

Il monitoraggio dell'esposizione ai Campi elettromagnetici (CEM): metodi di misura ed adempimenti di legge

**Ordine degli Ingegneri della Provincia
di Roma**

Le tecniche di misura ed i metodi di valutazione dell'esposizione ai CEM

Ing. Settimio Pavoncello



*Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale del Lazio
Servizio Agenti Fisici – Unità Campi Elettromagnetici,
inquinamento luminoso e radiazioni ionizzanti*

Linee di attività principali delle Unità CEM di Arpa Lazio

- **Valutazioni di impatto elettromagnetico previsionale** sui sistemi di telecomunicazione in alta frequenza;
- **Verifiche strumentali** del rispetto dei limiti imposti negli ambienti di vita (istituzionalmente) e di lavoro (attività di supporto tecnico alle ASL).

Valutazioni di impatto elettromagnetico previsionale

PERCORSO AUTORIZZATIVO delle nuove installazioni D. Lgs. 1 agosto 2003, n. 259 Codice delle Comunicazioni Elettroniche

Titolo II - reti e servizi ad uso pubblico

Capo V

Disposizioni relative a reti ed impianti

Art. 87 e 87 bis

*Procedimenti autorizzatori relativi alle infrastrutture di
comunicazione elettronica per impianti radioelettrici*

D.Lgs. 1 Agosto 2003, n°259

Art.87 ed allegati

Art. 87 Procedimenti autorizzatori relativi alle infrastrutture di comunicazione elettronica per impianti radioelettrici

1. L'installazione di infrastrutture per impianti radioelettrici e la modifica delle caratteristiche di emissione di questi ultimi..... viene autorizzata dagli Enti locali, previo accertamento, da parte dell'Organismo competente ad effettuare i controlli, di cui all'articolo 14 della legge 22 febbraio 2001, n. 36, **della compatibilità del progetto con i limiti di esposizione, i valori di attenzione e gli obiettivi di qualità**, stabiliti uniformemente a livello nazionale in relazione al disposto della citata legge 22 febbraio 2001, n. 36, e relativi provvedimenti di attuazione.

D.Lgs. 1 Agosto 2003, n°259

Art.87 ed allegati

3. L'istanza, conforme al modello di cui al **modello A dell'allegato n. 13**, realizzato al fine della sua acquisizione su supporti informatici e destinato alla formazione del catasto nazionale delle sorgenti elettromagnetiche di origine industriale, **deve essere corredata della documentazione atta a comprovare il rispetto dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità, relativi alle emissioni elettromagnetiche**, di cui alla legge 22 febbraio 2001, n. 36, e relativi provvedimenti di attuazione, **attraverso l'utilizzo di modelli predittivi conformi alle prescrizioni della CEI**, non appena emanate.



Guida CEI 211-10
“Guida alla realizzazione di una Stazione
Radio Base per rispettare i limiti di
esposizione ai campi elettromagnetici in
alta frequenza”

D.Lgs. 1 Agosto 2003, n°259

Art.87 ed allegati

3. **Nel caso di installazione** di impianti, con tecnologia UMTS od altre, **con potenza in singola antenna uguale od inferiore ai 20 Watt**, **fermo restando il rispetto dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità** sopra indicati, **è sufficiente la denuncia di inizio attività**, conforme ai modelli predisposti dagli Enti locali e, ove non predisposti, al **modello B di cui all'allegato n. 13**.

Griglia minima di controllo per la procedibilità dei pareri siano essi *Istanze di autorizzazione o DIA*

Cap. 1 FRONTESPIZIO	1.1 Società
	1.2 Titolo
	1.3 Indicazione SRB
	1.4 Scopo del documento
	1.5 Data e Firma
	1. 6 Stato documento
	1.7 Numero pagine
	1.8 Data rilascio
	1.9 Protocollo interno della soc. emittente
Cap. 2 INDICE	
Cap.3 ANAGRAFE STAZIONE	
	3.2 Sigla (facoltativa)
	3.3 Indirizzo
	3.4 Coordinate Geografiche/UTM e altitudine
Cap. 4 IMPIANTO	4.1 Sistema radio (TACS, GSM, DECT, UMTS).
	4.2 Banda freq usate (tx e rx)
	4.3 Numero celle
	4.4 Altezza c. Elettrico
	4.5 Direzione puntamento celle
	4.6 Tilt (elettr.e mecc)
	4.7 Marca e modello antenna
	4.8 Gmax dell' antenna riferito al radiatore isotropo dBi
	4.9 Data sheet antenna
	4.10 Diagrammi antenna (Orizz., Vert. e tabelle formato digitale)
	4.11 n. portanti per cella e potenza per portante
	4.12 Attenuazioni (perdite)
	4.13 Potenza complessiva al connettore (Max carico)
	4.14 Supporto antenna
	4.15 Condivisione

Cap. 5 MAPPE	5.1 Mappa Catastale scala non superiore a 1:2000	
	5.2 Carta altimetrica 1:2000	
	5.3 Planimetria 1:2000	- Punto installazione
		- Raggio per 100 m
		- Destinazione d'uso edifici nei dintorni e tipologia copertura
		- Indicazione curve altimetriche siti rurali
		- Differenza quota edifici-cea
		- Dir. Puntamento
	5.4 PROGETTO SRB	- Sedime ANTE OPERAM 1:1000
		- Sedime POST OPERAM 1:1000
	5.5 Dimostrazione del rispetto dei limiti di esposizione 2 possibili alternative	- 5.5.1 Volumi di rispetto - 5.5.2 Curve Isocampo (vert. 1:500; oriz. 1:1000) - 5.5.3 Calcolo Puntuale (punti \geq 10)
Cap. 6 VALUTAZIONE CEM	6.1 Misura del fondo elettromagnetico	-In punti significativi nel caso 5.5.1 e 5.5.2
		-Negli stessi punti in cui sono calcolati i valori di campo nel caso 5.5.3
	6.2 Valori in tabella	
	6.3 Metodo (Appendice) di calcolo (programma)	
Cap. 7 ASSUNZIONE RESPONSABILITA'	7.1 Per configurazione e caratteristiche radioelettriche impianto	
	7.2 Elaborazioni grafiche e e analitiche	
ALLEGATI	Datasheet delle antenne utilizzate	
	Planimetrie	
	Progetto di massima	
	Curriculum VITAE esperto	
APPENDICI	Metodo di calcolo	
	Caratteristiche strumenti utilizzati	
	Copia certificato calibrazione	

Nel caso in cui volumi di rispetto evidenzino punti con intersezioni critiche (rispetto alle soglie usate) per posizioni accessibili alla popolazione con tempi di permanenza superiore a 4 ore dovranno essere fornite le curve isocampo

Modifiche al D. Lgs. 1 agosto 2003, n. 259

Decreto legge 25 marzo 2010, n. 40

Viene introdotto l'art. 87-bis del DLgs 259/03 relativo a semplificazione delle procedure autorizzative per determinate tipologie di impianti.

L'articolo si riferisce alla rete di larga banda mobile, in particolare alla possibilità di installare apparati con tecnologia UMTS per il completamento della rete o modifiche di impianti esistenti che prevedano l'evoluzione della rete utilizzando la DIA (Denuncia di Inizio Attività).

Modifiche al D. Lgs. 1 agosto 2003, n. 259

Decreto legge 6 luglio 2011, n. 98

art.35 comma 4

Al fine di ridurre gli adempimenti amministrativi e semplificare la realizzazione di **impianti radioelettrici di debole potenza e di ridotte dimensioni**, le modifiche degli impianti di cui all'articolo 87 e le procedure semplificate per determinate tipologie di impianti di cui all'articolo 87 - *bis del decreto legislativo 1 agosto 2003, n. 259, nonché* le procedure per le installazioni di impianti radio per trasmissione punto-punto e punto-multipunto e di impianti radioelettrici per l'accesso a reti di comunicazione ad uso pubblico **con potenza massima in singola antenna inferiore o uguale a 7 watt e con dimensione della superficie radiante non superiore a 0,5 metri quadrati sono soggette a comunicazione all'ente locale e all'organismo competente ad effettuare i controlli di cui all'articolo 4 della legge 22 febbraio 2001, n. 36, da effettuarsi contestualmente all'attivazione dell'impianto.**

Guida CEI 211-10

Guida alla realizzazione di una Stazione Radio Base per rispettare i limiti di esposizione ai campi elettromagnetici in alta frequenza

- ✓ In una situazione teorica in cui si assume che il CEM si propaghi nel vuoto o in un mezzo a caratteristiche elettromagnetiche costanti, si può adottare la **formulazione di spazio libero**, purché siano verificate le condizioni di campo lontano.

$$A_{SLib} = 32.5 + 20 \cdot \log(d) + 20 \log(f)$$

$$L = \frac{P_T}{P_R} = \frac{(4\pi d)^2}{G_T G_R} \left(\frac{f}{c} \right)^2$$

- ✓ Dovendo effettuare valutazioni puntuali in prossimità di edifici le condizioni di spazio libero sono generalmente disattese.
- ✓ Tuttavia, date le frequenze in gioco per i sistemi radiomobili, **le stime così ottenute sono nella maggior parte dei casi significative e cautelative.**

guida CEI 211-10

Il volume di rispetto

✓ Il **volume di rispetto** è una regione di spazio intorno all'antenna, determinata con metodi numerici, che **racchiude tutti i punti dello spazio nei quali il campo elettromagnetico potrebbe superare** un determinato valore (es. $E_{\text{lim}} = 6 \text{ V/m}$)

$$|S| = \frac{E^2}{Z} = \frac{E^2}{120\pi} = \frac{P_T G_T}{4\pi r^2}$$



$$E = \frac{\sqrt{30 P_T G_T}}{r}$$

✓ Per motivi di semplicità, il volume di rispetto è generalmente rappresentato da un'opportuna geometria solida:

- o Cilindro a sezione rettangolare (parallelepipedo);
- o Cilindro a sezione ellittica;
- o Coppia di cilindri.

Guida CEI 211-10

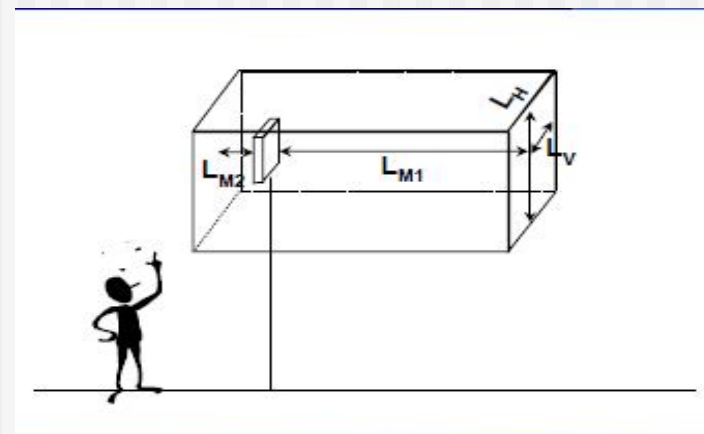
Il volume di rispetto

Il volume di rispetto è definito da tre dimensioni:

- L_M dimensione massima nella zona antistante l'antenna (**profondità**)
- L_V dimensione parallela al piano verticale dell'antenna (**altezza**)
- L_H dimensione parallela al piano orizzontale dell'antenna (**larghezza**)

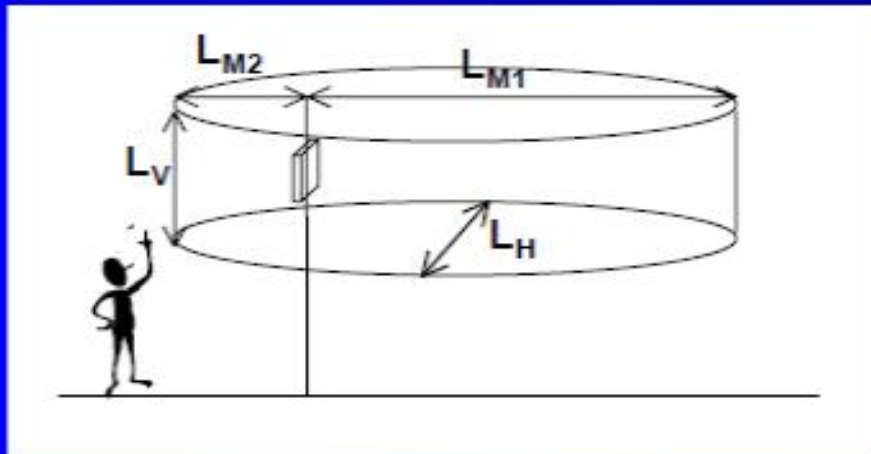
Il centro dell'antenna si trova nel punto medio di L_V e L_H , mentre L_M si suddivide in due segmenti L_{M1} e L_{M2} che si estendono in avanti e indietro dal centro dell'antenna.

Rappresentazione del volume di rispetto mediante un cilindro a sezione rettangolare



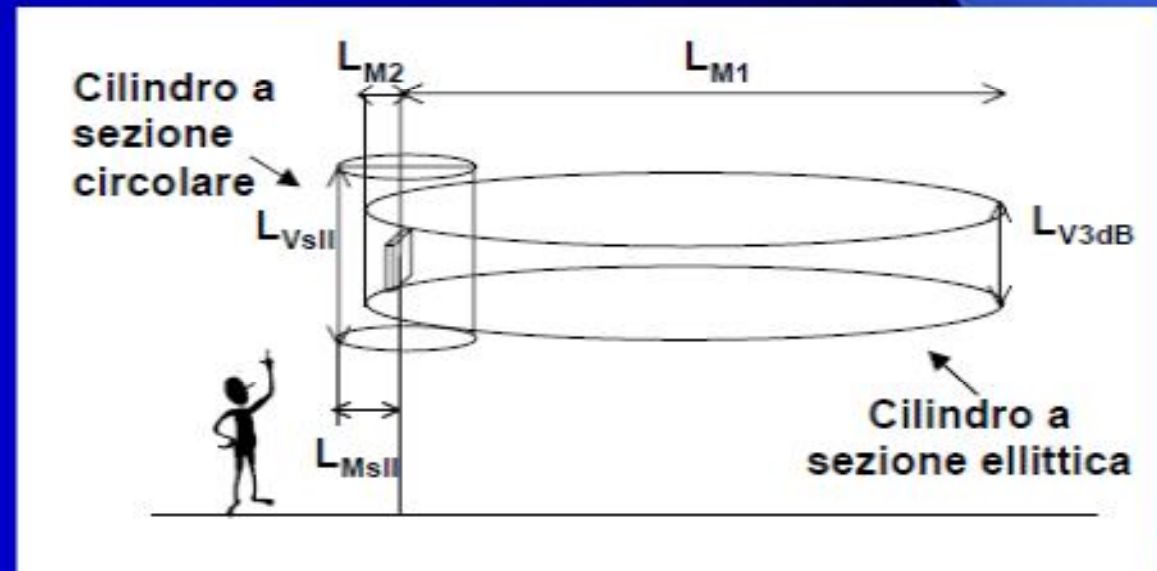
Guida CEI 211-10

Il volume di rispetto



Rappresentazione del volume di rispetto mediante un cilindro a sezione ellittica

Rappresentazione del volume di rispetto mediante una coppia di cilindri uno a sezione circolare e uno a sezione ellittica



Guida CEI 211-10

Il volume di rispetto

- ✓ La Guida CEI 211-10 indica come calcolare le distanze che definiscono il volume di rispetto, fissato il limite di esposizione (es. campo elettrico E_0)

$$L_{M1} = \frac{\sqrt{30P_T G_{MAX}}}{E_0}, \quad L_{M2} = \frac{\sqrt{30P_T fb}}{E_0} \quad L_M = L_{M1} + L_{M2}$$

Dove:

$$fb = 10^{\frac{G_{MAX} \text{ dBi} - FB}{10}}$$

FB: valore Front-to-Back dell'antenna espresso in dB

$$L_{V(3dB)} = \sqrt{2} \frac{\sqrt{30P_T G_{MAX}}}{E_0} \sin\left(\frac{\theta_V}{2}\right)$$

$$L_H = \sqrt{2} \frac{\sqrt{30P_T G_{MAX}}}{E_0} \sin\left(\frac{\theta_H}{2}\right)$$

$\theta_V \theta_H$: ampiezza dell'angolo a metà potenza sui piani verticale e orizzontale

Guida CEI 211-10

Le isosuperfici 3D

- ✓ Per avere stime più realistiche si può utilizzare la rappresentazione del volume di rispetto mediante isosuperficie 3D.
- ✓ La visualizzazione richiede software in grado di implementare routine grafiche di rendering.
- ✓ Si possono anche avere rappresentazioni delle isosuperfici 3D sui tre piani coordinati, ottenendo così isosuperfici 2D. Ovviamente in questo caso la sovrapposizione con l'urbanizzato avverrà rappresentando gli edifici bidimensionalmente.

Guida CEI 211-10

Le isosuperfici 3D

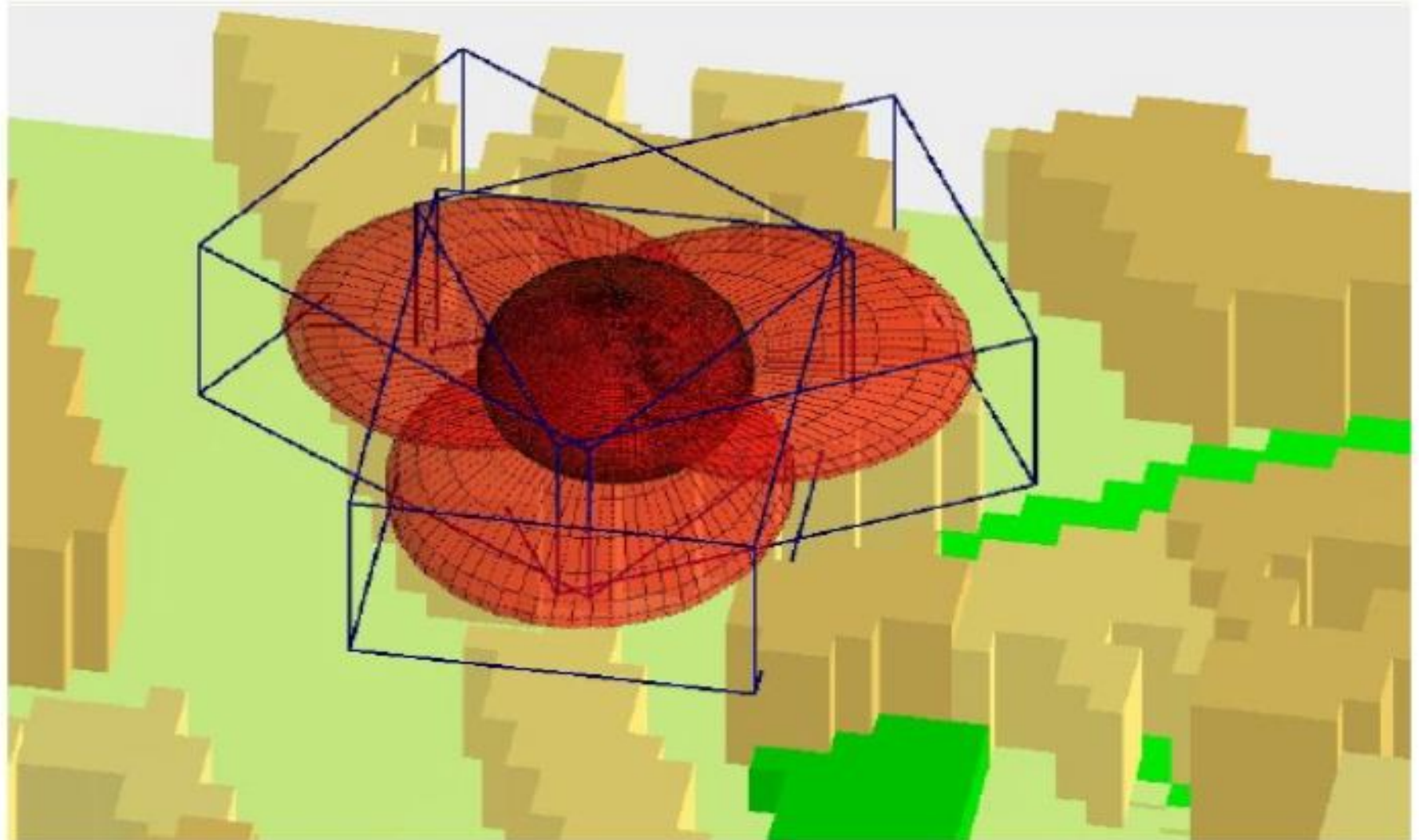


Fig.6 rappresentazione 3D dei volumi di rispetto

Guida CEI 211-10

Rappresentazione 2D sul piano orizzontale



Fig.7 rappresentazione 2D c.e.m. calcolati su piano orizzontale

Guida CEI 211-10

Rappresentazione 2D sul piano verticale

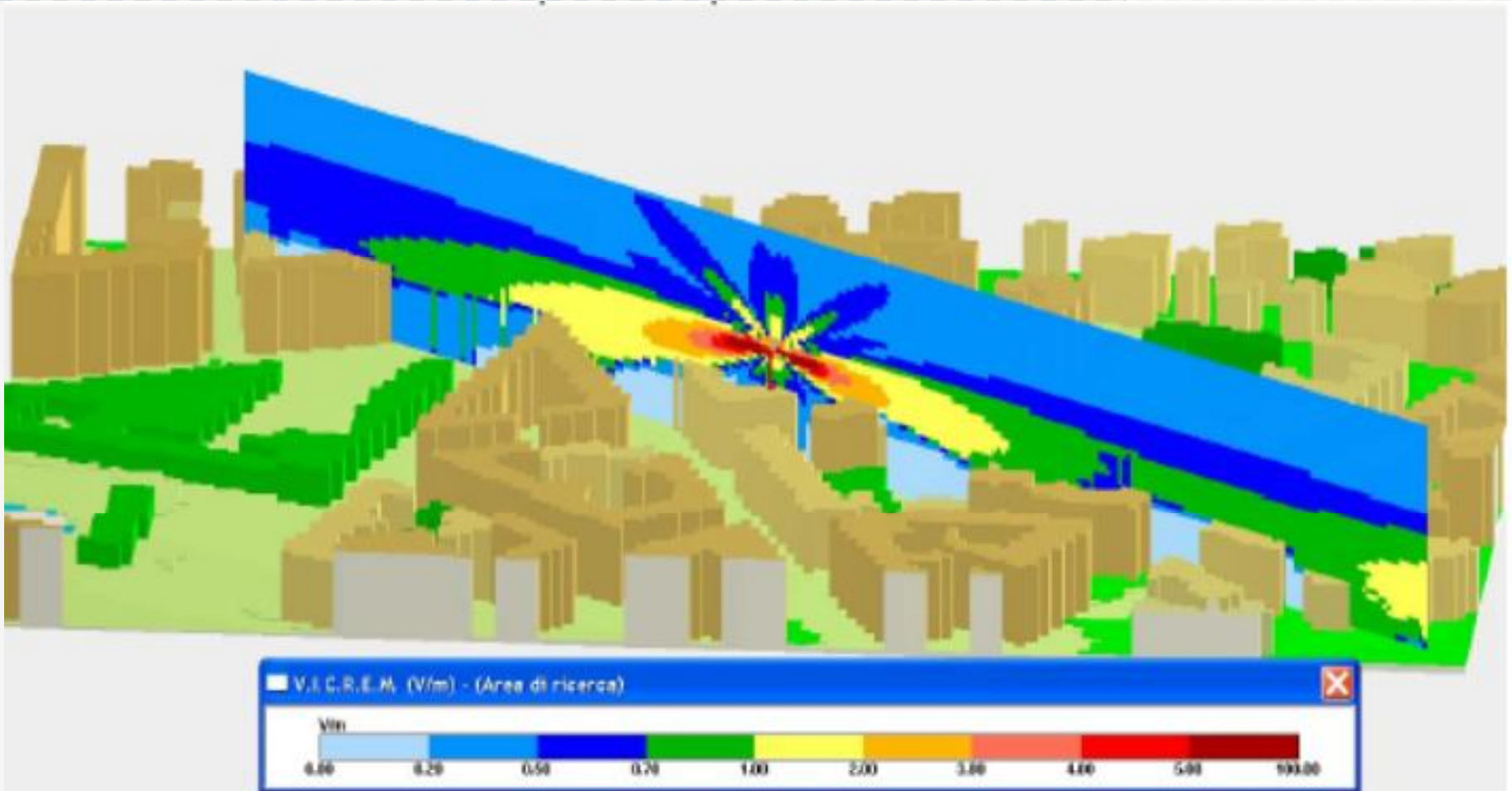
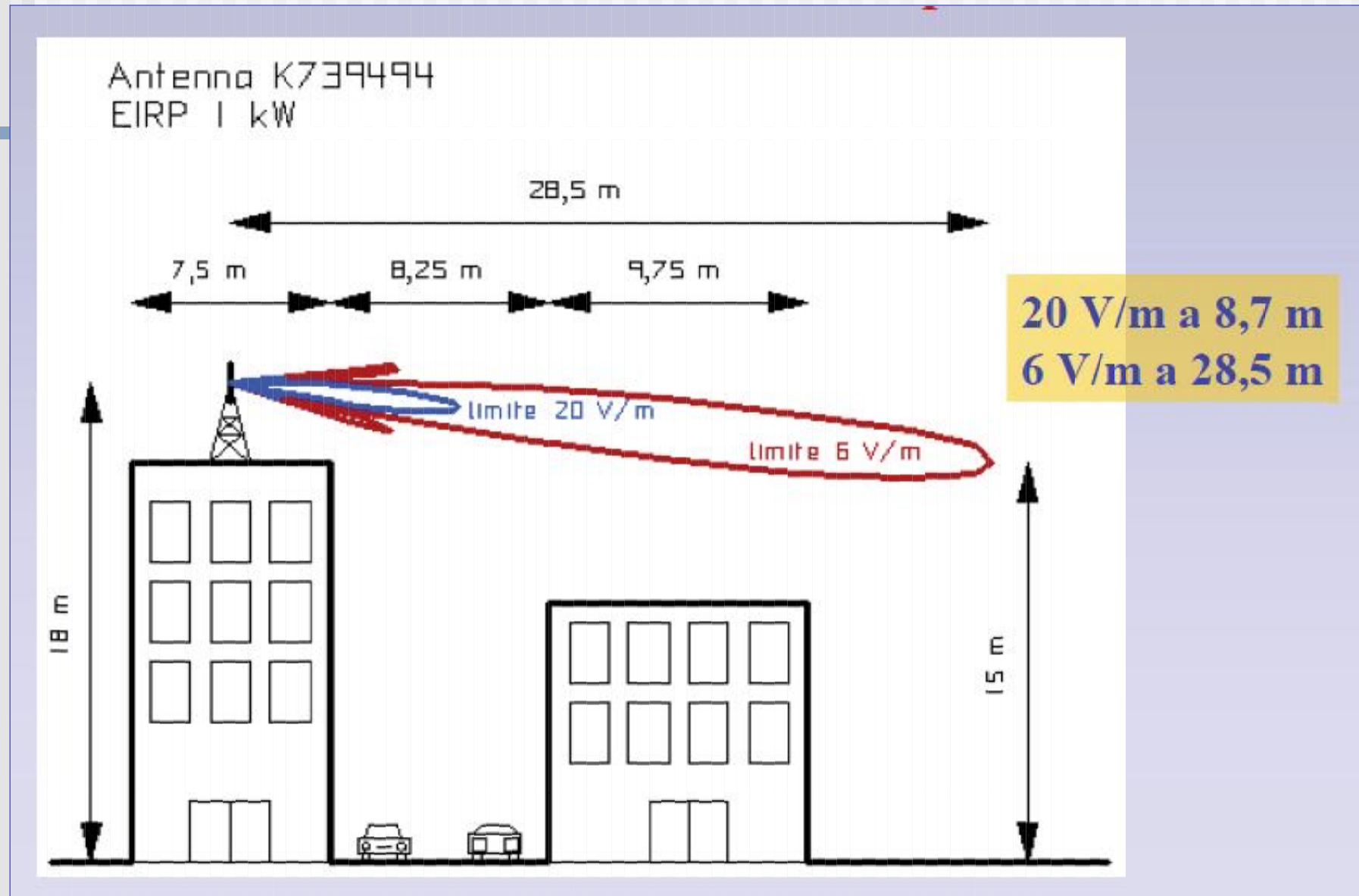


Fig.8 rappresentazione 3D c.e.m. calcolati su piano verticale

Emissione tipica SRB



Controllo preventivo

Rappresentazione grafica delle curve di isocampo

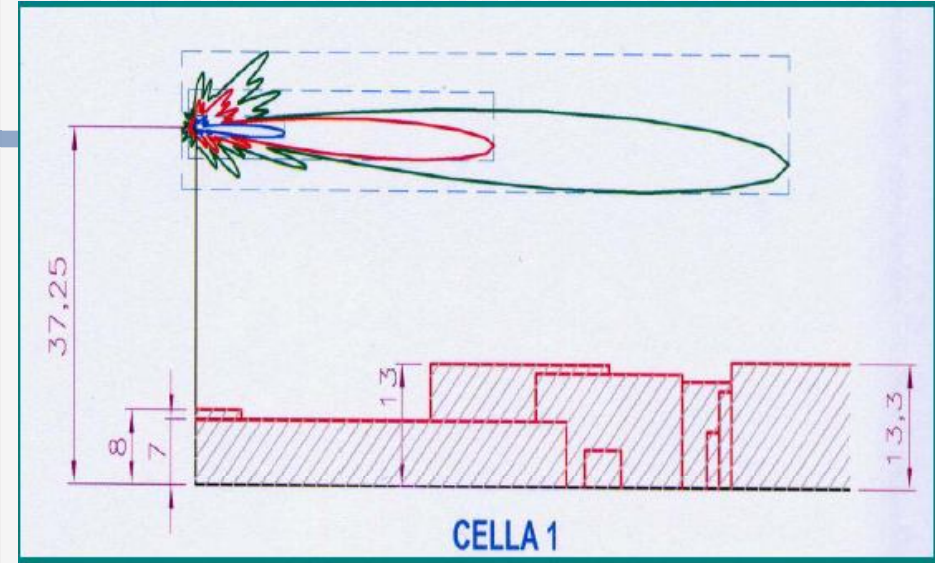
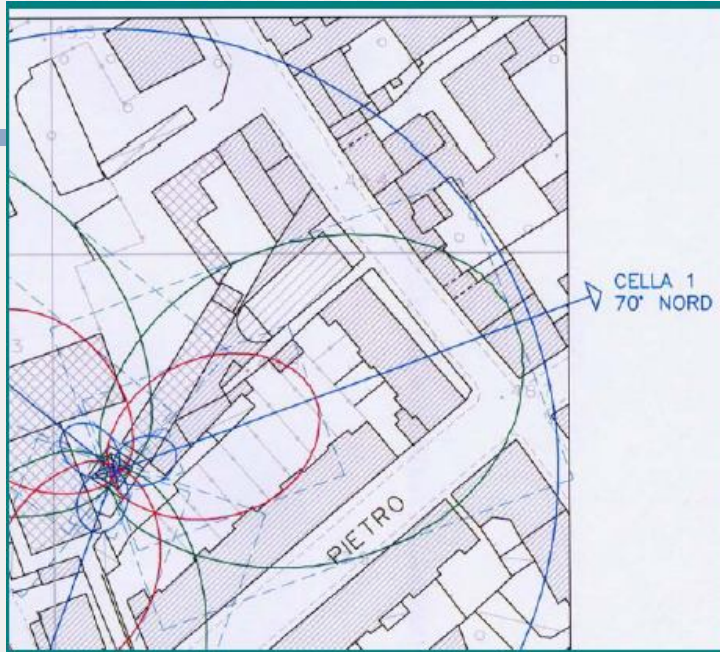


Diagramma di Radiazione Orizzontale

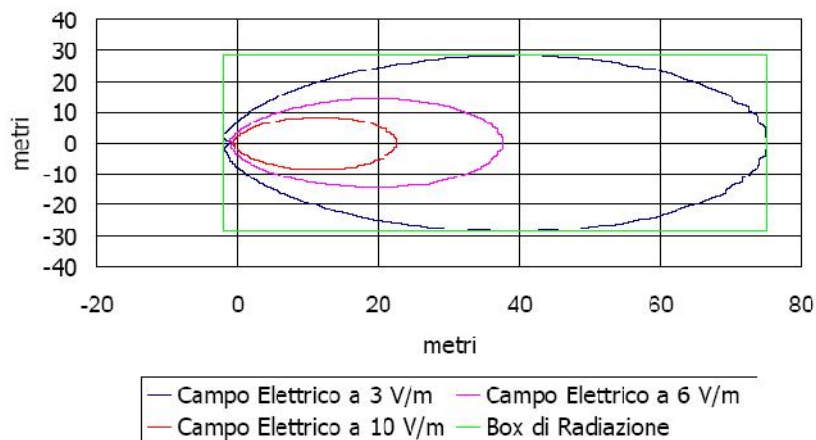
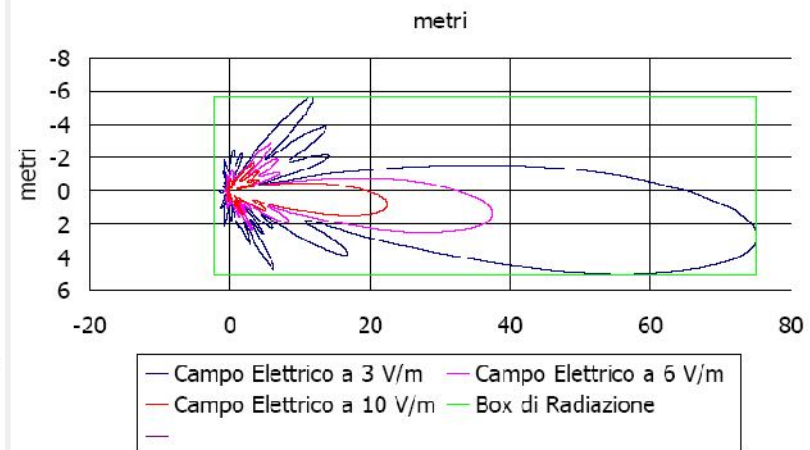


Diagramma di Radiazione Verticale



Problematiche legate al calcolo previsionale alle basse frequenze

Le Fasce di rispetto

Fasce di rispetto Premessa

L. 36/01 “all’interno di tali fasce di rispetto non è consentita alcuna destinazione di edifici ad uso residenziale, scolastico, sanitario ovvero ad uso che comporti una permanenza non inferiore a 4 ore”

DPCM 8/7/2003 - art. 6

PARAMETRI DI CALCOLO

1. obiettivo di qualità $B < 3 \mu T$
2. portata in corrente in servizio normale
CEI 11-60

METODOLOGIA DI CALCOLO

Calcolo a carico dei gestori
Metodologia – ARPA/APAT

Fasce di rispetto

Premessa

OGGETTO ED APPLICABILITA' →

art. 6 del DPCM 8/7/2003

Le fasce di rispetto vanno applicate dove è applicato l'obiettivo di qualità

Nella progettazione di

NUOVI

elettrodotti

in prossimità di

esistenti

Aree gioco per l'infanzia, ambienti abitativi, ambienti scolastici e luoghi adibiti a permanenze non inferiori a 4 ore

esistenti

NUOVI

Tutti gli elettrodotti esistenti o in progetto, con linee aeree o interrate

DM 29 Maggio 2008

Metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti

Distanza di Prima Approssimazione: **DPA**

Al fine di semplificare la gestione territoriale e il calcolo delle fasce di rispetto, in prima approssimazione il proprietario/gestore deve:

- Calcolare la fascia di rispetto combinando la configurazione dei conduttori, geometrica e di fase, e la portata in corrente in servizio normale che forniscono il risultato più cautelativo sull'intero tronco (la configurazione ottenuta potrebbe non corrispondere ad alcuna campata reale);
- Proiettare al suolo verticalmente tale fascia;
- Comunicarne l'estensione rispetto alla proiezione del centro linea: tale distanza (Dpa) sarà adottata in modo costante lungo tutto il tronco come prima approssimazione, cautelativa, delle fasce. Le dimensioni delle fasce di rispetto devono essere fornite con una approssimazione non superiore a 1 m. Per gli elettrodotti in alta tensione di nuova realizzazione, la Dpa sarà fornita in formato elettronico georeferenziato che rispecchi la situazione post-realizzazione;
- Qualora la linea, per alcune campate, corresse parallela ad altre (condividendo o meno i sostegni), lungo questo tratto dovrà essere calcolata la Dpa complessiva.

Utile per la pianificazione territoriale e per la regolamentazione della futura edificazione in prossimità degli elettrodotti

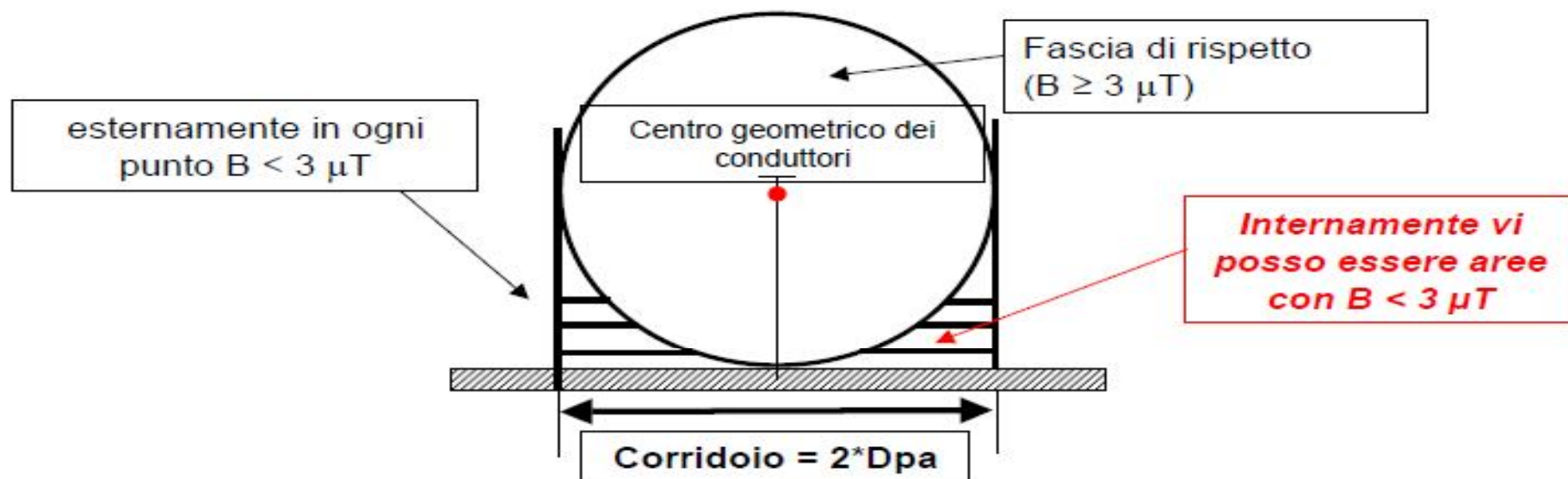
L'approssimazione descritta è relativa a un tronco di linea; è possibile anche un'approssimazione sulla tratta o campata.

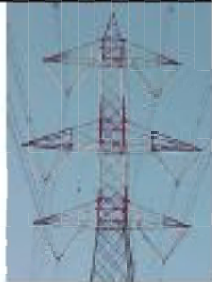




DM 29 Maggio 2008





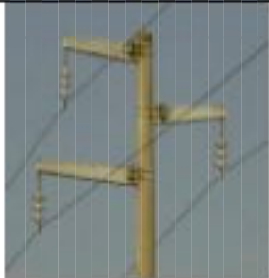
Metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti

Distanza di prima approssimazione (Dpa): per le linee è la distanza, in pianta sul livello del suolo, dalla proiezione del centro linea che garantisce che ogni punto, la cui proiezione al suolo disti dalla proiezione del centro linea più di DPA, si trovi all'esterno delle fasce di rispetto – per le cabine è la distanza, in pianta sul livello del suolo, da tutte le pareti che garantisce il rispetto dell'obiettivo di qualità.

La **Dpa** definisce un corridoio bidimensionale cautelativo con al centro l'asse dell'elettrodotto:



GESTORE	TENSIONE	CONFIGURAZIONE	TESTA SOSTEGNO	DPA (m)
Terna	380 kV	Doppia tema		77
Terna	380 kV	Singola tema		51
Terna	220 kV	Doppia tema		35
Terna	220 kV	Singola tema		30
Terna	220 kV	Singola tema		28

GESTORE	TENSIONE	CONFIGURAZIONE	TESTA SOSTEGNO	DPA (m)
Terna	132 kV	Doppia tema		32
Terna	132 kV	Singola tema		22
R.F.I.	132 kV	Singola tema		16
R.F.I.	132 kV	Singola tema		18
Enel Distribuzione	15 kV	Singola tema		9

Passaggio dalla DPA al **calcolo esatto** della fascia

In seguito all'emergere di situazioni di non rispetto della Dpa per vicinanza tra edifici o luoghi destinati a permanenza non inferiore alle 4 ore, esistenti o di nuova progettazione, e linee elettriche esistenti oppure nuove, o in casi particolarmente complessi per la presenza di linee numerose o con andamenti molto irregolari, le autorità competenti valuteranno l'opportunità di richiedere al proprietario/gestore di eseguire il calcolo esatto della fascia di rispetto lungo le necessarie sezioni della linea al fine di consentire una corretta valutazione.

In questi casi particolari, la fascia deve essere calcolata in base ai valori che i parametri assumono in corrispondenza delle sezioni di calcolo e descritta in termini di estensione e collocazione spaziale tramite sezioni longitudinali, orizzontali e verticali rispetto al suolo, e trasversali da fornire in formato cartaceo e digitale georeferenziato rispetto al baricentro dei conduttori.

Il Decreto descrive dettagliatamente quale è la procedura da seguire e ciò che i gestori devono fornire alle autorità competenti

Utilizzo software di simulazione Winelf

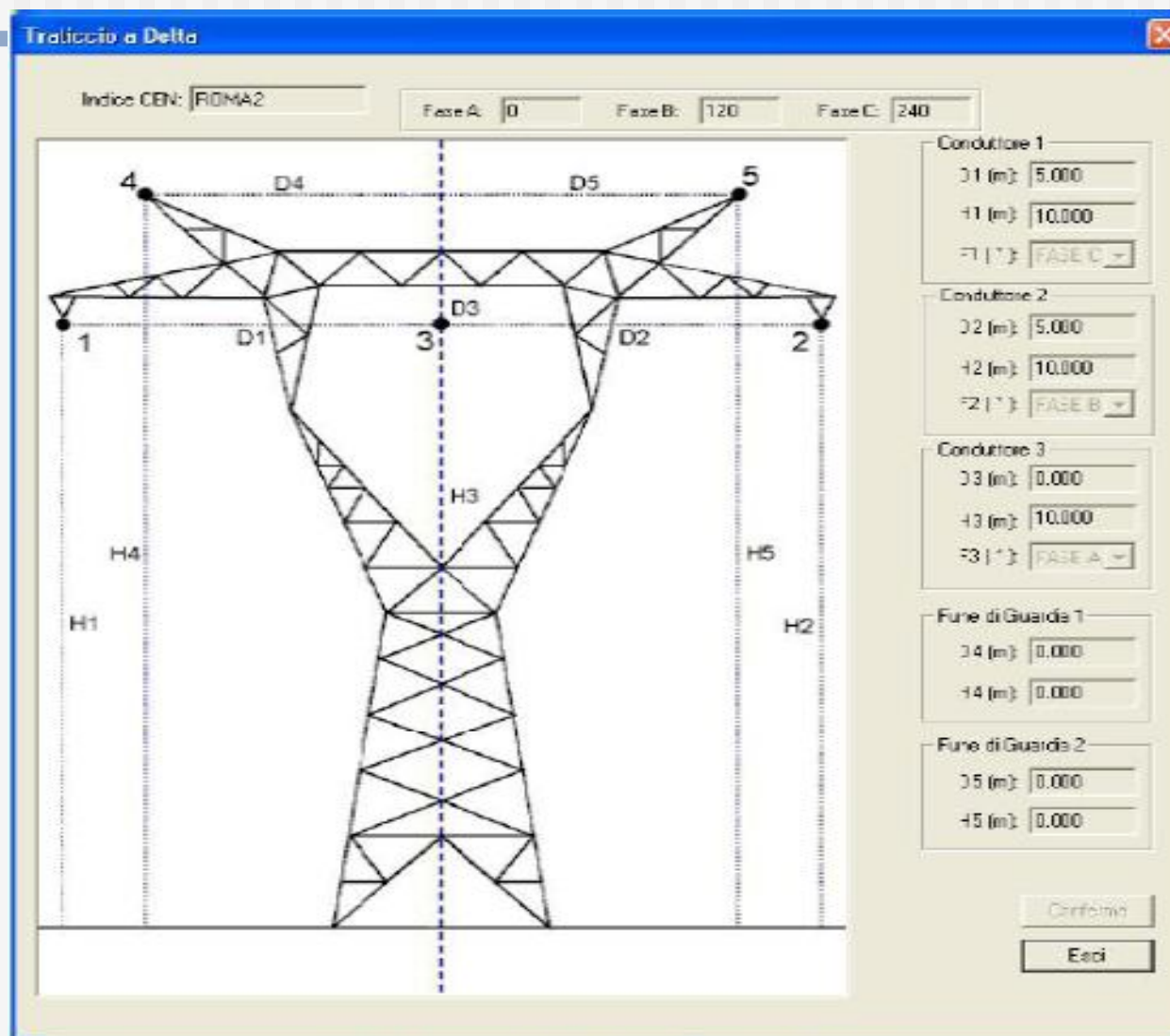


Fig.9 inserimento schema del traliccio

Utilizzo software di simulazione Winelf – Opzioni di calcolo



- **Norma CEI 211-4.** Viene utilizzata la metodologia indicata nella norma suddetta (capitolo 4). A tale riguardo si schematizza la linea come un insieme di conduttori paralleli di lunghezza infinita disposti parallelamente al terreno, schematizzato a sua volta come un piano;
- **Integrazione lungo la catenaria.** Viene eseguita una integrazione per segmenti lineari che approssimano la catenaria che descrive i conduttori della Campata. Con questa opzione il modello è naturalmente più vicino alla situazione reale;

CEI 211.4

“Guida ai metodi di calcolo dei campi elettrici e magnetici generati da linee elettriche”

In particolare, il modello si basa sulla seguente **schematizzazione bidimensionale della linea**:

1. tutti i conduttori (sia i *conduttori di fase* sia *le funi di guardia*) sono considerati rettilinei, orizzontali, di lunghezza infinita e paralleli tra di loro;
2. i conduttori sono considerati di forma cilindrica con diametro costante; nel caso di *conduttori a fascio*, si sostituisce al fascio di subconduttori un conduttore unico di opportuno diametro equivalente;
3. le altezze da terra e le distanze reciproche dei conduttori sono riferite al centro del conduttore stesso (nel caso di conduttori a fascio il centro è quello del conduttore equivalente che coincide con il centro della circonferenza circoscritta ai subconduttori);
4. il suolo è considerato perfettamente trasparente dal punto di vista magnetico.

CEI 211.4

Campo magnetico

Per il calcolo dell'induzione magnetica si ricorre alla **legge di Biot – Savart** che esprime in un generico punto dello spazio il valore dell'induzione magnetica B generata da un conduttore rettilineo percorso da una corrente I attraverso la formula:

$$\mathbf{B}_x = \frac{\mu_0}{2\pi} \sum_i I_i \left[\frac{y_i - y}{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \right]$$
$$\mathbf{B}_y = \frac{\mu_0}{2\pi} \sum_i I_i \left[\frac{x - x_i}{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \right]$$

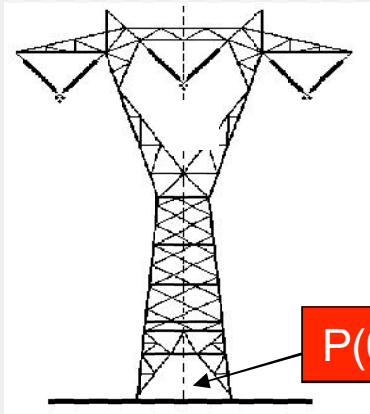
Derivano dalla **legge di Biot Savart:**

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I}{d} \vec{u}_I \times \vec{u}_r$$

Fasori

CEI 211.4

Campo magnetico – Un Esempio



n	Lat. [m]	Vert. [m]
1	-3,42	7,42
2	0	7,42
3	3,42	7,42

$$I_1 = 870 A$$

$$I_2 = I_1 e^{-j(k-1)\frac{2}{3}\pi} \stackrel{K=2}{=} I_1 \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)$$

$$I_3 = I_1 e^{-j(k-1)\frac{2}{3}\pi} \stackrel{K=3}{=} I_1 \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)$$

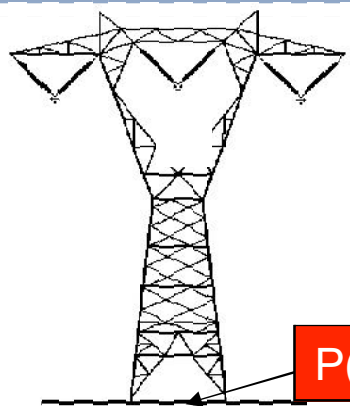
$$B_x = \frac{\mu_0}{2\pi} \left[I_1 \left(\frac{7,42}{3,42^2 + 7,42^2} \right) + I_2 \left(\frac{7,42}{3,42^2 + 7,42^2} \right) + I_3 \left(\frac{7,42}{3,42^2 + 7,42^2} \right) \right]$$

$$B_y = \frac{\mu_0}{2\pi} \left[I_1 \left(\frac{-3,42}{3,42^2 + 7,42^2} \right) + I_3 \left(\frac{3,42}{3,42^2 + 7,42^2} \right) \right]$$

$$B = \sqrt{|B_x|^2 + |B_y|^2} = 16 \mu T$$

CEI 211.4

Campo magnetico – Un Esempio



P(0,0)

Da cui iterando i calcoli.....

n	Lat. [m]	Vert. [m]
1	-3,42	7,42
2	0	7,42
3	3,42	7,42

Induzione magnetica B al variare della distanza dall'asse della linea e della quota da terra

		Distanza dall'asse della linea										
		10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Quota da terra	0	6,88	6,07	5,38	4,77	4,26	3,81	3,42	3,09	2,80	2,55	2,33
	2,4	8,85	7,54	6,48	5,62	4,91	4,32	3,83	3,42	3,06	2,76	2,50
	3,2	9,55	8,04	6,84	5,88	5,11	4,47	3,95	3,51	3,14	2,82	2,55
	7,2	11,92	9,60	7,91	6,64	5,66	4,89	4,26	3,75	3,33	2,97	2,67
	8	11,87	9,57	7,89	6,63	5,65	4,88	4,26	3,75	3,33	2,97	2,67

Utilizzo software di simulazione Winelf

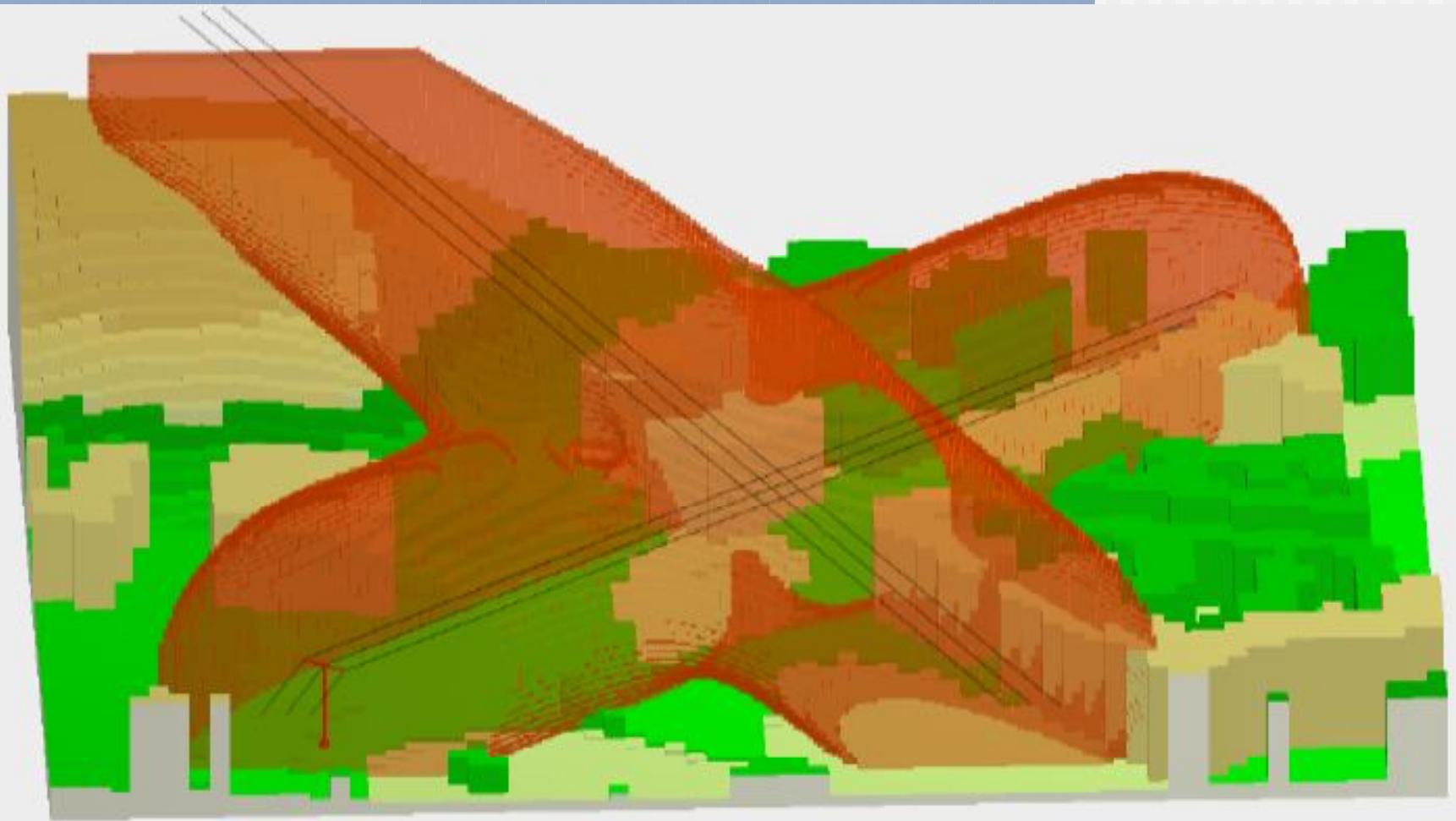


Fig.12 rappresentazione campo magnetico nello spazio

Utilizzo software di simulazione Winelf

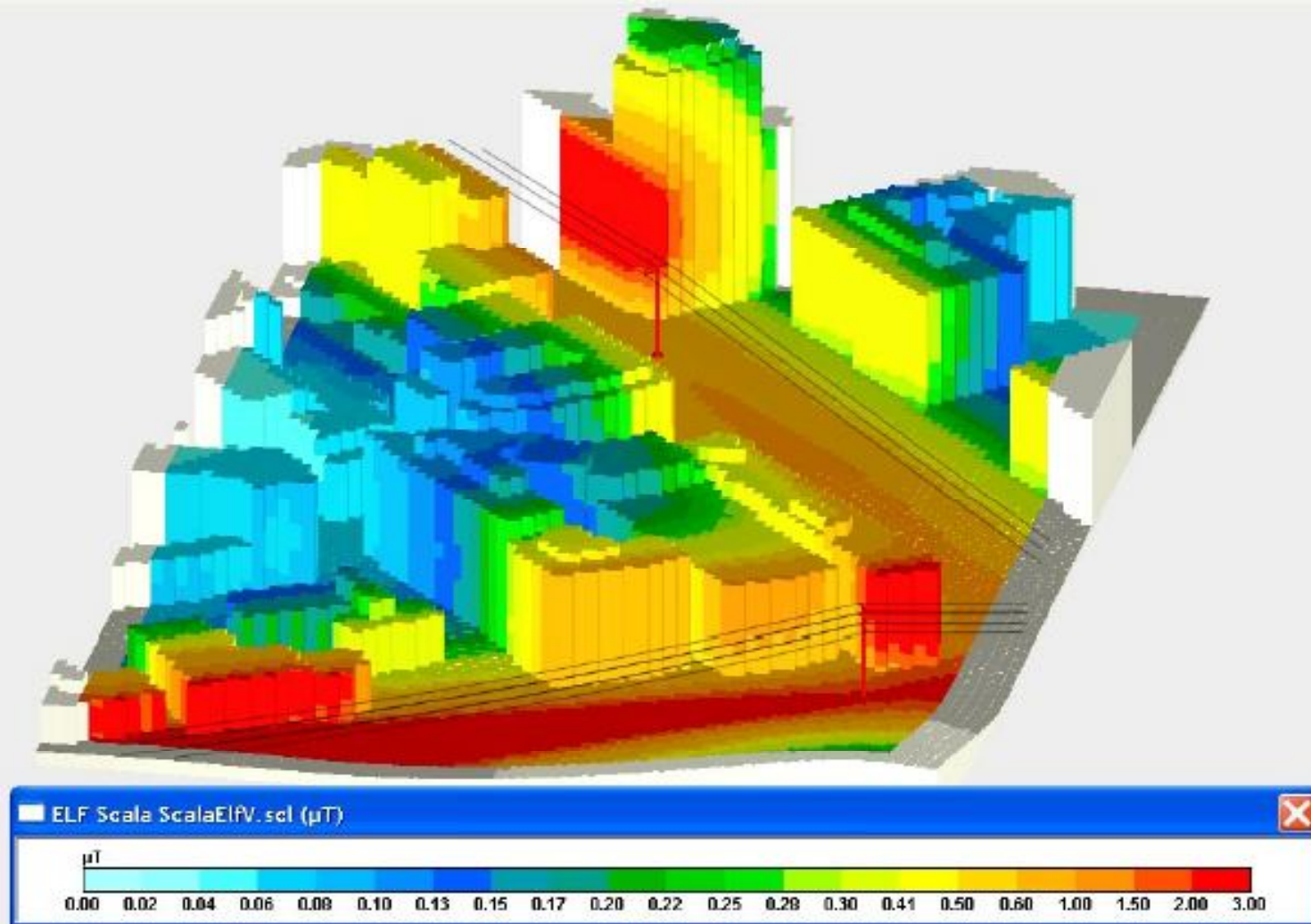


Fig.13 rappresentazione campo magnetico sulle superfici

Utilizzo software di simulazione Winelf

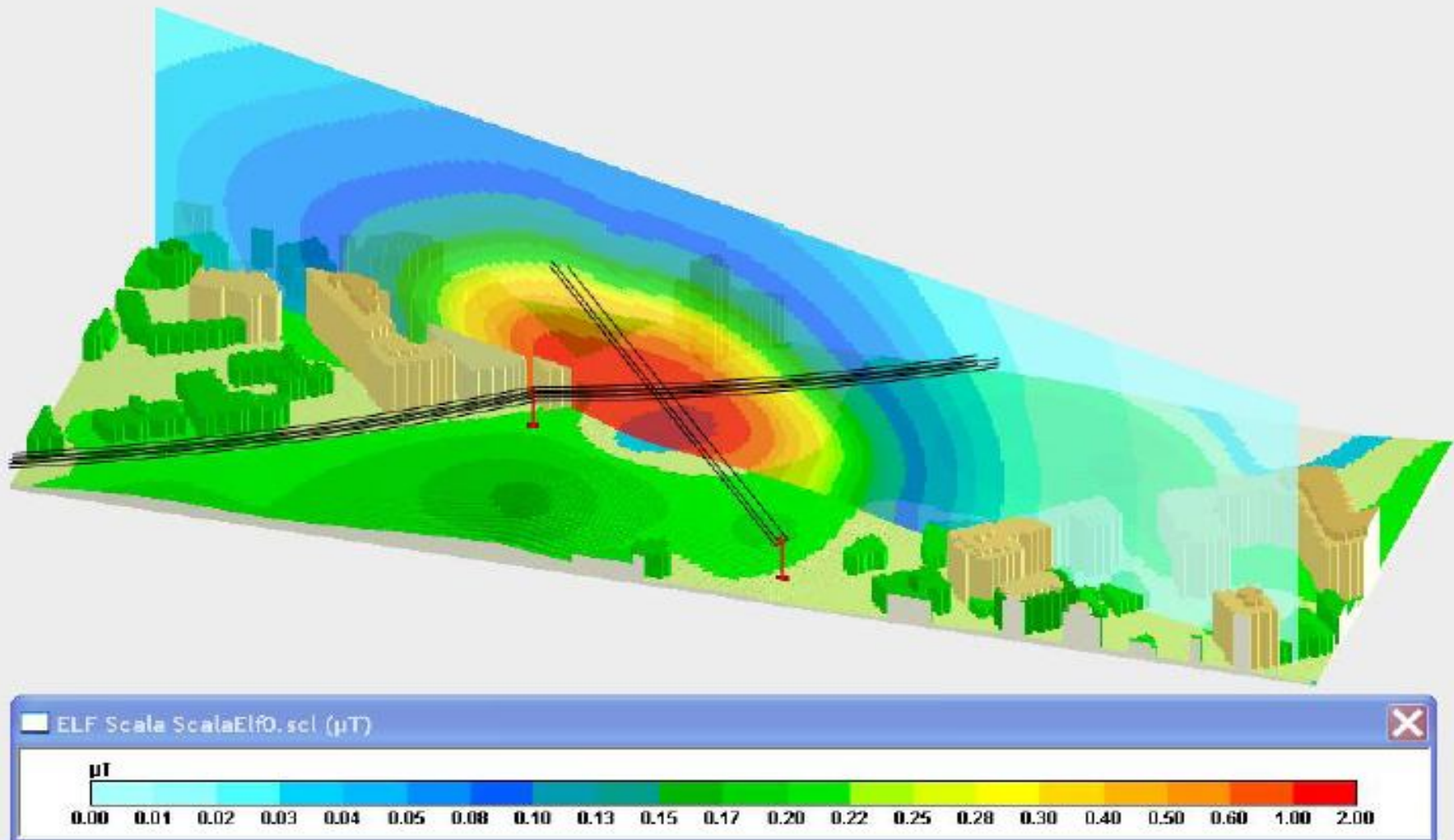


Fig.11 rappresentazione campo magnetico su piano verticale

Utilizzo software di simulazione Winelf

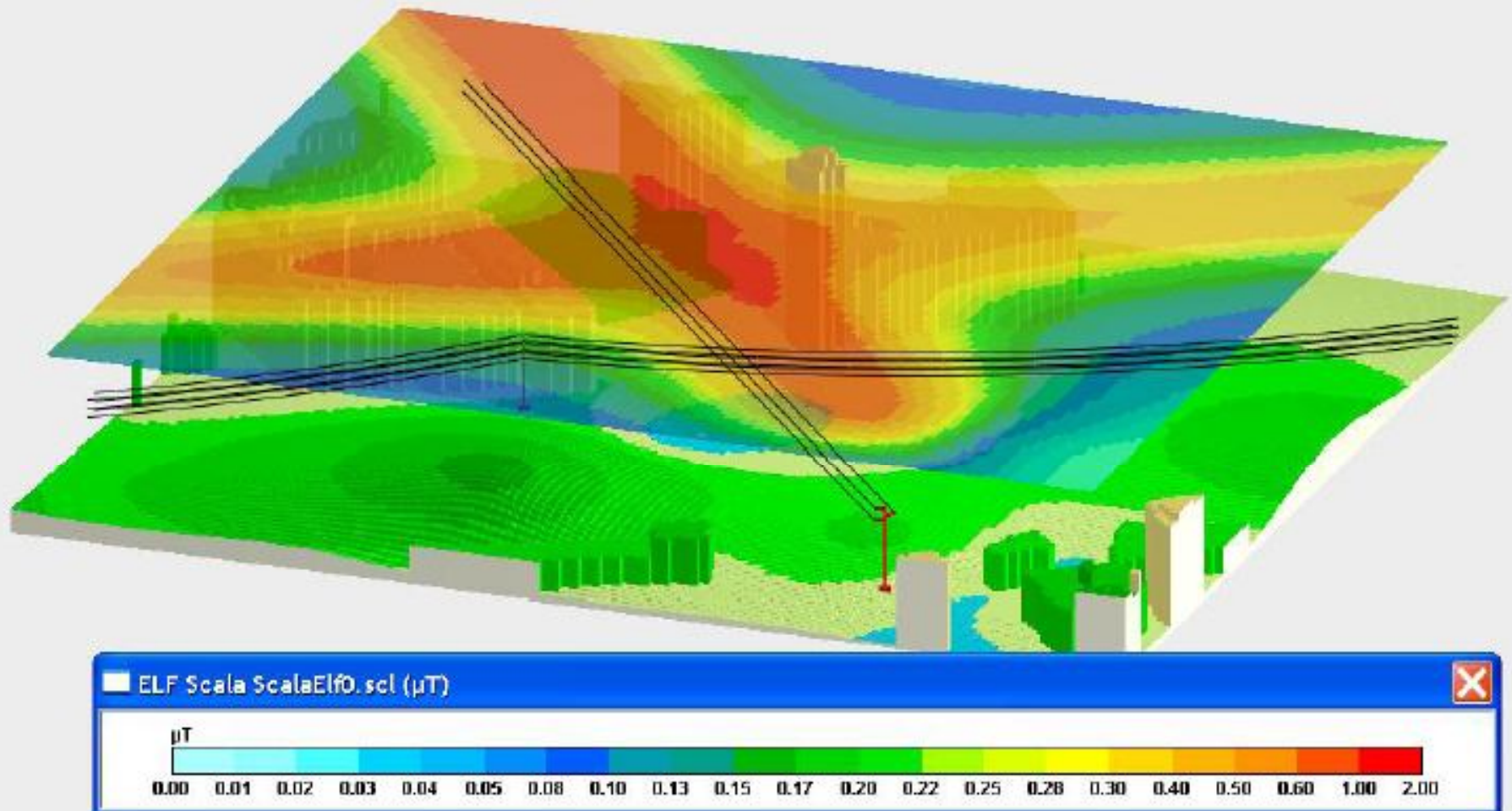


Fig.10 rappresentazione campo magnetico su piano orizzontale

Procedure per l'esecuzione delle
misure ambientali

**I riferimenti tecnici
consolidati**

Normativa Italiana

DPCM 8 Luglio 2003 ELF

Limiti di esposizione (valori efficaci)		Valore di attenzione *	Obiettivo di qualità **
Campo Magnetico	Campo Elettrico	(mediana dei valori di Campo Magnetico nell'arco delle 24 h nelle normali condizioni di esercizio)	(mediana dei valori nell'arco delle 24 h nelle normali condizioni di esercizio)
100 μ T	5 kV/m	10 μ T	3 μ T

* limiti validi nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere

** limite da considerare nella progettazione di nuovi elettrodotti in corrispondenza di aree gioco per l'infanzia, di ambienti abitativi, di ambienti scolastici e di luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore e nella progettazione dei nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio

Tabella 7. Limiti per i campi elettrico e magnetico generati dagli elettrodotti (DPCM 8 luglio 2003)

Art. 5 Comma 1 Le tecniche di misurazione da adottare sono quelle indicate dalla norma **CEI 211-6**, «Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell'intervallo di frequenza 0 Hz-10 kHz»

Norma CEI 211-6

All'interno della linea Guida CEI 211-6 è possibile trovare **tutte le indicazioni utili all'effettuazione delle misure** secondo le regole di buona tecnica:

- Valutazioni preliminari:
 - Caratterizzazione spaziale e temporale;
 - Analisi in frequenza;
- Scelta del sistema e metodologia di misura:
 - Banda passante adeguata;
- Predisposizione e verifica del sistema di misura:
 - Evitare effetti di vicinanza in particolare per il campo elettrico;
- Tarature ed incertezza:
 - Incertezza estesa ($K=2$) inferiore al 10% .

Norma CEI 211-6

Distribuzione spaziale e temporale



I punti ad altezze di 1 – 1,5 m dal piano di calpestio vengono considerati significativi ai fini della caratterizzazione dell'esposizione umana.

I valori limite di esposizione nell'intervallo di frequenza compreso fra 1 Hz e 10 MHz sono basati sugli **effetti nocivi accertati sul sistema nervoso centrale**. Tali effetti acuti sono essenzialmente istantanei.

La verifica dei **valori di attenzione** prevede il calcolo della **mediana dei valori di campo magnetico sulle 24 h**.

Normativa Italiana

DPCM 8 Luglio 2003 RF

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

Tabella 8. Limiti di esposizione

Valori di attenzione*	Intensità di campo elettrico E (V/m)	Intensità di campo magnetico H (A/m)	Densità di Potenza D (W/m ²)
0,1 MHz < f ≤ 300 GHz	6	0,016	0,10 (3 MHz < f ≤ 300 GHz)

* valido all'interno di edifici adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, e loro pertinenze esterne, che siano fruibili come ambienti abitativi quali balconi, terrazzi e cortili esclusi i lastrici solari

Tabella 9. Valori di attenzione

Normativa Italiana

DPCM 8 Luglio 2003 RF

Obiettivo di qualità**	Intensità di campo elettrico E (V/m)	Intensità di campo magnetico H (A/m)	Densità di Potenza D (W/m ²)
0,1 MHz < f ≤ 300 GHz	6	0,016	0,10 (3 MHz < f ≤ 300 GHz)

*** all'aperto nelle aree intensamente frequentate, per le quali si intendono anche superfici edificate ovvero attrezzate permanentemente per il soddisfacimento di bisogni sociali, sanitari e ricreativi*

Tabella 10. Obiettivo di qualità

Art.5 comma 1: Le tecniche di misurazione e di rilevamento da adottare sono quelle indicate nella norma **CEI 211-7** «Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettromagnetici nell'intervallo di frequenza 10 KHz-300 GHz» e/o specifiche norme emanate successivamente dal CEI.

Norma CEI 211-7

All'interno della linea Guida CEI 211-7 è possibile trovare **tutte le indicazioni utili all'effettuazione delle misure** secondo le regole di buona tecnica:

- Valutazioni preliminari:
 - Regione di campo;
 - Scelta strumentazione;
- Scelta del sistema e metodologia di misura:
 - Banda larga/Banda stretta;
- Predisposizione e verifica del sistema di misura:
 - Sostegno del sensore, influenza dell'operatore e di strutture metalliche, risposta fuori banda;
- Tarature ed incertezza:
 - Incertezza contenuta entro 3 dB.

Norma CEI 211-7

Distribuzione spaziale e temporale



Misure su tre altezze:

-1,10 m

-1,50 m

-1,90 m

Media nello spazio

A ciascuna altezza si misura per un intervallo di tempo pari a 6 min

Media nel tempo

$$E_{tot} = \sqrt{\frac{E_{1,10}^2 + E_{1,50}^2 + E_{1,90}^2}{3}}$$









Procedure per l'esecuzione delle
misure in ambiente lavorativo
Lo stato dell'arte

Procedure ed esecuzione delle misure

Indicazioni D.lgs 81/08

Art. 209

Identificazione dell'esposizione e valutazioni dei rischi

Nell'ambito della valutazione dei rischi di cui all'articolo 181, il datore di lavoro valuta e, quando necessario, misura o calcola i livelli dei campi elettromagnetici ai quali sono esposti i lavoratori.

La valutazione, la misurazione e il calcolo devono essere effettuati in conformità alle norme europee standardizzate del Comitato europeo di normalizzazione elettrotecnica (CENELEC).

Procedure ed esecuzione delle misure

Indicazioni D.lgs 81/08

Finche' le citate norme non avranno contemplato tutte le pertinenti situazioni per quanto riguarda la valutazione, misurazione e calcolo dell'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici, il datore di lavoro adotta le specifiche linee guida individuate od emanate dalla Commissione consultiva permanente per la prevenzione degli infortuni e per l'igiene del lavoro, di cui all'articolo 393 del decreto del Presidente della Repubblica 27 aprile 1955, n. 547, e successive modificazioni, **o, in alternativa, quelle del Comitato elettrotecnico italiano (CEI)**, tenendo conto, se necessario, dei livelli di emissione indicati dai fabbricanti delle attrezzature in conformita' alle specifiche direttive comunitarie di prodotto.

Procedure ed esecuzione delle misure

Produzione CEI 2009-2011

Norma It. CEI EN 50413 - Class. CEI 106-20 - CT 106 - Fascicolo 9697 E - Anno 2009 - Edizione Prima


Inglese **Norma di base sulle procedure di misura e di calcolo per l'esposizione umana ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici (0 Hz-300 GHz)**

Norma It. CEI EN 50492 - Class. CEI 106-21 - CT 106 - Fascicolo 9967 E - Anno 2009 - Edizione Prima


Inglese – Italiano *Norma di base per la misura in-situ dell'intensità del campo elettromagnetico in prossimità di stazioni radio base, in relazione all'esposizione umana*

Norma It. CEI EN 50475 - Class. CEI 106-22 - CT 106 - Fascicolo 10073 E - Anno 2009 - Edizione Prima

Inglese Norma di base per il calcolo e la misura dell'esposizione umana ai campi elettromagnetici generati dai trasmettitori di servizi di radiodiffusione nella banda HF (3 MHz - 30 MHz)

 **Norma It. CEI EN 50499 - Class. CEI 106-23 - CT 106 - Fascicolo 10087 - Anno 2009 - Edizione Prima**

Inglese - Italiano Procedura per la valutazione dell'esposizione dei **lavoratori** ai campi elettromagnetici

 **Norma It. CEI EN 50496 - Class. CEI 106-24 - CT 106 - Fascicolo 10205 - Anno 2010 - Edizione Prima**

Inglese - Italiano *Misura dell'esposizione dei **lavoratori** ai campi elettromagnetici e valutazione del rischio potenziale per siti di diffusione radiotelevisiva*

Procedure ed esecuzione delle misure

Produzione CEI 2009-2011

Norma It. CEI EN 62209-2 - Class. CEI 106-26 - CT 106 - Fascicolo 11165 E - Anno 2011

Inglese Esposizione ai campi a radiofrequenza provenienti da dispositivi di comunicazione senza fili tenuti in mano o montati sul corpo - Modelli umani, strumentazione e procedure
Parte 2: Procedura per determinare il tasso di assorbimento specifico (SAR) per dispositivi portatili di comunicazione senza fili usati molto vicini al corpo umano (gamma di frequenza: 30 MHz - 6 GHz)

Norma It. CEI EN 62110 - Class. CEI 106-27 - CT 106 - Fascicolo 11164 E - Anno 2011

Inglese Livelli di campo magnetico generati da sistemi di potenza in c.a. - Procedure di misura con riferimento all'esposizione umana

Norma It. CEI EN 62479 - Class. CEI 106-28 - CT 106 - Fascicolo 11332 E - Anno 2011

Inglese Valutazione della conformità di apparati elettrici ed elettronici di debole potenza alle restrizioni di base relative all'esposizione umana ai campi elettromagnetici (10 MHz - 300 GHz)

Norma It. CEI EN 50554 - Class. CEI 106-29 - CT 106 - Fascicolo 11512 E - Anno 2011

Inglese Norma di base per la valutazione in-situ di un impianto di radiodiffusione con riferimento all'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici a radiofrequenza

Procedure ed esecuzione delle misure

Produzione CEI 2009-2011

Norma It. CEI EN 50364 - Class. CEI 106-2 - CT 106 - Fascicolo 11291 E - Anno 2011

Inglese Limitazione dell'esposizione umana ai campi elettromagnetici prodotti da dispositivi operanti nella gamma di frequenza 0 Hz - 300 GHz, utilizzati nei sistemi elettronici antitaccheggio (EAS), nei sistemi di identificazione a radio frequenza (RFID) e in applicazioni similari

Norma It. CEI EN 50383 - Class. CEI 106-5 - CT 106 - Fascicolo 11511 E - Anno 2011

Inglese Norma di base per il calcolo e la misura dell'intensità di campo elettromagnetico e del SAR relativi all'esposizione umana derivante dalle stazioni radio base e dalle stazioni terminali fisse per sistemi di telecomunicazione senza fili (110 MHz - 40 GHz)

Procedure ed esecuzione delle misure

Riferimenti principali per l'esecuzione di misure CEM

I riferimenti elettivi per la valutazione e misura sono le due guide del CEI:

Norma It. CEI 211-6 - Class. CEI 211-6 - CT 106 - Fascicolo 5908 - Anno 2001 - Edizione Prima

Italiano Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettrici e magnetici nell'intervallo di frequenza 0 Hz - 10 kHz, con riferimento all'esposizione umana

Norma It. CEI 211-7 - Class. CEI 211-7 - CT 106 - Fascicolo 5909 - Anno 2001 - Edizione Prima

Italiano Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettromagnetici nell'intervallo di frequenza 10 kHz - 300 GHz, con riferimento all'esposizione umana.

- **Norma It. CEI 211-7/B** - Class. CEI 211-7/B - CT 106 - Fascicolo 9167 - Anno 2008 - Edizione Prima
Appendice B: Misura e valutazione del campo elettromagnetico emesso dagli impianti radar di potenza
- **Norma It. CEI 211-7/C** - Class. CEI 211-7/C - CT 106 - Fascicolo 10152 - Anno 2010 Appendice C: Sistemi per la realizzazione di accesso e collegamento radio a banda larga
- **Norma It. CEI 211-7/D** - Class. CEI 211-7/D - CT 106 - Fascicolo 10889 - Anno 2010 Appendice D: Misura e valutazione del campo elettromagnetico emesso dagli impianti di radiodiffusione *rischio potenziale per siti di diffusione radiotelevisiva*

Procedure ed esecuzione delle misure

CENELEC EN 50499 – Norma CEI 106-23

Progetto di norma CENELEC EN 50499 (ratificato in via definitiva dal CENELEC in data 21-10-2008, recepto in norma CEI 106-23 nel mese di novembre 2009):

- Concepita per essere usata con altre norme che si riferiscono alla valutazione dei luoghi di lavoro;
- Approccio semplice che consenta ai datori di lavoro di fare una valutazione con il minimo impiego di competenze tecniche e di sforzo.

In Tab.1 sono elencate le attrezzature e **situazioni “giustificabili”** quelle cioè per le quali **la natura e l’entità dei rischi non rendono necessaria una valutazione più dettagliata.**

Tabella 1 – Luoghi di lavoro e apparecchiature conformi a priori

Voce	Designazione del luogo di lavoro	Tipo di apparecchiatura	Note
T.1.1	Luoghi di lavoro aperti alla popolazione trattati in 4.3 della Direttiva 2004/40/CE		I luoghi di lavoro aperti al pubblico e coerenti con i limiti di esposizione indicati nella Raccomandazione del Consiglio Europeo 1999/519/EC sono ritenuti conformi.
T.1.2	Tutti i luoghi	Apparecchiatura con marcatura CE valutata utilizzando le norme EMF armonizzate, vedere esempi nell'Allegato C.	L'apparecchiatura deve essere installata e utilizzata in conformità alle istruzioni del costruttore.
T.1.3	Tutti i luoghi	Apparecchiatura immessa nel mercato europeo in conformità alla Raccomandazione Europea 1999/519/CE, come prescritto dalle direttive relative, in particolare, in conformità alle relative norme armonizzate elencate nell'OJEU. Esempi sono indicati nell'Allegato C.	Alcune apparecchiature immesse nel mercato europeo possono anche essere conformi alla Raccomandazione Europea 1999/519/EC pur non avendo ricevuto il marchio CE, per esempio, se fanno parte di un'installazione.
T.1.4	Tutti i luoghi	Apparecchiatura di illuminazione	Escluse le illuminazioni speciali alimentate in RF.
T.1.5	Tutti i luoghi	Computer e apparecchiature IT	
T.1.6	Tutti i luoghi	Macchine per ufficio	I dispositivi per la cancellazione in blocco di nastri magnetici possono necessitare di ulteriori valutazioni.
T.1.7	Tutti i luoghi	Telefoni mobili e telefoni senza filo	
T.1.8	Tutti i luoghi	Radio ricetrasmittenti	Solo i tipi con potenza emessa mediata sul tempo, inferiore a 20 mW.
T.1.9	Tutti i luoghi	Stazioni base per apparecchi telefonici senza filo DECT e WLAN (es. Wi-Fi)	Limitatamente alle apparecchiature destinate all'utilizzo da parte della popolazione.
T.1.10	Tutti i luoghi	Apparecchiature e reti di comunicazione escluse quelle senza fili	
T.1.11	Tutti i luoghi	Apparecchi portatili e trasportabili	Es. trattati nel campo di applicazione della EN 60745-1 e della EN 61029-1, vedere l'Allegato C.

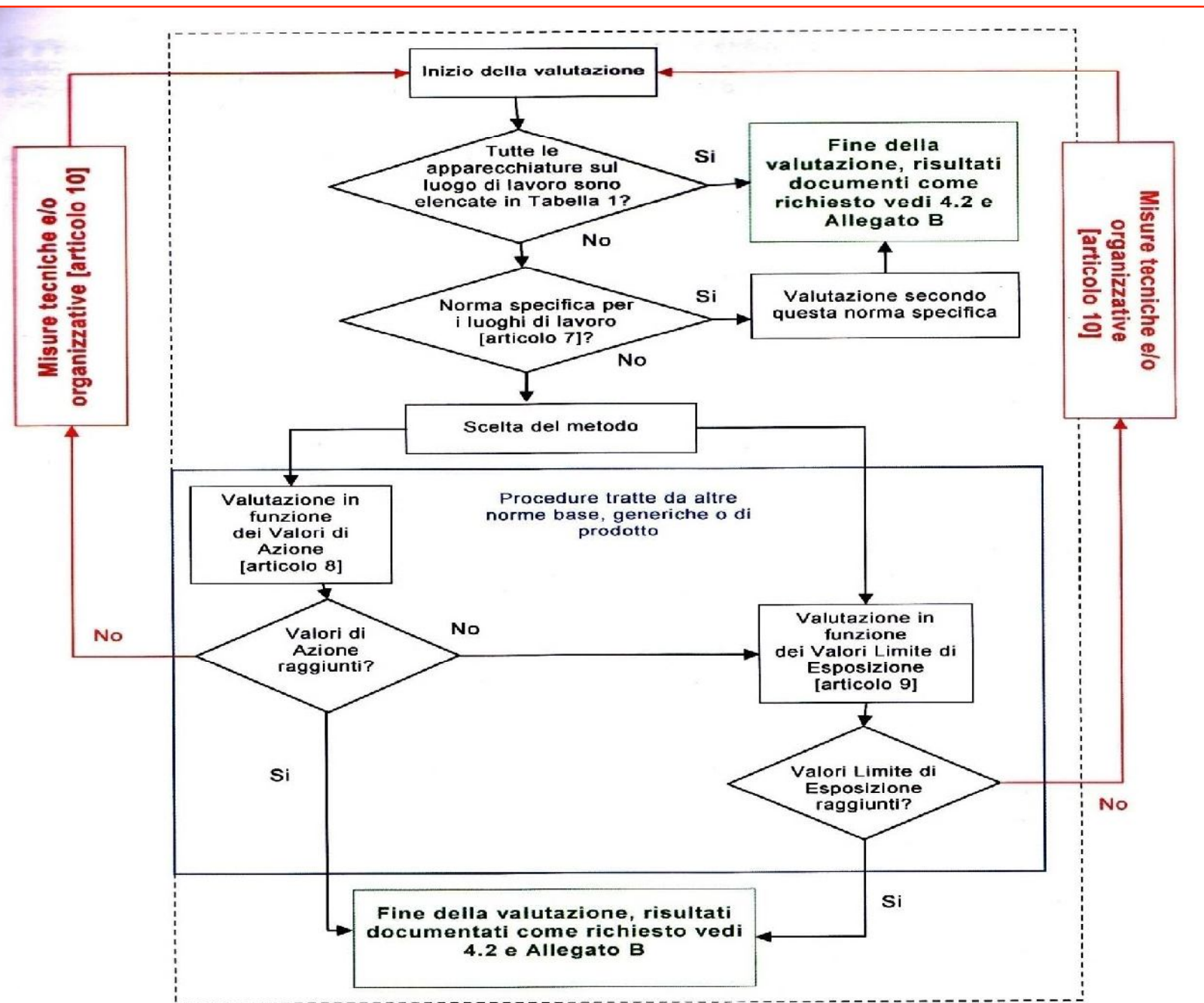
**Tabella 1 – Luoghi di lavoro e apparecchiature conformi a priori
(seguito)**

Voce	Designazione del luogo di lavoro	Tipo di apparecchiatura	Note
T.1.12	Tutti i luoghi	Apparecchi scaldanti portatili	Es. trattati nel campo di applicazione della EN 60335-2-45 (es. pistole a colla, pistole riscaldanti) Vedere Allegato C. Gli apparecchi scaldanti a induzione e gli apparecchi scaldanti dielettrici sono esclusi dalla Tabella 1.
T.1.13	Tutti i luoghi	Caricabatterie	Trattati nel campo di applicazione della EN 60335-2-29. Il campo di applicazione tratta i caricabatterie per il normale uso domestico e i caricabatterie destinati all'utilizzo in garage, nei negozi, nell'industria leggera e nelle fattorie. Vedere l'Allegato C.
T.1.14	Tutti i luoghi	Apparecchiature elettriche da giardino	
T.1.15	Tutti i luoghi	Apparecchiature audio e video	I tipi speciali, che utilizzano trasmettitori radio usati tipicamente nel settore delle radiodiffusioni, possono necessitare di ulteriori valutazioni.
T.1.16	Tutti i luoghi	Apparecchiature portatili alimentate a batteria, esclusi i trasmettitori a radio frequenza	
T.1.17	Tutti i luoghi	Apparecchiature elettriche per il riscaldamento di locali	I riscaldatori a microonde sono esclusi dalla presente tabella.
T.1.18	Tutti i luoghi	Tutte le apparecchiature non elettriche	
T.1.19	Tutti i luoghi	Reti di alimentazione elettrica (50 Hz) nei luoghi di lavoro e circuiti di distribuzione e trasmissione dell'elettricità che attraversano o sorvolano il luogo di lavoro. Le esposizioni ai campi elettrici e magnetici sono considerate separatamente. I seguenti elementi sono conformi per l'esposizione ai campi magnetici: <ul style="list-style-type: none"> tutte le installazioni elettriche con un valore nominale della corrente di fase non superiore a 100 A; tutti i circuiti singoli all'interno di un'installazione, con un valore nominale della corrente di fase non superiore a 100 A; tutti i circuiti i cui conduttori sono vicini e hanno una corrente netta non superiore a 100 A; sono compresi tutti i componenti delle reti che soddisfano i criteri precedenti (inclusi i cablaggi, le apparecchiature di manovra, i trasformatori, ecc.); tutti i conduttori aerei nudi. I seguenti elementi sono conformi per l'esposizione ai campi elettrici: <ul style="list-style-type: none"> tutti i circuiti di cavi sotterranei o isolati, con qualsiasi tensione nominale tutti i circuiti aerei nudi con tensione nominale non superiore a 100 kV, o le linee aeree non superiori a 125 kV che sorvolano il luogo di lavoro, o di qualsiasi tensione se il luogo di lavoro è all'interno. 	I criteri qui riportati per dimostrare la conformità ai limiti di esposizione nel luogo di lavoro sono basati sulla dimostrazione che le esposizioni sono inferiori ai limiti minimi della Raccomandazione CE (1999) sulle esposizioni EMF per la popolazione. Tali criteri sono sufficienti a dimostrare la conformità per la maggior parte dei luoghi di lavoro. I criteri di valutazione basati direttamente sui limiti di esposizione della Direttiva CE per il luogo di lavoro, sono indicati nell'Allegato F. Essi utilizzano 500 A al posto di 100 A, 200 kV invece di 100 kV e 250 kV invece di 125 kV. La lista di controllo indicata in F.2.4 può quindi essere utilizzata per dimostrare la conformità ai campi magnetici, e quella in F.3.1 per la conformità ai campi elettrici in qualsiasi luogo di lavoro.

**Tabella 1 – Luoghi di lavoro e apparecchiature conformi a priori
(seguito)**

Voce	Designazione del luogo di lavoro	Tipo di apparecchiatura	Note
T.1.20	Tutti i luoghi	Strumentazione, apparecchiature di misura e controllo	
T.1.21	Tutti i luoghi	Elettrodomestici	Elettrodomestici professionali, come piani cottura, lavabiancheria, forni a microonde, ecc., utilizzati in ristoranti, negozi, ecc, sono anch'essi inclusi nella presente tabella. I piani cottura professionali a induzione sono esclusi dalla presente tabella e necessitano di ulteriori valutazioni.
T.1.22	Tutti i luoghi	Computer e terminali IT aventi comunicazioni senza fili	Esempi sono: WLAN (es Wi-Fi), WMAN (es WiMAX), bluetooth e tecnologie analoghe. Limitatamente alle apparecchiature destinate all'utilizzo da parte della popolazione.
T.1.23	Tutti i luoghi	Trasmettitori funzionanti a batteria	Limitatamente alle apparecchiature destinate all'utilizzo da parte della popolazione.
T.1.24	Tutti i luoghi	Antenne delle stazioni base	Un'ulteriore valutazione è importante solo qualora i lavoratori possano avvicinarsi all'antenna più della distanza di sicurezza definita in relazione ai limiti di esposizione della popolazione
T.1.25	Luoghi di lavoro medici	Tutte le apparecchiature mediche che non irradiano intenzionalmente con esposizione elettromagnetica o applicazione di correnti	

Se tutti i dispositivi elettrici nel luogo di lavoro sono compresi nella Tabella 1, questo può essere annotato come conclusione della valutazione, vedere l'Allegato B.



NOTA. Misure facoltative per ridurre l'esposizione possono essere introdotte in qualsiasi punto della valutazione per il raggiungimento della conformità.

Figura 1 – Processo di valutazione

Tabella 2 – Esempi di apparecchiature suscettibili di necessitare di ulteriore valutazione

Voce	Tipo di apparecchiatura	Note
T.2.1	Elettrolisi industriale	Sia i tipi in c.a. che in c.c.
T.2.2	Saldatura e fusione elettrica	
T.2.3	Riscaldamento a induzione	
T.2.4	Riscaldamento dielettrico	
T.2.5	Saldatura dielettrica	
T.2.6	Magnetizzatori/smagnetizzatori industriali	Compresi i dispositivi per la cancellazione in blocco di nastri magnetici.
T.2.7	Apparecchi di illuminazione speciali attivati con RF	
T.2.8	Dispositivi al plasma in RF	Compresa la deposizione sotto vuoto e la polverizzazione catodica.
T.2.9	Diatermia	Tutte le apparecchiature per trattamenti medici che utilizzano sorgenti RF di elevata potenza (> 100 mW) mediata nel tempo
T.2.10	Sistemi elettrici di controllo di integrità	
T.2.11	Radar	Tipicamente per il controllo del traffico aereo, per scopi militari, radar meteorologici e radar a lunga portata. Tipicamente superiori a 100 mW RMS (> 20 W di picco).
T.2.12	Trasporti alimentati elettricamente: treni e tram	
T.2.13	Tutte le apparecchiature mediche che irradiano intenzionalmente con esposizione elettromagnetica o applicazione di correnti	
T.2.14	Riscaldatori ed essiccatori industriali a microonde	
T.2.15	Antenne di stazioni base	Un'ulteriore valutazione è importante solo se i lavoratori possono avvicinarsi all'antenna più della distanza di sicurezza definita in relazione ai limiti di esposizione della popolazione.
T.2.16	Reti di alimentazione elettrica nel luogo di lavoro e circuiti di distribuzione e trasmissione dell'elettricità che sorvolano il luogo di lavoro e non soddisfano i criteri indicati nella Tabella 1	I criteri di valutazione sono indicati nell'Allegato F.

Procedure ed esecuzione delle misure

CENELEC EN 50499 – Norma CEI 106-23

B.1 Modulo 1: Luogo di lavoro che contiene solo apparecchiature della Tabella 1

Informazioni generali

- Nome e indirizzo dell'azienda
- Data della valutazione
- Gruppo di valutazione (nome dei partecipanti che hanno preso parte alla valutazione)
- Indirizzo o località del luogo di lavoro (es., aree diverse dell'azienda, numero della stanza ...)
- Breve descrizione del luogo di lavoro e dell'apparecchiatura

Valutazione

Luogo di lavoro che contiene solo apparecchiature della Tabella 1

Specificare (es. macchine per ufficio): _____

Conclusione

Luogo di lavoro conforme

Firma del gruppo di valutazione

B.2 Modulo 2: Luogo di lavoro che richiede una valutazione dettagliata del rischio

Informazioni generali

- Nome e indirizzo dell'azienda
- Data della valutazione
- Gruppo di valutazione (nome dei partecipanti che hanno preso parte alla valutazione)
- Indirizzo o località del luogo di lavoro (es., aree diverse dell'azienda, numero della stanza ...)

Valutazione

- Descrizione dettagliata del luogo di lavoro/apparecchiatura (tipo, costruttore ...)
- Descrizione dettagliata delle condizioni di lavoro (processo di lavorazione e tempo di esposizione, impostazioni dell'apparecchiatura, posizione del lavoratore rispetto all'apparecchiatura, es., mediante disegni...)
- Norme relative all'apparecchiatura (elenco delle norme utilizzate _____)
- Dimostrazione della conformità:
 - Riferimento al rapporto di calcoli e/o di misurazioni (contenente il tipo di apparecchiatura di misura, il programma di calcolo e le condizioni di misura, es. mediante disegni)
 - Risultato delle misure o dei calcoli: _____
 - Incertezza: _____
 - Valori di azione dell'esposizione o valori limite di esposizione utilizzati: _____
 - Livelli di esposizione dei lavoratori misurati: _____
 - Descrizione dettagliata delle eventuali misure intraprese per ottenere la conformità:

 - Vi sono misure di protezione speciali necessarie per i lavoratori con impianti medici?

Conclusione

Luogo di lavoro conforme



Firma del gruppo di valutazione

Gli strumenti di misura

Strumenti di misura

Classificazione

Gli strumenti per misure di campo si possono classificare in due categorie:

A **banda larga**: forniscono il valore globale del campo elettromagnetico su una banda sufficientemente ampia da comprendere tutte le sorgenti presenti

A **banda stretta** o selettivi: forniscono il valore del campo per una singola frequenza

Strumenti di misura in banda larga

Principali **vantaggi** degli strumenti per misure a banda larga:

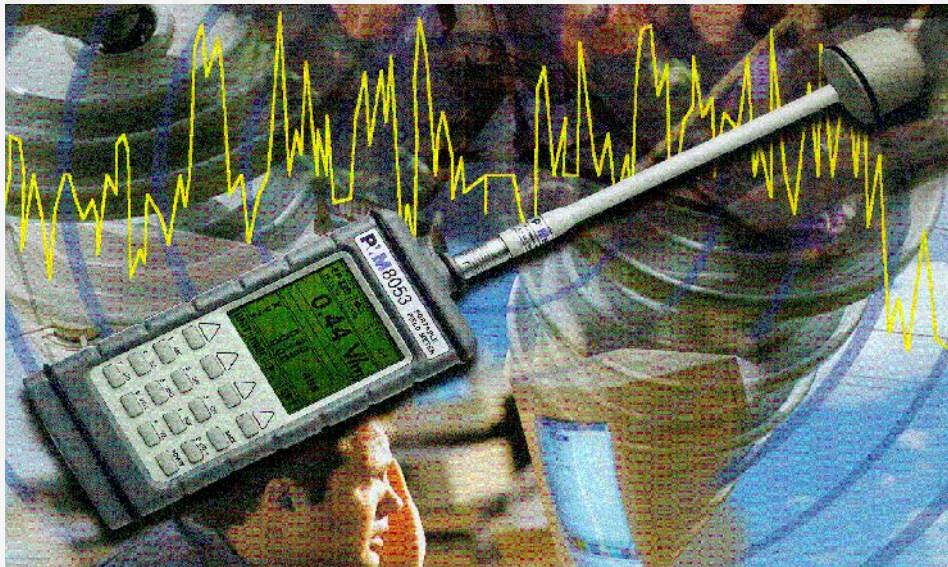
- trasportabilità;
- relativa semplicità ed immediatezza d'uso;
- training per l'utilizzo breve e non complesso;
- costo contenuto;
- ampia banda di funzionamento.

Strumenti di misura in banda larga

Principali **svantaggi** degli strumenti per misure a banda larga:

- risposta fuori banda di difficile quantificazione (nessun costruttore generalmente la fornisce);
- impossibilità di determinare i singoli contributi delle sorgenti;
- errori relativamente elevati.

Strumenti di misura in banda larga



Strumenti di misura in banda stretta

Principali **vantaggi** degli strumenti per misure a banda stretta:

- buona precisione dello strumento di misura;
- possibilità di attribuire il livello di campo a ciascuna sorgente misurata;
- non presenta risposte spurie apprezzabili fuori dalla banda di funzionamento.

Strumenti di misura in banda stretta

Principali **svantaggi** degli strumenti per misure a banda stretta:

- tempo di misura elevato;
- training per l'utilizzo relativamente complesso;
- costo elevato del sistema di misura;
- ingombro e peso considerevoli;
- le misure vanno ripetute su tutti gli assi (x, y, z) o in due polarizzazioni (tempi lunghi di misura).

Strumenti di misura in banda stretta



Grazie