

# Campi elettromagnetici nell'ambiente: esperienza di ARPA

Cristina Bosio - ARPA della Lombardia



## ...IL LAVORO DI ARPA...

**ARPA predispone la sua attività in base agli indirizzi indicati dalla Regione Lombardia.**

- fornisce collaborazione tecnico-scientifica a Regione, Province, Comuni, Comunità montane ed altri enti pubblici nel campo della prevenzione e tutela ambientale
- collabora con le ASL
- pone le proprie competenze al servizio delle imprese e dei cittadini

## ...COSA FA ARPA...

art. 3 legge regionale 14 agosto 1999, n.16

**esercita attività di controllo ambientale e segnala alle autorità competenti le violazioni in materia ambientale**

- inquinamento dell'aria
- inquinamento da radiazioni ionizzanti e non
- inquinamento acustico
- inquinamento delle acque
- inquinamento del suolo e bonifica dei siti contaminati
- controllo sui rifiuti



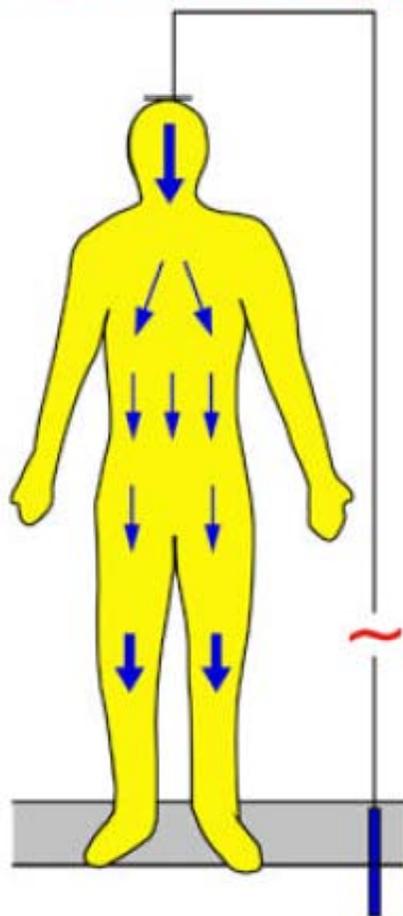
## ...e per le radiazioni non ionizzanti...

- CATASTO IMPIANTI RADIOEMITTENTI
- ESPRESSIONE PARERI PREVENTIVI PER RADIO, TV, SRB, ELETTRICITÀ
- ANALISI MODELLISTICA PREVISIONALE
- EFFETTUARE VERIFICHE SPERIMENTALI ALLE RF E ALLE ELF
- EDUCAZIONE AMBIENTALE

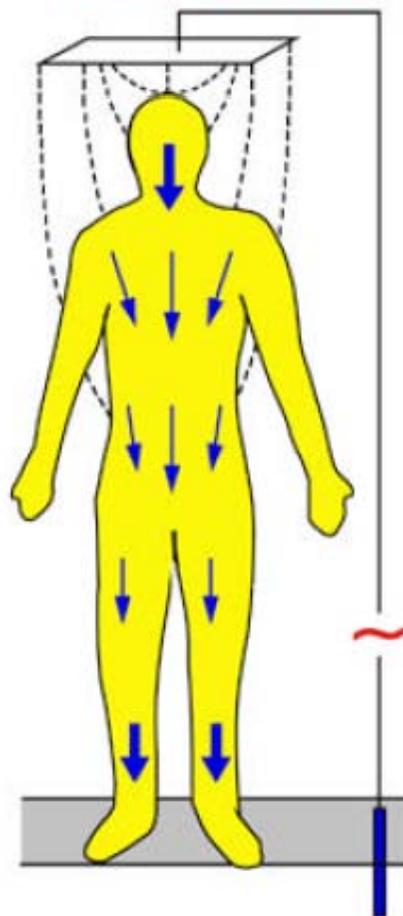
# EFFETTI BIOLOGICI DEI CAMPI ELETTROMAGNETICI

# THE PHYSICAL MECHANISM: INDUCTION OF ELECTRIC CURRENTS

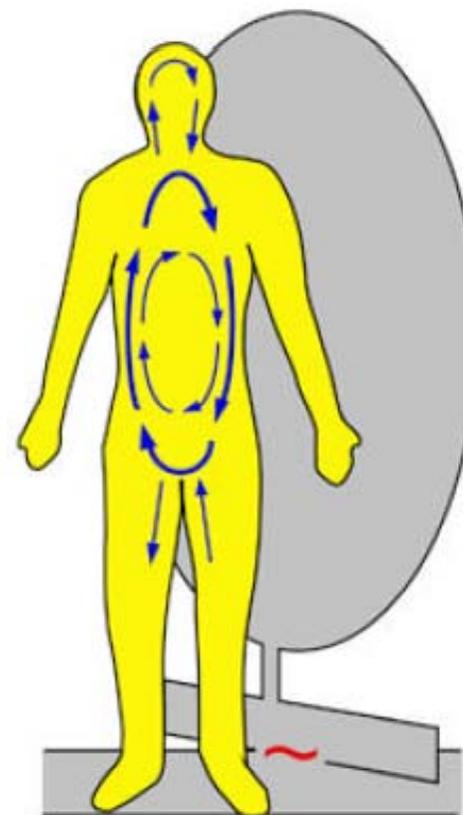
**Electric Voltage**



**Electric Field**



**Magnetic Field**



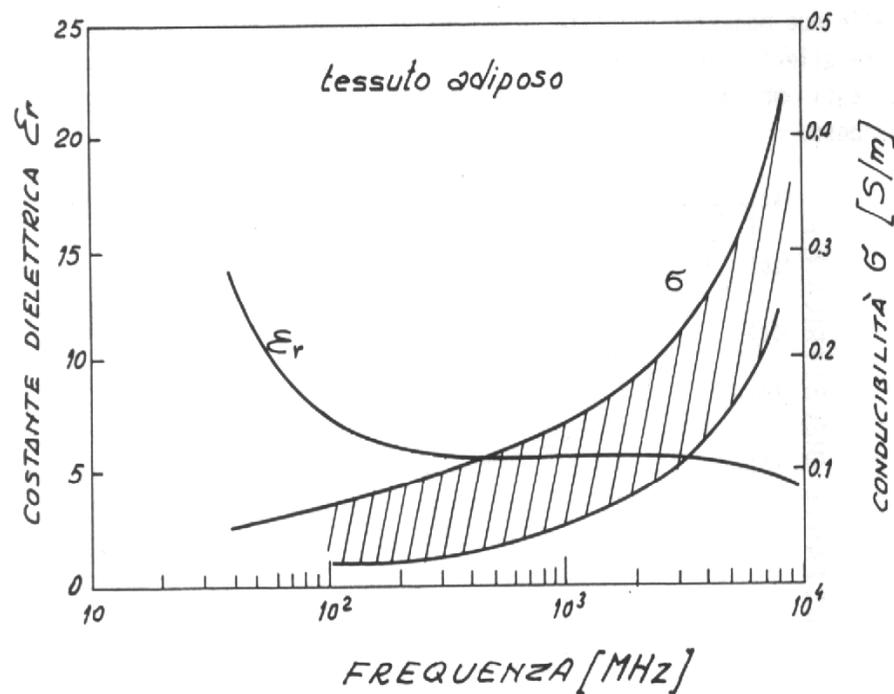
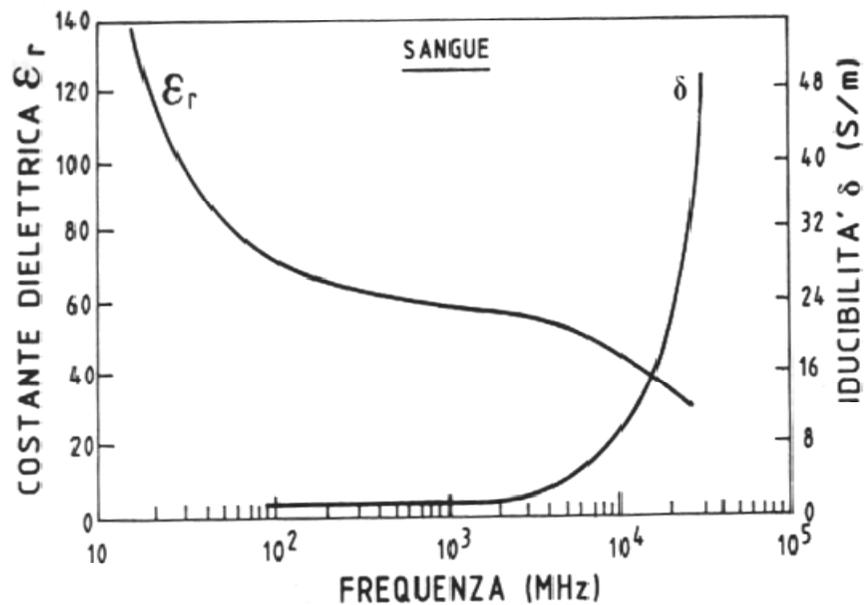
**THE HEALTH CRITERION:  
TO KEEP INDUCED CURRENT DENSITIES BELOW 10 mA/m<sup>2</sup>**

## Interazione tra campi elettromagnetici e le cariche del mezzo materiale:

- 1 **riduzione della velocità di propagazione** (e della lunghezza d'onda) approssimativamente secondo il fattore  $1/\sqrt{\epsilon_r}$  ;
- 2 **perdita di energia**, a causa delle interazioni delle cariche libere e dei dipoli tra di loro e con gli altri componenti della struttura.

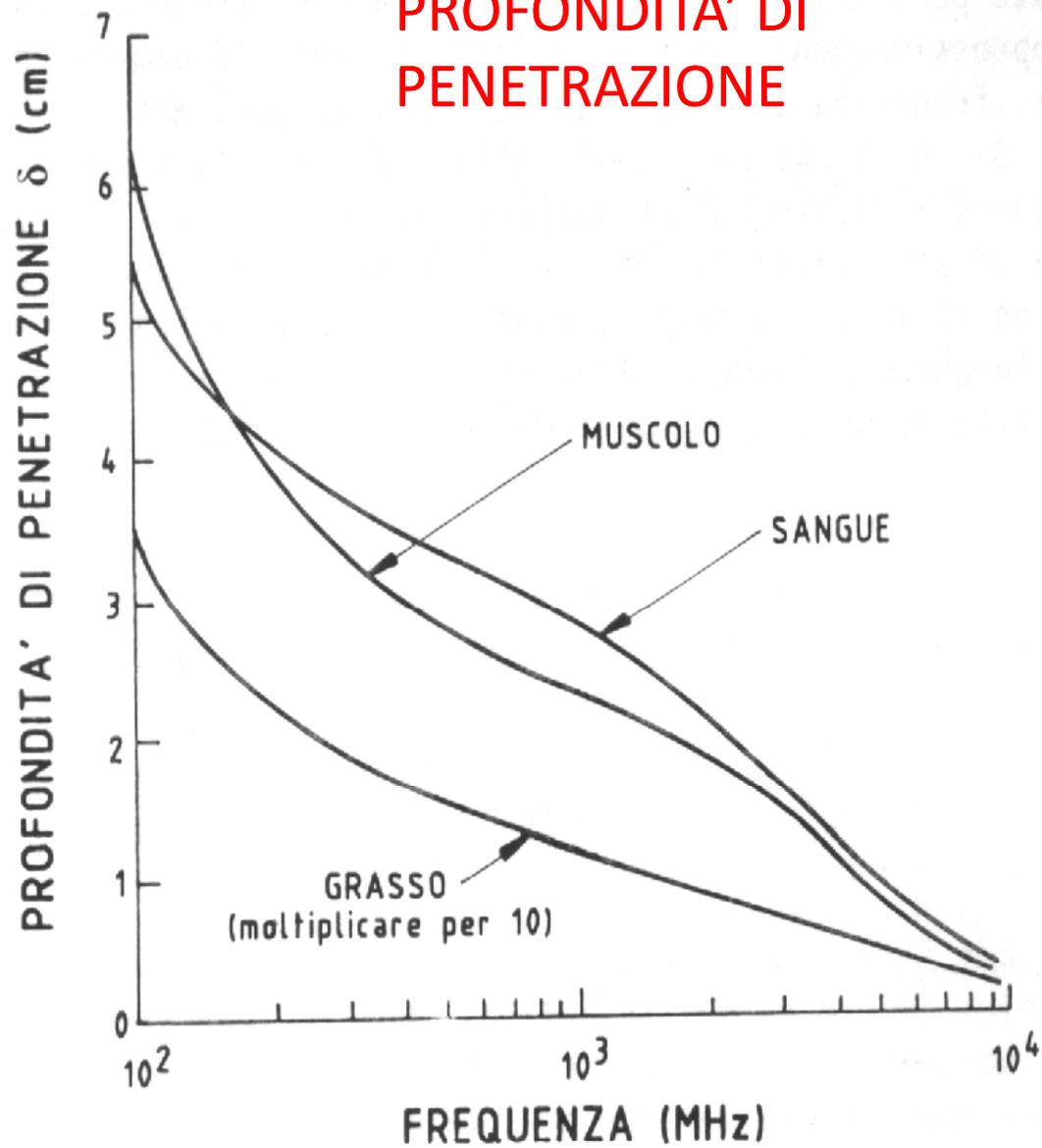
Conseguenza : trasformazione di parte dell'energia dell'onda in energia termica. *L'energia e.m. diminuisce e aumenta l'energia termica del corpo.*

# SANGUE



# ADIPE

## PROFONDITA' DI PENETRAZIONE



$$SAR = \Delta W_i / \rho_m \Delta V_i = \sigma E^2 / \rho_m$$

$$SAR_m = W / M$$

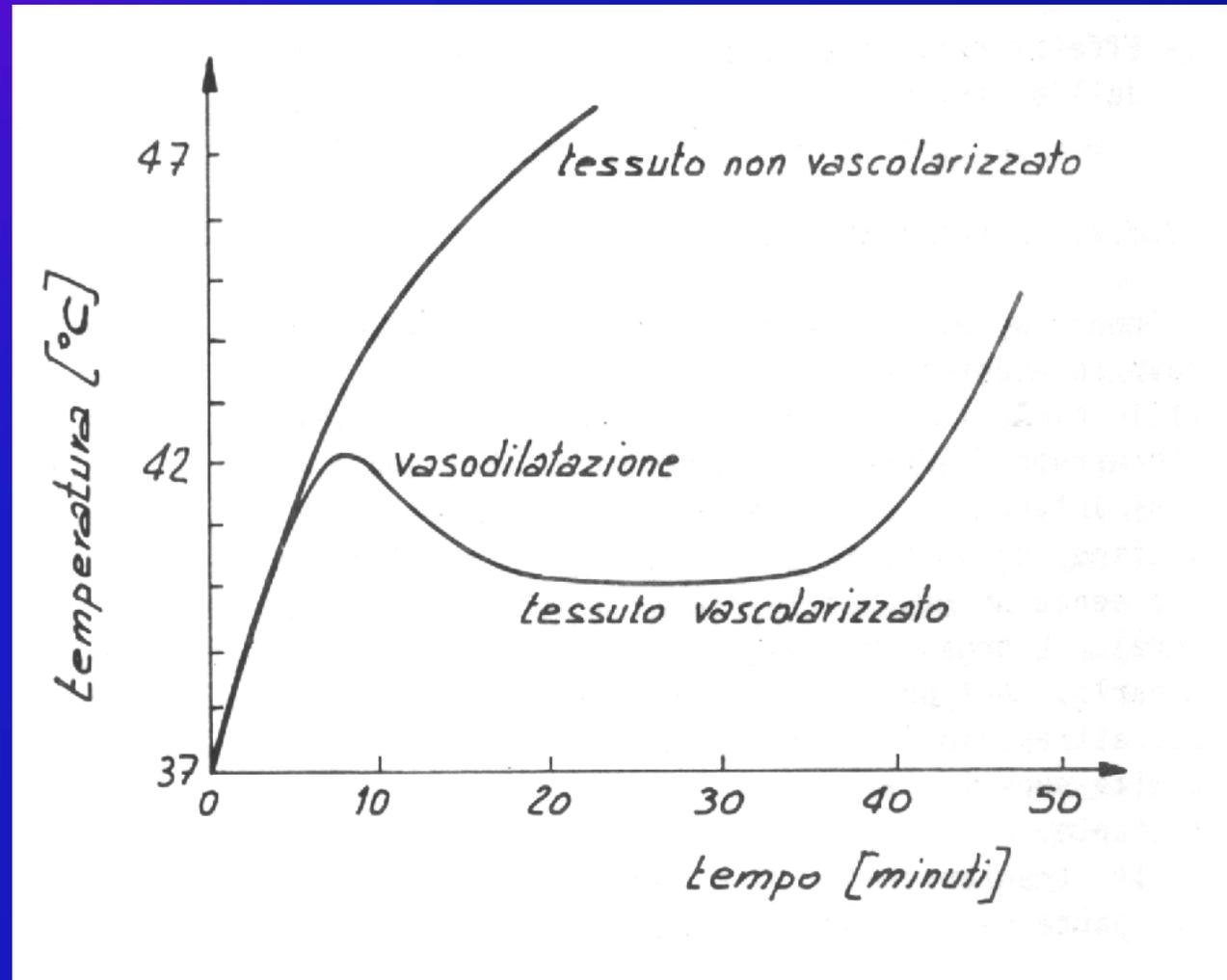
Frequenza di risonanza per il campo elettrico E:

$$\nu_r \text{ (Hz)} = 11.4 * 10^7 / L \text{ (m)}$$

Per L=1.7 m (altezza uomo)  $\nu_r = 70$  MHz

Per L= 0.25 m (testa uomo)  $\nu_r = 450$  MHz

## Incremento della temperatura in tessuti vascolarizzati e non



## Effetti di eccessivo riscaldamento di parti del corpo

|                     |  |                        |
|---------------------|--|------------------------|
| <b>CERVELLO</b>     | $\Delta T > 4.5 \text{ } ^\circ\text{C}$       | Danno dei neuroni      |
| <b>OCCHIO</b>       | $\Delta T > 3.5 \text{ } ^\circ\text{C}$       | Cataratta              |
| <b>PELLE</b>        | $\Delta T > 10-20 \text{ } ^\circ\text{C}$     | Danneggiamento termico |
| <b>INTERO CORPO</b> | $\Delta T > 1-2 \text{ } ^\circ\text{C}$       | Effetti fisiologici    |
|                     | $\Delta T > 0.06-0.08 \text{ } ^\circ\text{C}$ | Percezione di calore   |

**Normativa attuale (per la popolazione) : SAR tali che la deposizione di energia nel tessuto non induca un riscaldamento maggiore di 1 °C in alcuna parte del corpo (4 W/kg).**

# LEGGE QUADRO SULL'INQUINAMENTO ELETTROMAGNETICO (Legge 36 del 22.2.01)

## Per la popolazione:

D.P.C.M. 8 luglio 2003 per gli elettrodotti

D.P.C.M. 8 luglio 2003 per le frequenze tra 100 kHz e 300 GHz

## Per i lavoratori:

D.Lgs. N. 81/2008

I limiti per la **popolazione** sono:

A 50 Hz: **100  $\mu$ T** per il campo magnetico –  
**10  $\mu$ T** per aree gioco... e **3  $\mu$ T** progettaz.

**5000 V/m** per il campo elettrico

100 kHz - 300 GHz:

**60-20 V/m** in generale per il campo elettrico

**6 V/m** per permanenze superiori a 4 ore

## I limiti per i lavoratori sono:

Exposure limit values (Article 3(1)). All conditions to be satisfied

| Frequency range    | Current density for head and trunk $J$ (mA/m <sup>2</sup> ) (rms) | Whole body average SAR (W/kg) | Localised SAR (head and trunk) (W/kg) | Localised SAR (limbs) (W/kg) | Power density $S$ (W/m <sup>2</sup> ) |
|--------------------|---|-------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| Up to 1 Hz         | 40  | —                             | —                                     | —                            | —                                     |
| 1 — 4 Hz           | 40/f  | —                             | —                                     | —                            | —                                     |
| 4 — 1 000 Hz       | 10  | —                             | —                                     | —                            | —                                     |
| 1 000 Hz — 100 kHz | f/100   | —                             | —                                     | —                            | —                                     |
| 100 kHz — 10 MHz   | f/100   | 0,4                           | 10                                    | 20                           | —                                     |
| 10 MHz — 10 GHz    | —   | 0,4                           | 10                                    | 20                           | —                                     |
| 10 — 300 GHz       | —   | —                             | —                                     | —                            | 50                                    |

**Action values (Article 3(2)) (unperturbed rms values)**

| Frequency range  | Electric field strength, E (V/m) | Magnetic field strength, H (A/m) | Magnetic flux density, B ( $\mu\text{T}$ ) | Equivalent plane wave power density, $S_{\text{eq}}$ ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) | Contact current, $I_c$ (mA) | Limb induced current, $I_l$ (mA) |
|------------------|----------------------------------|----------------------------------|--|--|-----------------------------|----------------------------------|
| 0 — 1 Hz         | —                                | $1,63 \times 10^5$               | $2 \times 10^5$                            | —  | 1,0                         | —                                |
| 1 — 8 Hz         | 20 000                           | $1,63 \times 10^5 / f^2$         | $2 \times 10^5 / f^2$                      | —  | 1,0                         | —                                |
| 8 — 25 Hz        | 20 000                           | $2 \times 10^4 / f$              | $2,5 \times 10^4 / f$                      | —  | 1,0                         | —                                |
| 0,025 — 0,82 kHz | $500 / f$                        | $20 / f$                         | $25 / f$                                   | —  | 1,0                         | —                                |
| 0,82 — 2,5 kHz   | 610                              | 24,4                             | 30,7                                       | —  | 1,0                         | —                                |
| 2,5 — 65 kHz     | 610                              | 24,4                             | 30,7                                       | —  | $0,4 f$                     | —                                |
| 65 — 100 kHz     | 610                              | $1\,600 / f$                     | $2\,000 / f$                               | —  | $0,4 f$                     | —                                |
| 0,1 — 1 MHz      | 610                              | $1,6 / f$                        | $2 / f$                                    | —  | 40                          | —                                |
| 1 — 10 MHz       | $610 / f$                        | $1,6 / f$                        | $2 / f$                                    | —  | 40                          | —                                |
| 10 — 110 MHz     | 61                               | 0,16                             | 0,2  | 10   | 40                          | 100                              |
| 110 — 400 MHz    | 61                               | 0,16                             | 0,2  | 10   | —                           | —                                |
| 400 — 2 000 MHz  | $3 f^{1/2}$                      | $0,008 f^{1/2}$                  | $0,01 f^{1/2}$                             | $f / 40$   | —                           | —                                |
| 2 — 300 GHz      | 137                              | 0,36                             | 0,45                                       | 50   | —                           | —                                |

# ELF

$\nu < 100 \text{ kHz}$

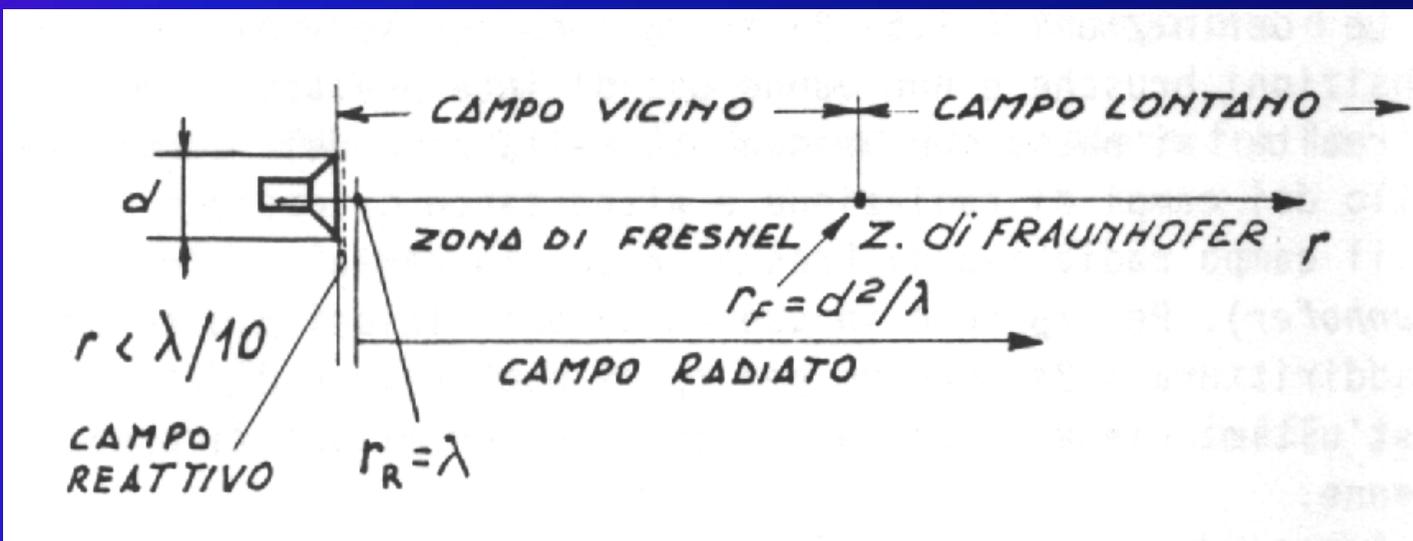
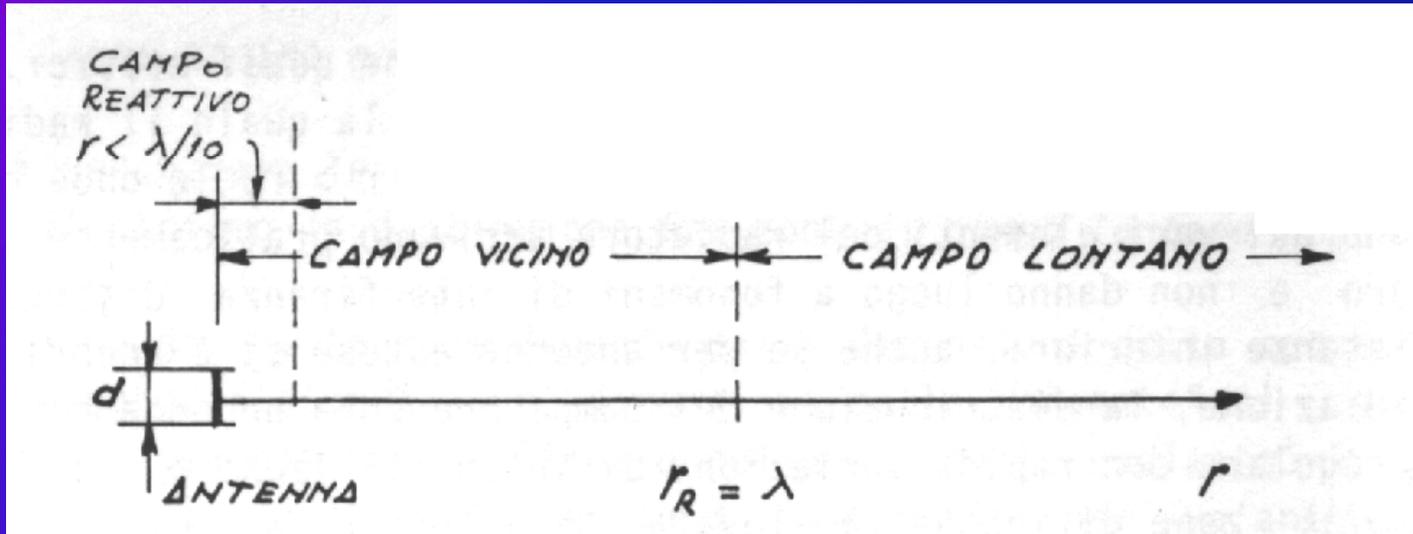


# Radiofrequenze

$100 \text{ kHz} < \nu < 300 \text{ GHz}$

# CAMPI ELETTROMAGNETICI ALLE RADIOFREQUENZE

## Campo vicino e campo lontano



# Apparati per telecomunicazioni

Apparati

a emissione  
direttiva

a diffusione

Ponti radio

Comunicazioni spaziali

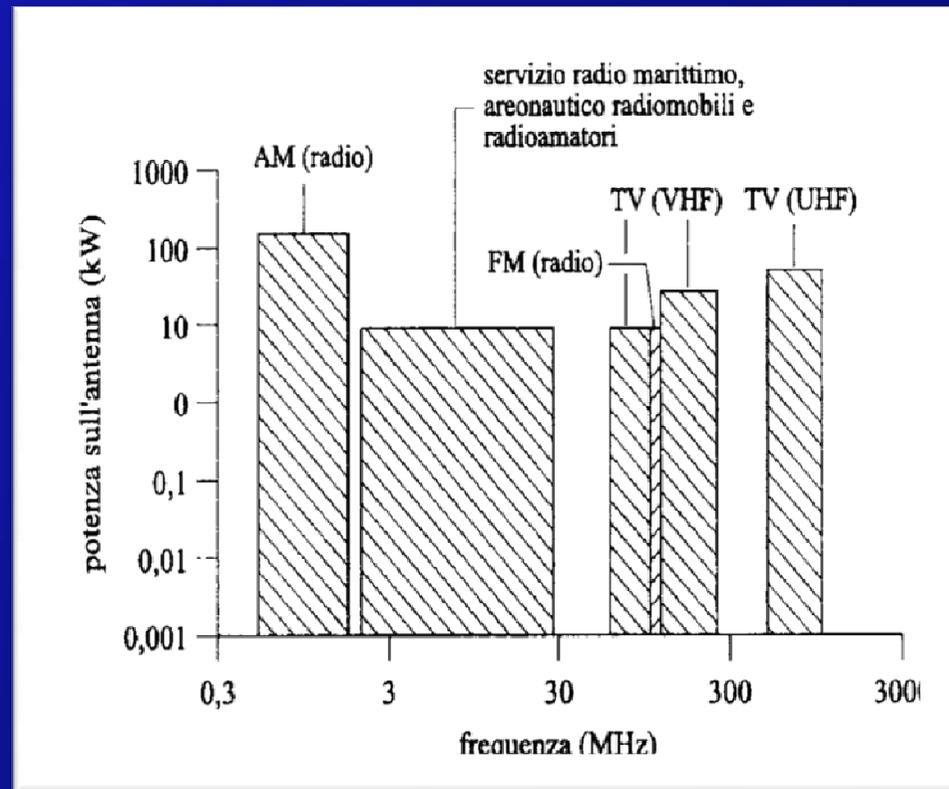
Servizi di telefonia mobile

Radio

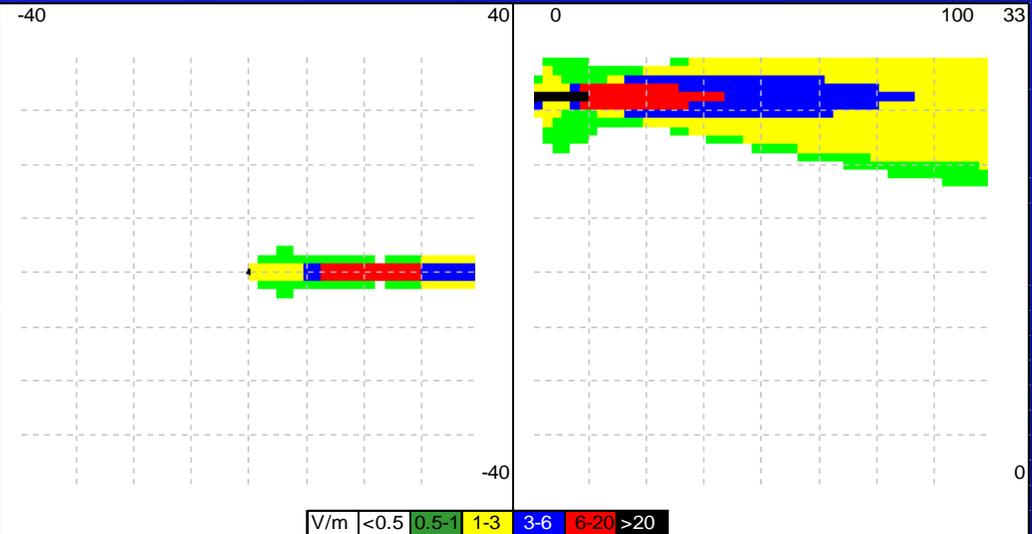
Televisione

Differiscono per:

- ✓ scopo
- ✓ antenne usate
- ✓ frequenze
- ✓ potenze in gioco



# PONTI DI TRASFERIMENTO 2,5 - 25 GHz



DIAGR. ORIZZ. (0 m c.s.r.)

DIAGRAMMA VERTICALE

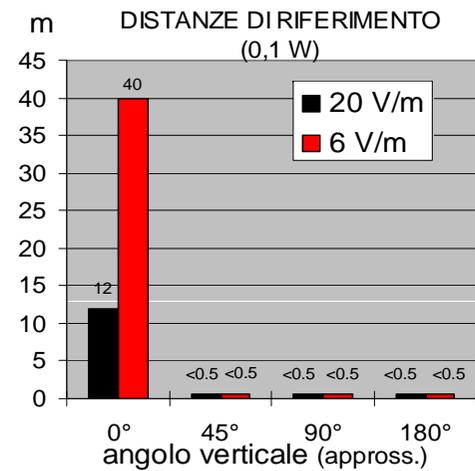
Caratteristiche principali:

Frequenza : 2,5 - 25 GHz

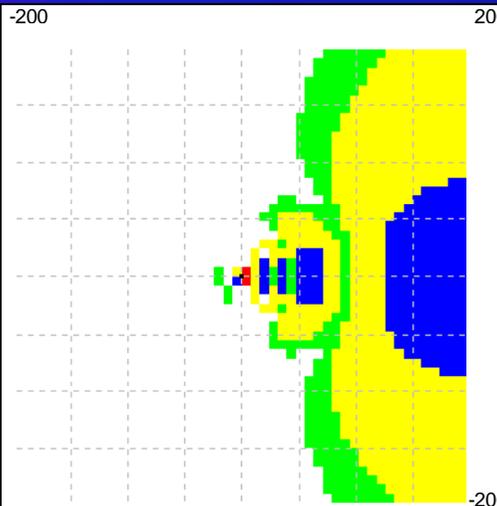
Potenza: 0,05 - 5 W

Note:

Impiegati per la connessione punto - punto per controllo di processi industriali, per comunicazioni aziendali, per il trasferimento di segnali radiotelevisivi dagli studi ai ripetitori di potenza



# TELEVISIONE U.H.F. 600 - 800 MHz



DIAGR. ORIZZ. (-10 m c.s.r.)

Caratteristiche principali:  
 Frequenza : 600 - 800 MHz  
 Potenza: 1000 - 5000 W  
 Note:  
 Trasmisione continua  
 Raggio di ascolto: in funzione  
 della potenza e delle caratteristiche della postazione  
 (5 - 80 km)

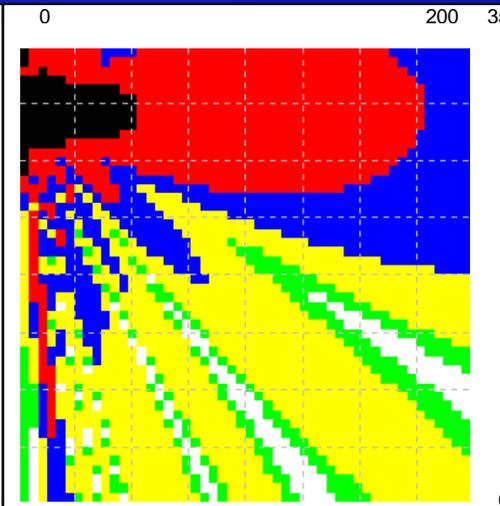
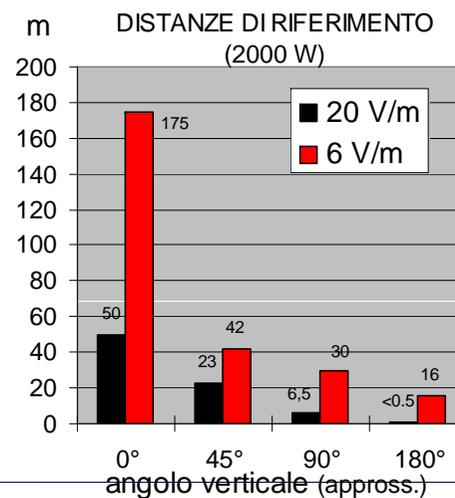
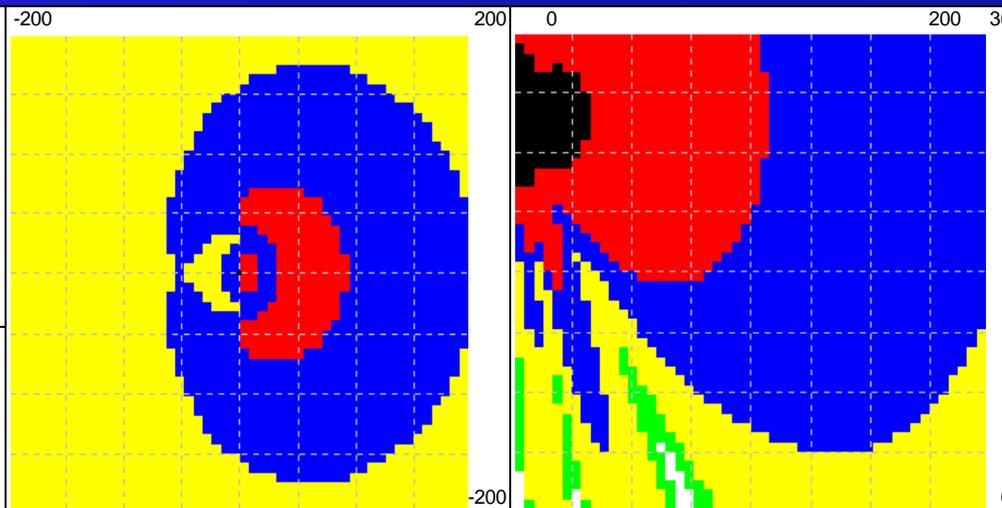


DIAGRAMMA VERTICALE



# RADIO F.M. 88 - 107 MHz



V/m <0.5 0.5-1 1-3 3-6 6-20 >20

DIAGR. ORIZZ. (-10 m c.s.r.)

DIAGRAMMA VERTICALE

Caratteristiche principali:

Frequenza : 88 - 107 MHz

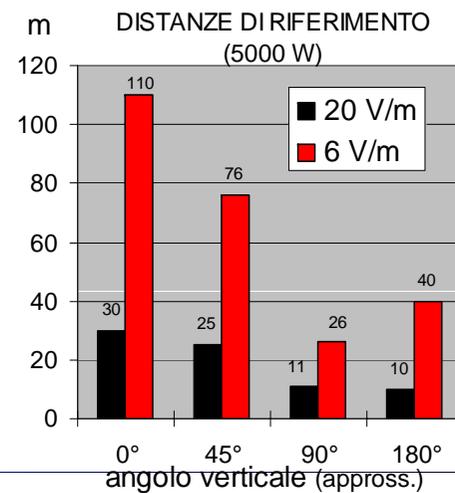
Potenza: 1000 - 15000 W

Note:

Trasmisione continua

Elevata diffusione

Raggio di ascolto: in funzione  
della potenza e delle caratteristiche  
della postazione  
(5 - 80 km)



# CELLULARE GSM



V/m <math><0.5</math> 0.5-1 1-3 3-6 6-20 >20

DIAGR. ORIZZ. (-5 m c.s.r.)

DIAGRAMMA VERTICALE

Caratteristiche principali:

Frequenza : 850 - 930 MHz

Pot. per sett.: 20 - 100 W

Potenza tot.: 60 - 300 W

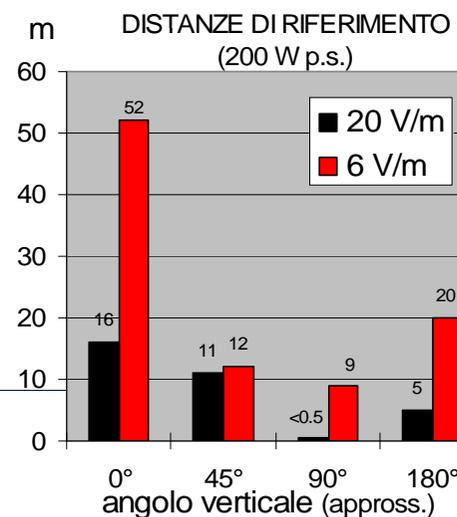
Note:

Il sistema riserva un intero canale ad un singolo utente

Campo totale proporzionale al traffico istantaneo

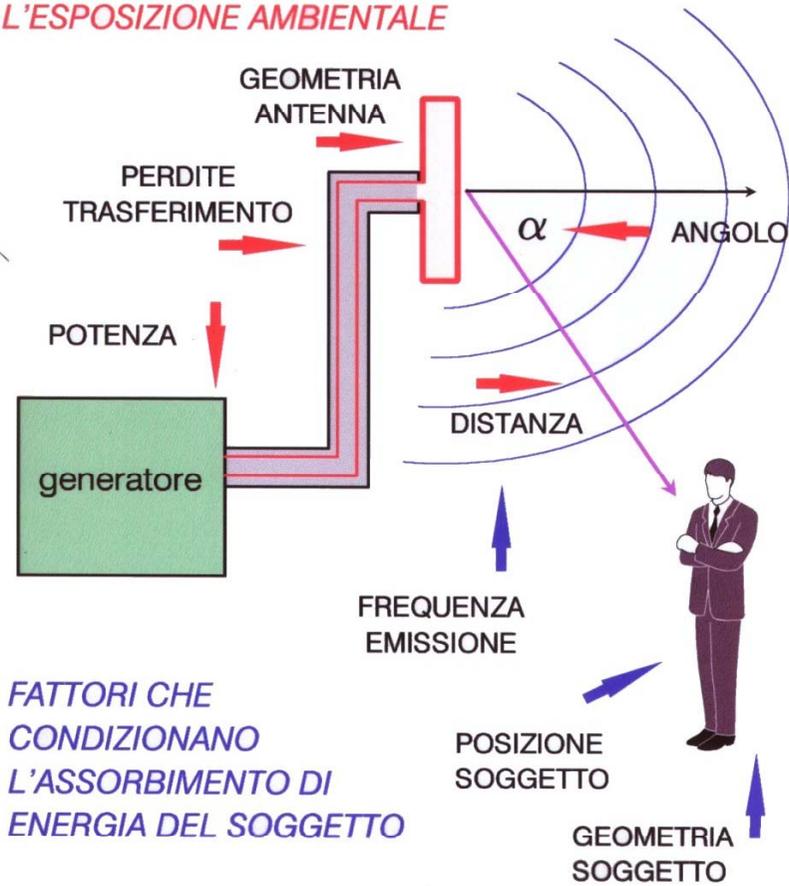
Tilt antenne: 2° - 6°

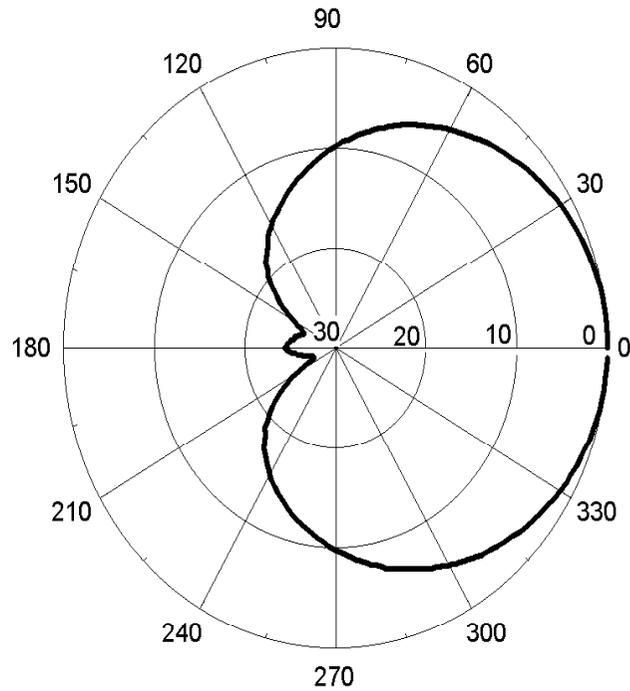
Raggio cella: 0,5 - 3 km



## STAZIONI RADIOBASE

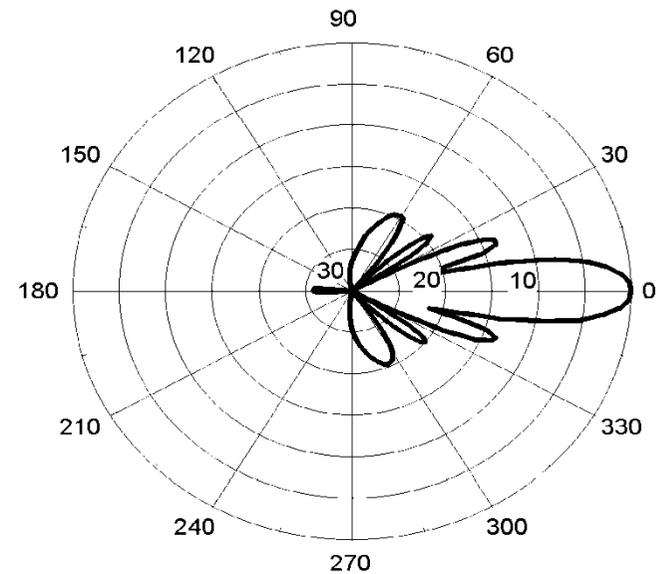
*FATTORI CHE  
CONDIZIONANO  
L'ESPOSIZIONE AMBIENTALE*



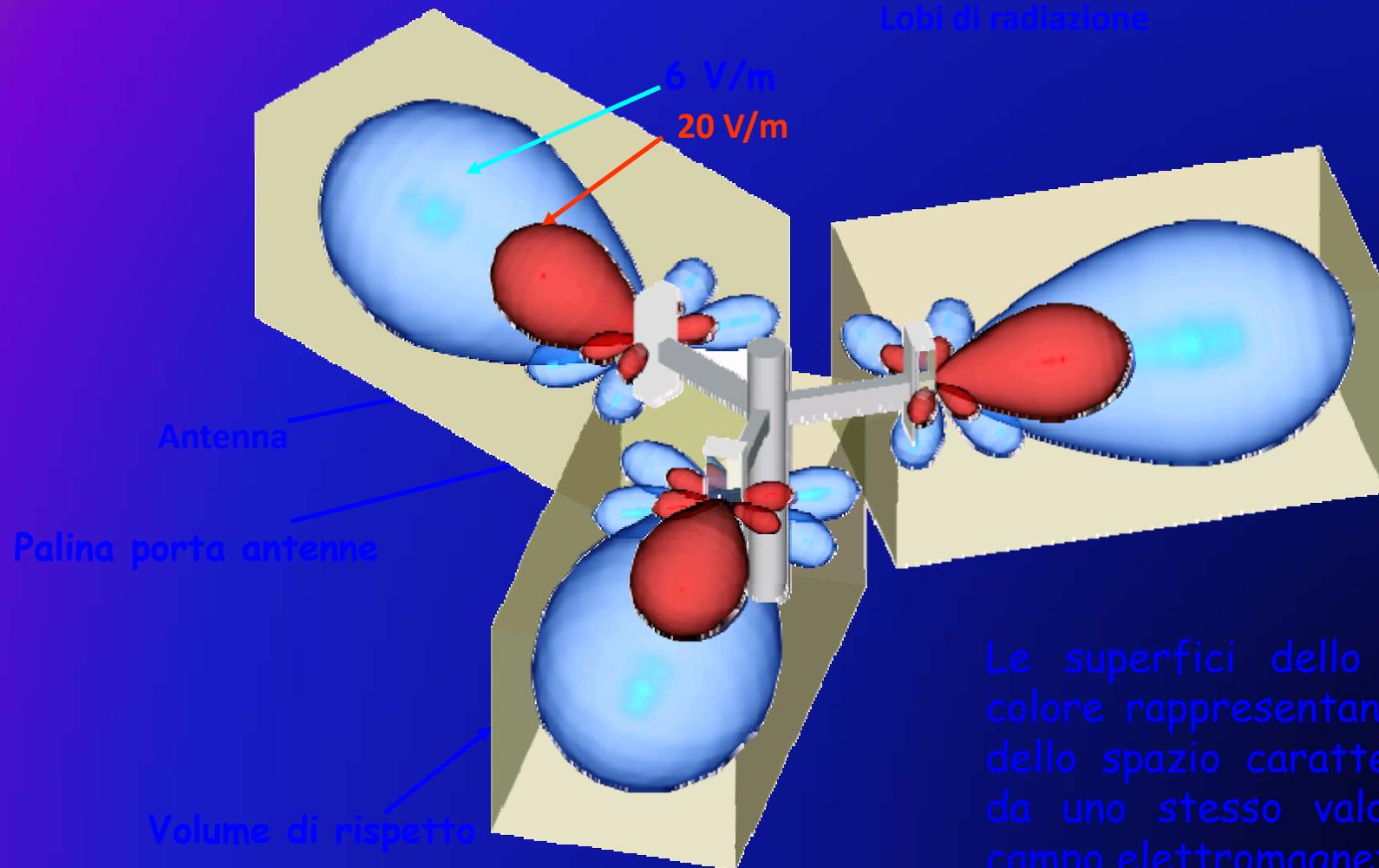


**DIAGRAMMA DI RADIAZIONE  
ORIZZONTALE DI UNA SRB**

**DIAGRAMMA DI  
RADIAZIONE VERTICALE DI  
UNA SRB**



## ANTENNA TRISETTORIALE



Le superfici dello stesso colore rappresentano punti dello spazio caratterizzati da uno stesso valore del campo elettromagnetico.

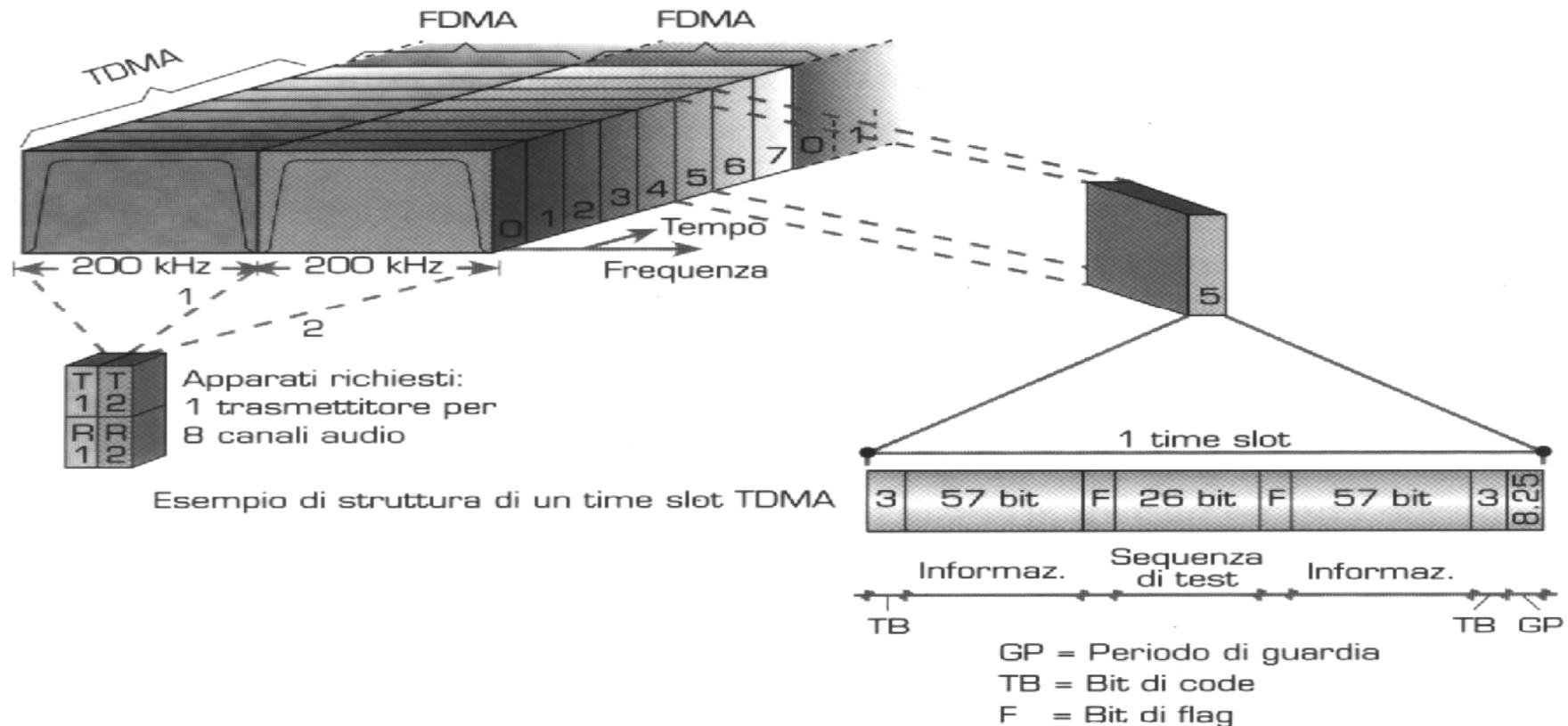
## BANDA DI FREQUENZA UTILIZZATA DAL GSM:

SRB ⇒ TM 935 - 960 MHz

TM ⇒ SRB 890 - 915 MHz

SUDDIVISE IN 124 COPPIE DI  
FREQUENZE PORTANTI  
SPAZIATE DI 200KHz (FDMA)

ORGANIZZATE IN 8 TIME SLOT  
0.577ms (TDMA)



# Interfaccia radio

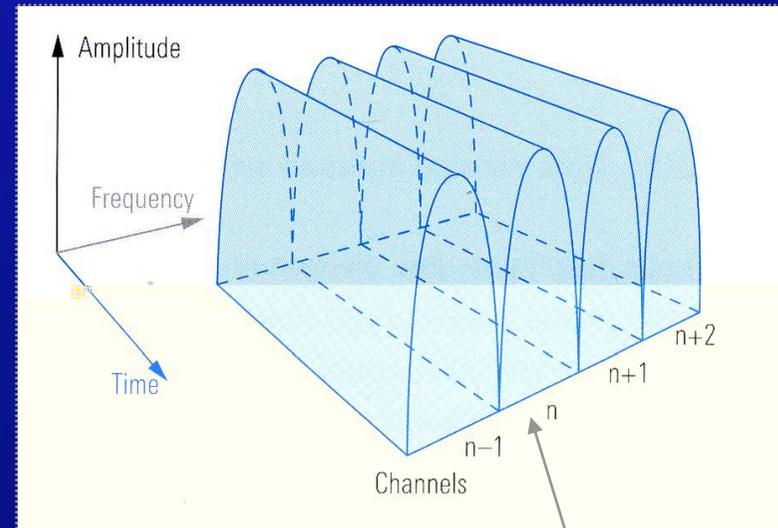
## Frequency Division Multiplex Access (FDMA):

Tecnica di trasmissione dati a divisione di frequenza



Prima generazione di  
comunicazione mobile

Divisione della banda di frequenza  
in un largo numero di canali



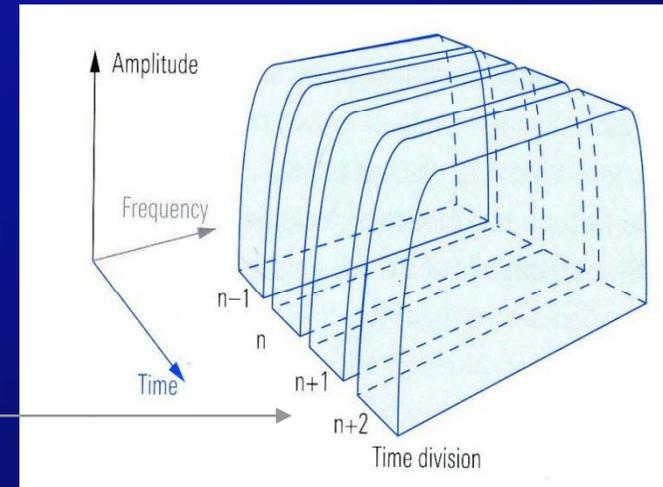
# Interfaccia radio

## Time Division Multiple Access (TDMA):

Differenziazione dei canali nell'asse del tempo



Alla base della seconda  
generazione di telefonia  
mobile (GSM)



# Interfaccia radio

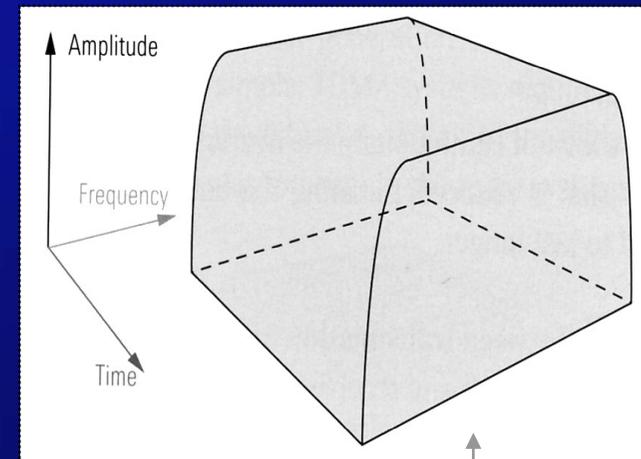
## Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA):

Sistema a banda larga a divisione di codice

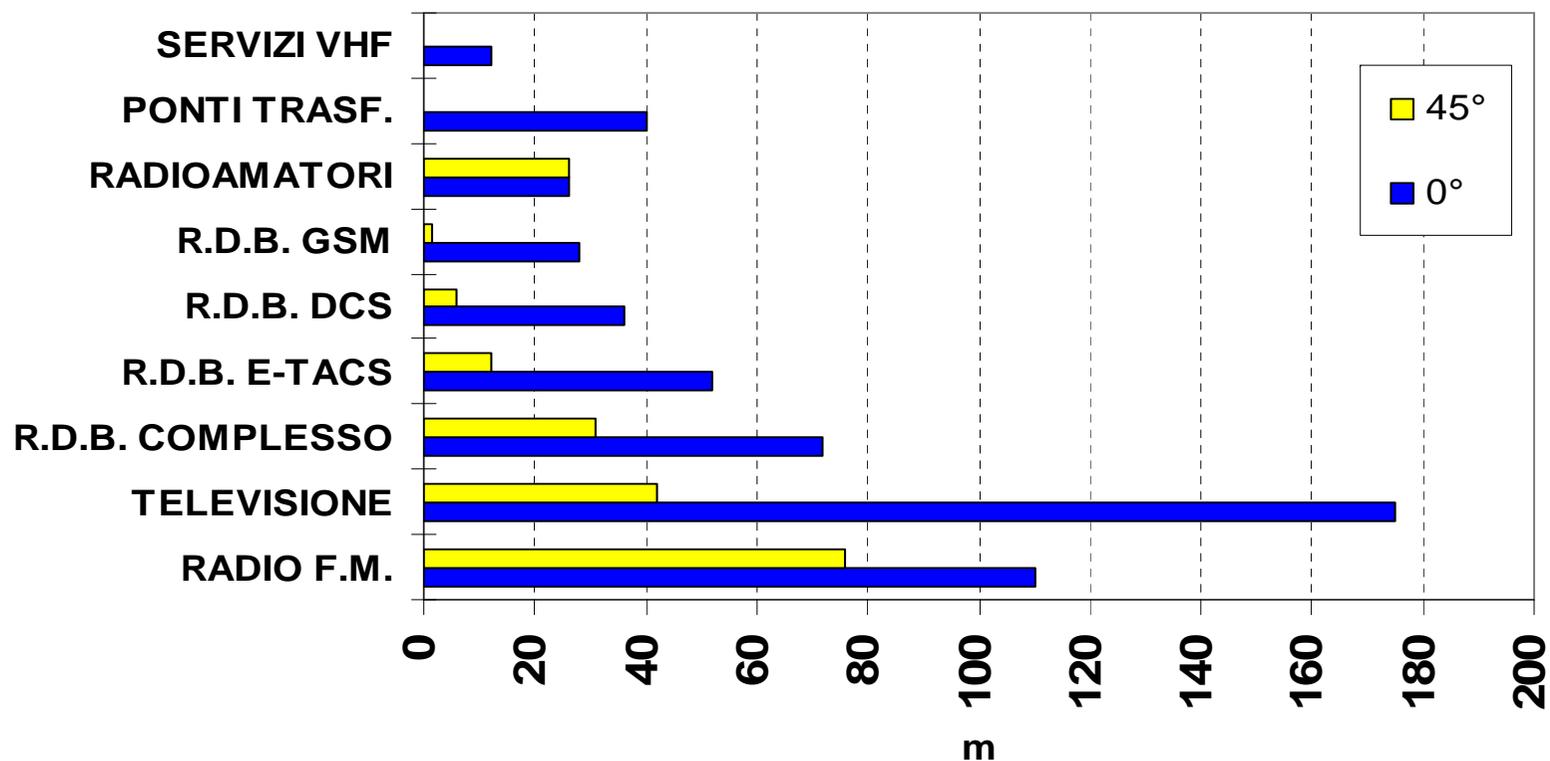


I bit di informazione relativi agli utenti del sistema sono trasmessi su tutta la banda disponibile moltiplicando i dati d'utente per una sequenza pseudo-casuale derivata dai codici di spreading

**Tutti gli utenti condividono la stessa banda di frequenza portante**



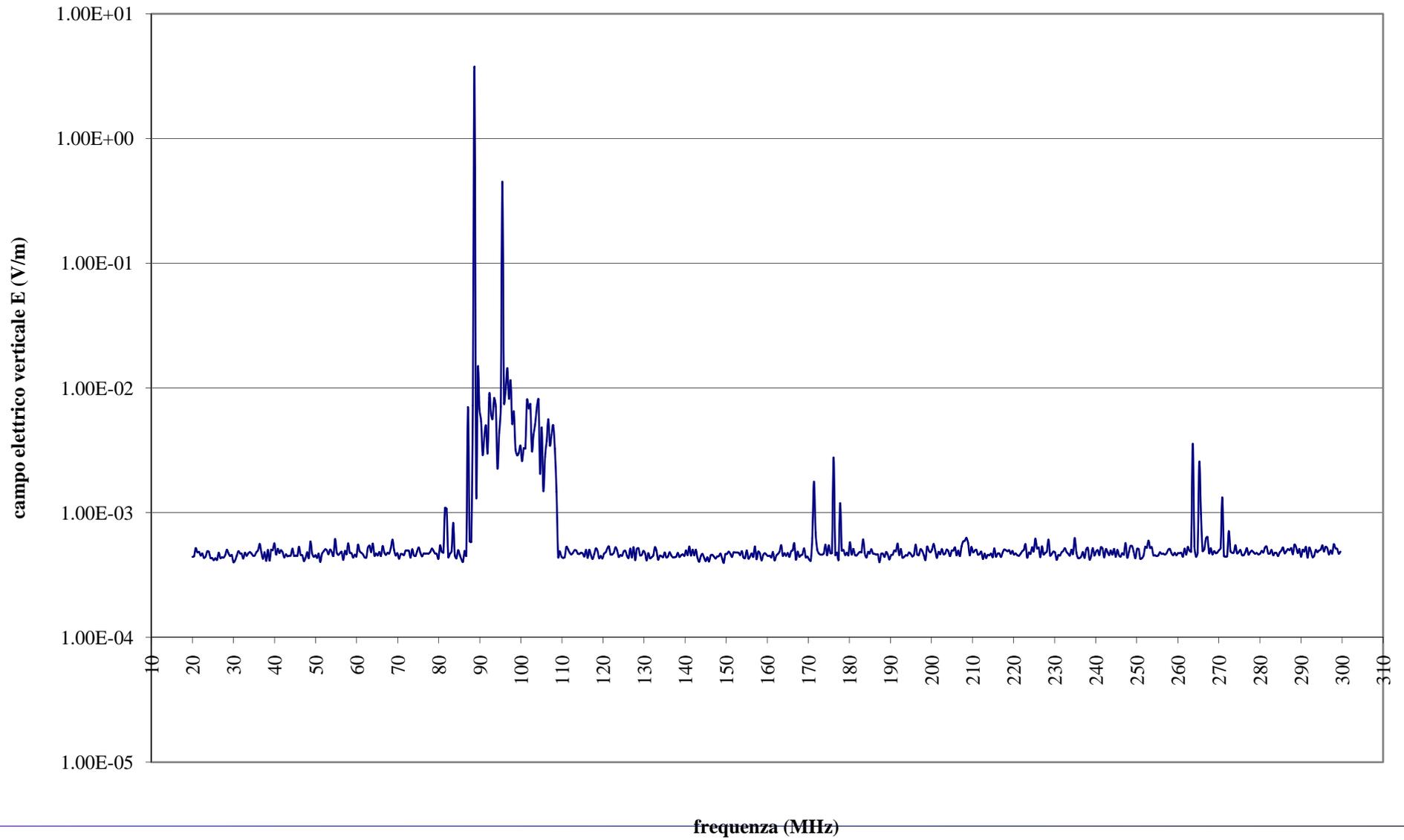
### DISTANZE ENTRO LE QUALI LE DIVERSE STAZIONI R.F. POSSONO PROVOCARE IL SUPERAMENTO DEL LIVELLO DI C.E. DI 6 V/m A DUE ANGOLI DI RIFERIMENTO

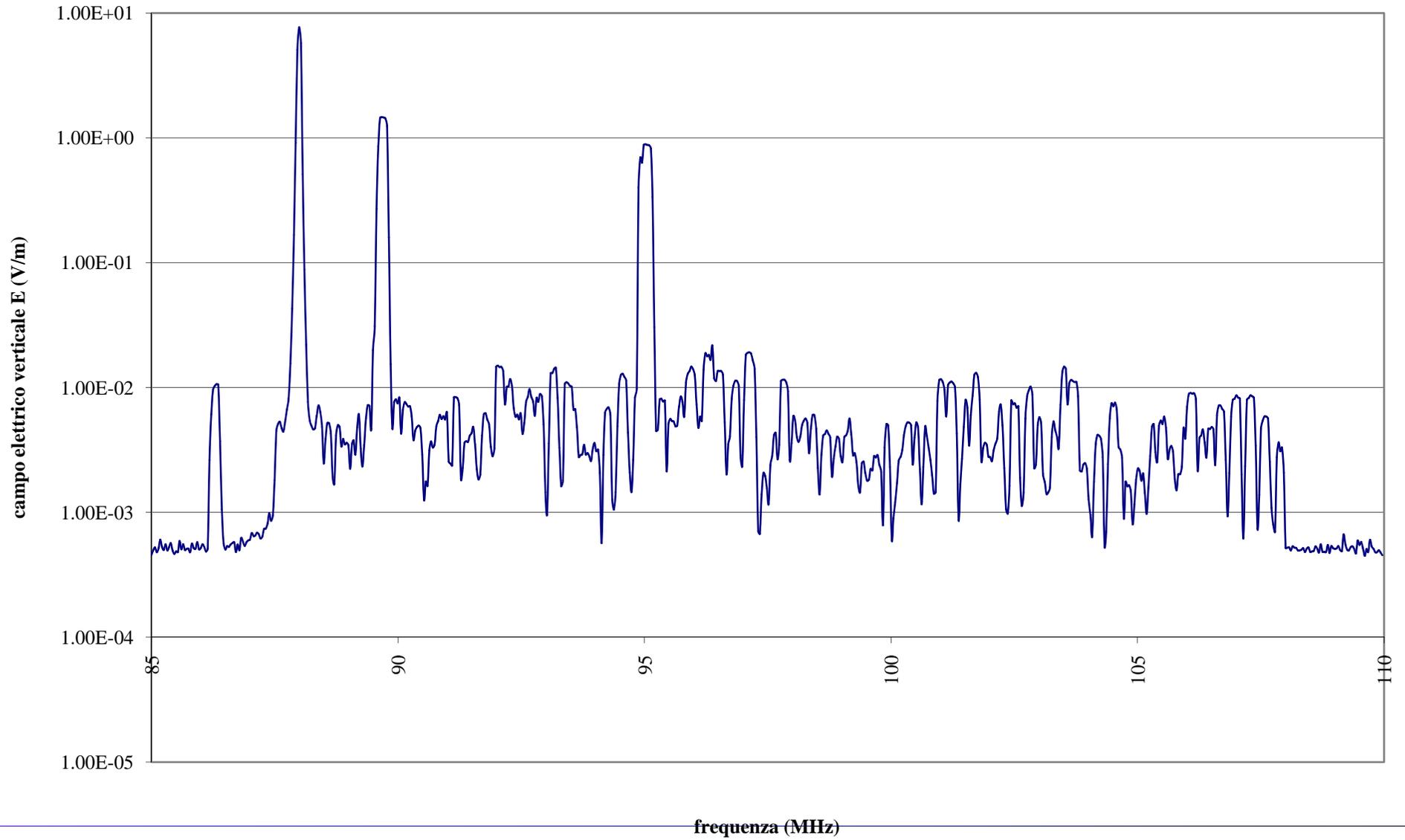


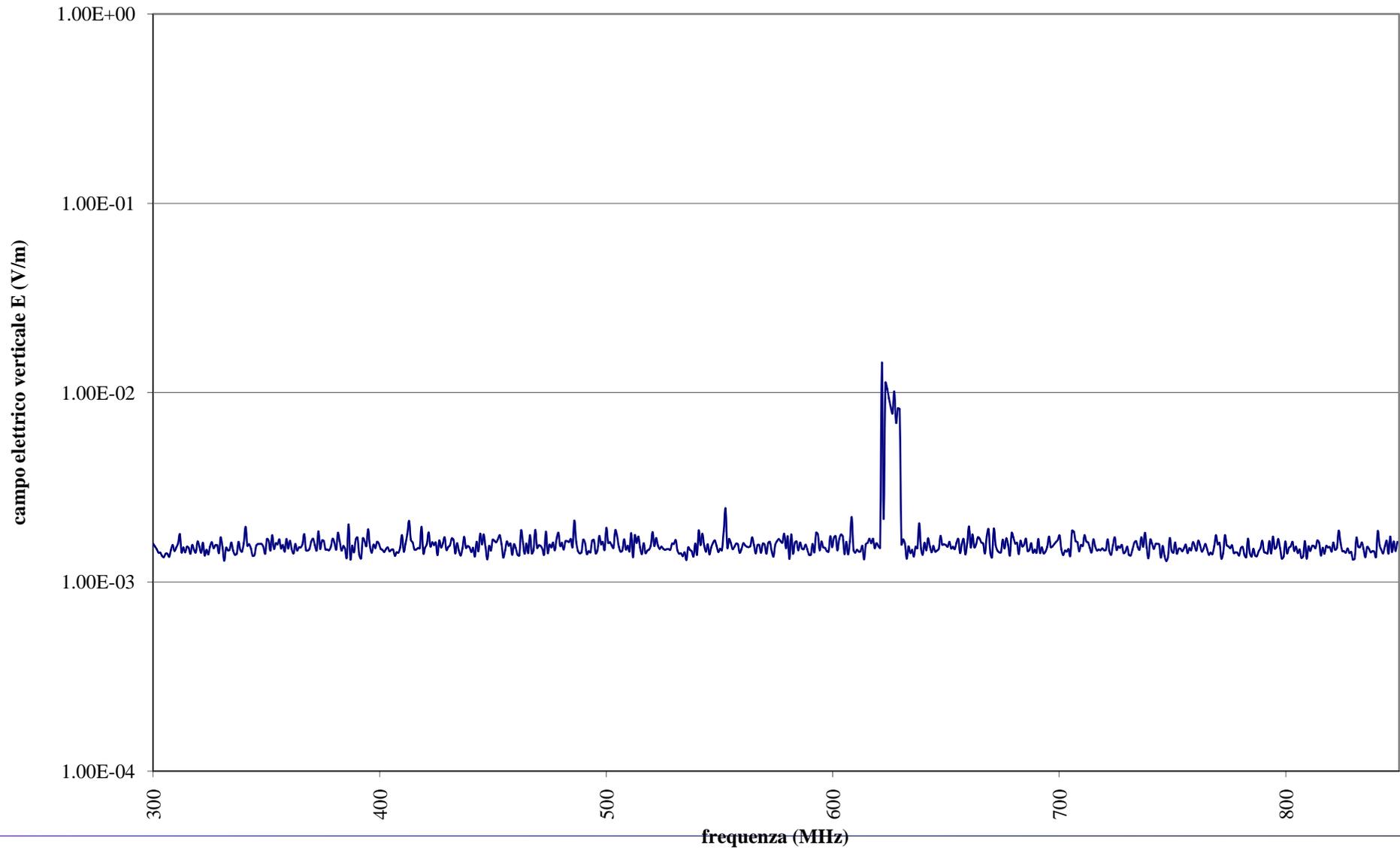
nte

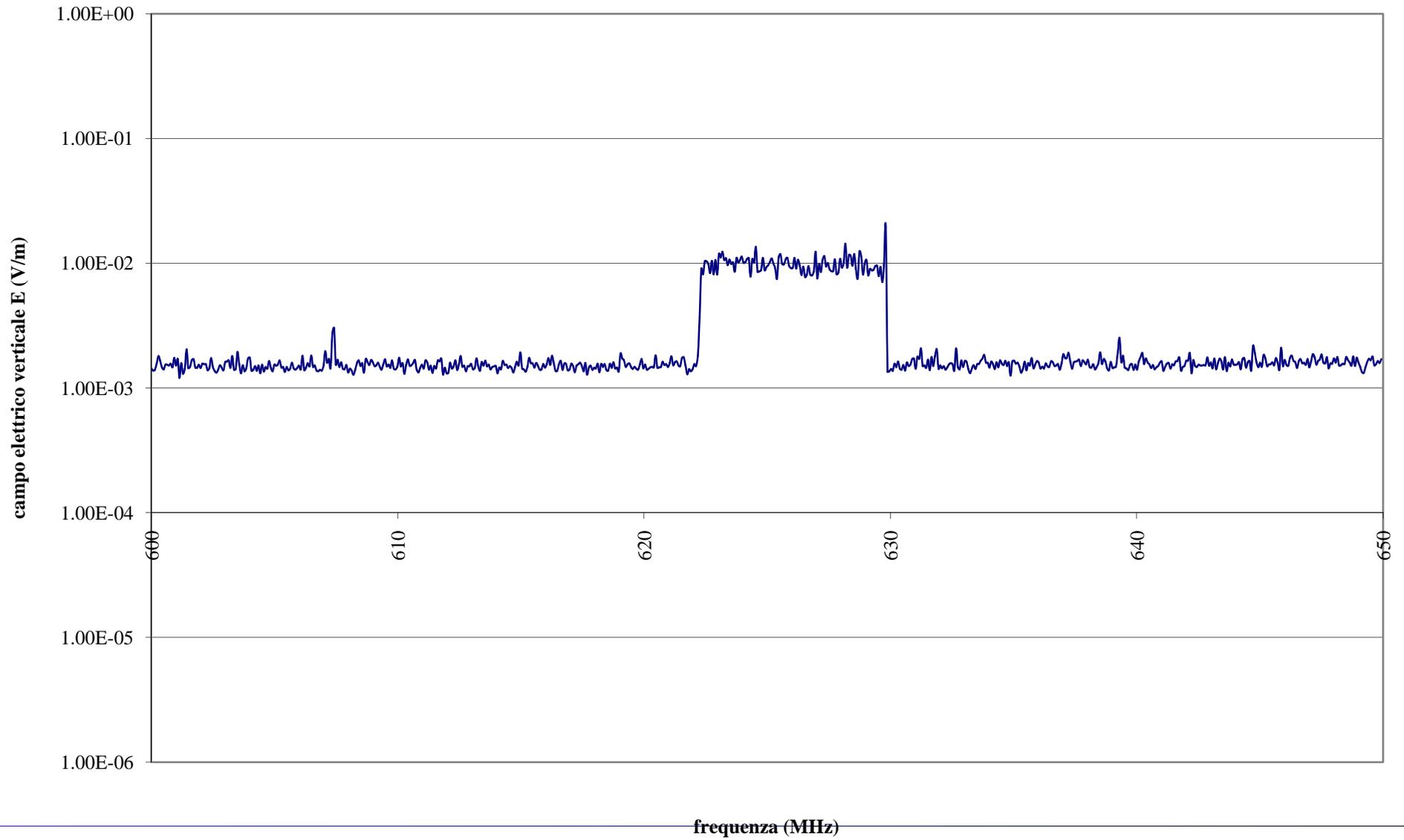
# Alcuni rilievi

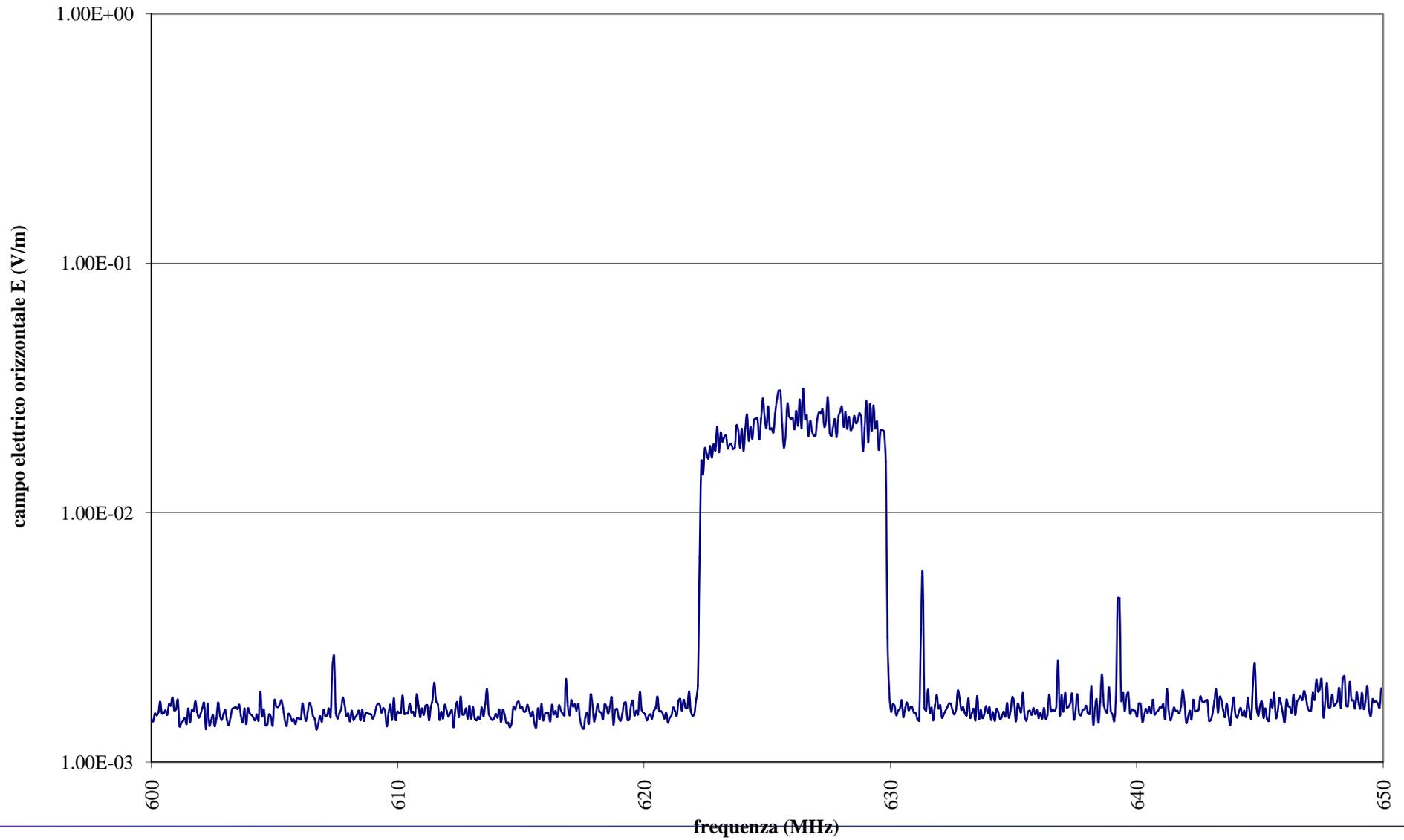








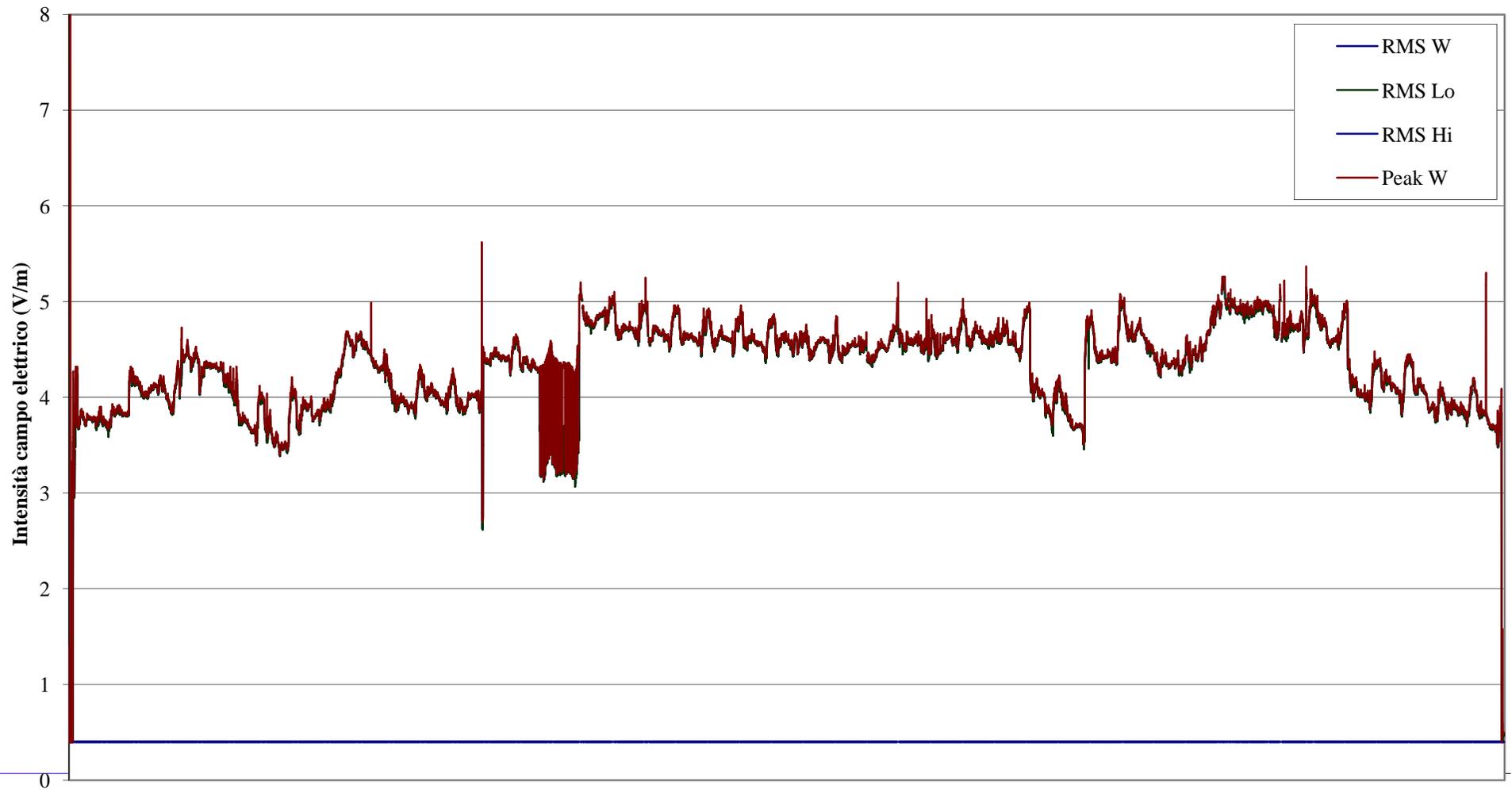




# Misure in continuo



# Misure in continuo



# CAMPI ELETTRICITÀ E MAGNETICITÀ ALLE BASSE FREQUENZE



- L'energia elettrica viene trasportata in Italia soprattutto mediante *linee aeree*
- (A volte si utilizzano *cavi interrati*)
- Le *tensioni* utilizzate sono:
  - Altissima tensione: 380 kV – tx su lunghe distanze
  - Alta tensione: 220 - 132 kV – trasm. e distribuzione
  - Media tensione: 15 - 20 kV – fornitura grandi utenze
  - Bassa tensione: 220 o 380 V – fornit. piccole utenze

## Distanze minime dagli elettrodotti (DPCM 23.4.92)

132 kV                      10 m

220 kV                      18 m

380 kV                      28 m

### SUPERATO DA

### Limiti di campo (DPCM 8.7.03)

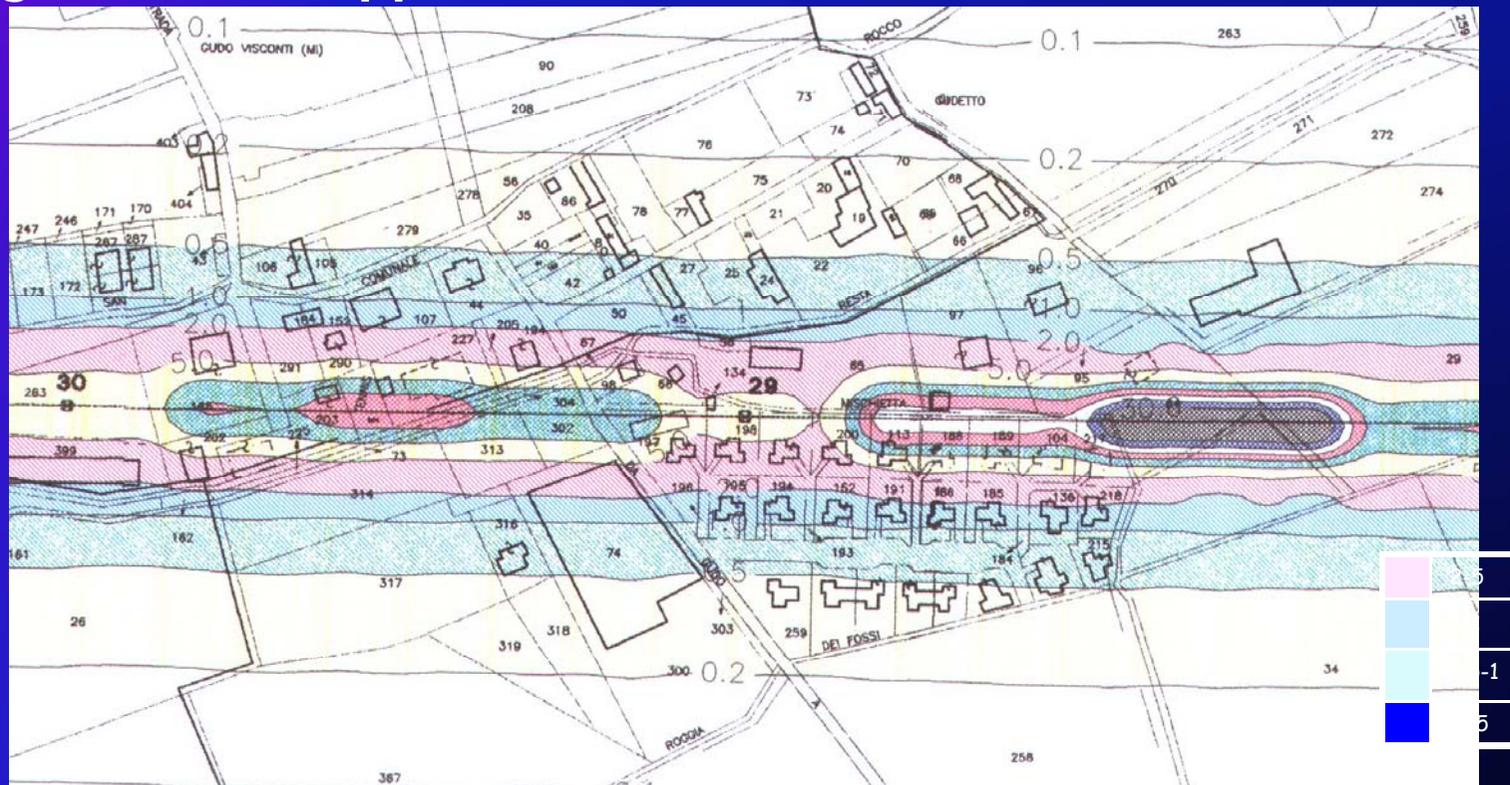
A 50 Hz: 100  $\mu\text{T}$  per il campo magnetico –

10  $\mu\text{T}$  per aree gioco... e 3  $\mu\text{T}$  progettaz.

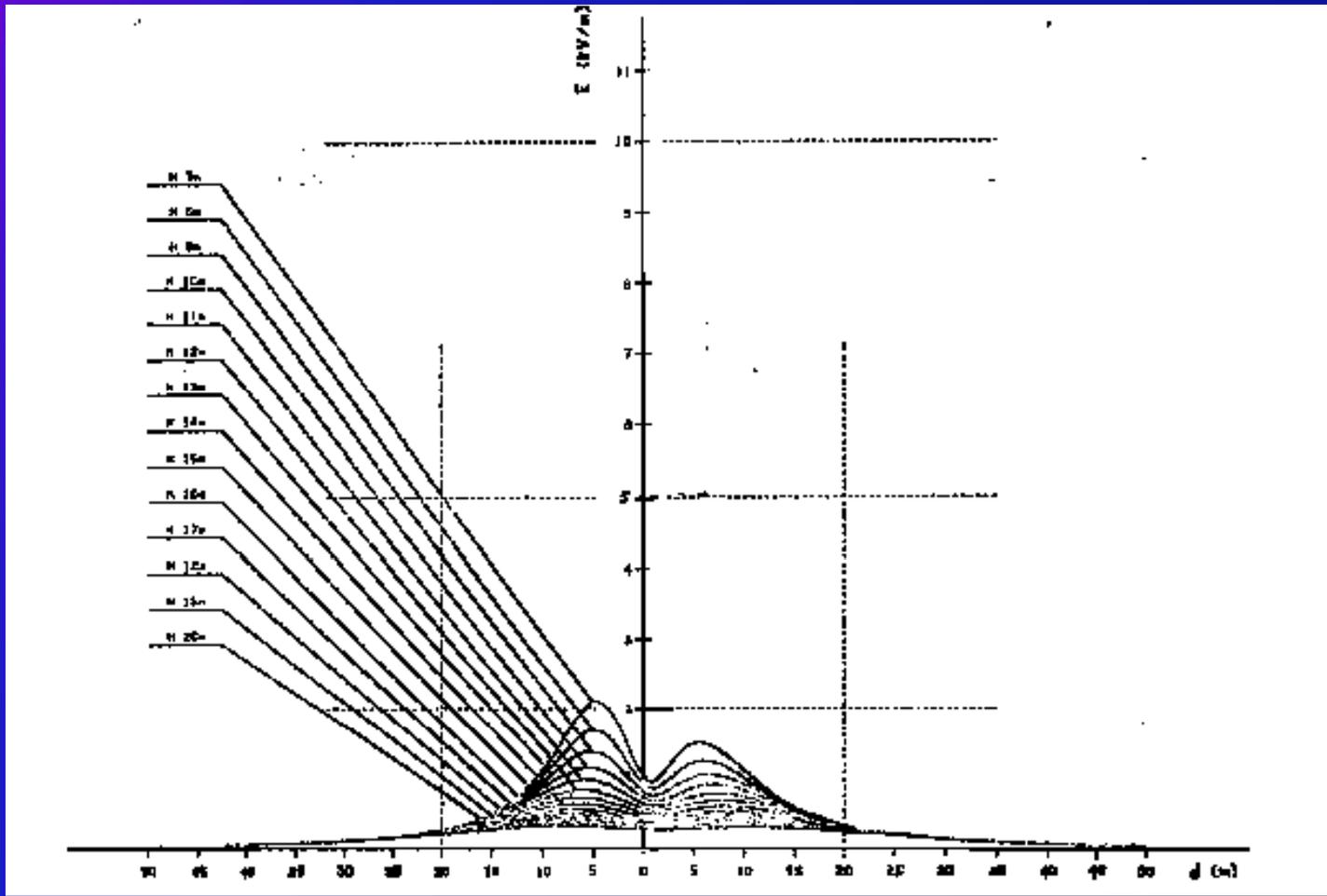
5000 V/m per il campo elettrico



In prossimità di una linea di trasporto dell'energia elettrica il contributo preponderante al campo magnetico ELF all'interno degli edifici è rappresentato dall'elettrodotto



## Il campo elettrico nei pressi di un elettrodotto



## **Il campo elettrico** prodotto da una linea aerea dipende:

- 1. dalla tensione (kV),**
  - 2. dalla distanza dalla linea**
  - 3. dalla configurazione della linea stessa (altezza della linea, distanze tra le fasi e loro disposizione, dimensioni del conduttore, presenza o meno di funi di guardia);**
- *a parità di distanza dalla linea il campo si riduce all'aumentare dell'altezza della linea, al diminuire della distanza tra le fasi;***
  - *a parità di configurazione il campo elettrico cresce con la tensione e decresce con la distanza***
- la presenza di edifici e/o di vegetazione ad alto/basso fusto in prossimità degli elettrodotti attenua in modo sostanziale il valore di campo elettrico***

## campo elettrico

Sotto linee da **380 kV** si misura un campo elettrico di **4-5 kV/m** in corrispondenza della minima distanza da terra dei conduttori

Il campo elettrico al suolo **decresce** in primo luogo con la distanza

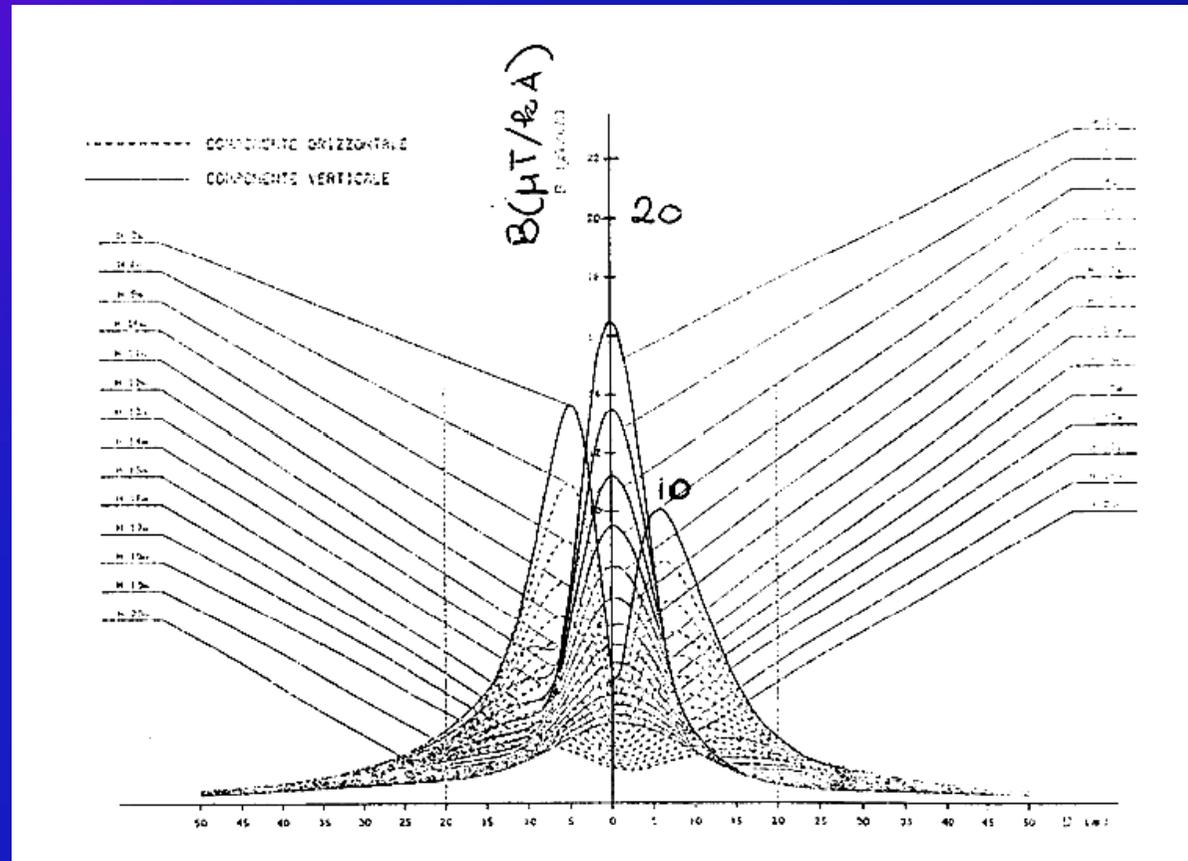
E decresce inoltre per l'**effetto schermante** degli oggetti presenti (alberi, edifici, etc.)

In particolare, il livello di **E** all'**interno** degli **edifici** risulta tipicamente **inferiore da 10 a 100 volte** rispetto a quello **esterno**

Misure spot **in edifici** entro una fascia di 50 m da un elettrodotto a **380 kV** hanno evidenziato **valori di E** compresi **tra 1 e 10 V/m** (punti a 1,5 m dal piano di calpestio)

L'**esposizione umana** ai **campi elettrici** viene in genere considerata **trascurabile**

# Il campo magnetico nei pressi di un elettrodotto



**Il campo di induzione magnetica è principalmente funzione dell'intensità di corrente che percorre i conduttori ed è quindi massimo nelle ore di più elevato consumo elettrico da parte dell'utenza servita dall'elettrodotto.**

**a parità di distanza dalla linea il campo decresce:**

- all'aumentare dell'altezza della linea,
- al diminuire della distanza tra le fasi;

**a parità di configurazione il campo:**

- cresce all'aumentare del carico di corrente
- decresce con la distanza.

Sotto linee da **380 kV** si misura una **B** di **15-20  $\mu T$**  in corrispondenza della minima distanza da terra dei conduttori

**Andamento** approssimato **B**:

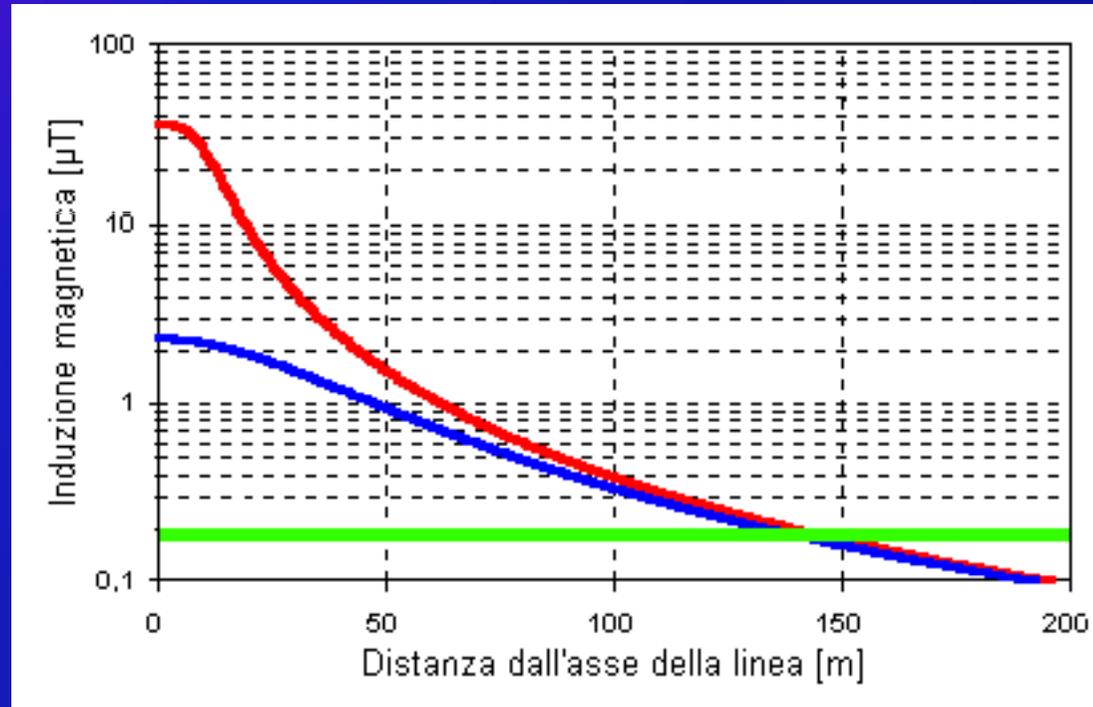
Trifase semplice terna:  **$1/r^2$**

Trifase doppia terna:  **$1/r^3$**

Non hanno alcun **effetto schermante** gli oggetti presenti nelle vicinanze

Il livello di **B** all'**interno** degli edifici risulta quindi **confrontabile** con quello **esterno**

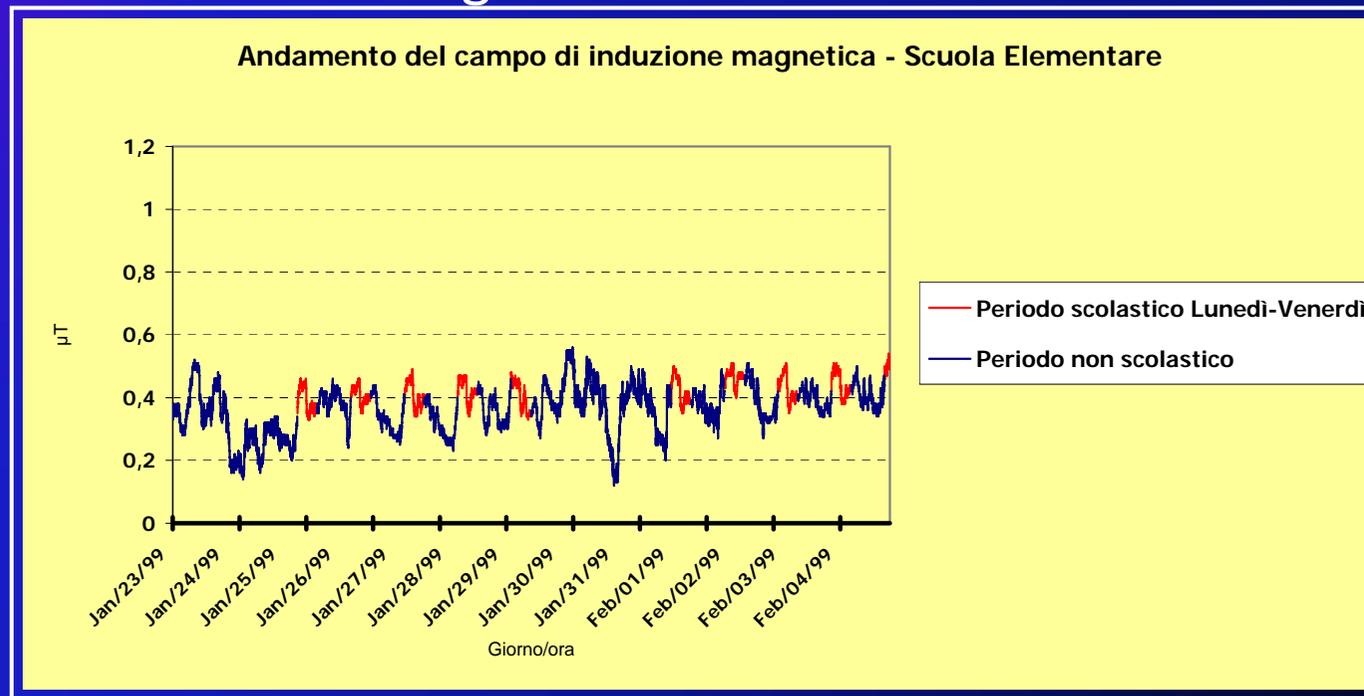
## ANDAMENTO B

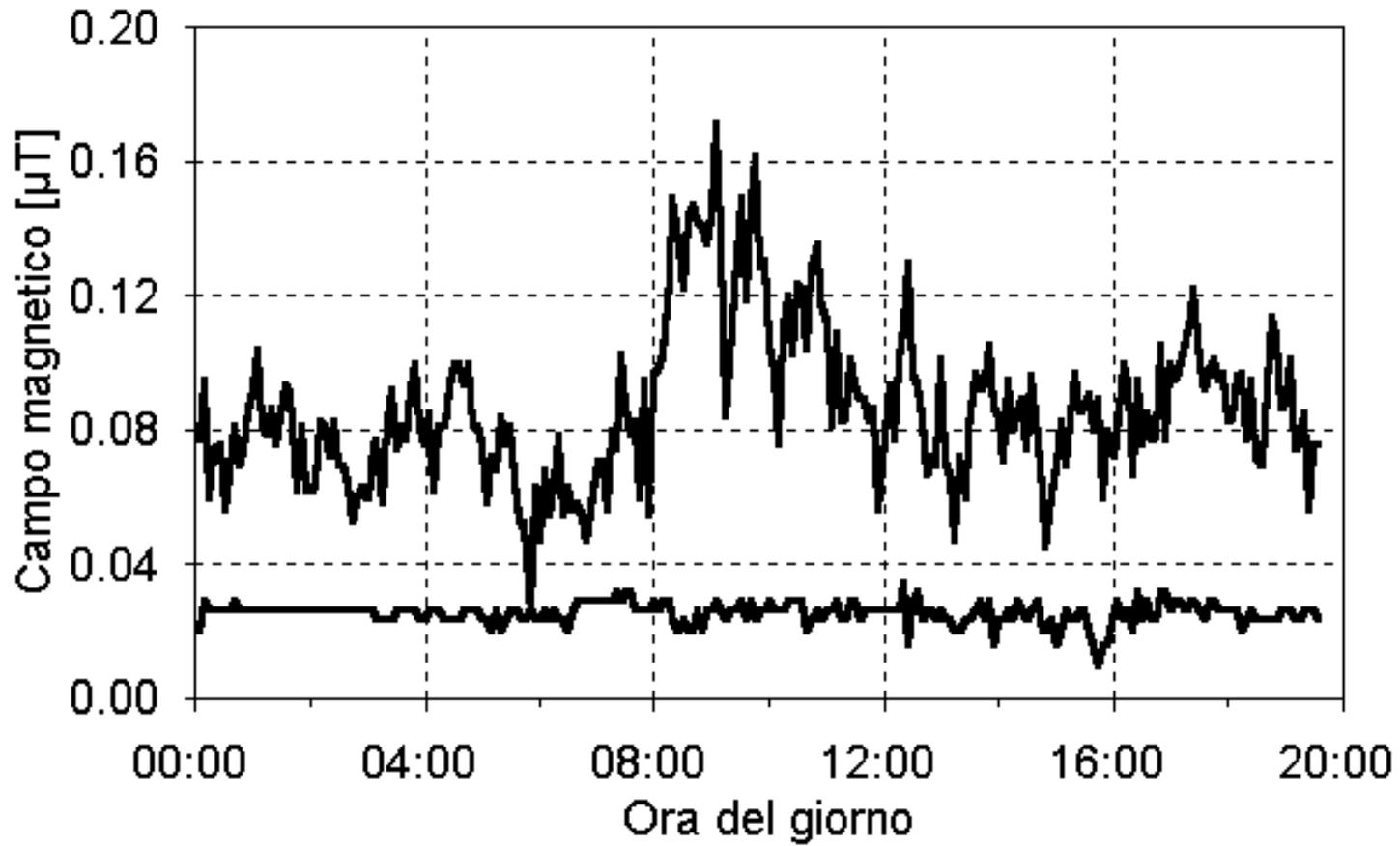


**B** calcolata per linea da **380 kV** con altezza minima da terra di 7,78 m (in rosso) e 40 m (in blu), in verde la linea relativa alla soglia epidemiologica degli  $0,2 \mu T$

Il **campo elettrico** dipende dalla tensione della linea ed è quindi pressoché costante, essendolo la tensione della linea.

Il **campo magnetico** dipende dall'intensità della corrente; la corrente di linea non è un parametro costante, ma *è fortemente variabile* nel corso della giornata.

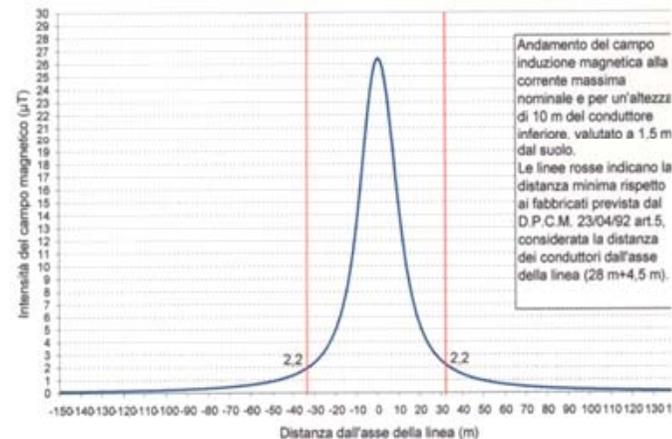




### Linea a semplice terna 380 kV

| Caratteristiche generali:  |   |
|--|---|
| Distanza minima prevista dall'art. 2.105 del Decreto Interministeriale 23/03/88 n.499, come modificato dal D.M. Lavori Pubblici 16/01/91 | 6.8 m dai fabbricati<br>7.8 m dal suolo in generale<br>17.5 m dal suolo per zone ricreative |
| Distanza minima da un qualunque conduttore rispetto ai fabbricati (D.P.C.M. 23/04/92 art. 5)   | 28 m  |
| Intensità di corrente max nom.   | 1500 A  |
| Range di corrente  | 400 – 800 A   |
| In questo esempio:   |   |
| Configurazione dei cavi orizzontale  |   |
| Intensità del campo induzione magnetica alla corrente max nom., alla distanza minima prevista dal D.P.C.M. 23/04/92 art.5                | 2.3 $\mu$ T   |
| Distanza dall'asse entro la quale il campo magnetico, alla corrente max nom. ed ad un'altezza di 1.5 m dal suolo, risulta:               |   |
| >100 $\mu$ T   | Mai   |
| >2 $\mu$ T   | 33 m  |
| >0.5 $\mu$ T   | 68 m  |
| >0.2 $\mu$ T   | 108 m   |

Elaborazione: A.R.P.A. – sede Milano 1

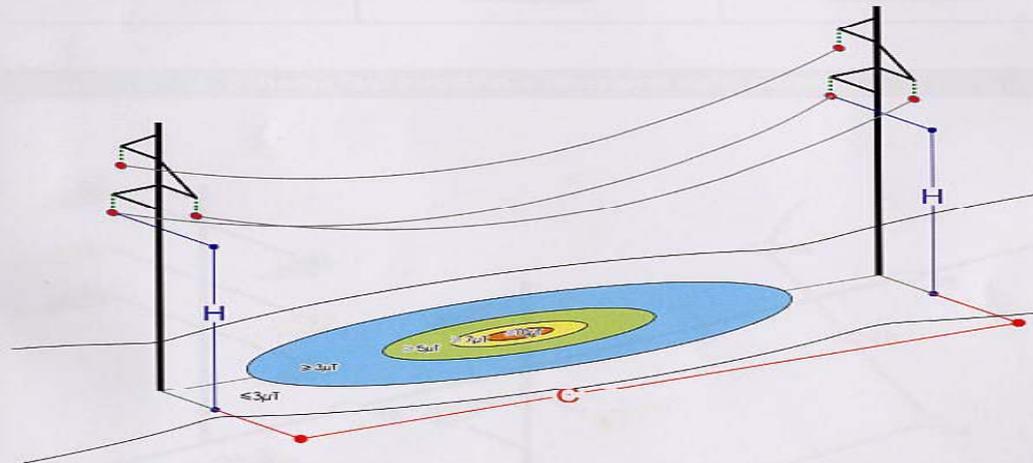


Elettrodotto a 132 kV Allacciamento C.P. LISCATE  
SIMULAZIONI DELLE EMISSIONI ELETTROMAGNETICHE

Dati impiegati nel calcolo e schematico esemplificativo 3D

| Proprietà | Tensione<br>kV | Corrente<br>A | Campata<br>C | Sostegno |           |            | Corde                  |                                |           |
|-----------|----------------|---------------|--------------|----------|-----------|------------|------------------------|--------------------------------|-----------|
|           |                |               |              | ID       | Tipo palo | H<br>utile | diametro<br>conduttore | diametro<br>funi di<br>guardia | parametro |
| A<br>Enel | 220            | 710*          | 378.00       | 58       | N+3       | 24.90      | 29.3                   | 11.5                           | 1500      |
|           |                |               |              | 59       | N+3       | 24.90      |                        |                                |           |
| B<br>Enel | 132            | 675*          | 230.00       | 42       | NS20      | 20.00      | 31.5                   | 11.5                           | 1000      |
|           |                |               |              | 43       | NS20      | 20.00      |                        |                                |           |
|           |                |               |              | 44       | NU21      | 21.00      |                        |                                |           |
|           |                |               |              | 45       | E*15+1    | 16.00      |                        |                                |           |
|           |                |               |              | 46       | E*18+1    | 19.00      |                        |                                |           |
|           |                |               |              | 46       | E*18+1    | 19.00      |                        |                                |           |

\* Secondo quanto indicato dal DPCM 8/7/2003 Art.6 e riportato dalle Norme CEI 11-60 ed.2



La procedura di calcolo utilizzata per la valutazione del campo elettrico e del campo magnetico è basata sugli algoritmi standardizzati dal Comitato Elettrotecnico Italiano (Norma italiana CEI 211-4, "Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche". 1996-07, Prima Edizione, Fascicolo 2840)

## Rischi alle ELF

- Esposizione a c.e.m.

## DPI per ELF

- ~~Schermature~~ : poco efficaci per B
- Distanza

# Altri apparati potenzialmente inquinanti

- Macchine per il riscaldamento industriale
- Applicazioni biomedicali
- Sistemi di essiccazione e sterilizzazione alimentare
- Sistemi di controllo a microonde

# VIDEOTERMINALI

I valori più significativi sono alle radiofrequenze

Dietro o di fianco:  $E < 100 \text{ V/m}$  a contatto

$E < 3 \text{ V/m}$  a 40 cm

Di fronte:  $E < 15 \text{ V/m}$  a contatto

$E < 2 \text{ V/m}$  a 40 cm

## Rischi alle RF

- Esposizione a c.e.m.
- Contatto con oggetti metallici non messi a terra

## DPI alle RF

- Schermature
- Messa a terra
- Distanza

# SCHERMATURE

- **Camera schermata con:**
  - Schermi su
    - Pareti e soffitto
    - pavimento
  - Isolamento dell'impianto elettrico







**GSM mobile phone**  
**E-H field up to 10 V/m**  
**Emitted signals :**  
**950 MHz / 1.8 GHz**

**10 dB**  
←→  
**3 m**

**Measuring equipment:**  
**3V/m immunity**



→ **Interfering signals**  
→ **up to 3 V/m !!**

## Come misurare?

- Norme CEI 211-6 (ELF) e CEI 211-7 (RF)
- Guida tecnica APAT per la misura di cem nell'intervallo 100 kHz-3GHz





Agenzia Regionale  
per la Protezione dell'Ambiente  
della Lombardia

*Grazie!*