

modalità di funzionamento della catena di apparati che permettono l'irradiazione di energia elettromagnetica da parte delle antenne. L'adeguatezza non è un parametro univoco, ma generalmente dipende da svariati fattori, alcuni immediatamente intuibili, quali la frequenza o la tecnica di trattamento del segnale, ed altri meno evidenti ma non meno rilevanti, quali il livello di maturità della tecnica di progettazione e/o del settore tecnologico cui afferiscono gli apparati e le antenne.

I dati raccolti nel catasto hanno una funzione di consolidamento dell'informazione sulle sorgenti elettromagnetiche a livello nazionale al fine di consentire la valorizzazione del bene pubblico che nel caso in questione è lo spettro radioelettrico. Proprio per questa loro funzione la struttura dei dati catastali deve garantire l'interfacciamento semplice tra chi gestisce lo spettro (Ministero delle Comunicazioni) e chi ne usufruisce irradiando potenza (Gestori di concessioni governative per la radio-diffusione, di ponti radio privati o pubblici, di concessioni per la telefonia mobile). Per questa ragione, in funzione dei diversi ambiti tecnologici e dei diversi impieghi delle sorgenti elettromagnetiche, il catasto contiene dati adeguati alla caratterizzazione della sorgente in funzione della tipologia di impiego e le diverse tipologie definiscono classi di dati fortemente disomogenei tra di loro.

Un classico e semplice esempio è dato dall'unità di misura della potenza: in funzione della tipologia di impiego: l'unità di misura può essere richiesta in scala lineare o logaritmica (normalizzata eventualmente a diversi livelli, milliwatt, watt o chilowatt); riferita al connettore d'antenna o alla direzione di massimo irraggiamento dell'antenna; fornita assieme a parametri antennistici che permettono di individuare la distribuzione spaziale dell'energia o meno, ecc.

Data questa premessa relativa al quadro disomogeneo dell'informazione disponibile e in virtù dello scopo cui si presume sia destinata l'integrazione dei dati con il supporto tecnologico del Ministero dell'Ambiente, è stata individuata la necessità di definire gli elementi sintetici primari a seguito di una "normalizzazione" delle caratteristiche contenute nei diversi catasti. Il termine normalizzazione intende la riduzione a fattori comuni delle classi di dati disponibili.

In base alle considerazioni sin qui elencate ed in funzione della possibilità di poter associare degli elementi di modellistica alla rappresentazione cartografica delle informazioni catastali, è sembrato opportuno considerare come elementi sintetici primari:

- l'indicazione toponomastica;
- la frequenza operativa degli impianti;
- la potenza (in unità di misura lineari) al connettore di antenna;
- il guadagno nella direzione di massima direttività dell'antenna;

- gli angoli (elevazione ed azimuth) della direzione di massima direttività.

Questa analisi preliminare non preclude la possibilità che, in seguito ad un ulteriore approfondimento congiunto, possano essere individuati altri elementi che si ritenga possano essere ulteriormente descrittivi delle sorgenti.

In ragione della semplicità degli elementi sintetici primari, si è ritenuto opportuno pensare ad un modello di rappresentazione su cartografia che riportasse la tipologia di sorgente, affiancata da un'indicazione testuale del toponimo e dagli altri elementi sintetici che apparissero a richiesta dell'utente a seguito di un'interazione con il sistema di rappresentazione.

Da questa scelta di rappresentazione dovrebbe derivare un beneficio di interazione intuitiva con gli elementi rappresentati, consentendo, ad esempio, di percepire visivamente le situazioni di maggiore concentrazione in funzione della tipologia di sorgente; o anche di leggere i toponimi più frequenti. In particolare si ritiene che quest'ultimo elemento possa costituire un dato di sintesi utile per schematizzare in modo rapido le distribuzioni territoriali di sorgenti (raggruppamento e conteggio per toponimo) poiché questa pare un'opportunità spesso trascurata in fase di prevenzione.

Modello applicativo di rappresentazione delle informazioni catastali basato su servizio web geografico

Caratteristiche generali del sistema

La scelta di adottare un approccio che fa riferimento all'utilizzo di un servizio web geografico consente ad un utente generico, che abbia a disposizione una connessione Internet, di verificare, con un dettaglio molto fine, l'eventuale presenza di impianti di diffusione radiotelevisiva, di ponti radio, di stazioni radio base per la telefonia mobile e di centraline di monitoraggio dei livelli del campo elettromagnetico in qualunque zona del territorio italiano e di conoscere il livello stimato di campo elettromagnetico in quell'area.

Per specificare la zona di interesse, l'utente ha a disposizione due modalità:

immettere un indirizzo (città, via, numero civico) ottenendo in risposta una mappa stradale zoomabile centrata attorno all'indirizzo specificato;

selezionare interattivamente su una mappa zoomabile dell'Italia una zona circoscritta fino al dettaglio stradale.

Architettura funzionale

L'architettura del sistema, illustrata in Fig. 5 è a tre strati. Ad una estremità c'è il Web browser di utente, per inviare la richiesta, visualizzare la risposta ed interagire con essa. All'altra estremità si

trova il Web server geografico, che restituisce una mappa centrata attorno ad un indirizzo specificato dall'utente o selezionata interattivamente in modo grafico. In mezzo il Web server applicativo, che trasferisce le informazioni relative alle sorgenti radio, alle centraline di monitoraggio e al campo elettromagnetico sulle mappe restituite dal server geografico e gestisce l'intero colloquio fra utente e server geografico.

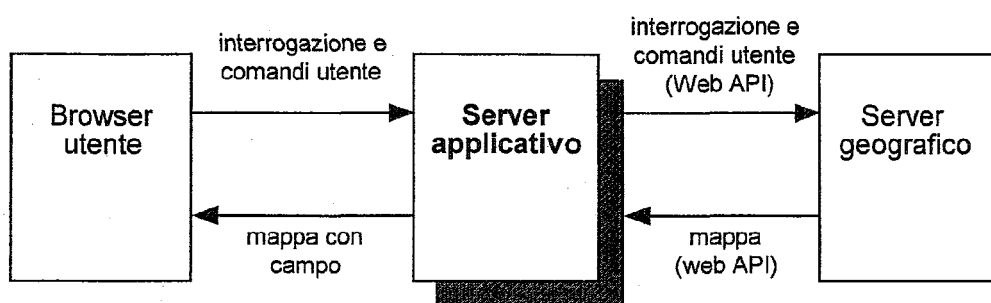


Fig. 5 - Architettura del sistema basato su servizio Web geografico

In pratica il flusso dei dati è il seguente. L'utente si collega col server applicativo, il quale gli chiede di specificare la zona di interesse, digitando un indirizzo oppure agendo con comandi "recenter" e "zoom" su una mappa dell'Italia. Il server applicativo inoltra la richiesta al server geografico e ne scarica la risposta, utilizzando le API (Application Programming Interface) del server geografico. La risposta viene esaminata. Nel caso di ricerca tramite indirizzo, qualora siano presenti ambiguità nella risoluzione, viene chiesto all'utente di specificare un indirizzo fra i candidati forniti dal server geografico. Una volta individuato l'indirizzo in maniera univoca, si passa alla fase di *mappatura* delle informazioni di natura elettromagnetica sul risultato restituito dal server geografico.

Questa è la funzione principale del server applicativo, che è stato precedentemente caricato con i dati relativi alle impianti e alle centraline da visualizzare (essenzialmente caratteristiche e coordinate), e con le stime di campo associate alle sorgenti (espresse come un insieme di valori del campo elettromagnetico in un intorno dell'impianto). Il primo passo della mappatura consiste nell'individuare gli impianti e le centraline che afferiscono alla mappa geografica corrente. A questo punto si "incollano" sulla mappa corrente le icone delle centraline afferenti e per ciascun impianto vengono fisicamente disegnati sulla mappa corrente i punti con le stime di campo, utilizzando accorgimenti grafici che consentono di avere un effetto trasparenza sulla mappa sottostante. È possibile rendersi conto dell'effetto complessivo di questa operazione osservando un esempio di sessione interattiva fra utente e sistema, realizzato attraverso l'uso del sistema *Google Earth* e riportato nelle figure della successiva sezione.

Una volta trasmessa al browser d'utente la mappa arricchita con le informazioni di natura elettromagnetica, l'utente ha a propria disposizione i normali comandi di "recenter" e "zoom", l'esecuzione dei quali comporterà una nuova richiesta al server geografico e la conseguente mappatura da parte del server applicativo.

Se l'utente sta effettuando una ricerca tramite navigazione invece che con l'immissione di un indirizzo, il server applicativo verifica se il risultato restituito dal server geografico è della scala idonea a contenere le informazioni di natura elettromagnetica, nel qual caso esegue una procedura di mappatura analoga a quella illustrata per la ricerca tramite indirizzo. Se invece la scala è ancora troppo grande, il risultato del server geografico viene visualizzato direttamente sul browser d'utente affinché venga ulteriormente circoscritta la zona di interesse.

Analisi della scelta effettuata

La scelta di adottare un approccio che fa riferimento all'utilizzo di un servizio web geografico mostra vantaggi e svantaggi che vengono evidenziati nel presente paragrafo.

Tra i vantaggi presentati vi sono:

accesso al servizio via Internet;

informazioni geografiche estremamente precise e aggiornate;

non è necessario allestire una struttura dedicata per un compito specialistico quale la creazione e gestione di un GIS (Geographic Information System);

architettura modulare con integrazione flessibile di dati geografici ed elettromagnetici.

Tra gli svantaggi presentati vi sono:

parte del servizio viene svolta da un partner esterno (il server geografico), anche se la presenza sul mercato di più offerte equiparabili assicura una sostanziale autonomia del servizio dalla particolare fornitura scelta;

costi di affitto del server geografico. In questa fase non viene illustrato un esempio dei possibili costi dal momento che sono legati al tipo di Web server geografico che si sceglierà di adottare.

Metodologie di calcolo e valutazione del volume di rispetto

Il rispetto dei limiti di esposizione suggeriti dalle normative protezionistiche può essere garantito attraverso un'opportuna restrizione dell'accessibilità delle persone in zone di esposizione molto vicine alle installazioni di telecomunicazione.

Per valutazioni di tipo cautelativo si considera allora un valore E_{limite} che viene specificato a seconda della normativa di riferimento. Per esempio, nei luoghi in cui la permanenza della

popolazione è superiore a quattro ore, il D.P.C.M. 8 luglio 2003 fissa E_{limite} a 6 V/m [3][1][4].

Con tale assunzione è possibile definire un parallelepipedo caratterizzato dalle dimensioni d_1 , d_2 , d_3 , d_4 (Fig.6), simmetrico rispetto alle dimensioni di massima irradiazione dell'antenna, al di fuori del quale il livello di campo elettrico non supera mai la soglia stabilita (E_{limite}).

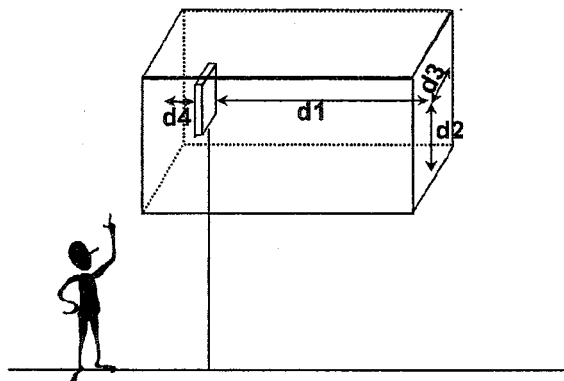


Figura 6 Volume di rispetto

Le quattro distanze utilizzate per definire il volume di rispetto sono calcolate, nel caso più semplice, a partire dalla formula di spazio libero. Applicando tale formula è possibile ricavare d_1 relativa alla direzione di massimo guadagno alla quale il campo è pari a E_{limite} .

Per valutare la dimensione d_3 del parallelepipedo si deve considerare l'angolo α del diagramma di radiazione orizzontale definito come l'angolo in corrispondenza del quale si ha un guadagno di -3 dB rispetto al massimo guadagno:

$$d_3 = d' \sin \alpha$$

con

$$d' = \frac{\sqrt{30 \times \frac{P}{2}}}{E_{\text{limite}}}$$

Per definire la dimensione d_2 in modo cautelativo è necessario individuare la massima distanza lungo l'asse verticale a seconda del diagramma di radiazione, si procede poi come la dimensione d_3 usando al posto di α l'angolo β che massimizza il segmento d_2 .

Infine la dimensione d_4 rappresenta la retroirradiazione dell'antenna.

Le quattro dimensioni del parallelepipedo possono però anche essere determinate mediante le curve di livello. È necessario allora introdurre il concetto di curva di livello: si definisce curva di livello una linea chiusa che contiene e raggruppa tutti i punti dello spazio nei quali il valore efficace del campo elettrico supera una soglia prefissata a priori.

Mediante l'utilizzo del simulatore di ray-tracing è possibile valutare i livelli di campo in maniera più rigorosa e graficare l'andamento delle curve di livello sia sul piano orizzontale alla stessa altezza del centro elettrico dell'antenna che sul piano verticale passante per la direzione di puntamento della stessa. A partire da questi grafici si ricavano d_1 , d_3 e d_4 sul piano orizzontale e d_2 sul piano verticale (vedi Fig. 7).

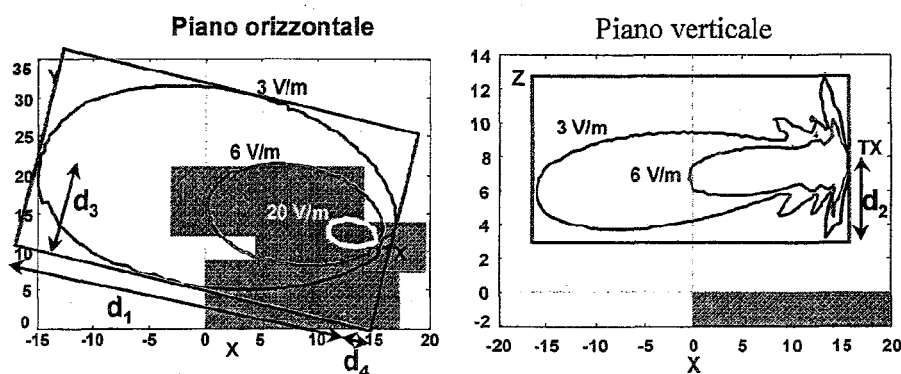


Fig. 7 - Esempio di volume di rispetto tracciato a partire da curve di livello

Una valutazione più accurata della zona di rispetto dovrebbe tenere conto di un solido diverso dal parallelepipedo. Per esempio, in ambito urbano in presenza di più trasmettitori, sarebbe più corretto utilizzare una nuvola di punti concentrata attorno al centro elettrico di ogni antenna; tale nuvola rappresenta l'insieme dei valori di campo che eccedono il valore E_{limite} considerato per il particolare caso in esame. In questo modo si evita di creare un parallelepipedo che sovradimensiona la zona non accessibile (si veda Fig. 8), inutile ai fini protezionistici avendo dimensioni tanto grandi da comprendere il sito nella sua intera estensione.

Un altro esempio importante si ha nel caso di propagazione microcellulare dove può accadere che la simmetria del parallelepipedo rispetto al centro elettrico del trasmettitore risulti penalizzante in quanto si può trovare una dimensione d_2 verso l'alto (dove la popolazione non può accedere) maggiore della stessa verso il basso (dove invece la popolazione può essere presente). Questo porta alla definizione di un volume più grande del necessario (Fig. 8).

Il volume di rispetto, costruito con il parallelepipedo, rappresenta quindi una stima conservativa nella individuazione della estensione delle zone a potenziale rischio di superamento dei limiti assunti come riferimento.

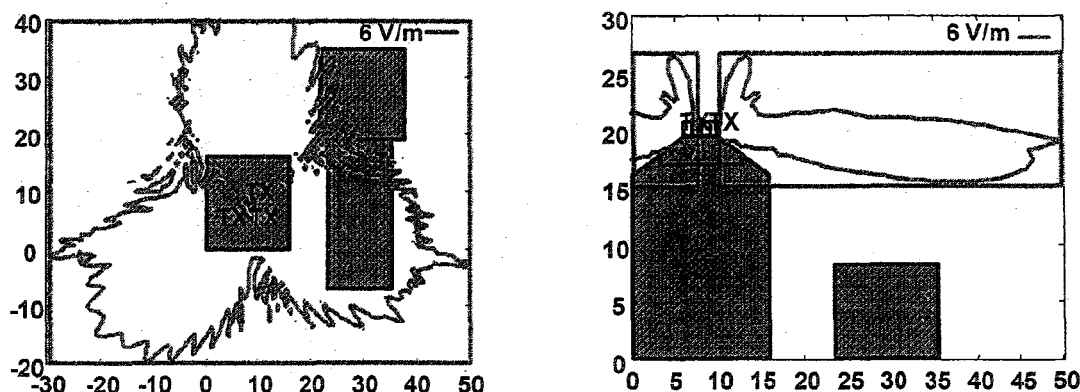


Fig. 8 - Esempio di volume di rispetto tracciato a partire da curve di livello

Valutazione del volume di rispetto per installazioni tipiche

Stazioni radiobase per telefonia mobile

La rapida crescita dell'utenza radiomobile e la richiesta di miglioramento del servizio, hanno indotto a sviluppare, soprattutto in ambiente urbano, una tecnologia di copertura radio ad elevata capacità, che ha richiesto l'utilizzo di numerose stazioni radiobase.

È possibile distinguere le celle per la copertura delle aree urbane in tre diverse tipologie:

- macrocelle
- small cells
- microcelle

Questa suddivisione dipende dalla dimensione del raggio della cella, dalla potenza e dalla tipologia d'installazione.

La macrocella è una cella realizzata con una stazione radiobase dotata di un sistema di antenne installate al di sopra della altezza dei tetti degli edifici della zona circostante; il raggio della cella è compreso tra 1 e 10 Km, mentre la potenza trasmessa può variare tra 8 e 14 Watt.

La small cell è realizzata con antenne montate alla stessa altezza del tetto degli edifici, il raggio della cella è compreso tra 300 metri e 3 Km, la potenza varia tra 1 e 8 Watt.

La microcella, invece, è realizzata con antenne montate ben al di sotto del livello dei tetti degli edifici; in questo caso il raggio della cella è compreso tra 100 e 500 metri, la potenza trasmessa può variare tra 0.25 e 1 Watt.

Nel seguito si analizzeranno installazioni urbane di tipo small celle microcellulari.

Installazione di tipo small cell.

Il sito studiato si compone di tre antenne trasmettenti GSM a 900 MHz e di tre a 1800 MHz del tipo "roof top", cioè collocate sul tetto di un edificio a 22.5 metri dal suolo. I trasmettitori sono posti su tre pannelli, in modo che ogni pannello contenga un trasmettitore a 900 e uno a 1800 MHz. I tre

pannelli sono orientati rispetto al Nord geografico rispettivamente di 50, 160 e 300 gradi mentre il tilt totale (elettrico e meccanico) previsto per ogni trasmettitore è di 6 gradi. Sono predisposti 6 canali a 900 MHz e 2 a 1800 MHz, ciascuno con potenza massima al connettore di antenna di 5.62 W, quindi la potenza massima prevista complessivamente è 33.72 W per i 900 MHz e 11.24 W per i 1800 MHz.

	K737654	SP19-65
Intervallo di frequenze	824-960 MHz	1710-1900 MHz
Guadagno	17 dBi (circa 50.12)	18.5 dBi (circa 70.8)
Apertura a -3 dB	65 gradi nel diagramma di radiazione orizzontale e 9 gradi in quello verticale	65 gradi nel diagramma di radiazione orizzontale e 5 gradi in quello verticale

Tab. 5 - Esempio delle caratteristiche di due antenne per stazioni radiobase small cells

Le antenne utilizzate sono la PTEL 19-65/D (a 1800 MHz) e la KATHREIN 737654 (a 900 MHz). Le loro caratteristiche più importanti sono riassunte in Tab. 5.

I trasmettitori sono collocati nella posizione della mappa di coordinate (0, 0, 22.5), mentre il Nord (rispetto a cui sono calcolati i puntamenti delle antenne) si trova circa a 8 gradi a sinistra dell'asse y. In Fig. 9 si mostra la valutazione con lo spazio libero su di un piano orizzontale a 16.6 metri d'altezza (altezza massima dei tetti degli edifici della zona studiata). Si nota che i valori di campo più elevati non si presentano sotto la posizione dell'antenna ma lungo le direzioni principali di puntamento delle antenne che compongono i diversi settori.

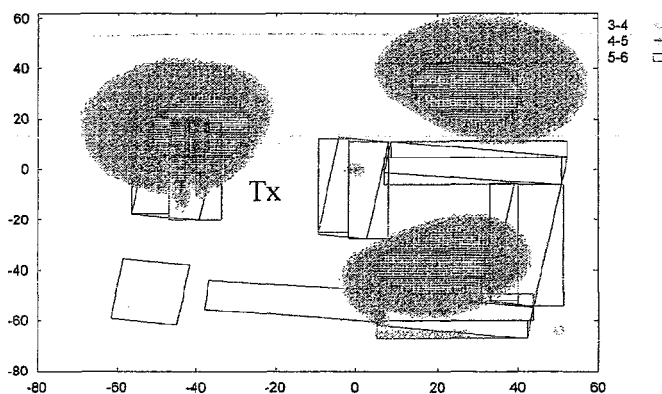


Fig. 9 - Valore efficace del campo elettrico in V/m su di un piano orizzontale posto a 16.6 m dal suolo

È utile analizzare i vari livelli del valore efficace del campo elettrico anche in un piano verticale perpendicolare al terreno. La griglia dei punti di ricezione considerata si trova tra 10 e 32 metri di altezza dal suolo lungo la direzione di puntamento, cioè direzione di massima irradiazione dell'antenna. In particolare in Fig. 10 è mostrato il piano verticale corrispondente alla cella a 900 MHz che ha puntamento di 160 gradi rispetto al Nord geografico. Si notano valori superiori a 3 V/m fino a 10.5 metri di altezza dal suolo.

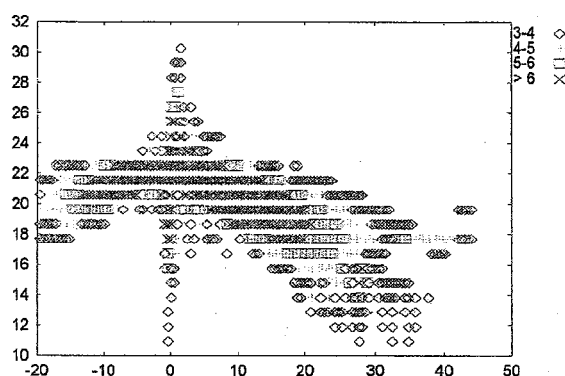


Fig. 10 - Piano verticale nella direzione a 160 gradi rispetto al nord

Esempi di siti microcellulari

L'impianto è formato due trasmettitori, sistemati secondo lo schema back to back, posizionati sopra al tetto di un'edicola, ad un'altezza variabile da 3.7 metri fino a 4.5 metri, in base alle esigenze di copertura; le potenze utilizzate per le simulazioni sono 1 e 2 Watt.

L'edicola è alta 3.5 metri e in questa prima analisi è stato utilizzato come materiale il cemento ($\epsilon = 5$ e $\sigma = 2 \times 10^{-2} \Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$).

La Tab. 6 indica le dimensioni del volume di rispetto d_1 , d_3 , d_4 e due valori per d_2 ; questi due valori sono legati alla presenza dell'edicola sotto l'antenna che tende a concentrare il campo verso l'alto: d_2 indica la dimensione verso l'alto mentre d_2' quella verso il basso; d_2 risulta maggiore di d_2' . Con questa osservazione si vuole ricordare che non sempre la definizione del volume di rispetto mediante un parallelepipedo, simmetrico rispetto al centro elettrico, è utile ai fini protezionistici, come mostra la Fig. 11 il volume di rispetto, ad hoc per il caso in esame, può essere rappresentato, ad esempio, mediante un parallelepipedo non simmetrico.

(1)	Antenna	Potenza (W)	Altezza Tx (m)	d_1 (m)	d_2 (m)	d_2' (m)	d_3 (m)	d_4 (m)
	ETEL 61C	2	4	6.5	3.5	1.3	3.9	0.2
	NOKIA	2	4	5.4	2.3	0.8	5.8	0.2

KATHREIN	2	4	5.7	3.4	1.2	6.7	0.2
ETEL 61C	1	4	5	2.4	0.9	2.8	0.2
NOKIA	1	4	4	1.5	0.6	4.2	0.2
KATHREIN	1	4	4.4	2.3	0.8	5.2	0.2

Tab. 6 - Dimensioni del volume di rispetto per installazione posta sopra a un'edicola

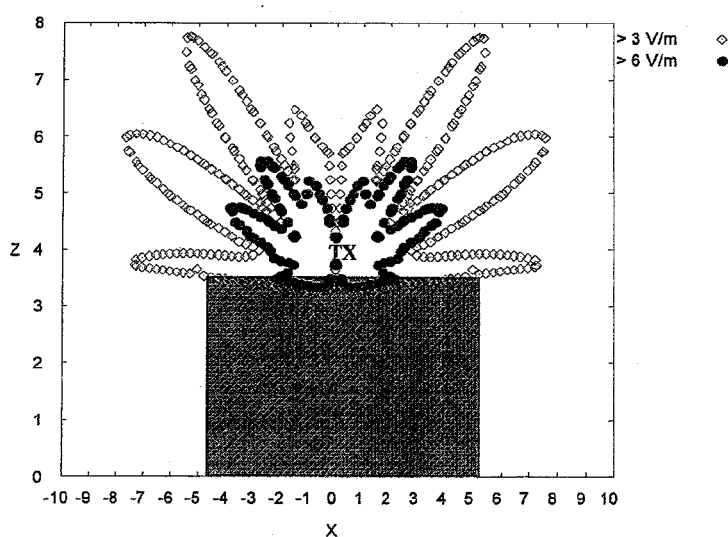


Fig. 11 - Esempio di valutazione del volume di rispetto per una installazione posta sopra ad un'edicola

Una topologia tipicamente presente in ambiente urbano è l'incrocio di diverse strade e proprio per questo è stato inserito in questa classificazione di ambienti tipici per la copertura microcellulare.

L'impianto è costituito da due trasmettitori, che sono stati leggermente sbracciati dalla parete retrostante (di circa 30 centimetri), per evitare che il campo entri nell'edificio retrostante.

La Fig. 12 mostra l'andamento delle curve di livello a 3 e 6 V/m relative a due diverse antenne; si osservi che soltanto nel caso in cui si utilizzi un'antenna omnidirezionale (b) vi sono punti all'interno dell'edificio retrostante l'installazione in cui è superato il valore di 6 V/m.

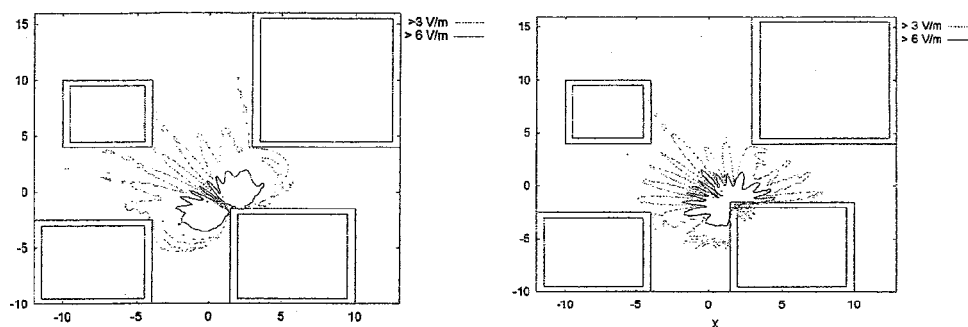


Fig. 12 - Curve di livello a 3 e 6 V/m relative a due diverse antenne: con diagramma di radiazione noto (a) e

omnidirezionale (b)

Siti radio-televisivi

Il continuo incremento di impianti radioelettrici fissi sia per la telefonia mobile che per l'emittenza radiotelevisiva, presenti sull'intero territorio nazionale porta alla necessità di trovare sempre nuove postazioni. Diventa, però, sempre più difficile individuare tali aree e ciò comporta necessariamente che un numero elevato di antenne, anche di diversa tipologia (radio, TV, radiomobile, ponti radio), siano installate su pochi tralicci posti a breve distanza fra loro. In ogni sito pertanto si possono avere diversi tralicci che, in base alla conformazione del territorio, si trovano alla stessa quota, ovvero su quote differenti se il territorio presenta una variabilità dell'altimetria del terreno. I vari tralicci, inoltre, hanno differenti altezze dal suolo e, come già accennato, possono ospitare diverse tipologie di trasmettitori ed essere a breve distanza fra loro.

Ogni sito, inteso come singolo traliccio, può ospitare numerose antenne appartenenti a diverse emittenti con tipologie diverse sia per tipo di caratteristiche tecniche (potenza, frequenza, diagrammi di radiazione, ecc.) che per tipo di servizio (radio, TV, ponti radio), determinando una situazione in cui il livello di campo elettromagnetico totale risulta come somma quadratica dei contributi delle singole antenne.

In alcune porzioni di territorio sono concentrati a breve distanza fra loro (da qualche decina a qualche centinaio di metri) più tralicci: nasce così l'esigenza di individuare tali aree ("siti complessi") e di caratterizzarle in base a diversi parametri quali il numero dei tralicci e la loro georeferenziazione, il numero totale delle antenne e la loro tipologia, l'ambiente circostante (pianeggiante, collinare o urbano).

Vengono di seguito illustrate alcune valutazioni dei livelli di campo elettromagnetico generati dagli impianti collocati in un sito complesso radiotelevisivo.

La procedura seguita per questo tipo di analisi è la seguente:

analisi dei dati relativi ad ogni singolo impianto;

valutazione preliminare dell'area di rispetto dovuta a tutti gli impianti;

analisi dettagliata dei contributi e delle zone di rispetto degli impianti più rilevanti.

Per quanto riguarda l'analisi dei dati di impianto sono stati esaminati i dati disponibili per ciascun impianto di seguito elencati:

- coordinate geografiche dell'impianto (latitudine e longitudine)
- altezza del terreno (m);
- altezza del traliccio (m);

- potenza massima (KW);
- guadagno (dBi);
- frequenza (MHz);
- azimuth rispetto al Nord;
- tilt;
- diagramma di radiazione nel piano orizzontale;
- diagramma di radiazione nel piano verticale.

Queste informazioni sono sufficienti sia per una valutazione complessiva dei livelli di esposizione generati che per calcoli più dettagliati e precisi dei contributi dovuti ai singoli impianti. Per un calcolo preliminare dell'area di rispetto sono stati utilizzati solo una parte dei dati di cui sopra (potenza, guadagno, azimuth) mentre per valutare le curve di livello generate dal singolo impianto si è dovuto tener conto anche dei rispettivi diagrammi di radiazione.

Il numero di impianti collocati in prossimità del sito complesso radiotelevisivo che sono stati considerati è circa pari a 60, la maggior parte dei quali sono emittenti radio televisive. Gli impianti in ponte radio non sono stati considerati nel calcolo del campo elettromagnetico in quanto trasmettono potenze molto ridotte e sono caratterizzati da antenne molto direttive.

Per una valutazione preliminare dell'area di rispetto si è assunto che tutti gli impianti siano posizionati nello stesso punto e trasmettano con la massima potenza in tutte le direzioni. In questo caso, estremamente cautelativo, l'area di rispetto per 6 V/m è rappresentata da una circonferenza di raggio 3 Km mentre per il limite di 20 V/m il raggio è di circa 0.9 Km.

È stata effettuata successivamente una diversa valutazione dell'area di rispetto ancora di tipo cautelativo. Per ogni direzione di puntamento rispetto al Nord sono stati sommati i contributi in potenza dei trasmettitori presenti in un settore di ampiezza 60 gradi centrato sulla direzione considerata. In questo modo si assume che tutti gli impianti all'interno del settore di 60 gradi trasmettano con la massima potenza mentre nel caso precedente si assumeva che tale settore fosse di 360 gradi. La scelta dell'ampiezza di tale settore dipende dalle caratteristiche del diagramma di radiazione orizzontale delle antenne. La maggior parte delle antenne dei siti considerati presenta un'ampiezza tipica del lobo principale nel piano orizzontale di questo ordine di grandezza.

Una volta nota la massima potenza efficace di irradiazione (ERP) in una determinata direzione si è calcolata la distanza di rispetto in funzione della direzione angolare $d(\theta)$ per un determinato valore limite E_{limite} del valore efficace del campo elettrico utilizzando la formula di spazio libero:

$$d(\theta) = \frac{\sqrt{30 * ERP(\theta)}}{E_{\text{limite}}}$$

In Fig. 13 si riporta l'area di rispetto calcolata per i limiti di 6 e 20 V/m nel piano orizzontale ad una altezza di 20 m rispetto al sito complesso radiotelevisivo ottenuta come media delle altezze delle diverse antenne trasmittenti. Dalla figura si nota una notevole riduzione dell'area di rispetto se confrontata al caso precedente per il quale si ottenevano circonferenze di raggio 3 km e 0.9 km. Le direzioni dove i livelli di emissione sono maggiori comprendono gli angoli di puntamento da 0° a 120° e da 340° a 360° dove le distanze di rispetto maggiori sono comprese tra 2 e 2.5 Km per 6 V/m e tra 0.6 e 0.8 Km per 20 V/m.

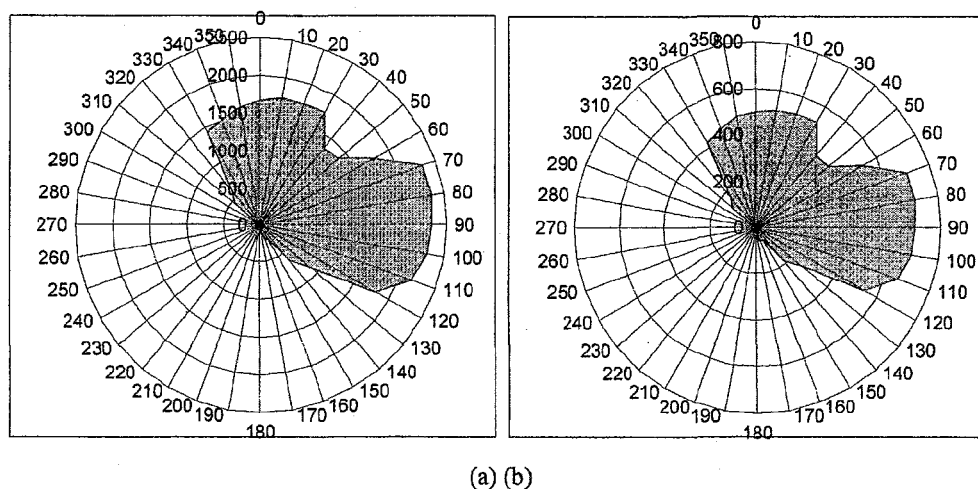


Fig. 13 - Area di rispetto a 30 m di altezza dal terreno per il limite di 6 V/m (a) e 20 V/m (b)

In Fig. 14 viene riportato il confronto tra l'area di rispetto a 6 V/m calcolata in due casi limite e in un caso intermedio. Come casi limite si è assunto quello già visto sopra di considerare tutte le antenne trasmittenti con la massima potenza in tutte le direzioni che equivale ad assumere un settore principale di irradiazione di 360° (caso limite antenne omnidirezionali) e l'altro caso limite opposto di un settore principale di irradiazione di 0° valido nell'ipotesi di antenne molto direttive. In quest'ultimo caso (settore 0°) i calcoli sono stati effettuati considerando per ogni direzione di puntamento la somma in potenza dei contributi dovuti ai soli trasmettitori aventi in quella direzione il puntamento dell'antenna. Il caso intermedio è quello relativo al settore di 60° (Fig. 13). Dalla Fig. 14 si evidenzia che l'area di rispetto reale è certamente compresa tra la curva relativa al settore a 0° e quella del settore a 360° mentre la curva intermedia (settore 60°) dovrebbe rappresentare il caso più vicino alla curva reale.

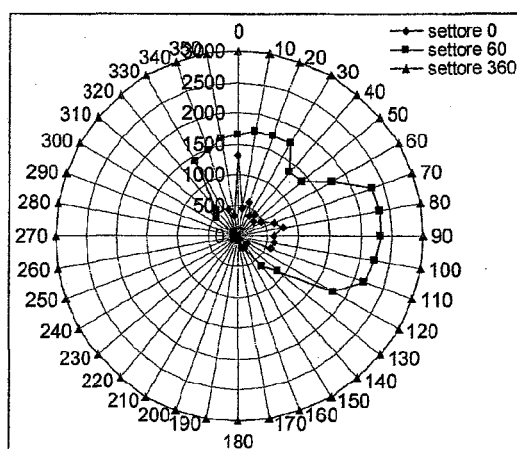


Fig. 14 - Area di rispetto a 30 m di altezza dal terreno per il limite di 6 V/m considerando un settore principale di irradiazione di 360°, 60° e 0°

La fase successiva ad una valutazione complessiva dei livelli di esposizione generati da tutti gli impianti consiste nell'analisi dei singoli contributi dovuti ad ogni impianto o a quelli più significativi (impianti con maggiore potenza o con puntamento in una direzione di interesse per la presenza di edifici). In questo caso si considerano i diagrammi di radiazione orizzontale e verticale specifici dell'impianto in esame e si calcola il valore efficace del campo elettrico in diversi punti attorno all'antenna utilizzando modelli semplificati di propagazione quali lo spazio libero o modelli più complessi come il ray-tracing che tiene conto dell'interazione dell'onda elettromagnetica con l'ambiente circostante (es. riflessioni dal suolo, riflessioni, diffrazioni su edifici).

In Fig. 15 e in Fig. 16 si mostra un esempio di questo tipo di valutazione per due diversi impianti radiotelevisivi del sito complesso in esame. Questi due impianti sono stati scelti come esempi significativi in quanto aventi le direzioni di puntamento rispettivamente di 90° e 100° che risultano quindi all'interno delle zone più critiche come evidenziato in precedenza in Fig. 13 e in Fig. 14.

Le valutazioni sono state effettuate con la formula di spazio libero in un piano orizzontale alla stessa altezza dell'antenna (20 e 23 metri) e in un piano verticale lungo la direzione di puntamento (90° e 100° azimuth). Dai risultati ottenuti sono state quindi ricavate le curve di livello a 20, 6 e 3 V/m nei rispettivi piani.

Si nota che nel piano orizzontale (Fig. 15 (a) e Fig. 16 (a)) le curve di livello seguono l'andamento dei diagrammi di radiazione orizzontali specifici dei singoli trasmettitori e presentano distanze massime dall'antenna lungo la direzione di puntamento. L'area racchiusa da ogni curva definisce una ulteriore zona di rispetto del singolo impianto che risulta ovviamente molto più contenuta rispetto a quella dovuta a tutti gli impianti (Fig.13).

Anche nel piano verticale (Fig. 15 (b) e Fig.16 (b)) l'andamento delle curve di livello è fortemente dipendente dal diagramma di radiazione verticale in quanto si è utilizzato la formula di spazio libero. Si nota che nelle direzioni di massima irradiazione le curve di livello a 6 e 3 V/m raggiungono valori molto piccoli e dell'altezza dal terreno (anche negativi nel caso 3 V/m) mentre per il caso di 20 V/m l'altezza minore dal terreno alla quale si raggiunge tale limite è di circa 15 e 20 metri per i due casi rispettivamente.

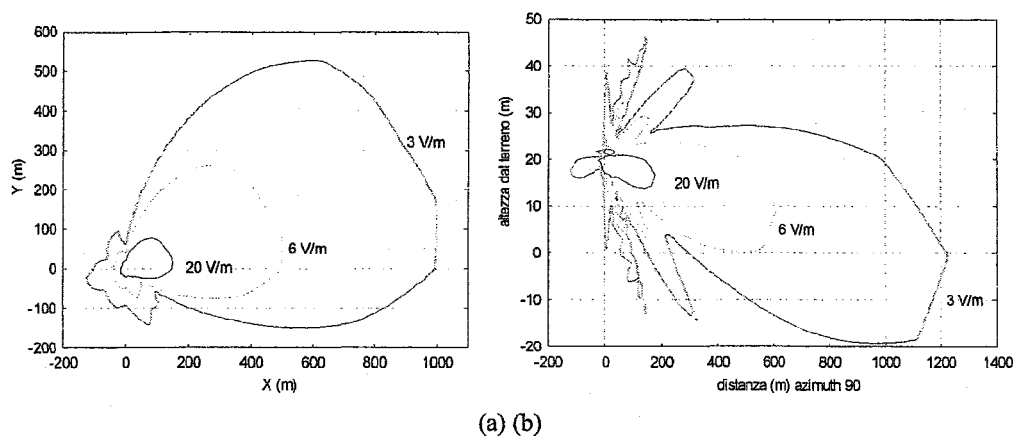


Fig. 15 - Curve di livello a 20, 6 e 3 V/m generati dal primo impianto nel piano orizzontale (a) a 20 metri di altezza e nel piano verticale (b) a 90 gradi di azimuth

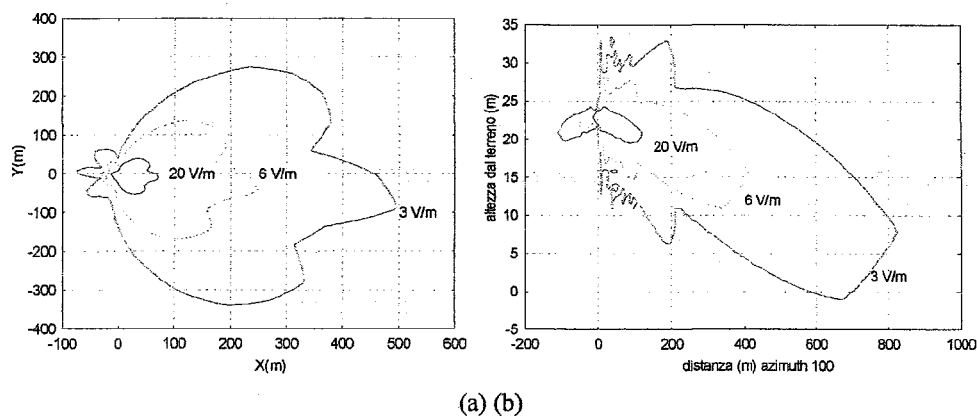


Fig. 16 - Curve di livello a 20, 6 e 3 V/m generati dal secondo impianto nel piano orizzontale (a) a 23 m di altezza e nel piano verticale (b) a 100 gradi di azimuth

Ponti radio

Nel presente paragrafo viene analizzata una installazione di ponte radio.

L'antenna trasmittente utilizzata è un paraboloide ad apertura circolare. Il guadagno d'antenna dipende solamente dalla frequenza (tramite la lunghezza d'onda) e dal diametro, secondo la

relazione:

$$G = 6D_{\lambda}^2$$

dove

$$D_{\lambda} = \frac{D}{\lambda}.$$

In particolare, a parità di diametro, se la frequenza aumenta, la lunghezza d'onda diminuisce quindi il guadagno aumenta quadraticamente. Questo spiega l'impiego di potenze minori nel caso delle alte frequenze.

Sono stati analizzati esempi di ponti radio a 2 e 22 GHz aventi trasmettitori con diametro di apertura di 0,6, 1, 1,2, 1,8 m. I ponti radio a 22 GHz sono utilizzati generalmente per tratte brevi in ambito cittadino (ponti radiomobili) poiché l'attenuazione a questa frequenza è elevata, ma allo stesso tempo, essendo alta la direttività dell'antenna, è possibile usare basse potenze (0,126 W nel caso studiato). Invece il sistema a 2 GHz è impiegabile maggiormente per trasferimenti a lunga distanza (sistemi radio-TV) grazie alla minore attenuazione in gioco, ma a causa della minore direttività delle antenne, si impiegano in questo caso potenze maggiori (2 W nell'esempio proposto). Per riassumere da un punto di vista radioprotezionistico le caratteristiche delle varie installazioni studiate si riportano nella Tab. 7 i valori delle distanze che definiscono il volume di rispetto assumendo il limite di 6 V/m.

FREQ (GHz)	PTX (W)	Diametro (m)	Lunghezza volume (m)	Altezza volume (m)	Larghezza volume (m)
2	2	0.6	26.1	2.4	2.4
2	2	1	43	2.4	2.3
2	2	1.8	76.7	2.4	2.3
22	0.126	0.6	70.1	0.6	0.5
22	0.126	1.2	139.3	0.4	0.7
22	0.126	1.8	207.1	0.3	1.1

Tab. 7 - Esempio di volume di rispetto per casi tipici di ponti radio

Vengono di seguito mostrati i livelli di campo elettromagnetico valutati con la formula di spazio libero attraverso figure che mostrano i vari livelli di campo tramite zone di colore differente. In esse si possono ritrovare i valori delle dimensioni del volume di rispetto mostrate nella precedente