

Convegno

**I tumori infantili:
epidemiologia, esposizioni
ambientali ed
approfondimenti clinici sui
tumori cerebrali**

23 ottobre 2015

Accreditamento
ECM Regionale
n. 4 crediti formativi

Aula Magna
Nuovo Ingresso Careggi (NIC) –
Didattica (Padiglione 3)

Largo Brambilla 3
Firenze

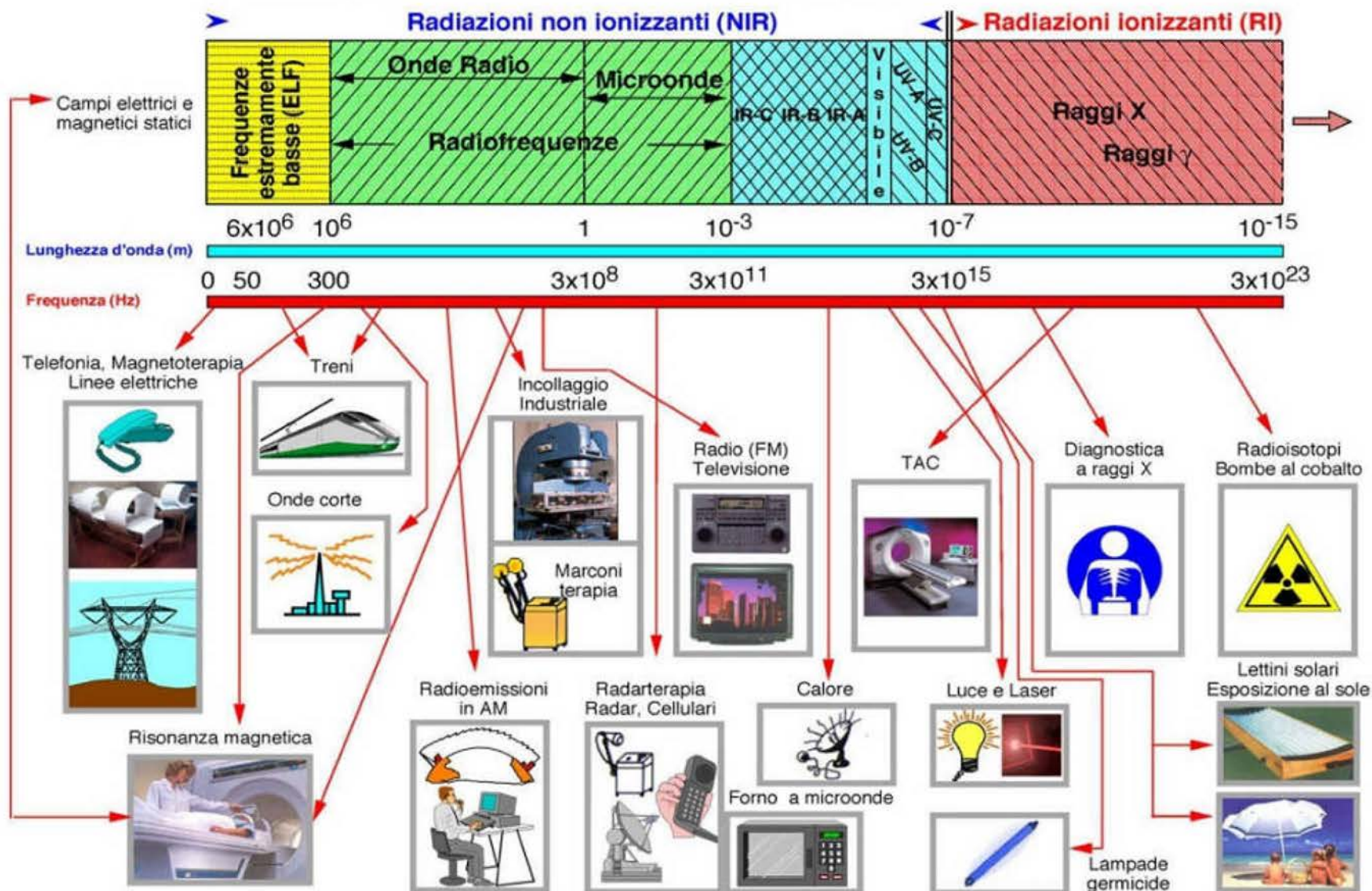
Con il patrocinio dell'Azienda
Ospedaliero Universitaria Meyer

Rassegna delle fonti di esposizioni a campi elettromagnetici

Daniele Andreuccetti (IFAC-CNR, Firenze)

Andrea Poggi (ARPAT, Firenze)

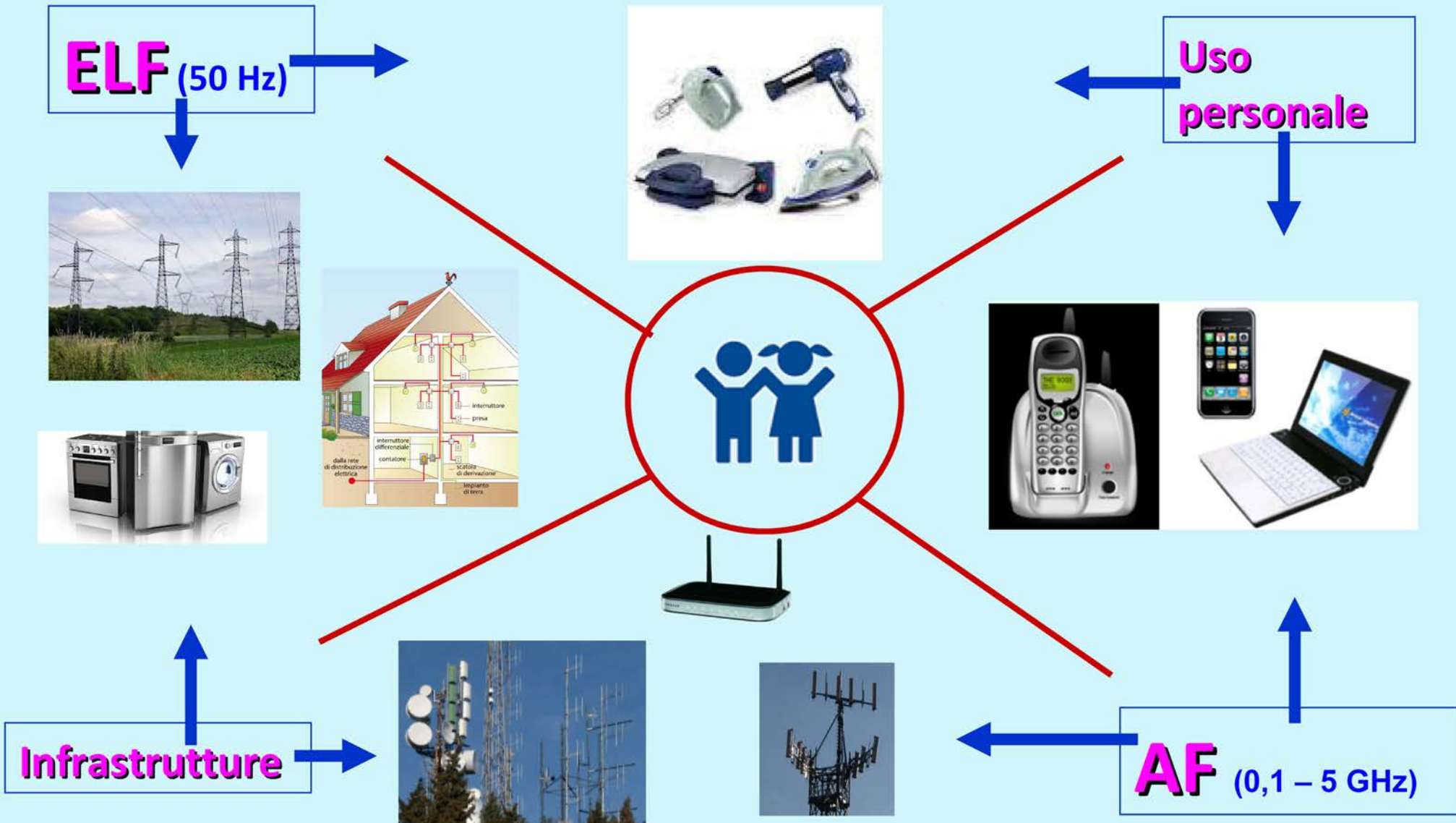
Lo spettro elettromagnetico



I parametri della radiazione elettromagnetica

- **Frequenza** (misurata in Hz) ed **intensità** (misurata, a seconda dei casi, in V/m, μT o W/m^2) sono i parametri fondamentali della radiazione EM.
- La **frequenza** condiziona tutti gli aspetti teorici e tecnologici connessi con l'elettromagnetismo: le tecniche per generare i campi, i sistemi per rivelarli e misurarli, le modalità con cui essi si propagano nello spazio ed interagiscono con la materia.
- Sebbene anche gli effetti biologici dei campi EM dipendano profondamente dalla frequenza, la frequenza non è una misura diretta di quanto è intensa o pericolosa la radiazione.
- Le **norme di sicurezza** specificano sempre limiti massimi variabili *in modo complesso* con la frequenza.

A quali sorgenti sono esposti i bambini?



Sorgenti ELF infrastrutturali

Il flusso dell'energia elettrica



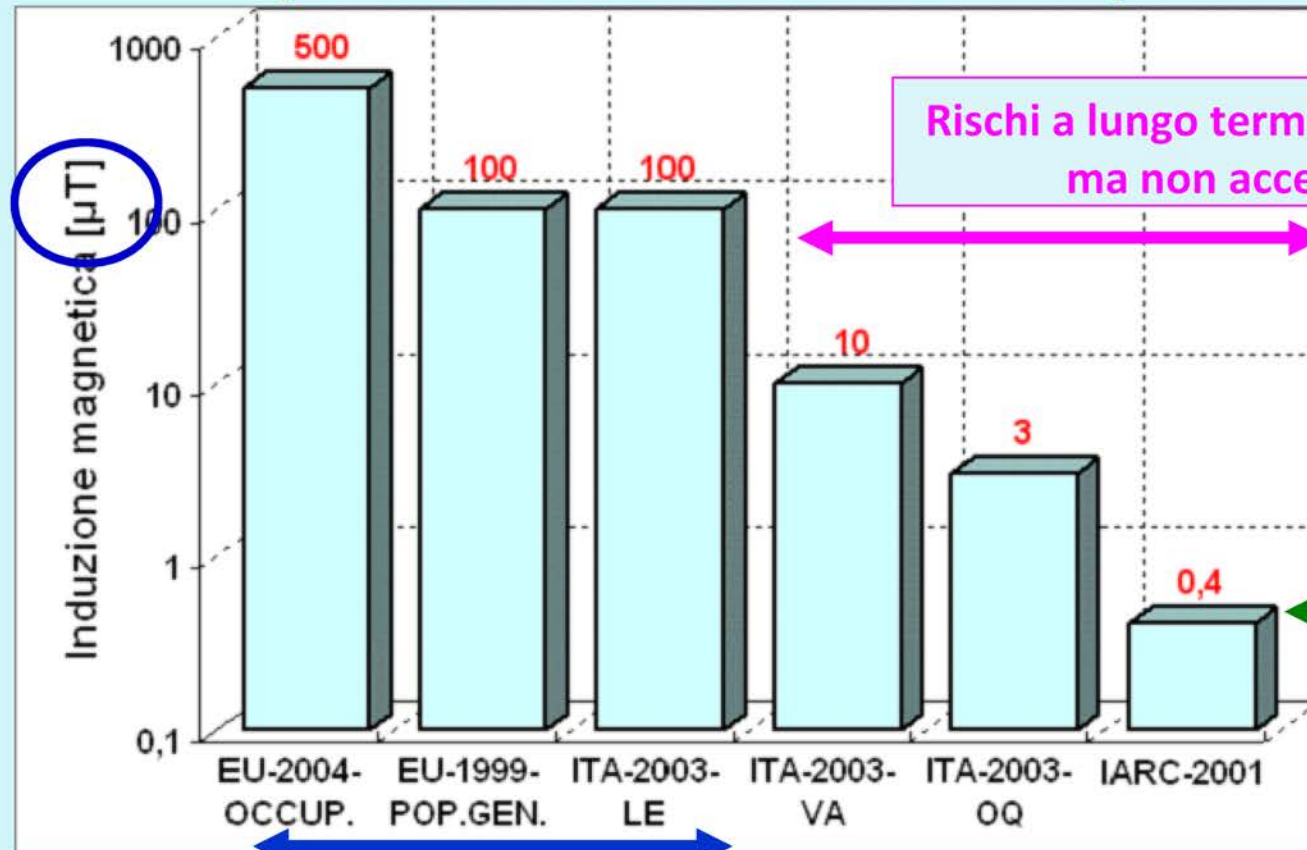
- Produzione
- Trasmissione (380 kV – 220 kV)
- Distribuzione (132 kV – 10 kV)
- Utilizzo

Per il trasporto dell'energia elettrica sono necessari gli elettrodotti, che tra gli altri inconvenienti (sono “brutti”, occupano spazio, disturbano gli uccelli...) disperdono **campi elettrici e campi magnetici** nell'ambiente



Campo magnetico ELF: cosa dicono le normative

Norme con valore giuridico

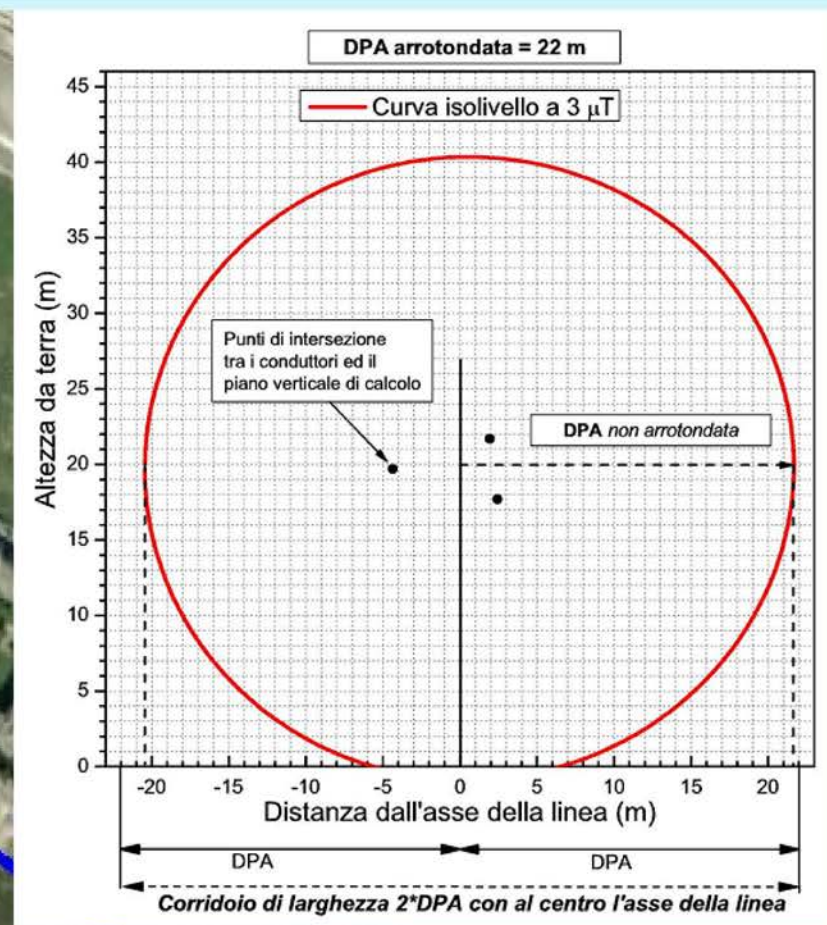
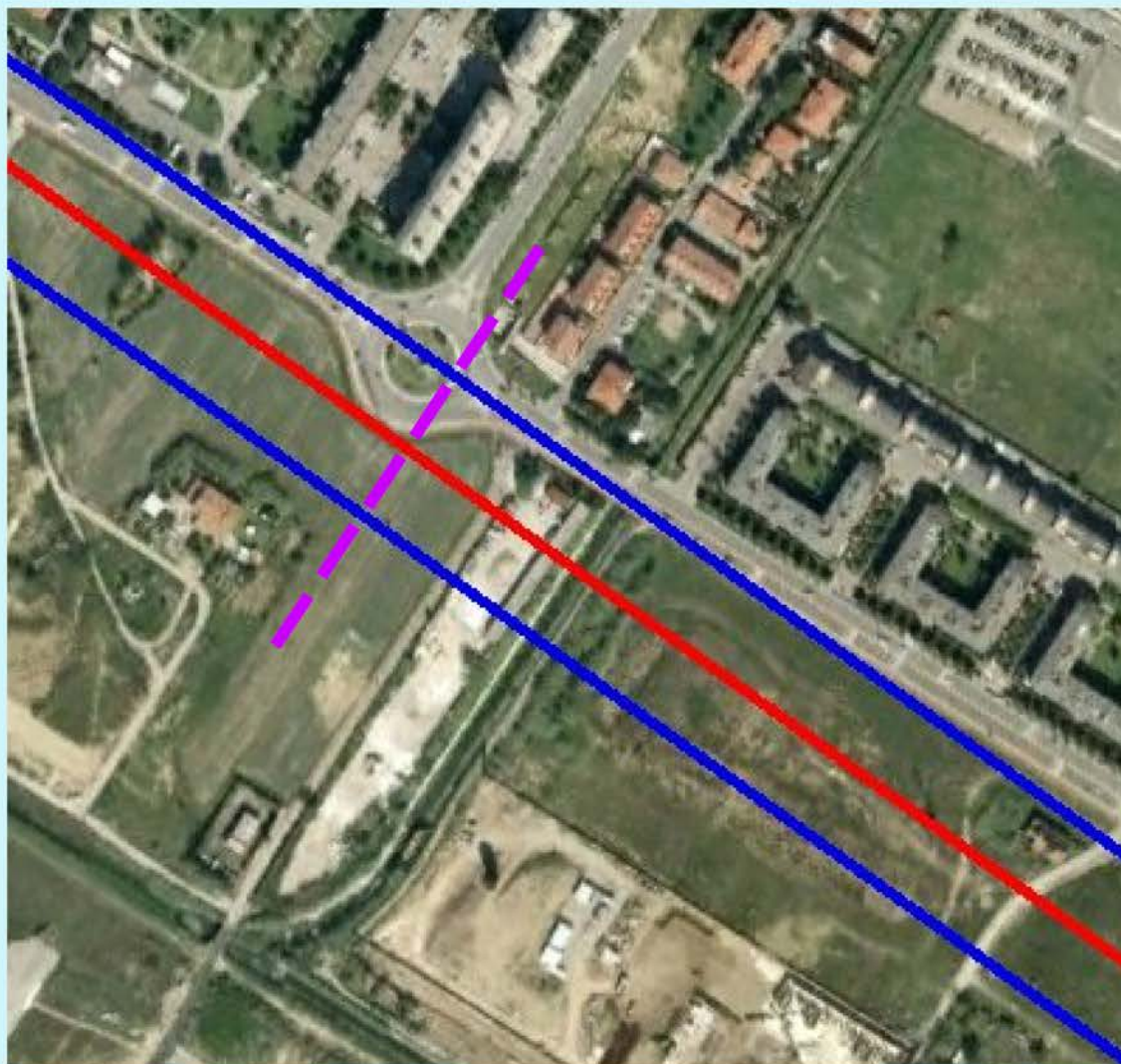


Rischi a lungo termine (possibili ma non accertati)

IARC-2001: However, pooled analyses of data from a number of well-conducted studies show a fairly consistent statistical association between a **doubling of risk of childhood leukaemia** and power-frequency (50 or 60 Hz) residential ELF magnetic field strengths **above 0.4 microTesla**.

Norme basate su effetti biologici scientificamente accertati

Fascia di rispetto e DPA a 3 μ T



Simulazioni eseguite col sistema integrato PLEIA-CERT sviluppato nell'ambito di una convenzione tra IFAC-CNR ed ARPAT

Area entro $0.4 \mu\text{T}$ ($h=1 \text{ m}$)



Stare fuori dalla DPA a $3 \mu\text{T}$ non garantisce (ovviamente) il rispetto della soglia di $0,4 \mu\text{T}$

Simulazioni eseguite col sistema integrato PLEIA-CERT sviluppato nell'ambito di una convenzione tra IFAC-CNR ed ARPAT

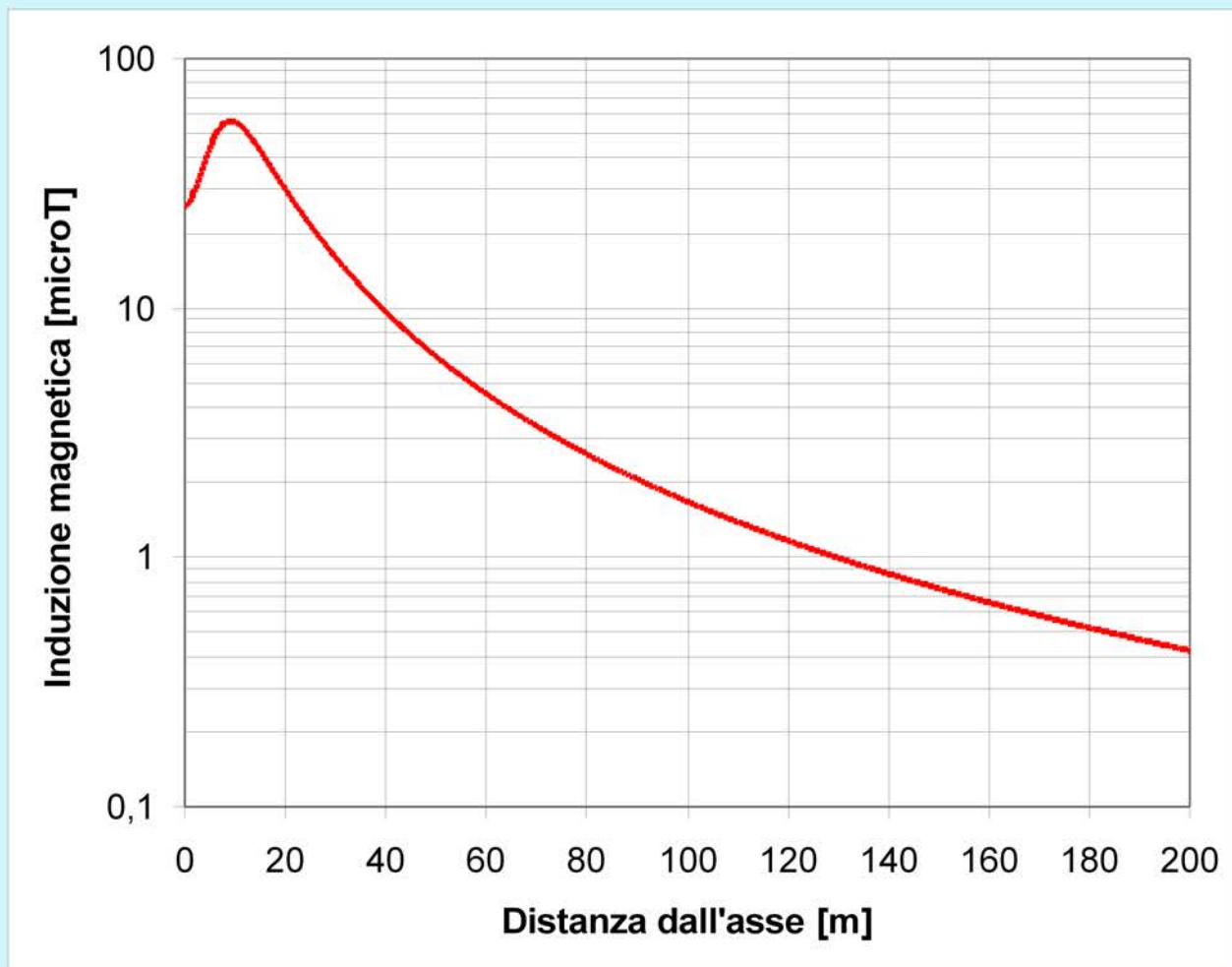
Casi estremi – 1 di 2



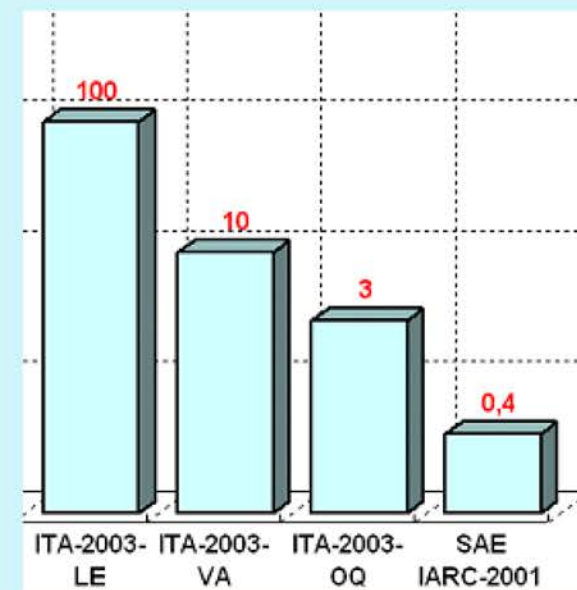
- Elettrodotto aereo **380 kV doppia terna** non ottimizzata con conduttore trinato
- Potenza massima trasportata circa **4000 MW** (corrente al “limite termico” circa **3000 A**)
- Altezza da terra del conduttore più basso pari a **7,78 metri**

Larghezza della DPA a 3 μT pari a **76 metri** circa

Caso 1 (doppia terna 4 GW h 7,78m)



Valore massimo a 1 m da terra	56 μ T
Distanza per 3 μ T a 1 m da terra	74,3 m
Distanza per 0,4 μ T a 1 m da terra	>200 m



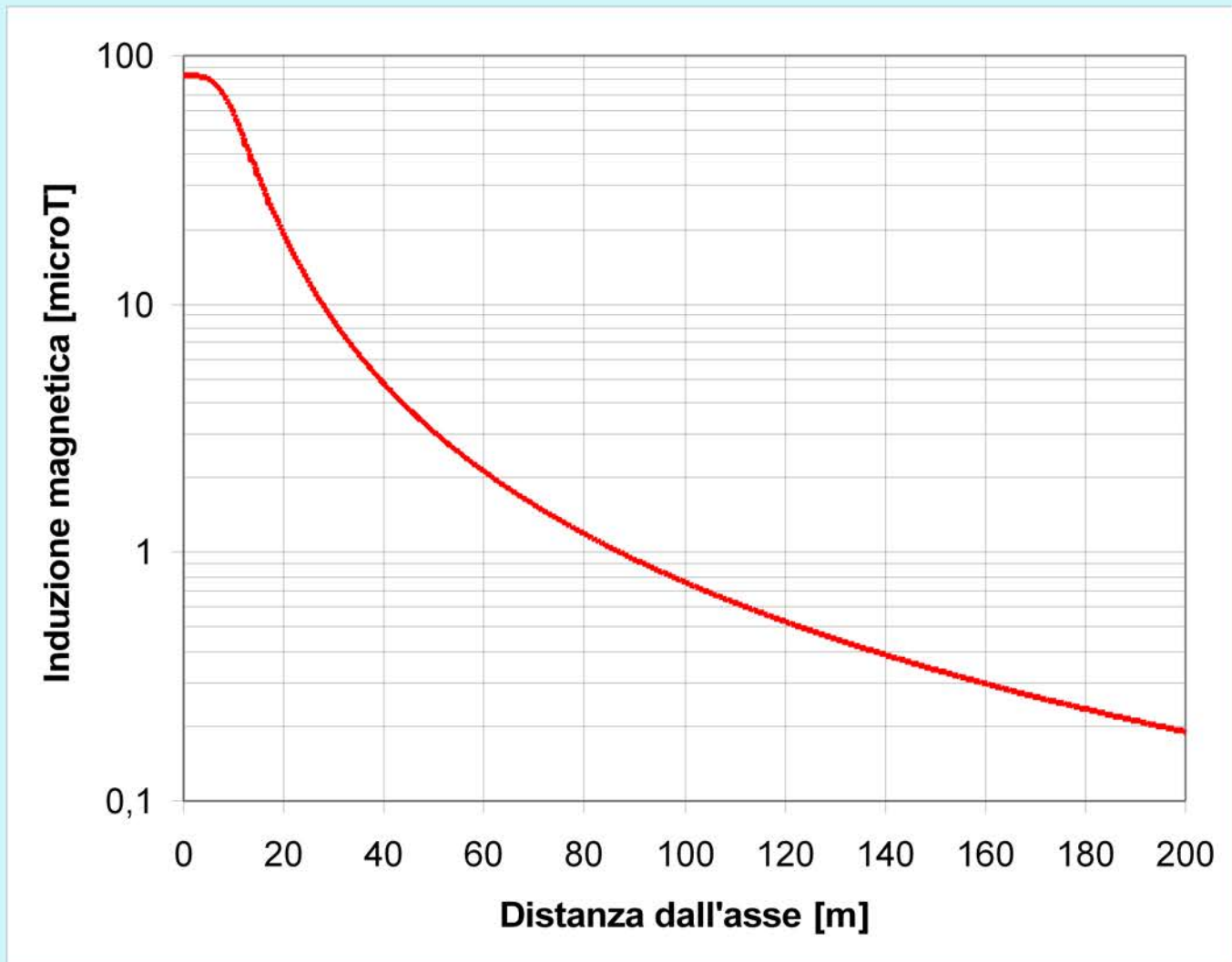
Casi estremi – 2 di 2



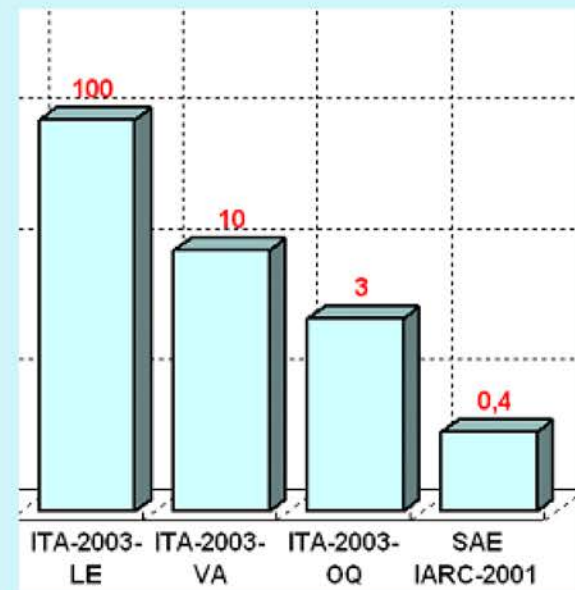
- Elettrodotto aereo **380 kV**
semplice terna con
conduttore trinato
- Potenza trasportata **2000 MW**
(corrente al “limite termico”
circa **3000 A**)
- Altezza da terra del
conduttore più basso pari a
7,78 metri

Larghezza della DPA a 3
 μT pari a **51 metri** circa

Caso 2 (semplice terna 2 GW h 7.78m)




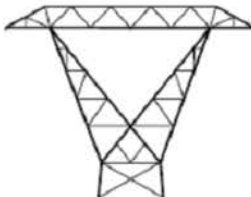
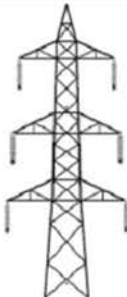
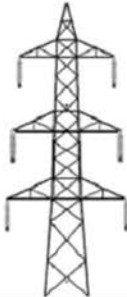
Valore massimo a 1 m da terra	83 μ T
Distanza per 3 μ T a 1 m da terra	50,5 m
Distanza per 0,4 μ T a 1 m da terra	138 m



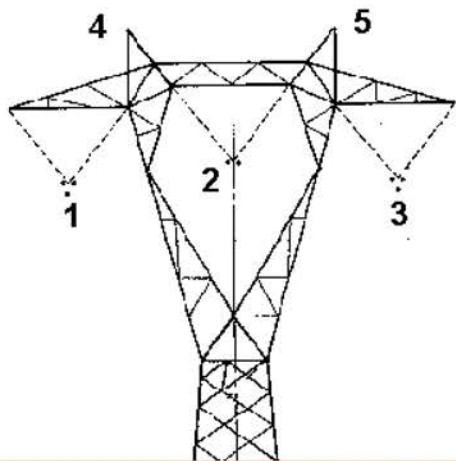
Le DPA a 132 kV

Da ENEL Divisione Infrastrutture:

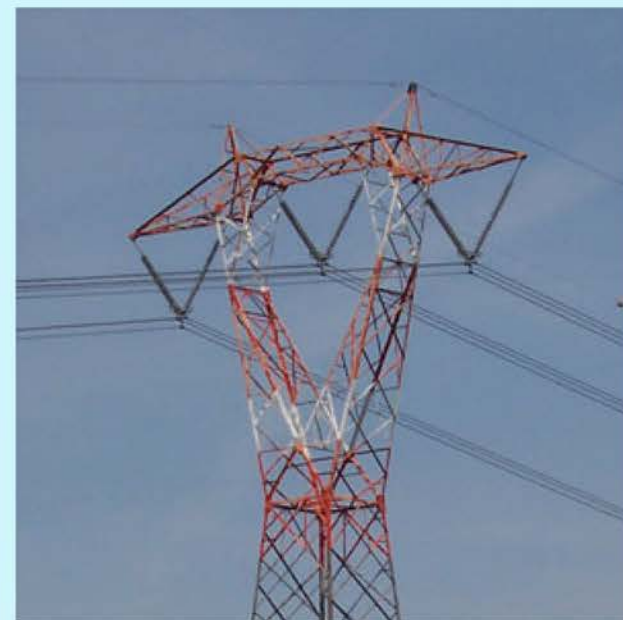
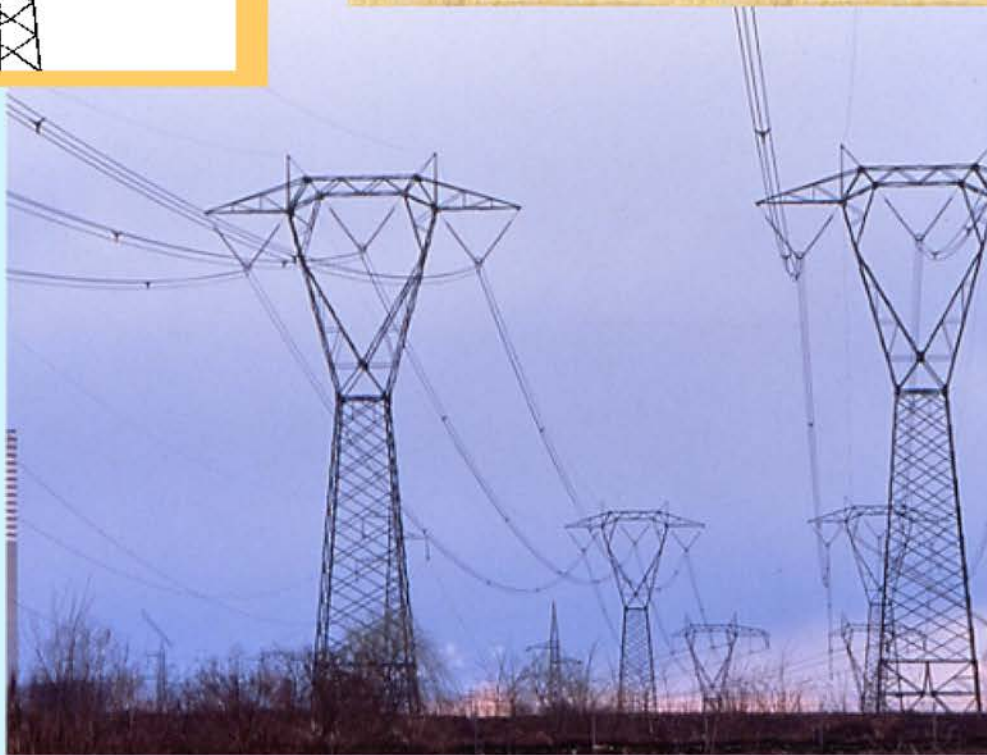
“Linea Guida per l’applicazione del § 5.1.3 dell’Allegato al DM 29.05.08 - Distanza di prima approssimazione (DPA) da linee e cabine elettriche”

Tipologia sostegno	Formazione	Armamento	Corrente	DPA (m)	Rif.
Semplice Terna con mensole normali (serie 132/150 kV) <u>Scheda A1</u>	22.8 mm 307.75 mm ²		576	18	A1a
	31.5 mm 585.35 mm ²		444	16	A1b
			870	22	A1c
			675	20	A1d
Semplice Terna a Delta (serie 132/150 kV) <u>Scheda A6</u>	22.8 mm 307.75 mm ²		576	24	A6a
	31.5 mm 585.35 mm ²		444	21	A6b
			870	28	A6c
			675	25	A6d
Doppia Terna con mensole normali (serie 132/150 kV) <u>Scheda A9</u>	22.8 mm 307.75 mm ²		576	26	A9a
	31.5 mm 585.35 mm ²		444	23	A9b
			870	32	A9c
			675	28	A9d
Doppia Terna ottimizzata con mensole normali (serie 132/150 kV) <u>Scheda A10</u>	22.8 mm 307.75 mm ²		576	18	A10a
	31.5 mm 585.35 mm ²		444	16	A10b
			870	22	A10c
			675	20	A10d

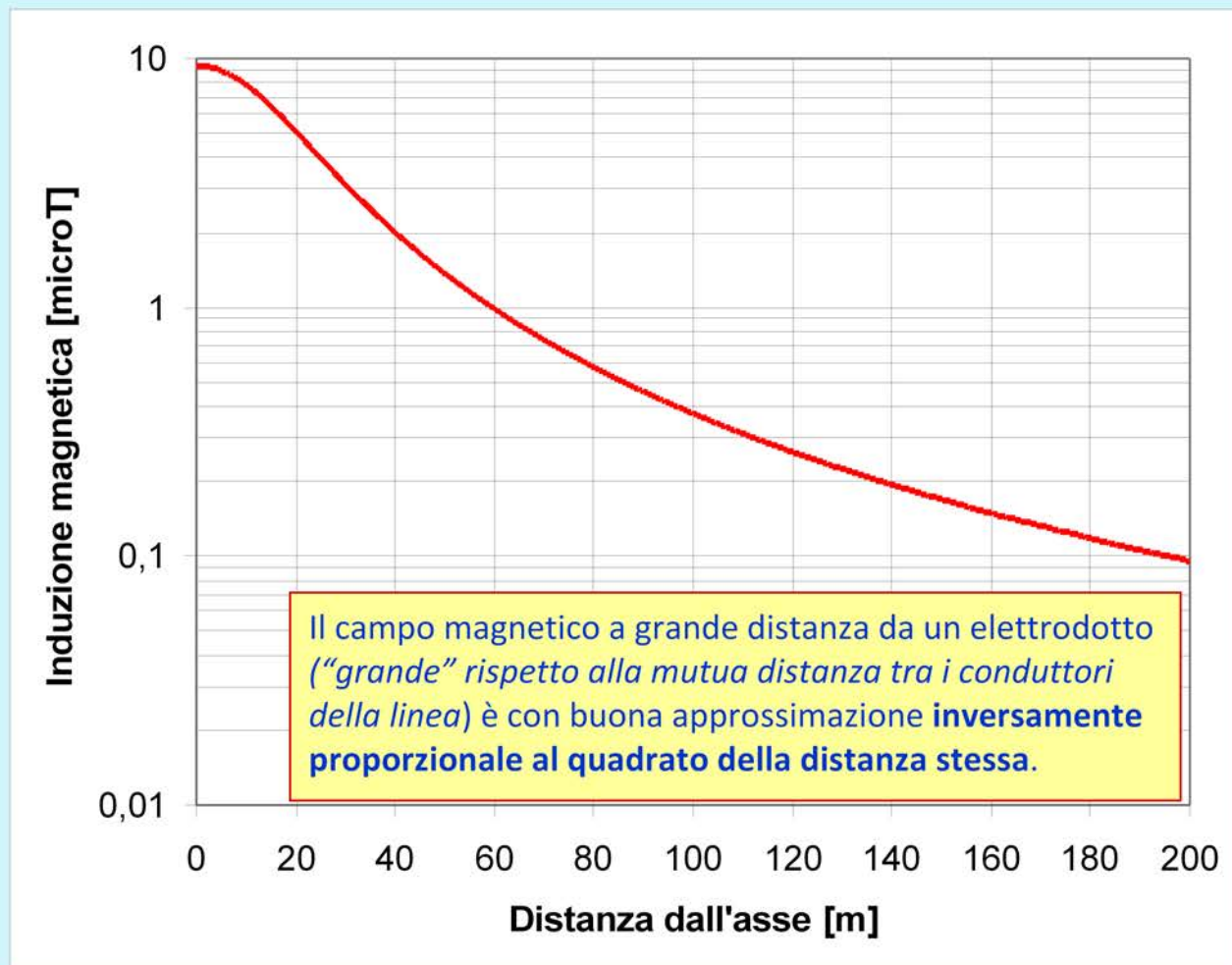
Una situazione-tipo a 380 kV



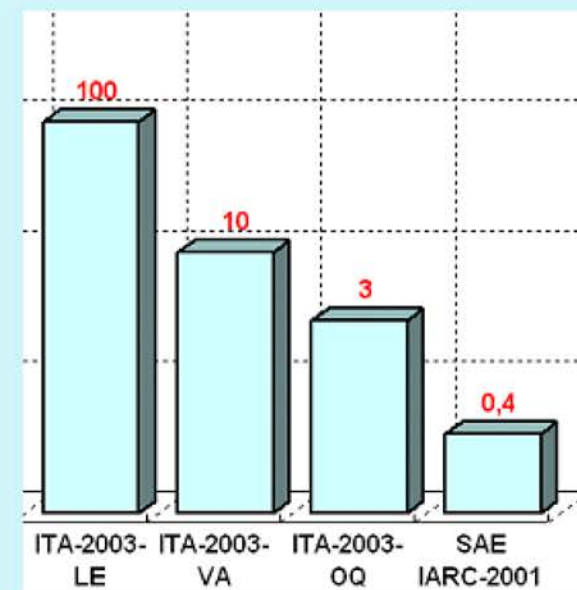
- Elettrodotto aereo **380 kV semplice terna** con sostegni a tralicci standard
- Potenza trasportata **1000 MW** (corrente al “valore massimo nominale” circa **1500 A**)
- Altezza da terra del conduttore più basso pari a **20 metri**



Situazione-tipo: i valori di riferimento



Valore massimo a 1 m da terra	9,3 μ T
Distanza per 3 μ T a 1 m da terra	30,9 m
Distanza per 0,4 μ T a 1 m da terra	96,6 m



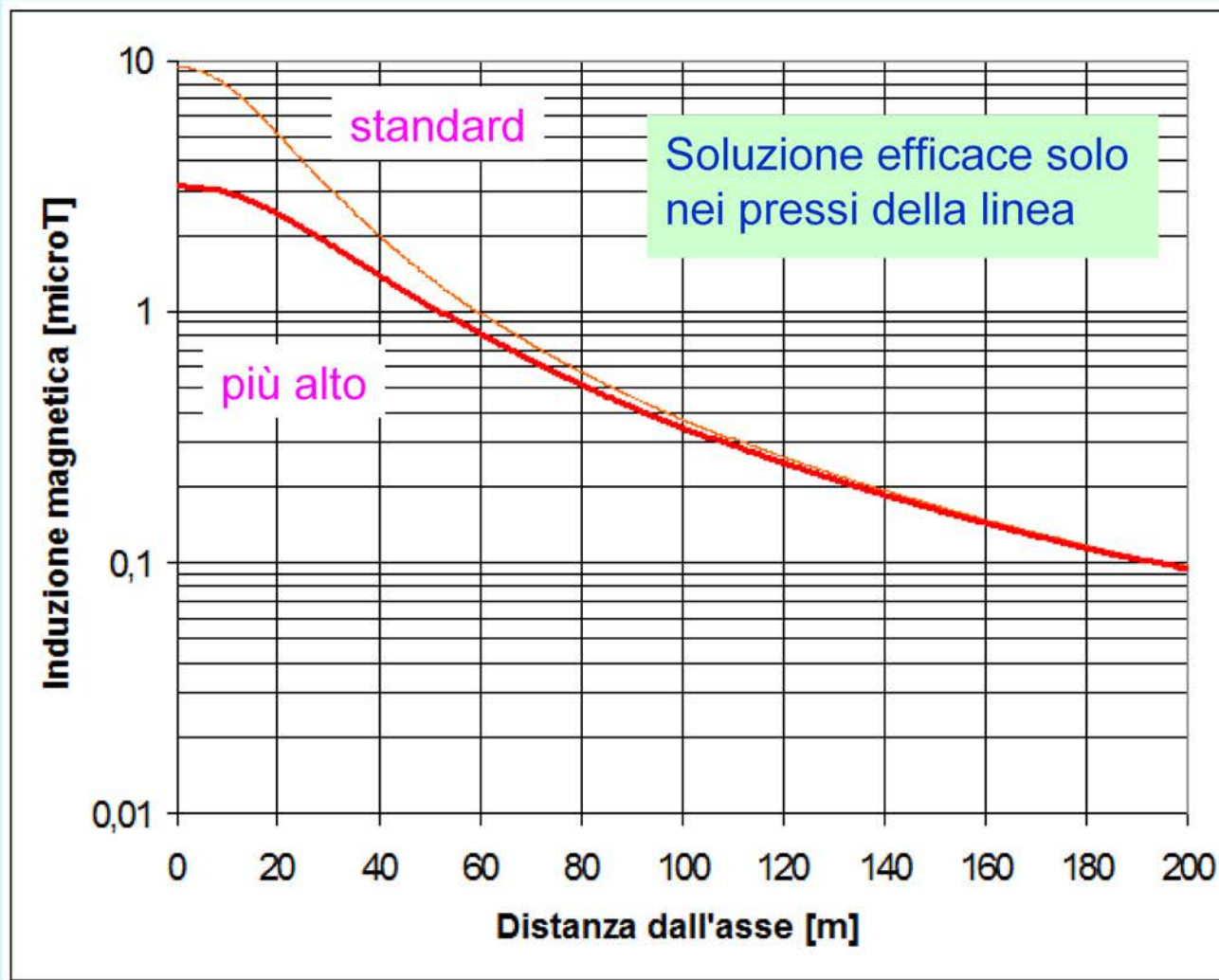
Contenere l'esposizione: 1) aumentare l'altezza



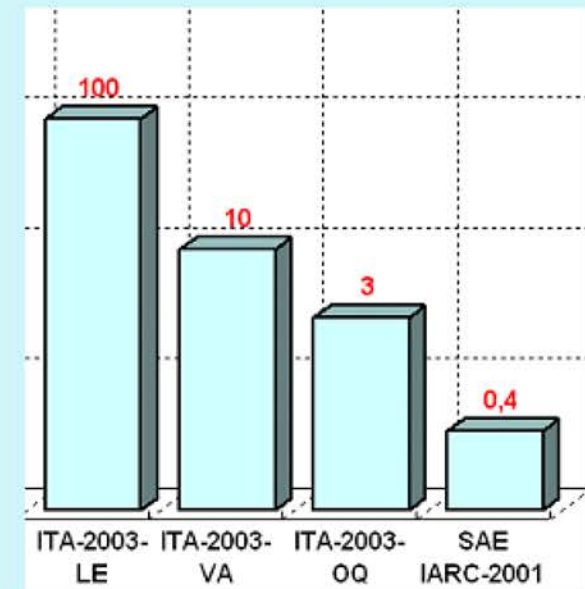
- Elettrodotto aereo 380 kV semplice terna con sostegni a tralicci **standard**
- Potenza trasportata 1000 MW (corrente al “**valore massimo nominale**” circa 1500 A)
- Altezza da terra del conduttore più basso pari a **35 metri**

La fascia di rispetto e la DPA rimangono le stesse

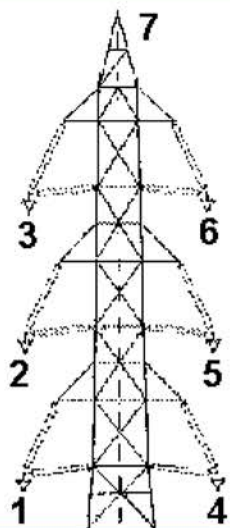
Contenere l'esposizione: 1) aumentare l'altezza



Valore massimo a 1 m da terra	3,2 μT (9,3 μT)
Distanza per 3 μT a 1 m da terra	8,9 m (30,9 m)
Distanza per 0,4 μT a 1 m da terra	92,3 m (96,6 m)



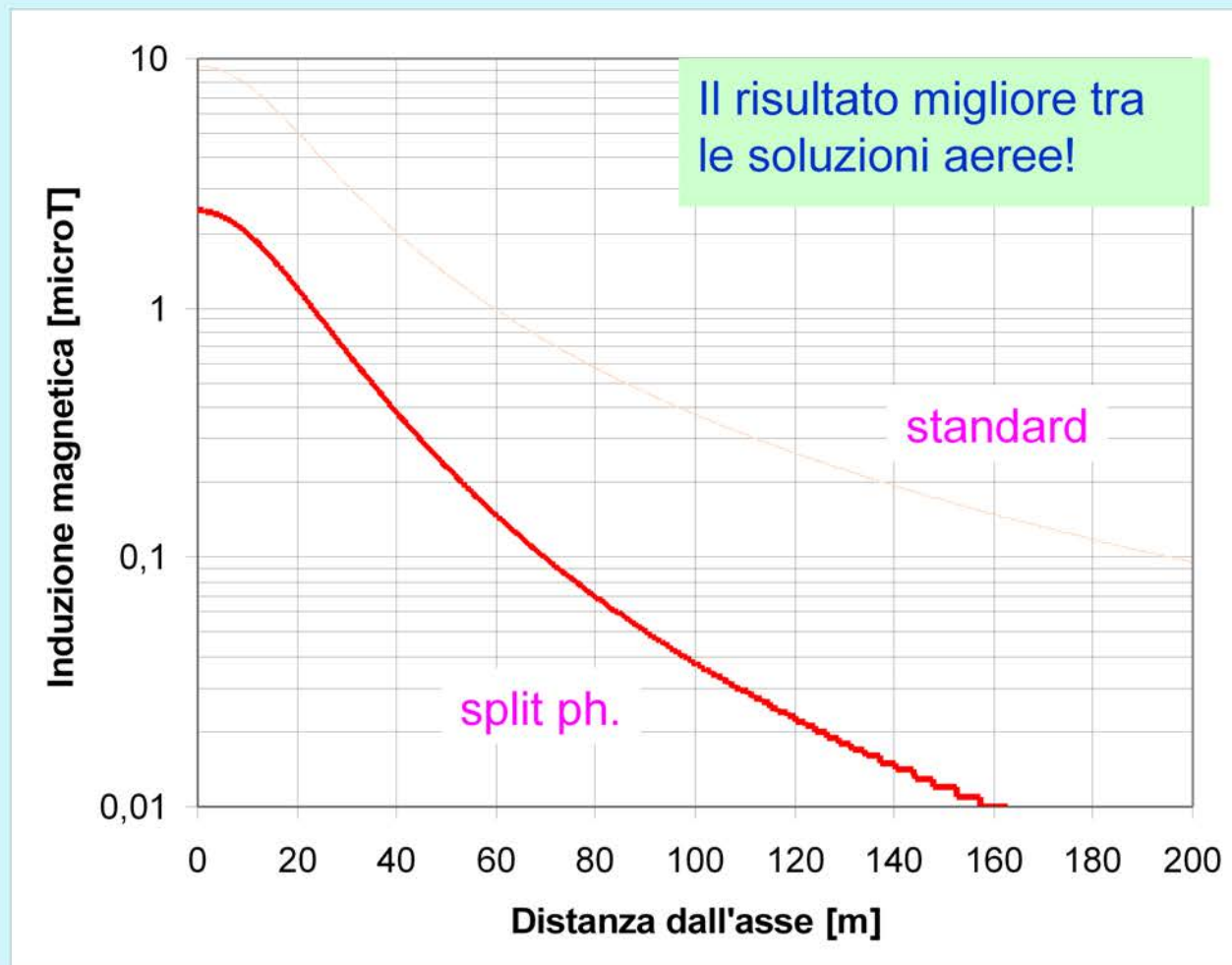
Contenere l'esposizione: 2) doppia terna "split phases"



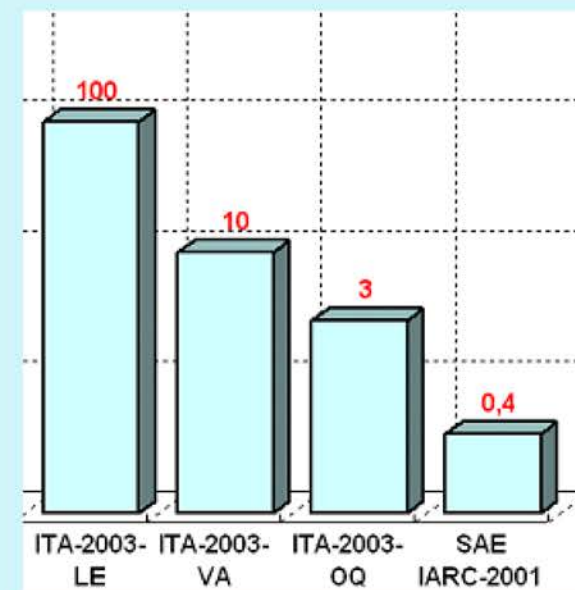
- Elettrodotto aereo 380 kV **doppia terna compatta ottimizzata**
- Potenza trasportata 1000 MW complessivi (corrente circa **750 A**)
- Altezza da terra del conduttore più basso pari a 20 metri

Altezza complessiva 42 m

Contenere l'esposizione: 2) doppia terna "split phases"



Valore massimo a 1 m da terra	2,5 μT (9,3 μ T)
Distanza per 3 μ T a 1 m da terra	----- (30,9 m)
Distanza per 0,4 μ T a 1 m da terra	39,1 m (96,6 m)



Contenere l'esposizione: 3) interramento

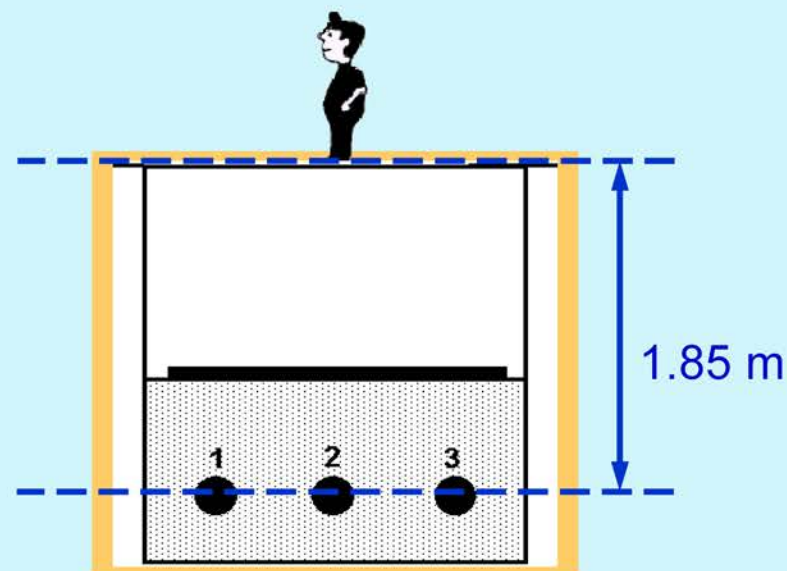


- Elettrodotto aereo 380 kV
- Potenza trasportata 1000 MW
- Altezza da terra del conduttore più basso pari a 20 metri

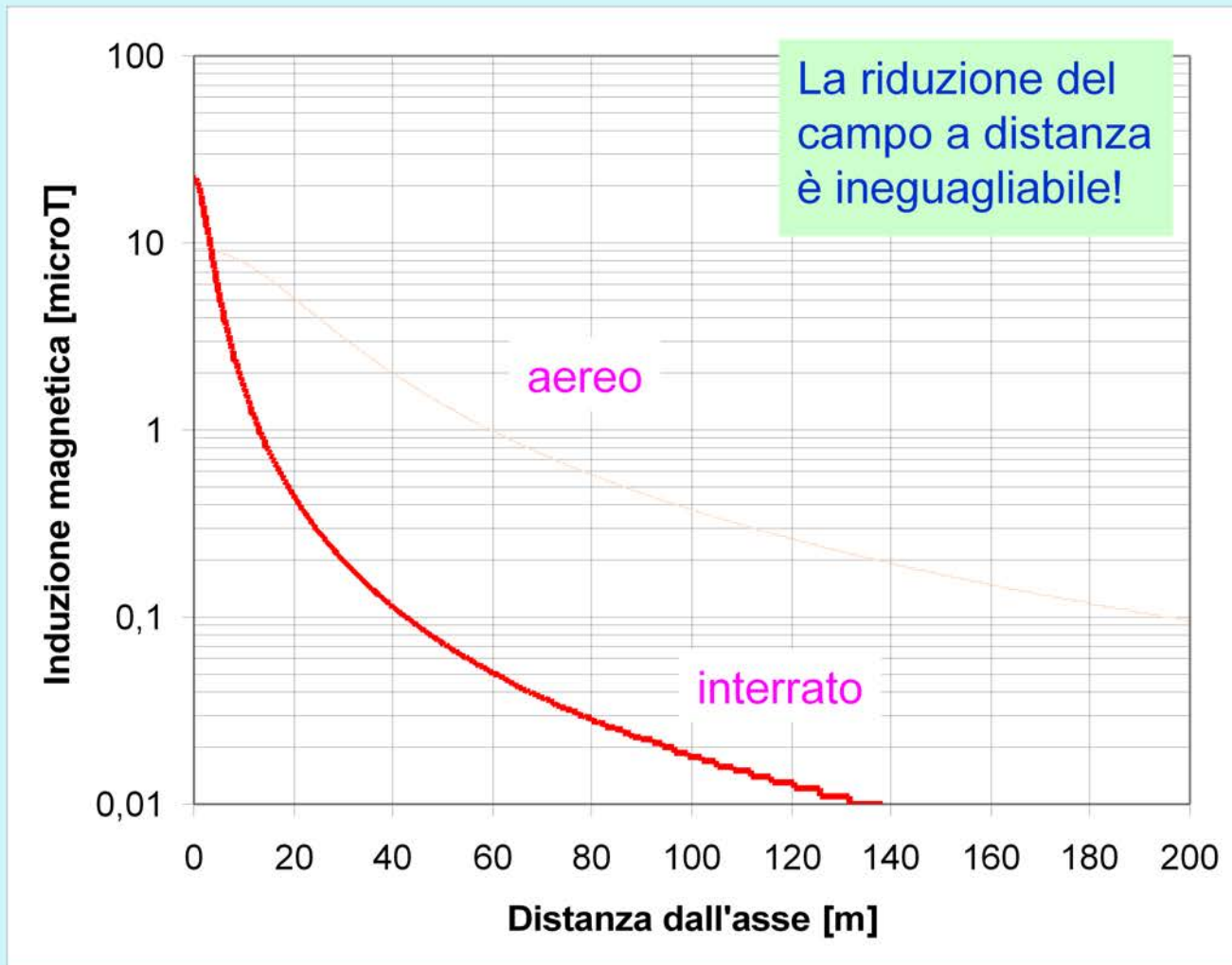
Tante controindicazioni:

- Costo
- Accessibilità
- Stabilità elettrica

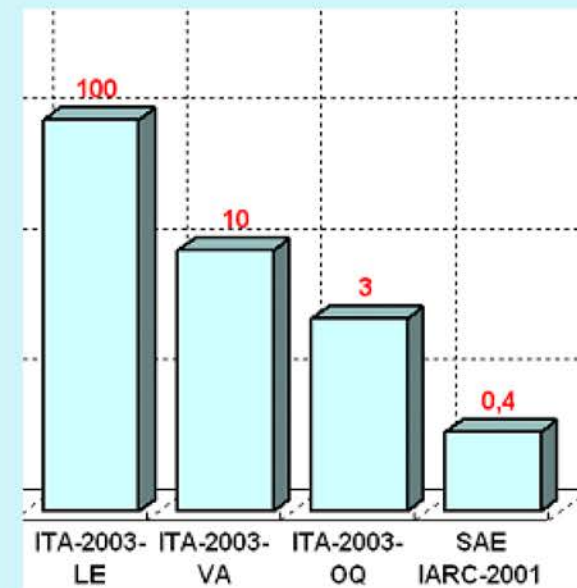
- Elettrodotto **interrato** 380 kV
- Potenza trasportata 1000 MW
- Profondità tipica di interramento **1,85 metri**



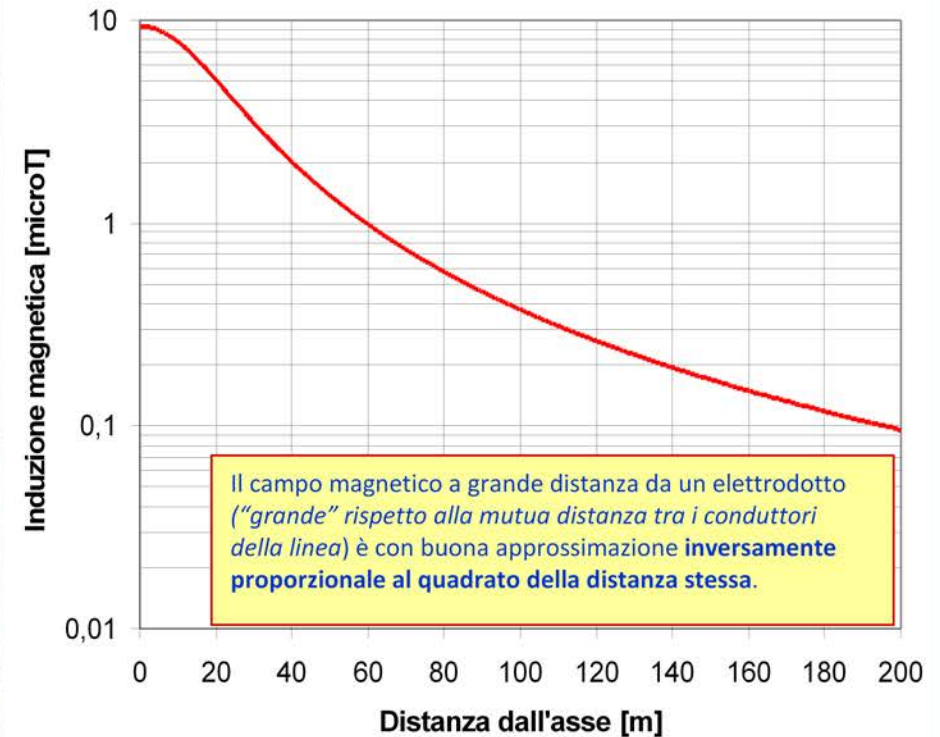
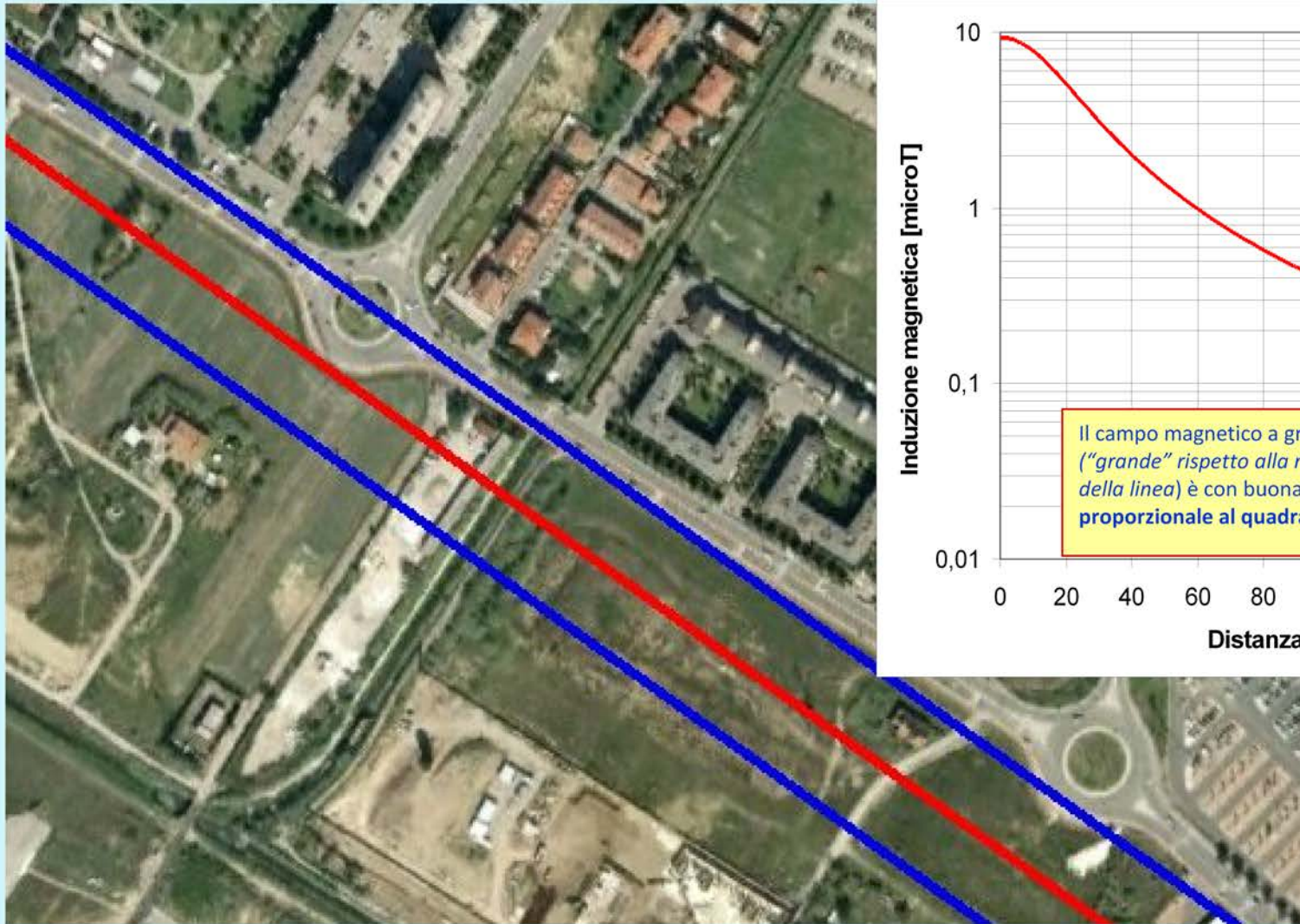
Contenere l'esposizione: 3) interramento



Valore massimo a 1 m da terra	22,1 μ T (9,3 μ T)
Distanza per 3 μ T a 1 m da terra	7,3 m (30,9 m)
Distanza per 0,4 μ T a 1 m da terra	21,2 m (96,6 m)



4) Allontanare un elettrodotto?



Simulazioni eseguite col sistema integrato PLEIA-CERT sviluppato nell'ambito di una convenzione tra IFAC-CNR ed ARPAT

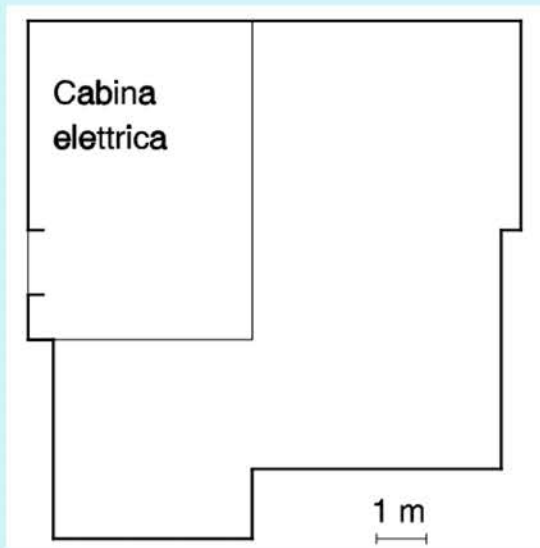
Quale impatto sanitario?

- Da uno studio ISS del 1995 (ISTISAN 95/29 [*]) (dati del 1991)
 - Incidenza della leucemia 0-14 anni: **432 casi**
 - Mortalità per leucemia 0-14 anni: **177 casi**
 - Esposti oltre **0,4 μ T**: 0,35% della popolazione
 - Rischio relativo: **2**
 - **Casi di incidenza attribuibili all'esposizione: 1,51**
 - **Casi di mortalità attribuibili all'esposizione: 0,62**

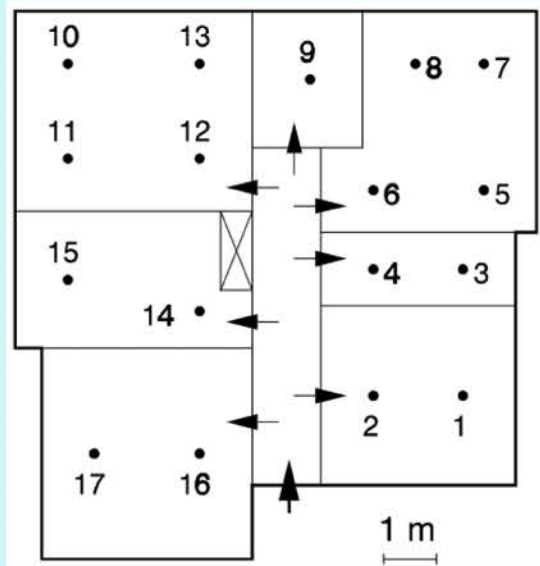
[*] <http://www.giramondo.com/ambiente/onde/line3.htm>

IARC, 2001: *However, pooled analyses of data from a number of well-conducted studies show a fairly consistent statistical association between a **doubling of risk** of **childhood leukaemia** and power-frequency (50 or 60 Hz) residential ELF magnetic field strengths **above 0.4 microTesla**.*

E se c'è sotto una cabina?



Piano terra



Primo piano

Misure di campo magnetico con appartamento "scollegato" dalla rete elettrica

Altezza 1 metro dal pavimento

Punti 1 ÷ 9: meno di $0.1 \mu\text{T}$

Punti 16-17: meno di $0.1 \mu\text{T}$

Punto 10 - $0.33 \mu\text{T}$

Punto 11 - $0.20 \mu\text{T}$

Punto 12 - $0.18 \mu\text{T}$

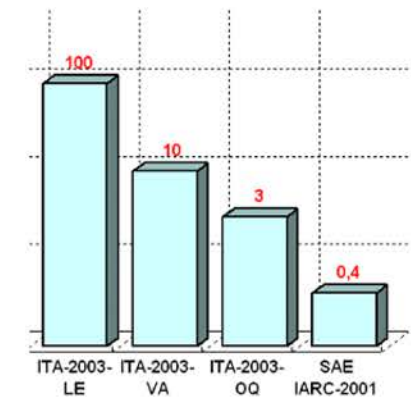
Punto 13 - $0.19 \mu\text{T}$

Punto 14 - $0.21 \mu\text{T}$

Punto 15 - $0.15 \mu\text{T}$

Vicino al pavimento

Massimo $1.26 \mu\text{T}$



Dall'annuario ARPAT 2015 (dati del 2014)

**Misure su elettrodotti
e cabine elettriche**

Limite di esposizione (100 μ T)

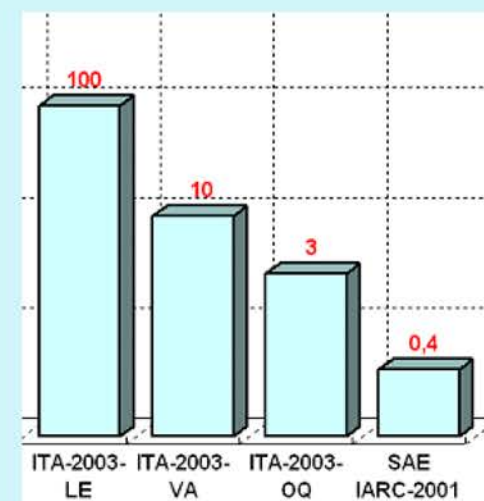
Intervallo valori μ T	N° misure spot	N° misure in continua
0-0,2	38	9
0,2-3	5	0
3-10	1	0
>10	0	0

Valore di attenzione (10 μ T)

Intervallo valori μ T	N° misure spot	N° misure in continua
0-0,2	117	119
0,2-3	49	227
3-10	3	0
>10	0	0

Obiettivo di qualità (3 μ T)

Intervallo valori μ T	N° misure spot	N° misure in continua
0-0,2	13	13
0,2-3	9	23
3-10	0	0
>10	0	0

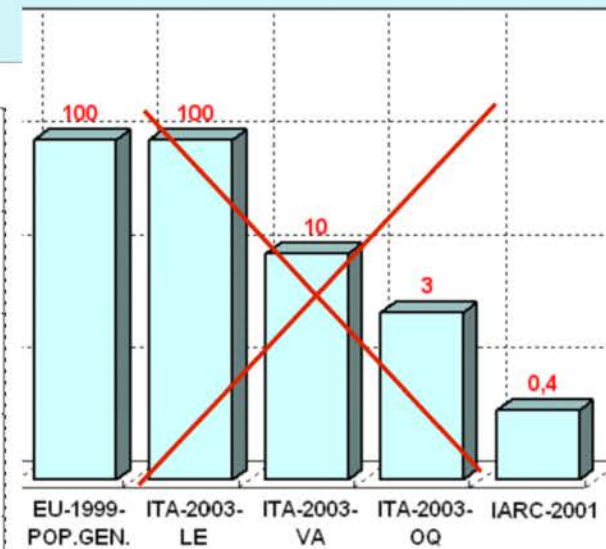
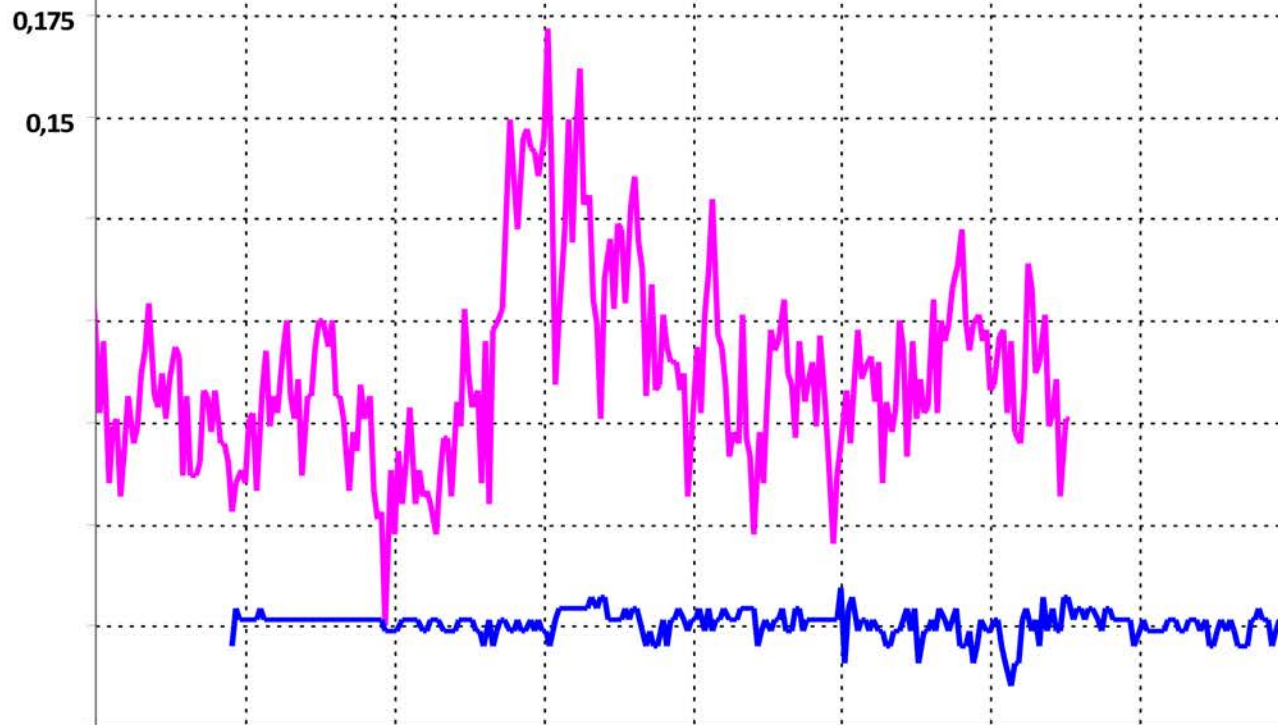


Sorgenti ELF infrastrutturali domestiche

Magenta: appartamento urbano

Azzurro: abitazione semirurale

Nessun elettrodotto
nei pressi



Da ISTISAN 95/29

La percentuale di esposti ad un livello [medio] di induzione magnetica $\geq 0,1 \mu\text{T}$ dovuto alle sole sorgenti domestiche è del 15%.

Table 2. ELF-MF level (μT) in the child's bedroom among controls with valid measurements.

	Entire Sampling Time(# 830)				Overnight Sampling (# 830)				Subsample Week-End (# 452)			
Metric	Mean	SD	Min	Max	Mean	SD	Min	Max	Mean	SD	Min	Max
AM	0.045	0.121	0	2.52	0.043	0.133	0	2.509	0.042	0.133	0	2.55
GM	0.038	0.111	0.0001	2.50	0.040	0.132	0.0001	2.507	0.035	0.130	0.0001	2.51
P90	0.069	0.156	0	2.73	0.059	0.149	0	2.620	0.064	0.160	0	2.79
P95	0.079	0.165	0	2.81	0.065	0.154	0	2.650	0.076	0.170	0	2.83
P99	0.110	0.208	0	2.88	0.079	0.166	0	2.670	0.104	0.200	0	2.89

Valid measurements = made in homes inhabited one year before reference date and duration $\geq 24\text{h}$; Overnight sampling = from 10 pm to 5:59 am; AM = arithmetic mean of instantaneous values from 24 to 48 h bedroom measurements; GM = geometric mean of instantaneous values from 24 to 48 h bedroom measurements; P90, P95, P99 = 90th, 95th and 99th percentiles of instantaneous values from 24 to 48 h bedroom measurements.

Misure eseguite con EMDEX II o EMDEX Lite per almeno 24h (48h o più nell'80% dei casi) nella camera da letto di 830 bambini coinvolti nell'indagine come popolazione di controllo

Sorgenti ELF ad uso personale

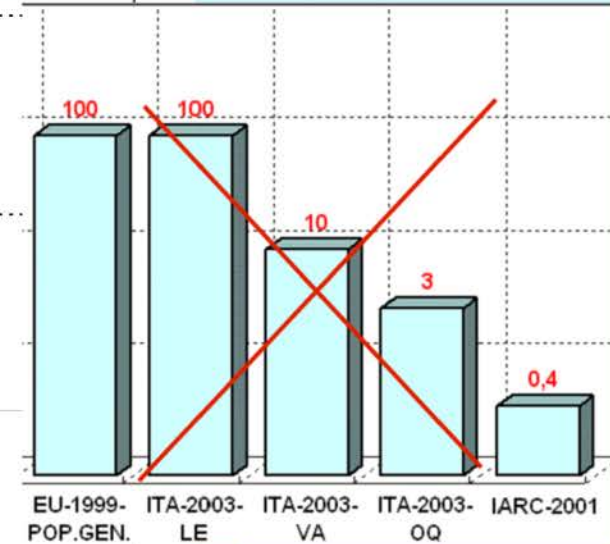
Sorgenti ELF ad uso personale

ICNIRP-1998

The reference levels are intended to be spatially averaged values over the entire body of the exposed individual, but with the important proviso that the basic restrictions on localized exposure are not exceeded.

Rosso: spremiagrumi
Azzurro: asciugacapelli

Come si tiene conto
del forte gradiente
spaziale? Vedi ICNIRP



Come si combinano
intensità e tempo?

Sorgenti ELF ad uso personale

OMS Environmental Health Criteria 238 ELF fields (Dic 2007)

Table 9. Examples of magnetic flux densities from 50 and 60 Hz domestic electrical appliances ^a

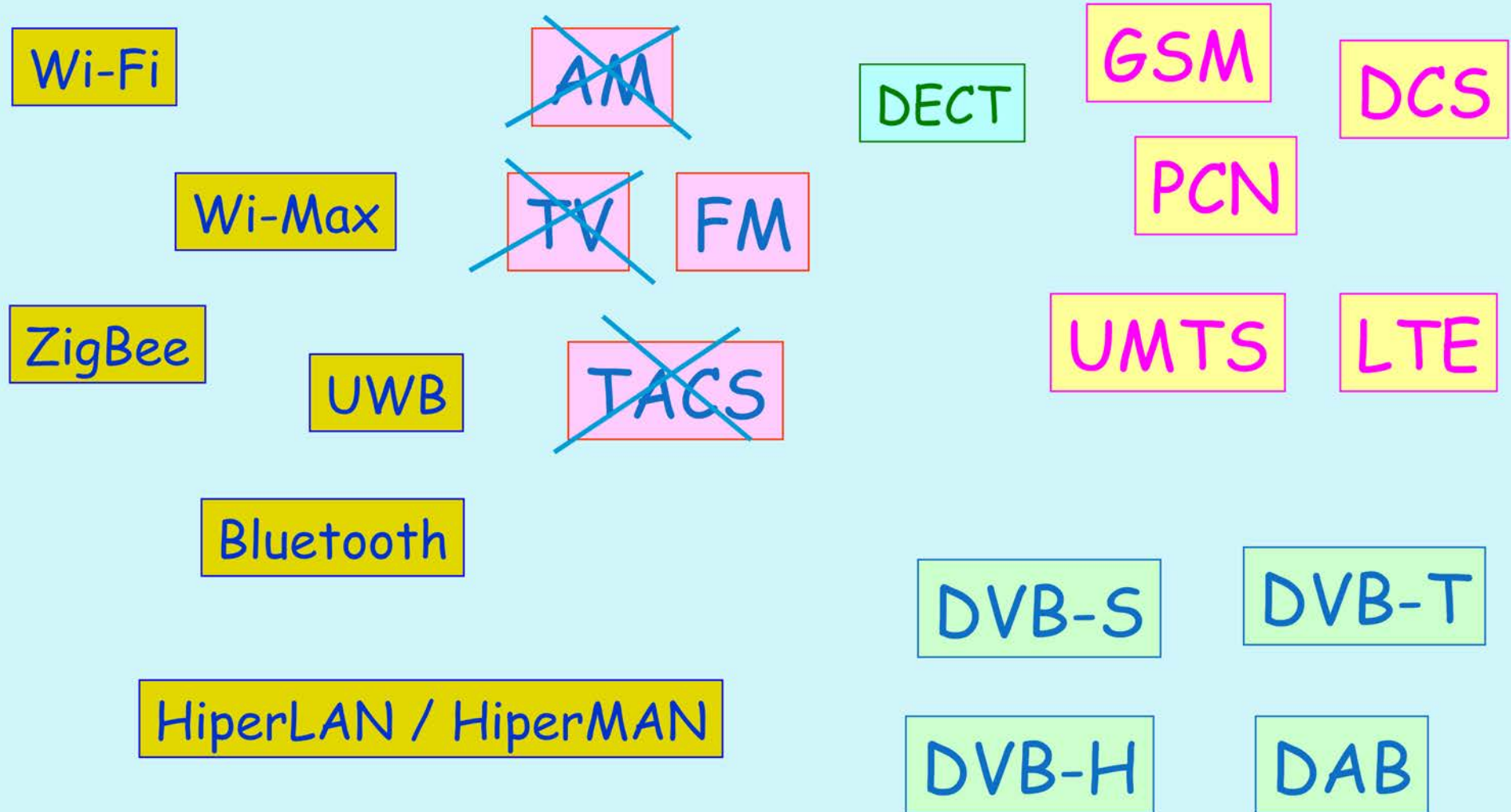
Source		Magnetic flux densities (μT)			
		60 Hz at 30 cm ^b		50 Hz at 50 cm ^c	
		Median	Range ^d	Com-puted field	SD
Bathroom	Hair dryers	1	bg***-7	0.12	0.1
	Electric shavers	2	bg-10	0.84	
	Electric showers			0.44	0.75
	Shaver socket			1.24	0.27
Kitchen	Blenders	1	0.5-2	0.97	1.05
	Can openers	15	4-30	1.33	1.33
	Coffee makers	bg	bg-0.1	0.06	0.07
	Dishwashers	1	0.6-3	0.8	0.46
	Food processors	0.6	0.5-2	0.23	0.23
	Microwave ovens	0.4	0.1-20	1.66	0.63
	Mixers	1	0.5-10	0.69	0.69
	Electric ovens	0.4	0.1-0.5	0.39	0.23
	Refrigerators	0.2	bg-2	0.05	0.03

Table 9. Examples of magnetic flux densities from 50 and 60 Hz domestic electrical appliances ^a

Source		Magnetic flux densities (μT)			
		60 Hz at 30 cm ^b		50 Hz at 50 cm ^c	
		Median	Range ^d	Com-puted field	SD
Office	Freezers			0.04	0.02
	Toasters	0.3	bg-0.7	0.09	0.08
	Radios			0.06	0.04
	Bedroom				
	Clock alarm	0-50		0.05	0.05
	Air cleaners	3.5	2-5		
	Copy machines	2	0.2-4		
	Fax machines	bg	bg-0.2		
	Fluorescent lights	0.6	bg-3		
	VDUs	0.5	0.2-0.6	0.14	0.07
Tools	Battery chargers	0.3	0.2-0.4		
	Drills	3	2-4		
	Power saws	4	0.9-30		

Sorgenti AF infrastrutturali

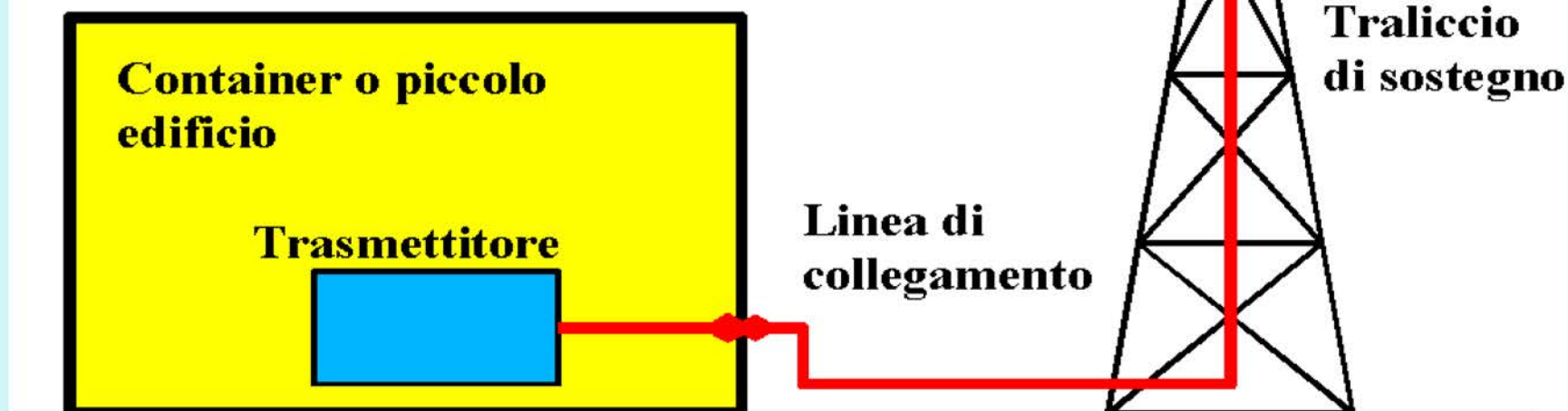
Il moltiplicarsi dei servizi di telecomunicazione



Gli apparati di telecomunicazione fissi

Il livello di esposizione dipende:

- Dalla **frequenza**, poiché i limiti di sicurezza dipendono dalla frequenza.
- Dalla **potenza complessiva irradiata dall'antenna**, ovvero:
 - dalla potenza in uscita al generatore;
 - dalle perdite del cavo e dell'antenna stessa.
- Dalle **modalità con cui l'antenna diffonde il segnale nello spazio** circostante.
- Dalla **distanza** del soggetto esposto dal trasmettitore
- Da alcune **caratteristiche del servizio** (traffico, modalità di accesso multiplo, modalità di comunicazione bidirezionale (*duplex*), presenza di dispositivi di controllo automatico della potenza, ...)



Potenze tipiche durante la trasmissione

GSM/DCS

UMTS

LTE

DECT

Wi-Fi

Wi-Max

- Fino a 10-12 W per canale (tipicamente da 1 a 6 canali per settore) (EIRP fino a 2-3 kW)
- Fino a 20 W per canale (tipicamente da 1 a 4 canali per settore) (EIRP fino a 2-3 kW)
- Situazione tipica: fino a 40W per canale, 1 o 2 canali (EIRP fino a 2-3 kW)
- 250 mW EIRP di picco
- 100 mW EIRP di picco (802.11b/g; normativa vincolante perché su frequenza di libero uso); 200 mW a 5 GHz (802.11a)
- Potenze tra 5 e 20 W per canale (tipicamente 1 canale per settore) (max. 1200 W EIRP)

E la modulazione?

GMSK

BPSK

QPSK

8-PSK

16QAM

64QAM

RADIATION RESEARCH **162**, 219–225 (2004)
0033-7587/04 \$15.00
© 2004 by Radiation Research Society.
All rights of reproduction in any form reserved.

COMMENTARY

Biological Effects of Radiofrequency Fields: Does Modulation Matter?

Kenneth R. Foster^{a,1} and Michael H. Repacholi^b

^a Department of Bioengineering, University of Pennsylvania, Philadelphia, PA 19104; and ^b World Health Organization, Geneva, Switzerland

**La potenza media
assorbita NON dipende
significativamente dal
tipo di modulazione**

Modulation introduces a spread of frequencies into a carrier waveform, but in nearly all cases this spread is small compared to the frequency of the carrier. Consequently, any nonthermal (field-dependent) biological effects related to modulation must result from interaction mechanisms that are fast enough to produce a response at radiofrequencies. Despite considerable speculation, **no such mechanisms have been established**. While a variety of modulation-dependent biological effects of RF energy have been reported, **few such effects have been independently confirmed**. Some **widely discussed effects**, for example a reported modulation-dependent effect of RF fields on the efflux of calcium from brain tissue, **remain controversial with no established biological significance**. The lack of understanding of the mechanisms underlying such effects **prevents any assessment of their significance** for communications signals with complex modulation characteristics.

Campo elettrico AF: cosa dicono le normative

	RADIO FM [100 MHz]	TV UHF [650 MHz]	GSM [940 MHz]	DCS [1840 MHz]	UMTS [2140 MHz]
Soglia degli effetti scientificamente accertati [V/m per 4 W/kg]	220	290	340	480	500
Limite europeo ⁽¹⁾ per i lavoratori professionalmente esposti [V/m]	61	76	92	129	137
Limite europeo ⁽²⁾ per la popolazione generale [V/m]	28	35	42	59	61
Limite italiano ⁽⁴⁾ per esposizioni brevi [V/m]	20	20	20	20	20
Limite italiano ⁽⁴⁾ per esposizioni prolungate [V/m]	6	6	6	6	6

Trasmettitori RTV (FM e TV)



Il parametro **EIRP** (*Equivalent Isotropic Radiated Power*) tiene conto di quanta potenza viene irradiata e di come viene concentrata

Trasmettitori radio FM
EIRP fino a 500 kW

Trasmettitori TV **EIRP**
fino a 100 kW

Frequenze da 88 a 850 MHz

Stazioni radio base (SRB)



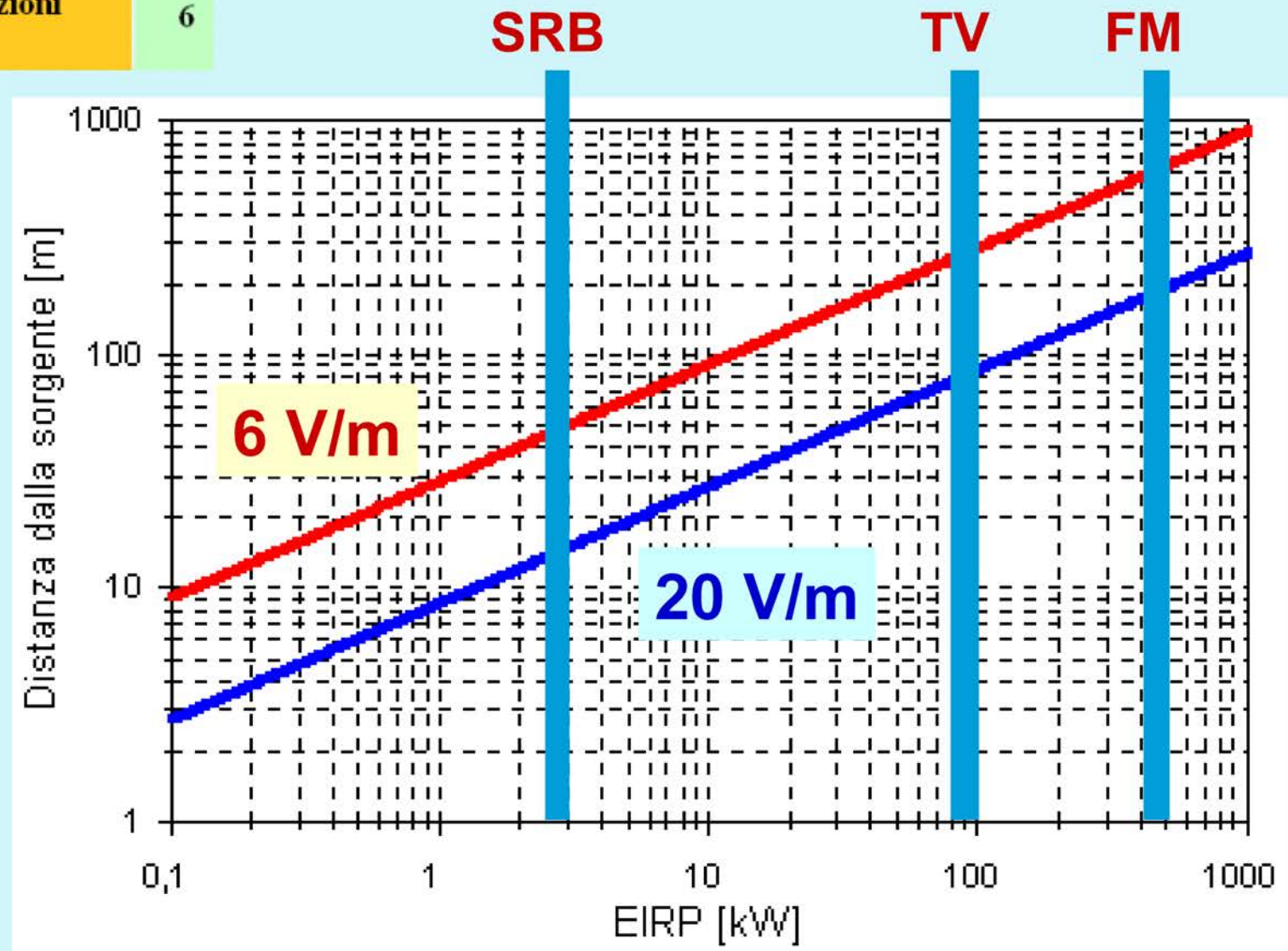
Frequenze da 900 a ~5000 MHz

EIRP fino a 3 kW



Limite italiano per esposizioni brevi [V/m]	20
Limite italiano per esposizioni prolungate [V/m]	6

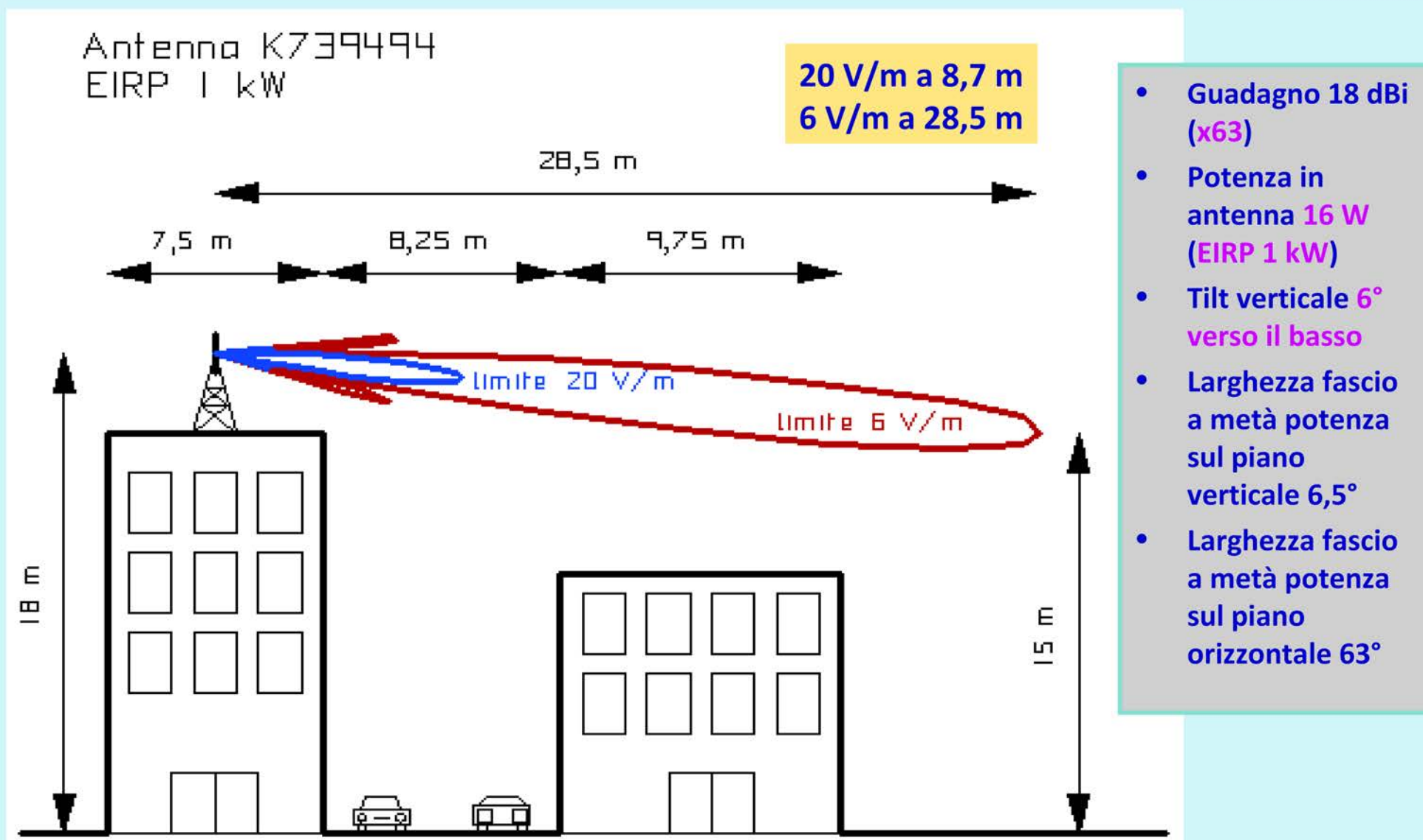
Trasmettitori SRB e RTV



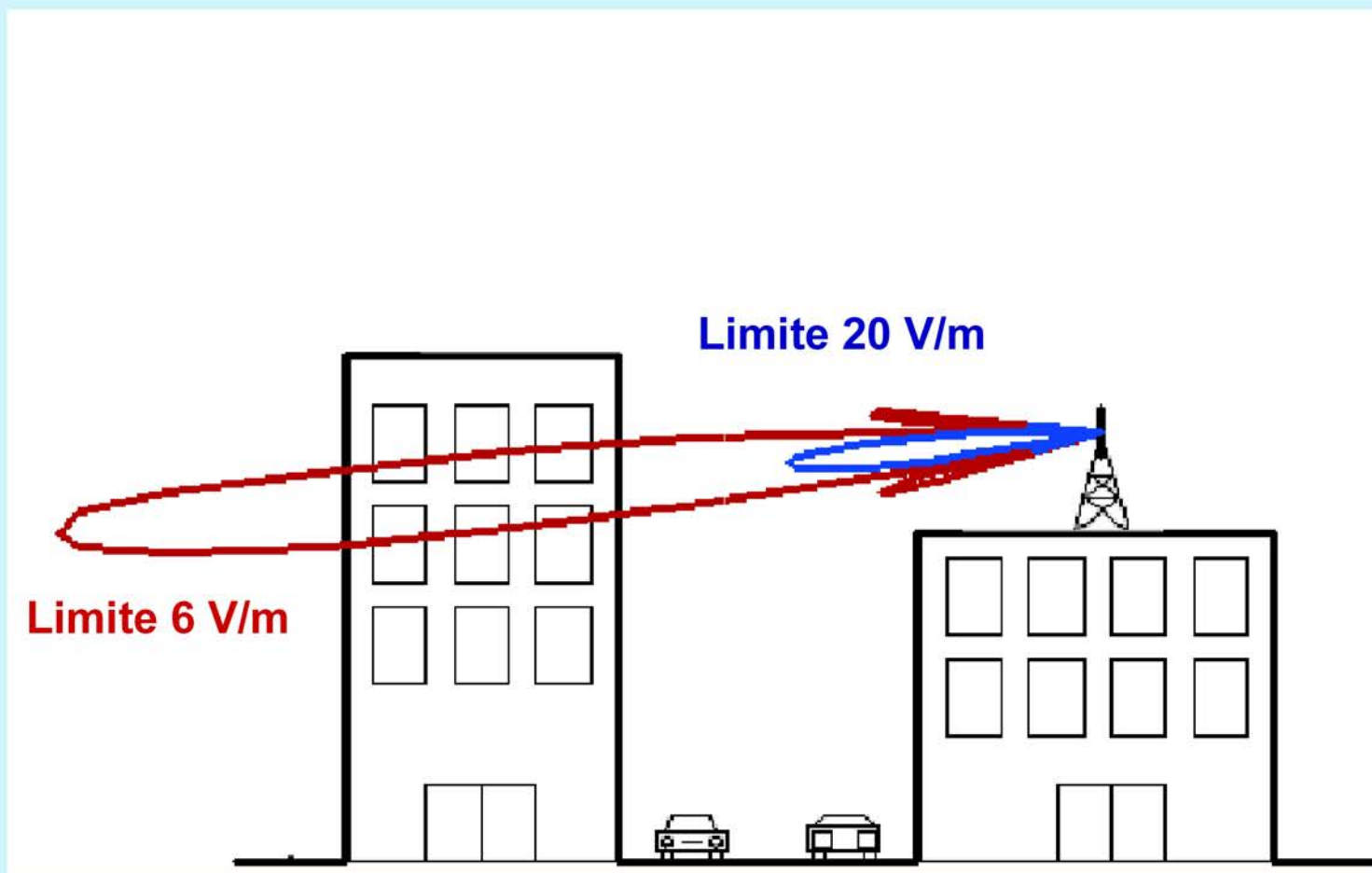
TLC digitali: frequenze e limiti

Servizio	Frequenza [MHz]	Limite italiano esposizioni brevi	Limite italiano esposizioni lunghe	Limite europeo popolazione
GSM	dl: 925 – 960 ul: 880 – 915	20 V/m	6 V/m	41 V/m
DCS	dl: 1805 – 1880 ul: 1710 – 1785	20 V/m	6 V/m	58 V/m
UMTS	dl: 2110 – 2170 ul: 1920 – 1980	20 V/m	6 V/m	61 V/m
Wi-Fi	2400 – 2483.5	20 V/m	6 V/m	61 V/m
Wi-Max	3400 – 3600	40 V/m	6 V/m	61 V/m

Distribuzione tipica dell'emissione di una SRB sul piano verticale



Distribuzione tipica dell'emissione di una SRB sul piano verticale

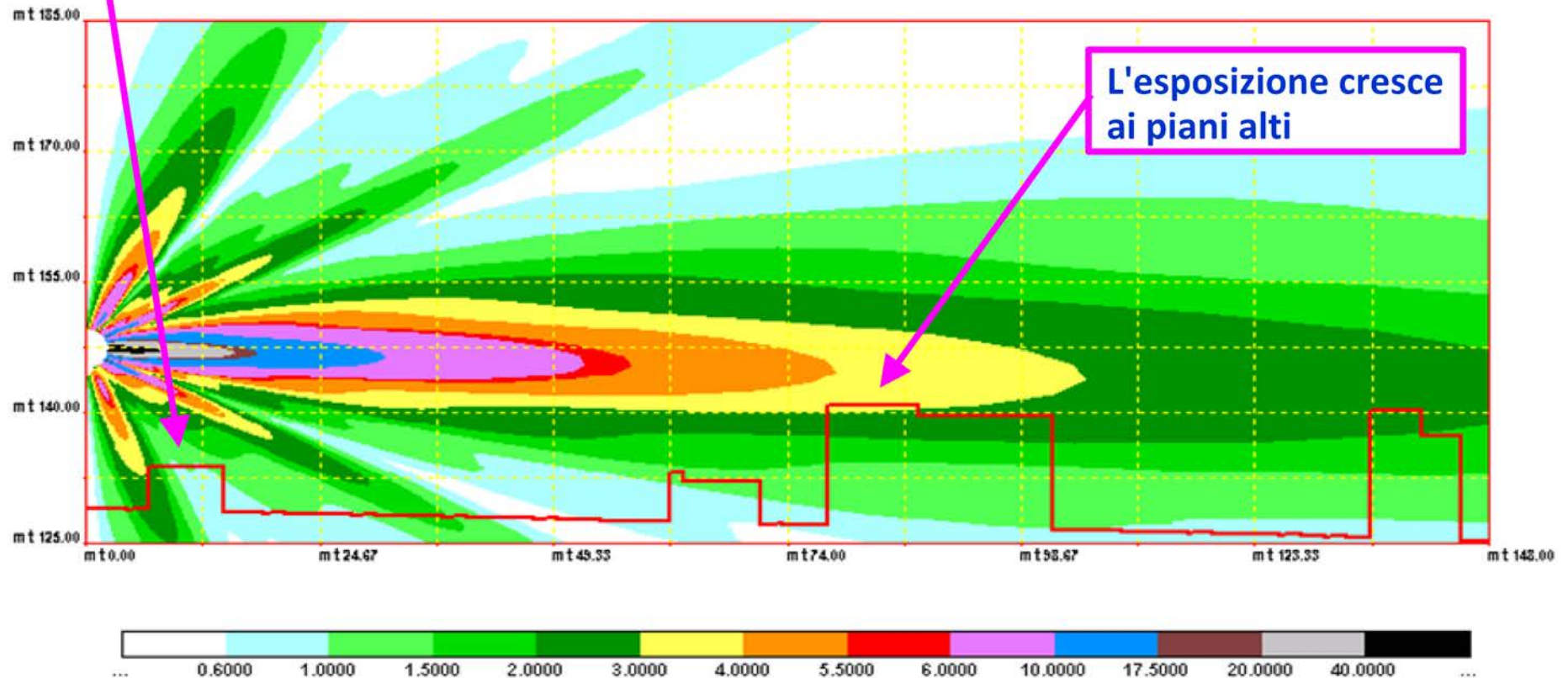


Distribuzione tipica dell'emissione di una SRB sul piano verticale

Gli edifici più vicini possono non essere i più esposti

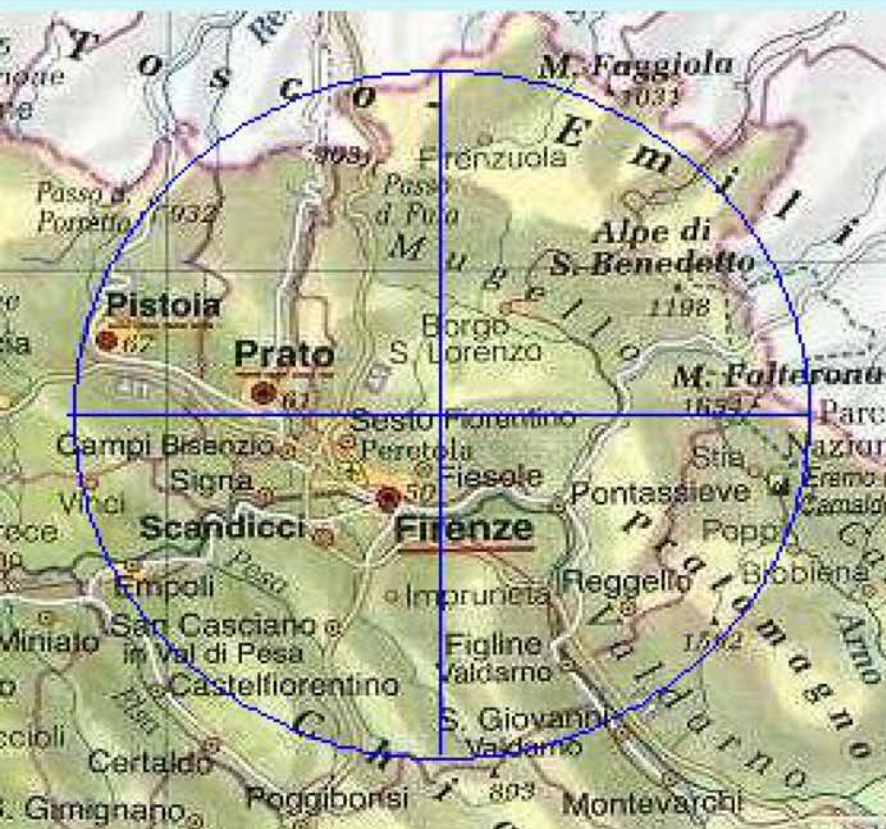
ANALISI CAMPO ELETTROMAGNETICO
Piano Verticale
Previsione tra 125.00 e 185.00 m S.L.M.
Orientamento a 024g33'17"33 N
(Min, Max) - (0.04, 94.71) [V/m]

GSM 11Wx4Ch GAIN 14,3dB EIRP 1184W
UMTS 12Wx3Ch GAIN 17,7dB EIRP 2120W



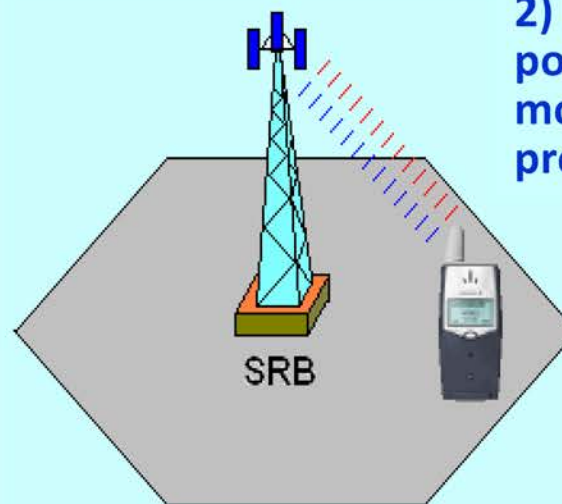
Legenda valori di campo E

Perché non mettere le SRB sulle montagne?



1) Limite tecnico di circa 35 km dovuto al tempo di attesa della SRB

4) Di recente, necessità di rispettare i limiti di sicurezza visto il proliferare di impianti



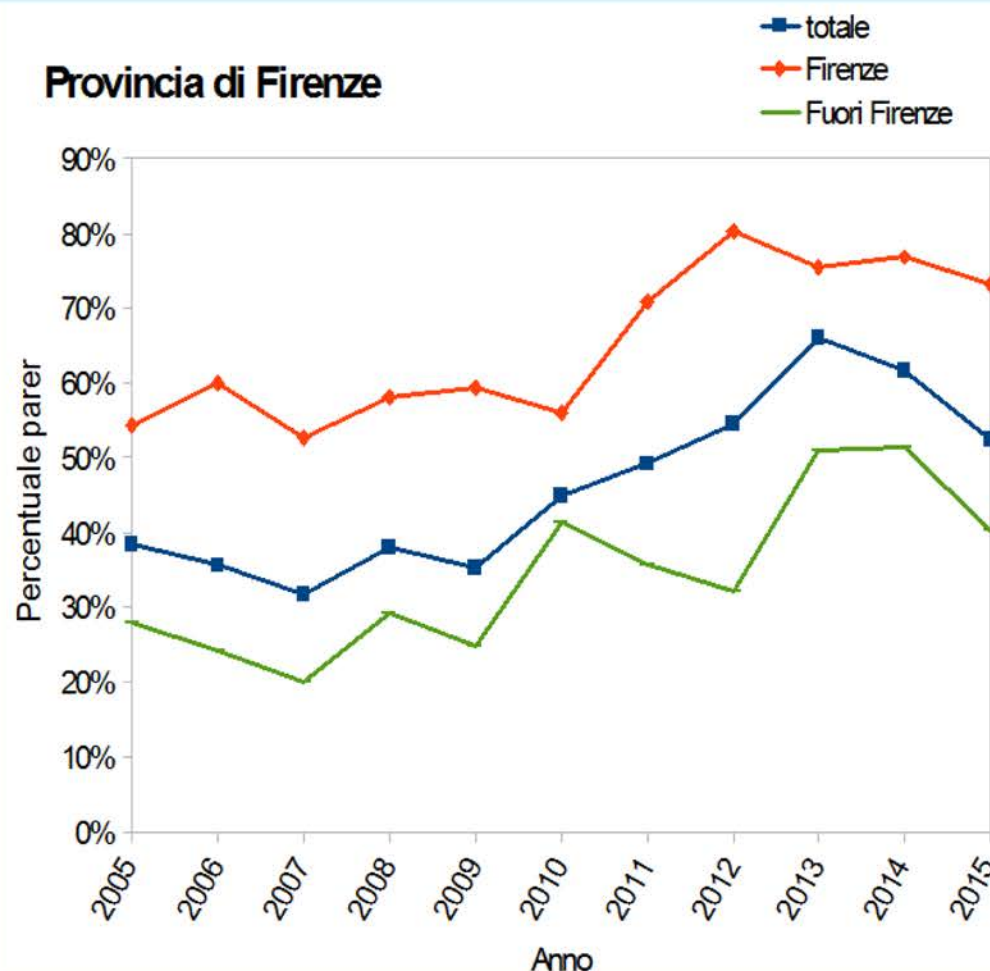
2) Esigenza di limitare la potenza del terminale mobile anche per prolungarne l'autonomia

3) Necessità di adeguare i canali disponibili (che sono limitati) alle esigenze dell'utenza



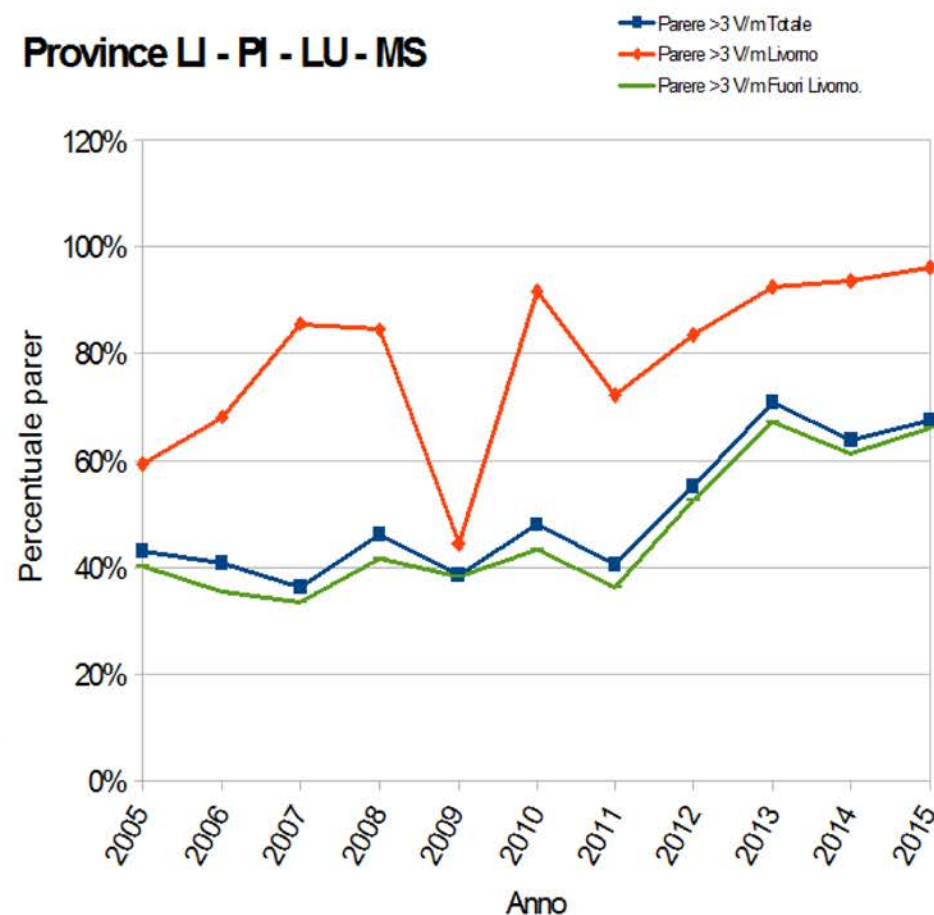
Valutazioni teoriche preventive

Provincia di Firenze



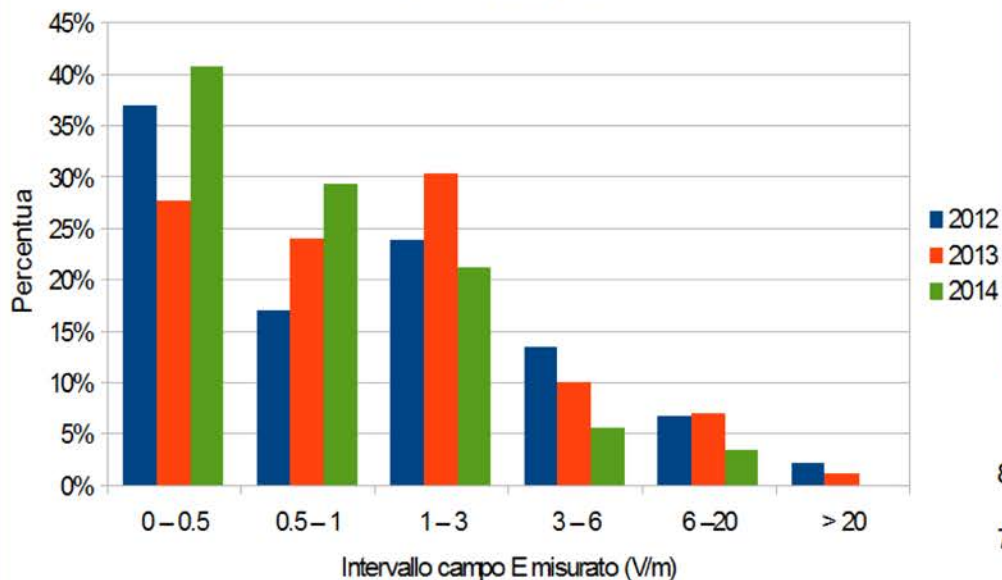
Percentuale di valutazioni $E > 3$ V/m

Province LI - PI - LU - MS



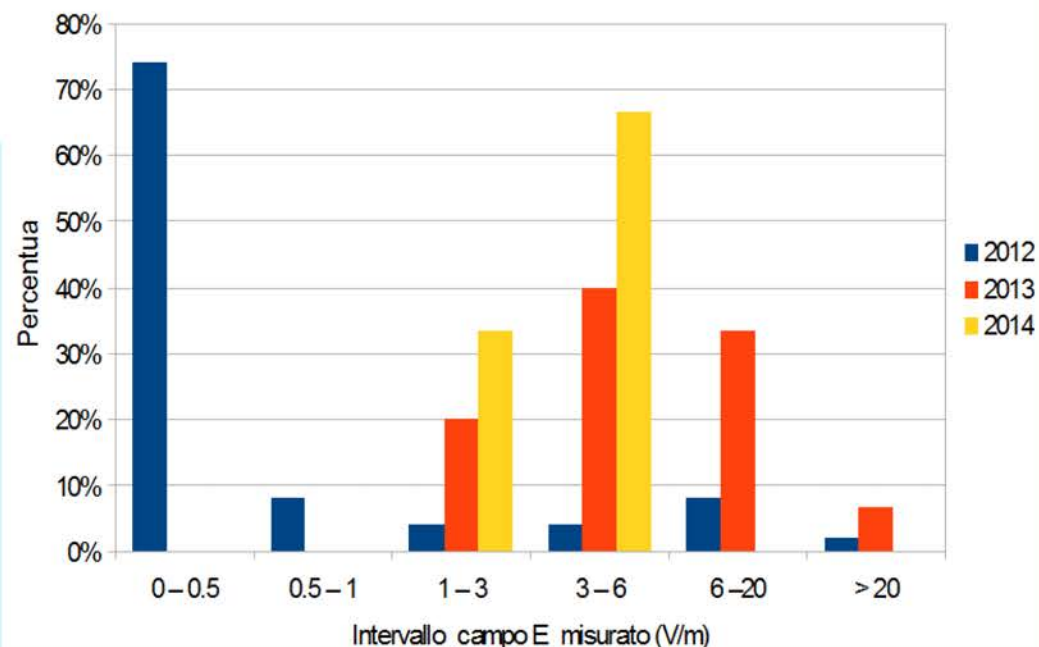
Misure di controllo in luoghi a permanenza prolungata

A banda larga



Impianti TLC regione Toscana

A banda stretta



Dall'annuario ARPAT 2015 (dati 2012-2014)

Distribuzione statistica delle misure di campo elettrico effettuate su impianti RTV e Stazioni Radio Base (SRB)

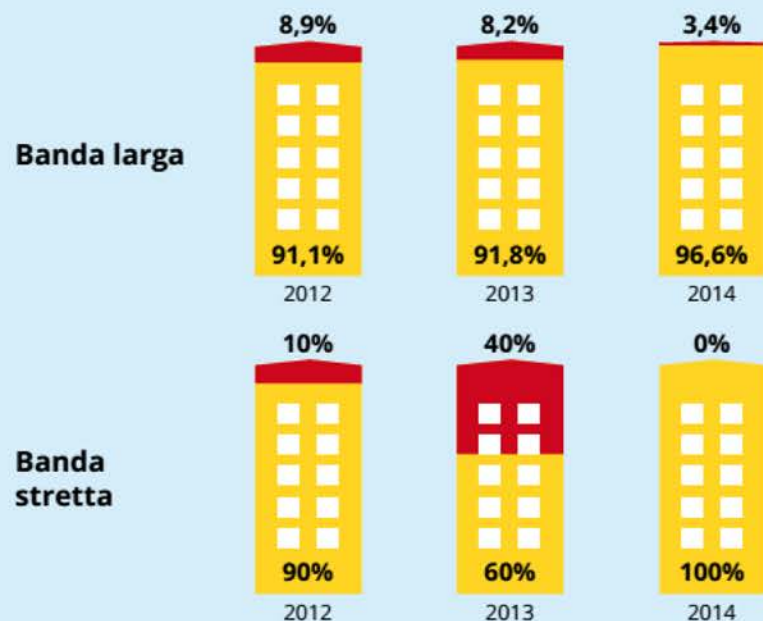
Luoghi a permanenza prolungata (limite di esposizione 6 V/m)																		
Intervallo valori	0 - 0.5			0.5 - 1			1 - 3			3 - 6			6 - 20			> 20		
Banda larga	187	94	156	86	82	112	121	103	81	68	34	21	34	24	13	11	4	0
Banda stretta	37	0	0	4	0	0	2	3	1	2	6	2	4	5	0	1	1	0

Luoghi ad accesso occasionale (limite di esposizione 20 V/m)																		
Intervallo valori	0 - 0.5			0.5 - 1			1 - 3			3 - 6			6 - 20			> 20		
Banda larga	17	22	10	6	26	13	4	29	16	11	13	9	22	26	16	1	11	0
Banda stretta	2	0	0	2	0	0	3	1	0	1	1	1	3	6	8	0	1	0

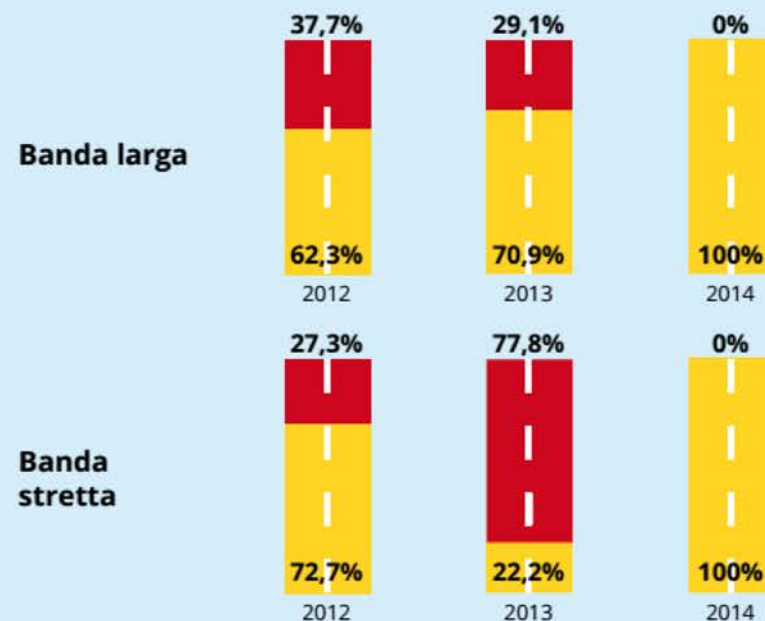
Dall'annuario ARPAT 2015 (dati 2012-2014)

Percentuale dei superamenti dei limiti

Luoghi a permanenza prolungata (limite di esposizione 6 V/m)



Luoghi ad accesso occasionale (limite di esposizione 20 V/m)



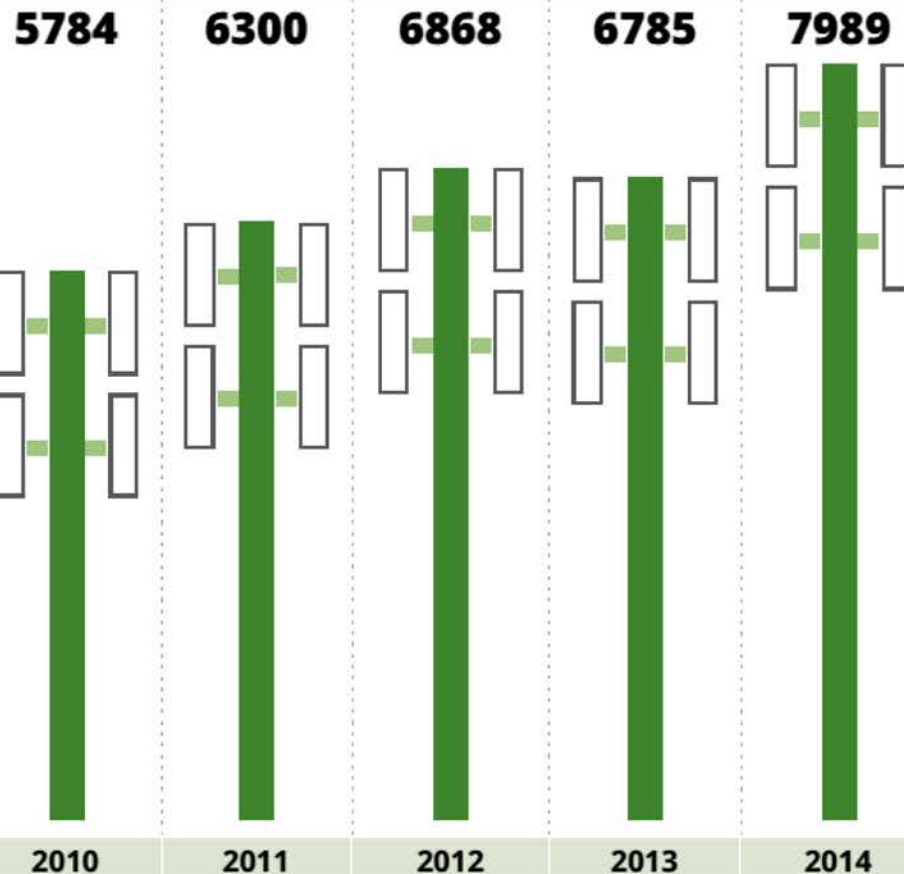
■ % nel limite ■ % oltre il limite

Dall'annuario ARPAT 2015 (dati 2012-2014)

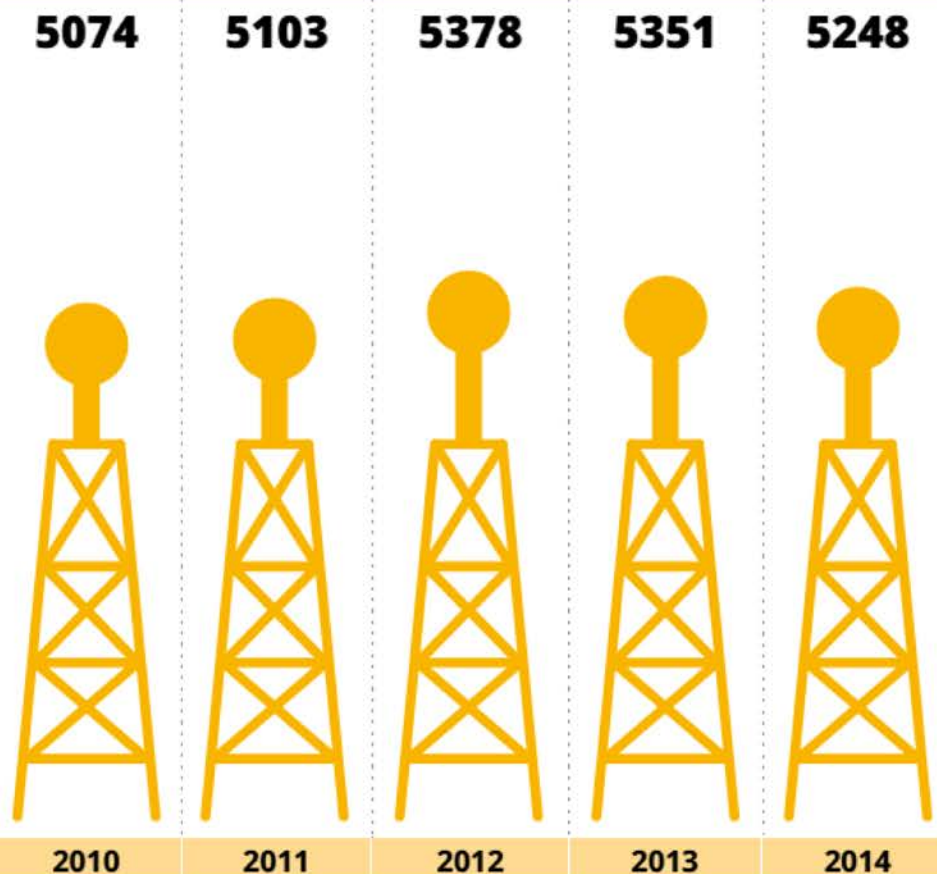
Numero di impianti RTV e SRB



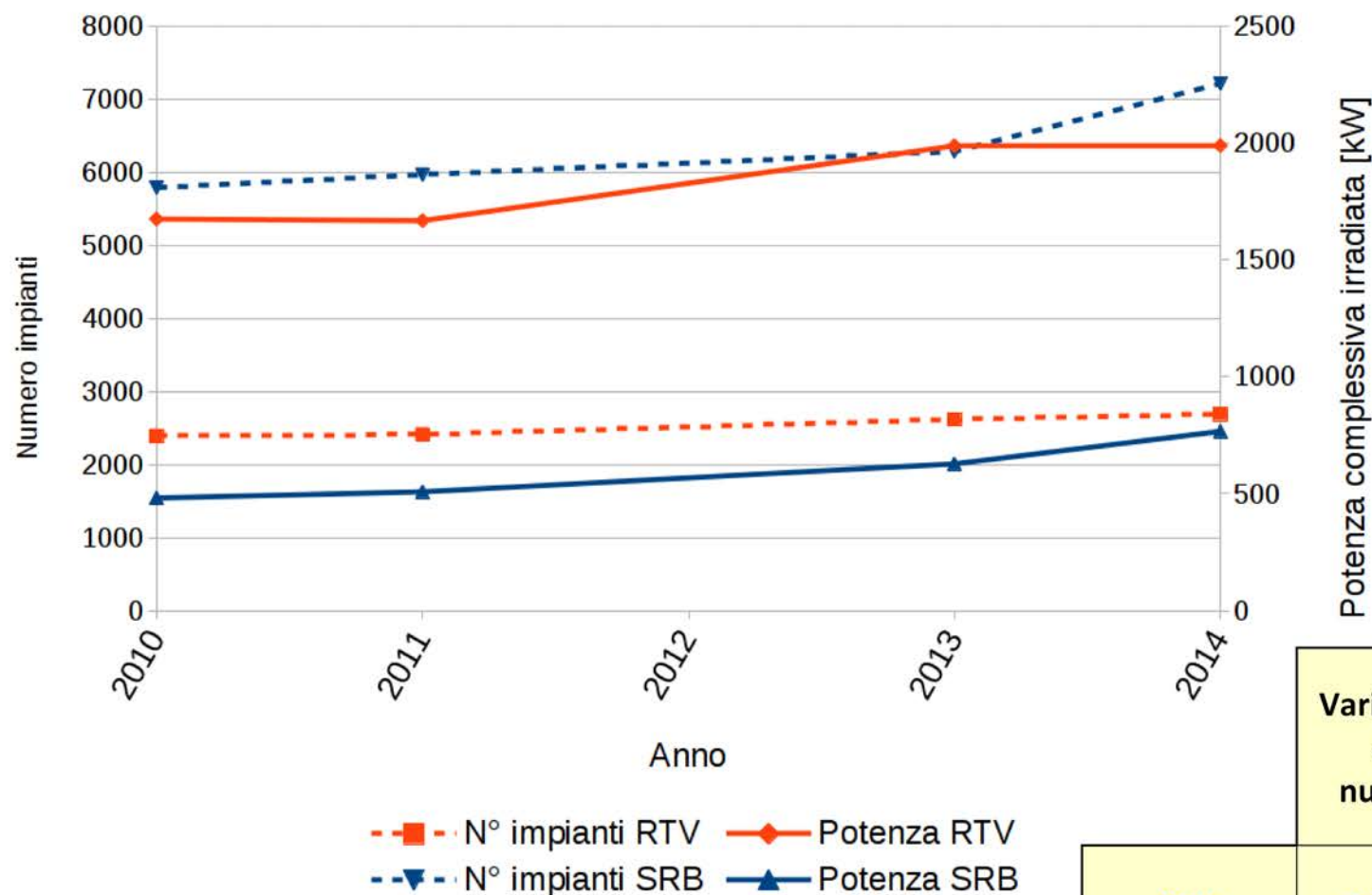
Numero impianti SRB - Stazioni Radio Base (anni 2010 - 2014)



Numero impianti RTV - Radio televisivi (anni 2010 - 2014)



Dal Catasto Regionale degli Impianti RTV e SRB



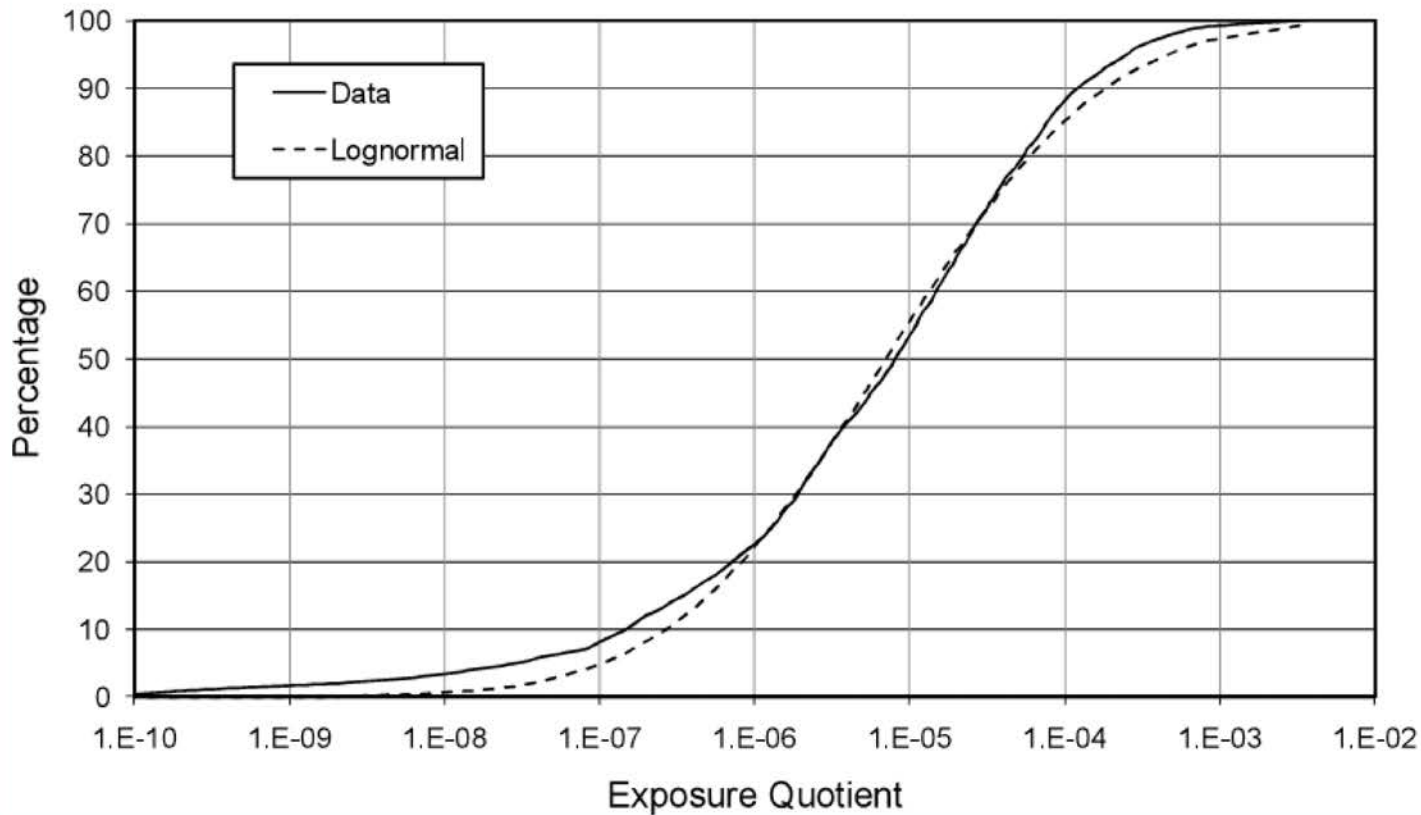
**Evoluzione della
potenza e del
numero di
impianti**

**NB: nel numero degli impianti RTV
non sono compresi i ponti radio**

	Variazione del numero	Variazione della potenza	Potenza media per impianto [W]
SRB	+24,6%	+59,2%	83-106
RTV	+12,5%	+18,8%	692-760

Un'occhiata all'estero

S. Mann / C. R. Physique 11 (2010) 541–555



Distribuzione cumulativa dei quozienti di esposizione corrispondenti a 3321 misurazioni *spot* eseguite in 499 siti nel Regno Unito in cui le persone erano preoccupate per la presenza di stazioni base nei pressi.

Qualche parola sul Wi-Fi

- Wi-Fi (da *Wireless Fidelity*) è un termine che indica una classe di dispositivi che possono collegarsi a reti locali senza fili (Wireless LAN) basate sulle specifiche della famiglia IEEE 802.11x.
- Il logo ufficiale Wi-Fi può essere utilizzato solo dai dispositivi che hanno superato le procedure di certificazione stabilite dal consorzio Wi-Fi Alliance, che verifica la compatibilità dei componenti wireless con gli standard di riferimento.



Qualche parola sul Wi-Fi

- **802.11b e 802.11g**

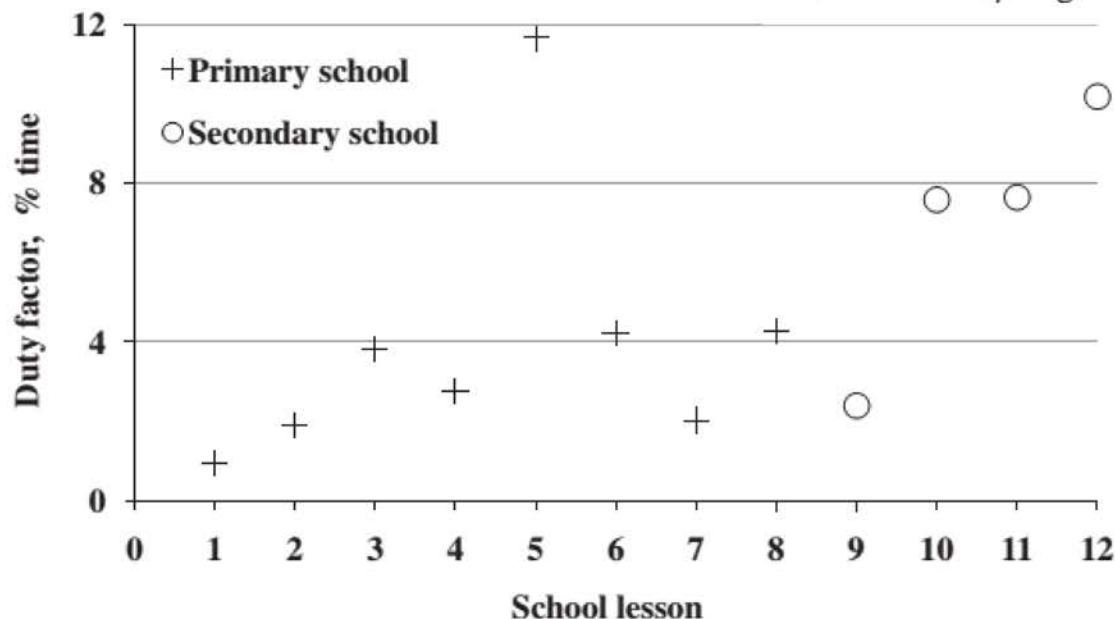
- Intervallo di frequenza da 2400 a 2483.5 MHz.
- EIRP massima 100 mW fissata da una norma europea; vengono spesso utilizzati valori inferiori, per esempio 30 mW (per limitare le interferenze e, nel terminale mobile, per risparmiare la batteria).
- Antenne a guadagno molto basso (poco più che unitario).
- Tanto gli algoritmi di accesso multiplo quanto il duplex sono a divisione di tempo (TDMA e TDD) in quanto mutuati dalla rete ethernet in cavo.
- Ogni access point utilizza un singolo canale (largo 22 MHz), che viene condiviso in TDMA-TDD (CSMA/CA) da tutti gli utenti.
- La trasmissione avviene a pacchetti con conferma di ricezione.

Qualche parola sul Wi-Fi

- La **potenza media** dipende dalle **condizioni di servizio** ed è influenzata dal *duty cycle*, a sua volta determinato da vari fattori.
 - La **bidirezionalità** della trasmissione (attesa dell'OK di ricezione).
 - La necessità di **servire più terminali** mobili (diminuisce il *duty cycle* di ogni singolo terminale mobile).
 - Il *duty cycle* aumenta col volume di dati da trasferire, ma raramente ci si avvicina al 100%.
 - Il *duty cycle* dipende dalla **velocità della connessione** (connessioni più veloci richiedono tempi di trasmissione inferiori).
 - Il *duty cycle* dipende anche dalla **qualità del collegamento**, a causa delle ritrasmissioni.
 - La presenza di più access point sullo stesso canale determina **collisioni** che fanno diminuire il *duty cycle* di un singolo access point.
 - La **capacità di traffico della rete collegata** influenza il *duty cycle*.
 - Il *duty cycle* minimo dell'access point è fissato dai segnali di servizio (*beacon signals*) ed è dell'ordine di 0.01%.

Wi-Fi: qualche dato di letteratura

M. Khalid et al. / Progress in Biophysics and Molecular Biology 107 (2011) 412–420

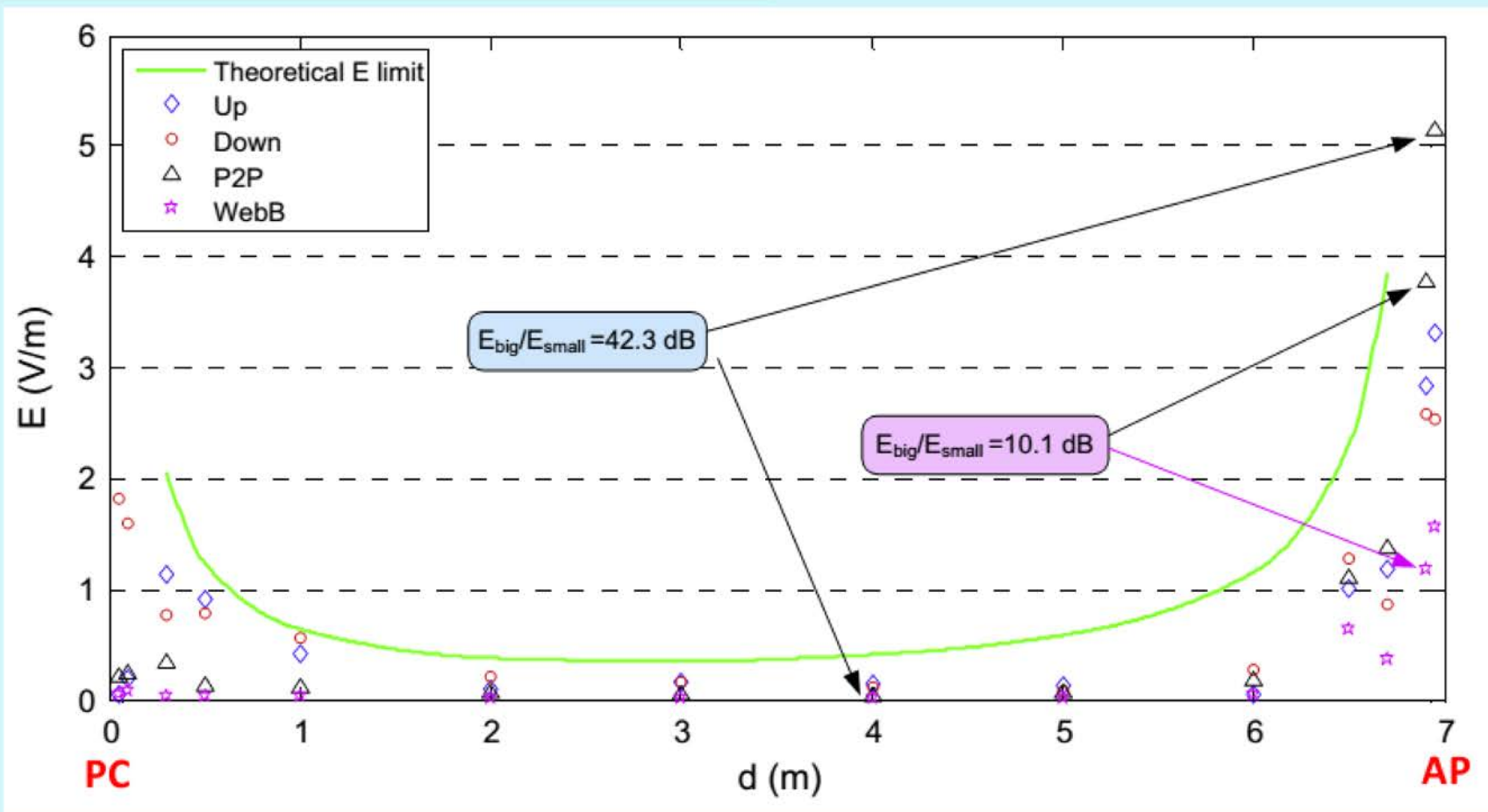


Duty factor of Wi-Fi access points

- Considerata la bassa potenza di uscita di picco, il bassissimo guadagno d'antenna e la riduzione operata dal *duty cycle*, gli access point delle reti Wi-Fi generano livelli di densità di potenza sempre **molte ordini di grandezza sotto i limiti normativi** ed anche significativamente inferiori alle stazioni radio base.
- Anche sotto le ipotesi più cautelative, sia gli access point sia i terminali mobili possono indurre valori di SAR di picco che arrivano al massimo a circa **1 W/kg**.
- I valori di **SAR medio** sono pressoché **trascurabili** nella stragrande maggioranza dei casi.

Wi-Fi: qualche dato di letteratura

F.T. Pachón-García et al. / Measurement 63 (2015) 309–321



Variation of E_{rms} field strengths with distance and with type of traffic

WiMax

Uno standard estremamente flessibile



Fixed / nomadic

- 802.16d
- 802.16-2004
- 256 ch. OFDM
- 40-45 Mbit/s bidirezionale
- Canali 7 MHz
- TDMA (ul) / OFDMA (dl)
- TDD (FDD)

Mobile

- 802.16e
- 512, 1024 ch. OFDM
- 30-35 Mbit/s bidirezionale
- Canali 5,7,10 MHz
- TDMA (ul) / S-OFDMA (dl)
- TDD (FDD)

Qualche parola sul WiMax

- Pensato prima di tutto come soluzione per **combattere il digital divide** (fornire connettività fissa dove non arriva la banda larga via cavo) ma, in prospettiva, anche per servizi dati e telefonia in mobilità.
- Stazioni radio base
 - Potenze tra 5 e 20 W per canale con 1 canale per settore
 - Antenne settoriali o omnidirezionali
 - **EIRP** per settore sempre inferiori ad **1 – 1.2 kW**
 - *Il traffico, il duplex TDD ed il controllo di potenza riducono la potenza media*
- Terminali d'utente
 - Terminali fissi con antenne a tetto anche ad alto guadagno e potenze fino a 200 mW (**EIRP fino a 10 – 12 W**)
 - *L'antenna esterna ottimizza la qualità (e quindi la velocità) del collegamento e minimizza l'esposizione dell'utente, ma ovviamente penalizza la mobilità, che può essere recuperata con un impianto WiFi interno.*
 - Terminali mobili (PC con scheda WiMax integrata) con antenne a basso guadagno e potenza di **100 – 200 mW** (mobilità massima; qualità e velocità del collegamento modeste)
 - *L'accesso multiplo, il duplex TDD ed il controllo di potenza riducono la potenza media*

Sorgenti AF ad uso personale

I terminali d'utente

GSM/DCS

GSM/DCS/UMTS

DECT

Wi-Fi

Wi-Max

- Max. 2 W picco (1 W picco per DCS)
- Max. 125 - 250 mW (media *worst case*)
- 10 mW (media durante una chiamata)
- EIRP 30 mW typ. (100 mW max.) di picco
- 200 mW max. in trasmissione

- **Non possono utilizzare antenne ad alto guadagno (eccezione: WiMax fisso)**
 - per motivi di ingombro
 - perché non si può chiedere all'utente di orientare l'antenna del terminale
- **Non utilizzano elevate potenze**
 - per contenere ingombro e peso della batteria
 - per aumentare l'autonomia
- **Poiché l'utilizzo è in stretta prossimità dell'utente, l'esposizione non è caratterizzata in termini di campo o di densità di potenza, bensì in termini di SAR**

Il SAR dei telefonini

A 900 MHz (la frequenza dei telefonini cellulari GSM standard, lunghezza d'onda circa 33 cm) nei tessuti più comuni si trova:

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu_0 \sigma}}$$

Percentuale trasmessa: 27% circa
Penetrazione: da 1.8 a 4 cm circa

Potenza telefonini GSM: picco 2W - media (1:8) 250 mW

Potenza telefonini DCS: picco 1 W – media (1:8) 125 mW

Potenza telefonini UMTS: 125 - 250 mW

Supponiamo di avere a che fare con 250 mW medi

Il 27% circa viene trasmesso alla testa → 70 mW medi

Vengono dissipati in un volume diciamo di 10 cm x 10 cm x 2 cm → 200 cm³

La massa di questo volume (densità 1 g/cm³) → 200 g

70 mW in 200 g sono 0.35 W/kg (limite: 2 W/kg mediati su 10 g)

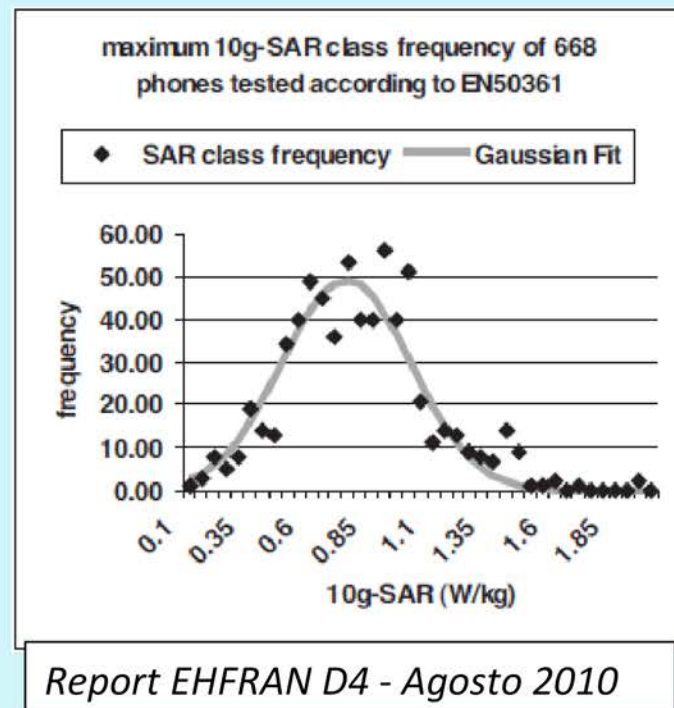
Misura di SAR su fantoccio, distribuzione dei valori

Il sito:

[The Complete SAR List For All Phones \(Europe\)](http://sarvalues.com/the-complete-sar-list-for-all-phones-europe/)

<http://sarvalues.com/the-complete-sar-list-for-all-phones-europe/>

Riporta i valori misurati in emissione continua



$$SAR = \frac{\sigma E_{in}^2}{\delta}$$

Durante il loro uso i telefoni non trasmettono comunemente alla massima potenza, perché la modulano secondo le necessità minime per una buona trasmissione e, nei momenti in cui si è in ascolto, interrompendo la trasmissione interrompono anche la potenza emessa.

Lyon, France, May 31, 2011 -- The WHO/International Agency for Research on Cancer (IARC) has classified radiofrequency electromagnetic fields as **possibly carcinogenic to humans (Group 2B)**, based on an increased risk for **glioma**, a malignant type of brain cancer¹, associated with wireless phone use.



Per questo motivo la potenza media durante una telefonata può essere anche molto inferiore a quella certificata durante la verifica del telefono.

http://www.compliance-club.com/archive/old_archive/031124.htm

<http://www.npl.co.uk/electromagnetics/rf-microwave/products-and-services/specific-absorption-rate-probes>

Convegno

I tumori infantili: epidemiologia, esposizioni ambientali ed approfondimenti clinici sui tumori cerebrali

23 ottobre 2015

Accreditamento
ECM Regionale
n. 4 crediti formativi

Aula Magna
Nuovo Ingresso Careggi (NIC) –
Didattica (Padiglione 3)

Largo Brambilla 3
Firenze

Con il patrocinio dell'Azienda
Ospedaliero Universitaria Meyer

Passaggio delle fonti di esposizioni
a campi elettromagnetici

Daniela Andreucci (IFAC-CNR)
Andrea Puggi (APPAT)

***È tutto, grazie per
l'attenzione!***