

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

Appendice D: Misura e valutazione del campo elettromagnetico emesso dagli impianti di radiodiffusione

Sommario

Lo scopo della presente Appendice è quello di completare e dettagliare, rispetto a quanto già contenuto nella Guida CEI 211-7, le metodologie per la misura e la valutazione delle grandezze fisiche associate ai campi elettromagnetici emessi dagli impianti di radiodiffusione, al fine di determinare i livelli di esposizione umana negli ambienti abitativi e lavorativi generati da queste sorgenti.

La pubblicazione di questa Appendice è motivata soprattutto dal fatto che negli ultimi anni si stanno sviluppando nuove tecnologie di radiodiffusione, in particolare la radiodiffusione digitale terrestre, non considerate nella Guida 211-7, ma anche per meglio evidenziare alcune specificità delle metodologie di misura e valutazione per la radiodiffusione analogica, che pur essendo trattate nella Guida, non sono state sufficientemente approfondite, dato il carattere generale della Guida stessa.

L'Appendice è composta di tre Parti:

- La Parte 1, di tipo essenzialmente informativo, descrive le tipologie principali dei diversi impianti di radiodiffusione, le bande di frequenze assegnate per le diverse applicazioni, le caratteristiche fisiche dei campi (reattivi, radiativi) da misurare o da valutare, i criteri generali di misura e di valutazione.
- La Parte 2 riguarda gli impianti di radiodiffusione analogica: comprende una introduzione descrittiva delle diverse applicazioni (impianti AM ad onda media, onda corta, impianti FM) e per ciascuna di esse fornisce, nella sezione più normativa, maggiori dettagli e precisazioni, rispetto a quanto contenuto nella Guida attuale, sui metodi di misura e di valutazione.
- La Parte 3, completamente nuova, riguarda gli impianti di radiodiffusione digitale, non trattati nella Guida attuale: è organizzata come la Parte 2, cioè comprende una introduzione descrittiva delle diverse applicazioni (sistemi DVB-T/DVB-H per la televisione digitale terrestre e sistemi DAB/T-DMB per la radio digitale terrestre) e nella sezione più normativa fornisce, per ciascuna di queste applicazioni, indicazioni specifiche sui metodi di misura e valutazione.

Campo di applicazione

La presente Appendice alla Norma CEI 211-7: definisce i metodi di misura e di valutazione dei campi elettromagnetici prodotti dai sistemi di radiodiffusione, in vista della caratterizzazione dell'esposizione umana a tali campi. Rispetto alla Guida base, vengono forniti maggiori dettagli, aggiornamenti e precisazioni per i sistemi analogici, già trattati dalla Guida, e vengono aggiunte modalità specifiche per i sistemi digitali sviluppatasi negli ultimi anni, non contenute nella Guida, perché ritenute non ancora mature e assestate al momento della sua preparazione.

L'Appendice fa precedere le parti normative vere e proprie da parti informative che descrivono le caratteristiche peculiari dei diversi sistemi, allo scopo di orientare meglio l'utilizzatore del presente documento verso le scelte tecniche più adeguate per una corretta misura e valutazione dei campi elettromagnetici.

I metodi di misura e valutazione considerati in questa Appendice riguardano le grandezze derivate (campo elettrico, campo magnetico, densità di potenza elettromagnetica) e non le grandezze di base (densità di corrente nel corpo umano, SAR). Tali metodi, come quelli generali della Guida CEI 211-7, sono principalmente orientati alla caratterizzazione dell'esposizione della popolazione; documenti che definiscono metodologie specifiche per i lavoratori saranno emanati da parte del CEI, sulla base di corrispondenti documenti del CENELEC.

Definizioni

Valgono le definizioni generali della Guida 211-7, con l'aggiunta delle seguenti, specifiche per gli impianti di teleradiodiffusione:

- **COFDM:** Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing
- **LARGHEZZA DI BANDA (REC ITU-R SM328):** è l'intervallo di frequenze all'esterno del quale la potenza media di una data emissione è pari a $\beta/2$ della *potenza media totale emessa*. Il valore di β è stabilito per ogni classe di emissione nella normativa internazionale (ITU-R); in caso contrario si assume per $\beta/2$ il valore di 0,5%.
- **POTENZA NEL CANALE:** potenza media nella larghezza di banda.

Riferimenti normativi

PIANO NAZIONALE DELLE FREQUENZE (PNRF)

LEGGE QUADRO 36/2001 “Legge Quadro sulla protezione dalle esposizioni ai campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici”

e relativo:

DPCM 8/7/2003 “Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz”

LEGGI REGIONALI

GUIDA CEI 211-7 “Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettromagnetici nell'intervallo di frequenze 10 kHz-300GHz, con riferimento all'esposizione umana” e **relative Appendici**, richiamata quale riferimento per l'esecuzione delle misure dal DPCM 08/07/2003, art. 6 e pertanto cogente.

DECRETO LEGISLATIVO 259/2003: “Codice delle Comunicazioni Elettroniche”

DIRETTIVA EUROPEA 2004/40/CE: “Direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio” del 29/04/04, recepita dal D.L 257.

DECRETO LEGISLATIVO 19 NOVEMBRE 2007, N. 257 “Attuazione della direttiva 2004/40/CE sulle prescrizioni minime di sicurezza e di salute relative all'esposizione dei lavoratori ai rischi derivanti dagli agenti fisici (campi elettromagnetici)” (**G.U. 11 gennaio 2008, n. 9 – Titolo 7**)

DECRETO LEGISLATIVO 81/2008: “Testo Unico Sulla Sicurezza e Salute Sul Lavoro” approvato dal Consiglio dei Ministri il 1 aprile 2008, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale.

CEI EN 50420: “Norma di base per la valutazione dell'esposizione delle persone ai campi elettromagnetici emessi da trasmettitori per radiodiffusione autonomi (30MHz-40GHz)”.

CEI EN 50421: “Norma di prodotto per dimostrare la conformità dei trasmettitori per radiodiffusione autonomi, ai livelli di riferimento o ai limiti di base relativi all'esposizione del pubblico generico ai campi elettromagnetici a radiofrequenza (30MHz-40GHz)”.

CENELEC EN 50413: “Basic standard on measurements and calculation procedure for human exposure to electric, magnetic and electromagnetic fields (0Hz-300GHz)”.

CENELEC EN 50475: “Basic standard for the calculation and the measurements of human exposure to electromagnetic fields from broadcasting service transmitters in the HF bands (3 MHz-30 MHz)”.

CENELEC EN 50476: “Product standard to demonstrate the compliance of broadcast station transmitters with the reference levels and the basic restrictions related to public exposure to radio frequency electromagnetic fields (3 MHz- 30 MHz)”.

CENELEC EN 50496: “Determination of workers’ exposure to electromagnetic fields and assessment of risk at broadcast site”.

CENELEC EN 50499: “Procedure for assessment of the exposure the workers to electromagnetic fields”.

CENELEC EN 50420: “Basic standard for evaluation human exposure to electromagnetic fields from a stand alone broadcast transmitter (30 MHz–40 GHz)”.

CENELEC EN 50421: “Product standard to demonstrate the compliance of stand alone broadcast transmitters with the reference levels or the basic restrictions related to public human exposure to radio frequency electromagnetic fields (30 MHz- 40 GHz)”.

CEPT ECC/REC/(02)04: “Measuring non-ionizing electromagnetic radiation (9 KHz-300GHz)”.

ETSI EN 300 744: “Digital Broadcasting Systems for Television, Sound and Data Services; Framing Structure, Channel Coding and Modulation for Digital Terrestrial Television”, February 1997.

ETSI EN 302 755: “Digital Broadcasting Systems (DVB); Framing Structure, Channel Coding and Modulation for a second generation Digital Terrestrial Television broadcasting system (DVB-T2)”, July 2009.

ETSI EN 302 304: “Digital Video Broadcasting (DVB); Transmission System for Handheld Terminals (DVB-H)”, November 2004

ETSI EN 300 401: “Radio Broadcasting Systems; Digital Audio Broadcasting (DAB) to Mobile, Portable and Fixed Receivers”, April 2000

ETSI TS 102 427: “Digital Audio Broadcasting (DAB); Data Broadcasting - MPEG-2 TS Streaming”, July 2005

ETSI TS 102 428: “Digital Audio Broadcasting (DAB); DMB Video Service; User Application Specification”, June 2005.

ETSI ES 201 980 V3.1.1: “Digital Radio Mondiale (DRM); System Specification”, 2009

ITU-R RADIO REGOLAMENTO

ITU-R BT.417-5: “Minimum field strengths for which protection may be sought in planning an analogue terrestrial television service”, 2002

ITU-R BT.470-7: Conventional analogue television systems, 2005

ITU-R BT.1123: “Planning Methods for 625-Line Terrestrial Television in VHF/UHF Bands”, 1994

ITU-R SM.326-7: “Determination and Measurement of the Power of Amplitude-Modulated Radio Transmitters”, 1998

ITU-R SM.328-10: "Spectra and Bandwidth of Emissions", 1999

ITU-R SM.1682: "Methods for measurements on digital broadcasting signals*", 2004

ITU-R BS.1698: "Evaluating fields from terrestrial broadcasting transmitting systems operating in any frequency band for assessing exposure to non-ionizing radiation"

Riferimenti non normativi:

RACCOMANDAZIONE EUROPEA 1999/519/CE: "Raccomandazione del Consiglio del 2 luglio 1999 relativa alla limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz".

DOCUMENTO DELLA COMMISSIONE EUROPEA COM 200-1-final: "Comunicazione della Commissione sul Principio di Precauzione"

LINEE GUIDA ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation): "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields up to 300 GHz"

ITU DTTB HANDBOOK: "Digital terrestrial television broadcasting in the VHF/UHF bands"

GUIDA CEI 211-10: "Guida alla realizzazione di una stazione Radio Base per rispettare i limiti di esposizione ai campi elettromagnetici in alta frequenza"

ETSI TR 101 290: "Digital Video Broadcasting (DVB); Measurement guidelines for DVB systems", 2001.

Parte 1

D.1 Aspetti generali della radiodiffusione

Introduzione

I servizi di radiodiffusione sono estremamente variegati e si differenziano in base alle bande di frequenza utilizzate, ai meccanismi di propagazione, alle tecnologie di modulazione, alle tipologie di impianti necessari per la trasmissione e ricezione dei segnali, ecc.

Nella maggior parte dei casi, i trasmettitori e le antenne destinati ad offrire tali servizi (servizio TV analogico e digitale, servizio radiofonico FM, OM, OC analogico e digitale, ecc.) coesistono nello stesso sito, sovente in coabitazione anche con altre tipologie di servizi (ponti radio, impianti per telefonia cellulare, ecc.).

La Parte 1, di tipo essenzialmente informativo, è costituita di quattro sezioni:

- la prima sezione descrive le tipologie principali dei diversi sistemi di radiodiffusione e le bande di frequenze assegnate;
- la seconda sezione analizza le caratteristiche fisiche dei campi elettromagnetici prodotti da tali impianti in funzione della distanza e delle caratteristiche delle antenne radianti, definendo le zone di campo reattivo e di campo radiativo (vicino e lontano);
- la terza sezione riporta lo stato dell'arte sui metodi analitici di previsione dei campi, fornendo i risultati di esempi tipici per le diverse applicazioni;
- la quarta sezione presenta le problematiche generali relative alla misura dei campi prodotti dagli impianti di teleradiodiffusione. Nelle Parti 2 e 3 sono trattati in modo approfondito le specificità di misura relative alla teleradiodiffusione sia analogica che digitale.

Parte1

Sezione 1

D.1.1 I servizi di radiodiffusione: bande di frequenze e tipi di servizi

Nella presente sezione, con riferimento all'esame dello spettro e della sua gestione a livello nazionale ed internazionale, sono elencate le bande assegnate alla radiodiffusione ed i servizi implementati in ciascuna di esse.

Lo spettro delle frequenze

Nella seguente Tabella D.1.1.1, che riprende la Tabella 7.1 riportata a pag. 26 della Guida 211-7 (edizione 1998), si riporta la classica suddivisione dell'intero spettro in **bande di frequenze** e le corrispondenti **lunghezze d'onda**.

Tabella D.1.1.1: Bande di frequenze e lunghezze d'onda delle onde elettromagnetiche

Applicazione	Bande di frequenze		Lunghezze d'onde
Frequenze industriali	ELF (Extremely Low Frequency)	0 – 3 kHz	∞ - 100 km
	VLF (Very Low Frequency)	3 – 30 kHz	100 – 10 km
Frequenze radio	LF (Low Frequency)	30 – 300 kHz	10 – 1 km
	MF (Medium Frequency)	300 kHz – 3 MHz	1 km – 100 m
	HF (High Frequency)	3 – 30 MHz	100 – 10 m
	VHF (Very High Frequency)	30 – 300 MHz	10 – 1 m
Microonde	UHF (Ultra High Frequency)	300 MHz – 3 GHz	1m – 10 cm
	SHF (Super High Frequency)	3 – 30 GHz	10 – 1 cm
	EHF (Extremely High Frequency)	30 – 300 GHz	1 cm – 1 mm
Infrarosso	IR (Infra Red)	0,3 – 385 THz	1 – 0,78 mm
Luce visibile		385 – 750 THz	780 – 400 nm
Ultravioletto	UV (Ultra Violet)	750 – 3000 THz	400 – 100 nm
Radiazioni ionizzanti	IR (Raggi Gamma, X)	> 3000 THz	< 100 nm

Le bande di frequenze utilizzate nella Radiodiffusione sono le **Frequenze Radio** e le **Microonde**.

La gestione internazionale dello spettro

Il compito di regolamentare a livello internazionale le telecomunicazioni spetta all'**ITU (International Telecommunication Union)**.

La sezione **ITU-R (Radiocommunication Bureau)**, che si occupa in maniera specifica della parte relativa alle Radiocomunicazioni, ha il *mandato* di garantire un utilizzo equo, razionale ed efficiente dello spettro a radiofrequenza da parte di tutti i servizi. Tale compito viene svolto assegnando a ciascun servizio porzioni di banda nelle varie gamme dello spettro.

Il **Radio Regolamento** è il documento ufficiale con il quale l'ITU-R espleta la propria azione di normativa e regolamentazione dei servizi di Radiocomunicazione e nel quale (**Articolo 5 "Frequency Allocation"**) si trovano le assegnazioni di frequenza.

Per realizzare le allocazioni il globo viene suddiviso in tre Regioni secondo il seguente prospetto (ITU-RR Art. S5 – Section I "Region and Areas" S5.2):

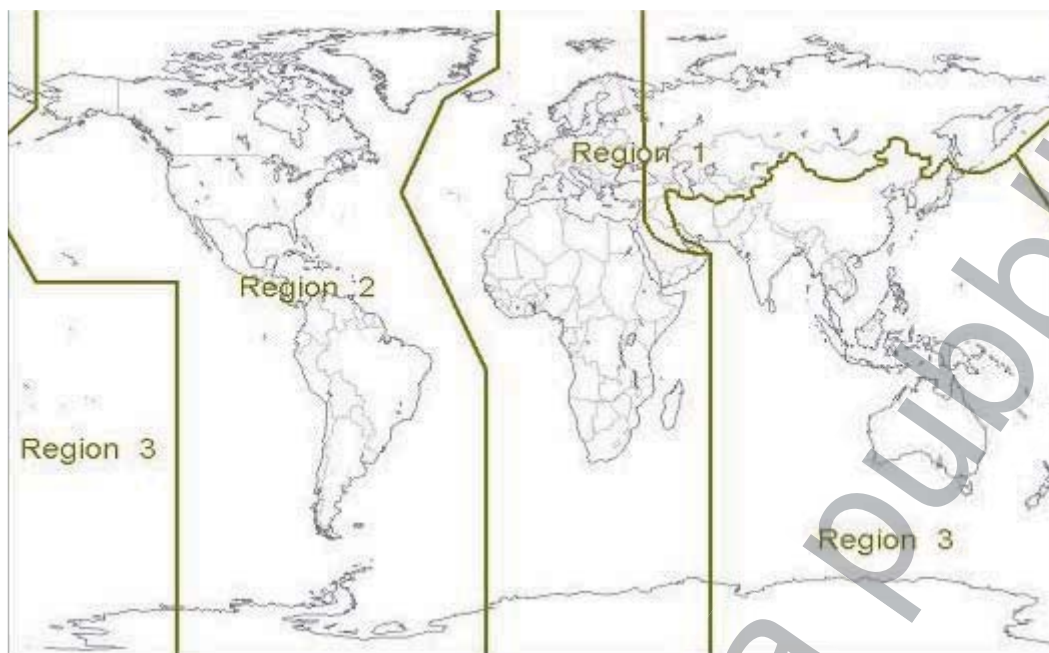


Figura D.1.1.1: Suddivisione del globo terrestre in Regioni secondo ITU-R

Le allocazioni vengono effettuate attraverso una serie di tabelle del tipo sotto esemplificato.

Tabella D.1.1.2: Esempio di allocazione delle frequenze ai vari servizi di radiodiffusione per le diverse regioni

Allocation to Services		
Region 1	Region 2	Region 3
7200 - 7300 Broadcasting	7100 – 7200 Amateur	7200 – 7300 Broadcasting
7300 – 7400 Broadcasting		
7400 - 7450 Broadcasting	7400 - 7450 Fixed - Mobile	7400 - 7450 Broadcasting

Nel corso di riunioni periodiche denominate **WRC (World Radio Conference)** tali assegnazioni di banda vengono riesaminate da tutti i paesi membri per adeguarle alle nuove esigenze; le decisioni prese vengono quindi integrate nel Radio Regolamento.

La gestione Nazionale dello spettro

Gli organismi che in Italia gestiscono l'uso dello spettro radio sono:

- il **Ministero dello Sviluppo Economico, Dipartimento per le Comunicazioni** per l'uso delle frequenze radio per scopi civili e commerciali (radiodiffusione, mobili, accesso a larga banda, satellite...)
- il **Ministero della Difesa**, per l'uso delle frequenze radio per scopi militari e di sicurezza.

Vi è poi l'**Autorità per le Garanzie nelle comunicazioni**, che è responsabile della politica delle telecomunicazioni e della regolamentazione dei servizi ad uso pubblico

D.1.1.1.1 Compiti principali del Ministero dello Sviluppo Economico - Comunicazioni

Il **Dipartimento delle Comunicazioni** si occupa della gestione dello spettro radio per uso civile, attraverso lo strumento del **Piano Nazionale di Ripartizione delle Frequenze (PNRF)** che costituisce un vero e proprio piano regolatore delle frequenze a livello nazionale.

Le Conferenze Mondiali delle Radiocomunicazioni (WRC) hanno come mandato quello di modificare il Regolamento delle radiocomunicazioni dell'ITU-R, che ha lo statuto di un "Trattato internazionale" di carattere cogente per i Paesi membri dell'ITU-R, nelle parti contenute nell'ordine del giorno predisposto dalla precedente WRC ed approvato definitivamente dal Consiglio dell'ITU-R.

I risultati delle Conferenze Mondiali modificano le disposizioni europee e nazionali in materia di frequenze radio e per quanto riguarda l'impatto in ambito nazionale, questo si ripercuote sul Piano Nazionale di Ripartizione delle Frequenze, che di conseguenza va aggiornato a conclusione di ogni Conferenza mondiale.

*Il Piano Nazionale di Ripartizione delle Frequenze attualmente in vigore è stato approvato con il **D.M. 13 Novembre 2008, pubblicato sulla G.U. n. 273 del 21 novembre 2008 – Supplemento Ordinario n. 255.** Esso contiene:*

Introduzione

Tabelle di attribuzione delle bande di frequenze ai servizi radioelettrici

Note

Appendici con le canalizzazioni

I compiti del Dipartimento delle Comunicazioni sono:

- Redazione del Piano Nazionale di Ripartizione Frequenze
- Assegnazione delle frequenze
- Rilascio delle autorizzazioni **Generali**
- Rilascio delle autorizzazioni **Generali** con diritto d'uso delle frequenze
- Rilascio delle autorizzazioni **Generali** con diritto d'uso delle frequenze mediante meccanismi competitivi (aste pubbliche) e comparativi (beauty contest)
- Preparazione delle conferenze mondiali di radiocomunicazioni
- Effettuazione dei coordinamenti internazionali
- Notifica delle frequenze all'ITU-R
- Monitoraggio dello spettro radioelettrico
- Notifica degli apparati radio per la loro immissione sul mercato e Sorveglianza del mercato (Direttiva R&TTE 1999/05/EC)
- Adozione delle normative tecniche di apparati di TLC
- Definizione della politica delle Telecomunicazioni in Italia
- Rappresentanza dell'Italia nei consessi internazionali

D.1.1.1.2. Compiti principali del Ministero della Difesa

Il Ministero della difesa è responsabile delle bande destinate all'uso militare utilizzate da:

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Esercito | <input type="checkbox"/> Ministero dell'Interno |
| <input type="checkbox"/> Marina Militare | <input type="checkbox"/> Polizia di Stato e Vigili del fuoco |
| <input type="checkbox"/> Aeronautica | <input type="checkbox"/> Polizia penitenziaria |
| <input type="checkbox"/> Arma dei Carabinieri | <input type="checkbox"/> Servizio Meteorologico |
| <input type="checkbox"/> Guardia di Finanza | |

Le bande assegnate alla Radiodiffusione

Per quanto riguarda i **servizi di Radiodiffusione** nella regione 1, nelle varie gamme di frequenza sono assegnate porzioni di banda ai diversi servizi, come riportato nella seguente Tabella D.1.1.3 che riprende le tabelle 7.1 e 7.2 della Guida CEI 211-7 e le approfondisce per ciò che concerne la Radiodiffusione. Quanto descritto nel par. 6.2.2 della Guida 211-7 relativamente a tutte le tipologie di sorgenti, viene qui dettagliato per le sorgenti di segnali di radiodiffusione.

Ogni banda di frequenza è caratterizzata da meccanismi di propagazione diversi e sono utilizzate per servizi di varia natura (per sfruttare nella maniera più efficiente le caratteristiche di propagazione peculiari) e facendo ricorso a tecniche di modulazione differenti.

*Esempio: nelle bande delle onde corte la propagazione è di tipo ionosferico e pertanto queste bande sono adatte alla trasmissione a lunga distanza. Infatti sono utilizzate essenzialmente per le trasmissioni Radiofoniche per l'estero. Per quanto riguarda le tradizionali trasmissioni analogiche, il tipo di modulazione utilizzato è la modulazione di ampiezza. Da **giugno 2003** e' stato ufficialmente avviato il servizio anche con la nuova tecnologia di **modulazione digitale (DRM – Digital Radio Mondiale)**.*

Le caratteristiche peculiari di ogni singola banda verranno esplicitate nella seconda parte del documento, dove ad ogni servizio sarà dedicato un intero capitolo.

Tabella D.1.1.3: Bande assegnate alla radiodiffusione nella Regione 1

Banda di frequenza	Larghezza della banda	Porzioni assegnate alla Radiodiffusione	Tipo di Servizio implementato
LF (Low Frequency)	30 – 300 kHz	148,5-255 kHz	Servizi radiofonici in onda lunga
MF (Medium Frequency)	300 kHz – 3 MHz	526 – 1606 kHz 2300 – 2498 kHz *	Servizi radiofonici in onda media *Non utilizzato in Italia
HF (High Frequency)	3 – 30 MHz	3200-3230 kHz * 4750 – 4850 kHz * 5900 – 6200 kHz 7200 – 7450 kHz 9400 – 9900 kHz 11600 – 12100 kHz 13570 – 13870 kHz 15100 – 15800 kHz 17480 – 17900 kHz 18900 – 19020 kHz 21450 – 21850 kHz 25670 – 26100 kHz	Servizio radiofonico analogico e digitale (DRM) in Onda Corta *Non utilizzato in Italia
VHF (Very High Frequency)	30 – 300 MHz	47 – 68 MHz 87.5 – 108 MHz 174 – 230 MHz	Servizi di diffusione televisiva terrestre (Banda I) Servizi radiofonici in FM (Banda II) Servizi di diffusione televisiva terrestre analogica e digitale (DVB-T) (Banda III), Servizi radiofonici in Digitale (T-DAB/T-DMB)
UHF (Ultra High Frequency)	300 MHz – 3 GHz	470 – 960 MHz 1452 – 1492 MHz 2520 – 2655 MHz	Servizi di diffusione televisiva terrestre analogica e digitale (DVB-T) (Banda IV, V) Servizi di diffusione televisiva satellite
SHF (Super High Frequency)	3 – 30 GHz	10.7 – 12.5 GHz 21.4 – 22 GHz	Radiodiffusione da satellite
EHF (Extremely High Frequency)	30 – 300 GHz	40.5 – 42.5 GHz 84 – 86 GHz	Radiodiffusione da satellite

Parte 1

Sezione 2

L'antenna come trasduttore e sorgente del campo EM

L'antenna è l'elemento essenziale di qualunque sistema ricevente e/o trasmittente che utilizzi le onde elettromagnetiche irradiate per il trasferimento di informazioni o energia tra siti diversi. Dal punto di vista funzionale l'antenna si comporta come un trasduttore, ossia come un dispositivo che converte l'energia da una forma ad un'altra. Le due forme di energia in questione sono le onde elettromagnetiche guidate (dai cavi o dalle guide d'onda che connettono l'antenna alle apparecchiature di stazione) e le onde elettromagnetiche irradiate (che si allontanano dall'antenna propagandosi nello spazio circostante).

Dal punto di vista fisico le sorgenti del campo irradiato sono normalmente individuate nelle correnti accelerate (e cioè tempo varianti) che scorrono sui conduttori elettrici che realizzano l'antenna (a tal proposito si ricordi che una corrente non accelerata - una corrente continua - genera un campo magnetico ed eventualmente un campo elettrico, ma non un campo elettromagnetico).

Nell'applicare una corrente accelerata (ad esempio sinusoidale) ad un conduttore ideale (cioè a resistenza nulla) si "scopre" che il generatore fa un lavoro netto diverso da zero, cioè che deve fornire al conduttore una potenza reale, che il conduttore assorbe pur non dissipandola in calore (essendo esso ideale). Questa potenza lascia l'antenna (il conduttore) per disperdersi nello spazio esterno trasportata dall'onda elettromagnetica irradiata. L'assorbimento di energia per radiazione è modellizzato circuitualmente tramite la cosiddetta resistenza di radiazione, una resistenza che il generatore vede connessa ai suoi morsetti e alla quale cede la potenza reale che sarà poi irradiata; alla resistenza di radiazione può aggiungersi, se l'antenna ha perdite per effetto Joule dovute ai conduttori non ideali, la resistenza di perdita. La sommatoria tra resistenza di radiazione e la resistenza di perdita costituisce la parte reale dell'impedenza d'antenna.

L'antenna più semplice da immaginare (ossia il radiatore elementare) è quindi costituita da un filo conduttore di lunghezza L , piccola rispetto alla lunghezza d'onda $\lambda=c/f$ e percorso da una corrente $I(t)$ uniforme ma tempo variante (come poi sostenere questa corrente in pratica è un problema di non banale soluzione); questo radiatore si chiama dipolo hertziano (vedi figura 1).

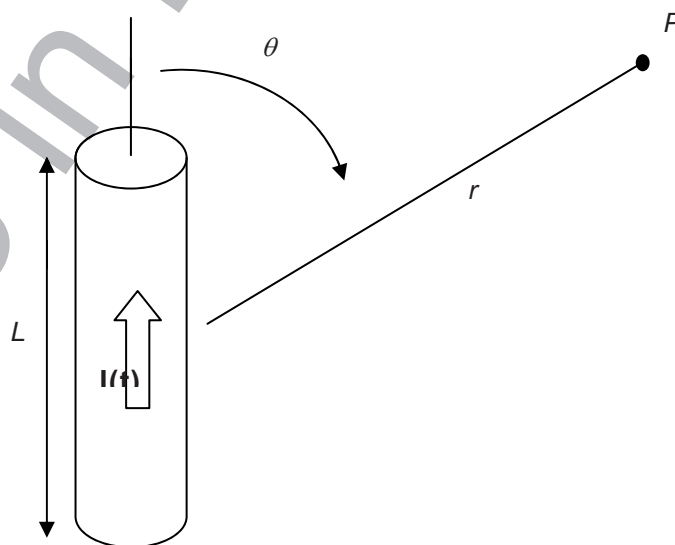


Figura 1. Radiatore elettrico elementare o dipolo hertziano.

Nel caso in cui la corrente abbia dipendenza temporale di tipo sinusoidale $I(t) = I \cos(2\pi ft) = \Re\{e^{j2\pi ft}\}$ è possibile dimostrare che nel punto P , dove è collocato un osservatore, esistono due componenti di campo elettrico E ed una di campo magnetico H , che sono espresse analiticamente dalle seguenti relazioni (nel dominio dei fasori):

$$E_r = \frac{IL}{4\pi} \left(\frac{2\eta_0}{r^2} + \frac{2}{j\omega\epsilon r^3} \right) e^{-j\beta r} \cos\theta$$

$$E_\theta = \frac{IL}{4\pi} \left(\frac{j\omega\mu}{r} + \frac{\eta_0}{r^2} + \frac{1}{j\omega\epsilon r^3} \right) e^{-j\beta r} \sin\theta$$

$$H_\phi = \frac{IL}{4\pi} \left(\frac{j\beta}{r} + \frac{1}{r^2} \right) e^{-j\beta r} \sin\theta$$

Dove:

- r è la distanza dal dipolo del punto considerato
- $\omega = 2\pi f$
- $\beta = 2\pi / \lambda$
- $\mu = 4\pi 10^{-7}$
- $\epsilon = 8,854 \cdot 10^{-12}$
- $\eta_0 = 120\pi$
- F/m è la costante dielettrica del vuoto
- H/m è la permeabilità magnetica del vuoto

Non considerando per il momento l'espressione matematica è opportuno notare come a distanze molto piccole (in termini di λ) dal dipolo hertziano dominano i termini proporzionali a $1/r^3$ (sono quelli che crescono più rapidamente quando r tende a zero); si tratta precisamente di due componenti di campo elettrico E_θ e E_r , che sono dette campi "quasi statici" perché hanno la stessa espressione di quelli che si troverebbero in prossimità di un dipolo elettrico statico.

A distanze molto grandi invece gli unici termini che sopravvivono sono quelli proporzionali a $1/r$ (sono quelli che decrescono più lentamente quando r tende ad infinito); si tratta di una componente di campo elettrico E_θ ed una componente di campo magnetico H_ϕ , che sono tra loro ortogonali nello spazio e in fase nei tempi. Questi sono i cosiddetti "campi di radiazione", e solo a questi è associato il trasporto netto di potenza.

Da quanto detto sopra si desume che considerare i soli campi di radiazione quando si è molto vicini alla sorgente è estremamente pericoloso: non essendo infatti questi dominanti, si corre il rischio di sottostimare l'esposizione.

Le antenne che si utilizzano in pratica sono normalmente molto più complesse e di dimensioni maggiori del dipolo hertziano; tuttavia è possibile "sezionare" anche la più complessa delle antenne in un insieme di dipoli hertziani, ognuno dei quali irradierà i campi mostrati in precedenza. La radiazione dell'antenna complessa sarà quindi data dalla somma dei campi generati dalla moltitudine di dipoli elementari di cui essa è costituita; anche per questa varranno le considerazioni fatte per il dipolo hertziano circa i contributi di campo dominanti in funzione della distanza; in questo caso però, visto l'elevato numero di sorgenti elementari può non essere semplice individuare le zone di transizione da una regione all'altra.

La distribuzione del campo elettromagnetico nello spazio circostante una sorgente è descritta per zone.

Esistono due modelli di riferimento.

- ◆ Suddivisione dell'area circostante in solo due zone:
 1. **Near Field** o zona di Fresnel dove il campo diminuisce con $1/r^2$ e $1/r^3$
 2. **Far Field** o zona di Fraunhofer dove il campo diminuisce linearmente con r
- ◆ Suddivisione dell'area circostante in tre zone:
 1. **Near Field reattivo** dove il campo diminuisce con $1/r^3$
 2. **Near Field radiato** o zona di **transizione** dove il campo diminuisce con $1/r^2$
 3. **Far Field** dove il campo diminuisce linearmente con $1/r$.

Dove: r = distanza dalla sorgente

Per il fatto che le misure hanno rilevanza legislativa, è importante che il modello descrittivo sia il più preciso possibile, quindi la scelta cade obbligatoriamente sul secondo modello a tre zone che meglio descrive l'andamento del campo elettromagnetico in prossimità delle sorgenti.

L'attività di teleradiodiffusione utilizza porzioni dello spettro elettromagnetico in quasi tutte le bande di frequenza e, per conoscere compiutamente l'estensione delle zone descritte, è necessario valutare per **ogni banda di frequenze** quali sono i **sistemi radianti** tipici ed il loro **modo di funzionamento**.

Detto questo, conviene analizzare e dimensionare le tre zone in cui si manifestano i campi elettromagnetici in funzione, oltre che della frequenza, anche dei sistemi radianti e del loro modo di funzionamento.

Suddivisione bande di frequenza

D.1.1.1.3 Tabella 1

Frequenza	Servizio	antenne	Dimensioni *
100 KHz ÷ 1.6 MHz	Onda Lunga e Onda Media	Monopolo su terreno conduttore	Max $5/8 \lambda$ solitamente $\lambda/4$ o inferiore ($\lambda = 300$ mt)
3 ÷ 30 MHz	Onda Corta	Dipoli o cortine	Da $\lambda/2$ a $4 \times 4 \lambda$ ($\lambda = 30$ mt)
50 ÷ 250 MHz	VHF	Dipoli, sistemi di dipoli, Yagi, pannelli o sistemi di pannelli	Da $\lambda/2$ a 6λ ($\lambda = 3$ mt per MF) ($\lambda = 1.5$ mt per TV)
470 ÷ 870 MHz	UHF	Pannelli o sistemi di pannelli	Da 2λ a $40 \div 50\lambda$ ($\lambda = 0.45$ mt)

* Dove λ è riferita alla frequenza di centrobanda

D.1.2 ESTENSIONE DELLE ZONE

1. NEAR FIELD REATTIVO

In questa zona prevalgono le componenti del campo elettromagnetico che **decregono con $1/r^3$** , è una zona molto ristretta e normalmente **non si estende oltre $\lambda/10$** . Alla distanza $\lambda/10$ le componenti che decregono con $1/r^3$, hanno **uguale ampiezza della somma** di quelle che decregono con $1/r^2$ e $1/r$. Per le misure, vista la **variabilità spaziale** nella zona in esame, è indispensabile l'uso di sensori di piccole dimensioni rispetto alla lunghezza d'onda. In questa zona sono presenti anche componenti di E radiale e le due grandezze E ed H variano con leggi diverse, quindi **è necessario misurare sia la grandezza E sia la grandezza H**.

Questa zona difficilmente è coinvolta in misure di tipo legislativo, salvo per i soggetti professionalmente esposti.

Per gli impianti OM la zona di Near Field reattivo ha dimensioni dell'ordine delle decine di metri ed è compresa nell'area della raggiera di terra funzionale al monopolo radiante.

2. NEAR FIELD RADIATO

In questa zona prevalgono le componenti che **decregono con $1/r^2$** fino alla **distanza $\lambda/2\pi$** , dove le componenti che decregono con $1/r^2$ ed **$1/r$ sono di eguale ampiezza.**

Nella zona di near field radiato permane una piccola componente di E radiale, mentre le componenti E ed H variano con la stessa legge a partire da λ . Sono ancora presenti significative **variazioni spaziali** dei campi elettromagnetici e **curvatura di fase** del fronte d'onda. Pertanto **non è indicato** l'uso di **antenne di grandi dimensioni** come dipoli $\lambda/2$ o yagi, ma è **indispensabile**, come nella zona di near field reattivo, l'uso di **sensori di piccole dimensioni.**

In questa zona ed in particolare dalla distanza **$r = \lambda/2\pi$** in poi, è sufficiente misurare **una sola delle due grandezze E o H** in funzione del tipo di radiatore, per determinare il rispetto dei valori di riferimento. Per antenne di tipo elettrico è sufficiente misurare H mentre per antenne di tipo magnetico è sufficiente misurare E. Non è semplice stabilire un confine certo della zona di near field radiato ed è necessario ogni volta tenere presente la situazione reale operativa, in quanto le dimensioni dei sistemi radianti rispetto λ possono avere rapporti che vanno da $\lambda/16$ a 50λ (vedi tabella 1).

Di norma **si accetta** il confine tra il near field radiato ed il far field ad una distanza **r pari a λ o a $2D^2/\lambda$** scegliendo il valore maggiore tra i due.

Nelle situazioni dove è applicabile la relazione $2D^2/\lambda$ la **curvatura di fase** dell'onda incidente è **pari a $\pi/8$ ($\cong 22.5^\circ$)**: ciò consente l'utilizzo di sensori con dimensioni comparabili a λ .

A distanze inferiori la curvatura di fase è maggiore: si impone quindi l'utilizzo di **sensori piccoli** e che interessino una porzione dell'onda incidente al massimo pari a $\pi/8$.

3. FAR FIELD o di FRAUNHOFER

Nella zona di far field il **campo decresce linearmente con r**, le grandezze E ed H assumono la loro piena ortogonalità rispetto la direzione di propagazione e le ampiezze sono legate da una relazione costante (120π). Questa è la regione da dove avviene la propagazione per onda piana.

La zona di far field si estende, scegliendo il valore maggiore tra i due, da **λ o $2D^2/\lambda$** , fino all'infinito.

Da qui in poi è possibile, come spiegato in precedenza, usare antenne anche di dimensioni paragonabili a λ come dipoli o yagi. È possibile verificare il rispetto dei valori di esposizione misurando indifferentemente una sola delle due grandezze E od H.

APPENDICE

Tabella 2: Estensioni tipiche delle zone in cui si manifestano i vari tipi di campo in funzione della banda di frequenze del servizio di radiodiffusione

Banda di frequenza MHz	Servizio	Lunghezza d'onda λ	Antenna D	$2D^2/\lambda$	Campo vicino reattivo $\lambda/10$	Campo vicino radiativo m	Campo lontano m
0.5 ÷ 1.6	Onda Media	600 – 188 m	Monopolo $\lambda/4$ o $\lambda/2$	$< \lambda$	60 – 18.8 m	$\lambda/10 - \lambda$ 60 – 600 18.8 – 188	$> \lambda$ > 600 > 188
3 ÷ 30	Onda Corta	100 – 10 m	Dipolo $\lambda/2$	$< \lambda$	10 -1 m	$\lambda/10 - \lambda$ 1 – 10 10 – 100	$> \lambda$: >10 > 100
			Cortina 4*4	$> \lambda$		$\lambda/10 - 2D^2/\lambda$ 1 – 31 100 – 1 km	$> 2D^2/\lambda$ >31 >1 km
50 ÷ 250	VHF (FM-TV)	6 – 1.2 m	Dipolo $\lambda/2$	$< \lambda$	0.6 - 0.12 m	$\lambda/10 - \lambda$ 0.6 – 6 0.12 – 1.2	$> \lambda$: > 6 > 1.2
			Schiera pannelli (8)	$> \lambda$		$\lambda/10 - 2D^2/\lambda$ 0.6 – 36* 0.12 – 180*	$> 36^*$ >180*
470 ÷ 870	UHF	65 – 35 cm	Dipolo $\lambda/2$	$< \lambda$	6.5 - 3.5 cm	$\lambda/10 - \lambda$ 6.5 – 65 cm 3.5 – 35 cm	$> \lambda$: > 65 cm. > 35 cm
			Schiera pannelli (8)	$> \lambda$		$\lambda/10 - 2D^2/\lambda$ 6.5cm–196* 3.5cm–365*	$> 196^*$ >365*

* valori calcolati sull'asse del sistema, all'atto delle misure si deve valutare la proiezione del sistema sul punto di misura.

La tabella 2.,riporta le distanze dal radiatore, per ciascuna zona di radiazione, ottenute semplicemente applicando le formule teoriche.

In fase operativa, difficilmente si troverà corrispondenza tra i valori di distanza calcolati e quelli reali, in particolare quando l'antenna non è costituita da un singolo elemento radiante ma da un sistema come un pannello o schiera di pannelli.

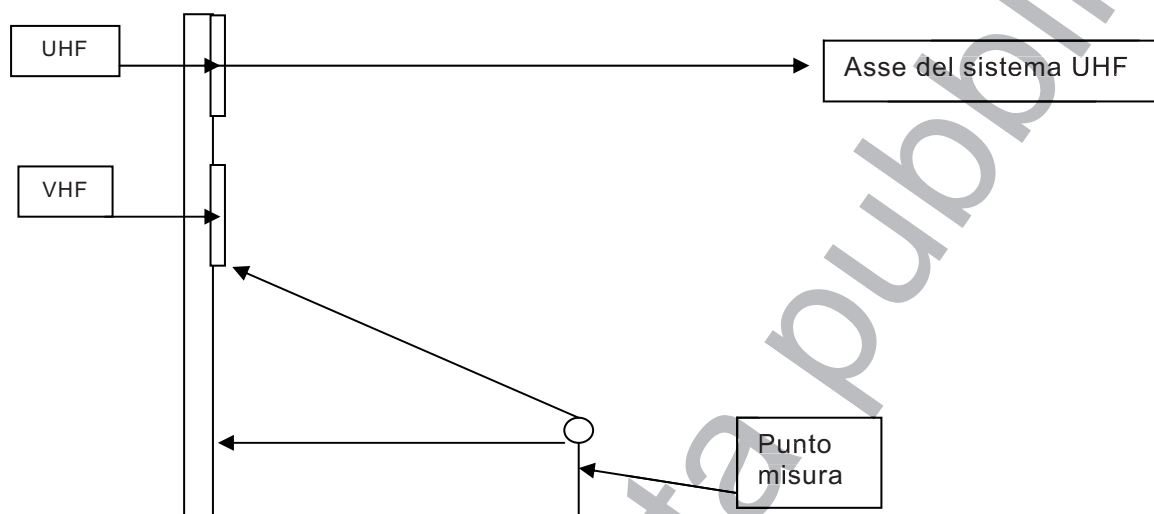
L'identificazione della zona in cui si eseguono le misure, implica un modo operativo ed un'attrezzatura caratterizzati da: dimensioni del sensore/antenna, misura di E, di H o entrambe le grandezze.

Le variabili che determinano l'effettiva zona operativa sono:

- Distanza dalla base del o dei tralicci
- Distanza dell'elemento più basso del sistema radiante
- Dimensione del sistema visto dal punto di misura (può diventare puntiforme)

Dopo aver tenuto conto degli elementi, si vede che nella maggior parte dei casi le distanze massime del campo vicino radiato e la distanza a cui inizia il campo lontano si riducono anche in modo notevole.

ESEMPIO



Le considerazioni di cui sopra valgono nello spazio libero. In presenza di oggetti materiali compreso il terreno è necessario tenere in considerazione anche elementi radianti secondari che danno luogo a fenomeni di riflessione e diffrazione non facilmente separabili a priori. In caso di diffrazione valgono le considerazioni di cui sopra.

Parte 1

Sezione 3

D.1.3 Metodi di previsione del campo elettromagnetico prodotto da stazioni di radiodiffusione

Questa sezione intende fornire elementi utili per la definizione, la valutazione e l'uso di sistemi di previsione del campo elettromagnetico generato da sistemi di radiodiffusione.

Tali elementi sono orientati a scopi di radioprotezione e non a scopi di determinazione e quantificazione delle aree servite.

Essi non sono destinati ad esperti di metodologie di calcolo dei campi elettromagnetici, ma allo scopo di fornire aiuto, orientamento e riferimento iniziale a tutte quelle figure professionali che, per svariate necessità, si trovano a far uso di tali metodi o a doverne comunque valutare i risultati.

Descrizione generale di un sistema di previsione

Gli elementi costitutivi principali di un sistema di previsione del campo elettromagnetico possono essere riassunti nelle seguenti voci:

- algoritmo di valutazione;
- dati di ingresso necessari all'algoritmo di valutazione;
- tipologia dei dati forniti in uscita dall'algoritmo di valutazione;
- rappresentazione dei dati di uscita.

D.1.3.1.1 Algoritmo di valutazione

L'algoritmo di valutazione utilizzato rappresenta un fondamentale elemento distintivo del sistema di previsione considerato. L'algoritmo di valutazione è in genere basato sulle relazioni fisiche e matematiche che descrivono la propagazione delle onde elettromagnetiche. In base alle approssimazioni introdotte in tali relazioni fisiche e matematiche, e quindi all'algoritmo di previsione che implementa tali relazioni, è possibile fornire una serie di indicazioni.

La Guida CEI 211-10, pur essendo orientata soprattutto alle stazioni radio base per la telefonia cellulare, fornisce una descrizione piuttosto generale dei sistemi di previsione del campo elettromagnetico prodotti da una sorgente.

Con riferimento ai sistemi di radiodiffusione, gli algoritmi di previsione del campo elettromagnetico possono essere classificati come segue:

- algoritmi per la valutazione del campo vicino;
- algoritmi per la valutazione del campo lontano;
- algoritmi basati sulla propagazione elettromagnetica in spazio libero;
- algoritmi basati sulla propagazione elettromagnetica tenendo conto della conformazione orografica del terreno.

Un sistema di previsione può utilizzare una combinazione delle quattro voci, per esempio:

- algoritmi per la valutazione del campo vicino basati sulla propagazione elettromagnetica in spazio libero
- algoritmi per la valutazione del campo vicino e del campo lontano basati sulla propagazione elettromagnetica in spazio libero, ecc.

In generale si può affermare che gli algoritmi di più semplice implementazione sono da ritenersi cautelativi, in quanto tendono a sovrastimare il valore del campo elettromagnetico, quelli più complessi forniscono valori più accurati e possono essere utilizzati, per esempio, quando gli algoritmi di più semplice implementazione prevedono eventuali non conformità, oppure la particolare conformazione del problema non permetta di valutare con sufficiente accuratezza il campo elettromagnetico: Si rimanda alla Guida 211-10 per maggiori dettagli su questo particolare aspetto.

D.1.3.1.2 Dati di ingresso necessari all'algoritmo di valutazione

In considerazione della scarsa presenza di edifici o manufatti, od altri ostacoli verticali in prossimità di stazioni di radiodiffusione, della notevole complessità della loro caratterizzazione, l'ambiente oggetto della previsione può essere considerato in prima approssimazione, e in via generalmente cautelativa, privo di ostacoli verticali. Ogni algoritmo di valutazione ha la necessità di ricevere dati in ingresso per poterli elaborare. Tali dati di ingresso possono essere più o meno ricchi di informazioni a seconda delle modalità di calcolo prescelte.

La gestione e il controllo dell'accuratezza dei dati di ingresso è un processo essenziale per la determinazione corretta dei livelli di campo elettromagnetico. L'accuratezza di alcuni dati di ingresso è funzione delle informazioni che si sono reperite sulle caratteristiche dell'impianto (es. potenza in ingresso all'antenna, posizionamento e puntamento dell'antenna, ecc.) e dell'orografia del terreno circostante (es. latitudine, longitudine, altezza relativa del terreno, ecc.), che possono essere disponibili in forma cartacea o direttamente in formato elettronico.

Affinché la precisione e la risoluzione dei dati di ingresso sia compatibile con la precisione e la risoluzione desiderata per il sistema di previsione, è necessario che tra i dati di ingresso siano compresi:

- diagrammi di radiazione con passo di campionamento non superiore a 2-3 gradi;
- dati d'impianto come specificato nella Guida 211-10;
- coordinate spaziali dei punti per i quali viene valutato il campo elettromagnetico;
- dati orografici con la migliore risoluzione disponibile dalla cartografia locale, per gli algoritmi che tengono conto della propagazione elettromagnetica in relazione alla conformazione orografica del terreno.

Gli algoritmi per la valutazione del campo lontano possono utilizzare il diagramma di irradiazione di ciascuna antenna. Per ottenere una buona accuratezza di previsione, è generalmente preferibile utilizzare i dati di campo irradiato misurati in tutte le direzioni, evitando di ricavare tale diagramma di irradiazione dall'interpolazione dei valori di campo irradiato nel piano verticale e nel piano orizzontale.

Il sistema di previsione utilizzato deve riportare un riferimento chiaro dell'algoritmo implementato, anche in relazione alla letteratura scientifica del settore.

D.1.3.1.3 Tipologia dei dati forniti in uscita dall'algoritmo di valutazione.

Il sistema di previsione deve poter valutare:

- il campo elettromagnetico in un punto o in un insieme di punti definiti in un sistema di riferimento globale, che comprenda anche la stazione emittente;
- il campo elettromagnetico generato da ciascuna delle sorgenti elettromagnetiche presenti nella stazione ed il campo elettromagnetico somma degli effetti di tutte le sorgenti elettromagnetiche (primarie e secondarie);
- il campo elettromagnetico somma di quello generato da tutte le sorgenti elettromagnetiche presenti nella stazione e dei valori di fondo, forniti da misure o da altre valutazioni;
- il volume di rispetto in relazione alle rappresentazioni grafiche esposte nella Guida 211-10.

I dati forniti in uscita dall'algoritmo di valutazione, opportunamente gestiti debbono poter essere rappresentati in modo chiaro ed essere facilmente interpretabili.

È opportuno poter fornire considerazioni sull'organizzazione dei dati di uscita e su come la loro scelta possa influenzare la qualità dei risultati prodotti dal sistema per la previsione dei livelli di campo elettromagnetico nello spazio che circonda un'installazione di radiodiffusione. In particolare, è necessario stabilire a che distanza, nello spazio, due punti adiacenti si debbano trovare al fine di non trascurare valori che potrebbero, in talune situazioni, avere importanza notevole. Il software dovrà quindi gestire i dati di uscita con risoluzione minima pari ad 1 m. Dovrà inoltre essere dichiarata la risoluzione minima adottata per ciascuna delle tre dimensioni.

Quali che siano gli algoritmi implementati, si raccomanda che il produttore del sistema di previsione specifichi attraverso quale forma è stata verificata l'affidabilità dei risultati prodotti in uscita. Predisponendo l'opportuna documentazione potrà specificare, ad esempio, confronti con risultati ed esempi riportati nella letteratura tecnica e scientifica del settore, con eventuali misure, o con rapporti di prova divulgabili.

È necessario, inoltre, che i valori di campo elettromagnetico siano espressi con arrotondamenti alla prima cifra decimale.

L'utilizzo e l'implementazione di algoritmi *di media spaziale ai risultati di uscita*, sulla base delle normative nazionali o internazionali dovranno essere indicati.

L'organizzazione dei dati di uscita in forma grafica sono normalmente ottenuti attraverso particolari algoritmi numerici di interpolazione come ad esempio il *Contour-Plot* o l'*Iso-Surface*. Non essendo tali algoritmi oggetto di specificazione della Guida 211-10 non si forniscono prescrizioni particolari, lasciando al fornitore del software la responsabilità di assicurarne l'affidabilità. Nel seguito si parlerà solo di rappresentazioni grafiche intendendo la visualizzazione di figure realizzabili attraverso tali algoritmi.

D.1.3.1.4 Rappresentazione dei dati di uscita

La presentazione grafica dei risultati di calcolo è un punto fondamentale per la valutazione di un sistema di previsione: essa deve permettere all'utilizzatore finale di interpretare in modo immediato e senza ambiguità ciò che i risultati rappresentano. In particolare, per la simulazione dei livelli di campo elettromagnetico, la rappresentazione grafica deve consentire la verifica della conformità alla normativa in materia di esposizione umana ai campi elettromagnetici. Generalmente la modalità più immediata per la verifica della conformità è basata su valutazioni che hanno come soggetto il volume di rispetto, ovvero la regione dello spazio all'esterno della quale i limiti di legge sono sicuramente rispettati.

Un sistema di previsione dovrebbe consentire una rappresentazione grafica che rientri tra quelle di seguito elencate:

- rappresentazione bidimensionale:
 - linea isocampo su piani orizzontali e verticali, ottenuta unendo tutti i punti ad uno stesso livello di campo elettromagnetico appartenenti ad uno stesso piano;
 - linea isocampo ottenuta come proiezione sugli assi coordinati del volume di rispetto avente un'estensione su 3 dimensioni.
- rappresentazione tridimensionale:
 - volumi di rispetto di una o più antenne rappresentabili attraverso forme geometriche semplificate come esposte nella Guida 211-10 (parallelepipedi, cilindri);
 - volumi di rispetto di una o più antenne rappresentabile attraverso superfici a campo costante;
 - distribuzione 3D del campo in una regione calcolata su tutte le superfici accessibili (superficie + terreno)

I dati di uscita, oltre ad essere presentati in formato grafico, possono essere presentati anche in un formato numerico che, tramite coordinate geografiche (riferite al centro del sistema globale scelto), consenta di individuare il livello di campo relativo al punto in esame. Il calcolo puntuale potrà essere predisposto impostando direttamente le coordinate (x, y, z) del punto scelto o l'area d'indagine (impostando il passo di campionamento), o altre modalità ritenute valide dal costruttore.

Quanto esposto sopra rappresenta un insieme di requisiti minimi relativi ai sistemi di valutazione previsionale del campo elettromagnetico prodotto da stazioni di radiodiffusione; al fine di agevolare la comprensione e l'analisi delle prestazioni del sistema in termini di "qualità" dello stesso, insieme ai risultati ottenuti dovranno essere fornite ad eventuali terze parti tutte le informazioni relative alle scelte adottate. Tali scelte dovranno essere accuratamente descritte (anche in termini di riferimenti alla letteratura scientifica del settore) in un apposito rapporto che il produttore avrà cura di predisporre.

Qui di seguito è riportata una scheda tecnica che può essere presa in considerazione per la predisposizione di questo rapporto.

Tale scheda tecnica potrà essere utilizzata dal produttore del software o dall'ente certificatore per una migliore classificazione del proprio prodotto.

Scheda tecnica

Algoritmo di valutazione	<input type="checkbox"/> Spazio libero – campo lontano				
	<input type="checkbox"/> Spazio libero – campo vicino				
	<input type="checkbox"/> Conformazione orografica – campo lontano				
	<input type="checkbox"/> Conformazione orografica – campo vicino				
Gestione dati di ingresso	<input type="checkbox"/> Modalità di campionamento dei diagrammi di radiazione delle antenne	<input type="checkbox"/> Inferiore o uguale a 2 gradi (specificare: ...)			
	<input type="checkbox"/> Modalità di interpolazione dei diagrammi di radiazione delle antenne	<input type="checkbox"/> Prodotto dei diagrammi di radiazione ¹			
	<input type="checkbox"/> Gestione cartografia digitale/cartacea (se disponibile)	<input type="checkbox"/> Algoritmo presente in letteratura ² (specificare):	Direzione X: Direzione Y: Direzione Z:		
Gestione dati di Uscita	<input type="checkbox"/> Campionamento spaziale	<input type="checkbox"/> Risoluzione minima ≤ di 1 m ³		Direzione X: Direzione Y: Direzione Z:	
	<input type="checkbox"/> Volume di rispetto	<input type="checkbox"/> Rappresentazione 2 D	<input type="checkbox"/> Linea isocampo a Z=cost e X=cost, Y=cost	<input type="checkbox"/> Rappresentazione dei lobi secondari ⁴ :	
			<input type="checkbox"/> Linea isocampo ottenuta come proiezione sui piani coordinati		
	<input type="checkbox"/> Calcolo puntuale	<input type="checkbox"/> Rappresentazione 3 D	<input type="checkbox"/> Volume di rispetto	<input type="checkbox"/> Rappresentazione dei lobi secondari ⁴ :	
			<input type="checkbox"/> Distribuzione sulle superfici		

$$^1 G(\theta, \varphi) = G_{MAX} \cdot G_V(\vartheta) \cdot G_O(\varphi)$$

² Indicare con esattezza, i riferimenti della/e pubblicazione/i da cui è stato tratto l'algoritmo utilizzato.

³ Indicare il campionamento spaziale adottato, specificandolo nelle direzioni degli assi coordinati

⁴ Indicare la soglia di rappresentazione dei lobi secondari (espressa in dB rispetto al guadagno massimo)

Esempi applicativi

In questo capitolo sono proposti alcuni scenari tipici, che possono rappresentare un utile riferimento per la valutazione e l'uso di un sistema di previsione.

Lo scopo della presente appendice è quello di fornire a chi sia richiesto di verificare il funzionamento di un dato software, od allo stesso produttore, alcuni "scenari di riferimento" per verificare l'accuratezza del modello implementato. Sarà a cura del produttore di software fornire i risultati dell'esempio utilizzato, specificando tutti i dettagli relativi alla simulazione affrontata (es. potenza, quote, modello antenne utilizzate, ecc...).

Analisi del livello di campo in presenza di un'unica sorgente: calcolo analitico per zone di campo lontano.

Un primo semplice esempio di sistema di previsione del campo elettromagnetico riguarda il calcolo del campo elettromagnetico e della densità di potenza in aria prodotti da una singola antenna radiante in campo lontano. In questo caso si può scrivere:

a) nello spazio libero

$$S = \frac{P \cdot G}{4 \cdot \pi \cdot R^2}$$

b) sopra un terreno

$$S = \frac{P \cdot G}{\pi \cdot R^2} \quad (\text{D.1.3.1})$$

con:

S = densità di potenza (W/m²)

P = potenza in ingresso in antenna (W)

G = guadagno dell'antenna relativo alla direzione considerata rispetto al radiatore isotropo

R = distanza del punto nel quale si calcola la densità di potenza ed il centro elettrico dell'antenna (m)

La D 1.3.1 è valida nei soli punti in cui i campi si sommano in fase.

In entrambi i casi il corrispondente campo elettrico E (V/m) si ottiene con la seguente formula:

$$E = \sqrt{377 \cdot S} \quad (\text{D.1.3.2})$$

La formula relativa a punti vicini alla superficie del terreno è ottenuta nell'ipotesi di riflessione totale del terreno (supposto quindi conduttore perfetto): in queste condizioni l'effetto del terreno determina un raddoppio del campo elettromagnetico e quindi una quadruplicazione della densità di potenza, rispetto alla situazione di spazio libero.

D.1.3.1.5 Premessa generale (formule e principi di calcolo)

Una sorgente isotropa di potenza P genera una densità di potenza alla distanza d pari a:

$$P_d = \frac{P}{4\pi d^2} \quad [Wm^{-2}]$$

ed il corrispondente campo elettrico sarà:

$$|\vec{E}| = \frac{1}{d} \sqrt{\frac{P \cdot 120 \cdot \pi}{4\pi}} = \frac{1}{d} \sqrt{30P} \quad [Vm^{-1}]$$

Se l'antenna ha un guadagno G rispetto alla sorgente isotropica

$$|\vec{E}| = \sqrt{30PG}$$

Prendendo come riferimento il campo ad 1 Km di distanza, il campo alla generica distanza d sarà:

$$|\vec{E}_d| = \frac{E_{1km}}{d_{[km]}}$$

purché si sia in zona di campo lontano ed in presenza di un terreno perfettamente conduttore e privo di ostacoli significativi.

Per quanto riguarda la componente magnetica essa sarà pari a :

$$|\vec{H}| = \frac{|\vec{E}|}{120\pi}$$

L'applicazione di queste formule per distanze inferiori alla distanza d_F (distanza a cui si passa da near a far field) porta generalmente ad una sovrastima del campo; inoltre a distanze molto prossime all'antenna compare la componente radiale.

L'intensità del campo di antenne di differente altezza alla distanza di 1 Km sono ricavabili dalla tabella e dai grafici seguenti.

Con l'aumentare della distanza, nei casi reali, il valore di campo e.m. decresce più rapidamente rispetto a quello teorico, per cui quest'ultimo valore andrà considerato come valore massimo. In particolare tale fenomeno è tanto più accentuato quanto più è bassa la conducibilità del terreno stesso e quanto più è alta la frequenza.

Valori misurati divergenti in maniera sostanziale da quanto detto sono da attribuirsi alla presenza di ostacoli riflettenti ed al fatto che il rapporto E/H è differente dal valore teorico di $120 \cdot \pi$ (gli ostacoli di tipo urbano tendono ad abbassare questo valore).

Esempi di calcolo

D.1.3.1.6 Esempio 1

Con l'applicazione del metodo di calcolo numerico denominato "metodo dei momenti" si è valutato il campo elettrico e magnetico, sempre rispetto alla potenza di 1 kW, per tre modelli di antenna verticale relativi a tre altezze: rispettivamente $1/4\lambda$, $1/2\lambda$ e $5/8\lambda$.

Il diametro equivalente dell'antenna è stato posto uguale a 90 cm, non si è tenuto conto di eventuali stralli in fune metallica e relativi isolatori di sostegno.

L'alimentazione è stata supposta alla base, i grafici e le relative tabelle sono riportati a scopo indicativo; sempre a scopo indicativo sono riportati i diagrammi della componente radiale del campo elettrico che si ha nelle immediate vicinanze dell'antenna.

Un parametro indicativo per verificare se ci si trova in condizione di campo lontano è il rapporto E_z/H_y che, nello spazio libero in zona di campo lontano, è come noto $120 \cdot \pi$.

Per determinare la distanza minima di campo lontano per strutture radianti complesse è utilizzabile l'espressione:

$$d_F = 2 \frac{D^2}{\lambda}$$

Nell'espressione, $D = 2h$ dove h è l'altezza dell'antenna ed il fattore 2 è dovuto alla presenza dell'antenna immagine sul terreno riflettente.

TABELLA 1

$\lambda/2$; 1kW;

dist. (λ)	Ez [V/m]	Hy [mA/m]	Z (Ω)	dist. (λ)	Ez [V/m]	Hy [mA/m]	Z (Ω)
0,05	23,220779	19,151199	1212,50	0,84	1,861259	5,285761	352,13
0,08	14,35199	12,80421	1120,88	0,87	1,82431	5,166005	353,14
0,10	10,12076	11,01703	918,65	0,89	1,788606	5,050899	354,12
0,13	7,722988	10,47552	737,24	0,92	1,7539	4,940239	355,02
0,15	6,224627	10,25925	606,73	0,94	1,720386	4,833899	355,90
0,18	5,230752	10,11035	517,37	0,97	1,687861	4,731555	356,72
0,20	4,545336	9,957053	456,49	0,99	1,656386	4,633001	357,52
0,23	4,059057	9,783402	414,89	1,02	1,625865	4,538109	358,27
0,26	3,705641	9,589206	386,44	1,05	1,596292	4,446787	358,98
0,28	3,442573	9,378874	367,06	1,07	1,567519	4,358741	359,63
0,31	3,241648	9,157551	353,99	1,10	1,539738	4,273778	360,28
0,33	3,083863	8,929536	345,36	1,12	1,512806	4,191907	360,89
0,36	2,956048	8,698687	339,83	1,15	1,486597	4,112858	361,45
0,38	2,849256	8,467763	336,48	1,17	1,461246	4,036566	362,00
0,41	2,75752	8,239125	334,69	1,20	1,43664	3,96286	362,53
0,43	2,676618	8,014232	333,98	1,22	1,412719	3,891626	363,02
0,46	2,603508	7,794475	334,02	1,25	1,389529	3,822779	363,49
0,48	2,53642	7,580678	334,59	1,28	1,367038	3,756183	363,94
0,51	2,473712	7,373291	335,50	1,30	1,345177	3,691758	364,37
0,54	2,414642	7,172747	336,64	1,33	1,323896	3,629365	364,77
0,56	2,358429	6,979182	337,92	1,35	1,30323	3,568986	365,15
0,59	2,304811	6,792773	339,30	1,38	1,283166	3,510382	365,53
0,61	2,253273	6,613235	340,72	1,40	1,263658	3,453689	365,89
0,64	2,20355	6,44078	342,12	1,43	1,244694	3,398663	366,23
0,66	2,155654	6,274993	343,53	1,45	1,226244	3,34529	366,56
0,69	2,1094	6,115835	344,91	1,48	1,208268	3,293535	366,86
0,71	2,064561	5,963032	346,23	1,51	1,190759	3,243292	367,15
0,74	2,021224	5,816259	347,51	1,53	1,173811	3,194447	367,45
0,77	1,979271	5,675497	348,74	1,56	1,157159	3,147105	367,69
0,79	1,938631	5,540239	349,92	1,58	1,141103	3,10102	367,98
0,82	1,899375	5,410405	351,06				

Grafici relativi alla tabella 1 (le distanze sono in d/λ)

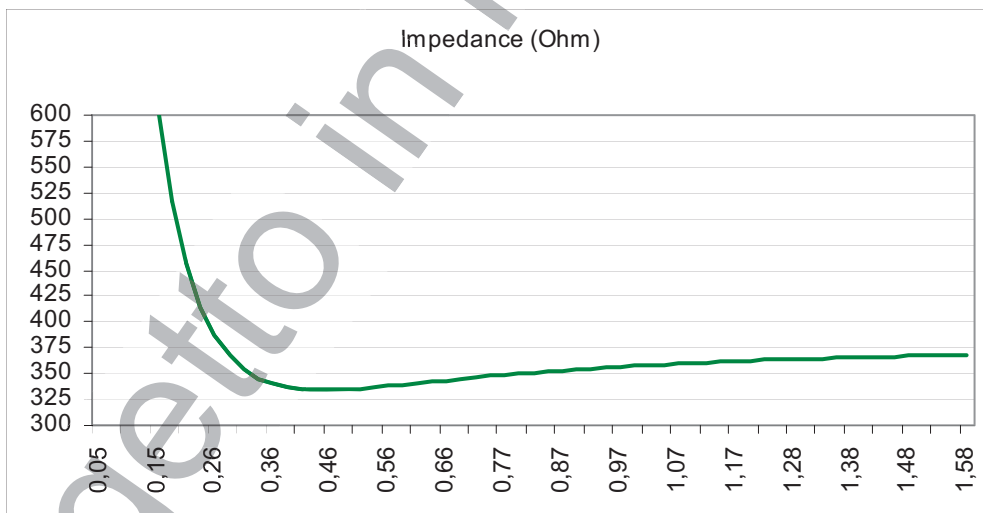
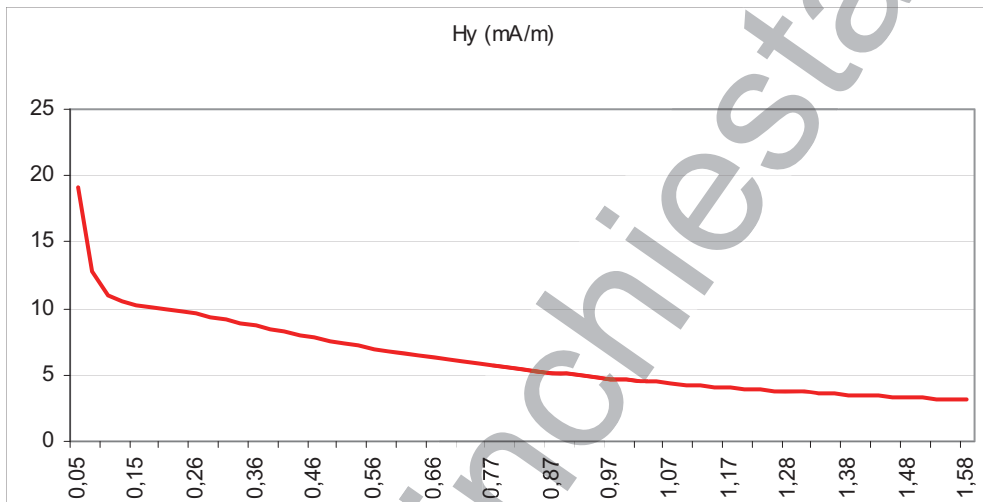
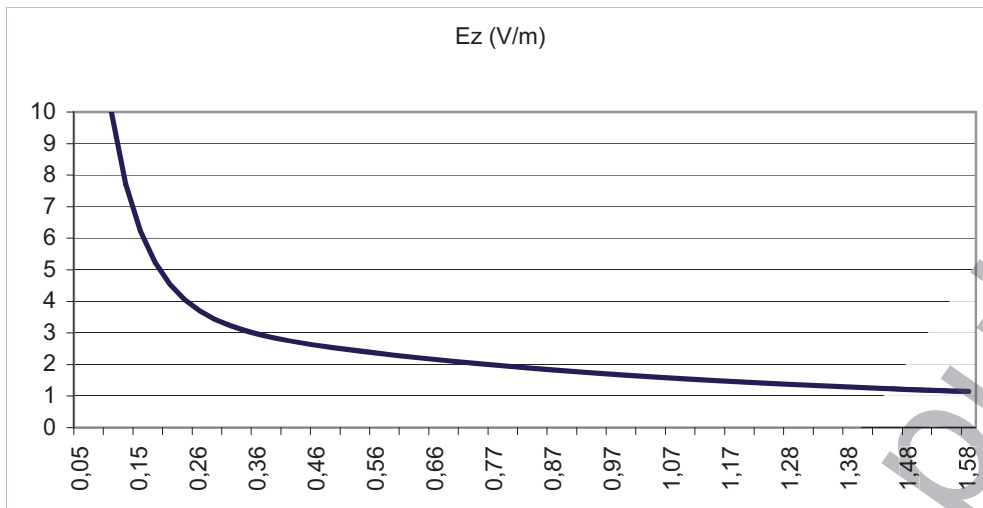


Tabella 2

$\lambda/4$; 1kW;

dist. (λ)	Ez [V/m]	Hy [mA/m]	Z (Ω)	dist. (λ)	Ez [V/m]	Hy [mA/m]	Z (Ω)
0,05	9,64177	79,524707	121,24	0,84	1,828661	5,064343	361,09
0,08	7,594661	53,509449	141,93	0,87	1,779284	4,916057	361,93
0,10	6,650551	40,422609	164,53	0,89	1,732418	4,776138	362,72
0,13	6,080262	32,520978	186,96	0,92	1,687864	4,644058	363,45
0,15	5,663619	27,221999	208,05	0,94	1,645453	4,519052	364,11
0,18	5,320908	23,41552	227,24	0,97	1,605037	4,40053	364,74
0,20	5,020144	20,548048	244,31	0,99	1,566498	4,28815	365,31
0,23	4,747941	18,308128	259,34	1,02	1,529716	4,18132	365,85
0,26	4,497869	16,50929	272,44	1,05	1,494549	4,07966	366,34
0,28	4,266878	15,032829	283,84	1,07	1,460926	3,982859	366,80
0,31	4,05309	13,79907	293,72	1,10	1,428759	3,890529	367,24
0,33	3,855095	12,75211	302,31	1,12	1,397985	3,802334	367,66
0,36	3,671617	11,85319	309,76	1,15	1,368486	3,718161	368,05
0,38	3,50173	11,07317	316,24	1,17	1,340041	3,637499	368,40
0,41	3,344262	10,38854	321,92	1,20	1,312876	3,560341	368,75
0,43	3,198236	9,7839	326,89	1,22	1,286663	3,486372	369,05
0,46	3,06274	9,245785	331,26	1,25	1,261526	3,415426	369,36
0,48	2,936773	8,763644	335,11	1,28	1,237307	3,347328	369,64
0,51	2,819598	8,329252	338,52	1,30	1,213969	3,281897	369,90
0,54	2,710444	7,935887	341,54	1,33	1,191534	3,218943	370,16
0,56	2,608628	7,578033	344,24	1,35	1,169809	3,158351	370,39
0,59	2,51354	7,250967	346,65	1,38	1,148936	3,099975	370,63
0,61	2,424608	6,950905	348,82	1,40	1,12872	3,04374	370,83
0,64	2,341243	6,674676	350,77	1,43	1,109218	2,989496	371,04
0,66	2,263044	6,419644	352,52	1,45	1,090399	2,937132	371,25
0,69	2,189588	6,183269	354,11	1,48	1,072152	2,886654	371,42
0,71	2,120451	5,963699	355,56	1,51	1,054512	2,837803	371,59
0,74	2,055248	5,759202	356,86	1,53	1,037437	2,79059	371,76
0,77	1,993809	5,568181	358,07	1,56	1,020897	2,744923	371,92
0,79	1,935695	5,38951	359,16	1,58	1,004872	2,700804	372,06
0,82	1,880698	5,22189	360,16				

Grafici relativi alla tabella 2 (le distanze sono in d/λ)

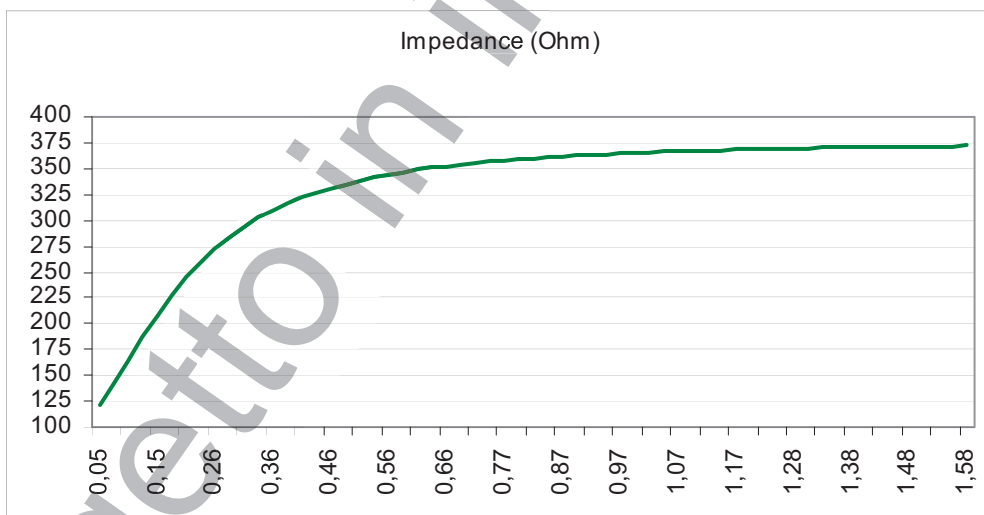
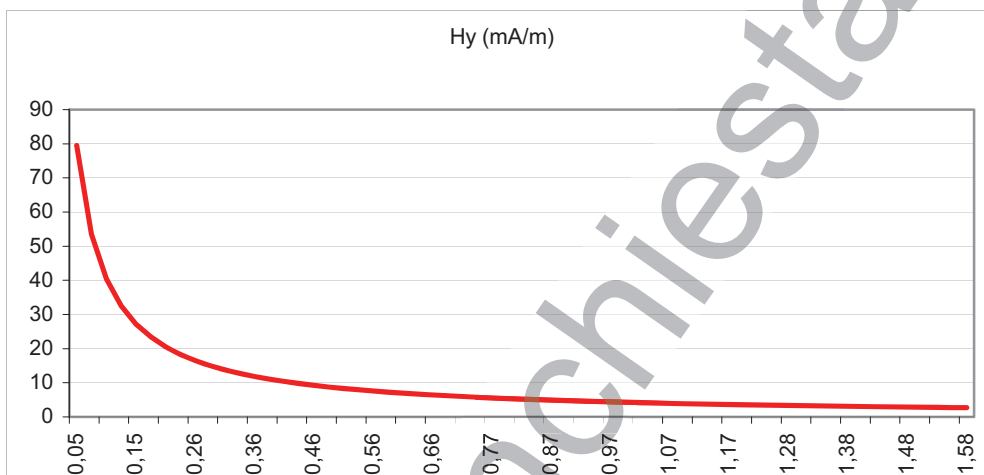
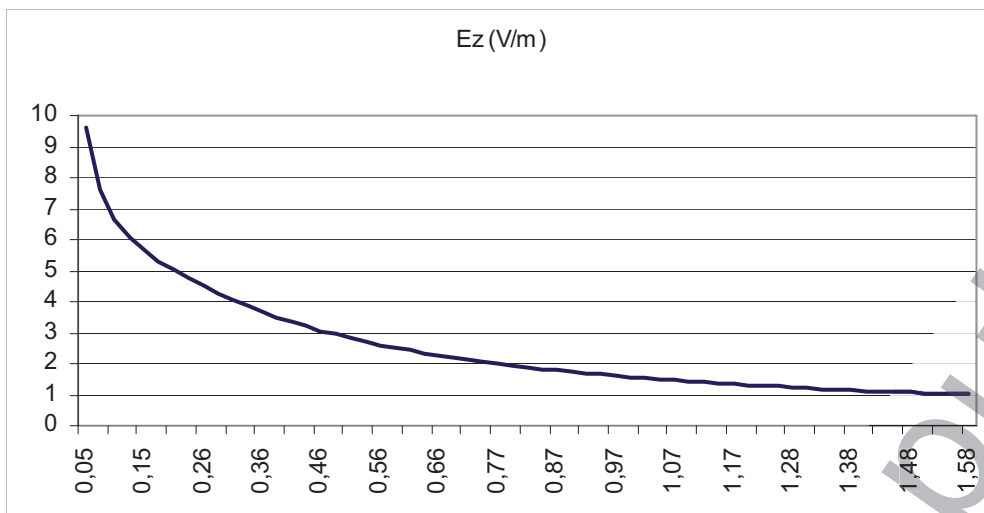
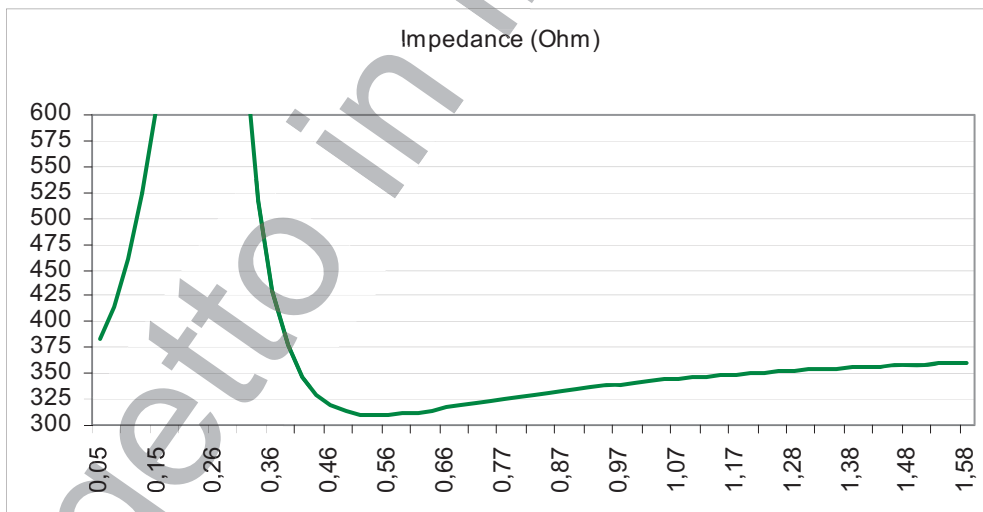
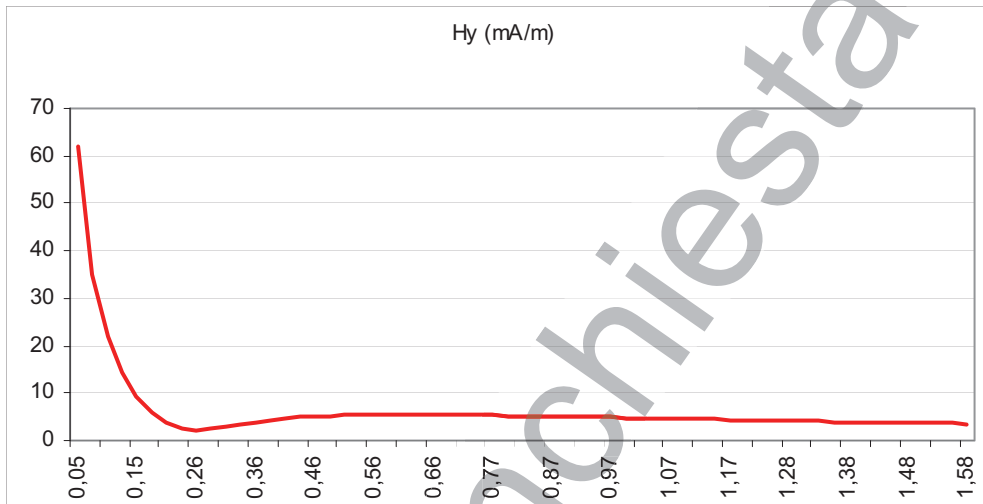
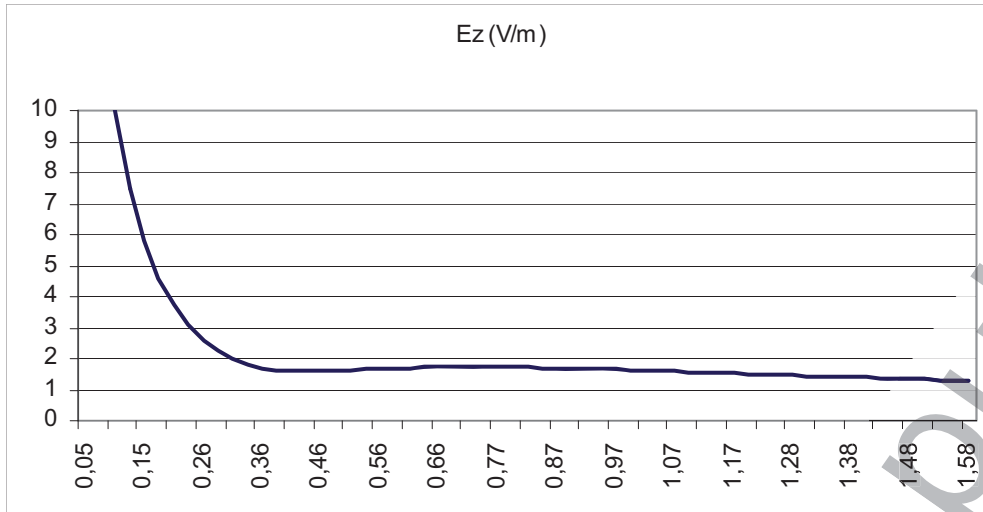


Tabella 3

$\lambda 5/8$; 1kW;

dist. (λ)	Ez [V/m]	Hy [mA/m]	Z (Ω)	dist. (λ)	Ez [V/m]	Hy [mA/m]	Z (Ω)
0,05	23,656771	61,845728	382,51	0,84	1,709108	5,160849	331,17
0,08	14,54194	35,075957	414,58	0,87	1,699526	5,103789	332,99
0,10	10,10157	21,97097	459,77	0,89	1,688862	5,0451	334,75
0,13	7,496696	14,30744	523,97	0,92	1,677192	4,985245	336,43
0,15	5,790847	9,366487	618,25	0,94	1,664629	4,924628	338,02
0,18	4,595309	6,012802	764,25	0,97	1,65126	4,863459	339,52
0,20	3,722738	3,731352	997,69	0,99	1,637389	4,802049	340,98
0,23	3,072881	2,372167	1295,39	1,02	1,622916	4,740694	342,34
0,26	2,587621	2,019849	1281,10	1,05	1,608	4,679565	343,62
0,28	2,2302	2,393226	931,88	1,07	1,592862	4,618622	344,88
0,31	1,9752	2,958178	667,71	1,10	1,577414	4,55828	346,05
0,33	1,802313	3,493379	515,92	1,12	1,561759	4,498588	347,17
0,36	1,693614	3,949468	428,82	1,15	1,545997	4,439415	348,24
0,38	1,632752	4,323939	377,61	1,17	1,530116	4,381135	349,25
0,41	1,60568	4,625497	347,14	1,20	1,514149	4,323497	350,21
0,43	1,600618	4,864616	329,03	1,22	1,498202	4,266816	351,13
0,46	1,609116	5,05134	318,55	1,25	1,482279	4,211059	352,00
0,48	1,624749	5,194345	312,79	1,28	1,466439	4,156149	352,84
0,51	1,643481	5,300825	310,04	1,30	1,450667	4,102128	353,64
0,54	1,662691	5,377059	309,22	1,33	1,434921	4,049188	354,37
0,56	1,68055	5,428069	309,60	1,35	1,419362	3,997088	355,10
0,59	1,696164	5,45801	310,77	1,38	1,403923	3,946027	355,78
0,61	1,709132	5,470573	312,42	1,40	1,38872	3,8959	356,46
0,64	1,719187	5,468762	314,36	1,43	1,37352	3,846666	357,07
0,66	1,726302	5,454875	316,47	1,45	1,3586	3,798408	357,68
0,69	1,730656	5,431016	318,66	1,48	1,343888	3,751116	358,26
0,71	1,732328	5,399108	320,85	1,51	1,32927	3,704756	358,80
0,74	1,731626	5,360405	323,04	1,53	1,314934	3,659248	359,35
0,77	1,728709	5,316342	325,17	1,56	1,300745	3,61468	359,85
0,79	1,723831	5,267766	327,24	1,58	1,286746	3,57099	360,33
0,82	1,717285	5,215683	329,25				

Grafici relativi alla tabella 3 (le distanze sono in d/λ)



Esempio 2 – Un dipolo a mezz'onda operante ad una frequenza in banda VHF con calcolo numerico (MOM) di campo vicino e lontano e con differenti valori della conducibilità del terreno

Parametri Antenna:

Frequenza	100 MHz
Lunghezza d'onda λ	3 m
Potenza irradiata	10 kW
Lunghezza antenna	1,5 (Dipolo a Mezza onda)
Altezza del centro elettrico	50 m
Diametro dell'antenna	0,01 m

Descrizione del terreno	Conducibilità σ [S/m]	Permittività relativa ϵ_r
Città, zone densamente industriali, alte costruzioni.	0,001	5
Pastorale, basse colline, terreni ricchi.	0,01	14
Acqua salata.	5,0	81

L'eccitazione dell'antenna è data da un generatore di tensione posizionato al centro dell'antenna sul 8° elemento di 15 totali in cui è stata suddivisa l'antenna (elementi con una lunghezza compresa tra $\lambda/10$ e $\lambda/20$).

Per quanto detto in precedenza la distanza di campo lontano è a circa 6 m, di conseguenza in corrispondenza del terreno si è sempre in campo lontano.

Per i calcoli numerici (MOM) si è ipotizzato di posizionare l'antenna alta 1,5 m (dipolo a mezza onda), con un raggio di 0,01 m sopra ad un piano ad un'altezza del centro elettrico d'antenna pari a 50 m. Si sono utilizzati un piano perfettamente conduttore e i tre terreni sopra elencati.

E' stato calcolato il campo in corrispondenza del terreno (ossia ad un'altezza di 2 metri sopra di questo) per varie distanze fino a 100 km (le distanze riportate nei grafici sottostanti si riferiscono alla perpendicolare rispetto all'asse del sistema radiante).

Le simulazioni con il metodo dei momenti sono state poi confrontate con i valori ottenuti dalla formula sopra riportata con tre valori del guadagno G dell'antenna e precisamente 1,5 e 1 e 0,41.

Si ottengono i seguenti risultati:

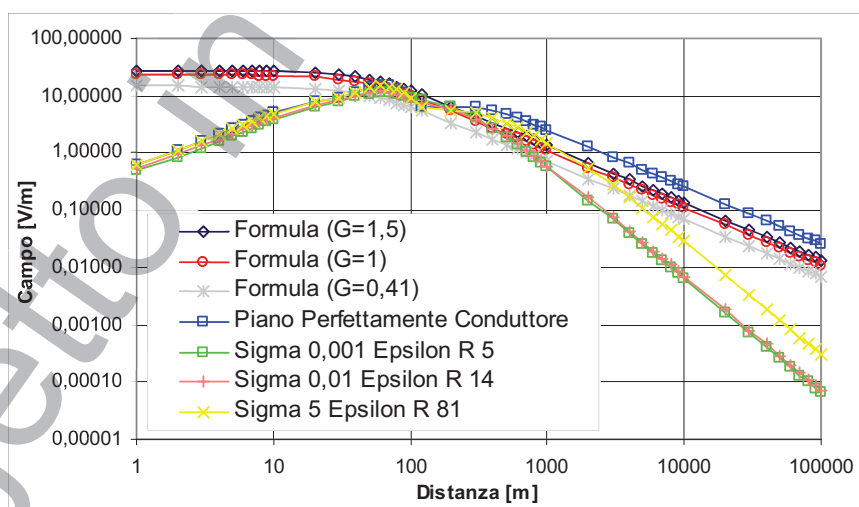


Figura D.1.3.4: Andamento in scala bi-logaritmica del campo in funzione della distanza.

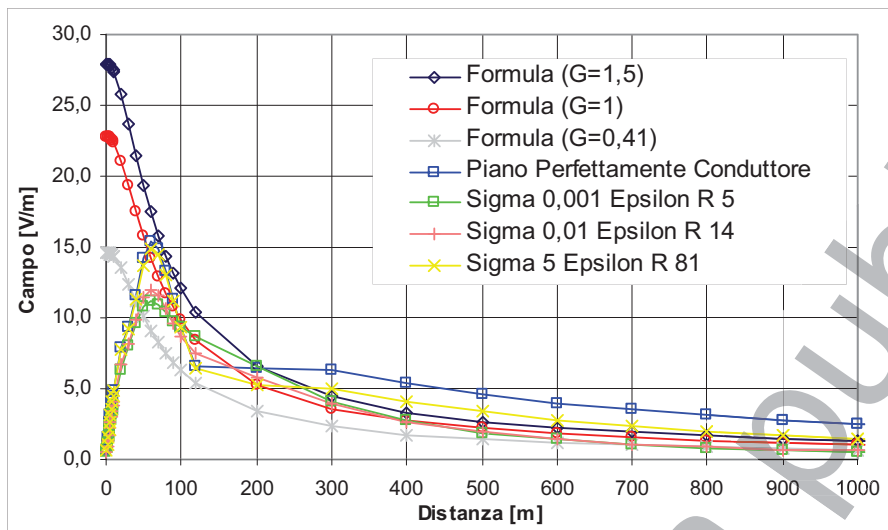


Figura D.1.3.5 Andamento in scala lineare del campo in funzione della distanza nella zona di campo lontano per distanze comprese tra 1 m e 1 km.

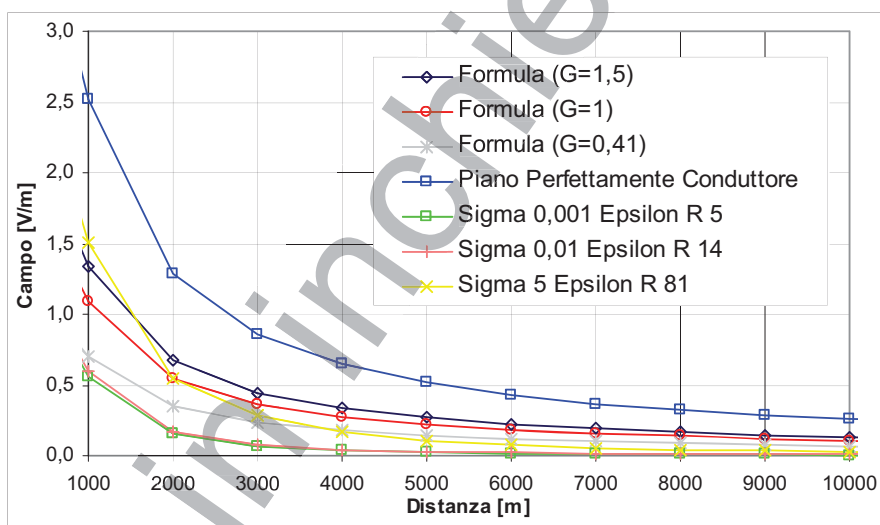


Figura D.1.3.6: Andamento in scala lineare del campo in funzione della distanza nella zona di campo lontano per distanze comprese tra 1 km e 10 km.

D.1.3.3. Esempi di progetto

In sede di progettazione del sistema radiante, è possibile, entro certi limiti, prevedere ed intervenire sulla intensità dei campi in prossimità del traliccio di supporto alle antenne. È possibile ottenere questi risultati, variando sia l'interasse sia la distribuzione delle alimentazioni di ogni singolo elemento.

Di seguito sono riportati alcuni esempi, sia in 2D che in 3D validi solo a condizione che il sistema in esame non sia perturbato dalla presenza di altre antenne :

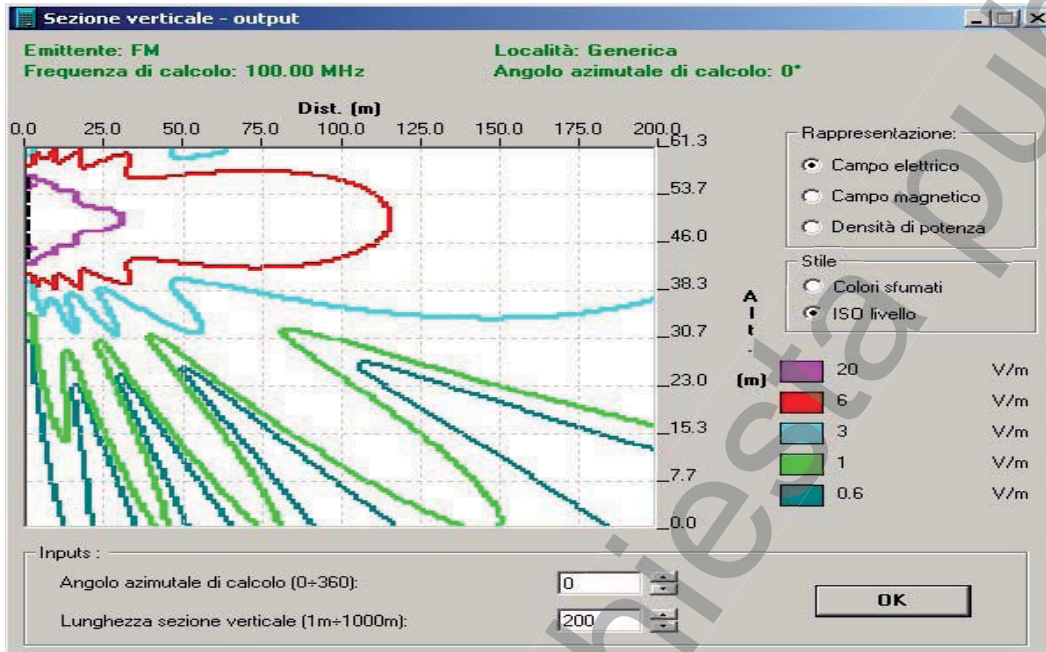


Fig. 1) sistema a 6 dipoli con alimentazione bilanciata ed interasse di $0,76 \lambda$

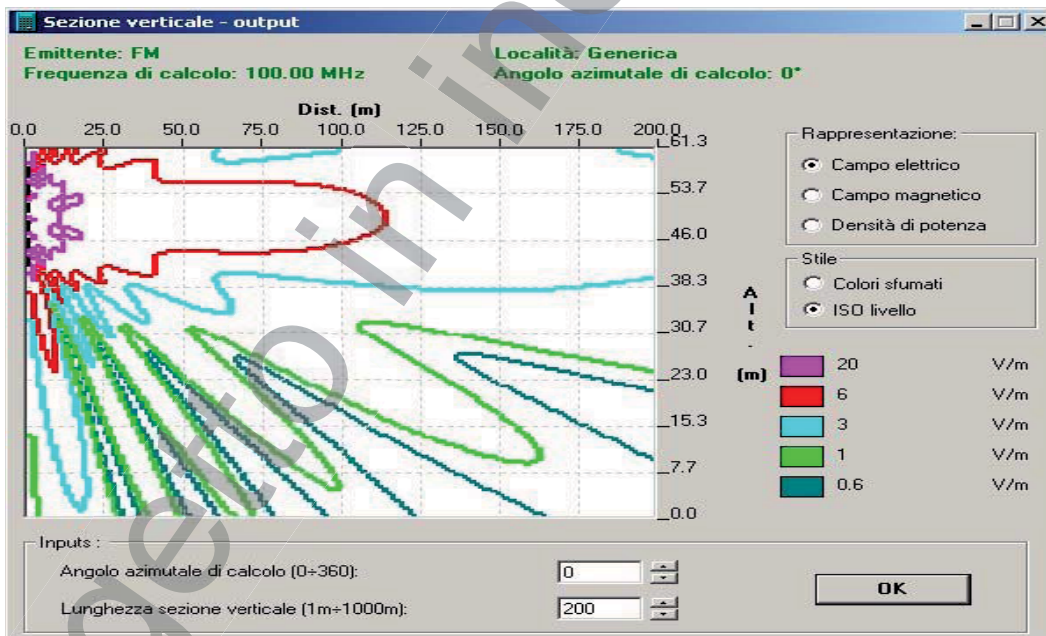


Fig. 2) sistema a 6 dipoli con alimentazione bilanciata ed interasse pari a λ

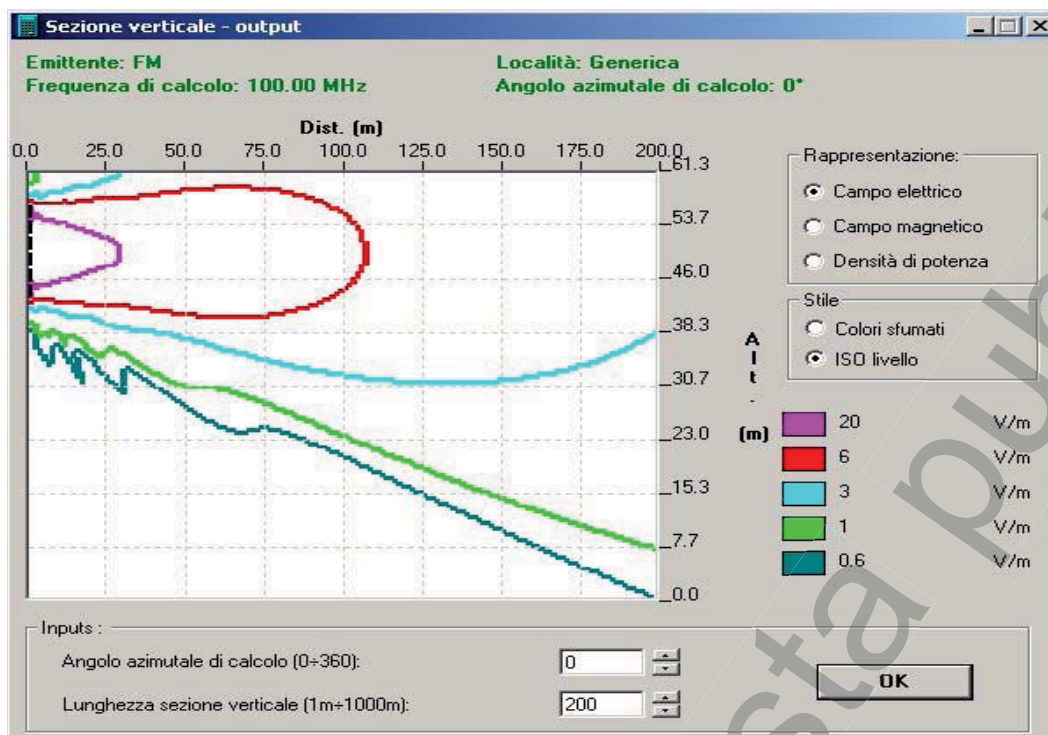


Fig. 3) sistema a 6 dipoli alimentazione sbilanciata ed interasse di $0,76 \lambda$

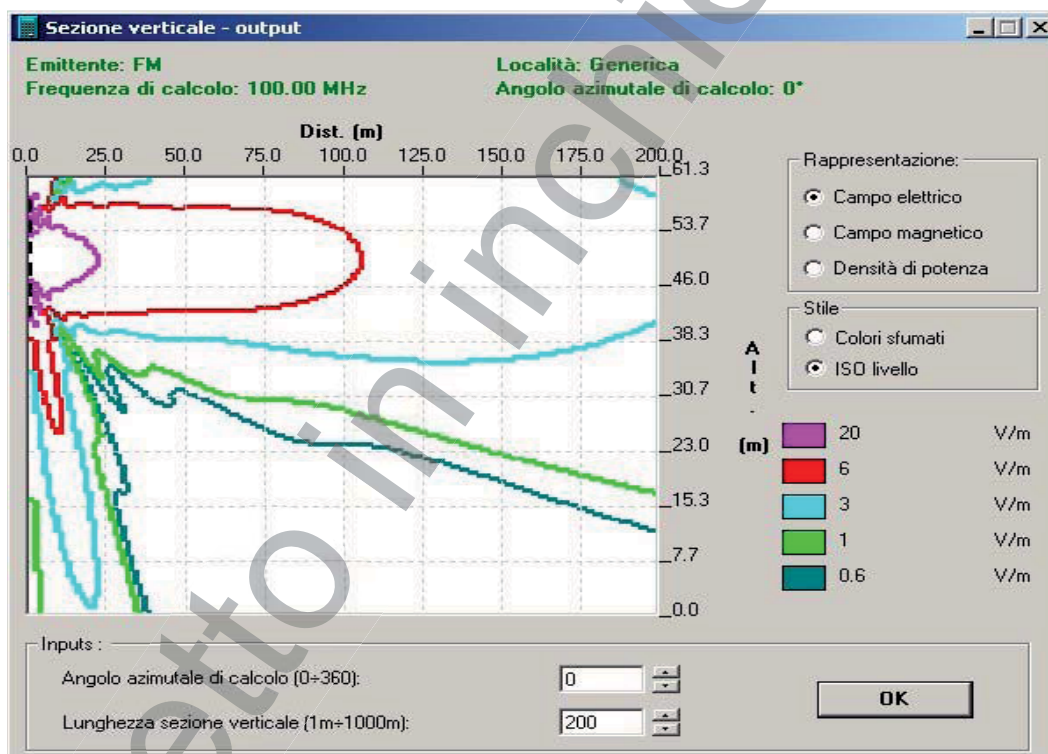


Fig. 4) sistema a 6 dipoli alimentazione sbilanciata ed interasse pari a λ

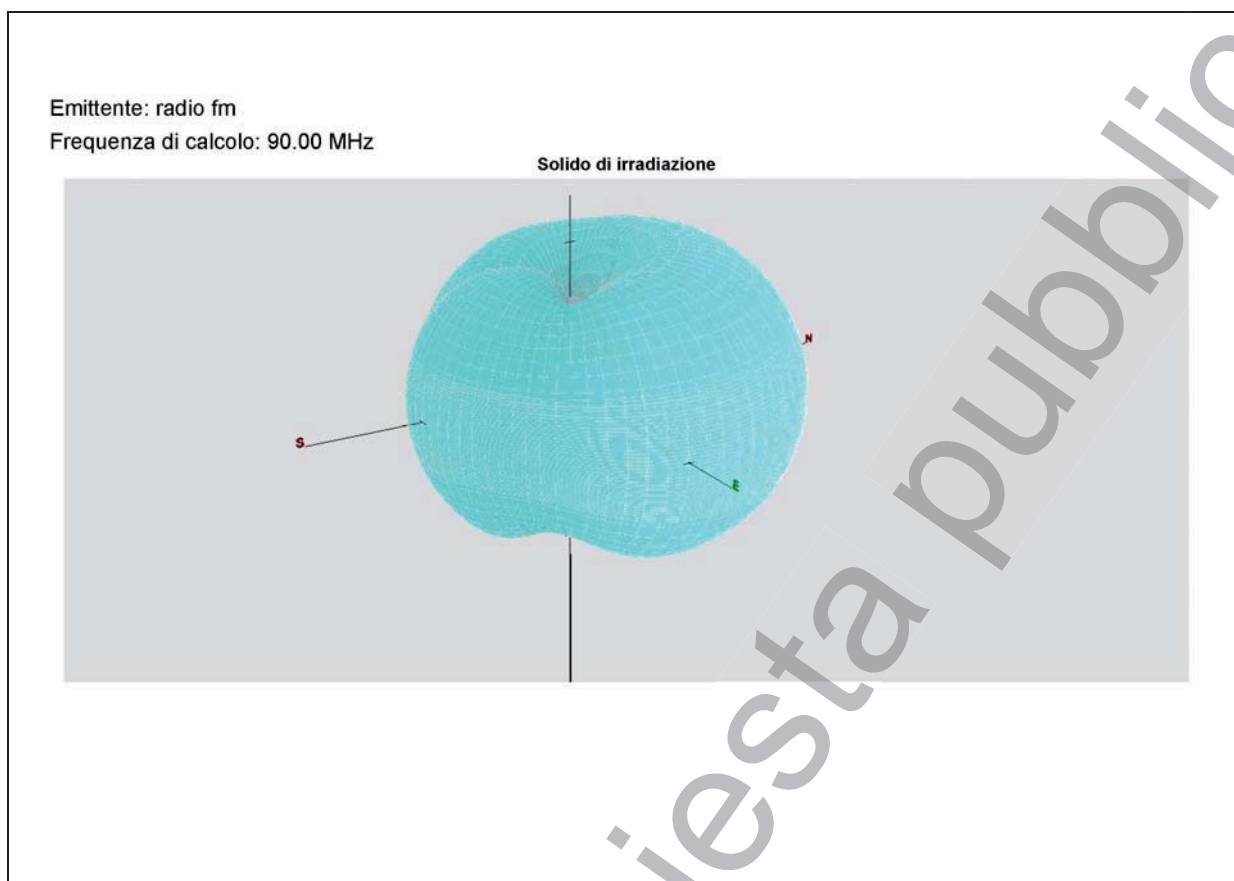


Fig 5 F=90 MHz Antenna dipolo singolo (si nota la presenza del supporto del dipolo)

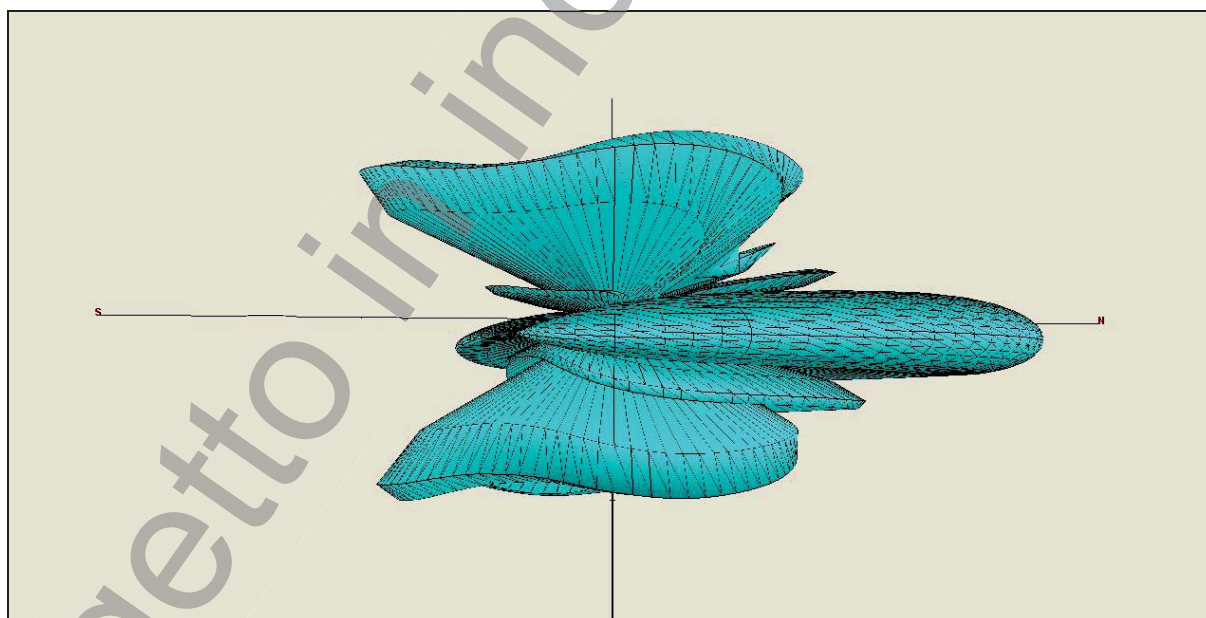


Fig. 6 Freq. 90 MHz Antenna 6 dipoli con alimentazione bilanciata ed interasse pari $0,9 \lambda$

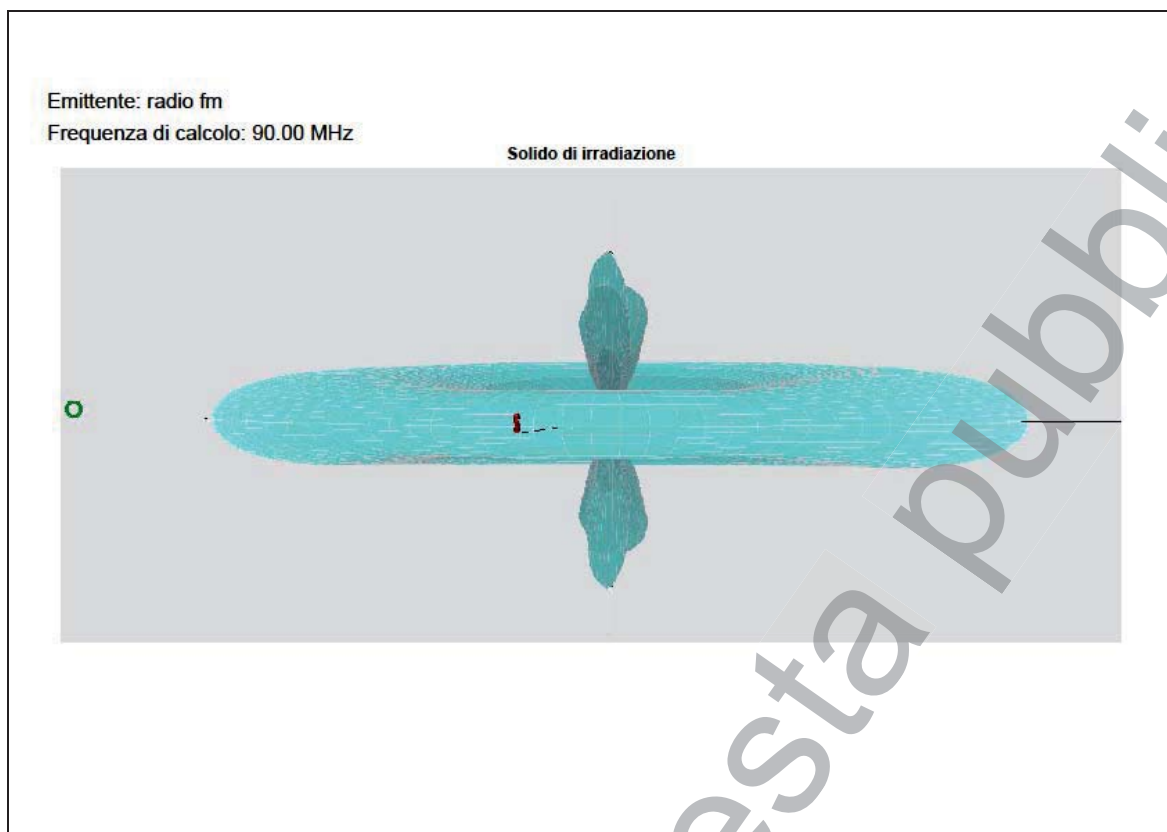


Fig.7 Freq. 90 MHz Antenna 6 dipoli alimentazione sbilanciata ed interasse pari $0,9 \lambda$

Riferimenti

- [1] R. Scotti, D. Forigo, P. Gianola, R. Vallauri, "Measurements and Numerical Evaluation of the Electric Field in the Near-Zone of Radio Base Station Antennas", IEEE Antenna and Propagation International Symposium 2001, Boston, MA, July 2001.
- [2] F. Gil, A. R. Claro, J. M. Ferreira, C. Pardelinha and L. M. Correia, "A 3D Interpolation Method for Base Station Antennas' Radiation Patterns" – Published in IEEE Antennas and Propagation Magazine, Vol. 43, No. 2, Apr. 2001, pp. 132-137.
- [3] L. Ruffilli, S. D'Elia, A. Barabino, "Ray Tracing calculation of RF emissions from a Mobile Radio Base Station in a typical urban environment for the assessment of human exposure", EM

Parte 1

Sezione 4

D.1.4 La misura dei campi elettromagnetici generati dalle sorgenti di radiodiffusione

Questa sezione presenta le problematiche generali della misura dei campi prodotti dagli impianti di teleradiodiffusione, rimandando alle Parti 2 e 3 per le specificità di misura relative rispettivamente alla radiodiffusione analogica e digitale.

Parametri significativi dal punto di vista protezionistico in relazione alla legislazione vigente

Nella legislazione italiana vigente applicabile alla radiodiffusione [1], [2] sono definiti livelli di:

- esposizione
- valori di attenzione
- obiettivi di qualità

I livelli si intendono in termini di valori efficaci di campo elettrico, magnetico e di densità di potenza, mediati su un'area equivalente alla sezione verticale del corpo umano e su qualsiasi intervallo di sei minuti. Le medie di intensità di campo elettrico e magnetico vanno intese come medie quadratiche.

Ai fini della verifica della conformità ai livelli di esposizione, ai valori di attenzione, agli obiettivi di qualità, la valutazione del campo può avvenire mediante misure o calcoli.

È necessario determinare, sia con misure sia con calcoli, il livello massimo di campo al quale una persona può essere esposta, tenendo conto di tutti gli impianti presenti nel sito.

Le misure ed i calcoli devono essere espletati con gli impianti in condizioni operative normali. Per condizioni normali si intendono quelle di concessione ministeriale ovvero di autorizzazione ARPA.

La scelta della grandezza (campo elettrico o campo magnetico) da valutare dipende dalla sorgente e dal punto in cui si effettuano le misure (vedi sezione 2). Nel caso di impianti di teleradiodiffusione, i valori di campo di interesse sono quasi sempre nelle zone di campo vicino radiativo, caratterizzato da forti discontinuità spaziali. L'individuazione delle posizioni di massima esposizione si trovano effettuando una scansione dell'area, con un passo confrontabile con la lunghezza d'onda più piccola tra quelle emesse dalle sorgenti presenti nel sito, con particolare attenzione a tutte le zone più frequentate dalle persone nelle normali condizioni di funzionamento degli impianti.

Valutazioni

Le valutazioni modellistiche nelle aree di interesse devono essere effettuate con algoritmi che considerino la sovrapposizione in fase dei contributi dovuti ai singoli elementi radianti di un impianto e che effettuano la somma quadratica dei contributi dovuti ai tutti gli impianti presenti.

La risoluzione spaziale deve essere confrontabile con la lunghezza d'onda più piccola per avere la certezza della ricostruzione dei valori massimi attesi nell'area di analisi.

Individuata la posizione di massima esposizione si esegue la media quadratica dei valori di campo su di un'area equivalente alla sezione verticale del corpo umano. A tale scopo, è necessario effettuare le misure a tre quote diverse come riportato sulla guida CEI 211-7. La media spaziale, secondo la legislazione vigente, è obbligatoria per l'attestazione della conformità, ovvero della non conformità. Ciò vale con particolare riferimento alle misure selettive. La Guida CEI 211-7 fornisce esclusivamente un criterio per l'effettuazione della media spaziale. Analogamente, tramite valutazioni modellistiche, per i punti critici individuati sulla base della distribuzione di campo elettromagnetico, è necessario calcolare il campo in più punti al fine di meglio descriverne la criticità.

Per ogni valutazione puntuale è necessario eseguire la media temporale per intervalli di 6 minuti, salvo nei casi previsti dalla CEI 211-7 dove la media temporale può essere ridotta nel tempo come nei casi in cui le variazioni temporali dell'intensità di campo nel breve periodo siano trascurabili (es. emissioni FM).

Durante le valutazioni, gli impianti, come detto in precedenza, devono essere attivi nelle condizioni massime consentite dalla licenza/concessione di esercizio. In mancanza, i risultati devono essere ricondotti alle condizioni massime di esercizio consentite mediante calcoli.

Nel caso di segnali modulati in ampiezza, la valutazione del livello efficace va fatta come riportato nella Racc. ITU-R SM 326.

In tutti i casi NON deve essere mai utilizzata la funzione MAX HOLD.

Strumentazione, modalità e incertezza di misura

Per quanto riguarda la strumentazione di misura, le modalità di esecuzione delle stesse, e la precisione ad essa associate valgono le prescrizioni generali della Guida CEI 211-7 e le prescrizioni specifiche per i vari tipi di impianto riportate nelle Parti 2 e 3 della presente Appendice.

Si ritiene opportuno comunque meglio precisare in questo paragrafo, rispetto a quanto contenuto nella Guida CEI 211-7 alcuni aspetti che risultano di estrema importanza per le misure dei campi elettromagnetici prodotti dagli impianti di radiodiffusione, in particolare l'isotropicità e la risposta ai segnali dei sensori, le modalità di misura in situazioni complesse con presenza di riflessione e diffrazione del segnale e punti singolari.

D.1.4.1.1. I sensori: isotropicità e risposta ai segnali

Si ritiene opportuno richiamare le seguenti definizioni, relative all'isotropicità:

Isotropicità: caratteristica del sensore che misura, senza variazione di livello, il campo elettromagnetico di riferimento indipendentemente dall'angolo di provenienza e dalla sua polarizzazione.

Simmetria assiale (detta anche impropriamente **isotropicità assiale**): caratteristica del sensore ottenuta ruotando lo stesso sul suo asse principale ed esposto al campo di riferimento in modo che quest'ultimo sia perpendicolare all'asse di rotazione.

Isotropicità emisferica: caratteristica del sensore ottenuta ruotando il medesimo lungo il suo asse principale, variando l'angolo d'incidenza dell'onda di riferimento rispetto l'asse del sensore nell'emisfero anteriore.

Per analizzare i sensori **rispetto alla caratteristica di isotropicità**, si osserva che sono disponibili sul mercato le seguenti categorie:

- 1) con risposta a largo spettro e con rivelatore di involuppo incorporato (banda larga);
- 2) con risposta a largo spettro senza rivelazione e quindi adatti a misure selettive (banda stretta);
- 3) sintonizzabili o con caratteristiche di risposta variabili con la frequenza e senza rivelazione, adatti per misure selettive (banda stretta).

Con riferimento a tali categorie, si può osservare:

- I sensori descritti al punto 1): di norma sono costituiti da un involucro che contiene gli elementi captanti opportunamente orientati nello spazio; questo è supportato da un'asta che serve anche da connessione allo strumento di elaborazione e presentazione. **La presenza dell'asta di supporto può danneggiare in modo sensibile la risposta isotropica.** Il loro utilizzo è molto **critico** in quanto deve tenere conto della provenienza e della polarizzazione dell'onda incidente, in **"open site"** dove sono presenti molte sorgenti con polarizzazioni non uniformi. Esistono anche sensori costruiti con tecnologie più recenti, privi dell'asta di supporto, che non presentano gli inconvenienti descritti.
- I sensori descritti ai punti 2) e 3): possono essere **triassiali o monoassiali**: i primi normalmente sono tarati dal costruttore al fine di ottenere una risposta isotropica, i secondi devono essere necessariamente posizionati nei tre assi dello spazio dall'utilizzatore. Il **diagramma d'irradiazione** dei sensori monoassiali deve essere tale da **ricostruire il solido sferico**.

Si rammenta che **solo il dipolo hertziano** con funzione del **diagramma d'irradiazione pari a \cos^2** e **guadagno di 1,76 dBi** può ricostruire il solido d'irradiazione sferico; **il dipolo $\lambda/2$** con un **guadagno di 2,15 dBi** può costituire una **alternativa accettabile**.

D.1.4.1.2 La complessità delle situazioni reali: riflessioni, diffrazioni e punti singolari

Quando si effettuano misure di campo elettromagnetico, è necessario conoscere le caratteristiche dell'impianto e tutti gli elementi che possono contribuire alla scelta ottimale del banco di misura e della metodologia da applicare (es. frequenza, tipo di antenna, potenza, ecc) allo scopo di minimizzare errori ed incertezze. (vedere anche la Norma CEI EN 60359 "Apparecchi di misura elettrici ed elettronici – Espressione delle prestazioni")

Di grande interesse sono quindi le informazioni riguardanti le caratteristiche della sorgente (o nella maggior parte dei casi delle sorgenti) e dell'area circostante l'impianto.

La conoscenza delle sorgenti presenti e delle relative condizioni al contorno, permette di compiere degli studi predittivi mirati che consentono di avere un'idea concreta delle aree interessate dai campi elettromagnetici irradiati.

Le informazioni sui luoghi consentono altresì di scegliere in modo ottimo le posizioni di misura.

In presenza di più sorgenti su bande diverse, è conveniente analizzare i livelli dividendoli per banda ed eseguendo misure fino al completo monitoraggio delle bande di frequenza presenti.

Per garantire l'affidabilità e la ripetibilità delle misure, è necessario che le stesse siano effettuate in condizioni il più vicino possibile a quelle di campo imperturbato, evitando punti eccessivamente prossimi a strutture realizzate con materiali non trasparenti alla radiofrequenza, che con la loro presenza, determinano discontinuità di campo generando i "punti caldi".

In questo caso bisogna prestare attenzione al fenomeno dell'interferenza (cfr. CEI 211-7).

Tale fenomeno è prodotto da oggetti conduttori (ad esempio la ringhiera metallica dei balconi), ed è possibile il verificarsi, peraltro indesiderato, dell'accoppiamento fra sonda e corpi conduttori (cfr. CEI 211-7) con conseguente malfunzionamento del sensore (alterazione del fattore d'antenna).

È indispensabile quindi una verifica del sistema di misura secondo i dettami della Guida CEI 211-7.

Per quanto detto, i sensori e le antenne devono essere sempre fatti funzionare in condizioni di campo imperturbato e il più vicino possibile alle condizioni di taratura (onda piana) in modo da permettere una misura valida, ripetibile e con bassa incertezza.

Le variabili che nella maggior parte dei casi influenzano i rilievi sono le dimensioni fisiche dell'antenna (o sensore), le dimensioni dell'oggetto perturbante, la posizione di quest'ultimo rispetto al punto di controllo (ad esempio può risultare interposto tra il punto trasmittente e quello ricevente) e la lunghezza d'onda (così come definito nella Guida CEI 221-7).

A supporto di quanto detto, sulla norma CEI 211-7 (paragrafo "Valutazioni preliminari") è indicato che prima di procedere ai rilievi, è fondamentale acquisire informazioni relative alle sorgenti ed alle condizioni al contorno: *"la distanza tra la sorgente ed il punto oggetto d'indagine, rapportata alla lunghezza d'onda del segnale emesso dalla sorgente stessa"* e *"le caratteristiche dell'area tra la sorgente e il punto di misura e in particolare la presenza di oggetti assorbenti, diffrangenti o riflettenti che possono contribuire alla distorsione del campo"*; l'analisi di tali aree permette di evidenziare e prevedere effetti di riflessione, diffrazione o risonanza su strutture secondarie quali tralicci, tubature, recinzioni metalliche, che, per una *"loro cattiva messa a terra, possono generare punti caldi nei quali il valore dei campi può essere anche piuttosto elevato"*.

Pertanto se nel corso delle misure di esposizione sulla superficie equivalente al corpo umano a tre quote, troviamo che alla quota 1.1 mt è presente un oggetto perturbante, (es una ringhiera metallica) diventa importante non considerare un rilievo a quell'altezza, motivando la scelta secondo quanto sin qui riferito.

È opportuno quindi porre sonda o antenna ricevente ad una distanza dall'oggetto perturbante di almeno 4 o 5 volte la dimensione del sensore stesso; in questo modo non si ha la certezza di aver eliminato la fonte d'imprecisione, ma si è minimizzato l'effetto dell'elemento perturbante sulla misura.

Il risultato della misura eseguita con le precauzioni descritte, deve essere inteso come campo effettivamente presente nel punto se si potesse misurarlo con un sensore non sensibile a questi fenomeni.

Nel caso sia veramente difficile eseguire rilievi a causa della criticità dei punti, una buona scelta può essere quella di compiere un numero elevato di punti di misura, in modo da caratterizzare il luogo e da ottenere un risultato complessivo il più vicino possibile alla situazione reale.

In tale modo sarà possibile individuare i "punti di singolarità", dei quali bisogna tenerne conto, ma che non vanno utilizzati per definire la rispondenza dei livelli misurati ai limiti di legge.

La scelta dei punti e la metodologia di misura dovrà in ogni caso essere sempre motivata.

Considerando quanto sopra esposto sarà possibile eseguire le valutazioni prefissate sempre considerando i dettami della Guida CEI 211-7.

D.1.4.1.3 Incertezza di misura

Le prescrizioni contenute nella Guida 211-7, riguardanti:

- la taratura degli strumenti di misura
- fattori influenzanti l'incertezza di misura
- il livello di incertezza ammesso per la catena strumentale e la metodologia utilizzati per la verifica di conformità ai limiti di riferimento

non richiedono particolari precisazioni e aggiunte specifiche per gli impianti di radiodiffusione, già trattati nella Guida.

Giova, in ogni caso sottolineare che, oltre alle prescrizioni della Guida 211-7 e di questa Appendice, bisogna tener conto, ai fini della valutazione dell'incertezza e della sua espressione nel rapporto di misura, della Norma UNI CEI 9 (1997): "Guida all'espressione dell'incertezza di misura" e della Norma CEI EN 60359 "Apparecchi di misura elettrici ed elettronici – Espressione delle prestazioni".