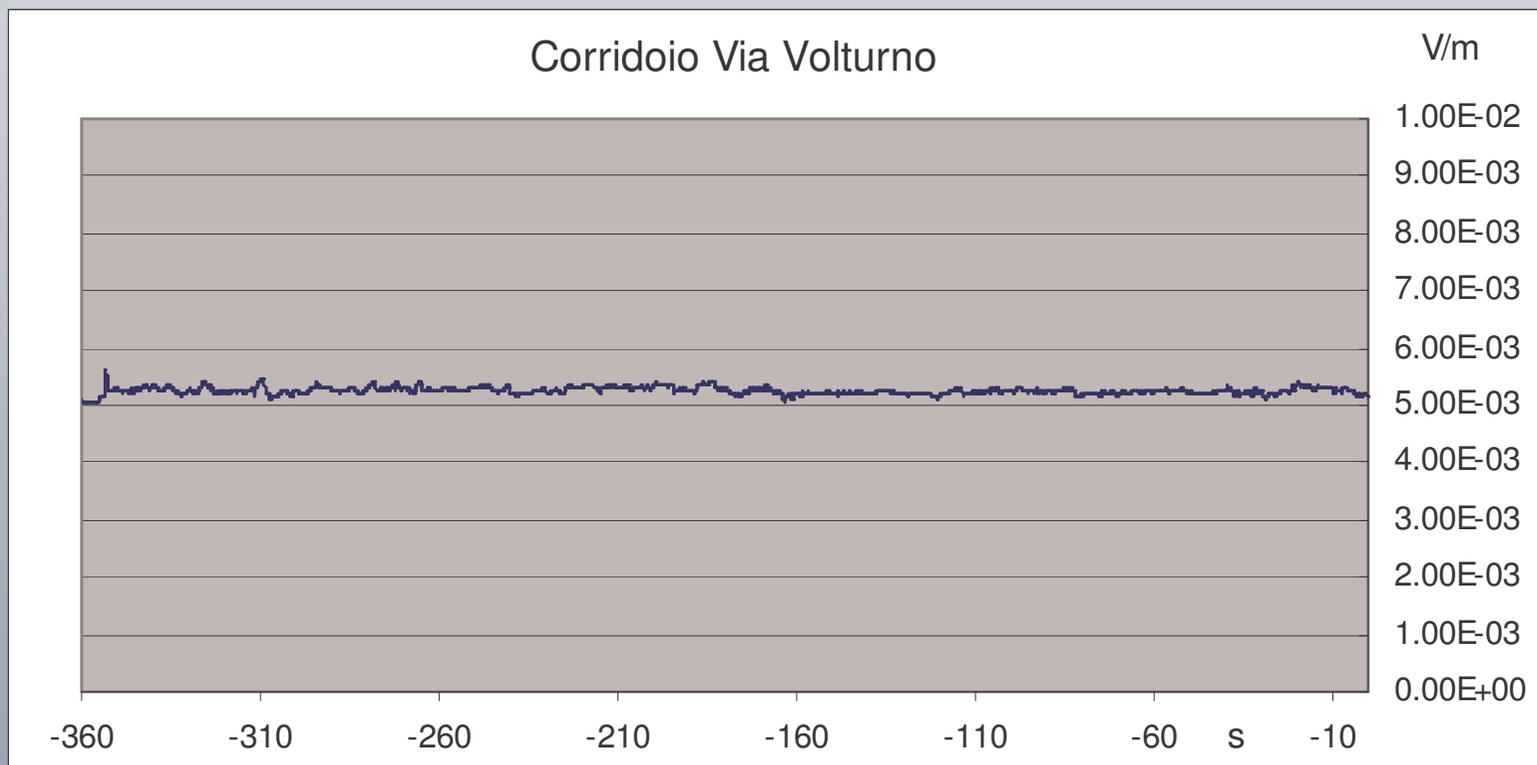
2,400 GHz

ICNIRP: 137 V/m

DPCM 2003: 20 V/m ↔ 6 V/m



Antenne Wi-Fi



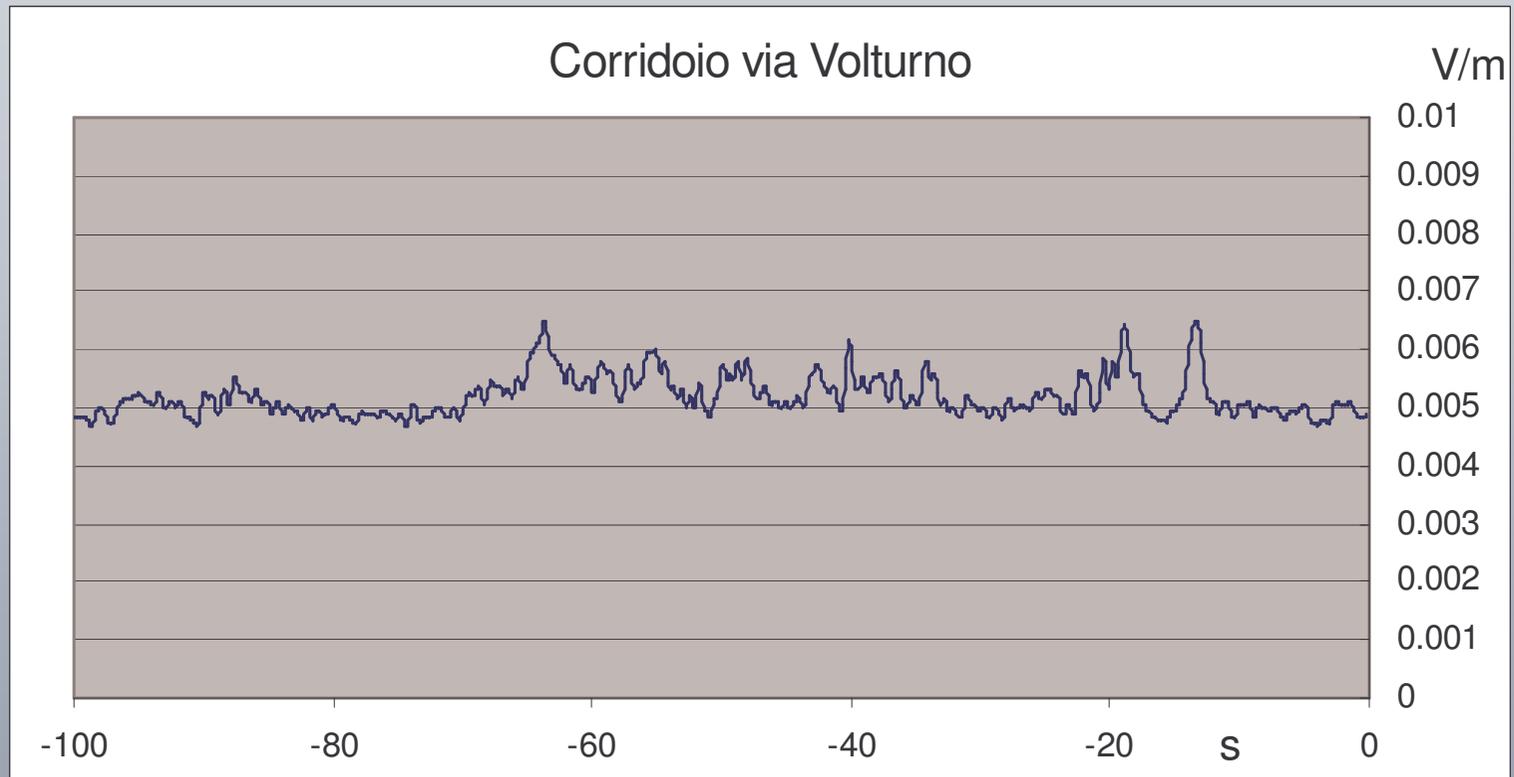
A 6 metri da un ripetitore

ICNIRP: 137 V/m

DPCM 2003: 20 V/m ↔ 6 V/m



Antenne Wi-Fi



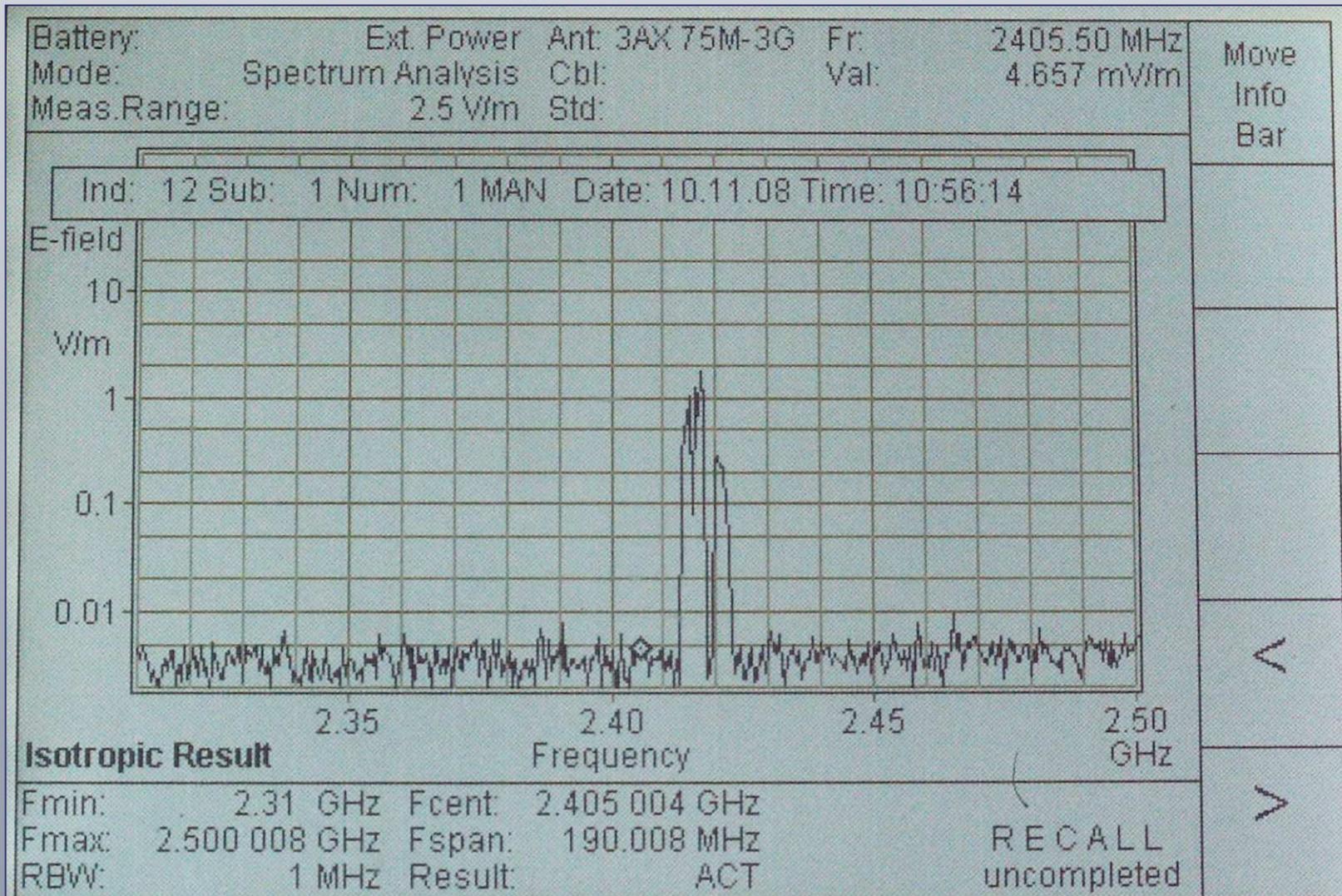
Camminando lungo il corridoio

ICNIRP: 137 V/m

DPCM 2003: 20 V/m ↔ 6 V/m



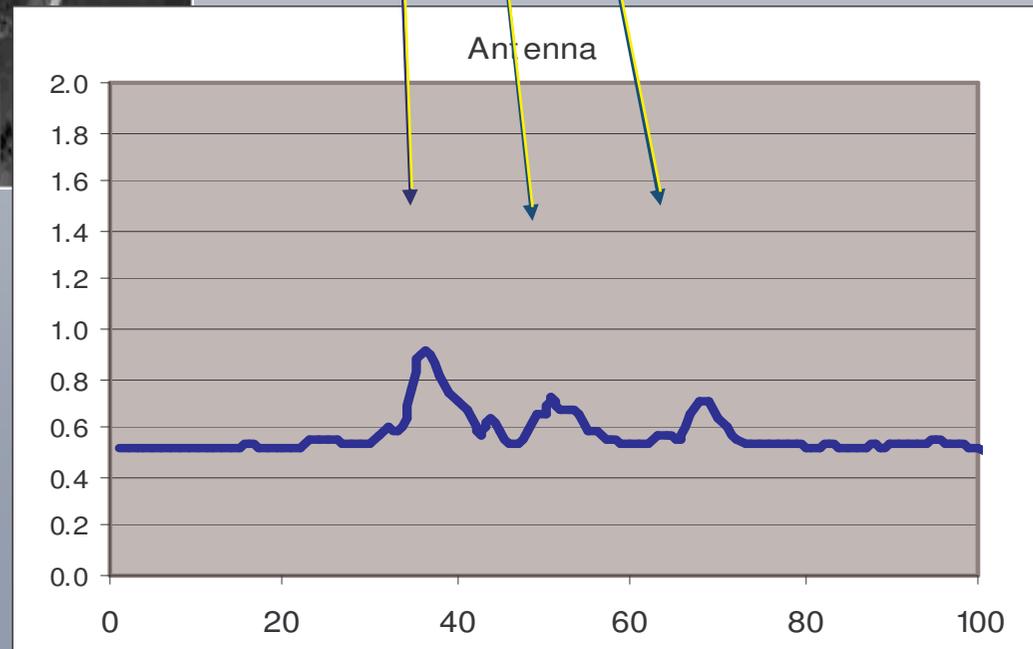
Access point



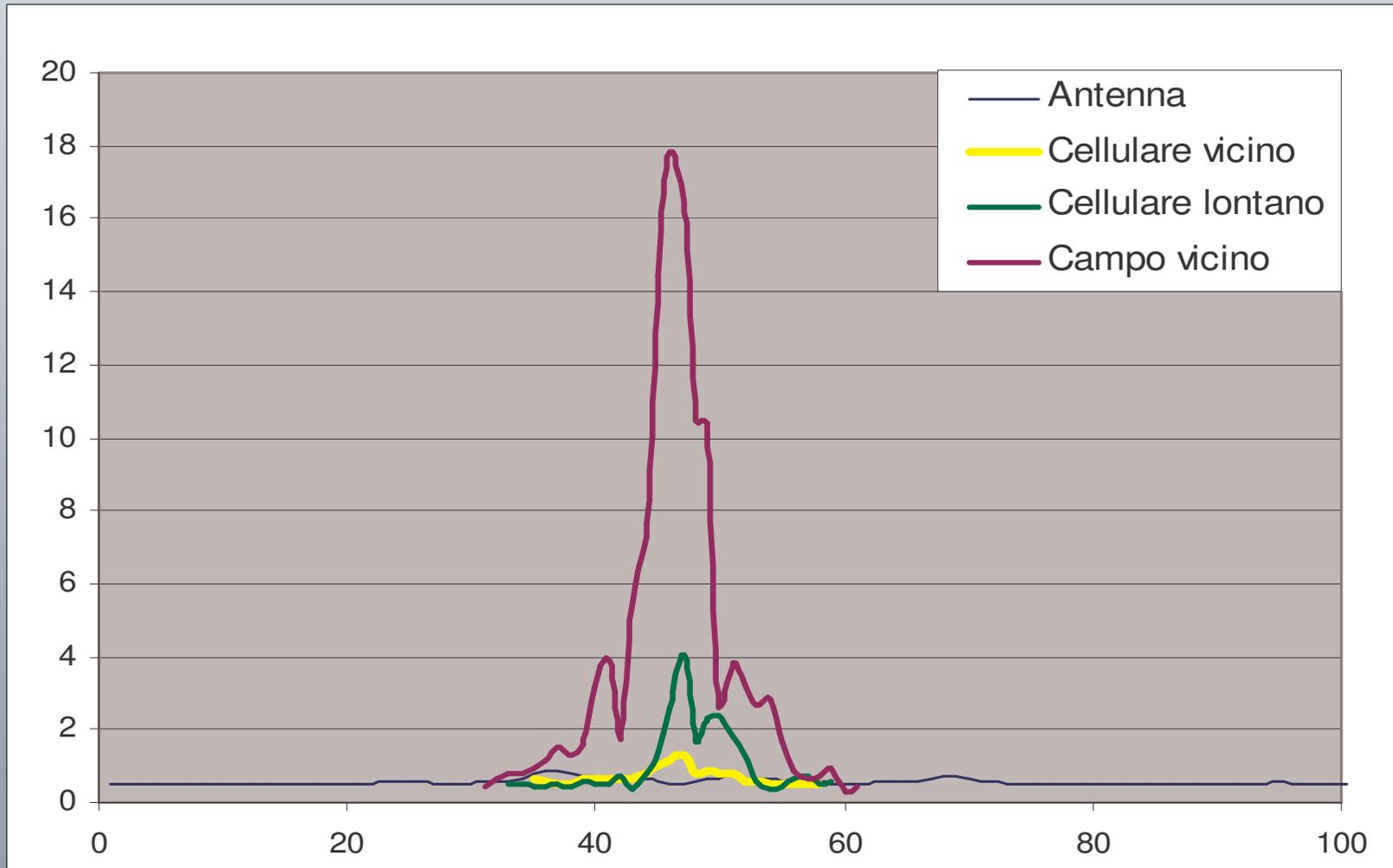
Stazione radio base



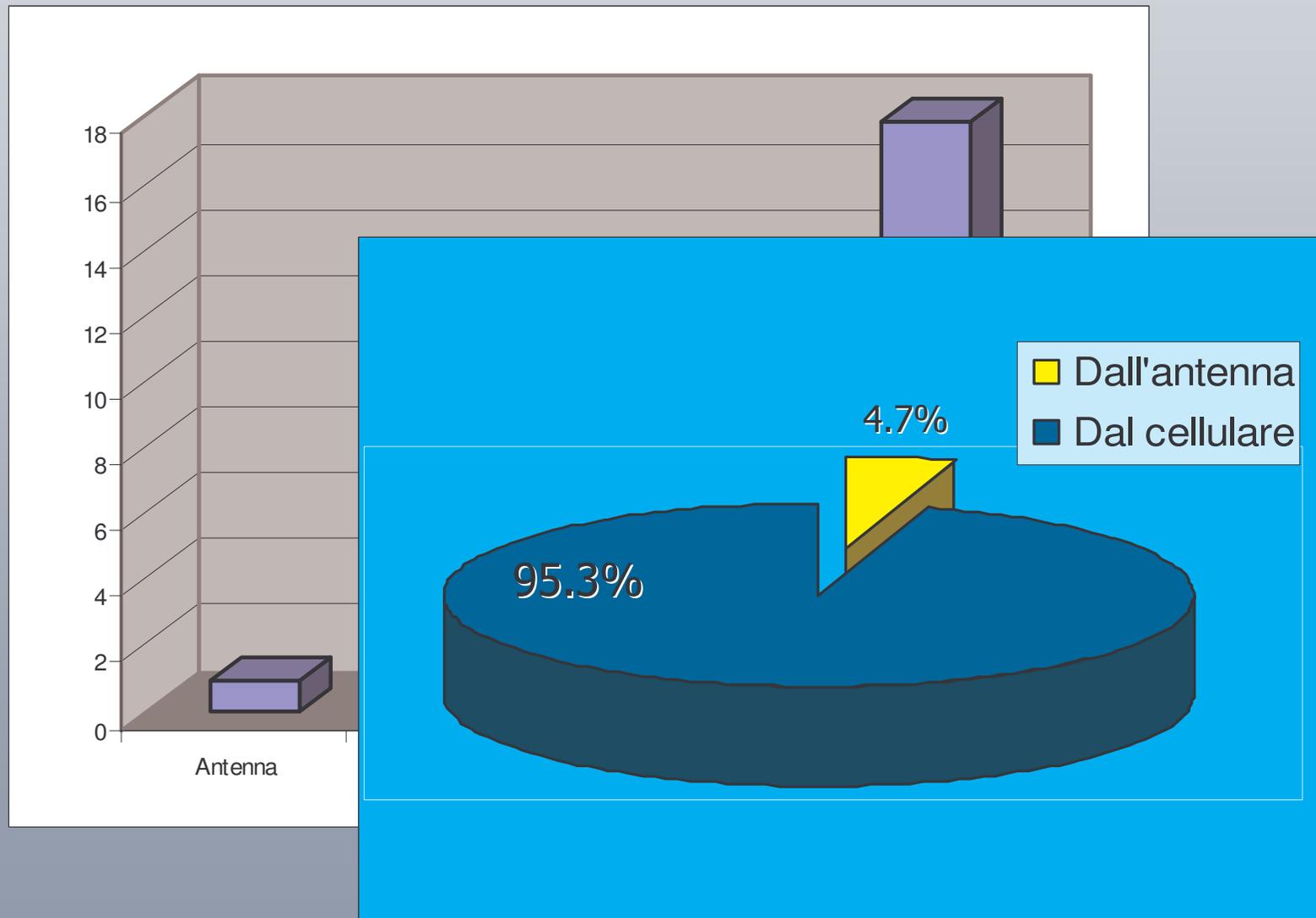
ICNIRP: 137 V/m
DPCM 2003: 20 V/m ↔ 6 V/m



Stazione radio base



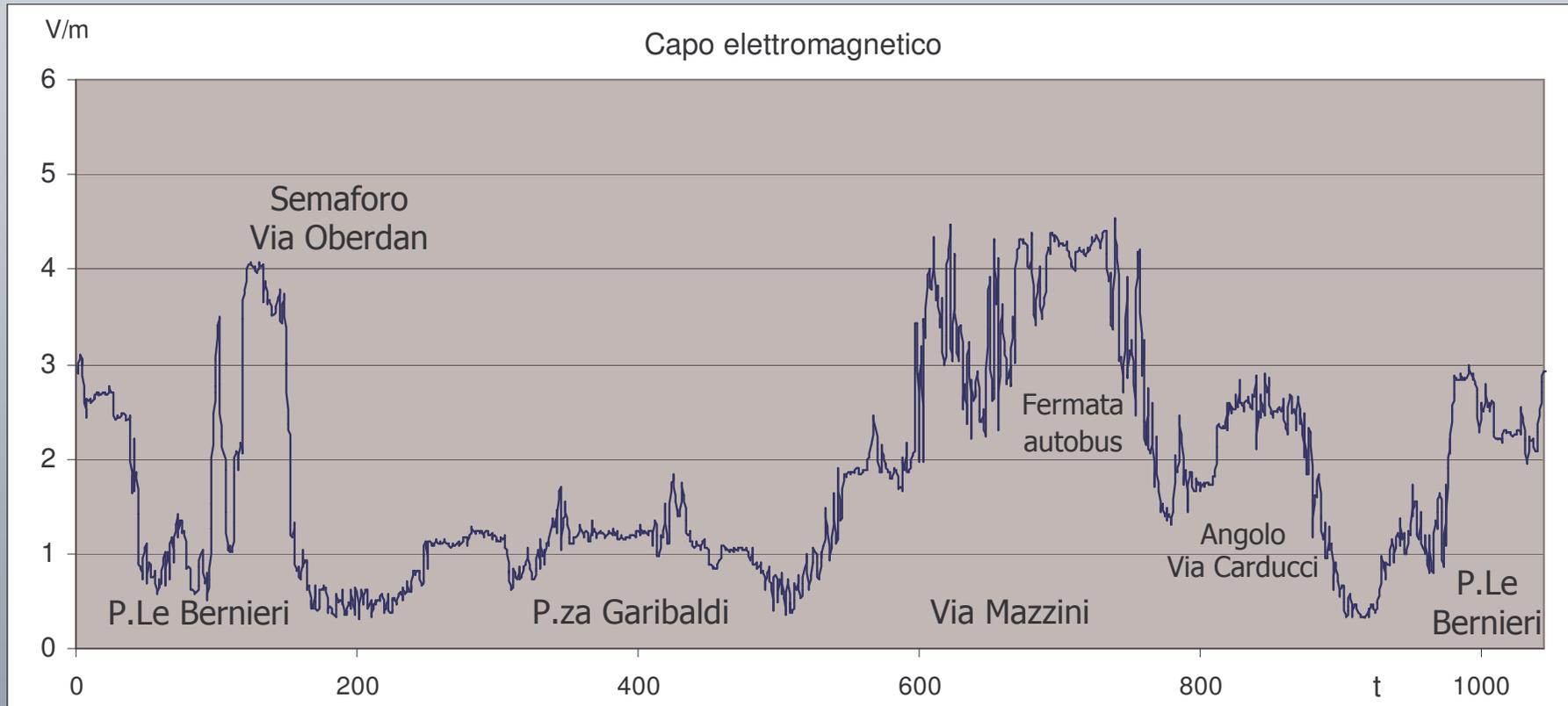
Antenna e cellulare: contributo alle esposizioni



In città



In città



Limiti di legge: 20 V/m 6 V/m



Campi magnetici statici



Campo magnetico statico: limiti

<i>Lavoratori</i>	D.M. 2 AGOSTO 1991
Giornata lavorativa (media pesata sul tempo)	200 mT (1 ora al giorno) 2 T (15 minuti al giorno)
Estremità	2T (1 ora al giorno) 4T (15 minuti al giorno)
<i>Popolazione</i>	
Esposizione continua	40 mT
<i>Pazienti</i>	
Tronco e testa	2.5 T (fino a 4 T a giudizio del medico)
Estremità	4 T



Campo magnetico terrestre

Sulla superficie il valore del campo magnetico terrestre varia in intensità con la latitudine:

da circa $20 \mu\text{T}$ all'equatore

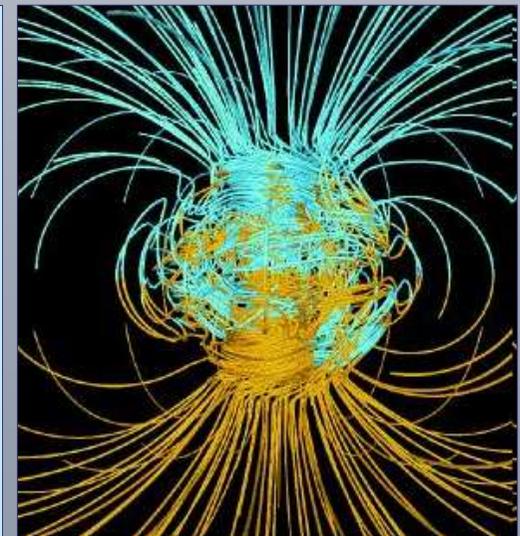
a circa $70 \mu\text{T}$ ai poli.

Possono esserci variazioni fino a $0,03 \mu\text{T}$ al giorno.

Il campo elettrico statico naturale ha una intensità sulla superficie terrestre che è funzione anche delle condizioni atmosferiche.

Può assumere valori tra circa 130 V/m in condizioni di cielo sereno fino a 20 kV/m durante i temporali.

- La terra emette $0,3 \mu\text{W/m}^2$ (0 – 300 GHz).

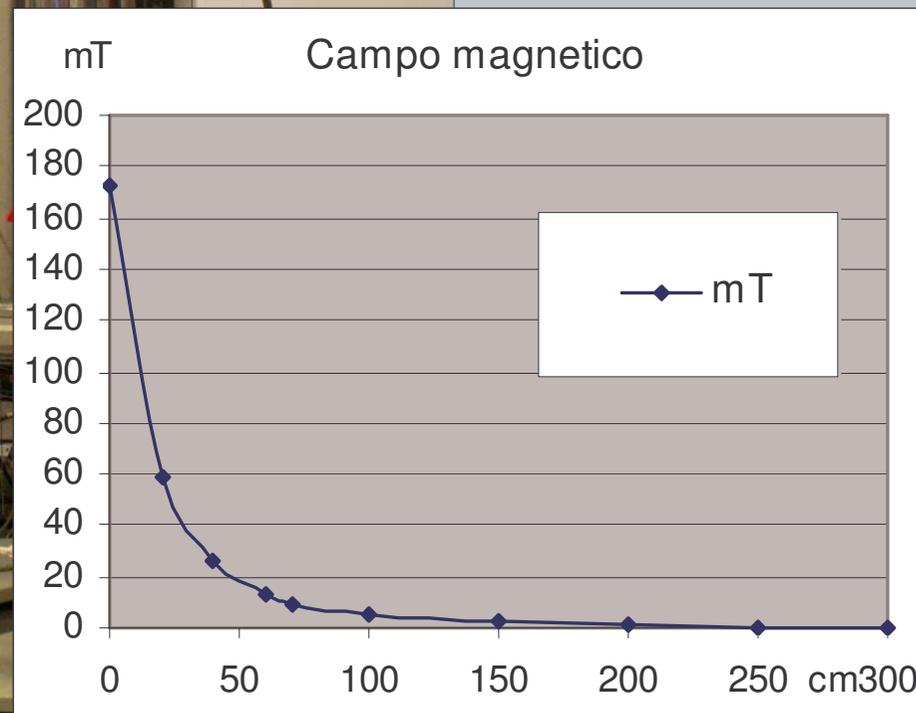


Strumento campi statici



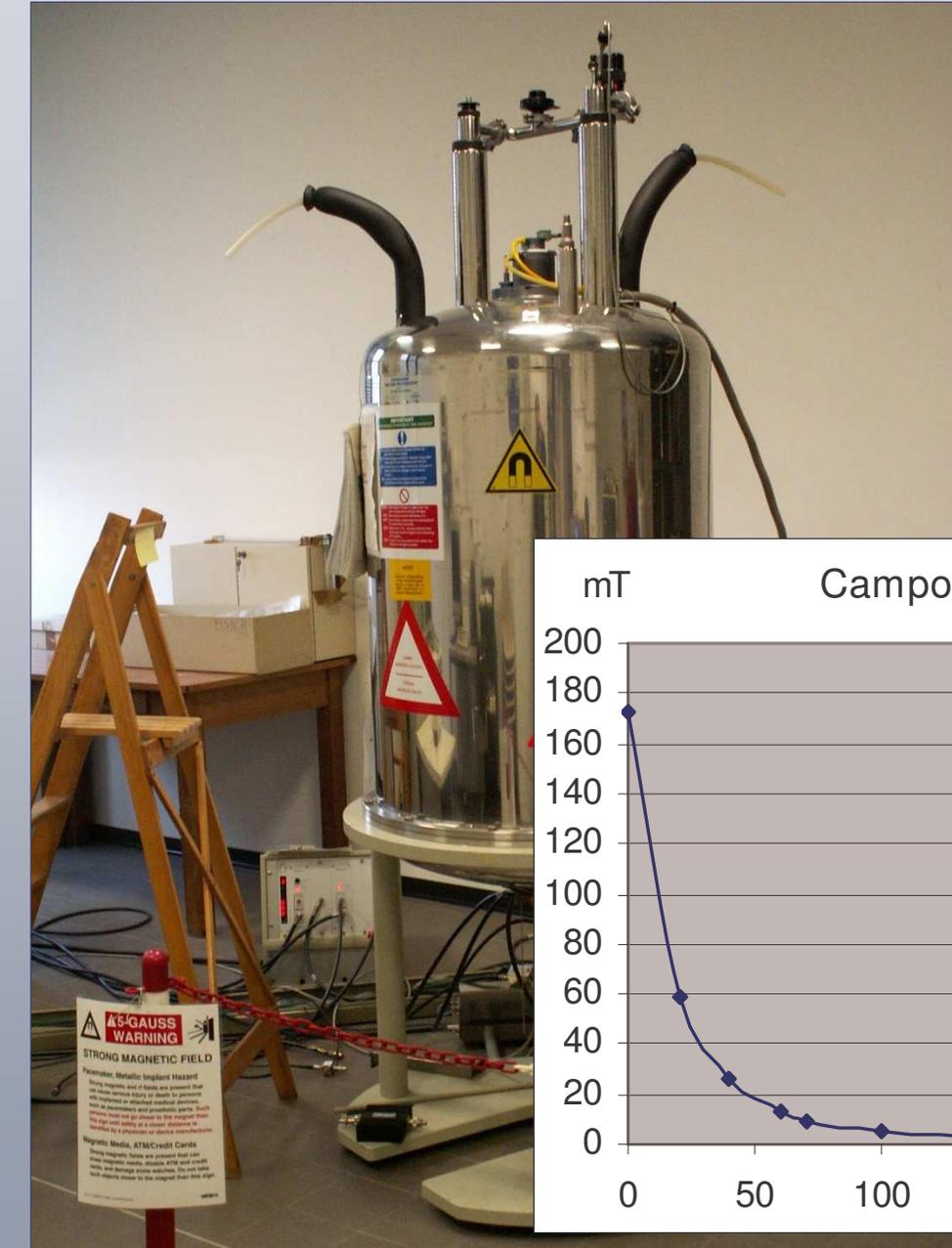
Campo statico magnete a superconduttori - C.I.M. "Casnati"

Sotto la base: 550 mT
Alla base superiore ~50 mT



cm	mT
0,5	173,1
20	58,3
40	25,7
60	13,7
100	5,25
150	2,01
200	0,86
250	0,54
300	0,31

ICNIRP: $2 \cdot 10^5 \mu\text{T}$



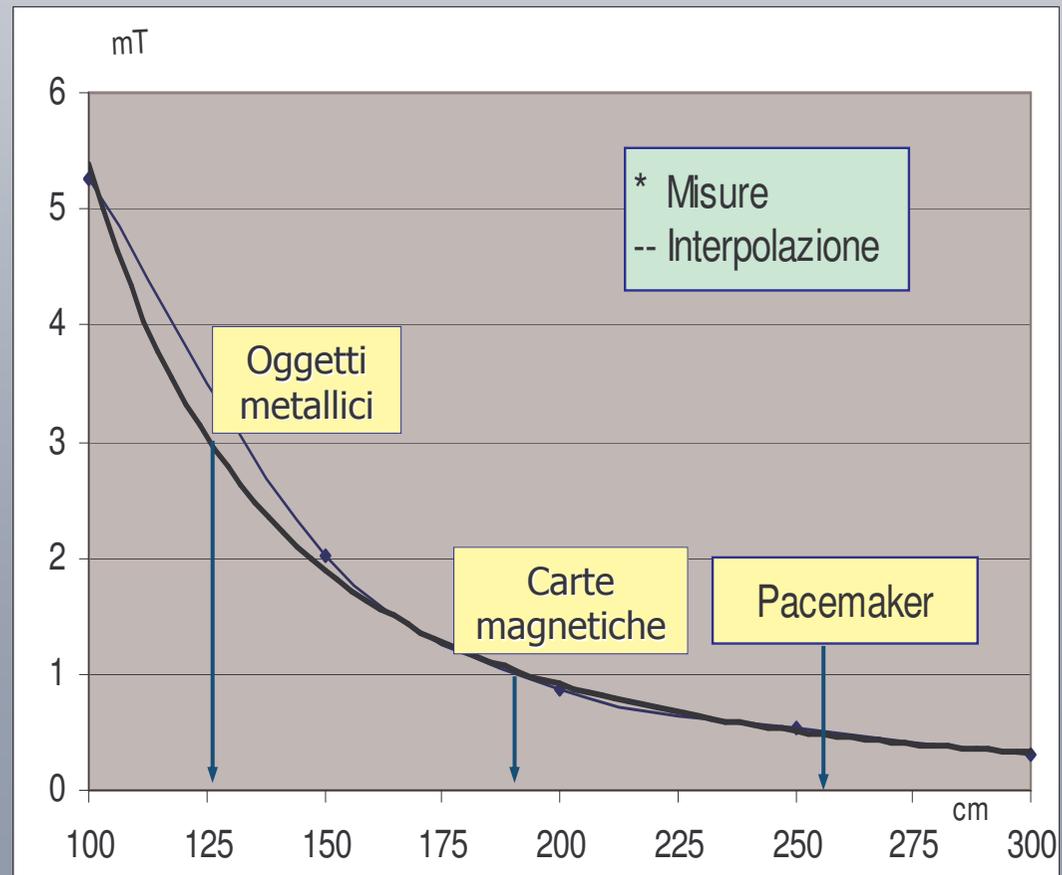


Campo statico magnete a superconduttori - C.I.M. "Casnati"

ICNIRP fino a 1 Hz: $2 \cdot 10^5 \mu\text{T}$

La catena è messa a 1,5 metri.
Con un campo di **3 mT** si
devono prendere precauzioni
per prevenire rischi dovuti a
oggetti metallici messi in
rapido movimento dal campo.

Orologi metallici, carte di
credito, nastri magnetici, dischi
per calcolatori ... possono
essere danneggiati da campi di
a **1 mT** (ma non è motivo di
preoccupazione per la sicurezza
fisica individuale – Documento
ISPESL-ISS 1998).



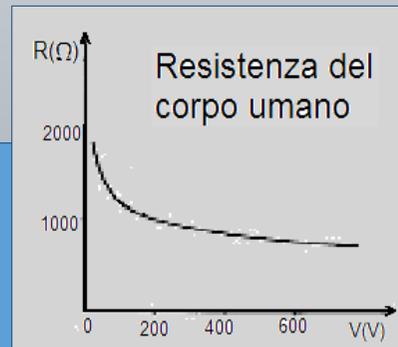
Misura di correnti indotte



Sulla valutazione delle correnti indotte

$$\oint E \cdot dl = - \frac{d\Phi_B}{dt}$$

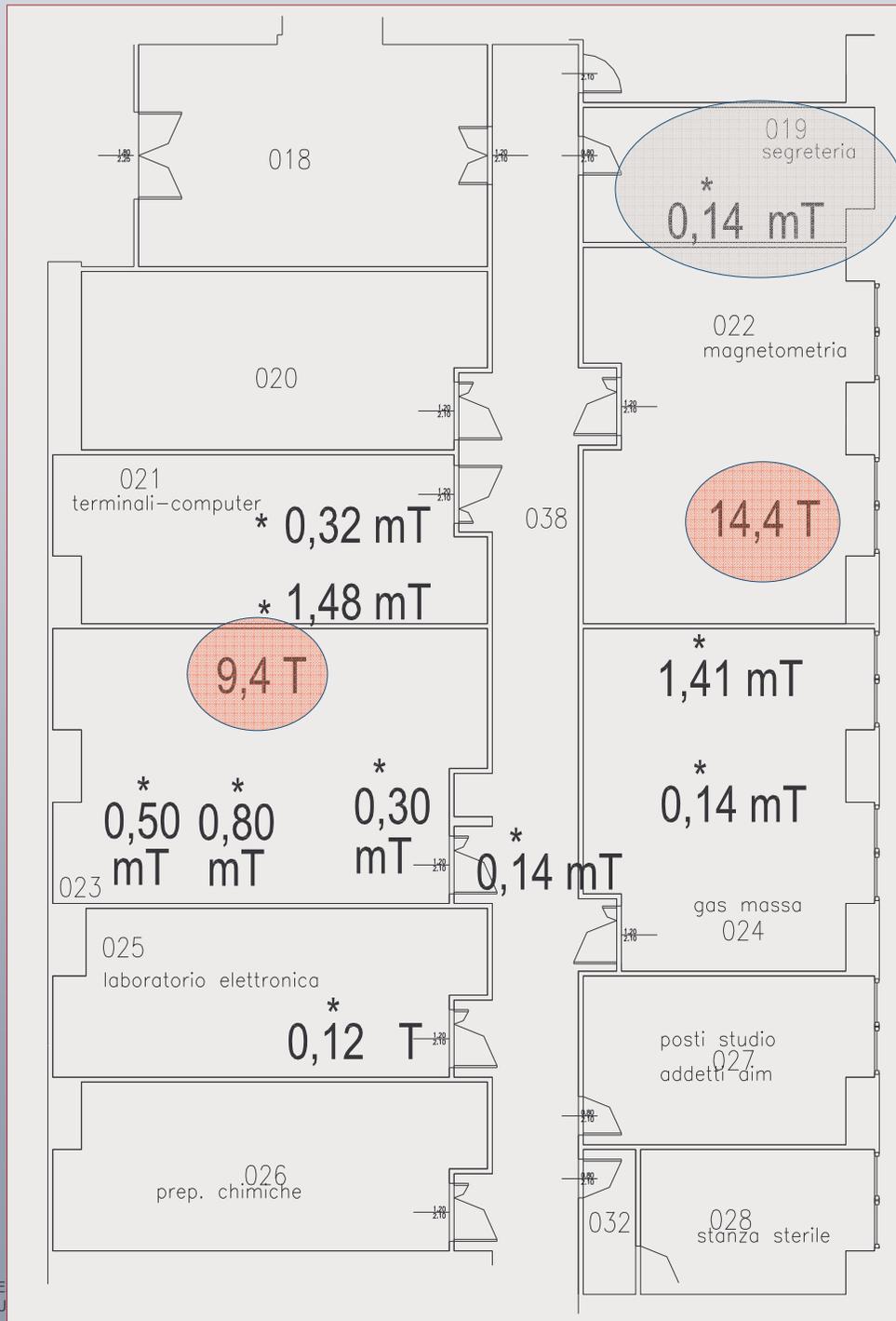
- Δt , - S_m ,
- S_p , - R_C ,
- Fattore di percorso



$J(\text{mA}/\text{m}^2)$

Campo statico magnete a superconduttori - C.I.M. "Casnati"





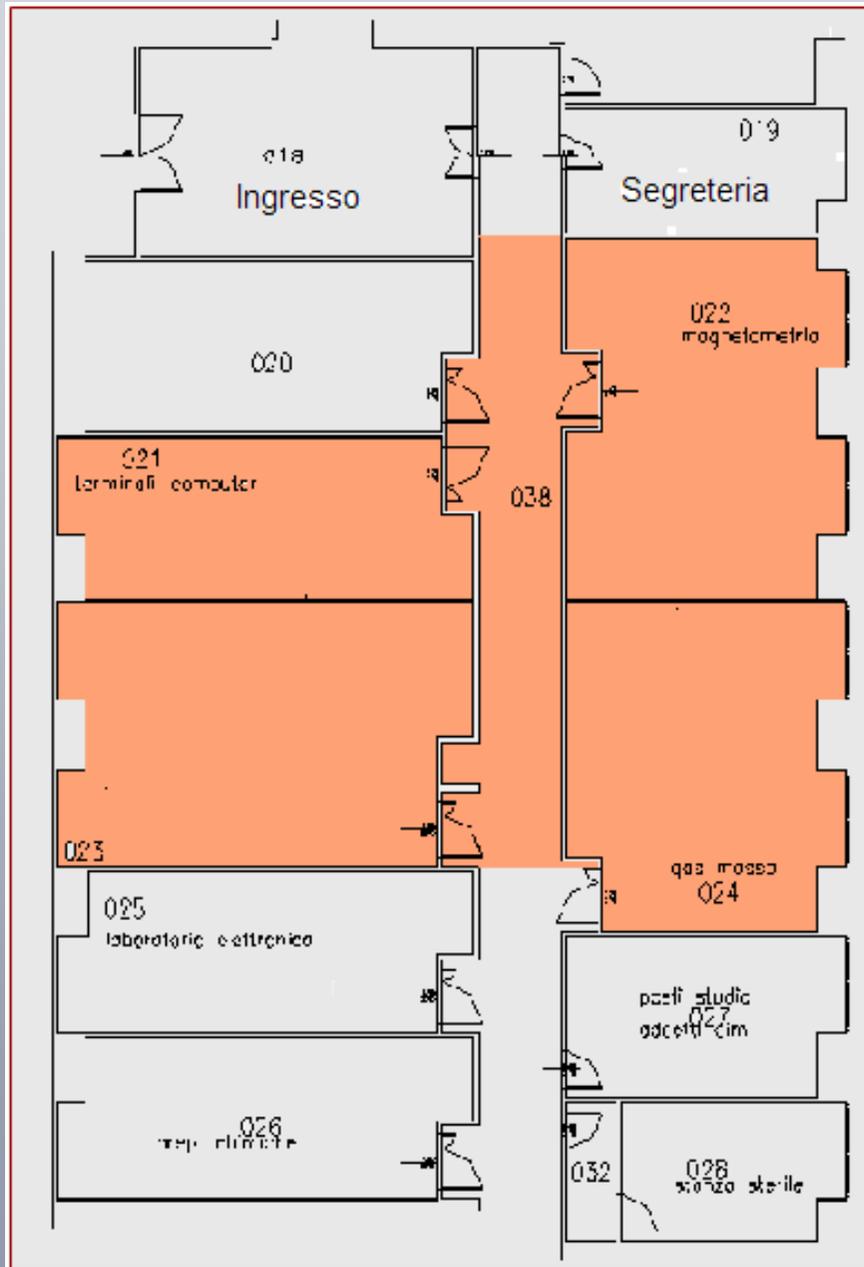
Campo statico magnete a superconduttori C.I.M. "Casnati"

Al piano superiore
non si hanno
esposizioni.



Campo statico C.I.M. "Casnati"

ZONA no PACEMAKER



Strumenti e taratura

PMM 8053 s/n 02200742, misuratore programmabile di \bar{E} e B

Certificato taratura n. 00742-611 del 06.11.2006

Sonda PMM EHP-50A s/n 1210L00910, sensore isotropo (\bar{E} , B, 50 Hz)

Certificato taratura n. 0010-C611 del 29.03.2007

Sonda PMM EP330 s/n 1010J00902 (da 0.1 a 3000 MHz)

Certificato taratura n. 00902-C610 del 26.10.2006

Sonda PMM EP 183 s/n 0000E00612 (da 0,1 a 18 GHz)

Certificato taratura n. 00612-C610 del 26.10.2006

Le tarature di questa strumentazione sono state eseguite presso il Servizio Italiano di Taratura (SIT) del Centro PMM – Centro Misure Radioelettriche Srl, Via Leonardo da Vinci 21/23 - 20090 Segrate (Milano).

Narda SRM-300 Selective Radiation Meter s/n K-0017 con antenna 3AX 75M-3G s/n H-0105 (75 MHz – 3 GHz).

METROLAB Instruments SA 3-Axis Hall Teslameter ETM-1 con sonda THS 7024-10 sn AD.0059 (Campo statico).

