



**ISPRA**  
Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca Ambientale

# MONICEM: Monitoraggio e controllo dei campi elettromagnetici alle radiofrequenze

RAPPORTI





**ISPRA**

Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca Ambientale

*Servizio Agenti Fisici*

**PROGETTO DI RICERCA**

**MONICEM**

---

**Monitoraggio e controllo dei campi  
elettromagnetici alle radiofrequenze**

---

## **Informazioni legali**

L'istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) e le persone che agiscono per conto dell'Istituto non sono responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in questo rapporto.

La Legge 133/2008 di conversione, con modificazioni, del Decreto Legge 25 giugno 2008, n. 112, pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n. 195 del 21 agosto 2008, ha istituito l'ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale.

L'ISPRA svolge le funzioni che erano proprie dell'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici (ex APAT), dell'Istituto Nazionale per la Fauna Selvatica (ex INFS) e dell'Istituto Centrale per la Ricerca scientifica e tecnologica Applicata al Mare (ex ICRAM).

**ISPRA** – Istituto Superiore per la protezione e la ricerca ambientale  
Via Vitaliano Brancati, 48 – 00144 Roma  
[www.isprambiente.it](http://www.isprambiente.it)

ISPRA, RAPPORTI 134/2011

ISBN 978-88-448-0486-2

Riproduzione autorizzata citando la fonte

## **Elaborazione grafica**

ISPRA

*Grafica di copertina:* Franco Iozzoli

*Foto di copertina:* ???

## **Coordinamento tipografico:**

Daria Mazzella

**ISPRA** - Settore Editoria

## **Amministrazione:**

Olimpia Girolamo

**ISPRA** - Settore Editoria

## **Distribuzione:**

Michelina Porcarelli

**ISPRA** - Settore Editoria

## **Impaginazione e Stampa**

Tipolitografia CSR - Via di Pietralata, 157 - 00158 Roma

Tel. 064182113 (r.a.) - Fax 064506671

Finito di stampare giugno 2011

---

La presente pubblicazione è stata curata da:

Salvatore Curcuruto           ISPRA

Maria Logorelli               ISPRA

e dai responsabili dei vari workpackages del progetto di ricerca in oggetto di seguito elencati:

Guglielmo d’Inzeo	Università di Roma “La Sapienza”
Paolo Ravazzani	Consiglio Nazionale delle Ricerche
Micaela Liberti	Università di Roma “La Sapienza”
Rita Massa	Università degli Studi di Napoli Federico II
Francesca Apollonio	Università di Roma “La Sapienza”
Luciano Tarricone	Università del Salento in Lecce
Martino Grandolfo	Università Politecnica delle Marche
Graziano Cerri	Università Politecnica delle Marche
Giorgio Lovisolo	ENEA

---

---

## INDICE

INTRODUZIONE	4
1. OBIETTIVI DEL PROGETTO DI RICERCA	5
2. DESCRIZIONE DELLE VARIE ATTIVITÀ DEL PROGETTO DI RICERCA	5
2.1 “Ricognizione delle metodiche per la minimizzazione del CEM irradiato dagli impianti a RF”	5
2.1.1 <i>Introduzione</i>	5
2.1.2 <i>Fase 1 - Attività a livello delle autorità comunali</i>	6
2.1.3 <i>Fase 2 - Progettazione e distribuzione di un questionario ad hoc</i>	7
2.1.4 <i>Fase 3 - Letteratura scientifica sull’argomento ed altro materiale di interesse</i>	8
2.1.5 <i>Considerazioni sulle esperienze di best-siting e di mitigazione delle emissioni elettromagnetiche in Italia</i>	14
2.2 <i>Analisi e valutazione comparativa dei modelli e degli strumenti attualmente esistenti, descritti nel paragrafo 2.1</i>	14
2.2.1 <i>Introduzione</i>	14
2.2.2 <i>Analisi comparativa</i>	15
2.2.3 <i>Tecniche di ottimizzazione del segnale radio</i>	18
2.2.4 <i>Programmi di best-siting a livello europeo</i>	19
2.2.5 <i>Bibliografia</i>	21
2.3 <i>Preparazione di linee-guida sui metodi e sulle tecniche per la minimizzazione dei CEM emessi dai vari dispositivi, sistemi ed impianti, a parità di efficienza del servizio</i>	22
2.3.1 <i>Introduzione</i>	22
2.3.2 <i>Aspetti tecnologici rilevanti per i sistemi di telefonia mobile e linee guida per la minimizzazione dell’impatto</i>	22
2.3.3 <i>Aspetti tecnologici rilevanti per i sistemi televisivi di ultima generazione</i>	30
2.3.4 <i>Bibliografia</i>	31
2.4 <i>Preparazione di linee-guida operative per il best-siting degli impianti</i>	32
2.4.1 <i>Introduzione</i>	32
2.4.2 <i>Sistemi di telefonia mobile</i>	33
2.4.3 <i>Impianti TV</i>	69
2.4.4 <i>Linee Guida</i>	
2.4.5 <i>Esempi di mascheramento di antenne per Stazioni Radio Base</i>	86
2.5 <i>“Identificazione di criteri e modalità di riferimento per gli accordi relativi al posizionamento degli impianti e allo sviluppo reti di servizi”</i>	89
2.5.1 <i>Introduzione</i>	89
2.5.2 <i>Cosa può essere migliorato e come</i>	89
2.5.3 <i>Linee guida sulle tecniche di best siting</i>	90
2.5.4 <i>Il decalogo MONICEM</i>	93
2.6 <i>Applicazione a casi reali delle linee guida operative per il best-siting di Stazioni Radio Base</i>	95
2.6.1 <i>Introduzione</i>	95
2.6.2 <i>Esempio di adozione del FIAE per il best siting di Stazioni Radio Base</i>	95
2.6.3 <i>Considerazioni conclusive</i>	113
2.7 <i>Conclusioni</i>	114



---

## INTRODUZIONE

Il progetto di ricerca “MONICEM: Monitoraggio e controllo dei campi elettromagnetici alle radiofrequenze” è stato realizzato dall’Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) e dal Centro Interuniversitario per lo Studio delle Interazioni tra Campi Elettromagnetici e Biosistemi (ICEmB).

Il sempre maggiore sviluppo e la relativa diffusione di sistemi e tecnologie basati sull’utilizzo e/o l’emissione di campi elettromagnetici (CEM) generano nell’ambiente livelli di campo elettromagnetico a volte notevolmente superiori al livello di fondo naturale. In particolare, esiste una notevole attenzione verso quei servizi e tecnologie che utilizzano onde elettromagnetiche a radio frequenza (RF) nella banda tra 80 MHz e 5 GHz, come ad esempio impianti radiotelevisivi, stazioni radio base per telefonia mobile e reti wireless in generale. In tale prospettiva, la ricerca di metodiche e tecniche innovative per la minimizzazione dei livelli di CEM irradiati, a parità di qualità del servizio offerto, rappresenta un importante traguardo nello sviluppo delle telecomunicazioni. Questa problematica risulta di una certa complessità a causa delle molteplici tecnologie coinvolte, che implicano diverse frequenze e potenze dei segnali in gioco, abbinate al continuo evolversi dello stato dell’arte e delle conoscenze tecnico-scientifiche utilizzate.

L’identificazione delle tecniche ottime per la riduzione dell’esposizione non può poi svilupparsi indipendentemente da altre problematiche, fra cui la principale sembra essere quella dell’ottimizzazione del posizionamento degli impianti (best-siting). Quest’ultimo aspetto, infatti, non può non essere correlato con le tecniche di abbattimento dei CEM, tenendo conto, ad esempio, delle ricadute in termini dimensionali e di posizionamento geografico di scelte tecnologiche e progettuali dei nuovi impianti.

In questa prospettiva, sorge la necessità di armonizzare i sistemi e le apparecchiature, che genera, a sua volta, la necessità di rendere compatibili tra di loro le soluzioni tecniche. Tali processi, già indispensabili all’interno del paese, devono, inoltre, mantenersi rigorosamente in linea con le decisioni e normative internazionali, in particolare dell’Unione Europea.

In questo quadro generale, acquista grande importanza anche il coinvolgimento di tutte le parti interessate alle problematiche dell’esposizione ai CEM presenti nell’ambiente, che non può limitarsi agli enti e alle società direttamente attive nel settore, ma che deve includere le autorità politico-sanitarie e, più in generale, la popolazione. Tutte queste componenti devono, a vario titolo, essere necessariamente coinvolte negli studi e nelle valutazioni di impatto, nella definizione delle linee-guida operative e, in linea generale, in tutto il processo di definizione della problematica connessa.





---

## 1. OBIETTIVI DEL PROGETTO DI RICERCA

Le varie attività del progetto di ricerca hanno portato al raggiungimento di importanti obiettivi, che possono essere così riassunti:

1. Ricognizione a livello nazionale delle metodiche e delle tecniche utili per la minimizzazione delle emissioni di campi elettromagnetici (CEM) emessi dagli impianti a radiofrequenze (RF), a parità di qualità del servizio;
2. Analisi e valutazione comparativa dei modelli e degli strumenti attualmente esistenti, descritti nel punto 1. Sono stati analizzati e valutati i differenti modelli di approccio, tenendo conto della loro efficacia e del livello di accettazione da parte di tutti gli attori del settore, includendo cioè, non solo gli operatori, ma anche le autorità politiche e sanitarie sul territorio e le rappresentanze dei cittadini;
3. Preparazione di linee-guida sui metodi e sulle tecniche per la minimizzazione dei CEM emessi dai vari dispositivi, sistemi ed impianti, a parità di efficienza del servizio;
4. Preparazione di linee-guida operative per il best-siting degli impianti. Tali linee-guida hanno l'obiettivo di rappresentare una sorta di standard nella determinazione del best-siting, facendo riferimento ad iniziative simili intraprese a livello internazionale;
5. Preparazione di una guida operativa sulle modalità con cui gli operatori del settore potranno concretamente armonizzare, sia nella progettazione che nella costruzione di nuovi impianti, le necessità di carattere tecnico con il principio di precauzione stabilito dalla legge italiana;
6. Applicazione a casi reali delle linee guida operative per il best-siting di Stazioni Radio Base.



---

## 2. DESCRIZIONE DELLE VARIE ATTIVITÀ DEL PROGETTO DI RICERCA

### 2.1 “Ricognizione delle metodiche per la minimizzazione dei CEM irradiati dagli impianti a RF”

#### 2.1.1 Introduzione

La ricognizione delle metodiche e delle tecniche proposte o adottate a livello nazionale, al fine di minimizzare le emissioni dei campi elettromagnetici senza compromettere la qualità del servizio offerto, è stata condotta seguendo tre fasi:

1. Analisi dell'attività a livello delle autorità comunali;
2. Progettazione, distribuzione ed analisi di un questionario ad hoc con il coinvolgimento di esperti del settore;
3. Analisi della letteratura sull'argomento e di altro materiale disponibile.

#### 2.1.2 Fase 1 - Attività a livello delle autorità comunali

In questa prima fase dell'attività, si è cercato di analizzare informazioni relative all'attività a livello comunale. In particolare ci si è soffermati su alcune amministrazioni comunali (Frosinone, Grotte (Ag), Acerra (Na), Baveno (Vb), Udine, Trapani, Venezia) che, nel recente passato, hanno deliberato regolamenti, norme, rapporti tecnici o piani comunali relativamente al best-siting o alla minimizzazione degli impianti per telefonia mobile e telecomunicazioni.

Sono, infatti, numerose e diverse le iniziative di singoli comuni, volte soprattutto a disciplinare l'installazione di nuove infrastrutture di impianti per la telefonia mobile, al fine di organizzare, razionalizzare ed armonizzare il loro inserimento sui territori, non escludendo comunque anche l'adeguamento e la razionalizzazione di quelli esistenti. Sulla base del materiale individuato, è stato possibile identificare alcune linee operative comuni, fondate principalmente sulle seguenti attività:

- 1) **Interventi tecnici sugli impianti:** gli interventi hanno generalmente cercato di individuare aspetti tecnici, tipicamente poco complessi, in grado, dopo piccole modifiche, di cambiare le caratteristiche del campo elettromagnetico emesso, cioè l'ampiezza del campo e la sua direzionalità, implicando variazioni della modalità di esposizione della popolazione, ad esempio con l'esclusione di aree considerate sensibili. Fra gli aspetti tecnici più comuni possiamo evidenziare l'angolo di puntamento delle antenne o l'altezza dell'antenna stessa;
- 2) **Introduzione di impianti miniaturizzati, microcelle, picocelle, cavi radianti:** la riduzione non riguarda solo le dimensioni del sistema di antenne ma, soprattutto, la potenza emessa e il numero di canali di traffico attivabili.

Laddove è stato possibile seguire questo approccio, si è reso necessario uno studio accurato per determinare il posizionamento ottimale e, paradossalmente, un impegno per far comprendere che questa scelta, pur implicando un aumento dei dispositivi sul territorio, comporta un abbattimento dei livelli di campo elettromagnetico a parità di servizio erogato. Que-

---

sto tipo di intervento è oramai fra i più richiesti dalle popolazioni e dalle varie associazioni interessate alla problematica;

- 3) **Delocalizzazione:** la delocalizzazione consiste nel destinare, per l'installazione degli impianti, aree caratterizzate da una bassa densità di popolazione o dall'assenza di ambienti sensibili (rotatorie stradali, parcheggi di ampie dimensioni, aree agricole in adiacenza a centri abitati o a strade di grande traffico);
- 4) **Co-ubicazione (co-siting):** il co-siting consiste nel determinare un'area o un supporto adatto all'installazione di impianti di diverse tipologie o di più gestori. Quest'ultima soluzione non comporta una diminuzione complessiva dei livelli di campo elettromagnetico, tanto che, sia in fase di autorizzazione, sia durante l'attivazione, sono necessari maggiori controlli. Essa, tuttavia, è spesso suggerita per ridurre l'impatto paesaggistico nonché la percezione del rischio;
- 5) **Adozione di vincoli per i nuovi impianti (distanze, contributi massimi di incremento del campo elettromagnetico):** diverse delibere riguardano la valutazione del limite massimo del contributo che il nuovo impianto deve introdurre nelle aree limitrofe. Tipicamente viene determinata una distanza minima dai siti sensibili (es. edifici destinati ad attività scolastiche e alla infanzia, strutture sanitarie), oppure viene richiesta una determinazione del livello di fondo presente in un'area definita intorno all'impianto da installare (raggio di 300-500 m) e un accertamento che il nuovo impianto non introduca un aumento maggiore di 0,5-0,6 V/m;
- 6) **Sostituzione:** l'approccio per "sostituzione" consiste nell'effettiva sostituzione di antenne obsolete con impianti di nuova tecnologia, che prevedono una minore emissione elettromagnetica a parità di servizio garantito.  
Tale azione è spesso adottata in concomitanza con la scadenza dei contratti per la revisione dell'idoneità del sito;
- 7) **Attività di monitoraggio:** il monitoraggio sistematico sul territorio prevede costi estremamente alti, anche se è una delle attività maggiormente richieste dall'opinione pubblica. In caso di rilevazione del superamento dei limiti si procede, in qualche caso, all'introduzione di limitatori di potenza tarati e sigillati.

### 2.1.3 Fase 2 - Progettazione e distribuzione di un questionario ad hoc

In questa seconda fase è stato progettato e distribuito un questionario, somministrato ad esperti del settore a livello nazionale.

Tale questionario aveva il fine di raccogliere informazioni quanto più aggiornate su eventuali esperienze di applicazioni di procedure volte alla riduzione dei campi elettromagnetici (80 MHz- 5 GHz) nei territori di competenza.

In particolare, nel questionario veniva richiesto di riferire la conoscenza o meno di eventuali iniziative riguardanti l'attuazione di procedure. Veniva altresì richiesto di descriverne brevemente le caratteristiche (in quale contesto, per quali tipi di sorgenti, la tipologia della tecnica e un eventuale giudizio tecnico), nonché l'efficacia nel migliorare i rapporti con le parti interessate alla problematica dell'esposizione ai campi elettromagnetici, quali le associazioni dei consumatori, le aziende interessate alla fornitura dei servizi di telefonia e, più in generale, la popolazione coinvolta.

Grazie a questa attività sono state identificate due esperienze significative, nella regione Marche e nella regione Liguria.

---

### *Esperienza nella regione Marche*

L'attività si è incentrata sul cosiddetto "best-siting" di Stazioni Radio Base (SRB) per telefonia mobile. La procedura è stata applicata ad alcune realtà comunali e provinciali e, in particolare, ai Comuni di Ancona, Fermo, Macerata e ad altri 23 comuni dell'area della futura provincia fermana.

Inizialmente, sono state individuate, durante appositi sopralluoghi, le aree di possibile installazione, considerando sia le richieste di nuove installazioni dei gestori di telefonia, sia possibili siti per future richieste dei gestori, sia le esigenze dei singoli comuni (salvaguardia di aree di interesse storico, scuole, centri sportivi, ecc.).

Per ognuna di queste aree è stato calcolato il campo elettrico in campo vicino radiativo, con software di simulazione basato su tecniche di ray-tracing, e la copertura in campo lontano utilizzando modelli semplici, quale il Walfish-Ikegami per aree urbanizzate, o la propagazione in spazio libero per aree rurali.

Dai risultati ottenuti, sono state poi scelte le aree che assicuravano un minor impatto ambientale in termini di campo elettrico irradiato. Per i comuni di piccole dimensioni le aree individuate sono state scelte tutte al di fuori dell'abitato. Tali procedure sono state implementate in modo del tutto indipendente dalla presenza o meno di comitati cittadini attivi sulle problematiche relative all'impatto ambientale dei campi elettromagnetici.

Al termine dell'esperienza, sono stati individuati alcuni luoghi idonei all'installazione di stazioni radio base, che permettessero una riduzione dell'esposizione ai campi elettromagnetici. Questi siti sono stati successivamente inseriti nei regolamenti dei rispettivi Comuni.

La tecnica utilizzata, peraltro ottimizzata ad hoc per ogni specifica situazione individuata, è risultata essere piuttosto efficace, tenendo conto dell'impatto positivo ottenuto.

La procedura adottata richiede, comunque, la forte collaborazione sia dei singoli Comuni che dei gestori dei servizi di telefonia: i primi che devono facilitare le fasi relative ai sopralluoghi preliminari, mentre i secondi, soprattutto nei casi di comuni ad alta densità abitativa, che devono mettere a disposizione i loro piani di espansione.

### *Esperienza nella regione Liguria*

L'esperienza ligure è relativa ad un'azione messa in atto dal Comune di Genova circa strategie di comunicazione e gestione del rischio focalizzate sulla problematica di un aumento repentino delle SRB per telefonia mobile.

L'amministrazione comunale, in vista della riunione del G8 del luglio 2001, prevedeva che le varie delegazioni coinvolte avrebbero chiesto di installare alcune decine di stazioni radio base per telefonia, al fine di mantenere i contatti con le sedi dei rispettivi governi. Poiché la popolazione genovese aveva, all'epoca, un atteggiamento molto sospettoso verso il sistema delle SRB, il Comune decise di effettuare una variegata azione di comunicazione per meglio far comprendere alla popolazione le problematiche relative all'aumento nel territorio delle SRB, in quanto, a quelle già presenti, sarebbero state aggiunte quelle nuove attivate per il G8.

Il Comune di Genova si fece dunque parte attiva, con successo, per un protocollo d'intesa fra Comune, Circoscrizioni (ora chiamate "Municipi", in numero di nove), comitati di cittadini e rappresentanti dei gestori dei sistemi di telefonia, basato fondamentalmente su tentativi di best-siting e co-siting.

---

Il protocollo prevedeva, fra l'altro, un monitoraggio del campo elettromagnetico inerente tutte le SRB presenti nel Comune, compito che fu affidato dal Comune all'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Liguria (ARPAL), che, per carenza di personale, affidò il compito all'Università di Genova.

Il risultato complessivo dell'azione sembra tuttavia non aver comportato, alla fine dell'esperienza, la piena soddisfazione delle aspirazioni originarie di tutte le parti coinvolte, forse anche a causa del non completo superamento di reciproche diffidenze.

### **2.1.4 Fase 3 - Letteratura scientifica sull'argomento ed altro materiale di interesse**

Nell'avvio di questa ultima fase è stata effettuata una ricerca bibliografica che ha evidenziato una vasta produzione di metodi, nonché di relativi software dedicati, riguardanti tuttavia principalmente la previsione del campo elettromagnetico irradiato da Stazioni Radio Base, mentre scarse sono risultate le pubblicazioni scientifiche circa tecniche finalizzate alla minimizzazione del campo elettromagnetico. Si vedano, a questo proposito, alcune recenti pubblicazioni scientifiche<sup>1,2,3,4,5,6,7</sup> e la tabella 2.1.1, dove è presentato un aggiornamento delle tecniche riportate in <sup>4</sup> e dove sono brevemente descritti sia i codici commerciali sia quelli sviluppati in ambiente accademico.

Sembrano di rilievo, in tale prospettiva, gli studi Di Chiara e coll.<sup>5,6</sup>, circa tecniche per l'ottimizzazione del posizionamento dell'antenna ed il dimensionamento della potenza emessa. Gli

---

<sup>1</sup> A genetic GIS-based approach for the Optimization of radiobase station sizing and location, F. Mori, R. Sorrentino, M. Strappini, L. Tarricone, Proc. EMC2002, vol. 1, 2002, 467-471

<sup>2</sup> Z. Ji, T. K. Sarkar, B. Li, Methods for Optimizing the Location of Base Stations for Indoor Wireless Communications", IEEE Trans. on Ant. Prop, 50,10, 2002, pp1481-1483

<sup>3</sup> Cerri, G.; Russo, P.: Application of an Automatic Tool for the Planning of a Cellular Network in a Real Town, IEEE Transactions on Antenna and Propagation, Volume 54, Issue 10, Oct. 2006 Page(s): 2890 – 2901

<sup>4</sup> Rassegna dei modelli per il rumore, i campi elettromagnetici e la radioattività ambientale, ANPA, RTI-CTN\_AGF1/2001

<sup>5</sup> Di Chiara, M. Nonato, M. Strappini, L. Tarricone, M. Zappatore, "Hybrid Meta-heuristic Methods in Parallel Environments for 3G Network Planning", EMC Europe Workshop 2005, Electromagnetic Compatibility of wireless Systems, pp 199-202, 19-21 September 2005, Rome, Italy

<sup>6</sup> B. Di Chiara, M. Nonato, R. Sorrentino, M. Strappini, L. Tarricone, "Sviluppo di ambienti evoluti per pianificazione ottimale di reti wireless", in Quaderni della Società Italiana di Elettromagnetismo Numero Speciale XV Riunione Nazionale di Elettromagnetismo – RiNEm, vol. 1, n. 2, July 2005, pp. 86-92, ID 0001-02-2005

<sup>7</sup> G. Franceschetti, A. Iodice, D. Riccio, G. Ruello, "A Tool for Planning Electromagnetic Field Levels in Urban Areas", Proceedings of the Antennas and Propagation Society International Symposium, pp. 2211-2214, 2004

autori propongono un metodo alternativo e meno oneroso di quello classico deterministico, basato sulla teoria percolativa. Questa fornisce una rappresentazione statistica della propagazione radio in un mezzo random: la mappa topografica viene associata ad un reticolo nel quale le celle piene rappresentano gli ostacoli per il campo elettromagnetico. Il reticolo è descritto statisticamente dalla probabilità  $p$  di una cella di essere vuota e l'onda elettromagnetica nel tessuto urbano è associata ad un raggio che incide sul reticolo con una data inclinazione.

Mediante la teoria percolativa, è determinata la profondità di penetrazione del raggio nel tessuto urbano, valutando un certo numero di riflessioni e introducendo dei parametri che caratterizzano l'antenna, le proprietà geografiche dell'area, nonché alcune funzioni che tengono conto dei vincoli di copertura e di radioprotezione. In tal modo è possibile, come accennato prima, ottimizzare il posizionamento dell'antenna e dimensionare la potenza emessa.

Un altro approccio interessante, seguito da Cerri e coll.<sup>3</sup>, è quello di utilizzare un algoritmo genetico, metodo di ottimizzazione che risulta essere molto efficace e relativamente veloce.

L'algoritmo viene applicato per minimizzare un funzionale che tenga conto delle informazioni sulla copertura, dei livelli di campo nelle zone da coprire (radioprotezione), del rapporto C/I, del traffico da servire, e dei costi. In particolare, l'algoritmo ottimizza il posizionamento della SRB, la potenza dei ricetrasmittitori delle SRB, l'altezza e l'orientamento dell'antenna. I funzionali sviluppati sono stati provati separatamente e in combinazione e i risultati ottenuti indicano che la migliore soluzione è basata su un compromesso tra esigenze diverse e talvolta contrastanti tra loro.

L'utilizzo, inoltre, di una procedura basata su una rete neurale, semplice e veloce, migliora il calcolo del campo nelle zone circostanti le antenne.

**Tabella 2.1.1. - Tecniche di previsione del campo elettromagnetico**

<b>Modello</b> <i>Organizzazione responsabile o sviluppatore</i>	<b>Descrizione</b>
XFDTD Remcom Incorporated	Software basato sul metodo FDTD ( <i>Finite Difference Time Domain Method</i> ) per il calcolo numerico dei campi elettromagnetici prodotti da antenne e della loro interazione con oggetti, tenendo conto anche dello scattering.
ARPAS: Antenna radiation Pattern Analysis System NASA-CLASS (Communication Link Analysis and Simulation Systems)	Dedicato all'analisi/progettazione di antenne. Il software predice i patterns di radiazione, in campo lontano, di antenne in presenza di altri oggetti solidi.
EMAP: propagazione/scattering University of Missouri	EMAP è una famiglia di codici tridimensionali agli elementi finiti utile per l'analisi dell'interazione dei campi con geometrie tridimensionali semplici, tenendo conto anche dello scattering.
EMAP: Antenna Scatterers Analysis Program University of Missouri	Dedicato all'analisi/progettazione di antenne. Studiato particolarmente per strutture radianti a filo sottile, permette di analizzare proprietà come il guadagno, l'impedenza, l'efficienza, il diagramma di radiazione ed altre.
MMP: Multiple Multipole Program Swiss Federal Institute of Technology	Software che sfrutta un metodo semi-analitico per la computazione dei campi. Utile per problemi di scattering e problemi agli autovalori (guide d'onda)
TLM: Transverse Line Matrix University of Victoria, Canada	Analizza l'interazione dei campi con materiali con caratteristiche elettriche e magnetiche complesse, risolvendo problemi di propagazione/scattering.
ALDAS: Analysis of Low Directivity Antennas on Structures Antenna Software, Ltd	Dedicato all'analisi/progettazione di antenne. Determina il comportamento di un'antenna a basso guadagno montata su strutture conduttrici complesse



<b>Modello</b> <i>Organizzazione responsabile o sviluppatore</i>	<b>Descrizione</b>
RASPUTIN: Radio Strength Prediction Using Territorial Inputs CSELT Centro Studi e Laboratori Telecomunicazioni, Torino	Valuta la copertura radioelettrica per sistemi di telefonia cellulare. Sviluppato per la previsione della copertura radioelettrica e dei contributi dovuti all'interferenza per una Stazione Radio Base.
FEKO: Field computations involving bodies of arbitrary shape Università di Stoccarda, Germania	Calcola, a partire da diverse possibili sorgenti di eccitazione, la distribuzione di campo su strutture complesse di forma arbitraria e di materiale conduttore, sia perfetto che reale, oppure dielettrico.
Modello per la mappatura di campo elettromagnetico in ambiente urbano, suburbano e rurale ARPA Piemonte Dipartimento di Cuneo	Modello che integra le procedure di misura per la caratterizzazione del livello di fondo del campo elettromagnetico con un'opportuna procedura di predizione (tenendo conto anche dello scattering), al fine di ridurre, attraverso un opportuno confronto tra valori predetti e misurati, il numero di punti di misura, con conseguente riduzione dei tempi di lavoro.
ParFlow 0 e 1 Swiss Telecom, Univ. Di Ginevra	Sviluppato per valutare la copertura radioelettrica per sistemi di telefonia cellulare. Modello, basato sul metodo TLM (Transmission Line Matrix), che predice come un'onda e.m. viene attenuata in un ambiente urbano, al crescere della distanza dall'antenna sorgente.
CONCEPT II (Code for the Numerical Computation of Electromagnetic Processes for Thin wire and thin shell structures including dielectrics). Univ. di Amburgo	Codice basato sul metodo dei momenti (MoM) per il calcolo di correnti, cariche e tensioni, prodotte da qualsiasi eccitazione di strutture metalliche o corpi dielettrici. Il campo elettromagnetico così generato può essere calcolato, tenendo conto anche dello scattering, sia in campo vicino sia in campo lontano.
EDX-Signal PRO EDX Wireless, USA	Previsione effettuata sulla base di un modello numerico del territorio. È possibile integrare cartografia georeferenziata, mappe digitalizzate, foto da satelliti, database di città, ecc.
GUARDIAN (Graphical User Application for the RaDiation Intensità in Antenna Neighbourhhods) Ti-Lab	Strumento di simulazione per il calcolo e la visualizzazione dell'andamento del CEM in prossimità di Stazioni RadioBase. Permette il calcolo di CEM in spazio libero, sia con metodo di campo vicino che con il modello di campo lontano, la valutazione dei volumi di rispetto e il calcolo del CEM in prossimità di tutte le superfici accessibili e all'interno degli edifici con tecniche di Ray- Tracing e di GTD (Geometrical Theory of Diffraction).
RASPUTIN (Radio Strength Prediction Using Territorial INputs) Ti-Lab	Strumento per la radiocopertura macrocellulare. Valuta la propagazione in ambiente aperto e in assenza di ostacoli, tiene conto della diffrazione dovuta ad ostacoli orografici presenti lungo il cammino di propagazione.
SCAMPER (Small Cell Advanced Mobile Propagation Evaluation Resource) Ti-Lab	Software per calcolare la propagazione del campo generato da microcelle, tenendo conto della reale topologia dell'edificato. Considera i contributi di diffrazione dovuti agli edifici presenti e determina l'attenuazione con la tecnica di Huygens-Fresnel (soluzione approssimata).

<b>Modello</b> <i>Organizzazione responsabile o sviluppatore</i>	<b>Descrizione</b>
VIGILA <i>Ti-Lab</i>	<p>Software in grado di rappresentare i valori dei campi elettromagnetici e le previsioni dei volumi di rispetto integrando la visualizzazione degli edifici prossimi ai siti radio, grazie a database vettoriali che contengono le rappresentazioni degli edifici e dell'orografia del terreno in prossimità delle installazioni.</p> <p>Utilizzato per il calcolo del campo elettromagnetico in spazio libero e con la tecnica GTD (Geometrical Theory of Diffraction) su piani secanti, sia con tecniche di Near-Field (che implementano efficienti algoritmi di campo vicino), sia con tecniche di Far-Field (che implementano una formulazione di campo lontano).</p> <p>Valuta inoltre il campo elettromagnetico in prossimità di tutte le superfici accessibili (facciate di edifici e strade) e in corrispondenza delle pareti perimetrali interne degli edifici attraverso tecniche di ray-tracing e di GTD.</p>
EMLAB <i>Aldena</i>	Programma basato su metodi analitici (formula di campo lontano), che permette il calcolo del campo vicino a sistemi di radiatori elementari (ad es. schiere di dipoli) e del campo lontano.
Wizard Wireless Network Planning and Design Tool <i>Agilent</i>	Piattaforma per la pianificazione, progettazione e ottimizzazione di reti di telecomunicazione.
WinERT, dove ERT è l'acronimo di Electromagnetic Ray Tracer <i>Vector</i>	Valutazione del valore del campo elettromagnetico generato da un sistema di antenne trasmettenti secondo criteri deterministici e non probabilistici, utilizza algoritmi di ultima generazione basati sul Ray-Tracing adattato, in grado di valutare i fenomeni di riflessione, attenuazione e diffrazione dell'energia irradiata.
WIN-PROP AWE Communications was founded in 1998 as a spin off from the Institute of Radio Frequency Technology at the University of Stuttgart	Strumento di simulazione per il calcolo e la visualizzazione dell'andamento del CEM in ambienti urbani, suburbani e rurali, utilizzando modelli quali: Hata-Okumura Model COST 231 Walfisch-Ikegami Model Urban Dominant Path Model 3D Ray Tracing Model
Cellular Expert <i>HNIT-BALTIC, UAB, Lituania</i>	Piattaforma per la pianificazione, progettazione e ottimizzazione di reti di telecomunicazione.

<b>Modello</b> <i>Organizzazione responsabile o sviluppatore</i>	<b>Descrizione</b>
NetAct Planner <i>Nokia</i>	Il NetAct(TM) Planner comprende sei moduli: WCDMA Planner, Radio Planner, Link Planner, Transmission Planner, Quality Planner e Rollout Planner. Al fine di rendere più veloce ed efficiente la pianificazione e l'ottimizzazione delle reti 2G/3G, GPRS e EDGE, questo set completo di tools di pianificazione offre un supporto completo per l'implementazione.
QUICK-PLAN <i>TES (Teleinformatica e Sistemi) Roma</i>	Strumento di simulazione per il calcolo e la visualizzazione dell'andamento del CEM in ambienti urbani, suburbani e rurali. Utilizza la formula di campo lontano (con un algoritmo di ricostruzione del diagramma di irradiazione dei radiatori elementari per il campo vicino) per lo spazio aperto e tecniche di raytracing e GTD (Geometrical Theory of Diffraction) per la valutazione dell'interazione con edifici e ambiente circostante.
CEMView <i>ARPA Piemonte</i>	Il programma calcola il campo lontano prodotto da sorgenti fondamentali considerate come puntiformi (ad esempio, le celle delle SRB o le singole antenne radiotelevisive). Tali unità possono comprendere anche più antenne, tutte orientate nella stessa direzione e alimentate con una certa potenza (ripartita tra le varie antenne), e sono caratterizzate da un diagramma di irradiazione risultante. Il programma calcola anche il campo risultante dalla sovrapposizione delle emissioni di più unità fondamentali in un'area definita come sito di interesse (unità appartenenti ad uno stesso impianto o ad impianti differenti).
ARMONICA (ARpa MONItorggio Campi elettromagnetici nell'Ambiente) <i>Collaborazione Villa Griffone Radiolab (DEISUniv. Di Bologna, FUB) e ARPA Emilia Romagna.</i>	Programma ampiamente adottato per la previsione del campo, utilizza diversi approcci a secondo della distanza del punto di osservazione rispetto alla sorgente; il confronto tra i risultati numerici e quelli sperimentali indica un buon accordo.
Collaborazione Univ. di Roma Torvergata e Univ. dell'Aquila	Previsione del campo mediante metodo ray tracing+ Astigmatic Beam Tracing Di Giampaolo, E.; Bardati, F., "A method for multiple diffracted ray sampling in forward ray tracing", IEEE International Sym. Antennas and Propagation Society 2001, 468 –471, 2001.
Collaborazione Univ. Pisa e Univ. Siena	Attività di ricerca svolta nell'ambito del progetto PRIMO (Piattaforme Riconfigurabili per Interoperabilità in Mobilità)", RBNE018RFY, F.I.R.B. 2001, MIUR F. Giannetti,, P. Grassi, G. Manara, P. Nepa, M. Porretta: "Validazione di algoritmi di radiolocalizzazione mediante un simulatore di propagazione in aree urbane, RINEM 2002 F. Giannetti, P. Nepa, A. N. D'Andrea, G. Manara " Coverage Prediction of Cellular MC-CDMA using a Deterministic Propagation Model", Wireless Personal Multimedia Communications, 2005.
Università Politecnica delle Marche	Viene adottato un algoritmo genetico in grado di ottimizzare la collocazione della SRB tenendo conto sia della copertura sia della esposizione minima della popolazione Cerri, G.; Russo, P.: Application of an Automatic Tool for the Planning of a Cellular Network in a Real Town, IEEE Transactions on Antenna and Propagation, Volume 54, Issue 10, Oct. 2006 Page(s): 2890 – 2901

<b>Modello</b> <i>Organizzazione responsabile o sviluppatore</i>	<b>Descrizione</b>
Collaborazione Univ. Pisa e Univ. Siena	Attività di ricerca svolta nell'ambito del progetto PRIMO (Piattaforme Riconfigurabili per Interoperabilità in Mobilità)", RBNE018RFY, F.I.R.B. 2001, MIUR F. Giannetti,, P. Grassi, G. Manara, P. Nepa, M. Porretta: "Validazione di algoritmi di radiolocalizzazione mediante un simulatore di propagazione in aree urbane, RINEM 2002 F. Giannetti, P. Nepa, A. N. D'Andrea, G. Manara " Coverage Prediction of Cellular MC-CDMA using a Deterministic Propagation Model", Wireless Personal Multimedia Communications, 2005.
Università di Napoli "Federico II"	Il programma utilizza diversi approcci: i) la descrizione deterministica è adoperata come ingresso dei modelli elettromagnetici per i fenomeni di riflessione e diffrazione dagli elementi di struttura urbana; ii) la descrizione stocastica è adoperata per determinare la logica di combinazione dei contributi al campo totale concorrenti in ciascun punto in cui il campo è valutato. Tutti i contributi calcolati dei CEM tengono conto della polarizzazione. La propagazione dei campi e le riflessioni dalle pareti degli edifici e dalla topografia rappresentativa della scena sono valutate tramite le soluzioni dell'Ottica Geometrica. Gli effetti di bordo sono inclusi ricorrendo alla teoria geometrica della diffrazione GTD/UTD. Possono essere considerati: i) riflessioni singole o multiple da superfici orizzontali (tetti degli edifici), verticali (pareti degli edifici), oblique (profilo altimetrico del suolo); ii) diffrazioni singole o multiple da spigoli verticali o orizzontali degli edifici; iii) interazioni complesse (multiple riflessioni + multiple diffrazioni); iv) trasmissioni da outdoor ad indoor per la valutazione del campo all'interno degli edifici. G.Franceschetti, A.Iodice, D.Riccio, G.Ruello, "A Tool for Planning Electromagnetic Field Levels in Urban Areas", Proceedings of the Antennas and Propagation Society International Symposium, pp. 2211-2214, 2004.
Collaborazione Università Perugia – Università Lecce	Mediante una rappresentazione statistica della propagazione radio (teoria percolativa), viene valutata la profondità di penetrazione del raggio nel tessuto urbano ed imposti dei vincoli sulla radiocopertura e la radioprotezione al fine di ottenere una ottimizzazione del posizionamento della sorgente e un dimensionamento della potenza emessa B. Di Chiara, M. Nonato, M. Strappini, L. Tarricone, M. Zappatore, "Hybrid Meta-heuristic Methods in Parallel Environments for 3G Network Planning", EMC Europe Workshop 2005, Electromagnetic Compatibility of wireless Systems, pp 199-202, 19-21 September 2005, Rome, Italy B. Di Chiara, M. Nonato, R. Sorrentino, M. Strappini, L. Tarricone, "Sviluppo di ambienti evoluti per pianificazione ottimale di reti wireless", in Quaderni della Società Italiana di Elettromagnetismo Numero Speciale XV Riunione nazionale di Elettromagnetismo – RiNEM, vol. 1, n. 2, July 2005, pp. 86-92, ID 0001-02-2005.

---

### **2.1.5 Considerazioni sulle esperienze di best-siting e di mitigazione delle emissioni elettromagnetiche in Italia**

L'indagine condotta su questa attività relativamente alle esperienze di best-siting e di mitigazione delle emissioni elettromagnetiche generate da impianti a radiofrequenza in Italia, ha permesso di giungere ad alcune conclusioni:

- 1) l'interesse sembra fortemente polarizzato sul possibile impatto delle stazioni radio base per telecomunicazioni, mentre sono trascurati tutti gli altri impianti, quali, ad esempio, quelli per il broadcasting radiotelevisivo;
- 2) risulta evidente, da parte delle amministrazioni comunali e, più in generale, delle autorità pubbliche, la forte esigenza di individuare delle strategie per minimizzare l'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici generati dagli impianti dedicati alla telefonia cellulare;
- 3) la suddetta esigenza si concretizza spesso in una combinazione di metodi, che includono l'approccio tecnico, l'apertura di un tavolo comune di discussione con tutte le parti interessate alla problematica, l'organizzazione di iniziative per la comunicazione e la formazione, in particolare verso la popolazione;
- 4) sebbene probabilmente queste iniziative siano presenti in modo discontinuo su tutto il territorio nazionale, non sembra di intravedere alcuna forma di coordinamento o di gestione strutturata a più livelli (dal comune, alla provincia, alla regione, ecc..). Inoltre, spesso queste iniziative sembrano restare confinate alla buona volontà degli attori localmente coinvolti;
- 5) sembrano, invece, pochi i casi in cui è stata realmente adottata un'azione concertata a più livelli, coinvolgendo autorità competenti, rappresentanze dei cittadini ed esperti del settore;
- 6) si rende, quindi, assolutamente necessaria ed improrogabile la progettazione di un protocollo quadro, a livello nazionale, che possa essere di riferimento per tutte le autorità pubbliche che si trovano ad affrontare problematiche di questo tipo;
- 7) la progettazione di tale protocollo dovrà coinvolgere tutti gli attori interessati, dalle autorità pubbliche ai gestori di telefonia, dai comitati di cittadini agli esperti scientifici del settore; le basi per tale iniziativa saranno ricavabili anche dai risultati di questo progetto.

## **2.2 Analisi e valutazione comparativa dei modelli e degli strumenti attualmente esistenti, descritti nel paragrafo 2.1**

### **2.2.1 Introduzione**

L'obiettivo del presente documento è quello di effettuare un'analisi comparativa delle tecniche e delle metodiche, proposte o adottate a livello nazionale al fine di minimizzare le emissioni dei campi elettromagnetici senza compromettere la qualità del servizio, ed elencate nel paragrafo 2.1. L'attenzione è rivolta essenzialmente agli impianti di telefonia mobile, in quanto, dalla ricognizione delle metodiche effettuata, l'interesse sembra focalizzato principalmente sulle Stazioni Radio Base per telecomunicazioni, come detto al paragrafo precedente.

Oltre alle procedure messe in atto a livello nazionale, viene effettuata una breve revisione dello stato dell'arte della letteratura sulle tecniche di ottimizzazione del segnale radio che possono avere un impatto importante sulla pianificazione di una copertura cellulare. Infine, viene presentata e discussa la situazione a livello Europeo relativamente all'approccio ai *siting* di Stazioni Radio Base per la telefonia mobile.

---

### 2.2.2 Analisi comparativa

In generale per poter valutare correttamente l'intensità del campo elettrico emessa dalle Stazioni Radio Base, è necessario conoscere le caratteristiche delle antenne utilizzate. La tipologia delle antenne, la loro dimensione, il loro numero, i loro sostegni, la loro altezza rispetto al tetto dell'edificio sede della Stazione Radio Base, rispondono a precise esigenze di natura tecnica: qualità della copertura nell'area desiderata, limitazione dell'irradiazione verso aree indesiderate, stabilità della comunicazione anche in condizioni atmosferiche avverse, rispetto dei volumi di sicurezza previsti dalle leggi, accessibilità per le operazioni di manutenzione del sistema. Un sistema di trasmissione di una Stazione Radio Base è costituito, generalmente, da più antenne trasmettenti montate su un palo e diversamente orientate. In ambiente urbano è tipico vedere 3 antenne montate a 120°. Le antenne normalmente usate nelle stazioni radio base sono costituite da diversi elementi radianti, detti anche antenne elementari, alimentate dagli impianti di trasmissione in modo da concentrare la potenza in un sottile fascio, la cui apertura verticale è inferiore ai 10°, mentre quella orizzontale varia tra i 60° e i 90°. L'asse del conoide può avere un'inclinazione rispetto al piano orizzontale (angolo di tilt). Oltre al segnale irradiato nel conoide principale, altri segnali molto più deboli sono irradiati intorno ad esso per dispersione.

Diversi sono quindi gli interventi che è possibile adottare per limitare l'intensità del campo emessa da Stazioni Radio Base. Sulla base della ricognizione delle metodiche effettuata, riguardante le diverse soluzioni adottate a livello nazionale da numerose amministrazioni comunali (Frosinone, Grotte (Ag), Acerra (Na), Baveno (Vb), Udine, Trapani, Venezia) per la razionalizzazione di infrastrutture di impianti per la telefonia mobile, si sono individuate sette linee operative principali che, pur non rappresentando una procedura standardizzata, possono essere considerate come quelle attualmente maggiormente utilizzate (vedi paragrafo 2.1.2). Nel seguito viene riportata una breve descrizione tecnica relativa all'utilizzo delle principali procedure e un'analisi dei vantaggi e degli svantaggi dell'adozione di ognuna di esse.

#### Interventi tecnici sugli impianti

Due sono i tipi di intervento più diffusi: modifica dell'angolo di puntamento delle antenne e modifica dell'altezza dell'antenna stessa.

L'angolo di puntamento e l'altezza dell'antenna rappresentano alcuni dei parametri di progetto della realizzazione di una rete cellulare: tipicamente nelle aree urbane il fascio prodotto dalle antenne viene puntato al di sopra dei tetti circostanti, in modo da 'illuminare' anche le aree non direttamente 'visibili', grazie ai fenomeni di diffrazione e di riflessione. Grazie all'elevata sensibilità dei ricevitori, il segnale richiesto all'ingresso di un telefono cellulare è dell'ordine di frazioni di milionesimo di watt e pertanto non è richiesta la visibilità diretta tra telefono e stazione radio base. Inoltre, puntare le antenne sulla superficie degli edifici circostanti costituirebbe un inutile spreco di potenza e, quindi, di energia.

Il puntamento al di sopra del livello dei tetti e l'apertura ridotta del fascio richiedono però che i sostegni presentino un'altezza ed una stabilità adeguata (le antenne devono essere al di sopra del colmo dei tetti degli edifici), data la necessità di mantenere stabile il puntamento anche quando si verificano condizioni meteorologiche estreme; infatti, anche piccole oscillazioni o vibrazioni del sostegno possono provocare notevoli variazioni periodiche del campo elettromagnetico. È chiaro però che l'aumento dell'altezza dell'antenna, laddove minimizza il campo elettromagnetico emesso in direzione degli edifici e dunque della popolazione, si scontra con l'esigenza, legata alle problematiche d'impatto ambientale e comunicazione del rischio, di assicurare una minore visibilità delle stesse.

---

Per quanto riguarda l'angolo di puntamento, questo ha ricoperto un ruolo importante nei sistemi di prima generazione; infatti, modificando meccanicamente di qualche grado tale angolo rispetto al piano verticale, è possibile modificare la copertura dell'area da servire. I problemi che il tradizionale "tilt" meccanico comporta sono essenzialmente quello della distorsione del fascio azimutale e quello relativo all'introduzione di lobi secondari posteriori verso l'alto, con conseguente degrado delle prestazioni di copertura dell'impianto. Le antenne cellulari di seconda generazione superano queste problematiche introducendo il puntamento elettrico, cioè la modifica della direzione di puntamento del fascio, attraverso la modifica della fase del segnale. In questo modo viene modificata la direzione di tutti i lobi (principali, laterali e posteriori) della stessa quantità, il che rende possibile il controllo dell'interferenza in tutte le direzioni. Gli ultimi sviluppi tecnologici in questa direzione riguardano l'utilizzo di antenne (smart antennas) in cui il puntamento del fascio è controllato da remoto. È chiaro che l'utilizzo di queste antenne di ultima generazione porta ad una sensibile ottimizzazione della copertura di rete implicando, però, maggiori costi. A livello nazionale, l'utilizzo di antenne evolute non è al momento così esteso, dal momento che i gestori nell'effettuare la scelta di progetto della stazione radio base puntano su sistemi consolidati e standard.

In conclusione, per impianti già installati, è possibile ridurre l'emissione di campo elettromagnetico a parità di qualità del servizio offerto solo tramite ottimizzazione contemporanea dell'altezza e dell'angolo di puntamento dell'antenna attuata in modo meccanico.

### **Introduzione di impianti miniaturizzati, microcelle, picocelle**

In alcune zone dei centri urbani, alle stazioni radio base (SRB) di tipo tradizionale, si affiancano quelle micro e pico-cellulari, ossia sistemi a corto raggio d'azione che garantiscono la copertura del servizio nelle aree a maggior traffico telefonico (microcelle) e negli ambienti interni (picocelle: estensori di copertura).

Tecnicamente, una microcella non è altro che una miniaturizzazione di una classica stazione radio base. L'effetto di tale miniaturizzazione coinvolge in sostanza la dimensione delle antenne, la potenza installata ed il numero di canali di traffico attivabili. Tali sistemi sono caratterizzati da un minor impatto visivo rispetto alle normali SRB e dall'uso di potenze estremamente basse, dell'ordine di qualche mW, in base al numero ed alla tipologia di servizi presenti. In generale, le emissioni prodotte da una microcella sono inferiori a quelle prodotte da una stazione radio base, in virtù della minor potenza a disposizione, ma va precisato che nelle immediate vicinanze di qualsiasi stazione radio-base (e quindi anche della micro cella) si hanno necessariamente valori significativi di campo elettromagnetico, che si attenua ovviamente con la distanza dalla sorgente. Per tali considerazioni, appare opportuno localizzare le microcelle in aree pubbliche, evitando in particolare l'installazione in facciata degli edifici e prediligendo invece strutture quali lampioni, semafori e qualsiasi altra struttura che sia posizionata nel centro abitato, ma ad una ragionevole distanza dalle abitazioni. I livelli di emissione non sono comunque costanti, ma variano nel tempo in funzione della distanza dei terminali serviti e del numero di utenti del servizio (tipicamente sono più bassi nelle ore notturne). Si rileva, in genere, una ciclicità giornaliera ed anche settimanale, i cui andamenti dipendono anche dalla tipologia e destinazione d'uso dell'area di territorio interessata (es. residenziale, commerciale ecc.).

In conclusione, l'utilizzo della copertura tramite micro o picocelle, permettendo di ridurre il livello di emissione delle stazione radio base a parità di qualità di servizio offerto, sembra essere una delle soluzioni tra le più richieste dalle popolazioni e dalle varie associazioni interessate alla problematica.

---

## Delocalizzazione

La delocalizzazione consiste nell'installare gli impianti in aree caratterizzate da una bassa densità di popolazione o dall'assenza di ambienti sensibili. Con questo tipo di intervento si va nella direzione di un minor impatto visivo delle stazioni radio base, ma non è detto che l'obiettivo di minimizzazione del campo elettromagnetico emesso sia perseguito; infatti, in via generale, a seguito di interventi di delocalizzazione, è necessario aumentare la potenza di trasmissione del segnale necessaria per raggiungere gli utenti che si trovano ai limiti della cella.

Negli impianti, in generale, la potenza massima di trasmissione del segnale viene impostata entro limiti molto bassi. È quella che in termini tecnici è chiamata 'potenza di configurazione' che, in ambito urbano, viene normalmente fissata su valori inferiori ai 20 W. Va considerato, poi, che la potenza che arriva all'antenna è ulteriormente ridotta a circa un terzo della 'potenza di configurazione' per le perdite che si verificano negli apparati, che permettono di accoppiare alla medesima antenna più trasmettitori, e nei cavi di collegamento. Esiste, d'altra parte, anche un meccanismo di riduzione 'dinamica' della potenza di trasmissione. Si tratta di una funzionalità presente sia nelle stazioni radio base che nei singoli telefonini, che consente di monitorare continuamente, conversazione per conversazione, il livello e, in base alle misure, di regolare con continuità, istante per istante, la potenza dei trasmettitori al livello minimo necessario per mantenere un'adeguata qualità di connessione. Il controllo dinamico può ridurre la potenza erogata dal trasmettitore della stazione radio base e dal cellulare fino ad un millesimo della potenza di configurazione impostata a livello di progetto. Pertanto, nella ragionevole ipotesi di una distribuzione uniforme dell'utenza nell'area di copertura della cella, la potenza media erogata dalle stazioni radio base verso gli utenti durante le conversazioni è consistentemente inferiore alla potenza di configurazione e pari a circa il 25%.

Da queste considerazioni si deve dedurre che, nell'intento di ridurre l'inquinamento elettromagnetico, la decisione di installare poche stazioni radio base delocalizzate, notevolmente distanziate tra loro, al limite delle aree residenziali, a parità di distribuzione sul territorio del traffico telefonico proveniente dai cellulari, non avrebbe come diretta conseguenza la minimizzazione dei livelli di emissione del campo elettromagnetico. Questo perché per mantenere il segnale che giunge ai cellulari e alle stazioni radio base sopra la soglia di ricezione, sarebbe necessario comunque aumentarne la potenza di trasmissione.

## Co-siting

Ci sono due possibili modi con cui si può condividere un sito: nel primo caso due o più operatori installano le loro antenne sullo stesso traliccio (site sharing), nel secondo caso (co-location) i diversi operatori posizionano le loro antenne sullo stesso edificio o struttura ma non sullo stesso traliccio. Entrambe sono soluzioni che riducono il numero di nuovi impianti installati e generalmente si presentano anche come le soluzioni più efficaci per un operatore dal punto di vista della riduzione dei costi. Ci sono però degli svantaggi: nel caso di antenne di diversi operatori su uno stesso traliccio, la struttura di quest'ultimo si presenterà molto più elevata e robusta, dovendo sostenere un maggior numero di antenne, e quindi sarà una struttura maggiormente visibile e ingombrante. Inoltre, in entrambi i casi è necessario evitare l'interferenza tra i diversi operatori, così come quella tra trasmissione e ricezione. Infatti, se due operatori utilizzano bande di frequenza diverse (ad esempio GSM900 e GSM1800), possono posizionare le loro antenne alla stessa altezza e in prossimità senza rischio di interferenza; ma se i due operatori utilizzano la stessa banda sono costretti ad isolare fisicamente le loro antenne. In quest'ul-



---

timo caso bisogna specificare una distanza di separazione (“tip-to-tip”) tra le due antenne. Le soluzioni tecniche che si possono adottare nella condivisione di uno stesso impianto sono tipicamente due. La prima fa uso di ‘filter combiners’, che sono dispositivi elettronici che hanno più rami connessi ad una parte comune. Sui singoli rami è presente un filtro selettivo in frequenza. Tali dispositivi hanno basse perdite ed un eccellente isolamento tra i diversi rami. Gli ‘hybrid combiners’ hanno due rami e quattro porte e sono progettati in modo tale che due segnali in ingresso a due porte vengano combinati e inviati in uscita sulle altre due porte.

Le prestazioni del collegamento radio possono essere penalizzate in un co-siting. Va prestata una speciale attenzione, quindi, alla banda di guardia, alla separazione delle portanti, all’isolamento tra i due sistemi, al rumore in trasmissione, ai prodotti di intermodulazione, alle emissioni spurie e, infine, ai blocchi di ricezione.

Il co-siting non comporta una diminuzione complessiva dei livelli di campo elettromagnetico, tanto che sia in fase di autorizzazione sia durante l’attivazione sono necessari maggiori controlli; esso tuttavia è spesso suggerito per ridurre l’impatto paesaggistico nonché la percezione del rischio.

### **2.2.3 Tecniche di ottimizzazione del segnale radio**

A fianco alle possibili soluzioni tecniche e pratiche descritte nei paragrafi precedenti, esiste, in prospettiva, la possibilità di adottare metodologie sia di modulazione dell’intensità del segnale, ottimizzando il controllo di potenza dell’antenna, sia di condivisione delle risorse radio a parità di qualità del servizio [1]-[7].

I sistemi di comunicazione wireless, dopo avere fornito negli ultimi decenni servizi voce al grande pubblico, di recente si concentrano sempre più su una varietà di servizi basati sulla trasmissione dati. In questo contesto, il problema considerato da un operatore di rete è di offrire un sistema di comunicazione in cui l’uso della rete è massimizzato per un dato insieme di requisiti a un dato livello di qualità del servizio (QoS).

Nell’affrontare questo problema, due aspetti possono essere chiaramente distinti: uno di pianificazione di rete (cioè, il disegno dell’infrastruttura di rete in termini di numero dei siti delle cellule, ubicazione delle cellule, architettura, potenza di trasmissione ecc.) [6] e di gestione della risorsa radio (cioè, per una data struttura di rete, le risorse radio sono gestite dinamicamente per rispondere all’esigenza istantanea degli utenti che si muovono nelle vicinanze della stessa rete). Tra l’altro la prospettiva, oltre ai sistemi 3G, è quella di reti eterogenee, in cui la molteplicità di tecnologie di accesso (UMTS, WLAN, EDGE), nonché la diversità dei terminali riconfigurabili, sarà fondamentale al fine di consentire agli utenti di godere in modo completo dei servizi.

In questo scenario, la gestione condivisa delle risorse radio (JRRM) è il processo individuato per gestire dinamicamente e in modo coordinato l’assegnazione e de-allocazione di risorse radio tra le diverse tecnologie di accesso radio e per le bande dello spettro assegnate a ciascuno di questi sistemi. La strategia JRRM consentirà, in prospettiva, il più efficiente utilizzo delle risorse radio, minimizzando di conseguenza i livelli di emissioni ambientali. Le tecniche mirano ad ottimizzare contemporaneamente una serie di parametri quali la qualità del servizio, le esigenze di mobilità degli utenti e, in modo particolare, il bit rate assegnato ad ogni utente nelle diverse condizioni di traffico. Le diverse strategie sono per lo più implementate attraverso algoritmi adattativi quali logica Fuzzy [1] o Macchine a stati di Markov [4].

Il secondo approccio possibile consiste nella pianificazione delle reti ricercando soluzioni che

---

garantiscono una copertura delle area di interesse (soprattutto urbana [3]) attraverso algoritmi innovativi per il controllo di potenza [7] e collegamenti riconfigurabili. Questi ultimi, basandosi essenzialmente sull'utilizzo di architetture Multiple Input Multiple Output (MIMO), sfruttano diversi tipi di modulazione del segnale: orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) [3], adaptive modulation and diversity combining (AMDC) [2], o applicano tecniche di ottimizzazione adattative basate su logica fuzzy o di teoria dei giochi [5].

Queste soluzioni, pur essendo studiate al fine di sfruttare al meglio le risorse radio minimizzando i costi per l'utente e il provider, a parità di servizio offerto, hanno come naturale conseguenza quella di ridurre i livelli di emissione e possono, in prospettiva, diventare un utile e conveniente strumento tecnico per i gestori delle reti.

#### **2.2.4 Programmi di best-siting a livello europeo**

In linea di principio, il coinvolgimento della popolazione e di tutte le altre parti interessate nei processi decisionali relativi al siting di stazioni radio base per telefonia mobile è considerato tale da migliorare significativamente la qualità della decisione politica e da rafforzare l'approccio democratico alla questione. Più specificamente, promuovere iniziative per favorire la pubblica partecipazione, organizzare modalità di dialogo fra le varie parti interessate ed informare in modo trasparente il pubblico, sono azioni viste da molti anni come il metodo principale per ridurre i conflitti fra le parti e per aumentare il consenso circa le decisioni conclusive relativamente all'installazione e/o all'uso di nuove tecnologie, potenzialmente rischiose per la salute (si veda il volume di Renn e coautori [8]).

Su queste considerazioni generali, in numerose nazioni europee, sono stati messi in atto, nel recente passato, differenti programmi di informazione e partecipazione pubblica nel siting di nuove Stazioni Radio Base per telefonia mobile (Danimarca, Finlandia, Francia, Germania, Irlanda, Italia, Olanda, Regno Unito, Repubblica Ceca, Svizzera). La tipologia di tali attività varia poi da nazione a nazione, nonché, al loro interno, in funzione delle realtà regionali e locali. Recentemente Wiedemann e Schütz [9] hanno pubblicato uno studio in cui sono state analizzate alcune esperienze europee (si vedano, nel seguito di questo documento, ulteriori commenti circa i risultati di questo studio). In Danimarca, ad esempio, si cerca di rendere responsabili le autorità politiche locali circa i processi di consultazione con la comunità locale, messi in atto mediante avvisi pubblici e lanci stampa sui principali quotidiani locali. In Finlandia, agli operatori di telefonia mobile è richiesto di consultare la cittadinanza nelle zone prossime al sito in cui si vuole installare la stazione. In Francia, l'azione avviene su richiesta specifica in risposta a contrasti in atto. In Germania, la consultazione pubblica con la comunità locale è obbligatoria, in base ad un impegno autonomamente preso dalle società di telefonia mobile. In Irlanda, l'avviso pubblico circa l'installazione di una stazione radio-base è ora obbligatorio, sia sul luogo che mediante lanci stampa, mentre in passato venivano organizzati, su base volontaria, incontri con la popolazione. In Italia, è invece obbligatoria, nell'ambito del processo amministrativo per l'installazione delle apparecchiature, la consultazione con le autorità regionali responsabili della protezione ambientale. In Olanda, le consultazioni pubbliche vengono spesso messe in atto attraverso incontri con la popolazione. Nella maggior parte dei casi, però, questi sono su base volontaria. Solo nel caso in cui la stazione radio-base venga installata su un edificio privato, la consultazione con i proprietari e gli inquilini diventa obbligatoria. Nella Repubblica Ceca, la cittadinanza delle zone interessate viene consultata ed ha il diritto di opporsi nel processo di ottenimento del permesso di installazione. In Svizzera, la consultazione pub-

---

blica è obbligatoria e ogni nuovo progetto di siting deve essere accompagnato da una campagna di avviso pubblico, tipicamente mediante lanci stampa. Gli abitanti nelle zone strettamente limitrofe alla locazione della stazione radio-base (300-750 m) hanno diritto di depositare un appello contro l'installazione e procedere per vie legali.

È invece nel Regno Unito che si registra una delle iniziative più note relativamente alla definizione di una strategia di consultazione ed informazione circa il best-siting. Questa strategia, detta "dei Dieci Comandamenti", è stata ideata verso la fine degli anni '90 e messa in atto dal 2001 dai 5 operatori di telefonia mobile del Regno Unito (3, O2, Orange, T-Mobile and Vodafone), poi riuniti nella Mobile Operators Association MOA, che hanno volontariamente adottato il decalogo Ten Commitments to Best Siting Practice. Tale decalogo ha come scopo ispiratore quello di assicurare la trasparenza nella realizzazione delle reti telefoniche per telefonia mobile, di permettere una migliore diffusione dell'informazione verso la popolazione e le autorità politico-sanitarie, di favorire la partecipazione attiva ed il coinvolgimento dell'intera comunità sociale al processo di siting [10, 11]. I Ten Commitments sono attualmente adottati dai quattro governi del Regno Unito, come parte delle loro linee guida per la pianificazione e lo sviluppo delle reti di telefonia mobile.

In particolare, i Ten Commitments impegnano gli operatori che vi aderiscono a:

1. Sviluppare, con le altre parti interessate, procedure standard, trasparenti e di facile comprensione, circa l'attivazione dei tavoli di consultazione con le comunità pubbliche;
2. Partecipare a tavoli di consultazione con le autorità politiche locali demandate alla gestione della pianificazione prima della messa in atto di azioni operative;
3. Definire e rendere pubblici criteri e accordi industriali trasparenti e verificabili per quanto concerne il *co-siting* (*site-sharing*) e di aggiornarli prontamente ogni qual volta sia necessario ;
4. Organizzare workshop di alto livello circa lo sviluppo tecnologico nelle telecomunicazioni, diretti sia ai funzionari che ai membri elettivi delle autorità politiche locali;
5. Sviluppare e rendere accessibile al pubblico, in stretta collaborazione con le autorità politiche, un archivio (catasto) delle stazioni radio-base;
6. Verificare periodicamente il rispetto delle indicazioni dell'ICNIRP (International Commission on Non-ionising Radiation Protection) circa i limiti di esposizione ai campi elettromagnetici ;
7. Mettere a disposizione, come parte delle pratiche relative ad ogni installazione, un certificato relativo al rispetto delle indicazioni dell'ICNIRP circa i limiti espositivi;
8. Mettere a disposizione, su richiesta, risorse in termini di personale ed attrezzature per la verifica e la certificazione dei limiti di esposizione. Tale risposta deve essere fornita entro 10 giorni lavorativi dalla richiesta;
9. Supportare programmi governativi di ricerca scientifica indipendente sugli effetti sulla salute legati all'esposizione ai campi elettromagnetici dovuti alla telefonia mobile;
10. Sviluppare documentazione di supporto per ogni piano di installazione di Stazioni Radio Base.

Oltre a questo, ogni anno le 5 società di telefonia che aderiscono a tali linee guida inviano a tutte le autorità politiche locali i piani di sviluppo delle loro reti per l'anno seguente, insieme con un esplicito invito ad organizzare un incontro esplorativo con le società stesse o la MOA. Vengono poi organizzati incontri periodici con i rappresentanti politici di maggioranza ed opposizione su tematiche relative alla pianificazione delle reti, agli studi sugli effetti sulla salute e sull'innovazione tecnologica. Infine, vengono regolarmente preparate campagne di informa-

---

zione in collaborazione con associazioni di cittadini [12].

A fronte di queste numerose e diversificate iniziative, poco era noto, fino ad ora, circa l'effettivo loro impatto sulle parti interessate e sui processi in atto. A riempire questa lacuna ha provveduto, proprio nel dicembre 2008, l'interessante studio di Wiedemann e Schütz [9], già citato in precedenza, in cui gli autori si sono posti l'obiettivo di verificare in modo quantitativo e statistico, se la messa in atto di strategie di informazione circa il *siting* di stazioni radio base possa efficacemente avere influenza su alcune variabili, quali la percezione del rischio, l'accettazione del *siting*, la fiducia nella sicurezza delle Stazioni Radio Base per telefonia mobile, la capacità della strategia informativa in esame di risolvere i conflitti o addirittura di evitarli, così come il livello di trasparenza del processo di *siting*, nonché sul quanto le preoccupazioni della popolazione influenzino la decisione finale.

I risultati dello studio indicano che l'essere a conoscenza dell'esistenza di strategie informative non ha influenza su molte delle variabili considerate, quali la percezione del rischio, l'accettazione delle decisioni finali sul *siting*, la fiducia nella sicurezza delle stazioni radio base e la fiducia nella capacità della strategia in atto di evitare i conflitti fra le parti in causa.

L'essere informati sulle strategie produce, invece, effetti statisticamente significativi sul livello di trasparenza del processo, sulla preoccupazione dei residenti locali (cioè dei primi interessati), così come sulla risoluzione di conflitti in atto.

Questi risultati, che necessiteranno nel prossimo futuro di ulteriori verifiche, sembrano portare alla conclusione che l'incremento di informazione e partecipazione non sia direttamente proporzionale al livello di qualità ed ad una maggiore accettazione dei processi di *siting* delle Stazioni Radio Base.

### 2.2.5 Bibliografia

1. Lorenza Giupponi, Ramon Agustí, Jordi Pérez-Romero, and Oriol Sallent Roig, "A Novel Approach For Joint Radio Resource Management Based On Fuzzy Neural Methodology", IEEE Transactions On Vehicular Technology, Vol. 57, No. 3, May 2008, 1789- 1805.
2. Anders Gjendemsjø, Hong-Chuan Yang, Geir Egil Øien, And Mohamed-Slim Alouini, Joint Adaptive Modulation And Diversity Combining With Downlink Power Control, IEEE Transactions On Vehicular Technology, Vol. 57, No. 4, July 2008 2145- 2152.
3. Yan Q. Bian, Andrew R. Nix, Eustace K. Tameh, And Joseph P. Mcgeehan "MIMO-OFDM WLAN Architectures, Area Coverage, And Link Adaptation For Urban Hotspots" IEEE Transactions On Vehicular Technology, Vol. 57, No. 4, July 2008, 2364-2374.
4. Abdul Hasib And Abraham O. Fapojuwo, "Analysis Of Common Radio Resource Management Scheme For End-To-End Qos Support In Multiservice Heterogeneous Wireless Networks", IEEE Transactions On Vehicular Technology, Vol. 57, No. 4, July 2008, 2426-2439.
5. Samir V. Ginde, Allen B. MacKenzie, R. Michael Buehrer, Ramakant S. Komali, A Game-Theoretic Analysis of Link Adaptation in Cellular Radio Networks IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 57, no. 5, September 2008, 3108- 3120.
6. Mansour A. Aldajani, "Convolution-based placement of wireless base stations in urban en-

---

vironment” IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 57, no. 6, November 2008, 3843-3848.

7. Mu-King Tsay, Ze-Shin Lee, and Chien-Hsing Liao, Fuzzy Power Control for Downlink CDMA-Based LMDS Network IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 57, no. 6, November 2008, 3917-3921

8. Renn, O., Webler, T., and Wiedemann, P.M., eds., 1995. Fairness and competence in citizen participation: evaluating models for environmental discourse. Dordrecht: Kluwer.

9. Wiedemann P.M. and Schütz H.: Informing the public about information and participation strategies in the siting of mobile communication base stations: An experimental study, Health, Risk & Society, Vol. 10, No. 6, December 2008, 517–534.

10. [http://www.mobilemastinfo.com/planning/MOA\\_10\\_Commitments.pdf](http://www.mobilemastinfo.com/planning/MOA_10_Commitments.pdf)

11. [http://www.mobilemastinfo.com/planning/best\\_practice.htm](http://www.mobilemastinfo.com/planning/best_practice.htm)

12. <http://www.rs-inc.com/gateways/RF/> (notes of December 5, 2008; May 2, 2008 and of March 14, 2003).

## **2.3 Preparazione di linee-guida sui metodi e sulle tecniche per la minimizzazione dei CEM emessi dai vari dispositivi, sistemi ed impianti, a parità di efficienza del servizio**

### **2.3.1 Introduzione**

Il processo che porta all’attivazione sul territorio di sorgenti elettromagnetiche a radiofrequenza, come quelle per i servizi di telefonia mobile e radiotelevisivi, è complesso e coinvolge una molteplicità di soggetti (gestori, enti locali e territoriali, opinione pubblica). D’altra parte, come già emerso, la comunità scientifica fornisce un numero consistente di tecniche e metodologie per la messa a punto di strategie di pianificazione che minimizzino le emissioni elettromagnetiche, pur garantendo un’adeguata efficienza ed efficacia dei servizi prima citati. Queste conoscenze, per essere realmente utili, devono essere patrimonio condiviso fra i soggetti prima citati e diventare stabilmente parte integrante di un “modus operandi” che regoli i contributi e le interazioni fra i soggetti stessi. Inoltre, devono congiungersi con un continuo aggiornamento delle conoscenze e dei fabbisogni delle nuove tecnologie e dei nuovi servizi di telecomunicazione.

Coerentemente con queste considerazioni preliminari, sulla base della panoramica sui metodi di minimizzazione fornita nei paragrafi 2.1 e 2.2, si focalizzano gli aspetti tecnologici principali riguardanti i sistemi di telefonia mobile ad oggi più diffusi e si forniscono delle linee guida sui metodi e tecniche per la minimizzazione dei CEM a parità di efficienza del servizio, nel caso della telefonia mobile. Si accenna anche agli aspetti tecnologici di maggiore rilievo di alcune tecnologie emergenti (WiMax), che potrebbero condizionare eventuali sviluppi futuri delle linee guida.

Si mettono in luce anche aspetti peculiari delle tecnologie televisive più recenti (ad esempio DVBH).

Si osserva come, in alcuni casi, si prospetti una sostanziale convergenza delle tecnologie di telefonia e di quelle televisive. Infine, vengono tratte delle conclusioni, indicando la necessità di integrare le linee guida qui proposte con adeguate politiche di best-siting.

---

### 2.3.2 Aspetti tecnologici rilevanti per i sistemi di telefonia mobile e linee guida per la minimizzazione dell'impatto

#### *Tecnologie e metodologie per la minimizzazione e loro adozione*

Le tecniche e le metodiche che vengono adottate o proposte a livello nazionale e che sono state presentate nei paragrafi 2.1 e 2.2 sono tutte finalizzate al miglioramento di reti wireless già esistenti, ma hanno il limite di analizzare le installazioni singolarmente. Nell'ottica di mantenere la qualità del servizio, sarebbe necessario analizzare l'insieme delle installazioni, per evitare di perdere la qualità del servizio nella zona dove viene modificata l'installazione. Inoltre, appare difficile e poco produttivo separare l'aspetto di minimizzazione del campo dal contesto della tipologia del servizio da fornire e, in generale, dalla relativa qualità.

Mentre in letteratura sono disponibili lavori che trattano vari aspetti di progettazione e ottimizzazione della rete, solamente alcuni [1-2] fanno esplicito riferimento ad una metodologia che include la minimizzazione del campo elettromagnetico come parametro fondamentale del sistema. Il modello appare abbastanza flessibile e generale per cui tutte le metodiche attualmente utilizzate possono essere integrate nella tecnica citata.

I moderni sistemi di telecomunicazione, data la loro complessità, necessitano di procedure automatiche per la loro progettazione, che tengano conto di tutte le esigenze connesse con il servizio. Attualmente, i sistemi di telefonia mobile adottano procedure automatiche per l'installazione e il dimensionamento delle stazioni radio base che non tengono però conto, a priori, dell'esigenza di minimizzare il campo elettrico. Normalmente viene invece effettuata una stima di quanto aumentano i livelli di campo, una volta installato il sistema.

Un altro aspetto che non viene normalmente preso in considerazione durante la progettazione della stazione, è rappresentato dalle esigenze di preservare alcune zone di particolare interesse pubblico, oppure di particolare criticità, quali ospedali o altro. Quello che normalmente si fa è individuare un'area abbastanza vasta dove installare le stazioni, individuare i possibili punti utilizzabili all'interno dell'area e chiedere il permesso alle autorità comunali fornito sulla base di vincoli urbanistici e architettonici e della valutazione da parte dell'ARPA sul rispetto delle leggi vigenti sui livelli di esposizione elettromagnetica.

La possibilità di avere a priori la conoscenza delle eventuali criticità delle zone di interesse all'installazione e la possibilità di inserire queste, assieme all'esigenza di minimizzazione dei livelli di campo all'interno delle procedure automatiche di progettazione di Stazioni Radio Base, permetterebbe una migliore e più efficace installazione delle stesse.

Alla luce di ciò è presentata una procedura automatica per l'installazione di Stazioni Radio Base, che tenga conto anche della minimizzazione dei livelli di campo e delle esigenze particolari del territorio a riguardo di eventuali zone non consentite. La procedura tiene conto naturalmente delle esigenze del sistema di telefonia, in particolare della sua qualità in termini di copertura radio, rapporto segnale interferenza, capacità di traffico e, in aggiunta, ottimizzazione dell'efficienza del sistema vista in termini di distribuzione del traffico tra stazioni radio base.

Ognuna delle esigenze connesse con l'installazione della rete cellulare viene descritta con una funzione matematica e l'insieme delle stesse viene ottimizzato utilizzando l'algoritmo genetico.

Il risultato che si ottiene è definito ottimo nei limiti della procedura di ottimizzazione adottata, nel senso che non vuole dire che non esistono altre soluzioni accettabili.

La procedura di ottimizzazione deve restituire la posizione delle Stazioni Radio Base, le potenze irradiate dalle antenne e il tilt per ogni antenna, che permettono di avere il minimo livello di campo elettrico, la massima copertura, il massimo rapporto segnale-interferenza, la minima

distanza tra le antenne e il baricentro del traffico e la massimizzazione dell'efficienza della rete in termini di traffico servito.

Per ognuno dei requisiti di cui sopra viene sviluppato un funzionale e l'ottimizzazione completa del problema si ottiene combinando i diversi funzionali:

$$F = w_{EI} f_{EI}/f_{EI\max} + w_{\text{dist}} f_{\text{dist}}/f_{\text{dist}\max} + w_{C/I} f_{C/I}/f_{C/I\max} + w_{\text{cov}} f_{\text{cov}}/f_{\text{cov}\max} + w_{\text{eff}} f_{\text{eff}}/f_{\text{eff}\max} \quad (1)$$

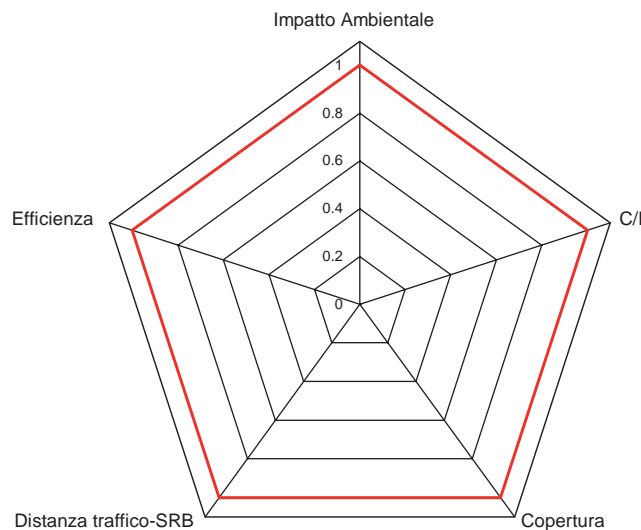
dove  $f_i$  è il funzionale dell' $i$ -esimo requisito, normalizzato al suo valore massimo  $f_{i\max}$ ; la normalizzazione è necessaria in quanto le quantità da sommare non sono omogenee e hanno valori molto diversi tra di loro. I pesi  $w_i$  possono essere scelti per enfatizzare una particolare esigenza: ad esempio si potrebbe far pesare maggiormente il funzionale che riguarda il livello di campo elettrico introducendo un peso corrispondente.

Per una visualizzazione dell'ottimizzazione ottenuta con la procedura, viene introdotto un grafico pentagonale (fig. 2.3.1). Se il centro del pentagono rappresenta l'origine di una sistema di coordinate polari, e se ognuno dei suoi vertici rappresenta il valore 1 per ogni funzionale, il segmento che congiunge il centro ad ognuno dei vertici, denotato con  $R$ , rappresenta il range di variabilità di ogni funzionale normalizzato.

Alla fine di ogni procedura di ottimizzazione, il valore del funzionale normalizzato viene riportato sulla corrispondente coordinate radiale secondo la seguente formula:

$$R = \left( \begin{array}{c} \frac{f_i - f_{i\min}}{f_{i\max} - f_{i\min}} \\ 1 - \frac{f_{i\min}}{f_{i\max}} \end{array} \right) \quad (2)$$

Questi punti sono i vertici di un pentagono irregolare inscritto in quello massimo, la cui area dipende dal grado di ottimizzazione raggiunto. Il pentagono massimo rappresenta il risultato ideale.



**Figura 2.3.1** Rappresentazione del livello di ottimizzazione ottenuto. In questo caso il pentagono rosso indica il massimo della ottimizzazione per ognuno dei funzionali (pentagono massimo)

L'area che deve essere coperta da una rete cellulare viene suddivisa in regioni, ognuna delle quali viene servita da una Stazione Radio Base. Inoltre, l'area viene discretizzata in un numero  $P \times Q$  di pixel.

Il punto più importante della procedura è rappresentato dal calcolo della potenza ricevuta dal mobile e, dunque, dal campo irradiato dalle antenne delle Stazioni Radio Base. Questo valore è necessario per la valutazione numerica di quasi tutti i funzionali. La potenza dipende naturalmente dalla posizione delle antenne, dalla loro potenza, dal tilt, dal guadagno e dall'attenuazione di spazio libero. Il suo calcolo può essere effettuato con diverse procedure, dalla più semplice e veloce, tipo la formula di Walfisch-Ikegami, alla più complessa e lenta, anche se più accurata, del ray tracing.

Analizziamo ora i funzionali:

#### *Impatto ambientale: Livello di campo elettrico*

Il funzionale è costruito in modo tale da poter definire diversi livelli di protezione per ognuno dei pixel in cui è suddivisa l'area, inserendo limiti massimi di campo diversi. Permette anche l'esclusione di alcune aree per l'installazione di stazioni radio base pesando queste aree in modo opportuno. Il funzionale ottenuto è:

$$f_{EI} \equiv \sum_{i=1}^{P \times Q} \left( \sqrt{\left( \sum_{k=1}^M C_k \times [E_{i,k}]^2 + (E_{oi})^2 \right)} \right) / Q_i \quad (3)$$

dove  $Q_i$  è il livello di protezione per ogni pixel e deve essere fornito in ingresso alla procedura,  $E_{i,k}$  è il campo elettrico irradiato dalla  $k$ -esima stazione nell' $i$ -esimo pixel,  $C_k$  è il numero di portanti per ogni stazione,  $E_{oi}$  è il campo elettrico preesistente, individuabile tramite misure,  $M$  è il numero totale di stazioni radio base e  $P \times Q$  è il numero di pixel totali. I pixel che corrispondono alle zone interdette all'installazione sono pesati con valori molto alti di  $Q$ .

Il funzionale riduce il suo valore quando il livello di campo elettrico è ridotto, in particolare la procedura di minimizzazione tenderà a trovare quelle posizioni, potenze e tilt per le SRB, che riducono il valore di campo elettrico nei punti dove il livello di protezione è più elevato dato che il corrispondente addendo all'interno del funzionale sarà più grande.

#### *Distanza tra le SRB e il baricentro del traffico*

Uno dei requisiti che i gestori di telefonia cercano di soddisfare è quello di posizionare le SRB vicino alle zone di maggior traffico cellulare. Questo obiettivo può essere raggiunto nella procedura automatizzata pesando la distanza di ogni pixel dalla SRB con il traffico corrispondente al pixel. Il traffico corrispondente ad ogni pixel deve essere fornito in ingresso alla procedura. Il funzionale che si ottiene è:

$$f_{dist} \equiv \sum_{k=1}^M \left( \sum_{i=1}^{N_k} T_{i,k} \times \left( \text{dist}(\text{RBS}_k - \text{Pixel}_{i,k}) \right) \right) \quad (4)$$

dove  $T_{i,k}$  è il traffico in ogni pixel, che appartiene alla  $k$ -esima regione (area servita dalla  $k$ -esima SRB),  $\text{dist}(\cdot)$  è la distanza tra la  $k$ -esima SRB e  $(i,k)$  pixel,  $M$  è il numero totale di SRB e  $N_k$  è il numero di pixel nella  $k$ -esima regione.



La procedura cerca di posizionare le SRB in modo tale da minimizzare la distanza che viene pesata con il traffico maggiore.

### *Rapporto C/I*

Il terzo funzionale rappresenta il rapporto segnale/interferenza, elemento essenziale per la qualità del servizio. L'ottimizzazione consiste nel massimizzare questo rapporto per ogni utente. Il dato di ingresso necessario per questo funzionale è dato dal minimo valore C/I sopportabile dal servizio.

Il funzionale:

$$f_{C/I} \equiv \sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^{N_k} \left( R_{k,i} - \left( P_{kik} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^M P_{kij} \right) \right) \quad (5)$$

dove  $R_{k,i}$  è il minimo valore di C/I per ogni pixel (dato di ingresso),  $P_{k,i,j}$  è la potenza ricevuta dalla  $j$ -esima RBS, nell' $i$ -esimo pixel, nella  $k$ -esima regione;  $M$  è il numero di SRB e  $N_k$  è il numero di pixel nella  $k$ -esima regione. I valori di potenza sono espressi in dBm.

La principale caratteristica di questo funzionale, che lo rende abbastanza generale per ogni tipo di servizio, è che l'interferenza non è descritta in termini di frequenze co-canale, ma considerando un approccio più cautelativo in cui ogni SRB interferisce con tutte le altre.

Cambiando posizione potenza e tilt alle antenne, l'algoritmo cerca di ridurre questo funzionale, facendo in modo di allontanare le SRB tra di loro per diminuire l'interferenza.

### *Copertura*

Il quarto funzionale valuta il livello di copertura ottenuto durante l'ottimizzazione e cerca di fare in modo di minimizzarlo, mantenendo un livello minimo richiesto dal tipo di servizio. I dati necessari all'ingresso sono il valore desiderato di copertura per una buona qualità del servizio.

Il funzionale è espresso in termini di differenza tra le potenza desiderata e quella effettivamente ricevuta in ogni pixel:

$$f_{cov} \equiv \sum_{i=1}^{P \times Q} (W_i - P_{RX_i}) \quad (6)$$

Le potenze sono espresse in Watt.

Il funzionale cercherà di minimizzare questa differenza, aumentando la potenza irradiata dalle antenne.

### *Efficienza*

L'efficienza di cui si tiene conto in questo funzionale rappresenta la capacità di servire il traffico in modo equilibrato tra le stazioni radio base, in modo tale da non avere stazioni sotto utilizzate e stazioni congestionate. Il funzionale è:

$$f_{\text{eff}} \equiv \prod_{k=1}^M \left( \frac{1}{\sum_{i=1}^{N_k} \text{traffic}_{i,k}} \right) \quad (7)$$

dove  $\text{traffic}_{i,k}$  è un valore di input e rappresenta il traffico stimato in ogni  $i$ -esimo pixel, appartenente alla  $k$ -esima area servita dalla  $k$ -esima SRB,  $M$  è il numero di SRB,  $N_k$  è il numero di pixel nella  $k$ -esima area. Il valore massimo di questo funzionale si ottiene quando tutte le stazioni servono lo stesso traffico.

La procedura di ottimizzazione è stata sviluppata per una rete di telefonia cellulare di tipo GSM. Tra i dati che servono per lo sviluppo dei funzionali, c'è quello del numero di stazioni radio base. Solitamente i gestori di telefonia, riescono a dare una stima di questo numero in base all'estensione dell'area da coprire e al traffico da servire.

La scelta di descrivere l'algoritmo per una rete GSM non è una limitazione in quanto qualunque altro tipo di servizio può essere rappresentato con gli stessi funzionali. La procedura di calcolo del segnale ricevuto dal mobile potrebbe cambiare in base al tipo di servizio e potrebbe servire modificare l'espressione dei funzionali.

Il funzionale (1) viene ottimizzato con l'algoritmo genetico, il quale restituisce la posizione delle antenne, la loro potenza e il tilt delle loro antenne. Durante la procedura di ottimizzazione, i diversi funzionali che compongono (1) subiranno delle modifiche nel loro valore, in particolare, alcuni diminuiranno in valore ed altri aumenteranno. Il risultato della procedura è un compromesso tra le diverse esigenze che possono anche essere in contrasto tra di loro.

La procedura descritta non è limitata allo sviluppo di una nuova rete cellulare, ma può essere anche applicata al caso di una rete cellulare già esistente che debba essere potenziata con nuove installazioni o nel caso si vogliano delocalizzare alcune installazioni senza modificare la qualità del servizio. Basterà in questo caso fissare i parametri non modificabili (ad esempio la posizione delle antenne persistenti) e lasciare che l'algoritmo trovi le altre quantità che ottimizzano la situazione.

È evidente che il modello presenta alcuni assunti arbitrari, anche se molto ragionevoli, legati alla definizione e al numero dei funzionali e ai loro pesi relativi, ma l'aspetto che si intende evidenziare è l'approccio metodologico e quantitativo. Questa filosofia ha portato a sviluppare un algoritmo che, basandosi su parametri matematici definiti, permette la minimizzazione del campo elettromagnetico nell'ambiente, compatibilmente con la qualità del servizio; inoltre, esso è sufficientemente flessibile da poter inglobare altri indicatori che dovessero essere considerati significativi sia per la rete sia per l'impatto ambientale.

### *Linee guida per la minimizzazione*

#### *Prerequisiti*

Sulla base delle considerazioni esposte sia nei precedenti report, che nel precedente paragrafo, appare a questo punto chiaro che, affinché una procedura di minimizzazione del campo elettromagnetico emesso da stazioni radio base (SRB) abbia successo, è necessario che siano disponibili a priori una serie di informazioni, che devono essere fornite sia dalle istituzioni locali che dai gestori di telefonia coinvolti.

La possibilità di disporre o poter accedere a un archivio delle sorgenti (localizzazione, bande di frequenza, numero di antenne, loro guadagni, loro diagrammi di radiazione, loro tilt meccanico

---

e loro potenza di ingresso) per quanto possibile aggiornato e completo, così come la disponibilità delle amministrazioni dei comuni a rendere accessibili i regolamenti comunali sulla ‘localizzazione’ delle sorgenti (con identificazione delle zone sensibili, di quelle a interesse architettonico e paesaggistico, così come delle zone di attrazione), rappresentano un pre-requisito necessario per poter operare sul territorio da analizzare e su cui si vuole intervenire. Queste informazioni devono essere integrate da una procedura di valutazione numerica dell’emissione elettromagnetica, necessaria per avere una ‘fotografia’ della situazione espositiva esistente e per individuare dei punti di riferimento da utilizzare per il controllo sperimentale del campo. Il confronto tra dati numerici e sperimentali permette una validazione dell’intera procedura.

Per consentire le opportune valutazioni e la pianificazione delle azioni, inoltre, è necessario che i gestori forniscano i piani annuali di espansione, pensiamo ad esempio alla rete UMTS che ancora non permette una copertura completa del territorio, specie in zone molto interessanti dal punto di vista di fornitura dei servizi quali possono essere quelle in prossimità delle linee ferroviarie ad alta velocità.

Sia i dati forniti dalle amministrazioni locali che quelli forniti dai gestori potrebbero essere resi noti nell’ambito di conferenze congiunte tra tutti i soggetti interessati da istituire regolamente, per esempio con cadenza annuale.

#### *Procedure per la minimizzazione*

Assumendo acquisite tutte queste informazioni, possono essere attivate procedure di minimizzazione che devono prevedere:

- interventi tecnici sugli impianti preesistenti (ottimizzazione contemporanea dell’altezza, dell’angolo di puntamento dell’antenna attuata in modo meccanico, la potenza di ingresso e il tilt meccanico mantenendo la qualità del servizio offerto). Questa soluzione richiede la collaborazione dei gestori, senza però un aumento sostanziale dei costi, e la possibilità di modificare l’altezza dell’antenna senza aumentarne l’impatto ambientale e senza mutare la percezione del rischio da parte della popolazione. Soprattutto per quest’ultimo motivo è una soluzione che può essere applicata in preferenza nelle zone extraurbane;
- introduzione di impianti miniaturizzati (micro-celle e pico-celle) a sostituzione o integrazione di impianti preesistenti. Questa soluzione prevede dei costi per i gestori e un piano informativo al pubblico tale da evitare un aumento della percezione del rischio. È molto valida per le zone urbane dove le antenne possono essere installate in corrispondenza di lampioni, semafori o, comunque, sufficientemente lontano dalle abitazioni, con il minimo impatto ambientale e con un unico interlocutore rappresentato dall’amministrazione comunale.

Nel caso di una riorganizzazione della rete o nel caso di potenziamento della stessa sarà necessario prevedere un piano di ottimizzazione della rete stessa a partire dall’utilizzo di alcuni algoritmi presenti in letteratura (Cerri et al [2], Crainic et al [4]), uno dei quali è stato approfonditamente descritto nel paragrafo 2.4.2. La collaborazione fra i soggetti coinvolti è determinante anche se il soddisfacimento di tutte le aspettative può essere difficile da realizzare.

Comunque, si può sempre considerare perseguibile una soluzione di compromesso che riesca a ridurre il livello di esposizione ove ritenuto necessario.

#### *Cenni al WiMax ed impatto sulle politiche di minimizzazione*

Le considerazioni riportate fin qui potrebbero dover essere rivisitate, adattate o integrate, man mano che le tecnologie delle telecomunicazioni si sviluppano ed evolvono. In questa sede, non

---

potendo prefigurare tutti i possibili scenari futuri, si sofferma l'attenzione su una tecnologia che certamente nell'immediato futuro avrà notevole impulso, e merita dunque particolare attenzione: il WiMax (Worldwide Interoperability for Microwave Access).

Il WiMax rappresenta una tecnologia emergente, di recente standardizzazione, della quale è possibile prevedere una diffusione massiva nell'immediato prossimo futuro. Per questo motivo è importante riassumere in questo capitolo quelli che sono i suoi contesti applicativi e i parametri principali che ne caratterizzano il livello fisico. La conoscenza delle frequenze e delle potenze in gioco, del tipo di modulazione e dell'occupazione in banda, ad esempio, può permettere la stima, in un'ottica di prospettiva, dell'eventuale impatto sulle politiche di minimizzazione dei campi elettromagnetici.

Il contesto applicativo del WiMax è quello dei servizi wireless a banda larga ed in particolare delle reti wireless WMAN (Wireless Metro Area Network). Le WMAN sono collegamenti punto-multipunto destinate ad applicazioni in spazi aperti e con utenti potenzialmente in movimento. Rispetto ad altre tipologie di tecnologie, quali ad esempio il WiFi (che è di fatto la tecnologia di riferimento per Wireless Local Area Networks – WLAN), il WiMax permette, di fatto, la fruizione di servizi broadband, come il wireless broadband internet, anche a grande distanza dalla trasmittente, in assenza di *line of sight* e in movimento. Esso si basa su un emendamento dello standard IEEE STD 802.16, l'IEEE 802.16e-2005, nel quale si definisce la tecnologia di accesso OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access). Lo standard 802.16 copre frequenze che vanno da 2 GHz fino ad 11 GHz.

Ad oggi, l'OFDMA è comunemente accettata come la base di partenza per la migrazione verso il 4G, potendo garantire elevati data-rate ed un eccellente supporto per nuovi servizi, permettendo ad esempio l'utilizzo di sistemi di antenne tecnologicamente avanzati e progettati per massimizzare la copertura e il massimo numero di utenti supportati dalla rete. La tecnologia di accesso OFDMA, e più specificatamente le WMAN basate su di essa, offrono ad esempio un'adeguata tolleranza al multipath ed alle interferenze in condizioni di assenza di visibilità tra trasmittente e ricevente, garantendo in tal modo una eccellente copertura a banda larga in una vasta gamma di ambienti e di modelli di utilizzo, includendo anche quello della full-mobility.

In particolare, l'802.16e, mediante l'OFDMA, definisce le caratteristiche e gli attributi principali per consentire la diffusione di servizi a banda larga su terminali mobili a velocità anche superiori a 120 Km/h, mantenendo fattori di qualità comparabili con quelli di analoghi servizi basati su trasmissioni cablate. Gli attributi principali includono:

- tolleranza al multipath e alla interferenza con canali ortogonali sia in down link sia in uplink;
- larghezza di banda di ogni canale scalabile da 1.25 a 20 MHz;
- supporto del Time division duplex (TDD) e del Frequency Domain Duplex (FDD), rendendo possibile la portabilità in diversi Paesi nei quali uno od entrambi sono permessi;
- hybrid-Automatic Repeat Request (H-ARQ), che garantisce robustezza rispetto a scenari rapidamente variabili in caso di utilizzo in mobilità;
- scheduling selettivo in frequenza e subcanalizzazione con permutazioni multiple per permettere al WiMax mobile la capacità di ottimizzare la qualità della connessione in funzione dell'intensità del segnale;
- power Conservation Management per assicurare bassi consumi dei dispositivi portatili in modalità sleep;
- supporto del Network-Optimized Hard Handoff (NHO) per minimizzare l'hoverhead e garantire un ritardo di handoff inferiore a 50 ms;
- servizi di multi cast e di broadcast (MBS) per ottenere:
  - Elevati data rate e copertura utilizzando una Single Frequency Network,

- Allocazione flessibile delle risorse radio,
- Bassi consumi del dispositivo mobile,
- Ridotto tempo di switch di canale;
- supporto di sistemi di antenne avanzati (AAS): grazie alla sub-channelization e alla reciprocità di canale, è possibile adottare un ampio range di sistemi di antenne, includendo tra questi i MIMO, il beamforming, lo space-time coding (STC) e il multiplexing spaziale (SM). L'utilizzo di appropriati sistemi avanzati di antenne permette di affrontare più efficacemente il problema dell'implementazione di reti wireless a banda larga, grazie alla loro abilità di sopprimere le interferenze e di aumentare il guadagno di sistema;
- controllo dell'interferenza di co-canale per supportare il riuso delle frequenze con minima degradazione dell'efficienza spettrale (Fractional Frequency Reuse);
- dimensione del frame di 5 ms, che permette un tradeoff ottimale tra overhead e latenza.

Più in dettaglio, il livello fisico del WiMax è basato sull'utilizzo della strategia di modulazione OFDMA a 256 portanti, delle quali 8 sono utilizzate come portanti pilota, 192 come portanti dati e 56 sono inutilizzate, per permettere la canalizzazione dei canali ed evitare l'utilizzo della frequenza centrale. Gli 8 canali pilota sono modulati BPSK, mentre le portanti di traffico possono essere modulate in BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM. La caratteristica principale della modulazione OFDMA è infatti quella di impiegare non una ma molte sottoportanti ortogonali tra di loro, ognuna delle quali è modulata con una parte dei dati. Poiché ogni sottoportante trasmette soltanto pochi dati, i tassi di simbolo risultanti sono relativamente bassi. La modulazione di questi ultimi è dunque meno sensibile alla propagazione mediante cammini multipli causata da eventuali collegamenti senza visibilità diretta.

Il sistema presenta grandi margini di flessibilità, permettendo di variare a piacere la banda del segnale, da 1.25 MHz a 20 MHz, mantenendo costante il numero di sottoportanti OFDMA. Questa specificità è fondamentale per realizzare trasmissioni in condizioni interferenziali (multipath) in quanto, restringendo la banda, la durata del simbolo OFDMA aumenta e la trasmissione diventa più robusta rispetto al fading (la durata del simbolo è inversamente proporzionale alla banda della sottoportante). Inoltre, una dimensione di canale flessibile diviene cruciale per rendere possibile una diffusione su scala mondiale della tecnologia WiMax; le frequenze allocate e conseguentemente anche la dimensione dei canali, possono variare da paese a paese. Nel caso di spettro licenziato, inoltre, l'aver a disposizione larghezze diverse di canale permette di utilizzare – e quindi pagare – una banda non eccessivamente maggiore di quella effettivamente utilizzata. Risultato praticamente irraggiungibile nel caso di dimensione fissa dei canali, caso nel quale solo laddove la risorsa richiesta è un multiplo esatto della larghezza del canale si eviterebbero sprechi di risorse.

Come altri sistemi di comunicazione a banda larga, WiMax può essere implementato in TDD, FDD o FDD half duplex. Ad ogni stazione-cliente collegata, la stazione di accesso assegna un intervallo di tempo (time slot) che può essere variato e dipende dalla mole di informazioni da trasmettere.

Le singole stazioni-cliente comunicano con la stazione di accesso su subframe successivi, cadenzati nel tempo, che prendono il nome di burst. Burst assegnati a stazioni-cliente diverse possono utilizzare modulazioni diverse, come: BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM.

Per quanto riguarda i canali:

- le frequenze licenziate variano (in Italia) nel range 3.4 - GHz 3.8 GHz, sia per servizi fissi che mobili. Per i servizi non licenziati sono allocate invece frequenze nel range 5.725 - 5.850 GHz;
- il valor medio del channel power può essere modellato sulla base della sola distanza;

- 
- il sistema cellulare, simile a quello utilizzato per la telefonia mobile, porta con sé la necessità di gestire le interferenze con le celle adiacenti; tecniche di sectoring e di frequency-reuse patterns possono essere utilizzate al fine di limitare tali interferenze;
  - modelli realistici per tempo, frequenza e correlazione spaziale possono essere derivati da modelli statistici di canale, quali Rayleigh, Ricean e Nakagami;
  - lo standard 802.16 permette l'utilizzo di varie tecniche di diversity sia per il fading a banda stretta che per quello a banda larga.

La complessità della modulazione alla base del WiMax, le frequenze in gioco e l'infrastruttura basata su una suddivisione cellulare dello spazio, devono essere tenute in conto in vista della definizione di tecniche di minimizzazione dei campi elettromagnetici ad-hoc per il tipo di tecnologia sotto esame. I modelli di radiopropagazione comunemente utilizzati per altre tecnologie wireless devono essere ripensati alla luce dello standard OFDMA, e non solo in termini di frequenza di lavoro. La validazione del modello, ad esempio, richiede tecniche di misura che sono non ovvie. Come evidenziato in [4], la misura in banda stretta dei segnali modulati numericamente con tecniche di allargamento dello spettro, può dar luogo ad errori di interpretazione anche utilizzando strumentazione sofisticata. Le dinamiche in gioco, infatti, non sono trascurabili e il segnale è complesso.

### **2.3.3 Aspetti tecnologici rilevanti per i sistemi televisivi di ultima generazione**

Per quanto riguarda i sistemi televisivi, gli scenari relativi ai sistemi di broadcast più tradizionali sono ormai ben noti. Di seguito, si evidenziano alcune tecnologie emergenti e le eventuali ricadute dell'introduzione e diffusione di queste tecnologie sulle politiche di minimizzazione.

#### *Tecnologie emergenti ed impatto sulle politiche di minimizzazione*

In materia di diffusione del segnale televisivo, tra le tecnologie emergenti che meritano attenzione, vanno senz'altro considerate quelle basate sul Digital Video Broadcasting (DVB), nelle forme DVB-T (terrestre), DVB-H (handheld), DVB-S (satellitare) e DVB-C (via cavo).

La maggiore qualità del servizio rispetto a quella offerta dai segnali analogici (maggior risoluzione dell'immagine in assenza di disturbi e maggiore immunità al rumore e alle distorsioni di canale) lascia prevedere un rapido sviluppo dei sistemi basati su DVB e quindi una capillare diffusione dei servizi ad esso associati.

In tutti i sistemi DVB, codifica di sorgente e multiplexazione si basano sullo standard MPEG-2 che genera in uscita un segnale di multiplexazione di trasporto con pacchetti di lunghezza fissa di 188 byte (1 byte di sincronismo, 3 di prefisso - contenenti gli identificatori di pacchetto - e 184 byte utili). Il multiplex è flessibile e consente di convogliare in un singolo flusso numerico segnali relativi a un gran numero di programmi televisivi, ciascuno comprendente le relative informazioni video, audio e dati.

Per quello che riguarda le differenze tra i vari standard in funzione del canale trasmissivo, laddove possibile il DVB tende ad utilizzare standard comuni; in particolare, per i sistemi DVB-S e DVB-T, la protezione contro gli errori è realizzata mediante la concatenazione di un codice esterno a blocco di tipo Reed-Solomon (che opera sui pacchetti MPEG-2 da 188 byte) e di un codice interno convoluzionale (con possibilità di scegliere tra diversi rapporti di codifica da 1/2 a 7/8); il sistema DVB-C, molto meno critico, adotta il solo codice esterno Reed-Solomon.

---

Per quello che riguarda la modulazione, per il DVB-S si utilizza la sola QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), molto robusta e caratterizzata da un involuppo costante che rende la tecnica di modulazione idonea per gli amplificatori non lineari usati nei satelliti. Per il DVB-T, invece, si utilizza ancora una tecnica QPSK ma in congiunzione con le modulazioni 64QAM e 16QAM (Quadrature Amplitude Modulation), costituite da punti posti su una griglia regolare, con efficienza spettrale crescente con l'aumentare del numero di punti. Per completezza, per il DVB-C si adotta la QPSK, con le modulazioni 16QAM, 32QAM e 64QAM.

Fortemente dipendente dal canale di trasmissione è invece la modulazione a radiofrequenza del segnale DVB; i sistemi DVB-S e DVB-C sono a singola portante, il sistema DVB-T è invece multi portante COFDM per contrastare gli effetti del multipath del segnale in ambiente terrestre. Analogamente e per gli stessi motivi, anche il DVB-H adotta la tecnica multi portante COFDM (con modulazione QPSK/16QAM/64QAM per portante). Rispetto al DVB-T, però, il DVB-H aggiunge ai modi 2k e 8k (dimensione della FFT rispettivamente pari a 2048 e 8192), anche il modo 4k (dimensione FFT pari a 4096) per la realizzazione di reti SFN in grado di sopportare ritardi superiori a quelli del modo 2k ma con maggiore tolleranza all'effetto doppler rispetto al modo 8k. Per quanto riguarda la codifica di canale, inoltre, il sistema DVB-H può utilizzare un ulteriore codice correttore per migliorare la codifica come richiesto dalle condizioni di mobilità e dall'uso di antenne integrate dei terminali portatili. L'MPE-FEC è un ulteriore codice esterno di tipo Reed-Solomon che oltre a migliorare la protezione dagli errori di trasmissione, introduce il time interleaving che rende efficace il codice anche in presenza di lunghe sequenze di errori.

Dal punto di vista radioprotezionistico, escludendo il sistema via cavo e quello satellitare, risultano di interesse specifico il DVB-H e il DVB-T. Per quanto precedentemente accennato, le due tecniche sono sostanzialmente simili; il DVB-H, infatti, coincide con il DVB-T tranne per alcuni adattamenti per ridurre il consumo di energia del terminale mobile e per migliorare la ricezione in movimento (frequency handover tra celle e il modo 4k già citato). Se è vero che possono essere considerate congiuntamente dal punto di vista della caratterizzazione del segnale, diversa è la situazione relativamente all'impatto sulle politiche di minimizzazione. Le bande di frequenze dedicate ai due servizi sono 170-230 MHz (VHF-III) e 470-862 MHz (UHF-IV/V). Solo al DVB-H è dedicata anche la Banda L nel range 1452-1492 MHz). Le potenze in gioco e le modalità di diffusione del segnale, tuttavia, sono fortemente diverse. Nel caso di DVB-T, infatti, si utilizzano gli stessi siti della TV analogica con potenze in trasmissione leggermente inferiori (comunque dell'ordine di alcune centinaia di Watt). Le tecniche di minimizzazione adatte per gli impianti di TV analogica, quindi, sono facilmente esportabili a siti in grado di trasmettere anche segnali DVB-T.

Per il DVB-H, viceversa, si può ricorrere alle stesse tecniche di minimizzazione valide per la telefonia mobile, essendo la struttura utilizzata quella a micro celle ed essendo le potenze in gioco dell'ordine della decina di Watt.

### 2.3.4 Bibliografia

- [1] G. Cerri , R. De Leo , D. Micheli , P. Russo 'Base station network planning including environmental impact control' IEE Proceedings- Communications, vol.151, n. 3, June 2004, pp. 197-203
- [2] G. Cerri, P. Russo "Application of an automatic tool for planning of a cellular network in a real town" IEEE Trans. on AP, vol 54, n. 10 ,October 2006, pp.2890-2901

- 
- [3] T. G. Crainic, B. Di Chiara, M. Nonato, L. Tarricone, "Tackling Electrosmog in completely configured 3G Networks by parallel cooperative meta-heuristics", *IEEE Wireless Communications - Special Issue 3G/4G/WLAN/WMAN Planning and Optimization*, vol. 3, n. 6, pp. 34-41, Dic. 2006
- [4] D. Trincherò, R. Stefanelli, F. Longobardi, A. Galardini, B. Fiorelli, L. Anglesio, A. Benedetto, G. D'Amore, S. Trincherò, M. Borsero, G. Vizio, "Experimental Set-up for the Characterisation of Field Probes Performance in Presence of Digitally Modulated Radio Signals", to appear on *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 2009

## **2.4 Preparazione di linee-guida operative per il best-siting degli impianti**

### **2.4.1. Introduzione**

Le linee-guida descritte in questo paragrafo rappresentano una sorta di standard nella determinazione del best-siting, per garantire trasparenza nello sviluppo delle reti di telefonia mobile e un corretto coinvolgimento, oltre che degli operatori del settore, anche delle autorità e della popolazione.

Pur tenendo in considerazione le necessità specifiche del territorio italiano, le linee-guida sono state messe a punto tenendo conto dell'attività già svolta in tal senso sia a livello nazionale che internazionale.

L'attività che ha portato alla definizione di linee-guida circa il best siting dei diversi impianti, data la molteplicità dei servizi presenti all'interno della banda di interesse di MONICEM (80 MHz - 5 GHz) e la conseguente diversità delle tecnologie su cui poggiano tali servizi, è stata suddivisa in due parti, una dedicata principalmente alla telefonia mobile e wireless e l'altra agli impianti radiotelevisivi.

Per quanto riguarda la telefonia mobile, è presentata inizialmente un'indagine condotta sia a livello nazionale, sia internazionale, su linee guida e/o procedure di "buona prassi" che vengono attualmente adottate. Ciò è importante per capire il livello di armonizzazione delle tecniche di best-siting degli impianti e della loro possibile applicazione ed estensione a livello normativo nazionale.

Un aspetto che è emerso con chiarezza è la mancanza di indicatori che definiscano in modo oggettivo l'impatto ambientale di una sorgente di campo elettromagnetico; la disponibilità di indicatori di questo tipo, condivisi da gestori, enti pubblici preposti alla concessione delle autorizzazioni e popolazione, garantirebbe la necessaria omogeneità di applicazioni dei criteri di best siting su tutto il territorio nazionale e potrebbero costituire uno strumento efficace per ricercare e verificare la minimizzazione dell'impatto ambientale di un impianto.

Dopo aver presentato proposte di indicatori reperibili nella letteratura e la loro adottabilità a livello nazionale, viene presentato un indicatore di impatto ambientale basato sulla distribuzione del campo elettromagnetico generato da una generica sorgente, sviluppato in maniera originale nell'ambito del presente progetto di ricerca.

Un'analoga analisi è stata sviluppata per gli impianti radiotelevisivi, enfatizzando soprattutto le similarità e le differenze rispetto alla telefonia mobile.

Sono descritte infine le linee guida, nelle quali è stata soprattutto posta attenzione agli aspetti tecnici, perché si è ritenuto che soltanto questi possano garantire la necessaria obiettività, trasparenza e omogeneità di applicazione a livello nazionale.



## 2.4.2 Sistemi di telefonia mobile

### 2.4.2.1 Tecniche e metodologie per il best-siting e loro adozione: l'esperienza internazionale

Come già evidenziato nel paragrafo 2.3, i programmi di best siting non possono prescindere dal coinvolgimento nei processi decisionali di tutti i soggetti interessati. Questo, in generale, permette di limitare i conflitti e di aumentare il consenso allo sviluppo di nuove tecnologie che prevedono l'esposizione della popolazione ad agenti esterni. Per questo motivo, nel corso degli anni, diversi paesi hanno sviluppato dei protocolli per la partecipazione e l'informazione pubblica da attuare nel momento in cui diventa necessario procedere a una nuova installazione. Le esperienze più rappresentative e articolate sono rappresentate da quelle messe a punto nel Regno Unito e in Australia.

#### *Regno Unito: i 'Dieci Comandamenti' del Mobile Operators Association (MOA)*

Il MOA, già presentato nel paragrafo 2.3, rappresenta un'associazione che riunisce i cinque operatori di telefonia mobile del Regno Unito, i quali, nel 2001 hanno volontariamente adottato il decalogo *Ten Commitments to Best Siting Practice* avente lo scopo di assicurare la trasparenza nella costruzione delle reti cellulari, di fornire più informazioni al pubblico e alle amministrazioni locali e di agevolare il ruolo della comunità nel posizionamento delle Stazioni Radio Base.

I *Ten Commitments* non sono mandatori o vincolanti, ma rappresentano un impegno dei gestori, che li sottoscrivono, a rispettarli.

Una parte interessante della procedura di *best siting* è rappresentata dal *Traffic Light Rating Model*, messo a punto e utilizzato per determinare il grado e il tipo di consultazione pubblica richiesto per ogni nuovo sito proposto. Il *Traffic Light Rating* serve soltanto per stabilire il livello di consultazione richiesto e non per stabilire se un sito può o non può essere preso in considerazione per altri motivi e dovrebbe essere stabilito dal MOA almeno una volta.

Il modello è rappresentato in figura 2.4.1: sull'asse delle ascisse c'è una variabile discreta rappresentante il livello di importanza delle questioni ambientali e di pianificazione, sull'asse delle ordinate una variabile discreta è associata al livello di importanza relativo a questioni pubbliche.

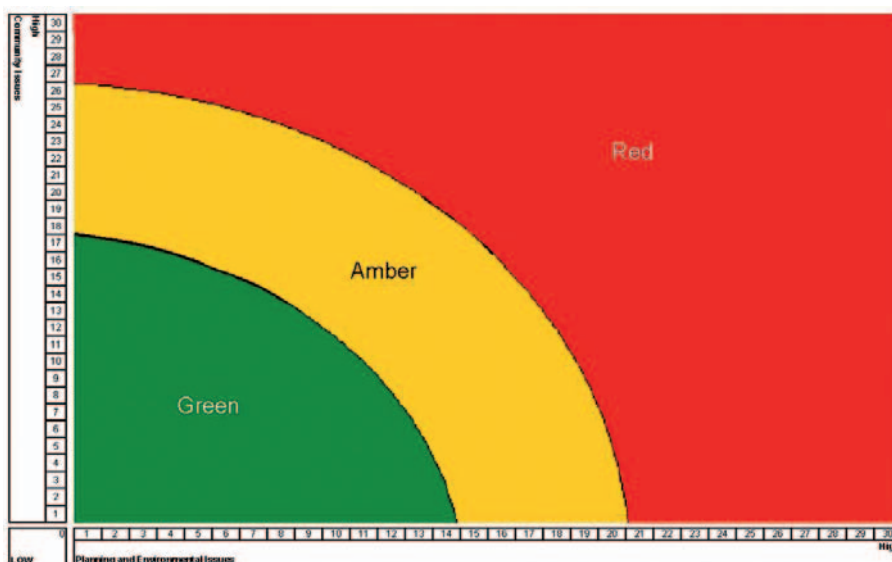


Figura 2.4.1. - *Traffic Light Rating Model*

Il rating è rappresentato dal colore, indicante il livello di consultazione richiesto a partire dal punteggio associato ad ogni tematica di interesse individuata.

#### Questioni Ambientali e di Pianificazione

La prima tematica individuata è rappresentata dal *sensitivity land use* con un punteggio associato che va da 0 a 15 in base alle distanze del luogo possibile per il nuovo sito da costruzioni di diverso tipo (Tabella 2.4.1.).

**Tabella 2.4.1.- Punteggi possibili da associare relativamente alla distanza del sito scelto rispetto alle tipologie di costruzione elencate**

Tipologia di costruzione	Situato su	Accanto a	In vicinanza di	Vicino a	Lontano da
<b>Aree residenziali</b>	10-15	10-15	5-10		0-5
<b>Scuole</b>	15	10-15	5-10	0-5	0
<b>Aree bambini</b>		10-15	5-10		0-5
<b>Ospedali</b>	0-10	0	0	0	0

La seconda tematica è più soggettiva ed è rappresentata dal *siting and appearance* con punteggio associato che va da 0 a 10 e che tiene conto di diverse considerazioni (vedi Tabella 2.4.2.):

- il *siting* e quindi tutte le questioni riguardanti le caratteristiche topografiche, la vegetazione, l'impatto sul panorama, la vicinanza con strutture di importanza storica;
- il *design* e quindi tutte le questioni riguardanti le dimensioni del sito (specie l'altezza), il suo aspetto, i colori, il tipo di struttura (chiusa o aperta) etc;
- il *Site Type* e quindi le considerazioni tecniche sul possibile miglioramento della rete o della condivisione del sito con altri gestori.

**Tabella 2.4.2.- Punteggi possibili da associare relativamente al tipo di impatto ambientale previsto**

Alto impatto ambientale	5-10
Basso impatto ambientale	0-5

La terza tematica è rappresentata dal *planning* con punteggio associato che va da 0 a 5 e riguarda, la presenza del sito in aree speciali tipo quelle archeologiche e i primi contatti avuti con amministrazione pubblica (posizione positiva rispetto alla proposta piuttosto che neutra o addirittura negativa).

#### Questioni Pubbliche

La prima tematica è rappresentata da *views and attitudes of local communities* con punteggio associato che va da 0 a 15 e rappresenta il grado di opposizione riscontrato durante i primi incontri con i rappresentanti della comunità interessata all'installazione del sito proposto (vedi Tabella 5.3).

**Tabella 2.4.3.** - *Punteggi possibili da associare relativamente al tipo di opposizione incontrata nella comunità interessata alla installazione del nuovo sito*

Alta opposizione	10-15
Qualche opposizione	5-10
Poche opposizioni	0-5

La seconda tematica è rappresentata da quella *social political* con punteggio associato che va da 0 a 10 che viene assegnato tenendo conto di tutti gli elementi rappresentati in tabella 2.4.4.

**Tabella 2.4.4.** - *Elementi da tenere in considerazione e grado di importanza di ognuno nell'assegnazione dei 10 punti dedicati a questa tematica*

Posizione del consiglio comunale	Dipende dalla decisione della maggioranza
Posizione degli altri soggetti non governativi	Dipende dal tipo di interesse
Coinvolgimento di un membro del parlamento	Dipende dal grado di coinvolgimento
Moratorie esistenti	Valutazione della loro esistenza

La terza tematica è rappresentata dalla posizione dei *Media* relativamente al sito proposto (vedi tabella 2.4.5.).

**Tabella 2.4.5.** - *Punteggi possibili da assegnare a secondo del grado di interesse dei media al sito proposto.*

Pubblicità significativamente negativa	5
Nessun interesse	0

***Australia: il documento di “Sviluppo della rete di telefonia mobile” dell’Australian Communications Industry Forum (ACIF)***

L’ACIF è una compagnia a totale controllo industriale fondata per implementare e gestire l’autoregolamentazione delle comunicazioni in Australia. Nel 2002 è stato pubblicato per la prima volta il *Deployment of mobile phone network infrastructure* che rappresenta un documento di fatto vincolante per i gestori, che vanno incontro a una pesante sanzione pecuniaria nel caso in cui non ottemperino a queste direttive. Si inserisce senza contrasti nel piano regolamentare e legislativo riguardante le installazioni di radiocomunicazione.

I suoi obiettivi sono:

1. applicare un approccio precauzionale all’installazione delle infrastrutture di telecomunicazione;
2. realizzare gli impianti in modo tale che essi risultino conformi ai livelli di esposizione e protezione stabiliti per la popolazione;
3. assicurare che tutti i soggetti coinvolti siano informati e consultati prima che una infrastruttura di radiocomunicazione sia costruita;

- 
4. specificare gli standard per la consultazione, la disponibilità di informazione e la presentazione;
  5. considerare l'impatto sul benessere, fisico o altro, della comunità da parte dell'infrastruttura di radiocomunicazione;
  6. assicurare che tutti i punti di vista (Autorità locali e popolazione) siano tenuti in conto nella selezione del sito.

Il documento è molto articolato e ha una prima parte in cui vengono descritti gli obblighi dei gestori nel momento in cui intendono procedere con una nuova installazione, una seconda parte in cui vengono descritte le tempistiche e la tipologia di documentazione, che deve essere notificata all'Autorità locale interessata e alle comunità, ed una terza parte in cui vengono descritte le caratteristiche delle informazioni che il gestore deve rendere pubbliche riguardo il tema 'RF salute e sicurezza'.

### *Obblighi generali dei gestori*

Se richiesto da una Autorità, un gestore deve fornire assistenza durante la pianificazione di una rete di radiocomunicazione. Alcuni esempi possibili:

1. fornire informazioni ai fini della pianificazione, rispondere alle richieste di informazione ai fini della pianificazione;
2. fornire i propri piani riguardanti la rete di radiocomunicazione;
3. fornire i propri piani riguardanti gli obiettivi di fornitura dei servizi per le infrastrutture pianificate;
4. fornire una valutazione delle opportunità di una possibile condivisione della struttura con altri gestori;
5. organizzare un tavolo di discussione con gli altri gestori per esplorare le opportunità di condivisione del sito scelto e per una pianificazione di rete per quanto possibile coordinata ed efficiente.

### *Obblighi specifici dei gestori nella scelta del sito*

Al momento della selezione di un sito il gestore deve avere definito delle procedure, a cui si deve attenere in relazione ai fattori elencati più avanti, e le deve rendere disponibili su richiesta. La procedura deve prevedere al minimo i seguenti punti:

1. obiettivi ragionevoli per la fornitura di servizio adeguato, incluso:
  - a. l'area che il servizio deve coprire,
  - b. i livelli di potenza necessari per fornire un servizio di qualità,
  - c. l'utilizzo del servizio in termini quantitativi, la quantità di utilizzo che il servizio deve gestire;
2. minimizzazione dell'esposizione ai CEM per la popolazione;
3. la probabilità che un'area possa essere sensibile (scuole, aree gioco, ospedali...);
4. l'obiettivo di evitare questo tipo di aree;
5. le politiche di pianificazione delle telecomunicazioni stabilite dai governi locali;
6. i risultati dei processi di consultazione con le Autorità e la comunità;
7. il significato storico, architettonico, paesaggistico del sito scelto;
8. le caratteristiche fisiche del terreno;
9. la disponibilità e l'idoneità del luogo scelto;
10. la disponibilità a connettere l'infrastruttura di radiocomunicazione con il resto della rete;

- 
11. interferenza a radiofrequenza che si può causare ad altri servizi;
  12. interferenza a radiofrequenza da parte di altre emissioni;
  13. qualsiasi obbligo/opportunità alla condivisione del sito;
  14. fattori di costo.

Al momento del progetto di una infrastruttura, un gestore deve attenersi a delle procedure che abbiano l'obiettivo di minimizzare l'esposizione a RF, e che al contempo tengano conto dei seguenti punti:

1. la scelta dell'installazione della struttura in funzione della copertura, della capacità e della qualità;
2. il posizionamento dell'antenna per minimizzare l'ostacolo ai segnali radio;
3. l'obiettivo di limitare l'accesso alle aree in cui i CEM sono superiori ai limiti previsti;
4. il tipo di infrastrutture richieste per andare incontro alle esigenze di servizio, incluso:
  - a. la necessità di macro, micro e pico celle,
  - b. la necessità di antenne direzionali o non;
5. l'obiettivo di minimizzare l'emissione mantenendo la qualità;
6. ragionevolezza dei costi.

#### *Notifica di strutture a bassa potenza RF e di collegamenti radio fissi*

Il gestore deve notificare le strutture a bassa potenza ed i collegamenti radio fissi che intende installare all'Autorità e agli abitanti molto prossimi a installazioni di questo tipo, con allegato:

1. la locazione proposta;
2. una descrizione dell'installazione;
3. una dichiarazione che la struttura proposta è conforme alle normative vigenti;
4. un contatto del gestore.

In 12 giorni lavorativi dalla notifica di tutta la documentazione relativa al nuovo sito, l'Autorità chiude il periodo di consultazione. Parallelamente, il gestore deve fare una consultazione con la comunità locale che si esegue attraverso un piano sviluppato dal gestore stesso. Durante la sua realizzazione il gestore deve:

1. tener conto degli obiettivi di:
  - a. identificazione e informazione delle parti interessate al progetto proposto;
  - b. comunicazione alle parti interessate un tempo adeguato per l'intrapresa di un dialogo significativo sul progetto;
  - c. massimizzazione livello di informazioni accessibili e accurate alle parti interessate;
  - d. identificazione risoluzione delle criticità già in questa fase;
  - e. raggiungimento di risultati accettabili sui progetti;
2. avere coscienza del fatto che i programmi di consultazione non possono sempre
  - a. soddisfare tutti i partecipanti,
  - b. risolvere tutte le differenze di opinione;
3. tenere conto del punto di vista dell'Autorità sulla consultazione;
4. tentare di identificare i siti sensibili;
5. tentare di identificare tutti i soggetti coinvolti;

---

Il piano deve prevedere per il gestore alcuni obblighi quali:

1. consultare il proprietario del sito;
2. consultare l’Autorità;
3. consultare i residenti del sito;
4. consultare i vicini prossimi;
5. identificare e consultare tutti i possibili diretti interessati;
6. rispondere alle richieste specifiche tempestivamente;
7. fornire i contatti telefonici di un referente per il gestore;
8. fornire i contatti telefonici dell’esperto in CEM;
9. identificare una timetable del piano.

Un qualsiasi commento da parte della comunità al lavoro proposto non deve pervenire oltre i 20 giorni lavorativi, dopo i quali il gestore deve fornire all’Autorità un report sui risultati della consultazione che deve essere pubblico.

#### *Emissioni radio e informazioni su salute e sicurezza*

I gestori dovrebbero essere aggiornati sullo stato della ricerca scientifica riguardante i CEM. Se richiesto, un gestore deve rendere disponibili gratuitamente:

1. informazioni riguardanti il rapporto della loro rete con le problematiche di salute e sicurezza;
2. informazioni su dove reperire materiale di ricerca sull’impatto delle infrastrutture di radio-comunicazione.

Per un sito specifico, un gestore deve fornire, appena possibile e gratuitamente, le seguenti informazioni:

1. una descrizione della loro struttura a RF;
2. le frequenza di trasmissione;
3. una dichiarazione che la struttura è conforme alle normative vigenti;
4. dettagli sulle aree di rischio e misure adottate per limitarne l’accesso;
5. i livelli di esposizione permessi dalle normative;
6. informazioni sull’area di copertura.

Un gestore può fornire informazioni addizionali sugli aspetti di protezione e salute, senza dire che l’assenza di evidenza scientifica significa no rischio. Il gestore deve fornire i riferimenti agli articoli scientifici che cita.

#### ***2.4.2.2 Tecniche e metodologie per il best-siting e loro adozione: l’esperienza nazionale***

Negli ultimi 10-12 anni, la rapida crescita del numero di impianti per telefonia mobile, e la continua evoluzione tecnologica alla quale gli stessi sono soggetti, ha costretto le Amministrazioni preposte al rilascio delle autorizzazioni per i nuovi impianti ad una affannosa rincorsa di procedure e metodologie capaci di gestire tutta la fase istruttoria relativa all’installazione. All’interno del processo di istruttoria, la parte relativa al “best siting”, rappresenta sicu-

---

mente uno dei momenti decisionali più delicati a causa delle implicazioni, in termini di impatto sul territorio e sulla popolazione, che la decisione stessa comporta. La ricerca del luogo, e della tecnologia migliori al fine di minimizzare l'impatto delle SRB, ha messo sempre in seria difficoltà le Amministrazioni pubbliche, soprattutto quelle che a causa delle loro dimensioni (piccoli comuni) non erano adeguatamente attrezzate sotto il profilo tecnico/scientifico (e spesso anche giuridico), per affrontare un tema così ostico, come quello rappresentato dalla valutazione dei livelli di campo elettromagnetico a RF ed in particolare su aree ad alto grado di urbanizzazione. A questo si deve aggiungere un frequente non facile rapporto fra popolazione, residente in una certa area sulla quale veniva richiesta l'installazione di una SRB ed il gestore di telefonia mobile, costringendo le Amministrazioni ad una complessa opera di mediazione, che molto spesso sfociava involontariamente in scelte non ottimali dal punto di vista della minimizzazione dell'esposizione. Allo stesso modo, problemi di tutela paesaggistica ed artistica hanno obbligato molto spesso le Amministrazioni a scelte che nulla avevano a che vedere con criteri di "best siting", basati su criteri oggettivi di tipo tecnico/scientifico.

Attualmente, in Italia non esiste ancora uno standard unico che definisca tecniche e metodologie per il "best siting", nonostante la materia della radioprotezione da campi elettromagnetici non ionizzanti sia stata oggetto negli ultimi anni di una importante attività legislativa [1] [2] [3], lasciando ampi spazi di intervento alle singole regioni. Ciò ha comportato l'emanazione di un numero elevato di leggi e regolamenti regionali e/o comunali, atti a disciplinare questa materia, sia in fase di autorizzazione preventiva che di controllo. Una rassegna esaustiva delle leggi emanate dalle singole regioni, a partire dai primi anni 2000, è riportata nell'Annuario dei dati Ambientali dell'ISPRA ex APAT [4].

A livello Nazionale, va sicuramente citato il "Protocollo d'Intesa fra ANCI e Ministero delle Comunicazioni per l'installazione, il monitoraggio, il controllo e la razionalizzazione degli impianti di stazioni radio base", concordato a fine 2003 [5]. All'interno di questo accordo, spicca l'impegno del Ministero delle Comunicazioni, oggi Sviluppo Economico, a promuovere l'adozione di protocolli fra i Comuni ed i gestori del servizio di telefonia, al fine di garantire una rapida ed efficace istruttoria, che oltre agli aspetti tecnici, tenga conto anche della necessità di una corretta, continua e trasparente informazione, diretta alla popolazione coinvolta.

Un altro documento sicuramente interessante su scala Nazionale, che pur non affrontando il "best siting" nella sua completezza, quantomeno ne delinea l'ambito di intervento in quella direzione, è rappresentato dal Decreto Legislativo 259/03 "Codice delle comunicazioni elettroniche" [6], richiamato anche nel protocollo tra Ministero delle Comunicazioni ed ANCI appena citato. Al Titolo V, articolo 87 della legge, viene infatti stabilito un preciso iter procedurale, al quale fare riferimento, per la richiesta di autorizzazione per impianti di radio-telecomunicazioni, fra i quali sono esplicitamente menzionati le Stazioni Radio Base GSM/UMTS e gli impianti radiotelevisivi per le trasmissioni DVB-T. Di tutta la normativa necessaria per l'iter autorizzativo, è utile rammentare alcune richieste presenti nell'allegato 13, richiamato dall'articolo 87 della legge, riguardo alle informazioni da inoltrare all'Amministrazione (Ente Locale) preposta al rilascio dell'autorizzazione e i cui punti cardine possono essere così riassunti:

- descrizione dell'impianto e delle aree circostanti;
- descrizione del terreno circostante;
- caratteristiche radioelettriche dell'impianto;
- stime del campo generato;
- modalità di simulazione numerica;
- mappe del territorio circostante all'impianto.

---

Dal punto di vista del “best siting”, alcune di queste richieste collimano bene con le osservazioni e le proposte già riportate nelle attività fino ad ora descritte.

**Descrizione del terreno circostante:** viene espressamente richiesta la descrizione degli edifici circostanti all’impianto.

**Le caratteristiche radioelettriche dell’impianto:** frequenza, marca e modello di antenna installata, altezza del centro elettrico, guadagno in dBi, direzione di massimo irraggiamento dell’antenna riferita al nord geografico ed eventuale tilt (elettrico e/o meccanico), diagrammi angolari di irradiazione orizzontale e verticale del sistema irradiante ecc.

**Stime del campo generato:** viene richiesta la stima del campo generato dall’antenna in funzione dei parametri radioelettrici. Due sono le modalità previste per la presentazione dei risultati: i) definizione di un volume di rispetto o in alternativa quella di isosuperfici 3D, ii) stima puntuale dei valori di campo nei punti dove si prevede una maggiore esposizione della popolazione.

Le stime teoriche di campo vanno effettuate secondo le linee guida stabilite dalla guida CEI 211-10 “Guida alla realizzazione di una Stazione Radio Base per rispettare i limiti di esposizione ai campi elettromagnetici in alta frequenza” e successivi aggiornamenti [7a], [7b], mentre per quanto attiene le misure di fondo si deve fare riferimento alla guida CEI 211-7 [8]. Nell’ottica di un processo di “best siting”, è interessante rilevare come entrambe le due modalità di presentazione devono far riferimento, oltre che al rispetto dei limiti di esposizione, così come definiti dalla legge quadro 36/2001 [1] e relativi decreti attuativi [2] [3], anche all’intersezione di eventuali edifici con il volume di rispetto o alla potenziale permanenza di persone per una durata superiore alle 4 ore nei punti di stima del campo generato.

**Modalità di simulazione numerica:** deve essere specificato l’algoritmo di calcolo con il quale si eseguono le stime di campo (l’implementazione dell’algoritmo utilizzato, nome del programma se commerciale, versione, configurazione utilizzata) e la sua conformità alle prescrizioni CEI.

Come si vede, a livello Nazionale esistono esempi e riferimenti di procedure che vanno sicuramente nella direzione di un processo di “best siting” per le SRB. In tutto questo c’è, però, un aspetto che deve essere messo in risalto: a fronte di una intensa attività tecnica per la valutazione dell’impatto ambientale di una SRB, non esiste ancora uno strumento adeguato, completo e standardizzato, che affronti il problema della minimizzazione dell’esposizione in termini di impatto sulla realtà socio/demografica di un territorio ed in particolare per quanto attiene le aree urbane.

In questa ottica, gli indicatori possono essere degli strumenti sicuramente utili. Nella loro definizione più generale data dall’OSCE (Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico) nel 1994, essi rappresentano dei parametri o valori estrapolati da altri parametri, in grado di dare informazioni per una facile ed immediata interpretazione di un dato fenomeno.

#### ***Riferimenti bibliografici del paragrafo 2.4.2.2***

[1] Legge 22 febbraio 2001, n. 36, GU 7 marzo 2001, n. 55, *Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici*.

[2] Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 8 luglio 2003, GU 29 agosto 2003, n. 200, *Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti*.



- 
- [3] Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 8 luglio 2003, GU 28 agosto 2003, n. 199, *Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici generati a frequenze comprese tra 100 kHz e 300 GHz.*
- [4] APAT, *Annuario dei dati ambientali*, 2007.
- [5] Protocollo d'Intesa fra ANCI e Ministero delle Comunicazioni per l'installazione, il monitoraggio, il controllo e la razionalizzazione degli impianti di stazioni radio base, dicembre 2003.
- [6] Decreto Legislativo 1 agosto 2003, m. 259, GU 15 settembre 2003, n. 214, *Codice delle comunicazioni elettroniche.*
- [7a] Norma CEI 211-10: 2002, *Guida alla realizzazione di una Stazione Radio Base per rispettare i limiti di esposizione ai campi elettromagnetici in alta frequenza.*
- [7b] Norma CEI 211-10; V1: 2004, *Guida alla realizzazione di una Stazione Radio Base per rispettare i limiti di esposizione ai campi elettromagnetici in alta frequenza. Appendice G: Valutazione dei software di calcolo previsionale dei livelli di campo elettromagnetico. Appendice H: Metodologie di misura per segnali UMTS.*
- [8] Norma CEI 211-7: 2001-01, *Guida per la misura e per la valutazione dei campi elettromagnetici nell'intervallo di frequenze 10 kHz – 300 GHz, con riferimento all'esposizione umana.*

### **2.4.2.3 Adottabilità di indicatori ambientali**

La progettazione di nuovi impianti per Stazioni Radio Base dedicati alla telefonia mobile, e più in generale per tutti gli impianti di radio-telecomunicazione non può prescindere da una conoscenza dettagliata del territorio. Questo aspetto va affrontato non solo in termini orografici e/o di “volume edificato”, elementi che sicuramente influenzano la distribuzione del segnale, ma anche in termini di residenzialità, ovvero tenendo conto di tutte le attività antropiche (attività scolastiche, sportive, industriali ecc.) che condizionano la distribuzione della popolazione ed il loro tempo di permanenza nelle aree circostanti l'impianto in fase di progettazione. Quanto appena affermato assume una valenza ancora maggiore se, come tipo di territorio, consideriamo l'area urbana. L'ambiente urbano rappresenta, infatti, una entità territoriale particolarmente critica per quanto riguarda l'inquinamento legato alle fonti energetiche ed alla richiesta di tecnologia, non solo perché in essa sono concentrate la maggioranza della popolazione e delle attività umane, ma anche perché la città consuma, molto spesso in maniera inefficiente, grandi quantità di materie prime, energia e tecnologia. L'ambiente urbano rappresenta oggi un banco di prova molto impegnativo per le Amministrazioni che consciamente vogliono intraprendere la strada di scelte urbanistiche, che rispettino i criteri di uno “sviluppo sostenibile”. Questo tipo di processo è diventato ormai necessario per la stessa sopravvivenza delle città ed è fortemente richiesto da strati sempre più diffusi della società. Già nel 1992, alla Conferenza Mondiale sull'ambiente tenutasi a Rio de Janeiro, fu varata l'Agenda 21, un documento di lavoro, che ha messo fra i suoi obiettivi primari la creazione di insiemi di indicatori in grado di pilotare virtuosamente i processi e le politiche ambientali per le città nei diversi stati. Nel contesto generale appena descritto, le sorgenti di campi elettromagnetici in ambiente urba-

---

no non possono sottrarsi ai criteri di uno “sviluppo sostenibile” a causa di molteplici ragioni:

- alta densità abitativa;
- alta concentrazione di attività sociali, economiche ed industriali;
- elevati “rate” di consumi energetici (leggi, richiesta di sistemi per il trasporto dell’energia elettrica);
- richieste di tecnologia (leggi, impianti per telecomunicazioni);
- difficoltà oggettive dal punto di vista tecnico, all’interno dei processi decisionali, nel formulare adeguate soluzioni sia per una corretta collocazione sul territorio di nuove sorgenti, sia per il monitoraggio, sia nell’approntamento di eventuali piani di risanamento.

All’interno di modelli consolidati per l’analisi ambientale, quale il DPSIR (Driving Forces, Pressure, State, Impact, Response), può essere utile individuare e formulare alcuni indicatori di impatto ambientale anche per le sorgenti di CEM.

La formulazione e l’impiego di indicatori per i campi elettromagnetici è già stato proposto all’interno di progetti nazionali, quali ad esempio il CTN-AGF, legati alle ARPA/APPA [8].

Fra gli indicatori proposti, alcuni sono costruiti specificatamente per la telefonia mobile:

- numero di utenti di telefonia cellulare inclusi in determinate classi caratterizzate da intervalli di valori di numero di telefonate fatte o ricevute in un mese;
- secondi di chiamata con un telefono cellulare in un anno.

Altri indicatori, definiti invece in maniera più generale per gli impianti di radio-telecomunicazione, possono risultare adattabili alle SRB:

- residenzialità in varie fasce di distanza dalle SRB;
- livelli (medi) di campo alle diverse frequenze della telefonia (GSM, DCS, UMTS) e a diverse distanze dai trasmettitori;
- tempo di esposizione al di sopra dei limiti consentiti.

Infine, in modo semplice, altri indicatori potrebbero ancora essere associati ai sistemi per telefonia mobile quali, ad esempio, il traffico medio sostenuto da una SRB, densità di stazioni SRB presenti su una certa area, eventuale presenza entro una certa distanza di recettori sensibili, compresenza con altre sorgenti di CEM, compresenza con altre fonti di inquinamento diverse dai campi elettromagnetici, ecc. Da questo breve elenco si capisce che l’indicatore può svolgere un ruolo importante nella valutazione dell’impatto ambientale e va continuamente aggiornato pensando, sia alla rapida evoluzione tecnologica che governa i sistemi di telefonia mobile, sia alla continua mutabilità (anche se più lenta) di un ambiente urbanizzato.

L’implementazione di indicatori dedicati ad un processo di “best siting” per Stazioni Radio Base deve prevedere la disponibilità di banche dati con informazioni di diversa natura ed individuabili prevalentemente nelle:

- specifiche radioelettriche dell’impianto;
- conoscenze della situazione urbanistica circostante l’impianto;
- disponibilità di dati inerenti a situazioni residenziali socialmente sensibili nell’area circostante la SRB.

Le informazioni relative agli ultimi due punti possono essere rappresentate attraverso strumen-

---

ti GIS (Geographic Information Systems), che permettono di georeferenziare, rappresentandoli su “raster” geografici, i temi di interesse per la costruzione di alcuni fra gli indicatori sopra citati: il DTM (Digital Terrestrial Matrix) del terreno, la collocazione tridimensionale degli edifici, le loro destinazioni d’uso, le attività prevalenti nell’area, ecc. L’elenco può essere ovviamente ulteriormente allungato e/o frazionato. È a questo livello (cioè nella scelta delle informazioni da selezionare) che è necessario l’intervento discrezionale dell’Amministrazione Locale, la quale, in base alle banche dati disponibili e di eventuali proprie priorità negli obiettivi di salvaguardia ambientale e paesaggistica (fermi restando i principi di tutela della salute espressi dalla Legge 36/2001), potrà decidere di quante e quali informazioni avvalersi.

Anche le mappe di campo elettromagnetico sul territorio, stimate attraverso i software elencati nel paragrafo 2.1, utilizzando sia le caratteristiche radioelettriche della SRB che la conoscenza del volume edificato, si prestano per una loro rappresentazione tramite strumenti GIS. L’intersezione fra le mappe georeferenziate della distribuzione teorica del campo elettromagnetico con le informazioni catastali e residenziali è l’operazione che permette di individuare quegli indicatori, che sono in grado di fornire in modo incisivo, facilmente interpretabile e graficamente visualizzabile su “raster”, l’entità dell’impatto di una nuova SRB. Queste considerazioni sono tanto più significative, quanto più l’area interessata approssima una situazione tipicamente urbana.

Un esempio di costruzione ed impiego di un indicatore per la valutazione dell’impatto di Stazioni Radio Base (e per impianti di radio-telecomunicazione in generale) su un’area ad elevato coefficiente di edificazione e ad elevata densità abitativa è stato proposto dalle ARPA Piemonte e Veneto all’interno di un rapporto CTN-AGF [9]. In sostanza, partendo dalle caratteristiche radioelettriche dell’impianto e dalle informazioni sul volume edificato, viene stimata in maniera probabilistica la distribuzione di campo elettrico sull’area circostante l’impianto, parametrizzando opportunamente con degli indici di attenuazione l’influenza degli edifici sulla distribuzione del campo stesso. Successivamente, partendo dalla conoscenza delle celle ISTAT, che frazionano il numero di residenti sul territorio, si risale a valori medi di popolazione in luoghi specifici (singoli edifici, piani di un edificio, settori di territorio interessati da determinati valori di campo, ecc.) dell’area interessata all’analisi. Infine, attraverso l’impiego di software GIS vengono sovrapposte le due tipologie di informazione realizzando, anche in modo graficamente semplice da leggere (mappe a gradazione di colore), dei veri e propri indicatori di impatto, da associare alla SRB in esame.

Un altro esempio di indicatore molto simile al precedente, impiegato sui CEM a 50 Hz, è quello utilizzato nell’indagine conoscitiva dell’impatto degli elettrodotti sulla città di Trento, una tipica realtà urbana di medie dimensioni [10]. Il calcolo della distribuzione del campo di induzione magnetica avviene in modo deterministico e le informazioni inerenti alla situazione residenziale hanno potuto avvalersi di un data base molto preciso, avendo a disposizione il numero di abitanti per numero civico. Con l’aiuto delle appropriate funzioni del software GIS utilizzato per l’indagine, la mappa rappresentativa della situazione residenziale viene quindi intersecata con fasce di territorio a ridosso delle linee elettriche, definite all’interno dei valori di campo di induzione magnetica, come riportati dal DPCM dell’8 luglio 2003.

Concludendo, si può quindi affermare che l’uso di indicatori in un processo di “best siting” per le stazioni radio base può rivelarsi molto utile, soprattutto in un’ottica, che accanto ad adeguati strumenti tecnici dedicati alla minimizzazione dei livelli di campo, sappia comprendere l’importanza e la necessità di un processo capace di coinvolgere la popolazione, grazie all’implementazione di efficaci, corretti e facilmente comprensibili, sistemi di comunicazione.

---

### **Riferimenti bibliografici del capitolo 2.4.2.3.**

- [8] L. Anglesio et al., ANPA - RTI CTN\_AGF 4/2000, *Rassegna di indicatori e indici per il rumore, le radiazioni non ionizzanti e la radioattività ambientale*;
- [9] S. Poli et al., ANPA – RTI CTN AGF 2/2005, *Popolamento dell'indicatore di esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici (ELF/RF): strumenti, procedure, esempi*;
- [10] C. Malacarne et al., *Evaluation of Exposure to High Voltage Power Lines: Definition of Environmental Impact Indicators*, Proceedings of the 3rd International Workshop on Biological Effects of Electromagnetic Fields - Volume I, Kos, Greece, 4-8 October 2004, P. Kostarakis Ed., pp. 576-584.

### **2.4.2.4. Proposta di una tecnica per produrre un indicatore di impatto ambientale di un campo elettromagnetico**

In questo paragrafo è descritto lo sviluppo di un Fattore di Impatto Ambientale Elettromagnetico (FIAE), inteso come un parametro globale che rappresenta il livello dell'impatto elettromagnetico su un'area specificata, prodotto dalla presenza di sistemi radianti, come per esempio antenne di SRB per comunicazioni mobili.

Il numero che esprime il FIAE dipende unicamente dall'intensità del campo elettrico, una quantità fisica ben definita, che nello specifico può essere data sia da valori misurati sia da valori calcolati.

Di seguito saranno descritti i parametri più significativi della distribuzione di campo elettrico adottati per il calcolo del FIAE, le ipotesi su cui si è basata la costruzione di un'opportuna scala di valori e, infine, alcuni esempi di applicazione per situazioni realistiche di una tipica area urbana.

### **Premessa**

L'impatto ambientale dei campi elettromagnetici è una questione ampiamente dibattuta, spesso in relazione al posizionamento di SRB; infatti la maggior parte della popolazione percepisce la presenza del campo elettromagnetico come una minaccia per la salute pubblica e, generalmente, si oppone all'installazione di nuove antenne in aree urbane, nonostante i grandi vantaggi derivanti dall'uso delle nuove tecnologie.

Di conseguenza, alcuni paesi hanno adottato linee guida basate su procedure di "buona pratica" per lo sviluppo di nuove reti e sono essenzialmente caratterizzate da una maggior condivisione, da parte dei comitati cittadini e delle amministrazioni locali, dei processi decisionali dei gestori, con attestazioni di agenzie governative del rispetto di normative di sicurezza.

Comunque, a nostra conoscenza, la minimizzazione dell'impatto ambientale del campo elettromagnetico non è ancora considerato come un vincolo di progetto per la pianificazione della rete al fine di determinare il miglior posizionamento delle antenne (vedi paragrafo 2.3).

Questo lavoro originale, specificamente sviluppato nell'ambito del progetto MONICEM, prende in esame la possibilità di creare ed adottare un FIAE, cioè un parametro numerico globale per quantificare il livello di "inquinamento" elettromagnetico in un'area urbana.

---

Se da un lato la filosofia alla quale esso è ispirato è simile al modello a semaforo del MOA, dall'altro lato è ad esso complementare perché intende fornire una quantità oggettiva, generale e il più possibile condivisa.

Il FIAE è in pratica un numero ottenibile facilmente da un semplice algoritmo, il che lo rende anche adatto ad essere inserito in un codice per la pianificazione di una rete mobile. Per il calcolo del FIAE sono necessari solamente i valori di campo elettrico nella zona circostante la SRB e può, quindi, essere usato sia per esaminare situazioni esistenti, considerando per esempio valori misurati di campo, sia in fase predittiva, utilizzando valori calcolati, al fine di confrontare l'impatto ambientale derivante da differenti posizionamenti delle SRB nella fase di progetto.

Il FIAE dovrà avere essenzialmente due caratteristiche: la possibilità di variare in un opportuno intervallo di valori e la capacità di discriminare tra situazioni simili. A tal proposito, molti parametri sono stati vagliati per la determinazione del FIAE, ma quelli che sono risultati più significativi sono: a) la differenza rispetto ad una situazione "ideale", b) il valor medio del campo, c) la varianza della distribuzione dei campioni di campo.

Il primo passo per la costruzione del modello è stato lo sviluppo di una scala; in questa fase è stato necessario adottare alcune ipotesi di lavoro, essenzialmente per definire le situazione migliore e peggiore da un punto di vista elettromagnetico.

Nel secondo passo sono stati stabiliti alcuni criteri per porre in relazione ogni valore della scala con il FIAE sulla base dei succitati parametri a), b), c).

Il terzo passo è consistito nell'applicazione del modello ad alcune situazioni significative scelte da esempi reali di un'area urbana.

Anche se il modello è stato concepito essenzialmente per sistemi radianti di reti per comunicazioni mobili, esso è del tutto generale perché si basa unicamente sulla distribuzione di campo elettrico e, come tale, può essere utilizzato per caratterizzare l'impatto ambientale di una qualsiasi sorgente di campo elettromagnetico.

### ***Formulazione del Problema***

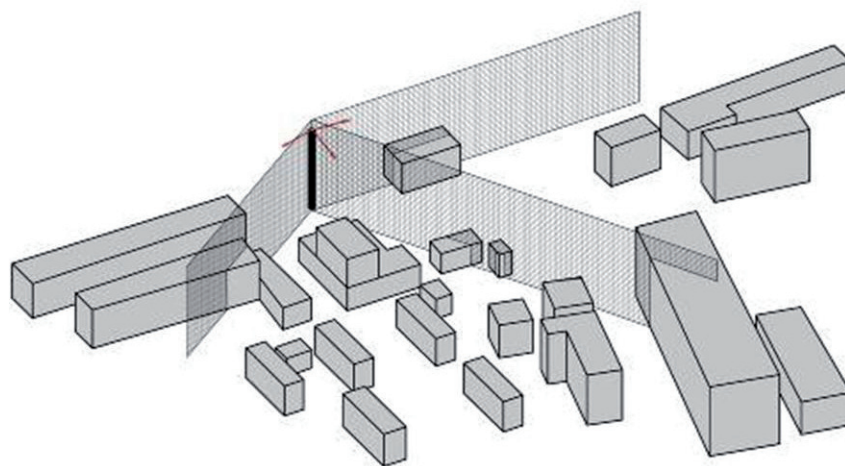
In questo paragrafo sono descritti il FIAE e tutte le ipotesi che hanno portato alla generazione della scala per classificare i differenti livelli di impatto ambientale in una regione urbana.

Innanzitutto si desidera sottolineare alcune linee guida che hanno permesso lo sviluppo del FIAE:

- a) il modello fa riferimento alla legge italiana che fissa l'intensità del campo elettrico a 6 V/m come valore di attenzione e obiettivo di qualità per esposizioni a lungo termine nell'intervallo di frequenze  $0.1 \text{ MHz} < f < 300 \text{ GHz}$ . Comunque, il metodo può essere facilmente esteso ad altri standard internazionali di sicurezza;
- b) l'intera procedura è unicamente basata su valori di campo elettrico e la loro distribuzione, calcolata in una regione che circonda l'antenna, tipicamente un'area di raggio 300 m, centrata sulla SRB; la dimensione dell'area è stata scelta in modo da considerare nel calcolo solo la zona più critica dal punto di vista della sicurezza. Estendere ulteriormente l'area di interesse avrebbe portato ad acquisire per il calcolo del FIAE campioni di campo di intensità relativamente bassa che, oltre ad essere poco significativi per l'impatto ambientale, avrebbero causato un conseguente "schiacciamento" del FIAE su valori bassi e quindi una riduzione della dinamica;
- c) nel riferimento alla potenza d'antenna, si intende la potenza massima irradiata dall'antenna, come specificato dai gestori nella documentazione tecnica allegata alla richiesta di autorizzazione per nuove installazioni e che viene inoltrata alle autorità comunali;

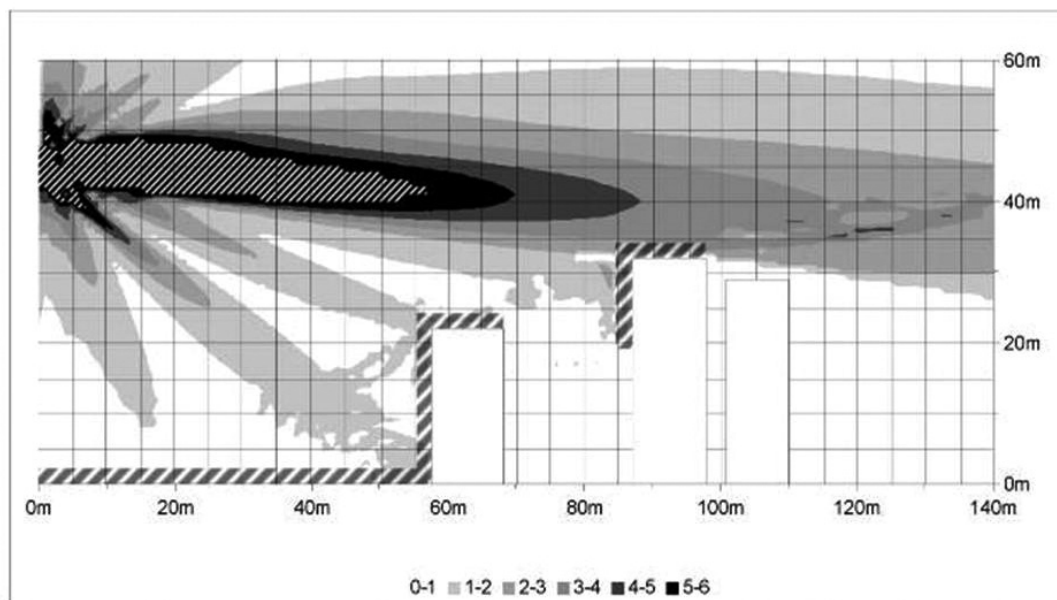
- 
- d) alcune assunzioni sono necessariamente arbitrarie, ma sempre suggerite da misure cautelative;
- e) il FIAE, più che una quantificazione in senso assoluto dell'impatto ambientale, dovrebbe essere utilizzato per confrontare tra loro scenari derivanti da diverse localizzazioni delle SRB: comunque situazioni che hanno valori di campo elettrico superiori ai 6 V/m sono automaticamente scartate dall'algoritmo;
- f) le predizioni di campo elettromagnetico sono state eseguite con il simulatore "Armonica" [Bologna FUB], un codice basato sulla tecnica del ray tracing. In particolare, per il calcolo del campo sono state considerate fino a due successive riflessioni, mentre i campi diffratti sono stati considerati trascurabili ai fini della sicurezza. Le pareti degli edifici sono state considerate completamente riflettenti per enfatizzare la situazione peggiore.

La figura 2.4.2. mostra l'idea di base: una SRB è allocata in un'area urbana, le frecce indicano le direzioni dei fasci principali delle antenne nella configurazione a tre settori della cella. Dopo aver definito tutti i parametri elettromagnetici (potenze irradiate, diagrammi di radiazione delle antenne, inclinazioni dei fasci, altezze delle antenne) e la geometria degli edifici, viene calcolato il campo elettromagnetico nella regione circostante la SRB.



**Figura 2.4.2.** - SRB in una configurazione a tre settori allocata in un'area urbana: le antenne sono montate su un palo e le direzioni dei lobi principali sono indicate dalle frecce. In figura sono anche mostrati alcuni piani verticali usati per la valutazione del FIAE.

Il FIAE viene calcolato in un numero significativo di piani verticali (tre dei quali sono mostrati nella stessa figura 2.4.2.), scelti per esempio in base alla criticità della situazione, ed il valore più alto viene assunto come FIAE della SRB considerata.



**Figura 2.4.3.** - Un esempio di distribuzione spaziale di campo elettrico in un piano verticale, calcolato in una regione di 140 m di lunghezza e 45 m di altezza, dove le aree bianche rappresentano gli edifici; il nastro tratteggiato mostra l'area nella quale sono considerati i campioni di campo elettrico usati per la valutazione del FIAE.

La figura 2.4.3. mostra un esempio di distribuzione di campo in un piano verticale; il calcolo è effettuato su una griglia a maglie quadrate (1m x 1m) utilizzando i seguenti parametri: potenza irradiata  $P = 100$  W per ogni antenna, tilt del fascio  $\theta = 5^\circ$ , altezza dell'antenna  $h = 45$ m, frequenza  $f = 960$  MHz.

È importante specificare che soltanto alcuni campioni di campo elettrico entrano nel calcolo del FIAE, e più precisamente solo quelli che nella figura 5.3 cadono all'interno dell'area tratteggiata, in base alle seguenti ipotesi:

- i. vengono considerate solamente le superfici (suolo, tetti, pareti degli edifici) illuminate dai raggi diretti
- ii. solo i campioni di campo calcolati o misurati all'interno di una fascia di due metri dalle suddette superfici entrano nella valutazione del FIAE.

La prima assunzione è suggerita da considerazioni di tipo cautelativo; infatti, il FIAE è un parametro globale e l'inclusione di regioni in ombra (dove ci aspettiamo un campo considerevolmente meno intenso rispetto alle zone investite direttamente dalla radiazione) avrebbe contribuito ad abbassarne il valore con una conseguente riduzione della dinamica. La seconda assunzione è semplicemente legata al fatto che eventuali soggetti esposti alla radiazione possono essere presenti solo nell'area suddetta.

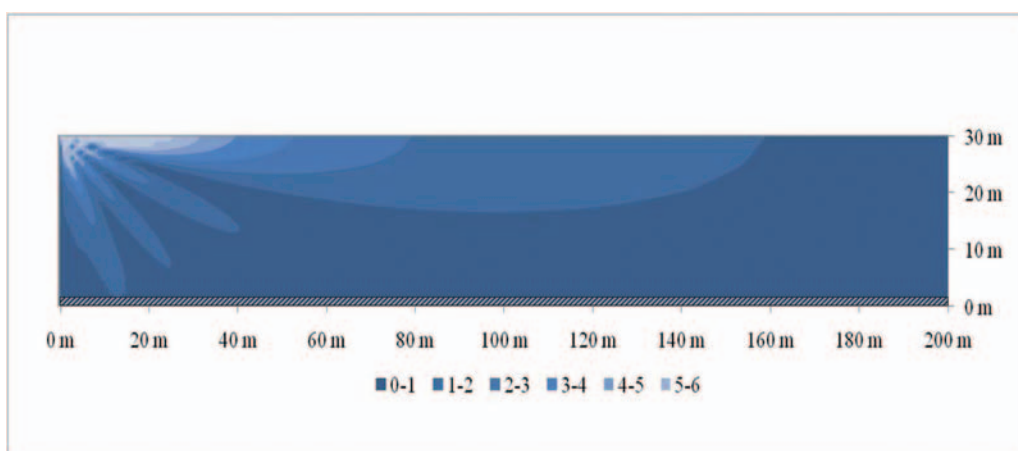
Lo scopo principale di questo indice è quindi di rappresentare la distribuzione di campo irradiato da una SRB usando semplicemente un numero, che dovrà discriminare tra situazioni simili ed avere un ampio intervallo di variazione.

Il punto chiave di questo approccio diventa quindi lo sviluppo di una scala opportuna di valori, dopo aver definito i limiti superiore ed inferiore entro cui far variare il FIAE, per esempio l'intervallo  $[1 \div 100]$ .

### La situazione migliore

Prendendo atto che la SRB ad impatto zero non esiste, a meno di non irradiare alcuna potenza, il più basso valore da assegnare al FIAE è quello valutabile per una SRB in una situazione realistica e che può essere ragionevolmente considerata come la migliore da un punto di vista della sicurezza elettromagnetica.

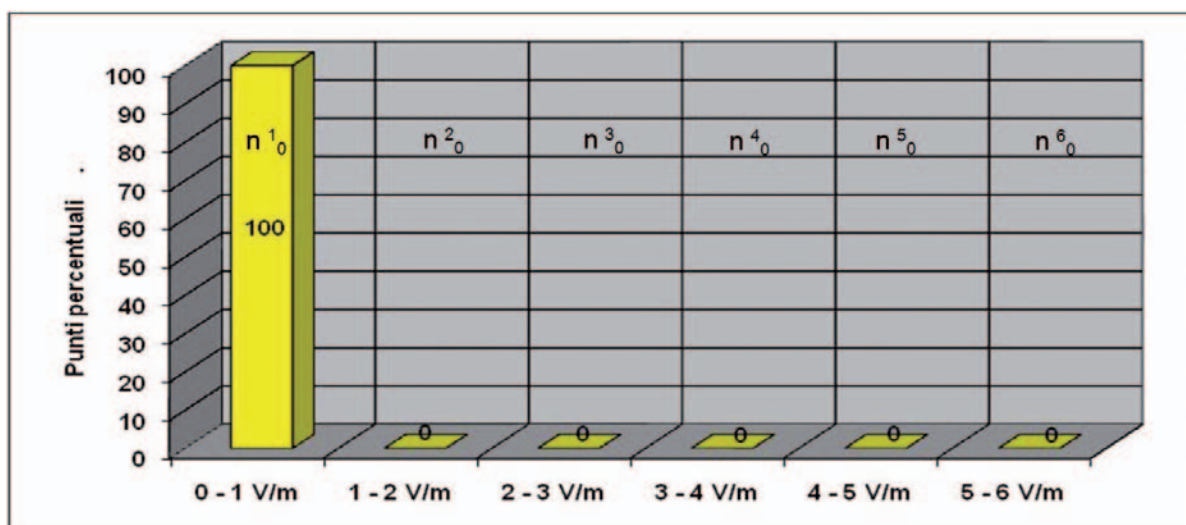
Questa situazione è rappresentata da un'antenna che irradia una potenza  $P = 35 \text{ W}$ , posta ad un'altezza  $h = 35 \text{ m}$ , sopra un suolo assorbente, in assenza di edifici (figura 2.4.4.).



**Figura 2.4.4.** - Distribuzione di campo elettrico [V/m] in un piano verticale lungo la direzione di massima radiazione: questa situazione è stata assunta come rappresentativa del valore 1 per il FIAE.

L'installazione mostrata in figura 2.4.4. è tipicamente adottata per la copertura radio di piccoli paesi siti in zone rurali, dove il posizionamento di SRB al di fuori dell'area urbana è spesso richiesta dalle amministrazioni locali.

La figura 2.4.5. mostra invece la distribuzione dei campioni di campo elettrico nella fascia di altezza due metri sopra il suolo, l'area accessibile (la striscia tratteggiata in figura 2.4.4.).



**Figura 2.4.5.-** Distribuzione dei campioni di campo elettrico presenti nell'area accessibile di figura 2.4.4. per la situazione assunta come valore 1 del FIAE.



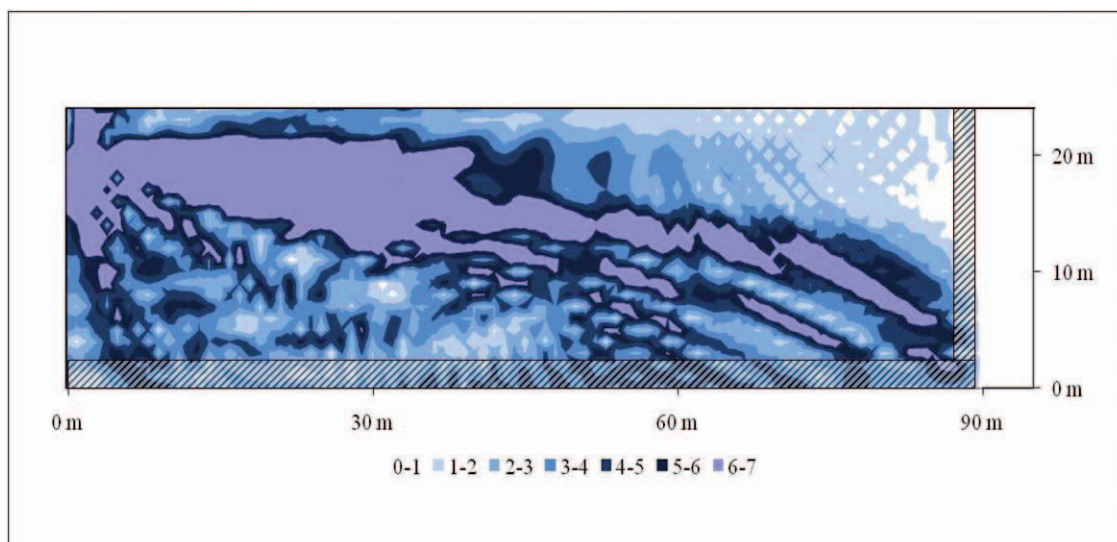
Il grafico di figura 2.4.5. è ottenuto suddividendo in 6 sub-intervalli il range dei valori di campo che soddisfano gli standard di sicurezza per la legge italiana ( $0 \leq E \text{ [V/m]} \leq 6$ ).

Il numero  $n_0^i$  rappresenta la percentuale dei campioni, per la situazione di riferimento "0", nell' $i$ -esimo sub-intervallo: come era da aspettarsi tutti i valori di campo sono compresi nel sub-intervallo di livello più basso.

### **La situazione peggiore**

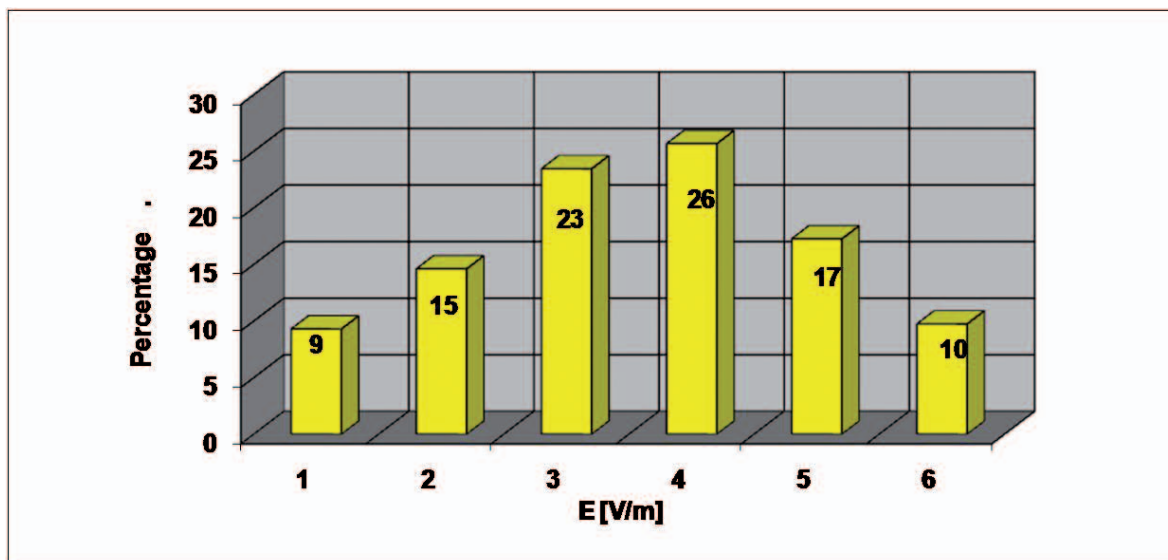
La definizione della situazione peggiore, da assumere come livello 100 (il massimo possibile) per la scala del FIAE, è molto più difficile perché, ovviamente, la soluzione non è unica a causa dei molti parametri che caratterizzano il problema. In particolare, è stata cercata la situazione che più si discosta da quella considerata migliore, prendendo in esame sia i livelli di campo e sia la distribuzione dei campioni. Nello stesso tempo, come per il caso precedente, anche la situazione peggiore dovrebbe avere una qualche corrispondenza con un caso realistico.

Dopo molte simulazioni, la configurazione che meglio rispondeva alle esigenze di "situazione peggiore" è risultata essere quella riportata in figura 5.5. Essa consiste in un'antenna che irradia una potenza  $P = 100 \text{ W}$ , posta ad un'altezza  $h = 21 \text{ m}$ , con un tilt  $\theta = 6^\circ$ , sopra un terreno riflettente, di fronte ad un edificio più alto dell'antenna (nel nostro caso  $25 \text{ m}$ ) con pareti riflettenti, ad una distanza  $d = 90 \text{ m}$ .



**Figura 2.4.6.** - Distribuzione spaziale di campo elettrico [V/m] nel piano verticale lungo la direzione di massima irradiazione: questa situazione è stata assunta come rappresentativa della configurazione peggiore per il calcolo del FIAE.

La figura 5.7 mostra la distribuzione percentuale dei campioni di campo nell'area accessibile (a tratteggio in figura 2.4.6.). Si può notare una distribuzione quasi gaussiana dei campioni di campo, dalla quale sono stati ricavati alcuni parametri statistici significativi, riportati in tabella 2.4.6. In modo simile alla figura 2.4.5., nel grafico di figura 2.4.7. l'intervallo dei valori di campo elettrico ammissibili secondo gli standard di sicurezza della legge italiana ( $0 \leq E \text{ [V/m]} \leq 6$ ) è suddiviso in sei sub-intervalli e i numeri rappresentano la percentuale dei campioni di campo appartenenti ai rispettivi sub-intervalli.



**Figura 2.4.7.-** Distribuzione dei campioni di campo elettrico presenti nell'area accessibile di figura 2.4.6. per la situazione assunta come peggiore per il calcolo del FIAE.

In accordo con quanto ci si era prefissati, dal confronto tra le figure 2.4.5. e 2.4.6., si può osservare una grande differenza tra le due situazioni estreme.

**Tabella 2.4.6. -** Parametri statistici estratti dalla distribuzione dei campioni di campo riportata in figura 2.4.7.

MEDIA	VARIANZA	MEDIANA	VALORE MASSIMO
3,08 V/m	2,01 (V/m) <sup>2</sup>	3,12 V/m	5,64 V/m

Si vuole sottolineare che, sebbene l'esempio scelto rappresenti una situazione limite per gli standard di sicurezza italiani, la situazione descritta è ancora accettabile. Qualunque cambiamento (per esempio un piccolo aumento della potenza irradiata, o una lieve diminuzione della distanza tra antenna ed edificio), causerebbe un superamento del limite di 6 V/m.

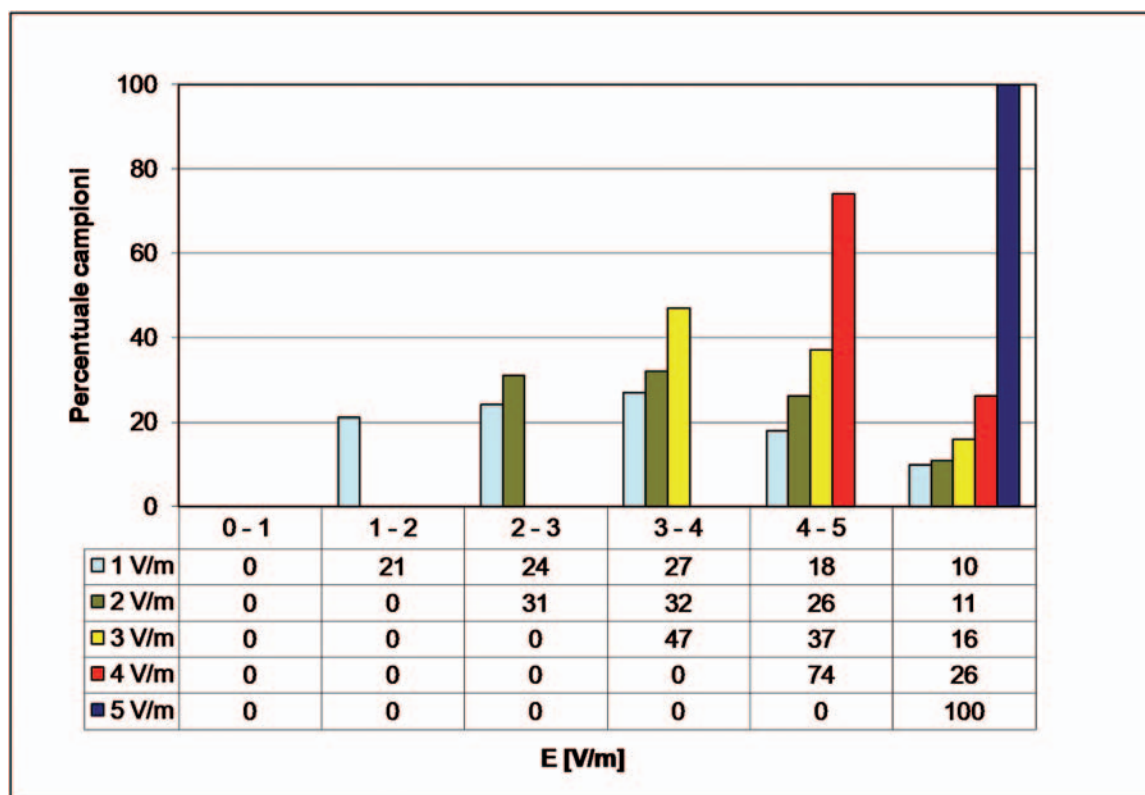
### *L'effetto del campo di fondo*

Al fine di completare l'analisi finalizzata alla definizione del valore massimo attribuibile al FIAE (100), è stato considerato l'effetto di un campo di fondo  $E_b$ : da un punto di vista pratico questo campo può essere originato da altre SRB presenti nelle aree circostanti o da antenne più lontane ma che irradiano potenze maggiori, come ad esempio quelle per sistemi di radiodiffusione. Il campo totale risultante sarà ovviamente la somma quadratica del campo di fondo e di quello dovuto alla SRB che si sta considerando.

La distribuzione spaziale del campo di fondo è molto difficile da stimare a priori, cosicché è stato adottato un livello uniforme. Questa sembra essere un'ipotesi molto ragionevole, anche perché serve unicamente a fissare il massimo valore del FIAE. Quando il metodo è applicato ad una situazione reale, saranno naturalmente considerati l'effettivo valore del campo di fondo e di quello irradiato dalla SRB in esame.

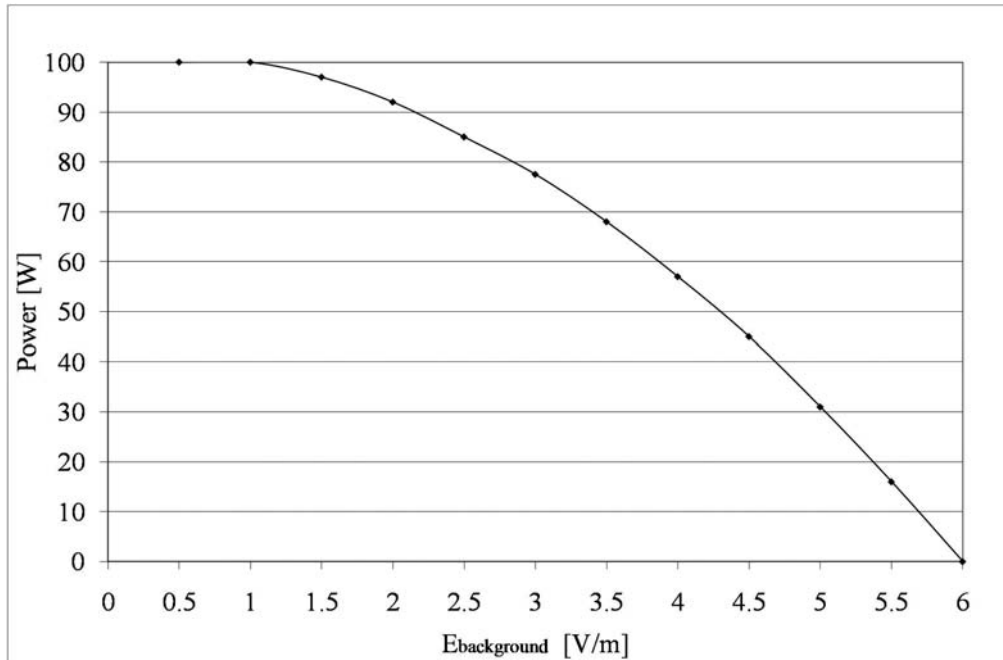
L'effetto sulla distribuzione percentuale dei campioni del campo di fondo sovrapposto alla si-

tuazione di caso peggiore descritta nel precedente paragrafo (figura 2.4.6.) può essere apprezzato in figura 2.4.8., dove sono analizzati cinque valori del campo di fondo nell'intervallo  $1 \leq E_b$  [V/m]  $\leq 5$ .

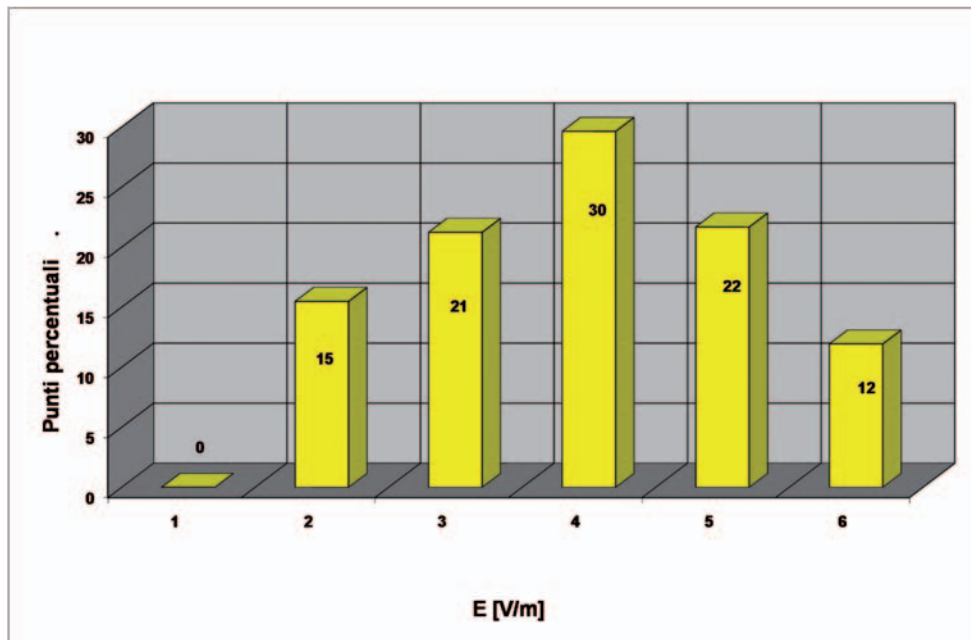


**Figura 2.4.8.** - Distribuzione percentuale dei campioni di campo presenti nell'area accessibile di figura 2.4.6. per la situazione assunta come peggiore, con la sovrapposizione di un campo di fondo  $1 \leq E_b$  [V/m]  $\leq 5$ : al fine di non eccedere i 6 V/m la potenza irradiata dalla SRB è stata opportunamente ridotta.

La presenza del campo di fondo aumenta naturalmente il valore del campo elettrico totale, generando situazioni in cui i limiti di sicurezza sono superati. Per questo motivo, al fine di rientrare nei limiti, il grafico di figura 2.4.8. è stato ottenuto riducendo opportunamente la potenza irradiata dalla SRB all'aumentare del campo di fondo, secondo quanto riportato in figura 2.4.9. Si ribadisce che la situazione peggiore è da intendersi infatti come una situazione molto compromessa da un punto di vista dell'impatto ambientale del campo elettromagnetico, ma tuttavia accettabile secondo la legge perché in nessun punto accessibile il campo supera i 6 V/m.



**Figura 2.4.9.** - Potenza irradiata dall'antenna in figura 2.4.6. in presenza di un campo di fondo, calcolata in modo che il campo totale non superi il valore limite di 6 V/m.



**Figura 2.4.10.** - Distribuzione dei campioni di campo elettrico presenti nell'area accessibile di figura 2.4.6. per la situazione assunta come valore 100 del FIAE.

Per definire la nuova situazione peggiore è stato scelto un campo di fondo  $E_b = 1,5$  V/m, in quanto rappresenta un valore tipico in molti casi reali. La presenza di questo campo porta a modificare la situazione peggiore descritta nel paragrafo 2.4.2.4, che ora consiste in un'antenna che irradia una potenza  $P = 97$  W, posta ad un'altezza  $h = 21$ m, con un tilt  $\theta = 6^\circ$ , sopra un terreno riflettente, di fronte ad un edificio più alto dell'antenna (nel nostro caso 25 m) con pareti riflettenti, ad una distanza  $d = 90$ m.

Per questa situazione sarà assunto il valore 100 del FIAE, cioè il valore più elevato dell'intervallo.

La distribuzione percentuale dei campioni di campo e i parametri statistici corrispondenti sono riportati in figura 2.4.10. e in tabella 2.4.7. rispettivamente.

**Tabella 2.4.7.** - Parametri statistici estratti dalla distribuzione dei campioni di campo riportata in figura 2.5.9. assunta come valore 100 del FIAE.

MEDIA	VARIANZA	MEDIANA	VALORE MASSIMO
3,5 V/m	1,53 (V/m) <sup>2</sup>	1,5 V/m	5,72 V/m

## Il Modello

In questo paragrafo è illustrato l'algoritmo per il calcolo del FIAE, che tiene conto di tutte le ipotesi descritte nel paragrafo precedente. Per definire la scala dei valori del FIAE dalla distribuzione dei campioni di campo, si può utilizzare un approccio statistico basato sui parametri classici come valor medio, mediana, varianza, ecc.. Dopo molte simulazioni in cui si sono analizzati casi di situazioni realistiche, prese in particolare dalla città di Ancona, si è giunti alla conclusione che i parametri più significativi, che permettono una migliore discriminazione anche tra situazioni leggermente differenti e che, inoltre, consentono al FIAE di utilizzare tutta la dinamica della scala, sono i seguenti:

1)

• Differenze pesate:

$$D_w = \sum_{i=1}^6 |n_x^i - n_0^i| \cdot (i - 1) \quad (1)$$

Dopo aver calcolato (o misurato) tutti i valori di campo nell'area accessibile (definite nel paragrafo 2.4.2.4), si può facilmente ricavare la distribuzione percentuale dei campioni ripartendoli nei sei sub-intervalli del range  $0 \leq E \text{ [V/m]} \leq 6$ . Il numero  $n_x^i$  rappresenta la percentuale dei campioni per la situazione generica "x", nell'i-esimo sub-intervallo;  $n_0^i$  è il numero corrispondente della distribuzione di riferimento "0" (figura 2.4.4.).  $D_w$  misura quindi la distanza tra una generica distribuzione e quella considerata "ideale"; ogni termine della somma è inoltre pesato con il valore che il campo può assumere nel corrispondente sub-intervallo e ciò al fine di attribuire un impatto maggiore ai campi più intensi.

2)

• Valor medio del campo:

$$\langle E \rangle = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |\vec{E}_n| \quad (2)$$

3)

• Varianza:

$$\sigma^2 = \frac{1}{N - 1} \sum_{n=1}^N \left( |\vec{E}_n| - \langle E \rangle \right)^2 \quad (3)$$

Dove N è il numero dei campioni di campo nell'area accessibile ed  $E_n$  è il valore dell' n-esimo campione di campo.

I tre parametri non hanno la stessa importanza nel calcolo del FIAE, per cui uno schema a tre livelli è stato elaborato per la costruzione dell' algoritmo, come mostrato nella figura 2.4.11.

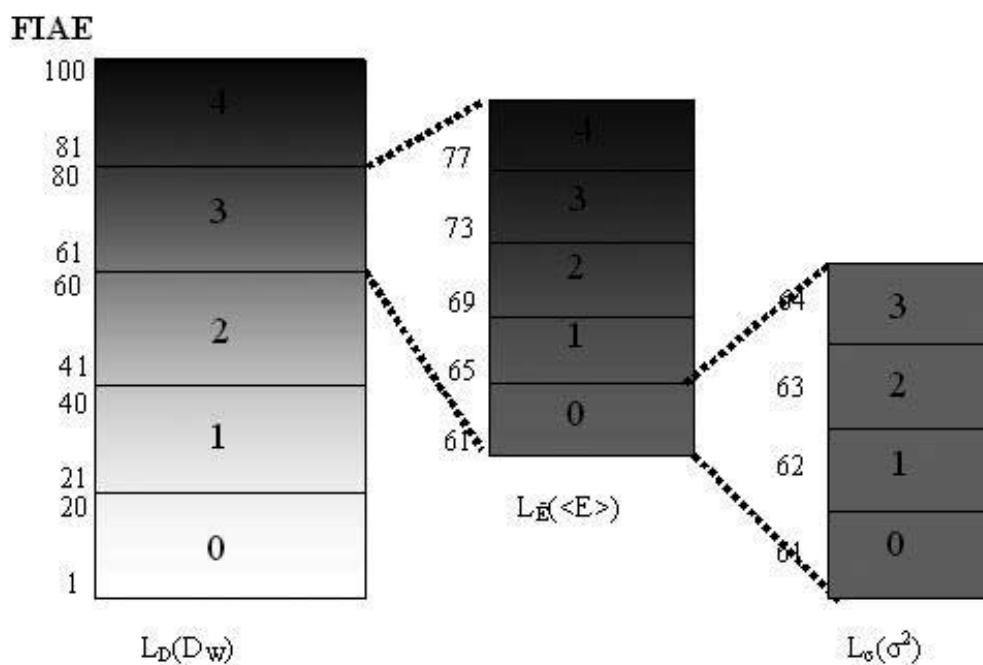


Figura 2.4.11. - Schema a tre livelli per il calcolo del FIAE.

Nella procedura che assegna il valore del FIAE ad una certa situazione, il parametro considerato più importante è la differenza pesata: essa è utilizzata per allocare il FIAE all'interno di uno dei cinque livelli (L<sub>D</sub>) della scala più grossolana; quindi il valor medio è usato per posizionare il FIAE all'interno di uno dei cinque livelli (L<sub>E</sub>) della scala intermedia e che costituisce una graduazione interna ad ogni livello L<sub>D</sub> precedentemente assegnato; alla fine, con lo stesso procedimento, si usa l'ultimo parametro, la varianza, per allocare il FIAE all'interno della scala più fine.

Il valore della differenza pesata D<sub>w</sub> serve per definire il livello L<sub>D</sub> della scala più grossolana identificando uno dei cinque possibili valori: L<sub>D</sub> = 0, 1, 2, 3, 4. La corrispondenza tra D<sub>w</sub> ed L<sub>D</sub> è ottenuta sulla base della situazione peggiore (D<sub>w</sub> = 295) (vedi figura 2.4.10), secondo quanto riportato in tabella 2.4.8.

Tabella 2.4.8. - Corrispondenza tra il valore della differenza pesata D<sub>w</sub> ed il livello L<sub>D</sub>.

D <sub>w</sub>	[0 ; 50)	[50 ; 105)	[105 ; 165)	[165 ; 230)	[230 ; ∞)
L <sub>D</sub>	0	1	2	3	4

Allo stesso modo, il valor medio <E> è usato per definire il livello L<sub>E</sub> della scala intermedia, identificando uno dei cinque possibili valori: L<sub>E</sub> = 0, 1, 2, 3, 4.

La procedura che stabilisce la relazione tra <E> ed L<sub>E</sub> è però un po' più complessa rispetto al caso precedente perché occorre tener conto dell'auto-consistenza intrinseca tra il valor medio del campo e la differenza pesata. Le corrispondenze trovate sono riportate nella tabella 2.4.9.

**Tabella 2.4.9.** - *Corrispondenza tra il valore medio del campo  $\langle E \rangle$  ed il livello  $L_{\bar{E}}$  per differenti valori del livello  $L_D$  della differenza pesata.*

$L_D = 0$					
$\langle E \rangle$	[0 ; 0.6)	[0.6 ; 0.7)	[0.7 ; 0.8)	[0.8 ; 0.9)	[0.9 ; $\infty$ )
$L_{\bar{E}}$	0	1	2	3	4
$L_D = 1$					
$\langle E \rangle$	[0 ; 1)	[1 ; 1.1)	[1.1 ; 1.2)	[1.2 ; 1.3)	[1.3 ; $\infty$ )
$L_{\bar{E}}$	0	1	2	3	4
$L_D = 2$					
$\langle E \rangle$	[0 ; 1,4)	[1,4 ; 1,6)	[1,6 ; 1,8)	[1,8 ; 2)	[2 ; $\infty$ )
$L_{\bar{E}}$	0	1	2	3	4
$L_D = 3$					
$\langle E \rangle$	[0 ; 2.1)	[2.1 ; 2,3)	[2,3 ; 2.5)	[2.5 ; 2.7)	[2,7 ; $\infty$ )
$L_{\bar{E}}$	0	1	2	3	4
$L_D = 4$					
$\langle E \rangle$	[0 ; 2.9)	[2,9 ; 3.1)	[3.1 ; 3,3)	[3,3 ; 3,5)	[3,5 ; $\infty$ )
$L_{\bar{E}}$	0	1	2	3	4

La varianza  $\sigma^2$  è usata per definire il livello  $L_\sigma$  della scala ad alta definizione, identificando uno dei possibili quattro valori:  $L_\sigma = 0, 1, 2, 3$ .

La relazione tra la varianza  $\sigma^2$  ed il livello  $L_\sigma$  corrispondente è riportata nella tabella 2.4.10.

**Tabella 2.4.10.** - *Corrispondenza tra il valore della varianza  $\sigma^2$  ed il livello  $L_\sigma$ .*

$\sigma^2$	[0 ; 0.5)	[0.5 ; 1)	[1 ; 1.5)	[1.5 ; $\infty$ )
$L_\sigma$	0	1	2	3

Dai molti casi analizzati, non sembra emergere alcuna particolare relazione tra  $D_w$ ,  $\langle E \rangle$  e  $\sigma^2$ , ma soltanto una auto-consistenza interna dei valori.

Dopo aver determinato i livelli  $L_D$ ,  $L_{\bar{E}}$ ,  $L_\sigma$ , il FIAE può essere semplicemente calcolato come (vedi figura 2.4.11.):

$$FIAE = 20 \cdot L_D + 4 \cdot L_{\bar{E}} + L_\sigma + 1 \quad (4)$$

L'applicazione dell'algoritmo alla situazione definita come caso peggiore fornisce i seguenti valori:

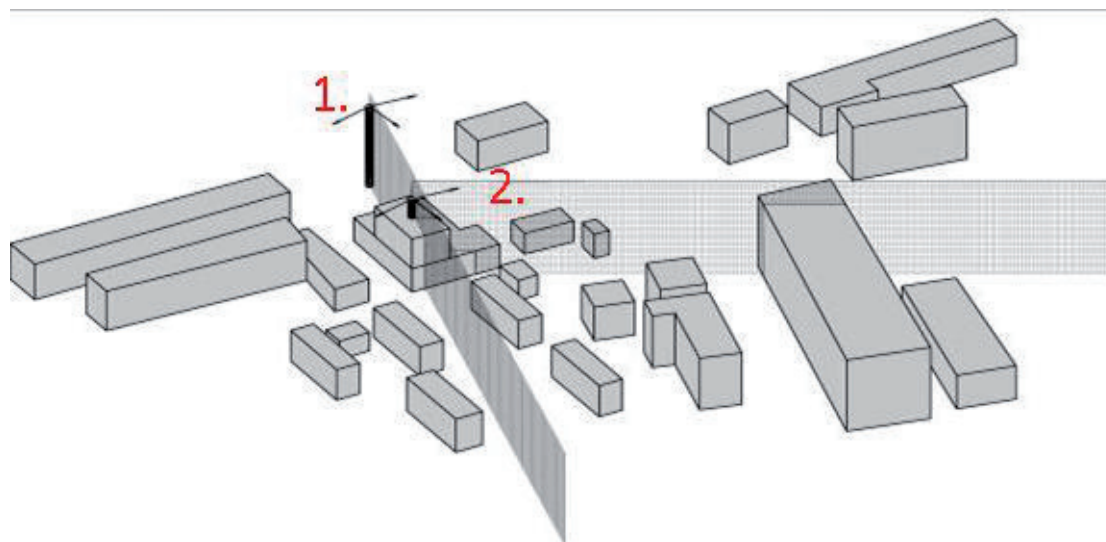
- dalle figure 2.4.5. e 2.4.10 e dall'equazione (1),  $D_w = 295$ , e dalla tabella 2.4.8.,  $L_D = 4$ ;
- dalla tabella 2.4.7.,  $\langle E \rangle = 3.5$  V/m e dalla tabella 2.4.9.,  $L_{\bar{E}} = 4$ ;
- dalla tabella 2.4.7.,  $\sigma^2 = 1,53$  e dalla tabella 2.4.10.,  $L_\sigma = 3$ ;
- sostituendo questi valori nell'equazione (4),  $FIAE = 100$ .

---

È evidente che il metodo presenta una saturazione, sia per valori alti e sia per valori bassi del FIAE, nel senso che potrebbero verificarsi situazioni migliori di quella assunta come riferimento “0”, o peggiori della configurazione ipotizzata come “peggiore”, anche se con valori di campo inferiori ai 6 V/m. In entrambi i casi l’algoritmo darebbe un FIAE pari a 1 e 100 rispettivamente; comunque, ciò non inficia il modello poiché trattasi di eventi che hanno una bassissima probabilità di verificarsi e comunque denotano situazioni inequivocabilmente estreme di impatto ambientale.

### ***Le applicazioni: scelta di un sito***

Come esempi di applicazione sono stati scelti due casi corrispondenti a situazioni realistiche di uno studio su un possibile posizionamento di SRB nella città di Ancona, figura 2.4.12. Nella prima configurazione, denotata come case study n.1, l’antenna è montata su un palo nella seconda configurazione, denotata come case study n.2, l’antenna è posta sul tetto di un edificio; le frecce indicano le direzioni dei fasci principali, l’area in alto nella figura, esclusa dalla settorizzazione, è un tratto di mare, non interessato quindi all’analisi. Sebbene il calcolo sia effettuato in uno spazio 3D e molti piani verticali siano stati esaminati, per brevità l’analisi è riportata solo per quei piani verticali, mostrati in figura, che sono risultati più critici dal punto di vista dell’esposizione.



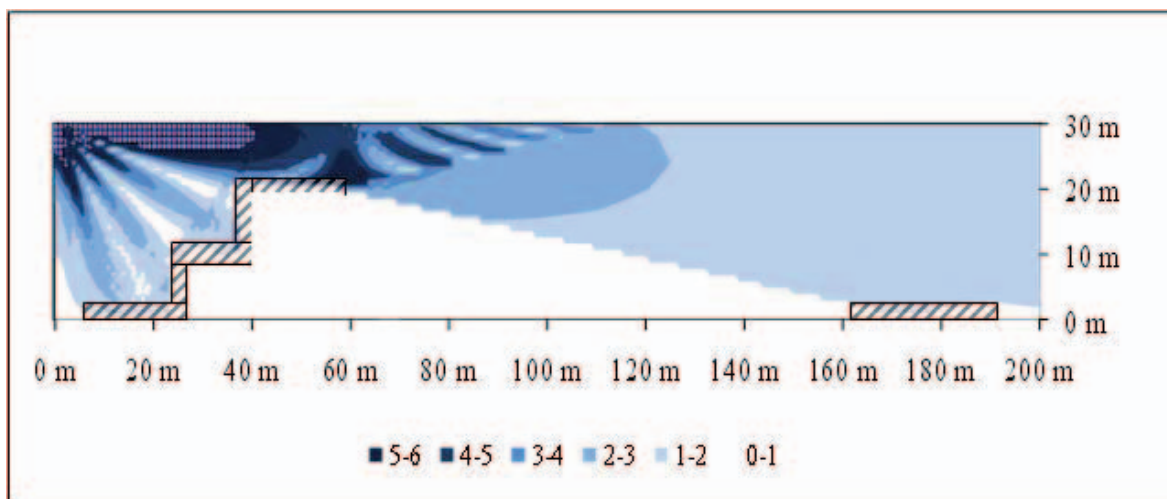
**Figura 2.4.12.** - Area urbana della città di Ancona considerata per l’applicazione del modello. Nella posizione n.1 l’antenna è montata su un palo; nella posizione n.2 l’antenna è posta sul tetto di un edificio. Le frecce indicano le direzioni dei lobi principali di radiazione.

### ***Case study n.1***

La prima situazione analizzata è relativa ad una SRB posta nel sito n.1 con le seguenti caratteristiche: potenza irradiata  $P = 100$  W, altezza dell’antenna  $h = 25$  m, tilt  $\theta = 3^\circ$ , frequenza  $f = 900$  MHz, guadagno d’antenna  $G = 14.5$  dBi, pareti metalliche degli edifici. La simulazione mostra che circa il 10% dei campioni di campo nell’area accessibile supera il limite di legge di 6 V/m, cosicché l’algoritmo blocca l’esecuzione della procedura in quanto configurazione inaccettabile.



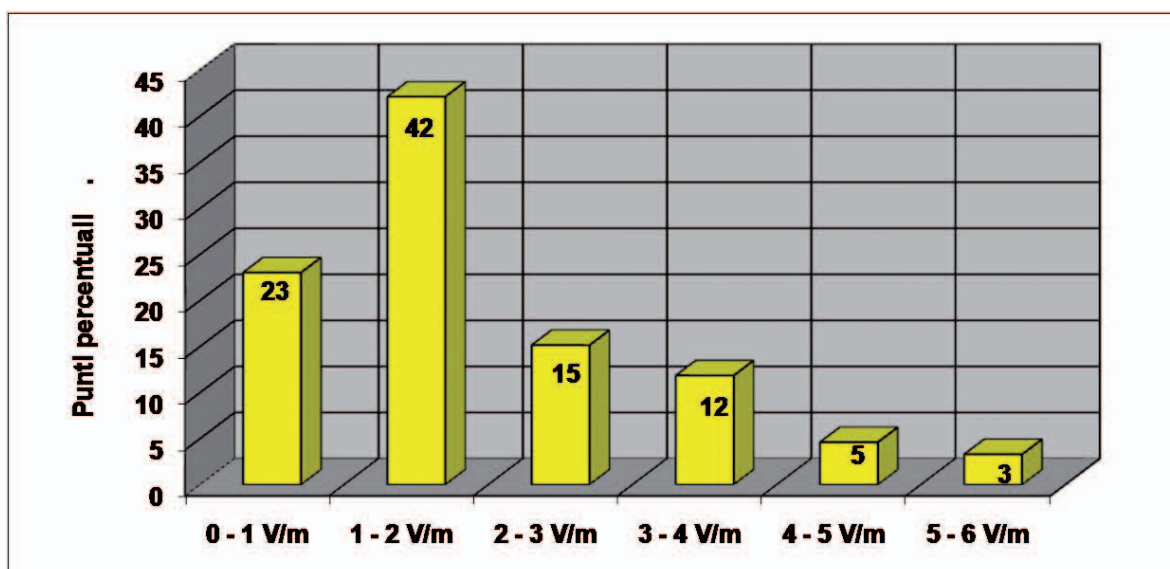
In una seconda simulazione l'altezza dell'antenna è aumentata fino a  $h = 30\text{m}$ , mentre tutti gli altri parametri sono rimasti invariati. Nella zona accessibile tutti i valori di campo sono ora entro i limiti e la distribuzione spaziale dei campi sul piano verticale dove si registra la situazione peggiore per l'esposizione umana è riportata in figura 2.4.13.



**Figura 2.4.13.** - Distribuzione spaziale di campo elettrico [V/m] nel piano verticale relativo alla SRB nella posizione n.1 e che rappresenta la situazione peggiore per l'esposizione della popolazione.

Si ricorda che il calcolo del campo trascura il campo diffratto e ciò spiega il netto cono d'ombra dietro gli edifici.

La distribuzione percentuale dei campioni di campo nell'area accessibile è data in figura 2.4.14., e i più significativi parametri statistici sono riportati nella tabella 2.4.11.



**Figura 2.4.14.-** Distribuzione percentuale dei campioni di campo nell'area accessibile di figura 2.4.12., che rappresenta la situazione peggiore per l'esposizione della popolazione nel case study n.1.

**Tabella 2.4.11** - Parametri statistici relative alla distribuzione dei campioni di campo di figura 2.4.13.

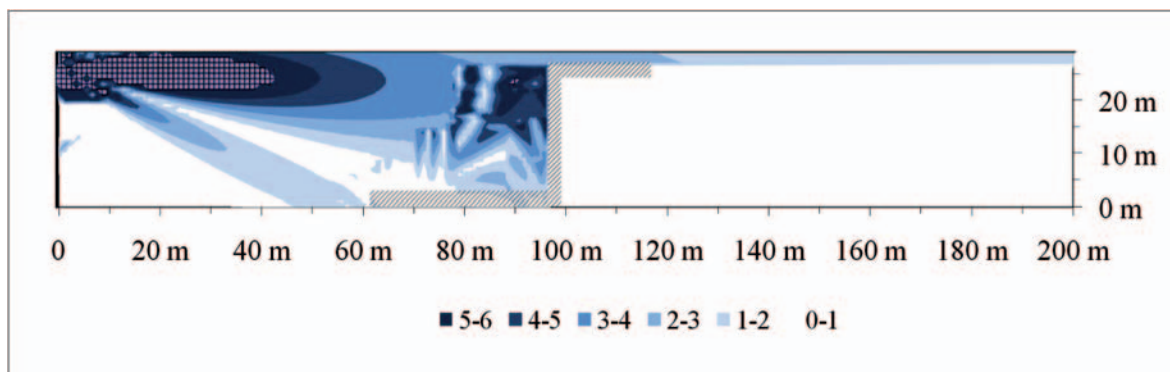
DIFFERENZA PESATA	MEDIA	VARIANZA
$D_w$	$\langle E \rangle$	$\sigma^2$
143	1,9 V/m	1,59 (V/m) <sup>2</sup>

L'applicazione della procedura al case study n.1 fornisce i seguenti valori:

- dalle figure 2.4.5. e 2.4.14. e dall'equazione (1),  $D_w = 143$ , e dalla tabella 2.4.8.,  $L_D = 2$ ;
- dalla tabella 2.4.11.,  $\langle E \rangle = 1.9$  e dalla tabella 2.4.9.,  $L_E = 3$ ;
- dalla tabella 2.4.11.,  $\sigma^2 = 1.59$  e dalla tabella 2.4.10.,  $L_\sigma = 3$ ;
- sostituendo questi valori nell'equazione (4),  $FIAE = 56$ .

### Case study n.2

Il secondo caso studiato riguarda una SRB posta nel sito n.2 ed avente le seguenti caratteristiche: potenza irradiata  $P = 100$  W, altezza dell'antenna  $h = 7$  m sopra il tetto dell'edificio, tilt  $\theta = 3^\circ$ , frequenza  $f = 900$  MHz, guadagno d'antenna  $G = 14.5$  dBi, terreno e pareti degli edifici totalmente riflettenti. Tutti i valori di campo elettrico nell'area accessibile sono entro i limiti di legge e la distribuzione spaziale di campo nel piano verticale dove si verifica la condizione peggiore per quanto riguarda l'esposizione della popolazione è riportata in figura 2.4.15.



**Figura 2.4.15.** - Distribuzione spaziale di campo elettrico [V/m] nel piano verticale relativo alla SRB nella posizione n.2 e che rappresenta la situazione peggiore per l'esposizione della popolazione.

La distribuzione percentuale dei campioni di campo nell'area accessibile è visibile in figura 2.4.16., e i suoi parametri statistici più significativi sono riportati nella tabella 2.4.12.

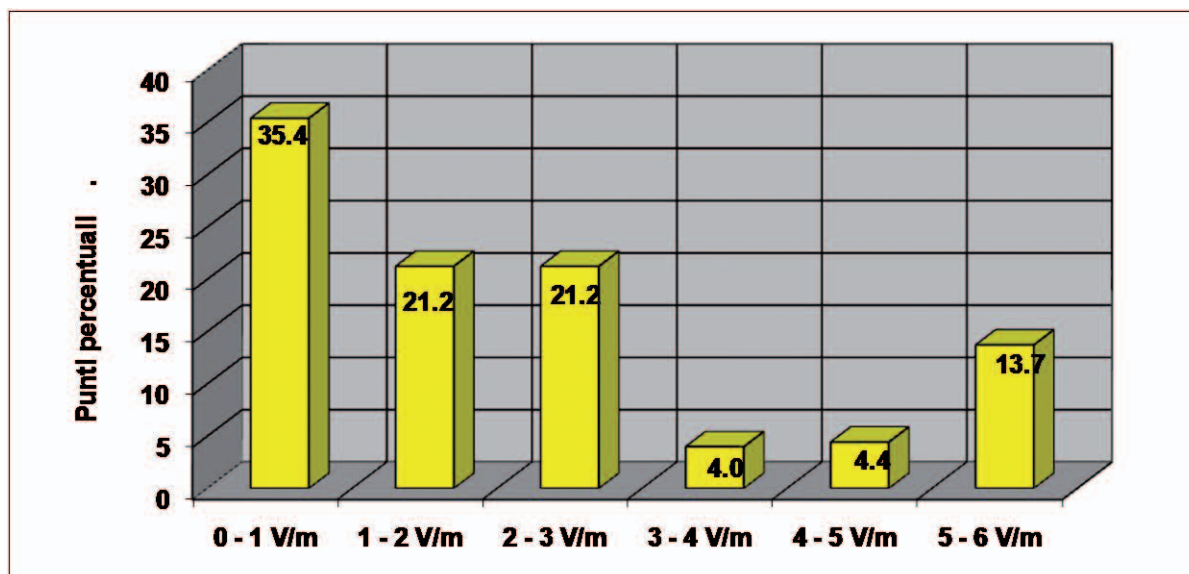


Figura 2.4.16. - Distribuzione percentuale dei campioni di campo nell'area accessibile di figura 2.4.15., che rappresenta la situazione peggiore per l'esposizione della popolazione nel case study n.2.

Tabella 2.4.12.- Parametri statistici relative alla distribuzione dei campioni di campo di Fig. 2.4.16.

DIFFERENZA PESATA	MEDIA	VARIANZA
$D_w$	$\langle E \rangle$	$\sigma^2$
162	2.07V/m	2.89 (V/m) <sup>2</sup>

L'applicazione della procedura al case study n.2 fornisce i seguenti valori:

- dalle Figure 2.4.5. e 2.4.16 e dall'equazione (1),  $D_w = 162$ , e dalla tabella 2.4.8,  $L_D = 2$ ;
- dalla tabella 2.4.12,  $\langle E \rangle = 2.07$  e dalla tabella 2.4.9,  $L_E = 4$ ;
- dalla tabella 2.4.12,  $\sigma^2 = 2.89$  e dalla tabella 2.4.10,  $L_\sigma = 3$ .
- sostituendo questi valori nell'equazione (4),  $FIAE = 60$ .

Secondo questo metodo, il case study n.1 si dimostra essere una configurazione migliore rispetto alle normative di sicurezza per l'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici; inoltre, i risultati mostrano anche la capacità del metodo di discriminare tra situazioni simili.

### Le applicazioni: vicinanza di due SRB

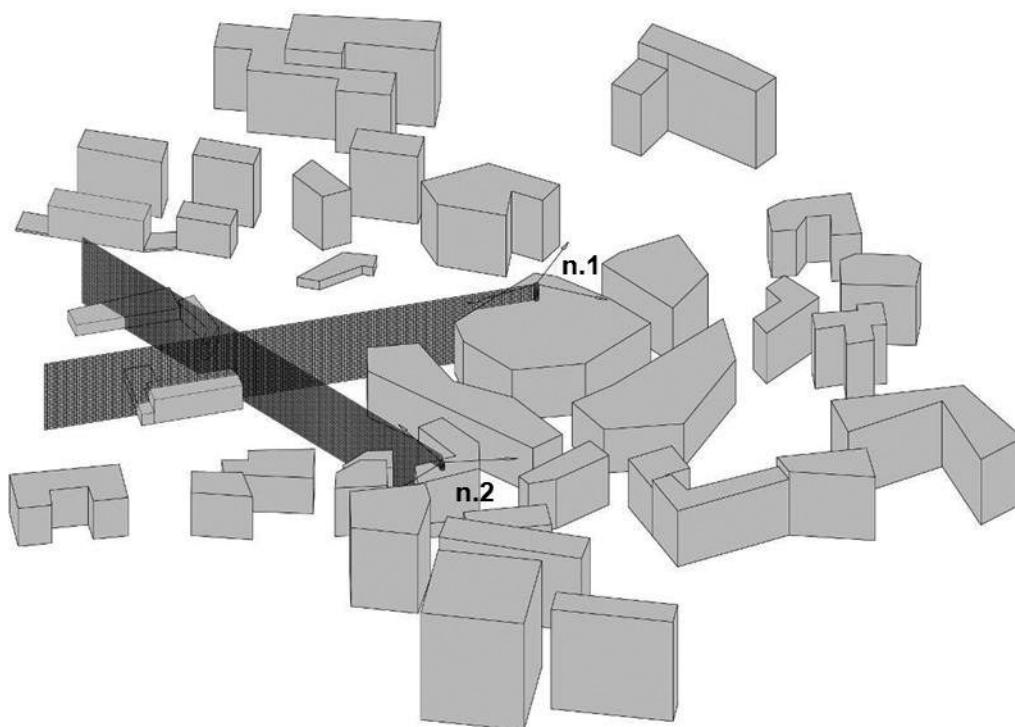
La configurazione che viene proposta e mostrata in figura 2.4.17 si riferisce ad una situazione effettivamente presente nella città di Ancona. Lo studio è condotto in modo da evidenziare l'effetto cumulativo dell'emissione delle due antenne, mettendolo a confronto con la situazione in cui soltanto una di esse fosse presente.

La figura 2.4.17 mostra i piani verticali su cui è stato valutato il FIAE: essi sono stati scelti perché comprendono una zona che si trova simultaneamente nella direzione di massima irradiazione di un settore di entrambe le SRB. Per ovvi motivi di riservatezza, le caratteristiche degli impianti e soprattutto le potenze che sono state usate negli esempi seguenti non

---

corrispondono a quelle reali.

Anche in questo caso sono proposti due “case study”, corrispondenti al calcolo del FIAE nei due piani sopra menzionati, e per ognuno di essi sarà riportato lo studio “con” e “senza” l’altra SRB.



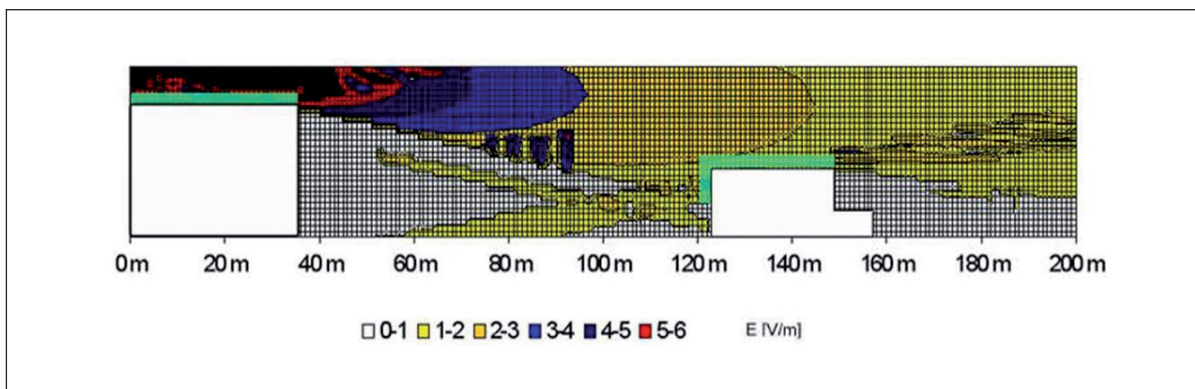
**Figura 2.4.17-** Area urbana della città di Ancona considerata per l’applicazione del modello. In entrambi i siti le antenne sono poste sul tetto di edifici. Le frecce indicano le direzioni dei lobi principali di irradiazione. I piani verticali indicano le sezioni esaminate ai fini del calcolo del FIAE.

### **Case study n.1**

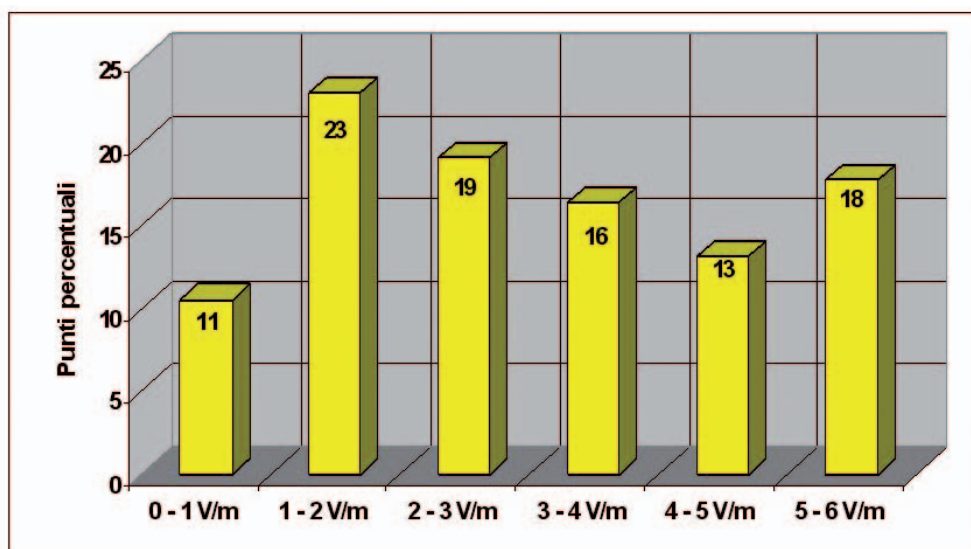
La prima situazione analizzata è relativa allo studio del FIAE nel piano verticale passante per la SRB posta nel sito n.1. Inizialmente, entrambe le antenne n.1 e n.2 sono considerate attive e con le seguenti caratteristiche: potenza irradiata  $P = 100$  W per ciascuna antenna, altezza dell’antenna n.1  $h_1 = 7$  m e altezza dell’antenna n.2  $h_2 = 3$  m sopra i tetti dei rispettivi edifici, tilt  $\theta = 3^\circ$ , frequenza  $f = 900$  MHz, guadagno delle antenne  $G = 14.5$  dBi, pareti metalliche degli edifici.

Nella zona accessibile, tutti i valori di campo sono entro i limiti e la distribuzione spaziale dei campi sul piano verticale relativo alla SRB n.1 è riportata in figura 2.4.18.

Analogamente a quanto fatto per i casi precedenti, la figura 2.4.19 e la tabella 2.4.13 mostrano l’istogramma della distribuzione percentuale dei valori e i relativi parametri statistici rispettivamente.



**Figura 2.4.18-** Distribuzione spaziale di campo elettrico nel piano verticale relativo alla SRB nella posizione n.1 di figura 2.4.17, quando entrambe le SRB sono attive.



**Figura 2.4.19 -** Distribuzione percentuale dei campioni di campo nell'area accessibile di figura 2.4.18, quando entrambe le SRB di figura 2.4.17 sono attive.

**Tabella 2.4.13** Parametri statistici relativi alla distribuzione dei campioni di campo di figura 2.4.19.

SCARTO PESATO	VALOR MEDIO	VARIANZA
252	3,1 V/m	2,62 (V/m) <sup>2</sup>

L'applicazione della procedura fornisce i seguenti valori:

- dalle Figure 2.4.5 e 2.4.19 e dall'equazione (1),  $D_w = 252$ , e dalla tabella 2.4.8,  $L_D = 4$ ;
- dalla tabella 2.4.13,  $\langle E \rangle = 3.1$  e dalla tabella 2.4.9,  $L_E = 2$ ;
- dalla tabella 2.4.13,  $\sigma^2 = 2.62$  e dalla tabella 2.4.10,  $L_\sigma = 3$ ;
- sostituendo questi valori nell'equazione (4),  $FIAE = 92$ .

È un valore sicuramente molto elevato legato alla presenza di un campo intenso sull'ampio terrazzo dell'edificio che ospita la SRB n.1.

La disattivazione dell'antenna n.2 non porta sostanziali cambiamenti sulla distribuzione di campo nel piano considerato ed il FIAE resta quindi inalterato.

## Case study n.2

La seconda situazione analizzata è relativa allo studio del FIAE nel piano verticale passante per la SRB posta nel sito n.2. Inizialmente, entrambe le antenne n.1 e n.2 sono considerate attive e con le stesse caratteristiche del case study n.1 del paragrafo 2.4.5.1

Nella zona accessibile, tutti i valori di campo sono entro i limiti e la distribuzione spaziale dei campi sul piano verticale relativo alla SRB n.2 è riportata in figura 2.4.20. Analogamente a quanto fatto per i casi precedenti, la figura 2.4.20 e la tabella 2.4.14 mostrano l'istogramma della distribuzione percentuale dei valori e i relativi parametri statistici rispettivamente.

L'applicazione della procedura fornisce i seguenti valori:

- dalle Figure 2.4.5 e 2.4.21 e dall'equazione (1),  $D_w = 134$ , e dalla tabella 2.4.8,  $L_D = 2$ ;
- dalla tabella 2.4.10,  $\langle E \rangle = 1.81$  e dalla tabella 2.4.9,  $L_E = 3$ ;
- dalla tabella 2.4.10,  $\sigma^2 = 2.86$  e dalla tabella 2.4.10,  $L_\sigma = 3$ ;
- sostituendo questi valori nell'equazione (4),  $FIAE = 56$ .

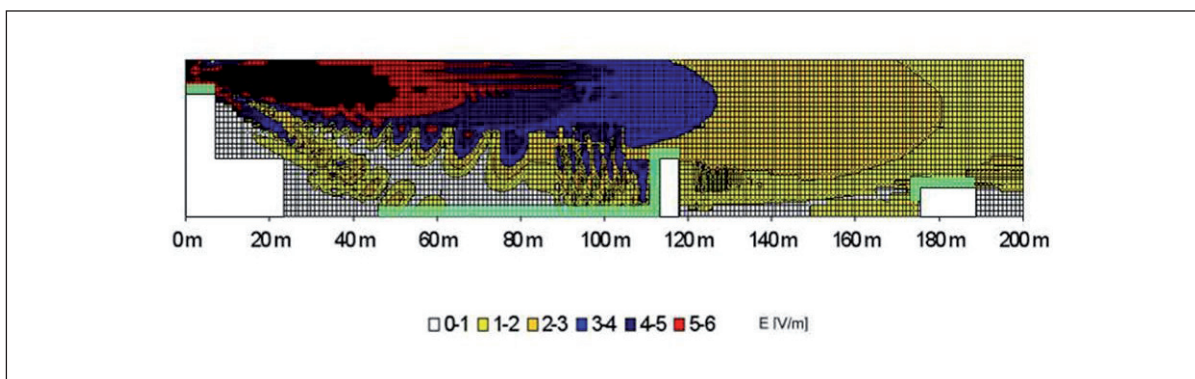


Figura 2.4.20 - Distribuzione spaziale di campo elettrico nel piano verticale relativo alla SRB nella posizione n.2 di Fig. 2.4.16, quando entrambe le SRB sono attive.

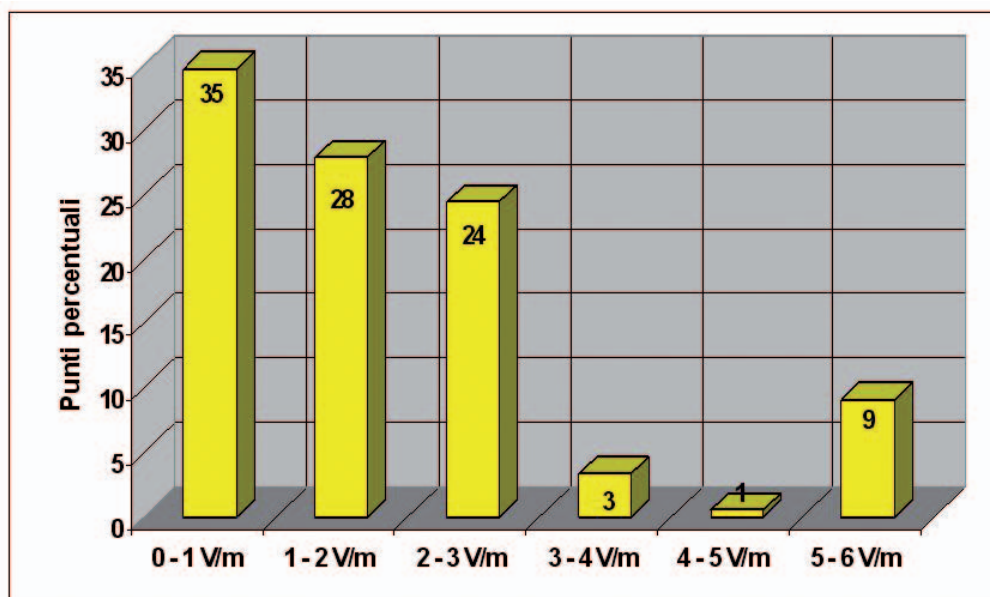
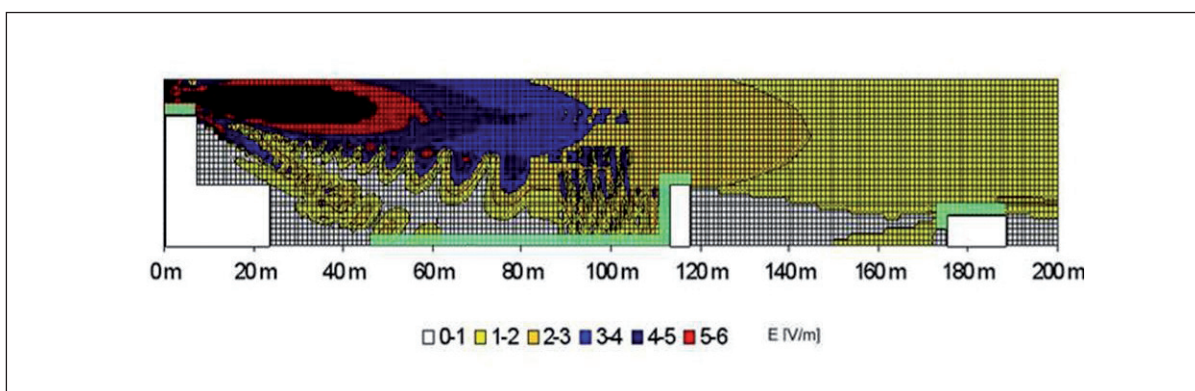


Figura 2.4.21 Distribuzione percentuale dei campioni di campo nell'area accessibile di Fig. 2.4.19, quando entrambe le SRB di Fig. 2.4.16 sono attive.

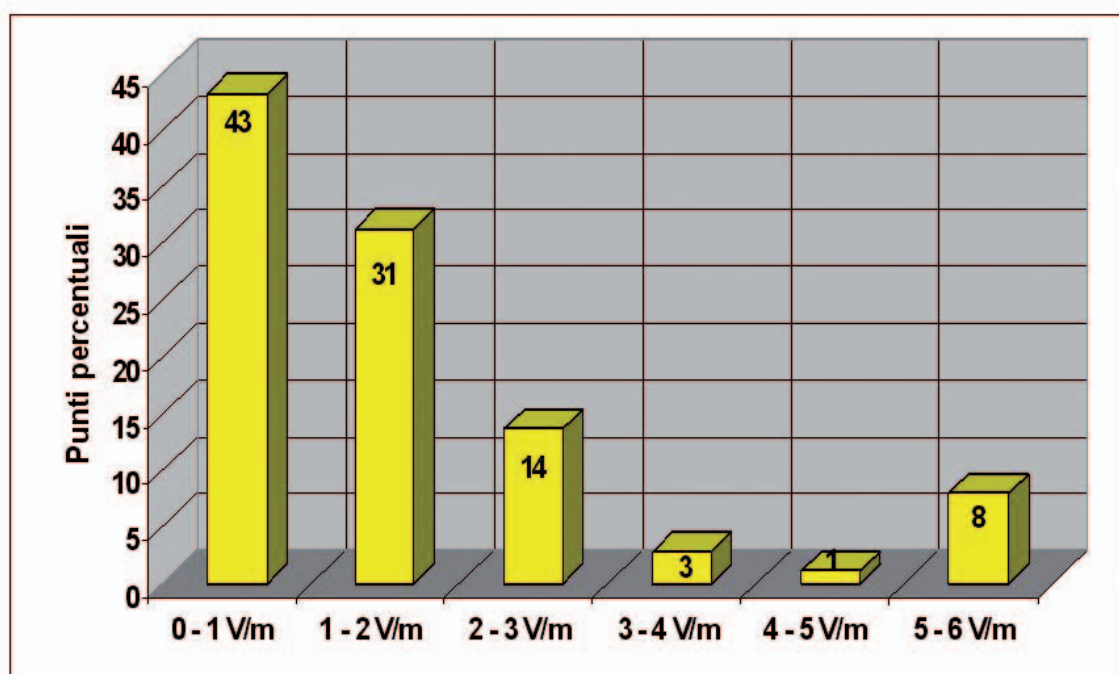
**Tabella 2.4.14** Parametri statistici relativi alla distribuzione dei campioni di campo di Fig. 2.4.20.

SCARTO PESATO	VALOR MEDIO	VARIANZA
134	1,81 V/m	2,86 (V/m) <sup>2</sup>

È stata quindi ripetuta l'intera procedura considerando la SRB n.1 spenta, con tutti gli altri parametri inalterati. I risultati riguardanti la distribuzione spaziale del campo, la distribuzione percentuale dei campioni e i parametri statistici sono riportati nelle Figure 2.4.22 e 2.4.23 e nella tabella 2.4.15 rispettivamente.



**Figura 2.4.22** - Distribuzione spaziale di campo elettrico nel piano verticale relativo alla SRB nella posizione n.2 di Fig. 2.4.16, quando solo la SRB n.2 è attiva.



**Figura 2.4.23** - Distribuzione percentuale dei campioni di campo nell'area accessibile di Figura 2.4.22, quando solo la SRB n.2 di Figura 2.4.17 è attiva.

**Tabella 2.4.15.** Parametri statistici relativi alla distribuzione dei campioni di campo di Fig. 2.4.22.

SCARTO PESATO	VALOR MEDIO	VARIANZA
112	1,61 V/m	2,08 (V/m) <sup>2</sup>

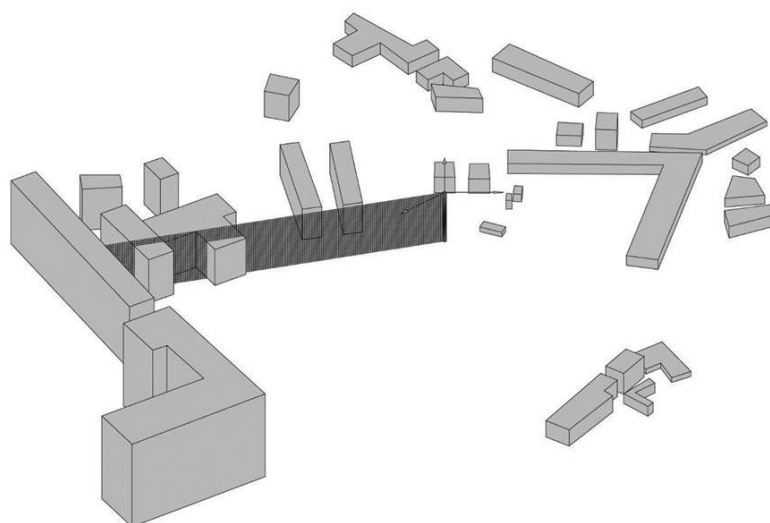
L'applicazione della procedura fornisce i seguenti valori:

- dalle Figure 2.4.5 e 2.4.23 e dall'equazione (1),  $D_w = 112$ , e dalla tabella 2.4.8,  $L_D = 2$ ;
- dalla tabella 2.4.15,  $\langle E \rangle = 1.61$  e dalla tabella 2.4.9,  $L_E = 2$ ;
- dalla tabella 2.4.15,  $\sigma^2 = 2.08$  e dalla tabella 2.4.10,  $L_\sigma = 3$ ;
- sostituendo questi valori nell'equazione(4),  $FIAE = 52$ .

Si nota in questo caso come la presenza della SRB n.1 contribuisca con 4 punti di FIAE all'impatto ambientale della SRB n.2. La situazione non è simmetrica rispetto al case study n.1; ciò è spiegabile con il fatto che il FIAE per la situazione n.1 è dominato dai valori molto alti di campo sul terrazzo dell'antenna stessa per cui gli incrementi di campo nell'area restante, prodotti dall'antenna n.2, hanno scarsa influenza; nel case study n.2, invece, la distribuzione di campo è diversa, essendo meno evidente una regione con campi dominanti e, pertanto, l'effetto cumulativo quando le due SRB sono entrambe attive è più evidente.

### Le applicazioni: effetto del campo di fondo

La configurazione che viene proposta e mostrata in Fig. 2.4.24 si riferisce anch'essa ad una situazione effettivamente presente nella città di Ancona. Lo studio è condotto in modo da evidenziare l'effetto del campo di fondo, stimato dell'ordine di 1 V/m, uniformemente distribuito e dovuto alla presenza di un'emittente per radiodiffusione in visibilità diretta rispetto alla zona considerata. La Fig. 2.4.24 mostra il piano verticale su cui è stato valutato il FIAE, scelto poiché edifici elevati si trovano quasi nella direzione di massima irradiazione di un'antenna. Anche in questo caso, per ovvi motivi di riservatezza, le caratteristiche degli impianti, e soprattutto, la potenza usata negli esempi seguenti non corrispondono a quelle reali.



**Fig. 2.4.24.** Area urbana della città di Ancona considerata per l'applicazione del modello in presenza di un campo di fondo  $E_b = 1$  V/m uniformemente distribuito. Le frecce indicano le direzioni dei lobi principali di irradiazione. Il piano verticale indica la sezione esaminata ai fini del calcolo del FIAE.



I risultati riguardanti la distribuzione spaziale del campo, la distribuzione percentuale dei campioni e i parametri statistici sono riportati nelle Figure 2.4.25 e 2.4.26 e nella Tabella 2.4.16 considerando assente il campo di fondo.

Le caratteristiche della SRB sono: potenza irradiata  $P = 100 \text{ W}$ , altezza dell'antenna  $h = 30 \text{ m}$ , tilt  $\theta = 3^\circ$ , frequenza  $f = 900 \text{ MHz}$ , guadagno d'antenna  $G = 14.5 \text{ dBi}$ , pareti metalliche degli edifici.

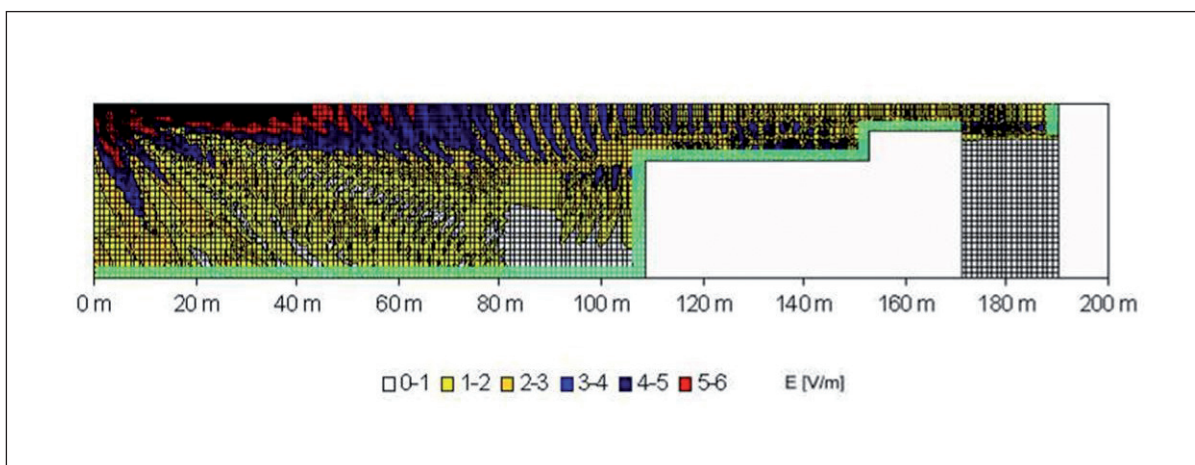


Fig. 2.4.25 Distribuzione spaziale di campo elettrico nel piano verticale relativa alla SRB di Fig. 2.4.24, in assenza di campo di fondo.

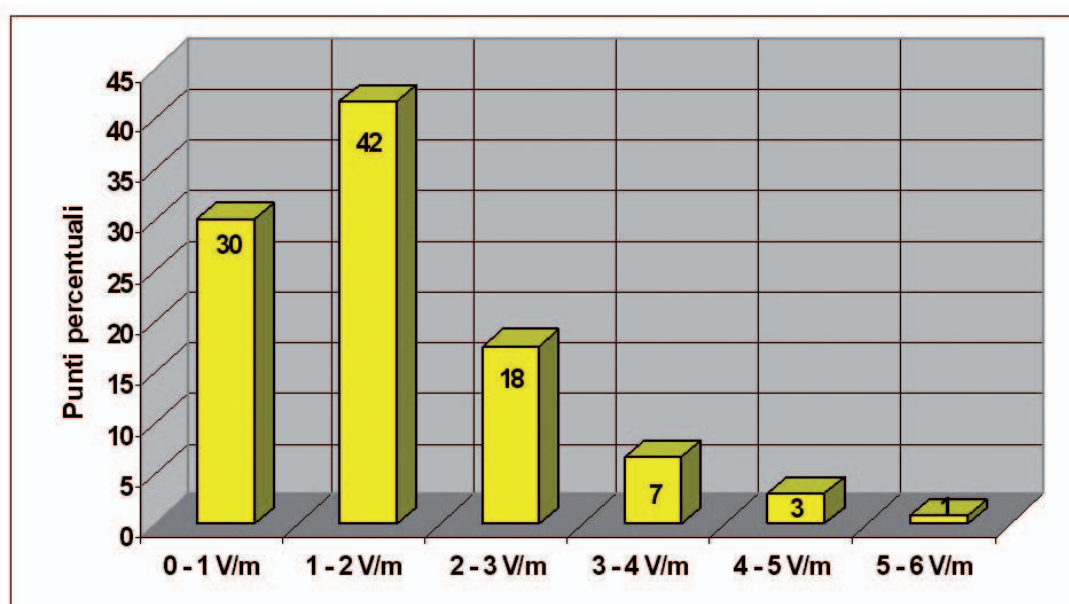


Fig. 2.4.26 - Distribuzione percentuale dei campioni di campo nell'area accessibile di Fig. 2.4.25, in assenza di campo di fondo.

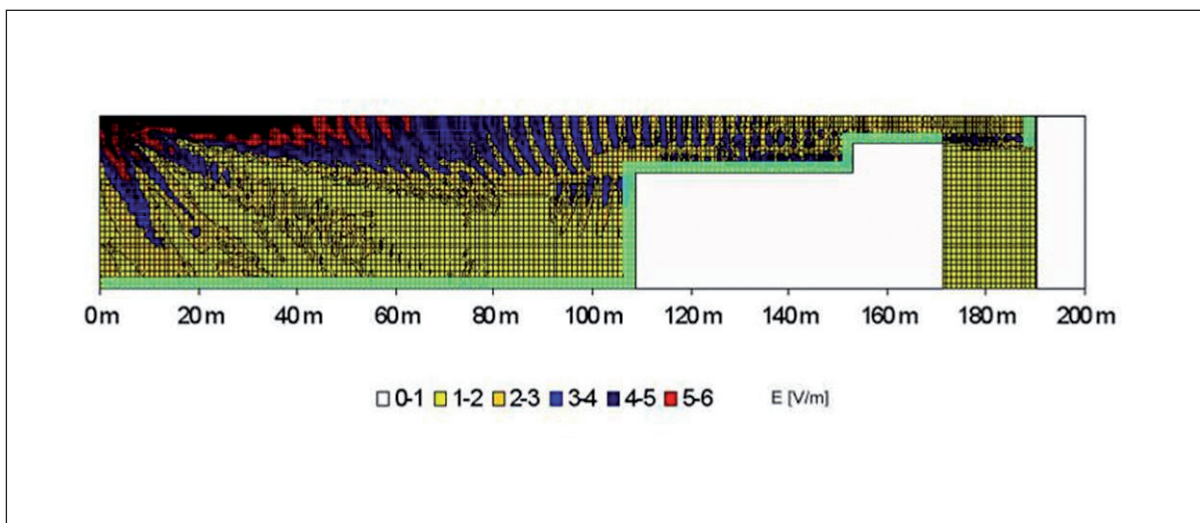
Tabella 2.4.16 - Parametri statistici relativi alla distribuzione dei campioni di campo di Fig. 2.4.26.

SCARTO PESATO	VALOR MEDIO	VARIANZA
116	1,59 V/m	1 (V/m) <sup>2</sup>

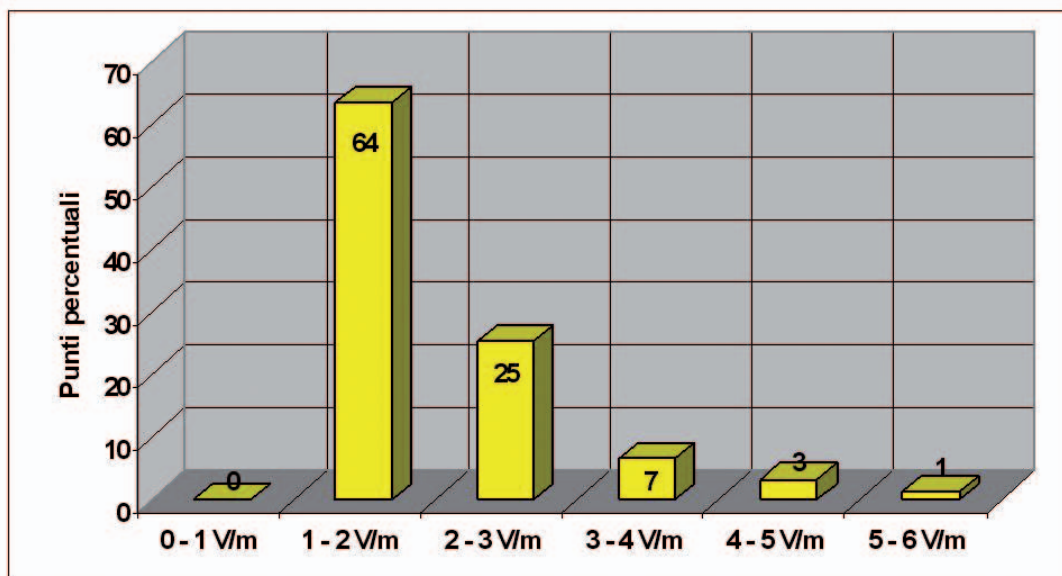
L'applicazione della procedura alla situazione senza campo di fondo fornisce i seguenti valori:

- dalle Figure 2.4.5 e 2.4.26 e dall'equazione (1),  $D_w = 116$ , e dalla Tabella 2.4.8,  $L_D = 2$ ;
- dalla Tabella 2.4.16,  $\langle E \rangle = 1.59$  e dalla Tabella 2.4.9,  $L_E = 1$ ;
- dalla Tabella 2.4.16,  $\sigma^2 = 1$  e dalla Tabella 2.4.10,  $L_\sigma = 2$ ;
- sostituendo questi valori nell'equazione (4),  $FIAE = 47$ .

I risultati riguardanti la distribuzione spaziale del campo, la distribuzione percentuale dei campioni e i parametri statistici, considerando presente un campo di fondo  $E_b = 1$  V/m uniformemente distribuito, sono riportati nelle Figure 2.4.27 e 2.4.28 e nella tabella 2.4.17. Le caratteristiche della SRB sono invariate.



**Figura 2.4.27.** Distribuzione spaziale di campo elettrico nel piano verticale relativo alla SRB di Fig. 2.4.24, in presenza di un campo di fondo  $E_b = 1$  V/m uniformemente distribuito.



**Fig. 2.4.28.** Distribuzione percentuale dei campioni di campo nell'area accessibile di Fig. 2.4.25, in presenza di un campo di fondo  $E_b = 1$  V/m uniformemente distribuito.

**Tabella 2.4.17.** Parametri statistici relativi alla distribuzione dei campioni di campo di Fig. 2.4.28.

SCARTO PESATO	VALOR MEDIO	VARIANZA
152	1,96 V/m	0,76 (V/m) <sup>2</sup>

Com'era da attendersi, la presenza del campo di fondo ha incrementato il valor medio del campo, ma ha anche cambiato la distribuzione percentuale dei campioni con uno spostamento verso valori più elevati. Di conseguenza anche la varianza è diminuita risultando i campioni più concentrati. L'applicazione della procedura alla situazione con campo di fondo fornisce i seguenti valori:

- dalle Figure 2.4.5 e 2.4.28 e dall'equazione (1),  $D_w = 152$  e dalla Tabella 2.4.8,  $L_D = 2$ ;
- dalla Tabella 2.4.16,  $\langle E \rangle = 1.96$  e dalla Tabella 2.4.9,  $L_E = 3$ ;
- dalla Tabella 2.4.16,  $\sigma^2 = 0.76$  e dalla Tabella 2.4.10,  $L_\sigma = 1$ ;
- sostituendo questi valori nell'equazione (4),  $FIAE = 54$ .

Anche in questo caso si è notato quindi un apprezzabile aumento del fattore di impatto ambientale.

### 2.4.3 Impianti TV

#### 2.4.3.1 Tecniche e metodologie per il best-siting di impianti TV e loro adozione

Scopo principale di questo paragrafo è quello di individuare tecniche e metodologie per il best-siting di impianti televisivi sulla falsa riga di quanto fatto per la telefonia mobile. In particolare, oltre agli impianti televisivi tradizionali, basati su modulazioni analogiche, verranno prese in considerazione le due tecnologie emergenti basate sul Digital Video Broadcasting, la DVB-T e la DVB-H che, per quanto visto in precedenza, offrono garanzie di qualità del servizio tali da far prevedere una diffusione consistente delle stesse.

Diviene in particolare fondamentale verificare similitudini e differenze con gli impianti di telefonia mobile dal punto di vista delle frequenze di lavoro, delle potenze in gioco e del tipo di impianto, in modo da individuare eventuali procedure comuni con quelle adottabili per la telefonia o che possano essere derivate dall'estensione di queste ultime.

#### *Considerazioni sul best-siting di impianti DVB-T e di TV analogica*

Il Digital Video Broadcasting Terrestre (DVB-T), già introdotto nel paragrafo 2.3, permette la trasmissione in digitale di segnali televisivi in banda UHF e VHF. Sfruttando una modulazione multi portante COFDM; infatti, il DVB-T è particolarmente adatto per contrastare gli effetti del multipath del segnale in ambiente terrestre, consentendo di fatto una notevole flessibilità operativa grazie ad una varietà di configurazioni di trasmissione mirate ad ottimizzare le prestazioni a seconda dei requisiti di servizio e delle caratteristiche del canale di trasmissione terrestre.

Dal punto di vista del best-siting, il DVB-T deve necessariamente essere trattato congiuntamente con gli impianti di diffusione del segnale televisivo analogico, sia per questioni di similitudine delle frequenze in gioco, sia perché fisicamente i siti saranno coincidenti, almeno fino a quando entrambi i sistemi saranno congiuntamente attivi, sia soprattutto perché si tende a non cambiare l'impianto di ricezione domestico – di tipo roof top – le cui antenne devono, nei limiti del possibile, rimanere invariate; sia come tipologia che come puntamento.

---

Chiarito ciò, diviene essenziale comparare le due tecnologie tra di loro (televisione analogica tradizionale e DVB-T) dal punto di vista dei parametri utili al fine del best-siting e, in secondo luogo, verificare la possibilità di utilizzare le stesse linee guida utilizzabili per gli impianti di telefonia mobile. Dal punto di vista delle potenze in gioco, la prima cosa da osservare è che il DVB-T richiede potenze in trasmissione inferiori a quelle della TV analogica. Stime di massima confermano che, ad esempio, il livello di campo elettrico minimo che permette una buona ricezione di un segnale analogico è di 62 [dBmV/m], contro i 53 [dBmV/m] necessari nel caso di segnale DVB-T. A questo si aggiunge il fatto non trascurabile che, grazie alla codifica MPEG2 del segnale DVB, nello stesso flusso dati – e quindi con la stessa potenza – è possibile trasmettere almeno quattro programmi televisivi digitali anziché uno solo analogico. Le tecniche di best-siting utilizzabili per la trasmissione analogica possono essere quindi estese anche alla tecnologia digitale.

Per quello che riguarda il confronto con gli impianti di telefonia mobile, le differenze sono evidenti sia dal punto di vista delle potenze (decine di watt in un caso, alcune centinaia di watt nell'altro), sia da quello della tipologia dell'impianto; la struttura cellulare della telefonia mobile – indispensabile per garantire copertura indoor ed outdoor nelle aree urbane – non si sposa bene con le necessità di ricezione roof top degli impianti televisivi.

Tuttavia, molte delle procedure per il best-siting possono essere perfezionate considerando congiuntamente le due tipologie di impianto, con l'accortezza però di adottare di volta in volta simulatori numerici, tecniche di misura e algoritmi di stima del campo, adeguati in funzione del tipo di sito. Solo per fare un esempio, un modello di radiopropagazione adatto per i sistemi di diffusione del segnale televisivo con ricezione roof top, quale potrebbe essere il cost231 wal-fisch-ikegami, non è adeguato per descrivere gli impianti di telefonia cellulare GSM 900 MHz in ambiente urbano, per i quali ad esempio un ray tracing tridimensionale o un più semplice Okumura-Hata permettono di ottenere risultati più attendibili.

### **Considerazioni sul best-siting di impianti DVB-H**

Come già descritto nel paragrafo 2.3, il DVB-H, acronimo di Digital Video Broadcasting Handheld, è uno standard europeo per la diffusione dei segnali televisivi (ma anche dei segnali radio e dei contenuti multimediali) su terminali mobili, che rappresenta un'evoluzione del Digital Video Broadcasting Terrestre. Rispetto ad esso, infatti, il DVB-H è ottimizzato per ridurre il consumo di energia dei dispositivi portatili e per migliorare la ricezione in movimento anche ad alte velocità.

Più nel dettaglio, dovendo il DVB-H garantire il servizio televisivo su terminali mobili ed in particolare su telefoni cellulari, l'impianto di radiodiffusione si avvale, oltre che dei siti di trasmissione televisiva tradizionale, anche di siti urbani per la diffusione capillare sul territorio. A tale scopo, il co-siting con le stazioni radio base di telefonia mobile è la scelta più appropriata (anche se non l'unica), sia perché i gestori di telefonia mobile sono anche gli stessi a mettere a disposizione dei propri utenti il servizio DVB-H, sia perché i siti sono ampiamente compatibili tra di loro. A tal riguardo, è infatti opportuno osservare che le potenze in gioco sono comparabili con quelle delle stazioni radio base di telefonia mobile (alcune decine di watt anche per il DVB-H) e che le frequenze in gioco sono quelle proprie dei segnali televisivi in banda UHF (470-862 MHz) e VHF (170-230 MHz), con l'aggiunta di una porzione di spettro dedicato in banda L (1452-1492 MHz). Essendo il DVB-H un servizio di broadcasting, infine, a differenza di quanto accade per la telefonia cellulare, la ricezione del segnale non dipende dal numero di utenti; i due impianti sono, quindi, completamente disgiunti con il vantaggio che i siti di diffusione del DVB-H possono essere un sottoinsieme di quelli per la telefonia mobile. Queste osservazioni permettono di dedurre che le tecniche di best-siting non solo possono es-

---

sere in comune con quelle della telefonia mobile, ma addirittura debbano essere applicate congiuntamente. L'integrazione telefonia-televisione può infatti avvenire per mezzo dell'installazione di antenne dedicate in corrispondenza di alcuni dei siti già esistenti.

Va ricordato, tuttavia, che i modelli numerici per la pianificazione ottima e le tecniche di misura utilizzate ad esempio per la validazione degli stessi dovranno essere estese al nuovo tipo di segnale, in termini di frequenze in gioco nel primo caso e di tipologia di segnale nel secondo.

#### **2.4.3.2 Adottabilità di indicatori ambientali**

Nel paragrafo 2.4.2 è stato discusso la possibilità di introdurre l'indicatore di impatto ambientale nel processo di "best siting" per impianti dedicati alla telefonia mobile. Affrontando l'analogo problema per gli impianti radio e TV, risaltano subito all'attenzione alcune differenze che caratterizzano questa seconda tipologia di sorgenti e che possono condizionare in parte anche gli indicatori adottati. Specificatamente:

- intervallo di frequenza
- attività indipendente dal numero di utenti
- numero assoluto di siti ed impianti
- tasso di crescita del numero di siti ed impianti
- potenze impegnate
- collocazione sul territorio

#### **Intervallo di frequenza**

L'intervallo di frequenza, occupato dagli impianti radiotelevisivi (RTV), si estende da 88 MHz fino a 860 MHz circa, incorporando in esso la banda FM per le trasmissioni radio e le bande VHF e UHF per le trasmissioni televisive. Le frequenze interessate dalla telefonia mobile, nelle tre modalità di trasmissione GSM 900 MHz, DCS 1800 MHz e UMTS, si collocano invece fra 890 MHz e 2200 MHz circa. Da un punto di vista radioprotezionistico, si deve subito evidenziare il maggior impatto sulla persona da parte dei campi elettromagnetici alle frequenze radiotelevisive, a causa dell'incremento di efficienza nel trasferimento di potenza all'interno del corpo umano (a parità di esposizione), mano a mano che si scende in frequenza fino poco sotto i 100 MHz. Facendo riferimento alla normativa ICNIRP si nota, infatti, che il valore più restrittivo (28 V/m) per l'esposizione della popolazione si colloca nella banda 10 MHz – 400 MHz, ovvero dove sono inserite le trasmissioni radio FM e televisive VHF. Oltre i 400 MHz il valore della soglia aumenta fino a 2 GHz (frequenza vicina ai sistemi di telefonia DCS e UMTS) per poi stabilizzarsi sul valore di 61 V/m.

#### **Attività indipendente dal numero di utenti**

Il segnale televisivo, sia esso nello standard analogico che in quello digitale DVB-T, è un segnale di solo "down link" e la potenza al connettore d'antenna rimane costante indipendentemente dal numero di utenti serviti (una volta stabilite le caratteristiche radioelettriche necessarie per la copertura di una certa area di territorio).

#### **Numero assoluto di siti ed impianti**

Il numero di siti e di impianti RTV sul territorio nazionale è inferiore al numero di siti ed impianti SRB. Dai dati messi a disposizione dall'ISPRA attraverso l'Osservatorio CEM, pur incompleti in quan-

---

to diverse regioni non hanno fornito informazioni al riguardo, si può evidenziare (considerando le sole regioni per le quali i dati sono disponibili) che nel 2007 a fronte di circa 50.000 impianti SRB distribuiti su circa 30.000 siti, ci sono circa 18.000 impianti RTV distribuiti su circa 5000 siti.

### **Tasso di crescita del numero di siti ed impianti**

Altro dato interessante è la differenza nel tasso di crescita. Infatti, confrontando i dati del 2000 con quelli del 2007, nelle sole regioni per le quali le informazioni erano già disponibili, si nota un incremento dei siti SRB di circa il 67 % a fronte di un incremento dei siti RTV di appena il 7 %. La situazione appare quindi decisamente più statica nel settore delle trasmissioni radiotelevisive. Ovviamente, ciò è dovuto al fatto che la maggior parte degli impianti e siti RTV sono stati costruiti nei decenni passati e che non c'è stata nessuna evoluzione per quanto attiene le bande di frequenza assegnate.

### **Potenze impiegate**

Anche per quanto attiene le potenze impiegate, se consideriamo i singoli impianti, si riscontrano differenze notevoli. Infatti, se le potenze che interessano gli impianti per telefonia mobile sono dell'ordine di poche decine di Watt (variabili in funzione del traffico), quelle associate agli impianti RTV possono arrivare anche a valori dell'ordine dei kW. Una parziale riduzione della potenza sarà probabilmente possibile solo quando il passaggio dalla TV analogica a quella digitale sarà completato, grazie al fatto che la trasmissione digitale può funzionare in ricezione con un livello di segnale più basso (poco più di 50 dBmV/m), rispetto al tradizionale segnale analogico (poco più di 60 dBmV/m).

### **Collocazione sul territorio**

Altro aspetto che caratterizza gli impianti RTV rispetto alle SRB è la loro collocazione sul territorio. Le SRB, in virtù della loro funzione, devono colloquiare con l'utenza in modalità "down link"/"up link", incontrando una duplice necessità:

- i. le aree di copertura (celle) non devono essere troppo estese;
- ii. il numero di impianti deve aumentare laddove aumenta il numero di utenti (es. aree urbane), con conseguente aumento della loro densità.

Per gli impianti radiotelevisivi questi due condizionamenti vengono meno, trattandosi di trasmissioni in solo "down link". In questo modo gli impianti possono essere allontanati dalle aree ad alta urbanizzazione e la loro densità sul territorio, così come i parametri radioelettrici, dipenderanno prevalentemente dall'orografia del terreno (presenza di colline, valli, montagne, ecc.). Ovviamente, non si deve dimenticare che le potenze degli impianti RTV sono decisamente superiori e dunque localmente (in prossimità dell'impianto o sito) possono manifestarsi più facilmente problemi di criticità legati al superamento delle soglie di esposizione.

Fanno parzialmente eccezione a questo schema di differenziazione i segnali DVB-H descritti nel paragrafo 2.4.3.1. Per essi è prevista, infatti, l'allocazione sia su frequenze tradizionalmente assegnate al broadcasting RTV, sia su una porzione di spettro in banda L. Le basse potenze di trasmissione in gioco, una rete nazionale ancora in espansione ed il fatto che probabilmente saranno gli stessi operatori di telefonia mobile a gestire il servizio attraverso i loro siti, rendono però le loro problematiche di "best siting" molto più simili a quelle per le Stazioni Radio Base che non a quelle per gli impianti RTV.

---

È ragionevole pensare che per gli impianti radiotelevisivi analogici, essendo mediamente di molto antecedenti all'avvento della telefonia mobile, nella fase della loro progettazione, la parte di istruttoria riguardante la minimizzazione dell'esposizione non abbia rappresentato un problema prioritario, a differenza di quanto avvenuto invece negli ultimi anni per le SRB.

Anche se gli impianti RTV sono in buona parte già dislocati sul territorio nazionale da diversi decenni, c'è comunque da aspettarsi per il futuro una certa attività di ricollocazione od aggiustamento dei parametri radioelettrici degli stessi, sia in vista del passaggio dal segnale analogico a quello digitale, sia per necessità di risanamento di siti ritenuti non conformi alle ultime disposizioni legislative, in termini di esposizione della popolazione. Il processo di "best siting" dovrà essere introdotto, quindi, non tanto in vista della pianificazione di nuove installazioni (che ci si aspetterà essere in numero limitato), ma soprattutto per minimizzare l'esposizione in aree con impianti e siti già esistenti e per i quali sono necessari o richiesti degli adeguamenti (compresa una eventuale ricollocazione totale o parziale dell'impianto), per i motivi sopra espressi. Il processo di "best siting" per gli impianti RTV deve avvalersi dell'impiego di strumenti GIS ed indicatori di impatto come già proposto nel paragrafo 2.4.2. riguardante le stazioni radio base. Gli indicatori, pur essendo costruiti in buona parte alla stessa stregua di quelli per le SRB, andranno però valutati ed interpretati in modo diverso. Riprendendo brevemente quanto proposto nel rapporto RTI CTN\_AGF 4/200, per le RTV si possono così definire alcuni semplici indicatori:

- tipo e potenza dei trasmettitori radiotelevisivi;
- residenzialità in varie fasce di distanza dai trasmettitori radiotelevisivi;
- frazione cumulativa di popolazione potenzialmente esposta a valori di densità di potenza (dovuta a trasmissioni VHF e UHF) all'interno delle soglie definite dal DPCM dell'8 luglio 2003;
- livelli medi di campo a diverse frequenze e distanze dai trasmettitori radio;
- tempo di esposizione al di sopra dei limiti consentiti.

Come si può notare, ad esclusione del primo, sono tutti indicatori che trovano una stretta somiglianza con quelli indicati per le SRB, così come la loro implementazione e rappresentazione attraverso strumenti GIS non può che ricalcare quanto già detto in precedenza. Anche per gli impianti RTV, gli indicatori più rappresentativi rimangono quelli che mettono in relazione i valori di esposizione, stimati sulla base dei parametri radioelettrici delle antenne, con le informazioni inerenti alla residenzialità dell'area interessata, con particolare riferimento alla distribuzione della popolazione.

Se da un lato gli impianti radiotelevisivi, con particolare riferimento alle trasmissioni analogiche e digitale DVB-T, possono essere collocati lontano da centri abitati o quantomeno in aree a basso grado di urbanizzazione, d'altra parte si deve però anche rammentare che le potenze in gioco sono più alte rispetto alla telefonia mobile, richiedendo quindi una maggior attenzione dal punto di vista radioprotezionistico, in termini di contenimento dell'esposizione entro i limiti definiti dalla legislazione vigente.

In questo caso, il processo di "best siting" dovrà intervenire in maniera puntuale, minimizzando l'esposizione solo in luoghi ben definiti e probabilmente limitati nel numero. L'introduzione di mappe di indicatori, quali la distanza dall'impianto e/o fasce di valori di densità di potenza (stimati anche in maniera molto approssimata per una prima rapida analisi), associate alla mappa catastale riportante la presenza di edifici (o località) con un corrispondente indice di residenzialità abbinato (destinazione d'uso dell'edificio, ricettore sensibile, tempi medi di permanenza, numero di residenti ecc.), può rivelarsi molto utile. Infatti, con una modalità di tipo on/off

---

(ad esempio stabilendo un criterio decisionale sulla base di valori ben definiti di distanza e di campo “grezzo” stimato), si possono selezionare gli edifici o luoghi, dove effettuare successivamente un’analisi più approfondita dei valori di esposizione attraverso misure e/o con l’impiego di simulatori più precisi, anche se più onerosi sotto il profilo dei tempi e delle risorse di calcolo.

### ***2.4.3.3 Proposta di un indicatore di impatto ambientale di un campo elettromagnetico***

#### ***Sommario***

In questo paragrafo è descritto lo sviluppo di un Fattore di Impatto Ambientale Elettromagnetico (FIAE), inteso come un parametro globale che rappresenta il livello dell’impatto elettromagnetico su un’area specificata, prodotto dalla presenza di sistemi radianti, come per esempio antenne di impianti per radio e tele-diffusione.

La proposta si basa su quanto già illustrato nel paragrafo 2.4.2 ed anche in questo caso il numero che esprime il FIAE dipende unicamente dall’intensità del campo elettrico.

Di seguito saranno descritte le differenze rispetto alla procedura precedentemente descritta per le stazioni radio base (SRB) per telefonia mobile e saranno riportati alcuni esempi di applicazione per situazioni realistiche di una tipica antenna per radio-diffusione.

#### **Premessa**

Il modello per la valutazione del FIAE per impianti radio e TV è come quello relativo alle SRB descritto in 2.4.2 e, pertanto, si rimanda a questo paragrafo per i dettagli procedurali e implementativi.

Per quanto riguarda gli impianti di broadcasting è necessario considerare che le potenze irradiate possono variare di ordini di grandezza, da alcune decine/centinaia di Watt per sistemi a trasmissione digitale, allocati per lo più in ambito urbano, fino alle decine di kWatt degli impianti utilizzati per coperture di regioni molto vaste, allocati per lo più in aree extraurbane.

I primi, quindi, hanno caratteristiche di potenze irradiate e localizzazione molto simili alle SRB e, quindi, il FIAE ad esse relativo si può valutare esattamente secondo quanto riportato in 2.4.2.

Per i secondi, pur restando uguale l’impostazione generale del problema, occorre fare alcune precisazioni ed adattamenti, come specificato nel paragrafo seguente.

Oggetto dell’analisi di questo capitolo saranno solamente gli impianti per diffusione radio televisiva ad elevata potenza.

#### **Formulazione del problema**

Il problema che si pone nel calcolo del FIAE per sistemi di radio e tele-diffusione è legato alla stima dell’area interessata. Nel caso di SRB è stata considerata un’area di raggio 200 m circa attorno all’antenna e le motivazioni di questa scelta sono state illustrate in 2.4.2.

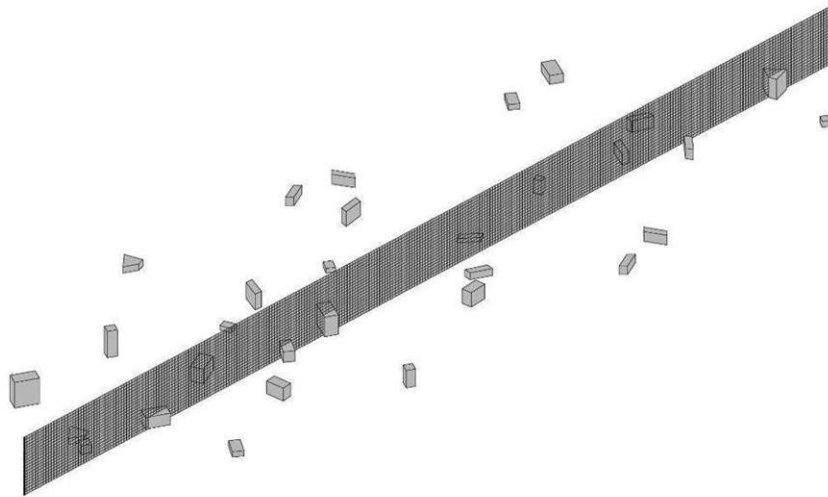
Per la determinazione dell’estensione dell’area di interesse per emittenti televisive, si è pensato di porre un limite in base all’intensità del campo, sempre in analogia con la situazione precedentemente studiata. Infatti, per una SRB che irradia un potenza  $P = 100 \text{ W}$ , con un guada-



---

gno d'antenna  $G = 15$  dB, alla distanza  $d = 200$  m, si ha un campo  $E \approx 1.5$  V/m nella direzione di massima radiazione.

Estendendo questo concetto anche al caso di antenne per sistemi TV, ipotizzando una potenza irradiata  $P = 10$  kW, con guadagno d'antenna  $G \approx 10 \div 12$  dB, si genererebbe un campo elettrico  $E \approx 1.5$  V/m nella direzione di massima radiazione ad una distanza  $D \approx 1500$  m; pertanto, sarà questo valore a delimitare l'area attorno all'antenna che sarà considerata per la valutazione del FIAE.



*Fig. 2.4.29. Rappresentazione schematica di una antenna televisiva situata in una zona extraurbana: l'antenna è montata su un traliccio ed in figura è anche mostrato un piano verticale usato per la valutazione del FIAE.*

La Fig. 2.4.29. mostra un esempio di un'antenna televisiva decentrata rispetto ad un'area urbana, montata su un traliccio di circa 100 m di altezza; in figura è anche rappresentato un piano verticale per il calcolo del FIAE; come si può vedere l'area di interesse, che arriva a circa 1500 m dall'antenna, è molto più estesa che nel caso delle SRB. Da un punto di vista computazionale, la griglia di calcolo utilizzata per la valutazione del campo elettromagnetico irradiato ha un passo di 5 m, comunque sufficiente per avere un numero elevato e significativo di campioni.

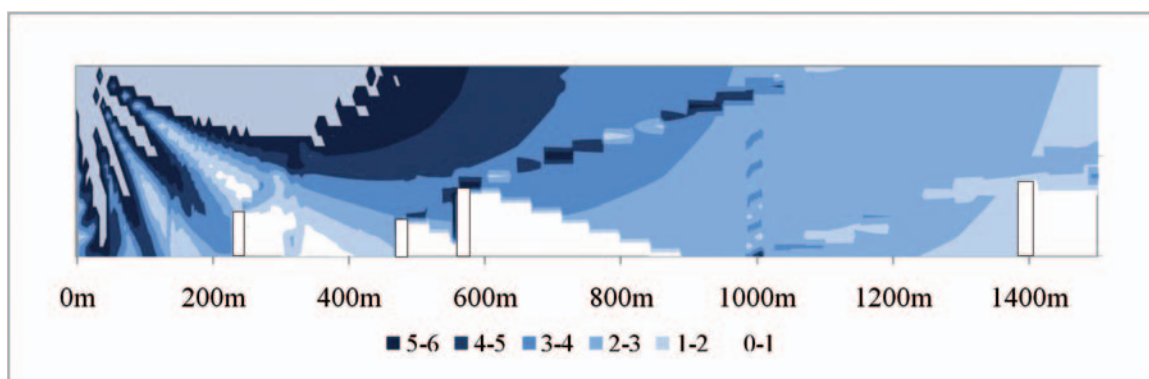
## **Le applicazioni**

Come esempi di applicazione sono stati scelti tre casi, che si differenziano per le diverse potenze irradiate e per il tilt del lobo principale di radiazione. Dal calcolo del FIAE è stata esclusa una zona di rispetto di circa 50 m dal piede dell'antenna che, generalmente, è interdetta al pubblico per motivi di sicurezza; in quest'area si può registrare anche un superamento del limite di campo dei 6 V/m, dato dalla concomitante presenza di elevate potenze, lobi laterali significativi, vicinanza degli elementi radianti e suolo riflettente.

### **Case study n.1**

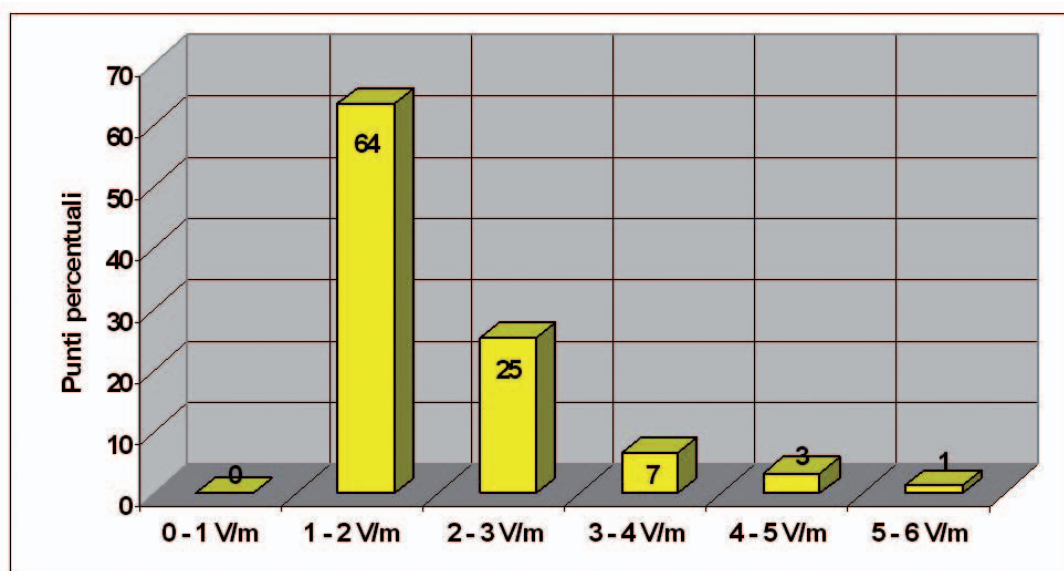
La prima situazione analizzata è relativa ad una antenna per radiodiffusione con le seguenti caratteristiche: potenza irradiata  $P = 10$  kW, altezza dell'antenna  $h = 100$ m, tilt  $\theta = 0^\circ$ , frequenza  $f =$

100 MHz, guadagno d'antenna  $G = 14.5$  dBi, pareti metalliche degli edifici. I campioni di campo che entrano nel calcolo del FIAE sono relativi alla zona accessibile, definita esattamente come in 2.4, ma non riportata nelle figure a causa della diversità dei rapporti di scala tra lunghezza e altezza delle figure. Nella zona accessibile, tutti i valori di campo sono entro i limiti e la distribuzione spaziale dei campi sul piano verticale, mostrato in Fig. 2.4.29, è riportata in Fig. 2.4.30.



**Fig. 2.4.30** Distribuzione spaziale di campo elettrico [V/m] nel piano verticale relativo alla antenna in Fig.1,  $P = 10$  kW.

Si ricorda che il calcolo del campo trascura il campo diffratto e ciò spiega il netto cono d'ombra dietro gli edifici. La distribuzione percentuale dei campioni di campo nell'area accessibile è data in Fig. 2.4.31 e i più significativi parametri statistici sono riportati nella Tabella 2.4.18.



**Fig. 2.4.31.** Distribuzione percentuale dei campioni di campo nell'area accessibile di Fig.2,  $P = 10$  kW.

**Tabella 2.4.18.** Parametri statistici relativi alla distribuzione dei campioni di campo di Fig. 2.4.31.

SCARTO PESATO	VALOR MEDIO	VARIANZA
187	2,4 V/m	1,1 (V/m) <sup>2</sup>

L'applicazione della procedura al case study n.1 fornisce i seguenti valori:

- dalle Figure 2.4.5 e 2.4.6 e applicando l'equazione (1) del cap. 2.4,  $D_w = 187$ , e dalla Tabella 2.4.8,  $L_D = 3$ ;
- dalla Tabella 2.4.18,  $\langle E \rangle = 2.4$  e dalla Tabella 2.4.9,  $L_E = 2$ ;
- dalla Tabella 2.4.18,  $\sigma^2 = 1.1$  e dalla Tabella 2.4.10,  $L_\sigma = 3$ ;
- sostituendo questi valori nell'equazione (4),  $FIAE = 71$ .

### Case study n.2

La seconda situazione analizzata è in tutto simile alla precedente ma la potenza irradiata è  $P = 15$  kW.

Nella zona accessibile tutti i valori di campo sono entro i limiti e la distribuzione spaziale dei campi sul piano verticale, mostrato in Fig. 2.4.29, è riportata in Fig. 2.4.32.

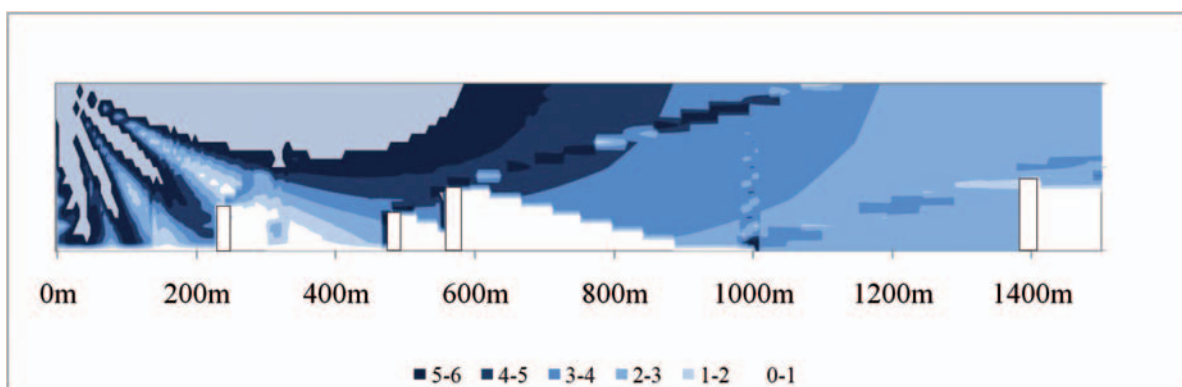


Fig. 2.4.32. Distribuzione spaziale di campo elettrico [V/m] nel piano verticale relativo alla antenna in Fig.2.4.29,  $P = 15$  kW.

La distribuzione percentuale dei campioni di campo nell'area accessibile è data in Fig. 2.4.33. e i più significativi parametri statistici sono riportati nella Tabella 2.4.19.

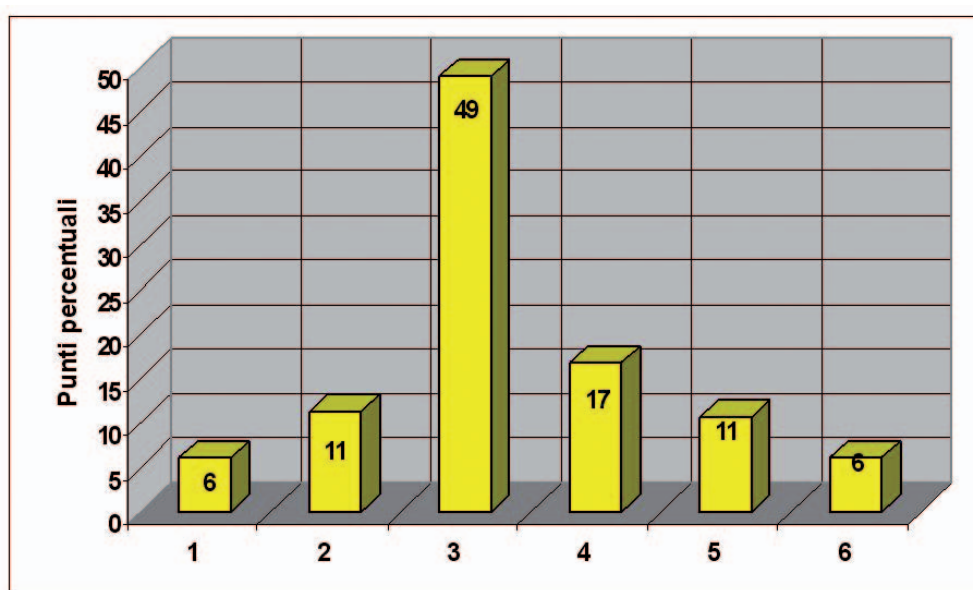


Fig. 2.4.33. Distribuzione percentuale dei campioni di campo nell'area accessibile di Fig.2.4.32.

**Tabella 2.4.19.** Parametri statistici relativi alla distribuzione dei campioni di campo di Fig. 2.4.33.

SCARTO PESATO	VALOR MEDIO	VARIANZA
234	2,88 V/m	1,43 (V/m) <sup>2</sup>

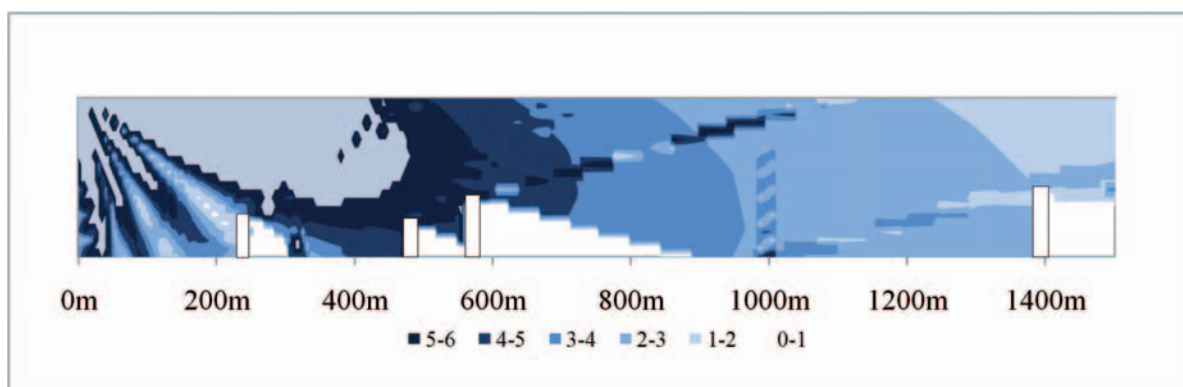
L'applicazione della procedura al case study n.1 fornisce i seguenti valori:

- dalle Figure 2.4.5 e 2.4.6 e applicando l'equazione (1),  $D_w = 234$ , e dalla Tabella 2.4.8,  $L_D = 4$ ;
  - dalla Tabella 2.4.19,  $\langle E \rangle = 2.88$  e dalla Tabella 2.4.9.,  $L_{\bar{E}} = 0$ ;
  - dalla Tabella 2.4.19,  $\sigma^2 = 1.43$  e dalla Tabella 2.4.10.,  $L_{\sigma} = 2$ ;
- sostituendo questi valori nell'equazione (4),  $FIAE = 83$ .

Quindi, rispetto al case study n.1, l'incremento di potenza ha portato ad un aumento di 12 punti del FIAE, già considerevolmente elevato.

### Case study n.3

La terza situazione analizzata è in tutto simile a quella del case study n.1, ma il tilt del fascio è  $\theta = 3^\circ$ . La distribuzione spaziale dei campi sul piano verticale, mostrato in Fig. 2.4.29, è riportata in Fig. 2.4.34.



**Fig. 2.4.34.** Distribuzione spaziale di campo elettrico [V/m] nel piano verticale relativo alla antenna in Fig.2.4.29, tilt del fascio è  $\theta = 3^\circ$ .

La distribuzione percentuale dei campioni di campo nell'area accessibile è data in Fig. 2.4.35.

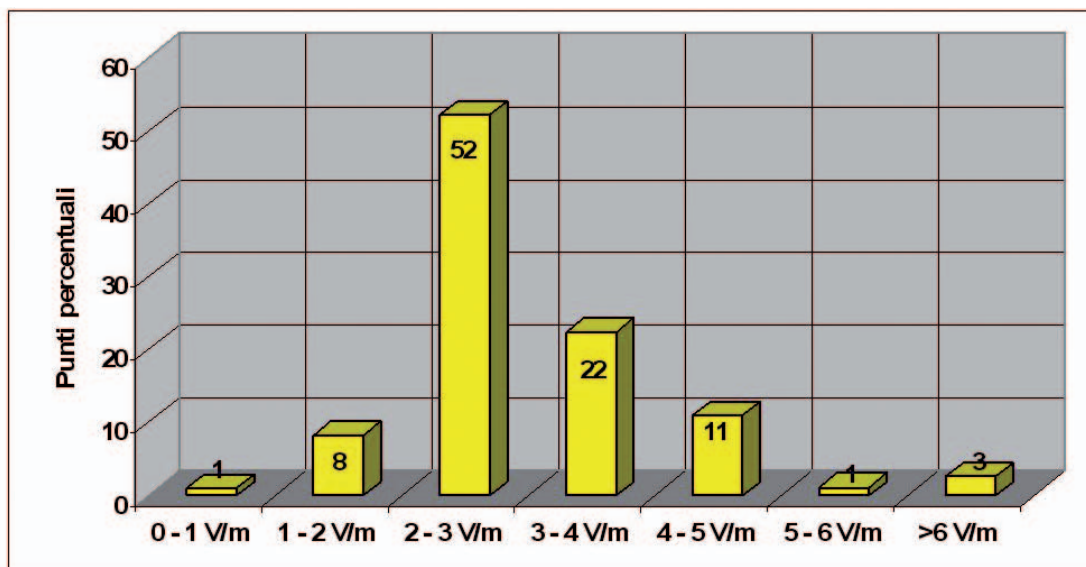


Fig. 2.4.35. Distribuzione percentuale dei campioni di campo nell'area accessibile di Fig. 2.4.34.

Il fatto che il tilt, di solito piccolo o assente in questo tipo di applicazioni, porti alcune zone dell'area accessibile a valori di campo superiori a quelli stabiliti dalla normativa blocca la procedura che quindi scarta questa configurazione.

## 2.4.4 Linee guida

### Premessa

L'esperienza maturata sia a livello nazionale che internazionale ci porta a considerare che una procedura che abbia come obiettivo l'allocazione di una SRB o impianto TV in un sito la cui posizione sia quanto più condivisa da tutti i portatori di interesse deve essere necessariamente: **Semplice**: i passi da intraprendere devono essere pochi, ben specificati in ogni dettaglio e di rapida esecuzione

**Chiara**: per ogni azione devono essere individuati in modo univoco gli attori e le responsabilità, devono essere indicate anche le conseguenze sulla procedura legate al mancato rispetto di uno o più punti, evitando quindi regole generiche o dichiarazioni d'intenti che possono trovare difficoltà di applicazione o lasciare adito a molteplici e/o contrastanti interpretazioni.

**Trasparente**: la procedura deve essere facilmente consultabile su "internet" e la documentazione relativa ad ogni nuova richiesta di installazione deve poter essere accessibile

**Scientificamente fondata**: il conseguimento della minimizzazione del campo e della contemporanea garanzia della qualità del servizio, deve tener conto, per quanto riguarda gli impianti, della continua evoluzione della tecnologia e, per quanto riguarda l'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici, delle conoscenze universalmente riconosciute valide dalla comunità scientifica internazionale e che hanno ispirato gli enti normatori, senza minare le fondamenta scientifiche di tali conoscenze o adottarne arbitrariamente altre al di fuori di queste.

Il modus operandi di gestori ed enti pubblici deve naturalmente tener conto di quanto già esiste a livello nazionale ed internazionale, e pertanto le linee guida che vengono qui proposte non intendono sostituirsi o porsi come alternativa a quanto già concordato a vari livelli, locali o na-

---

zionali, ma dettagliano e, ove possibile, integrano le procedure con la valutazione di parametri oggettivi e verificabili.

Il raggiungimento di tale obiettivo è stato reso possibile articolando le linee guida come una sequenza di passi concreti che i vari attori che intervengono nel processo di attivazione di un sito devono compiere, allo scopo di dimostrare, e poter far verificare a chiunque, che sono state messe in atto tutte le possibili azioni per minimizzare l'emissione elettromagnetica, secondo quanto prescritto dal DPCM 8-7-2003.

Si ritiene altresì che parametri non scientifici, come l'ostilità più o meno accentuata della popolazione o dei media, se non basata su riscontri oggettivi (come per esempio misurazioni da cui siano riscontrabili elevati valori di campo, o segnalazioni di emittenti non censite), non debba essere presa in considerazione dalle linee guida. Non si può però ignorare che siano entrati nella prassi comune alcuni aspetti di "politica per i cittadini", anche se non scientificamente fondati, come ad esempio evitare installazioni di SRB nei cosiddetti siti sensibili (scuole, ospedali, ecc.). Essendo queste restrizioni ormai ampiamente accettate e condivise, si propone di continuarne l'utilizzazione.

Gli enti pubblici, amministrazioni comunali e ARPA, saranno garanti, da un punto di vista amministrativo e tecnico rispettivamente, della correttezza e della trasparenza delle procedure, impegnandosi nel contempo nell'espletamento delle pratiche nei tempi stabiliti come peraltro prescritto dalla normativa vigente.

#### ***2.4.4.1 Linee guida per il best siting di SRB***

##### **Impegni dei gestori**

I gestori si impegnano a formalizzare le loro richieste ai comuni con meno di 100000 abitanti nel mese di gennaio di ogni anno e ai comuni con più di 100000 abitanti nei mesi di gennaio e di luglio di ogni anno: lo scopo di concentrare le richieste è quello di consentire alle autorità comunali di individuare i piani di sviluppo dei gestori, al fine di attuare una gestione omogenea e coordinata di tutte le richieste.

I gestori si impegnano inoltre a fornire le seguenti informazioni, la cui mancanza totale o parziale può essere causa di ritorsione della richiesta.

Come è stato riportato in precedenza, alcune delle informazioni che si richiedono ai gestori in queste linee guida fanno già parte dei dati che i gestori stessi devono fornire ai comuni all'atto della richiesta, ma vengono qui ribadite e dettagliate, perché spesso i gestori demandano a ditte esterne la presentazione delle domande e tali informazioni sono incomplete, poco chiare e mancano della necessaria omogeneità.

Questa relazione, che contiene le informazioni di carattere sistemistico ed elettromagnetico, e che permette di valutare l'impatto ambientale dell'installazione, dovrebbe costituire una parte ben evidenziata e facilmente disponibile di tutta la pratica.

##### **Motivazione della richiesta**

Questa parte del documento deve illustrare per ogni impianto se trattasi di nuova installazione, di una riconfigurazione dell'esistente, di una delocalizzazione ecc. e fornire in modo sintetico e chiaro le ragioni e le esigenze dell'intervento (fornitura di un nuovo servizio, aumento del traffico, adeguamento tecnologico, ecc.). Deve indicare la tempistica dei lavori, la data presunta di attivazione dell'impianto ed una persona fisica, con relativo recapito, responsabile per l'impianto.

---

## **Descrizione del sito**

Questa parte del documento deve contenere una mappa dettagliata ed aggiornata del sito, opportunamente georeferenziata e con chiara indicazione della scala, intendendo per sito un'area di 300 m di raggio dal piede dell'antenna; deve anche fornire una descrizione del luogo, del tipo di abitazioni presenti, segnalando la presenza di edifici di pregio storico e/o architettonico, la presenza di aree sensibili, quali scuole, ospedali ecc...

Sarà evidenziata la presenza di edifici o di aree di proprietà comunale, che dovranno essere privilegiati nella scelta della localizzazione delle antenne; il mancato utilizzo di questi edifici o aree dovrà essere dettagliatamente giustificato dal punto di vista tecnico.

Deve essere altresì riportata in un apposito paragrafo la descrizione di tutte le emittenti a radio frequenza presenti all'interno del sito; per questo punto i comuni e le ARPA devono mettere a disposizione i dati in loro possesso.

## **Descrizione dell'impianto**

In questo capitolo devono essere riportate le caratteristiche radio-elettriche e fisiche del sistema: il tipo di servizio da fornire, potenze massime di esercizio, frequenze di lavoro, marca e modello delle antenne installate, altezza dei centri elettrici, guadagno in dBi, direzione di massimo irraggiamento delle antenne riferita al nord geografico ed eventuale tilt (elettrico e/o meccanico), diagrammi angolari di irradiazione orizzontale e verticale del sistema irradiante ecc, settorizzazione, dimensioni e altezza delle strutture portanti le antenne.

Questa parte dovrà includere un disegno della struttura finale e il "rendering" di tutta l'installazione inserita nel contesto urbano, evidenziando se si prevedono opere di mimetizzazione.

## **Valutazione costo/beneficio**

Questa parte deve necessariamente essere fatta in modo comparativo riportando il confronto tra i dati ricavabili alla data della richiesta e quelli stimati conseguenti all'intervento. Con la dicitura "costo" si intende l'impatto ambientale conseguente all'approvazione della richiesta e con la dicitura "beneficio" si intende la possibilità per gli utenti di usufruire di un nuovo o migliore servizio, nell'ambito di un'area specificata (la cella), la cui mappa dovrà essere riportata e che può non coincidere con il sito sopra menzionato (nel senso che la cella contiene il sito).

In termini di "beneficio" il gestore dovrà riportare a) la percentuale dell'area della cella che potrà usufruire del servizio proposto, rispetto alla situazione preesistente (come per esempio nel caso di un'area già parzialmente servita da SRB adiacenti); b) il volume di traffico proveniente dall'area e che si riesce a soddisfare con impianti esistenti e con il nuovo impianto (come per esempio nel caso di un'area già coperta ma in cui c'è stato o si prevede un aumento della richiesta di traffico); c) la qualità del servizio in termini di efficienza (utilizzo equilibrato delle SRB evitando che alcune siano congestionate ed altre sotto-utilizzate), interruzioni del servizio o malfunzionamenti.

Ad ognuno di questi parametri dovrà essere assegnato un punteggio percentuale sulla base dei dati dichiarati dai gestori, in modo da poter confrontare immediatamente le situazioni antecedente e successiva all'attivazione della nuova SRB.

In termini di "costo" si dovranno indicare essenzialmente d) l'impatto visivo ed e) l'impatto elettromagnetico.

L'impatto visivo sarà espresso dalla percentuale della superficie al suolo da cui l'antenna è visibile nell'ambito del sito, con coefficiente di pesatura 0.25, 0.5, 1, 2 a seconda che si tratti di area

---

rurale/industriale, suburbana, urbana o centro di interesse storico. Un ulteriore coefficiente 0.3 sarà utilizzato per tener conto della possibilità di utilizzo di un traliccio di sostegno per le antenne già esistente (come per esempio in una situazione di cositing o di uso di pali dell'illuminazione, ecc). Un coefficiente 0.2 sarà utilizzato nel caso si intraprendano opere di mimetizzazione.

L'impatto elettromagnetico deve essere valutato con particolare cura, dipendendo da esso la percezione del rischio della popolazione. Esso prevede la valutazione (mediante misurazioni o stime teoriche) del campo elettromagnetico nel sito al momento della richiesta, e per questo i gestori potranno avvalersi di misurazioni o stime eseguite in proprio o di dati forniti dalle ARPA. Tali valori di campo saranno confrontati con le stime di campo previste con la nuova installazione.

Sia le mappe di campo che fotografano l'esistente, sia quelle previste per i nuovi impianti devono essere allegate alla richiesta.

Al fine di garantire la riproducibilità dei dati e valutare approssimazioni e incertezze devono essere opportunamente indicati strumenti di misura e algoritmi di calcolo con le tecniche di soluzione del problema elettromagnetico da essi implementate (spazio libero, ray tracing, ecc.).

Un indicatore globale di impatto ambientale potrebbe essere il Fattore di Impatto Ambientale Elettromagnetico sviluppato nella sezione 2.4; questo indicatore permette un confronto dell'impatto ambientale prima e dopo l'attivazione della nuova SRB.

I cinque parametri descritti alle lettere a), b), c), d), e) possono essere rappresentati su una scala di valori da 1 a 100, per cui è possibile darne una rappresentazione grafica di immediata interpretazione, secondo lo schema a pentagono riportato nel paragrafo 2.3.

### **Ottimizzazione**

In questo capitolo il richiedente deve dimostrare che la richiesta soddisfa il miglior compromesso tra la qualità del servizio offerto e la minimizzazione dell'impatto ambientale, dichiarando che:

- la tecnologia utilizzata è quella allo stato dell'arte e che consente di utilizzare i livelli di campo inferiori rispetto ad altre tecnologie;
- soluzioni tecniche alternative non erano praticabili e darne motivazione;
- alternative al sito scelto erano peggiorative da un punto di vista dell'impatto ambientale e darne motivazione.

### **Riconfigurazione**

Per siti esistenti, i gestori devono valutare la possibilità di sostituzione degli impianti obsoleti con impianti di nuova generazione che, a parità di servizio, producono minori emissioni elettromagnetiche. Si considera obsoleto un impianto funzionante da 10 anni. A 10 anni dall'attivazione dell'impianto, il gestore si impegna a valutare una possibile riconfigurazione con apparati di nuova generazione a minore emissione elettromagnetica. Le azioni devono essere opportunamente illustrate e motivate alle autorità comunali e alle ARPA

### **Impegni dei comuni**

#### **Trasparenza**

Il comune si impegna a nominare un funzionario (anche consortile nel caso di piccoli comuni) responsabile della gestione comunale delle emittenti a radiofrequenza e del corretto svolgimento delle procedure.



---

Ad integrazione di quanto previsto dal Protocollo d'Intesa tra ANCI e Ministero delle Comunicazioni per l'installazione, il monitoraggio, il controllo e la razionalizzazione degli impianti di stazioni radio base, e di quanto previsto dalla normativa vigente, i comuni si impegnano a garantire la massima trasparenza delle procedure mediante la creazione di un opportuno sito web nel quale:

- siano disponibili tutte le informazioni relative a tutte le emittenti presenti nel territorio comunale, con particolare riferimento a strutture mimetizzate (la sottolineatura relativa a strutture mimetizzate deve rendere chiaro il messaggio verso la popolazione che il camuffamento è solo un artificio estetico per ridurre l'impatto visivo della struttura e non un tentativo di occultamento delle emittenti);
- sia disponibile la modulistica e le procedure per la richiesta di nuove installazioni.
- sia disponibile il regolamento comunale (o strumento urbanistico simile) relativo alla localizzazione di emittenti radio.
- siano visibili i dati dei valori di campo eventualmente rilevati da centraline di monitoraggio, ubicate nel territorio comunale;
- siano visibili le richieste dei gestori ed eventuali opere di mimetizzazione previste;
- sia riportata la cronologia degli interventi sulle SRB e le nuove attivazioni; deve essere riportata l'incidenza degli interventi e delle attivazioni sull'impatto ambientale (quantificabile secondo i parametri d) ed e) visti precedentemente), evidenziando sia le situazioni che hanno contribuito ad aumentare l'impatto ambientale sia le opere che hanno prodotto una diminuzione dell'impatto ambientale (delocalizzazione, uso di nuove tecnologie ecc);
- sia riportato l'elenco degli impianti obsoleti per i quali è stata effettuata la verifica per una eventuale riconfigurazione e le valutazioni conseguenti.

### **Incentivazioni**

Nell'ottica di creare delle procedure virtuose, i comuni vincoleranno le tariffe di affitto dei siti di proprietà comunale o di concessione delle autorizzazioni alle azioni intraprese dai gestori a seconda che abbiano contribuito ad un incremento o alla diminuzione dell'impatto ambientale. Queste tariffe e le modalità con cui sono state determinate dovranno essere opportunamente pubblicate sul sito.

I comuni si impegnano ad incentivare la scelta di siti su edifici o aree di proprietà comunale, determinando le aree di attrazione in cui inserire anche le proprietà comunali, previa valutazione dell'impatto elettromagnetico ambientale come precedentemente descritto.

I comuni si impegnano a sollecitare i gestori per le riconfigurazioni di impianti obsoleti. Essi potranno concordare con i gestori eventuali incentivazioni economiche legate alle mancate riconfigurazioni di impianti obsoleti.

### **Disseminazione della conoscenza**

I comuni provvederanno ad organizzare ogni due anni, anche in consorzio con altri comuni, una conferenza aperta a tutta la cittadinanza nella quale si discutano oltre alle richieste dei gestori, i nuovi servizi, i progressi tecnologici e le conseguenti riduzioni di emissioni che questi consentono, i progressi scientifici relativi allo studio dell'interazione tra campi elettromagnetici e biosistemi e gli eventuali effetti sulla salute umana.

### **Tutela della salute dei cittadini**

Il consiglio comunale in accordo con le ARPA deciderà i siti da monitorare, la durata e la periodicità del monitoraggio e curerà la pubblicazione dei dati misurati sul sito web del comune. Ove ritenuto necessario, utilizzando per esempio parte dei proventi derivanti dall'affitto di aree

---

comunali per siti di SRB, il Comune, o anche un consorzio di comuni, provvederà direttamente ad acquisire strumentazione per il monitoraggio puntuale e/o centraline per il monitoraggio continuo dei campi elettromagnetici (si consiglia una centralina ogni 25000 abitanti). Se necessario, nell'ambito di apposite convenzioni, il comune potrà avvalersi delle ARPA per addestrare il proprio personale tecnico addetto alla gestione della strumentazione.

Il comune coinvolgerà le ARPA competenti per verificare che le stime di campo fornite dai gestori a seguito dell'entrata in funzione di un nuovo impianto siano conformi con i valori misurati e darà diffusione su sito web dell'esito delle verifiche.

Il comune, per agevolare i gestori nella presentazione delle richieste, fornirà i dati in suo possesso (tipologia delle emittenti e/o valori misurati) per la valutazione dei campi relativa alla voce costo/beneficio del punto riguardante gli "impegni dei gestori".

Il comune si impegna a fornire risposte alle richieste dei gestori entro il mese di maggio per richieste ricevute nel mese di gennaio ed entro il mese di novembre per richieste ricevute nel mese di luglio.

Il mancato rispetto dei tempi da parte del comune esonererà il gestore dal pagamento degli oneri dovuti al comune per le necessarie autorizzazioni e, qualora il gestore abbia o preveda di avere siti su area comunale, esonererà il gestore dal pagamento del canone di affitto per un numero di siti pari a quelli per cui si fa richiesta e nella misura di un mese di esonero dal canone per ogni mese di ritardo della risposta.

## **Impegni delle ARPA**

Le ARPA si impegnano a coadiuvare i comuni relativamente a pareri tecnici sulle richieste dei gestori, ed in particolare compileranno una relazione esprimendo un giudizio analitico su ogni voce relativa agli "impegni dei gestori".

Di tale relazione si avvarranno i comuni per concedere le autorizzazioni necessarie all'installazione degli impianti.

Le ARPA si impegnano a fornire ai comuni questa relazione entro 60 giorni dal ricevimento della richiesta. La mancata osservanza dei tempi implica parere favorevole su quanto dichiarato dai gestori.

Per ogni richiesta di intervento da parte dei comuni, le ARPA si impegnano a nominare un funzionario responsabile della gestione delle relative pratiche e del corretto svolgimento delle procedure.

Le ARPA segnaleranno ai comuni l'obsolescenza di impianti dislocati nel proprio territorio, al fine di suggerire ai gestori la riconfigurazione, dell'impianto con tecnologie più avanzate nell'ottica di ridurre le emissioni.

Le ARPA coadiuveranno i comuni nella caratterizzazione elettromagnetica di aree di attrazione, comprese le proprietà comunali ai fini del loro utilizzo come siti di installazione agevolata, fermo restando l'autonomia delle amministrazioni comunali di dotarsi di strutture proprie.

Le ARPA coadiuveranno i comuni nella individuazione dei siti da monitorare, nelle scelte della durata e della periodicità del monitoraggio, fermo restando l'autonomia delle amministrazioni comunali di dotarsi di strutture proprie.

Le ARPA si impegnano a fornire ai comuni i dati relativi agli aggiornamenti del censimento delle emittenti nel territorio comunale e a rendere disponibili i valori di campo misurati.

Le ARPA, nell'ambito di apposite convenzioni, si impegnano ad addestrare personale tecnico comunale addetto alla gestione di stazioni di monitoraggio e/o strumentazione eventualmente acquisita dai comuni.

---

#### 2.4.4.2 Linee guida per il best siting di impianti TV

Come è stato mostrato nel paragrafo 2.3, dal punto di vista delle emissioni elettromagnetiche, sono molte le similitudini tra impianti televisivi e stazioni radio base, per cui si ritiene che la quasi totalità delle linee guida suggerite per gli impianti di telefonia mobile possano essere adottate anche per impianti TV, i quali possono essere ubicati sia nel tessuto urbano che in aree rurali.

La differenza più evidente tra impianti SRB e RTV è data dal fatto che in questi ultimi la potenza di esercizio può assumere valori molto elevati e sarà proprio tale quantità fisica ad essere usata come discriminante.

In particolare nella definizione di “sito” si considererà un’area di 300 m di raggio dal piede dell’antenna, come per le SRB, per valori di  $EIRP_0 \leq 30000$  W ( $\sim 45$  dBW) e di raggio  $r = 300 * (EIRP/EIRP_0)^{1/2}$  per potenze superiori.

Per quanto riguarda gli **impegni dei gestori**, qualora trattasi di impianti previsti in aree rurali, nel punto relativo alla *descrizione del sito* dovrà essere specificato se trattasi di area di particolare interesse paesaggistico/turistico e se sono disponibili tralicci già esistenti.

Nel punto relativo alla *descrizione dell’impianto* il “rendering” dell’impianto dovrà riportare tutta l’installazione inserita nel contesto urbano o paesaggistico se trattasi di impianti collocati lontani da centri abitati.

Nel punto relativo alla *valutazione costo/beneficio* si dovrà indicare l’aumento della superficie di territorio coperta dalla nuova installazione TV e se la nuova installazione comporta la diminuzione della potenza di un impianto dell’area adiacente (al quale era demandata la copertura della stessa parte di territorio prima della nuova installazione), per il quale erano evidenziate situazioni di maggior criticità in termini di valori di esposizione.

Per quanto riguarda gli **impegni dei comuni e delle ARPA**, quelli previsti per le SRB possono essere estesi anche ad impianti RTV.

Si vuole infine sottolineare l’eventualità che, qualora l’impianto sia situato in una zona di confine tra due comuni, l’area definita come sito comprenda contemporaneamente il territorio di due comuni limitrofi (tale evento è poco probabile per SRB, più verosimile per impianti RTV di elevata potenza, dove il sito è molto più esteso).

In tale evenienza i comuni interessati si impegnano ad addivenire ad un accordo relativo alla compartecipazione agli utili e degli oneri derivanti dai controlli e dalla gestione successiva dell’impatto ambientale del campo elettromagnetico.

#### 2.4.5 Esempi di mascheramento di antenne per Stazioni Radio Base

L’impatto ambientale derivante dall’installazione di una SRB è caratterizzato da un duplice aspetto: il primo è l’impatto elettromagnetico ed è dovuto all’incremento nell’ambiente del livello di campo elettromagnetico; il secondo è l’impatto visivo legato alla presenza fisica nel tessuto urbano delle antenne e della struttura di sostegno, spesso di notevoli dimensioni.

La riduzione dell’impatto elettromagnetico ha finora giustamente calamitato la maggior parte degli sforzi dei ricercatori, dei progettisti e delle amministrazioni per le ben note implicazioni riguardanti effetti potenzialmente nocivi sulla popolazione esposta alla radiazione e costituisce l’argomento trattato in MONICEM.

L’impatto visivo, tuttavia, sta assumendo una rilevanza sempre maggiore per l’aumentata sensibilità di tutti gli attori che intervengono nel processo decisionale relativo all’installazione di

---

una SRB, nei confronti della necessità di armonizzare con il contesto urbano o paesaggistico impianti che spesso sono architettonicamente molto invasivi perché progettati con l'unico obiettivo di garantire specifiche radioelettriche, ma non estetiche.

D'altro canto, l'ovvia impossibilità di un progetto architettonico ad hoc per ogni struttura ha favorito lo sviluppo di tecniche di mimetizzazione che permettono di occultare alla vista le SRB più impattanti.

A testimonianza di questo mutato atteggiamento anche rispetto a problemi estetici è possibile citare, tra tanti, alcuni esempi molto significativi.

Dal lato **“operatori”**, il MOA dedica un'intera sezione al “Camouflaging and disguising equipment” e l'inserimento visivo dell'installazione nel contesto circostante ha un peso percentualmente significativo nel modello a “semaforo” che questa associazione propone.

Considerando esempi più vicini alla realtà italiana, dal lato **“associazioni di cittadini”**, i “Comitati Antenne Lombardia – Coordinamento di dodici comitati di cittadini” nel documento “Linee-guida per una Normativa regionale sugli impianti di telecomunicazione in una logica di sviluppo sostenibile”, propongono testualmente: *“Per gli impianti superiori ai 5 Watt in antenna, obbligo di mascheramenti rispetto alla tipologia ambientale e/o architettonica della zona.”*

Dal lato **“comuni”**, è interessante citare l'esempio di Bologna dove, tramite il documento “Programmazione della Rete di telefonia Mobile - Linee Guida”, si è deliberato di *“ .... mettere in campo tutte le azioni necessarie a migliorare l'inserimento degli impianti nel contesto urbano, in particolare adoperandosi a ricercare tipologie esteticamente compatibili, minimizzare l'impatto visuale delle strutture tecnologiche, fornire elementi di arredo urbano, interrare o mascherare – ove possibile – le strutture fuori terra di servizio (shelter) per contenere l'impatto ... ”.*

Le aziende manifatturiere hanno prontamente risposto a queste nuove esigenze cosicché attualmente sono disponibili sul mercato molti prodotti che consentono la mimetizzazione delle antenne e delle strutture portanti, a seconda del contesto in cui debbono essere inserite, le quali, se non eliminano, certamente riducono l'impatto visivo.

N.B.: *le figure di seguito riportate sono tratte dal sito [www.calzavara.it](http://www.calzavara.it)*

Un esempio molto diffuso di mimetizzazione è quello di mascherare le SRB con **alberi d'alto fusto**, quali pini, palme, cipressi.

Per quanto riguarda i materiali utilizzati, il tronco è costituito da un palo in acciaio, che può arrivare ad altezze di 35-40 metri.

La superficie esterna è rivestita in materiale plastico resistente agli agenti atmosferici, con un aspetto somigliante alla corteccia. La parte fogliacea è in materiale plastico per garantire la trasparenza radioelettrica. Per facilitare le operazioni di manutenzione, la struttura è generalmente dotata di scala interna.

Un'altra possibilità di mascheramento, adottabile per antenne “roof top”, è l'utilizzo di pennellature.

Si tratta di sistemi modulari realizzati con vari materiali: teli speciali per esterno, vetroresina, materiali plastici e microforati, con possibilità di colorazioni ed applicazione di immagini sulle superfici esterne. Restando nel contesto dell'arredo urbano, sono possibili soluzioni polifunzionali di mascheramento.

Sono strutture utilizzate essenzialmente per l'installazione di insegne pubblicitarie, con possibilità di integrare alla funzione principale anche quella di elemento di sostegno per antenne di telecomunicazioni e d'illuminazione pubblica. La struttura portante è costituita da un palo in acciaio; i cavi di alimentazione dei corpi illuminanti e delle antenne sono interni alla struttura;

---

alla base del palo sono previste aperture per l'uscita cavi e per l'ispezione. Ma forse la più comune tecnica di mascheramento è l'utilizzo di **finti camini**.

L'altezza dell'installazione può variare ed è generalmente compresa tra due e otto metri; la struttura portante è in acciaio, costituita da uno o più moduli per facilitare il montaggio, il quale deve anche assicurare un'adeguata distribuzione del carico sulla superficie del tetto. I materiali con cui sono realizzati i comignoli sono in plastiche speciali, prive di impurità metalliche e adatte a resistere a venti molto intensi e a forti escursioni termiche. Al di là delle molteplici soluzioni tecniche oggi disponibili, l'iniziativa del mascheramento è comunque ancora affidata alla sensibilità delle particolari amministrazioni comunali, anziché costituire su tutto il territorio nazionale buona prassi di allocazione di una SRB nel contesto in cui questa deve operare.

MONICEM incoraggia la riduzione dell'impatto ambientale di una SRB anche per quanto concerne l'impatto visivo, per cui viene consigliato che siano gli stessi operatori ad evidenziare opportunamente le opere di mimetizzazione che intendono intraprendere.

Analogamente a quanto fatto per l'impatto elettromagnetico, che costituisce l'argomento principale del progetto, si è cercato di proporre una metodologia operativa che potesse quantificare con un valore numerico l'impatto visivo (e conseguente riduzione mediante opere di mascheramento) al fine di rendere confrontabili tra loro mediante dati oggettivi le diverse ipotesi di installazione.

In MONICEM è anche sottolineato un altro aspetto molto importante legato alle opere di mimetizzazione che, se non adeguatamente pubblicizzate, potrebbero portare ad effetti addirittura opposti a quelli desiderati inducendo nella popolazione sentimenti di aperta ostilità.

Dovrebbe essere compito delle autorità comunali curare adeguatamente l'informazione relativa al mascheramento delle antenne per rendere chiaro ai cittadini che il camuffamento è solo un artificio estetico per ridurre l'impatto visivo della struttura e non un tentativo di occultamento di emittenti radio: è facile intuire che a fronte di un simile pericoloso equivoco l'opera di mimetizzazione potrebbe essere immediatamente interpretata dai "non addetti ai lavori" come un tentativo di nascondere qualcosa di nocivo per la salute della collettività.

È dall'esperienza maturata sul campo che si evince come la corretta informazione e la massima trasparenza siano la chiave di volta per la soluzione di molti problemi concernenti l'allocazione di SRB, tanto più indispensabile, perciò, quando si intraprendono opere di mascheramento.

## **2.5 "Identificazione di criteri e modalità di riferimento per gli accordi relativi al posizionamento degli impianti e allo sviluppo reti di servizi"**

### **2.5.1 Introduzione**

Le comunicazioni wireless e, più in generale, le emissioni elettromagnetiche crescono e si estendono sempre più ed è opportuno che il mantenimento e lo sviluppo della rete di comunicazione, servizio sempre più indispensabile, avvengano con la garanzia del controllo sia dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici, sia della maggiore efficacia del servizio, al fine di ridurre in modo ragionevole l'esposizione. È con questo spirito che, nel dicembre 2003, è stato stipulato il Protocollo d'Intesa per l'installazione, il monitoraggio, il controllo e la razionalizzazione degli impianti di stazioni radio base tra ANCI e Ministero delle Comunicazioni, ma, al momento, non si è in grado di conoscere le azioni intraprese al seguito, né di valutarne l'effetto.

Nel presente documento, nel tentativo di sintetizzare l'analisi svolta fino a questo punto, vengono suggerite le azioni ritenute idonee per migliorare la situazione attuale, le modalità con cui superare i pun-

---

ti deboli delle procedure politiche e tecniche attualmente messe in atto e le linee guida tecniche di best-siting, con ampio riferimento alle procedure presentate e discusse nell'ambito del paragrafo 2.4. Nella parte conclusiva le considerazioni esposte vengono riassunte in modo sintetico in una proposta di decalogo operativo come base per un accordo quadro circa i criteri e le procedure con cui affrontare il posizionamento di stazioni radio base per telefonia mobile e/o stazioni di trasmissione radiotelevisive.

### 2.5.2 Cosa può essere migliorato e come

La comunità scientifica ha già messo a punto, e continua a raffinare, una varietà di strumenti, tecniche e metodologie per il contenimento dell'impatto ambientale dei CEM generati da sistemi di telecomunicazione orientate al contemporaneo miglioramento della qualità dei servizi di detti sistemi. Nonostante questo, il cammino verso la soluzione di molti problemi è ancora lungo e sembra essere segnato da una serie di limiti, soprattutto "procedurali", ancora da superare.

Un primo punto in questo senso è rappresentato *dall'armonizzazione dei contributi alla discussione che provengono dai vari soggetti coinvolti* a diverso titolo, quali gli enti locali e territoriali, i gestori, la pubblica opinione, e la comunità scientifica. Ad oggi, infatti, malgrado le numerose esperienze poste in atto, si fatica a creare e mantenere in vita in maniera continuativa un reale processo di fusione dei contributi che provengono dai vari soggetti prima citati, così da portare ad una sintesi degli stessi. Spesso, i risultati prodotti dalla comunità scientifica vengono recepiti solo occasionalmente (magari in virtù di circostanze e occasioni particolari e locali) ed il dialogo con i restanti soggetti non trova un punto di convergenza.

Un primo passo verso la soluzione di questo problema potrebbe essere rappresentato dalla creazione di un soggetto, stabilmente attivo, con la finalità di essere il punto di riferimento ed intermediazione fra i soggetti citati, e soprattutto riconosciuto dalle varie parti in causa. In questo modo le conoscenze scientifiche potranno costituire un patrimonio stabilmente condiviso fra tutti e, dunque, essere fattivamente utili e tali da facilitare un processo importante, quale quello del *continuo aggiornamento delle metodologie e delle strategie decisionali e di pianificazione*, in funzione dei fabbisogni delle nuove tecnologie e dei nuovi servizi di telecomunicazione. In effetti, un aspetto sempre più rilevante è la crescente rapidità di trasformazione ed evoluzione delle tecnologie di telecomunicazione ad esempio il Wimax ed il DVBH.

In questi casi risulta evidente come il riadattamento delle politiche di minimizzazione e/o best-siting non possa prescindere da una capacità di pianificare lo sviluppo delle infrastrutture di rete, continuamente calando gli scenari presenti in una logica di sviluppo tecnologico successivo.

Un secondo punto, fortemente legato al primo, è la necessità che le politiche e le logiche prima citate escano da impostazioni "localistiche", per acquistare una dimensione più ampia. Le politiche di pianificazione e sviluppo perdono di senso se applicate sulla scala di un singolo comune, o su piccole porzioni di territorio, mentre potrebbero risultare estremamente importanti se prendessero corpo su una scala più vasta, a livello provinciale, regionale o, ancor meglio, nazionale.

Questo permetterebbe, tra l'altro, di superare un limite oggi piuttosto ricorrente, cioè la tendenza a considerare l'utilizzo di tecniche e metodiche valutando le installazioni singolarmente e non in termini di impatto complessivo. Nell'ottica di mantenere alta la qualità del servizio, è infatti necessario analizzare l'insieme delle installazioni ed appare difficile e poco

---

produttivo separare l'aspetto di minimizzazione del campo dal contesto della tipologia del servizio da fornire e, in generale, dalla relativa qualità.

Un terzo punto, che enfatizza la necessità di coordinamento fra i vari soggetti, è il bisogno che, affinché una procedura di minimizzazione del campo elettromagnetico emesso da stazioni radio base abbia successo, siano *disponibili a priori una serie di informazioni che devono essere fornite sia dalle istituzioni locali che dai gestori coinvolti*.

La possibilità di disporre di, o poter accedere a, un archivio delle sorgenti, la disponibilità delle amministrazioni comunali a rendere accessibili i propri regolamenti sulla 'localizzazione' delle sorgenti, l'accesso a procedure di valutazione numerica dell'emissione elettromagnetica, la disponibilità dei gestori a fornire i piani annuali di espansione, sono tutti anelli indispensabili di una singola catena, che potrebbe assumere dignità di "procedura per la minimizzazione" di riferimento.

### **2.5.3 Linee guida sulle tecniche di best siting**

Per la stesura di linee guida tecniche di best-siting il principio ispiratore da tenere presente è lo spirito di servizio verso la comunità dei cittadini che, pur nella diversità dei ruoli e dei compiti, deve costantemente guidare il lavoro e le scelte dei gestori, degli amministratori comunali e dei tecnici dei pubblici uffici.

Pur consapevoli dell'ovvietà di una tale affermazione, si deve essere altrettanto convinti della necessità di ribadirla con forza e, nella fattispecie, di verificarne ad ogni passo l'attuazione, per evitare di incorrere nell'errore, purtroppo abbastanza frequente, per il quale troppo spesso tra la proclamazione di principi e la loro attuazione esiste una incolmabile distanza. Nel seguito saranno riportati sinteticamente i principi su cui si basano le linee guida di tipo tecnico che sono state elaborate nell'ambito del progetto MONICEM.

#### *Valutazione oggettiva dell'impatto ambientale*

L'impatto ambientale "nullo" non esiste, né per stazioni radio base (SRB), né per impianti radiotelevisivi (RTV), né per alcun'altra attività dell'uomo. Ciò che deve essere analizzato e valutato è il rapporto tra il beneficio, cioè la migliore qualità della vita degli utenti realizzabile con l'introduzione di nuovi servizi e l'impatto ambientale, nel nostro caso sia elettromagnetico, che estetico e paesaggistico, conseguente alla messa in opera degli impianti. Questa analisi deve essere svolta in termini quantitativi, prendendo quindi in esame parametri oggettivi e facilmente verificabili.

#### *Responsabilità*

Per ogni richiesta di autorizzazione di qualsiasi genere, relativa a sistemi SRB o RTV, sia i gestori, sia le amministrazioni comunali, sia le ARPA devono indicare il nome e il recapito di una persona fisica che abbia la responsabilità delle operazioni contemplate dalla procedura e di competenza dell'ente per cui tale persona lavora. Ciò è finalizzato alla riduzione di inadempienze, ritardi ed errori.

#### *Tracciabilità*

Si ricollega al punto precedente e il suo scopo è di rendere facilmente verificabile che i vari passi della procedura siano stati tutti eseguiti in modo corretto. È essenziale quindi che la pro-

---

cedura sia semplice, con azioni ben specificate in ogni dettaglio, e per le quali siano individuati in modo univoco i soggetti coinvolti e definita chiaramente la tempistica.

### *Diritti e doveri*

Ogni soggetto coinvolto che interviene nella procedura per la richiesta di un'autorizzazione deve avere un proprio ruolo e deve svolgere dei compiti ben specificati; i vari soggetti, nelle varie fasi del lavoro, entrano poi in relazione tra loro ed è quindi indispensabile, affinché l'intero complesso delle operazioni da svolgere sia attuato nel modo migliore, che ognuno lavori rispettando una tempistica predefinita. Le linee guida indicano i tempi e i modi per lo svolgimento di tali compiti e, soprattutto, le conseguenze derivanti da inadempienze, sia dal lato dei gestori che da quello dei pubblici uffici.

### *Principio di uniformità territoriale*

Le linee guida assicurano che, indipendentemente dall'area geografica o dalla tipologia d'impianto, il lavoro sarà svolto a regola d'arte, ottimizzando il compromesso tra il raggiungimento della necessaria qualità del servizio e la minimizzazione delle emissioni elettromagnetiche. Ciò dovrebbe ridurre la percezione del rischio da parte dei cittadini, attenuare molto la conflittualità tra associazioni di cittadini e gestori e, soprattutto, evitare quelle disparità che si creano tra città o quartieri in cui sono presenti, e molto attivi, comitati di cittadini e zone dove tali comitati non sono invece presenti. Questo principio porta alla naturale conclusione che le stesse linee guida dovrebbero essere adottate su tutto il territorio nazionale.

### *Trasparenza*

Questo aspetto è fondamentale per ridurre la citata conflittualità tra gestori e cittadinanza che tipicamente insorge a seguito di richieste di nuove installazioni. In questo caso, la diffusione delle informazioni attraverso *internet media* (web site, forum, portali dedicati) può rappresentare lo strumento più efficace per raggiungere tale scopo, per la sua capillarità e per il fatto che chiunque può accedervi. La gestione dell'aspetto 'trasparenza' è naturalmente demandata alle autorità municipali, cui spetta, come compito istituzionale, la tutela della salute dei cittadini. Il fine ultimo di una gestione trasparente delle procedure è l'instaurarsi di un rapporto di fiducia fra la cittadinanza e gli amministratori pubblici. A tale proposito è essenziale anche l'uso del linguaggio più appropriato con cui devono essere riportate le informazioni, in modo che siano facilmente comprensibili anche ai "non addetti ai lavori". La documentazione tecnica deve essere scritta in modo rigoroso, ma per i termini tecnici più specifici deve esistere un glossario che ne aiuti la comprensione ed il "burocratese" deve essere assolutamente evitato.

I cittadini devono essere messi a conoscenza del fatto che:

- nell'installazione di un nuovo impianto sono state messe in atto tutte le possibili azioni per minimizzarne le emissioni;
- una volta terminata l'installazione ed entrato in funzione l'impianto, i cittadini non saranno abbandonati a se stessi perché la situazione sarà costantemente monitorata nel tempo;
- l'informazione fornita via internet deve essere tale da far sì che ogni cittadino possa verificare personalmente l'attuazione delle procedure e, se tali procedure avranno diffusione a livello nazionale, possa effettuare confronti con altre realtà;
- la cittadinanza sarà periodicamente informata sugli sviluppi tecnologici, scientifici e sanita-



---

ri; quest'ultimo punto è estremamente importante perché travalica il problema contingente dell'impatto ambientale dei campi elettromagnetici ma, più in generale, rappresenta un'occasione di diffusione della cultura e del metodo scientifico.

### *Incentivazioni*

È indispensabile creare un ciclo virtuoso in cui tutti i soggetti coinvolti comprendano come sia premiante un lavoro svolto a regola d'arte, sia come ritorni economici (perché si evitano ritardi, riprogettazioni e rimaneggiamenti degli impianti), sia come ritorni d'immagine (dovuti all'instaurarsi di rapporti collaborativi e di fiducia basati sulla qualità del servizio svolto). È evidente che del proprio modo di operare i gestori ne risponderanno ai Comuni, mentre i Comuni e le ARPA ne renderanno conto ai cittadini.

### *Scientificità*

Questa caratteristica riguarda tutti gli aspetti delle linee guida. In particolare, la relazione tecnica che i gestori devono presentare ai Comuni deve essere in linea con le modalità di preparazione dei rapporti e dei documenti scientifico-tecnici internazionalmente accettate. In particolare in essa deve essere chiara la descrizione di ciò che si è fatto e del perché lo si è fatto, dettagliata nei particolari, ma non ridondante e, soprattutto, deve consentire la verifica dei dati forniti e la riproducibilità dei risultati prodotti.

Ciò riguarda essenzialmente le caratteristiche tecniche degli impianti, le stime di campo elettromagnetico e la valutazione dell'impatto ambientale. Devono essere adottati indicatori che permettano da un lato di quantificare i benefici (in termini di servizi offerti ai cittadini) e i costi (in termini di impatto ambientale) di una nuova installazione e, dall'altro, l'effettuazione di valutazioni comparative.

## **2.5.4 Il decalogo MONICEM**

Alla luce dell'analisi svolta nel corso di MONICEM, sembra di fatto improrogabile mettere in atto procedure chiare e trasparenti che possano facilitare il posizionamento ottimale di tali sistemi di trasmissione, tenendo in giusta considerazione le necessità, i punti di vista e gli obiettivi di tutti i soggetti coinvolti: operatori di telefonia e di radio-telediffusione, autorità politiche e sanitarie, associazioni di cittadini a qualsiasi titolo interessati e, naturalmente, la popolazione locale.

A questo scopo e quale sintesi conclusiva, vengono qui proposti dieci criteri legati al posizionamento di stazioni radio base per telefonia mobile o di stazioni di trasmissioni radiotelevisive.

Essi devono essere considerati punti chiave su cui basare la stesura di una convenzione quadro a livello nazionale che dovrebbe essere sottoscritta, su base volontaria, dal maggior numero possibile dei soggetti interessati sopra elencati.

Si sottolinea che i primi quattro punti rappresentano affermazioni di principio che devono essere necessariamente chiaramente esplicitate in una convenzione quadro e condivise da tutti i soggetti sottoscrittenti. I punti dal 5 all'8 impegnano tutti i sottoscrittenti ad accettare le modalità concordate circa la documentazione da allegare sia alla richiesta di installazione che alla valutazione e risposta a tale richiesta. I punti 9 e 10 impegnano poi tutti i sottoscrittenti, alla luce dei principi enunciati nei primi 4 punti, a collaborare fattivamente tanto per la ricerca di una soluzione che soddisfi il più possibile le esigenze di tutti i soggetti, che per tutto il necessario

---

processo di comunicazione e trasparenza circa le scelte operate. I punti in questione sono qui di seguito elencati:

- 1) Si riconoscono, da parte di tutti i sottoscrittenti, l'utilità sociale e la necessità tecnica del posizionamento di sistemi di trasmissione radiotelefonica sul territorio, per garantire l'accesso alla comunicazione mobile, alla gestione di dati e informazione, nonché per garantire l'accesso all'informazione ed ai servizi radiotelevisivi. Si riconosce altresì che tali impianti debbano essere messi in opera sulla base del minore impatto ambientale, sociale e sanitario, possibile, ivi incluso la messa in atto di ogni mezzo e dispositivo tecnico in grado di diminuire i livelli di emissione di campo elettromagnetico a pari qualità del servizio. Fra gli altri accorgimenti, si riconosce che il co-siting di impianti mediante accordo fra operatori differenti debba avere priorità assoluta, laddove non vada ad inficiare aspetti relativi alla minimizzazione dell'impatto previsto.
- 2) Si riconosce che tutte le parti sottoscrittenti hanno uguali diritti nella procedura di individuazione del posizionamento della/e stazione/i trasmittente/i in discussione. Tali diritti devono essere esplicitamente diretti all'identificazione di soluzioni che possano, anche su base compromissoria, soddisfare tutte le parti interessate, in relazione alle considerazioni di cui al punto precedente.
- 3) Si riconosce, da tutte le parti sottoscrittenti, la necessità di identificare un modello informativo che permetta una chiara e trasparente comunicazione delle scelte tecniche che hanno portato all'identificazione di una determinata locazione. Tali informazioni devono essere fornite in modo tale da poter essere comprensibili a tutti gli attori in gioco. Esse devono necessariamente includere:
  - a. Copertura di trasmissione nel territorio sulla base della situazione attuale. Tale documentazione deve contenere anche il contributo elettromagnetico dovuto ad altre installazioni presenti, di altri operatori di telefonia o di radiodiffusione;
  - b. Copertura di trasmissione nel territorio stimabile a seguito della nuova installazione nella posizione richiesta e giustificazione esaustiva circa la sua necessità;
  - c. Spiegazione, se del caso, circa il mancato co-siting del nuovo impianto con impianti preesistenti;
  - d. Descrizione esaustiva e comprensibile circa le scelte tecniche che hanno portato alla richiesta. Deve essere dimostrato in modo chiaro lo sforzo per identificare il nuovo sito con metodi controllabili (si veda in tal senso, a titolo esemplificativo, il metodo FIAE basato sulla quantificazione di un fattore di impatto ambientale funzione unicamente del campo elettrico. Deve essere altresì dimostrato lo sforzo per la progettazione dell'impianto sulla base delle tecnologie a minor impatto emissivo possibile, includendo le giustificazioni, anche di tipo economico, circa le scelte fatte.
- 4) Si riconosce, da tutte le parti sottoscrittenti, la necessità di identificare un sistema di valutazione di impatto di posizionamento delle stazioni trasmittenti che tenga conto, a fianco di considerazioni tecniche ed economiche, anche di considerazioni socio-ambientali. Questo metodo dovrà essere trasparente e di facile comprensione per tutti i soggetti interessati. A tale scopo si dovrebbe partire con tecniche come quelle proposte dal metodo MONICEM FIAE, integrate con altre metodiche quali, per esempio, il *Traffic Light Model* suggerito dalla Mobile Operator Association britannica<sup>8</sup>, in cui vengono tenuti in considerazione da un lato la valutazione quantitativa dell'impatto sociale e, dall'altro, i fattori di pianificazione ambientale, anche dal punto di vista urbanistico o paesaggistico..

<sup>8</sup> <http://www.mobilemastinfo.com/planning/UK-TLM-for-public-consultation-version-2-0.pdf>

- 
- 5) Nella fase di richiesta di posizionamento gli operatori interessati si impegnano ad allegare i modelli informativi di cui ai precedenti punti 3 e 4.
  - 6) Nella fase di valutazione della richiesta di posizionamento, gli altri soggetti interessati (autorità politico-sanitarie, associazioni di cittadini, ecc.) si impegnano a valutare le richieste stesse sulla base dell'identico approccio valutativo.
  - 7) In caso di rigetto della richiesta di posizionamento, le altre parti coinvolte si impegnano ad allegare la necessaria documentazione esaustiva circa le motivazioni che, seguendo le identiche procedure di cui ai punti precedenti, hanno portato al rigetto in questione.
  - 8) In caso di rigetto della richiesta, le autorità politico-sanitarie e le associazioni di cittadini si impegnano ad operare fattivamente in tempi brevi e definiti con gli operatori di telefonia e radiodiffusione per l'identificazione di una soluzione alternativa, nello spirito del punto 1). Questo deve includere anche uno studio alternativo che, sulla base dell'identico approccio di cui ai punti precedenti (valutazioni tecniche e socio ambientali, ecc...), porti a suggerire una soluzione accettabile da tutte le parti in causa.
  - 9) Tutte le parti sottoscriventi la convenzione quadro si impegnano in modo fattivo a procedere, anche in modo iterativo, sulla base della convenzione stessa e delle incluse modalità operative, fino al raggiungimento della soluzione ottima per tutte le parti interessate.
  - 10) Tutte le parti interessate si impegnano, una volta raggiunta e accettata la soluzione ottima, a mettere in atto azioni di comunicazione e formazione verso le popolazioni interessate, nello spirito della piena collaborazione e trasparenza. Questo può includere l'organizzazione di incontri specifici di informazione, la distribuzione di materiale informativo in forma cartacea o in altra forma, ecc.. Le parti si impegnano altresì a concordare tali interventi allo scopo di ottenere il massimo risultato possibile con l'obiettivo di fornire informazioni esaustive e trasparenti.

## **2.6 Applicazione a casi reali delle linee guida operative per il best-siting di Stazioni Radio Base**

### **2.6.1 Introduzione**

Nel presente documento vengono descritte cinque situazioni differenti della zona Tavernelle in Ancona, come primo esempio di possibile adozione del FIAE per il best siting di stazioni radio base per telefonia. Tale documentazione potrà poi essere di assoluta utilità nel momento in cui si dovesse procedere ad una prima implementazione completa della metodica, che includa perciò oltre al FIAE la prova sul campo del Decalogo MONICEM.

### **2.6.2 Esempio di adozione del FIAE per il best siting di SRB**

In questo capitolo sarà illustrata l'applicazione del FIAE finalizzata alla scelta della posizione di una SRB che minimizza l'impatto ambientale elettromagnetico; lo scopo di questo esempio è mostrare l'estrema facilità di applicazione del FIAE, la sua potenzialità nella scelta del sito migliore e la possibilità, ancora inesplorata ma estremamente concreta e facilmente implementabile, di inserire il FIAE in algoritmi di ottimizzazione e di best siting affinché la minimizzazione dell'impatto ambientale dei campi elettromagnetici diventi un vincolo di progetto alla pari della qualità del servizio. Gli esempi che saranno riportati sono tratti da situazioni reali, ed in particolare da uno studio che l'amministrazione del Comune di Ancona ha commissionato

ad ICEmB, Unità di Ancona, nell'ambito dello sviluppo del "piano antenne" da inserire nel piano regolatore del comune stesso. Lo studio si inserisce in un contesto più ampio in cui, oltre all'amministrazione di Ancona (assessorati all'Urbanistica e all'Ambiente) e all'Università, sono stati coinvolti tutti i gestori di reti di telefonia mobile, l'ARPAM, e comitati cittadini. Si precisa, però, che durante lo studio commissionato dal comune di Ancona, l'analisi non fu effettuata tramite il FIAE poiché questo parametro è stato messo a punto e sviluppato successivamente nell'ambito del progetto MoniCEM.



**Figura 2.6.1**

L'analisi ha riguardato il posizionamento di una SRB nel quartiere di Tavernelle: i siti individuati ed esaminati sono quelli evidenziati in Fig. 2.6.1 Nel seguito sarà presentata una elaborazione dei dati calcolati durante lo studio effettuato per il Comune di Ancona,, finalizzata al calcolo del FIAE per ogni situazione esaminata. In questo lavoro, specificamente sviluppato per MoniCEM, sarà valutato soltanto il FIAE, senza introdurre ulteriori variabili riguardanti la qualità del servizio per le quali sarebbero necessarie informazioni accessibili solo agli operatori di telefonia mobile. È comunque auspicabile che in un contesto aperto e collaborativo si possa rapidamente giungere ad una ottimizzazione globale inserendo nell'analisi anche tali parametri.

#### ***Tavernelle – AN: piazzale cimitero***

Nel presente paragrafo vengono illustrati i risultati delle simulazioni, ottenuti per il sito antistante l'ingresso del cimitero di Tavernelle. In tabella 2.6.1 si riassumono le caratteristiche principali dell'impianto utilizzate per la simulazione:

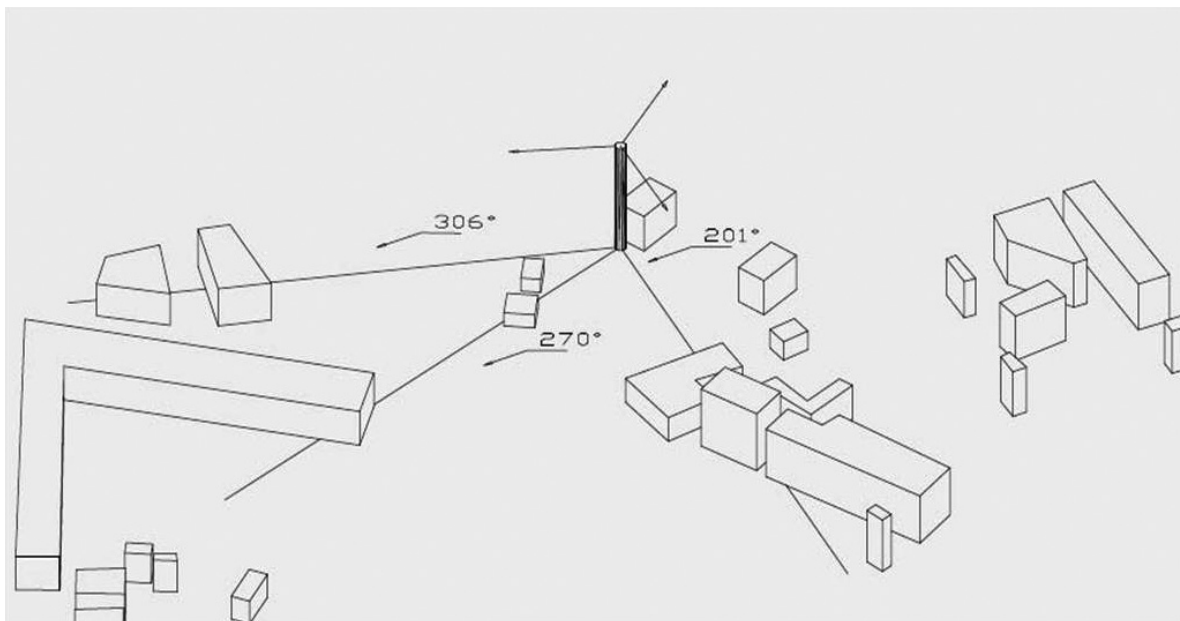
**Tabella 2.6.1 – Cimitero di Tavernelle. Caratteristiche tecniche dell'impianto adottate per la simulazione**

Tipo di Sistema	Direzione di Puntamento	H* centro elettrico [m]	Modello Antenna Kathrein	Downtilt Mecc.	Downtilt elettrico	Potenza al connettore per settore (W)
GSM	70° N	32	742270	3°	0°	40
	200° N	32	742270	3°	0°	40
	310° N	32	742270	3°	0°	40
DCS	70° N	30	742271	3°	0°	40
	200° N	30	742271	3°	0°	40
	310° N	30	742271	3°	0°	40
UMTS	70° N	28	742212	3°	0°	20
	200° N	28	742212	3°	0°	20
	310° N	28	742212	3°	0°	20

\*: altezza del centro elettrico dal suolo – la base del sito è posta a 105 metri s.l.m.

Le sezioni verticali scelte sono: 1) 201° N; 2) 270° N; 3) 306° N.

In figura 2.6.2 si mostra una visione tridimensionale del sito, dove oltre alle direzioni di puntamento dei tre settori, sono indicati i profili delle tre sezioni verticali.



**Figura 2.6.2 – Cimitero di Tavernelle. Visione tridimensionale.**

Nelle figure 2.6.3-2.6.4-2.6.5 che seguono sono riportati gli andamenti del campo elettrico nei tre piani individuati, calcolato utilizzando un software basato sull'algoritmo di ray tracing: la diffrazione non è considerata poiché si ritiene trascurabile il contributo del campo diffratto rispetto a quello diretto e riflesso ai fini dell'esposizione.

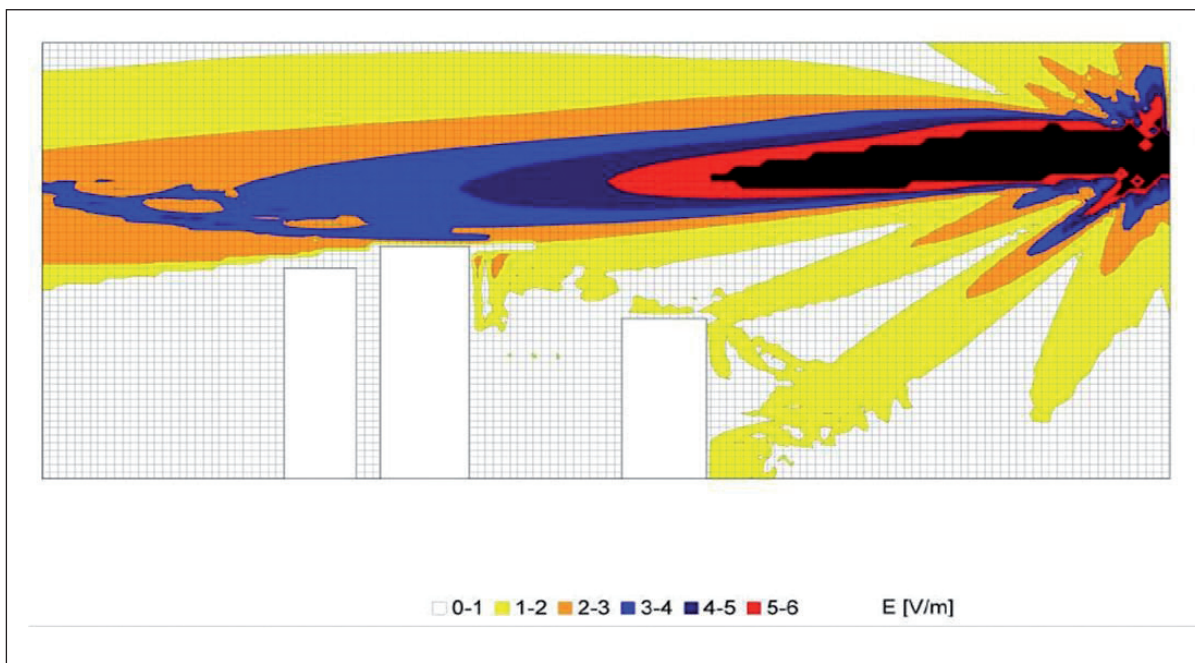


Figura 2.6.3 – Cimitero di Tavernelle. Sezione verticale 201° Nord

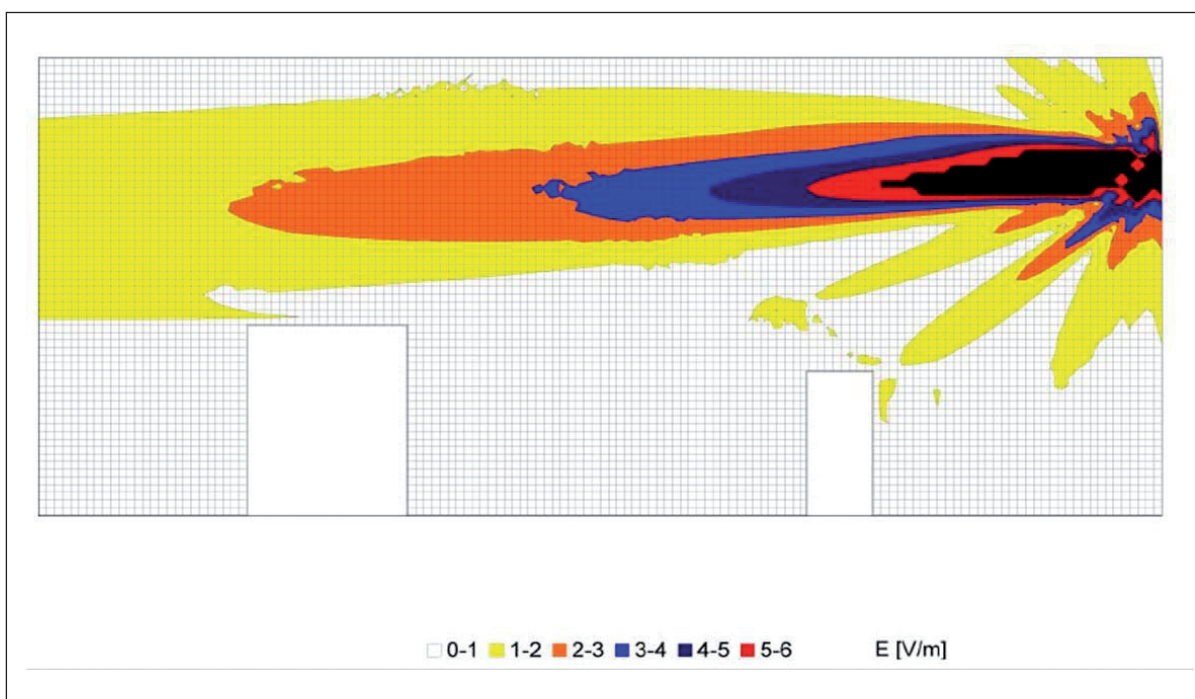


Figura 2.6.4 – Cimitero di Tavernelle. Sezione verticale 270° Nord

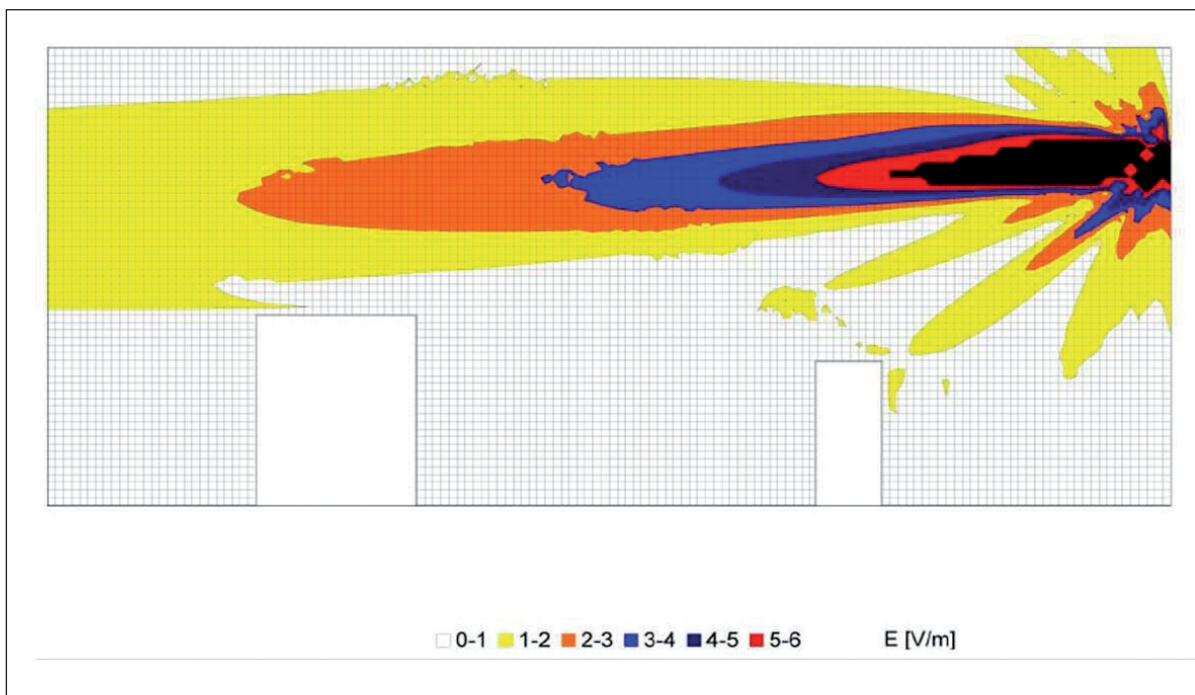


Figura 2.6.5 – Cimitero di Tavernelle. Sezione verticale 306° Nord

Dai risultati delle simulazioni sono stati calcolati parametri utili per la quantificazione del FIAE, riportati nelle Tabelle 2.6.2 e 2.6.3.

Tabella 2.6.2. Percentuali di punti di campo nei diversi intervalli

Intervalli di campo [V/m]	0 - 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6
Percentuale campioni di campo Figura 2.6.3	57	31	3	9	0	0
Percentuale campioni di campo Figura 2.6.4	87	13	0	0	0	0
Percentuale campioni di campo Figura 2.6.5	79	12	9	0	0	0

**Tabella 2.6.3. Parametri per il calcolo del FIAE e FIAE**

Parametri	$D_w$	$\langle E \rangle$	$\sigma^2$	$L_D$	$L_{\langle E \rangle}$	$L_\sigma$	FIAE
Figura 2.6.3	64	1.64	0.83	1	4	1	<b>38</b>
Figura 2.6.4	13	0.63	0.11	0	1	0	<b>5</b>
Figura 2.6.5	30	0.79	0.36	0	2	0	<b>9</b>

Nella Tabella 2.6.3 è evidenziato il valore del FIAE finale della SRB considerata, che corrisponde al peggiore tra quelli calcolati.

***Tavernelle – AN: SRB attiva al centro dell’incrocio stradale***

Nel presente paragrafo vengono illustrati i risultati delle simulazioni, ottenuti per il sito ubicato a Tavernelle, nel parcheggio sottostante la Facoltà di Agraria, in prossimità dell’uscita dell’asse attrezzato.

La simulazione è stata eseguita posizionando il palo porta antenne nel medesimo punto dove risulta attualmente installato un impianto multigestore. Di seguito, si riassumono le caratteristiche salienti dell’impianto, utilizzate per la simulazione.

**Tabella 2.6.4. –Tavernelle SRB attiva. Caratteristiche tecniche dell’impianto.**

Tipo di Sistema	Direzione di Puntamento	H* centro elettrico [m]	Modello Antenna Kathrein	Downtilt Mecc.	Downtilt elettrico	Potenza al connettore per settore (W)
GSM	45° N	34,0	742270	3°	0°	40,00
	185° N	34,0	742270	3°	0°	40,00
	315° N	34,0	742270	3°	0°	40,00
DCS	45° N	32,0	742271	3°	0°	40,00
	185° N	32,0	742271	3°	0°	40,00
	315° N	32,0	742271	3°	0°	40,00
UMTS	45° N	30,0	742212	3°	0°	20,00
	185° N	30,0	742212	3°	0°	20,00
	315° N	30,0	742212	3°	0°	20,00

\*: altezza del centro elettrico dal suolo – la base del sito è posta a 111 metri s.l.m.

Le sezioni verticali scelte, sono: 1) 40° N; 2) 98° N; 3) 215° N;

In figura 2.6.6 è riportata una visione tridimensionale della zona intorno all’antenna con indicate le direzioni individuate per il calcolo del FIAE.



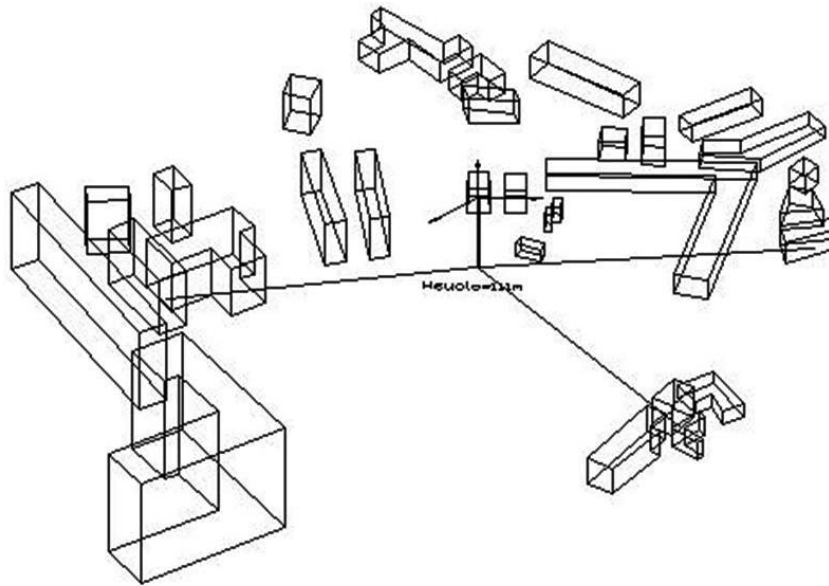


Fig. 2.6.6.–Tavernelle SRB attiva. Visione tridimensionale.

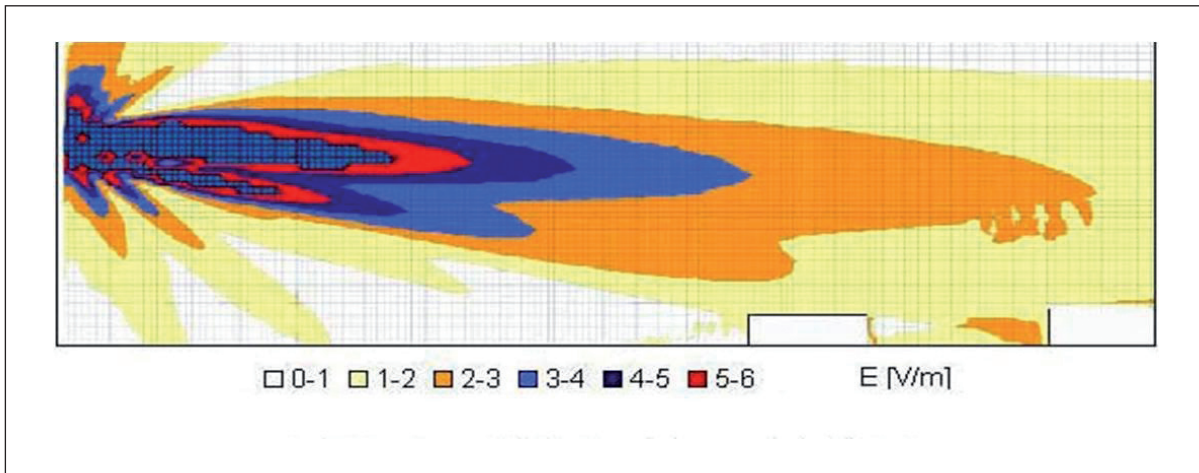


Figura 2.6.7 – Tavernelle SRB attiva. Sezione verticale 40° Nord

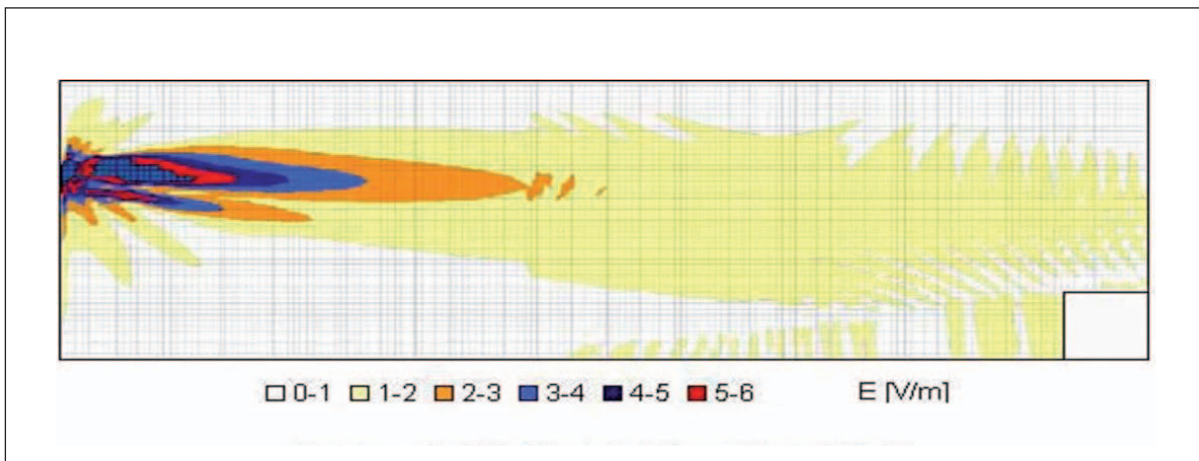
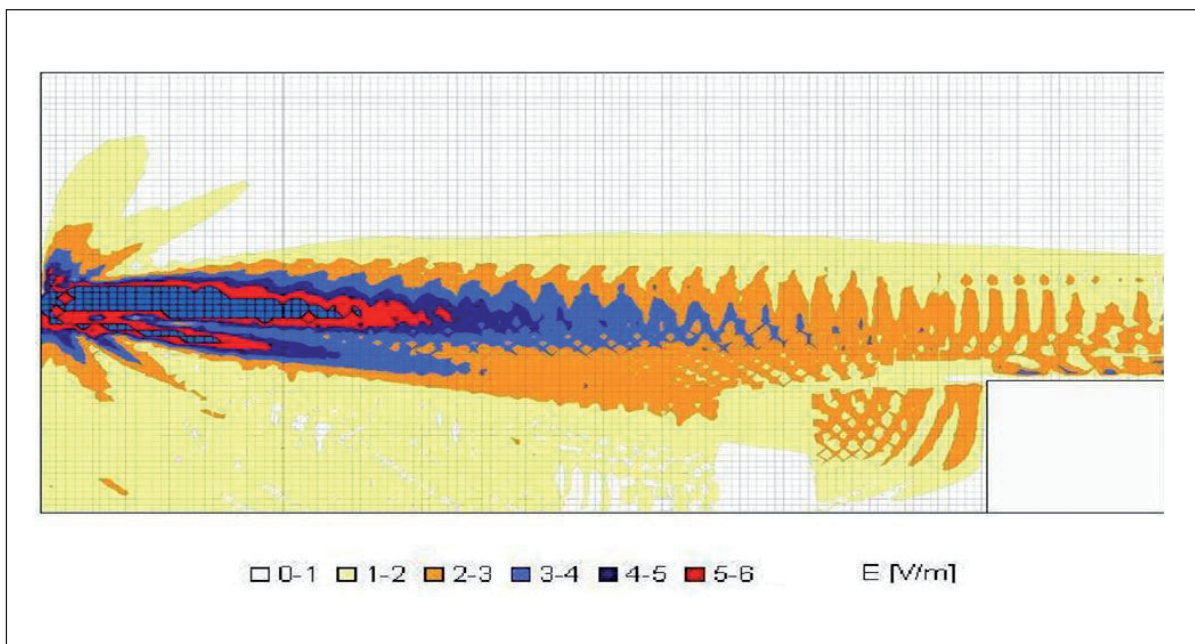


Figura 2.6.8 – Tavernelle SRB attiva. Sezione verticale 98° Nord



**Figura 2.6.9 – Tavernelle SRB attiva. Sezione verticale 215° Nord**

Anche per questo caso vengono riportati i grafici (figure 2.6.7 – 2.6.8 – 2.6.9) dell'andamento del campo elettrico calcolato, dal quale vengono ricavati i parametri per il FIAE, di seguito riportati nelle Tabelle 2.6.5. e 2.6.6.

**Tabella 2.6.5. Percentuali di punti di campo nei diversi intervalli**

Intervalli di campo [V/m]	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6
Percentuale campioni di campo Figura 7.7	51	47	2	0	0	0
Percentuale campioni di campo Figura 2.6.8	53	47	0	0	0	0
Percentuale campioni di campo Figura 2.6.9	33	49	14	4	0	0

**Tabella 2.6.6. Parametri per il calcolo del FIAE e FIAE**

Parametri	Dw	<E>	$\sigma^2$	$L_D$	$L_{<E>}$	$L_\sigma$	FIAE
Figura 2.6.7	51	1	0.28	1	1	0	25
Figura 2.6.8	47	0.97	0.25	0	4	0	17
Figura 2.6.9	89	1.23	0.58	1	3	1	<b>34</b>

Nella tabella 2.6.6 è evidenziato il valore del FIAE finale della SRB considerata, che corrisponde al peggiore tra quelli calcolati.

### Tavernelle – AN: parcheggio liceo

Nel presente paragrafo vengono illustrati i risultati delle simulazioni, ottenuti per il sito ubicato a Tavernelle, nel nuovo parcheggio posto lungo la strada che porta dal liceo scientifico “G. Galilei”, all’ingresso della Facoltà di Ingegneria. Di seguito, si riassumono le caratteristiche più importanti dell’impianto, utilizzate per la simulazione.

**Tabella 2.6.7. Tavernelle parcheggio. Caratteristiche tecniche dell’impianto.**

Tipo di Sistema	Direzione di Puntamento	H* centro elettrico [m]	Modello Antenna Kathrein	Downtilt Mecc.	Downtilt elettrico	Potenza al connettore per settore (W)
GSM	30° N	34,0	742270	3°	0°	40,00
	160° N	34,0	742270	3°	0°	40,00
	285° N	34,0	742270	3°	0°	40,00
DCS	30° N	32,0	742271	3°	0°	40,00
	160° N	32,0	742271	3°	0°	40,00
	285° N	32,0	742271	3°	0°	40,00
UMTS	30° N	30,0	742212	3°	0°	20,00
	160° N	30,0	742212	3°	0°	20,00
	285° N	30,0	742212	3°	0°	20,00

\*: altezza del centro elettrico dal suolo – la base del sito è posta a 130 metri s.l.m.

Le sezioni verticali scelte, sono:

- 1) 37° N;
- 2) 121° N;
- 3) 248° N;
- 4) 268° N.

In Figura 2.6.10 è riportata una visione tridimensionale della zona intorno all'antenna, con indicate le direzioni individuate per il calcolo del FIAE.

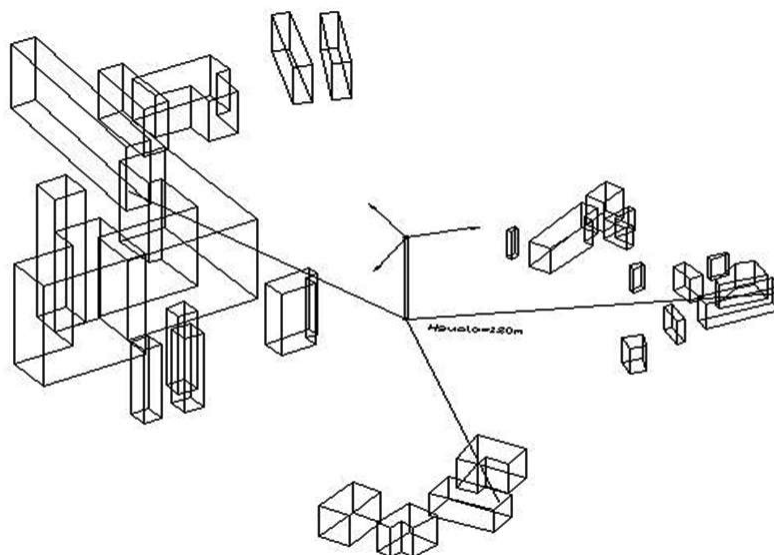


Fig. 2.6.10 Tavernelle parcheggio. Visione tridimensionale

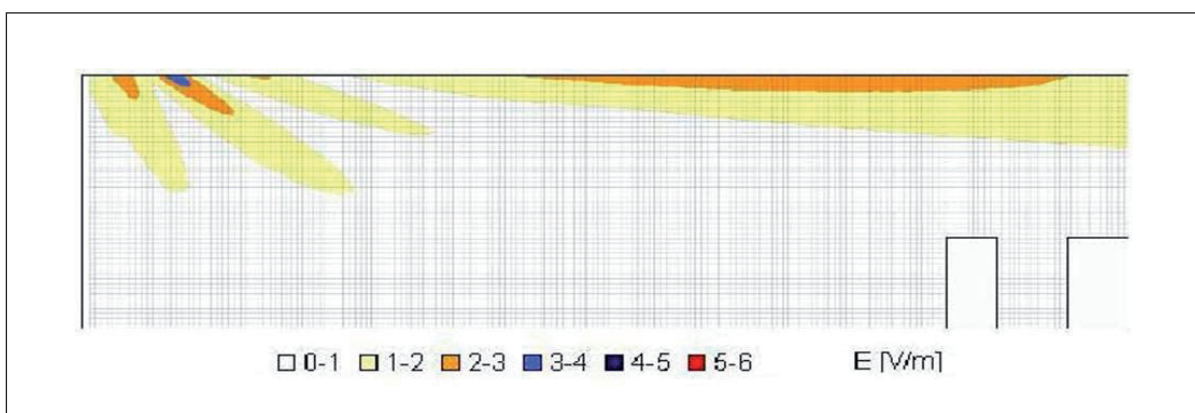


Fig. 2.6.11.- Tavernelle parcheggio. Sezione verticale 37° Nord.

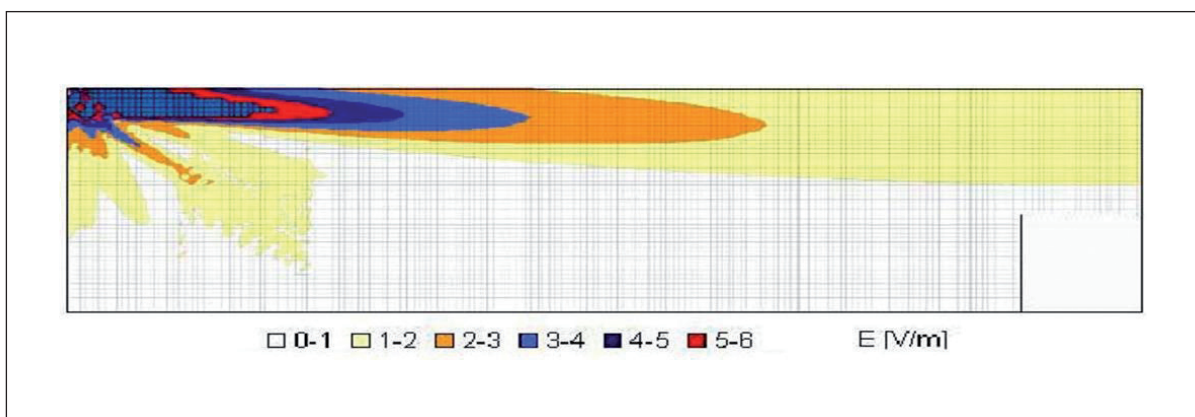


Fig. 2.6.12.- Tavernelle parcheggio. Sezione verticale 121° Nord.

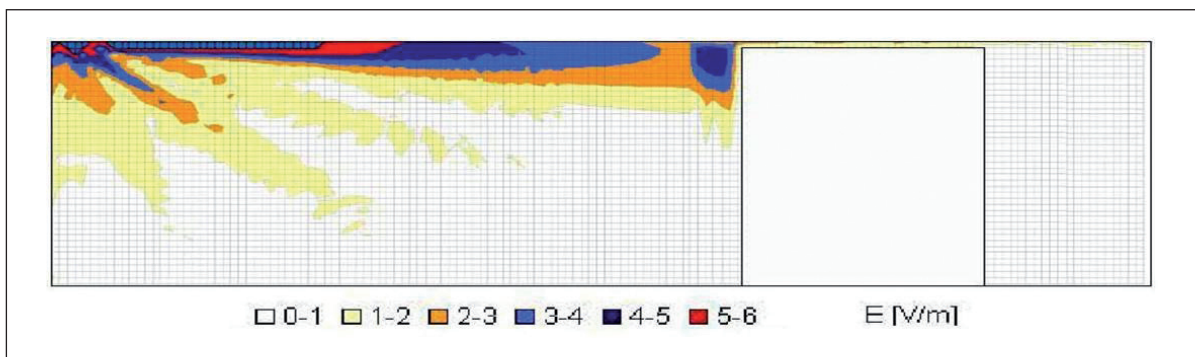


Fig. 2.6.13 Tavernelle parcheggio. Sezione verticale 248° Nord.

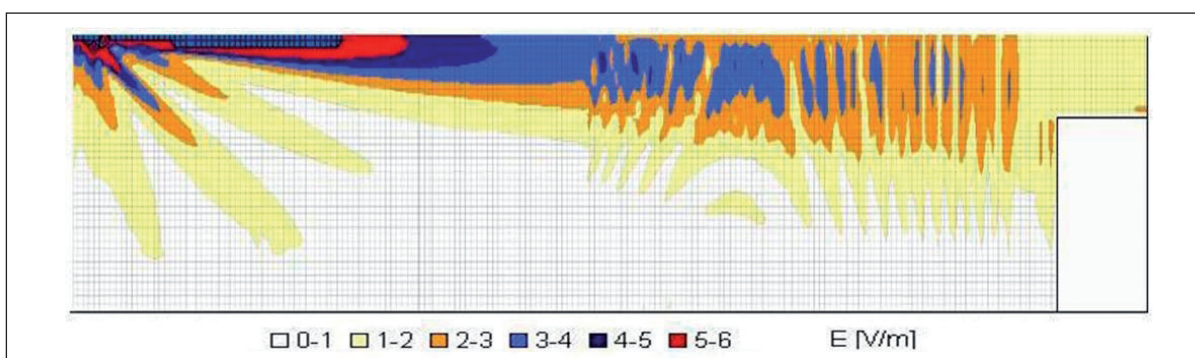


Fig. 2.6.14.- Tavernelle parcheggio. Sezione verticale 268° Nord.

Anche per questo caso vengono riportati i grafici (fig. 2.6.11. - 2.6.12 - 2.6.13) dell'andamento del campo elettrico calcolato, dal quale vengono ricavati i parametri per il FIAE, di seguito riportati nelle Tabelle 2.6.8 e 2.6.9. Si nota subito che nella direzione 37°N (fig. 2.6.11) il campo non è particolarmente significativo, per cui si procede a calcolare il FIAE solamente per gli altri piani verticali.

Tabella 2.6.8 Percentuali di punti di campo nei diversi intervalli

Intervalli di campo [V/m]	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6
Percentuale campioni di campo Figura 2.6.12	100	0	0	0	0	0
Percentuale campioni di campo Figura 2.6.13	67	23	3	5	2	0
Percentuale campioni di campo Figura 2.6.14	83	13	4	0	0	0

**Tabella 2.6.9 Parametri per il calcolo del FIAE e FIAE**

Parametri	$D_w$	$\langle E \rangle$	$\sigma^2$	$L_D$	$L_{\langle E \rangle}$	$L_\sigma$	FIAE
Figura 2.6.12	0	0.41	$\sim 0$	0	0	0	1
Figura 2.6.13	52	1.15	0.72	1	2	1	<b>30</b>
Figura 2.6.14	21	0.87	0.17	0	3	0	13

Nella tabella 2.6.9. è evidenziato il valore del FIAE finale della SRB considerata, che corrisponde al peggiore tra quelli calcolati.

**Tavernelle – AN: prato**

Vengono di seguito illustrati i risultati delle simulazioni, ottenuti per il sito ubicato a Tavernelle, nel terreno posto in prossimità dell'ingresso/uscita dell'asse attrezzato. In tabella 2.6.10. si riassumono le caratteristiche salienti dell'impianto, utilizzate per la simulazione.

**Tabella 2.6.10. –Tavernelle prato. Caratteristiche tecniche dell'impianto.**

Tipo di Sistema	Direzione di Puntamento	H* centro elettrico [m]	Modello Antenna Kathrein	Downtilt Mecc.	Downtilt elettrico	Potenza al connettore per settore (W)
GSM	30° N	34,0	742270	3°	0°	40,00
	160° N	34,0	742270	3°	0°	40,00
	285° N	34,0	742270	3°	0°	40,00
DCS	30° N	32,0	742271	3°	0°	40,00
	160° N	32,0	742271	3°	0°	40,00
	285° N	32,0	742271	3°	0°	40,00
UMTS	30° N	30,0	742212	3°	0°	20,00
	160° N	30,0	742212	3°	0°	20,00
	285° N	30,0	742212	3°	0°	20,00

\*: altezza del centro elettrico dal suolo – la base del sito è posta a 126 metri s.l.m.

Le sezioni verticali scelte, sono:

203° N;

277° N;

302° N.

In figura 2.6.15 sono riportate le sezioni orizzontali e verticali dove è stato effettuato il calcolo; il quadrante N-E della figura è stato escluso dal calcolo con i piani verticali perché gli edi-

fici si trovano a quote molto inferiori rispetto al piede dell'antenna e quindi poco significativi in termini di FIAE. Nel quadrante S-O sono invece indicate le direzioni individuate per il calcolo del FIAE.

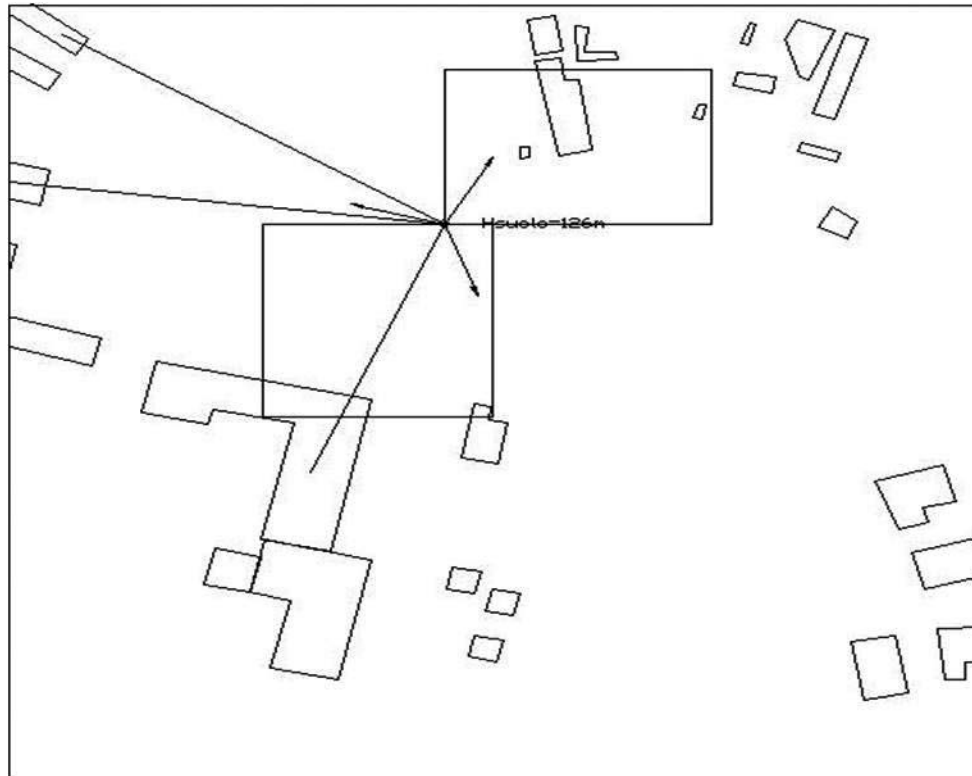


Figura 2.6.15 – Tavernelle prato. Sezioni orizzontali e verticali dove è stato effettuato il calcolo

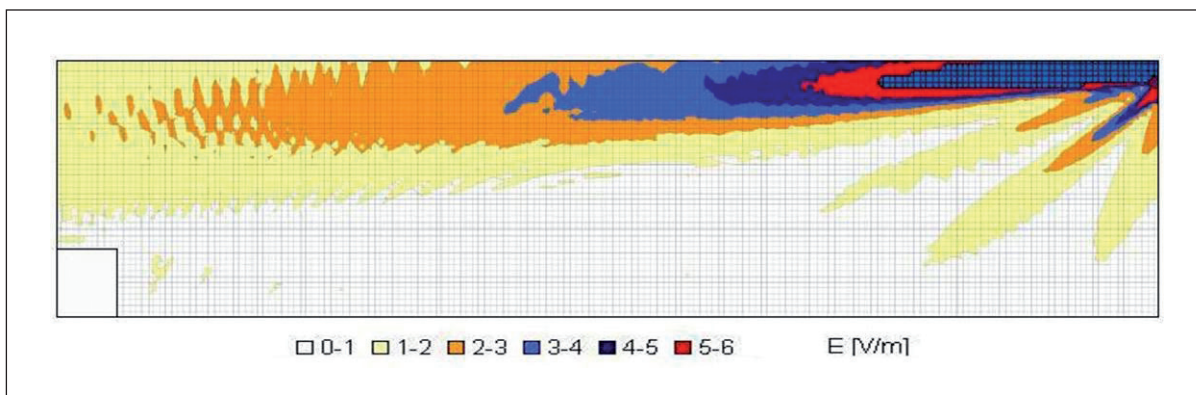
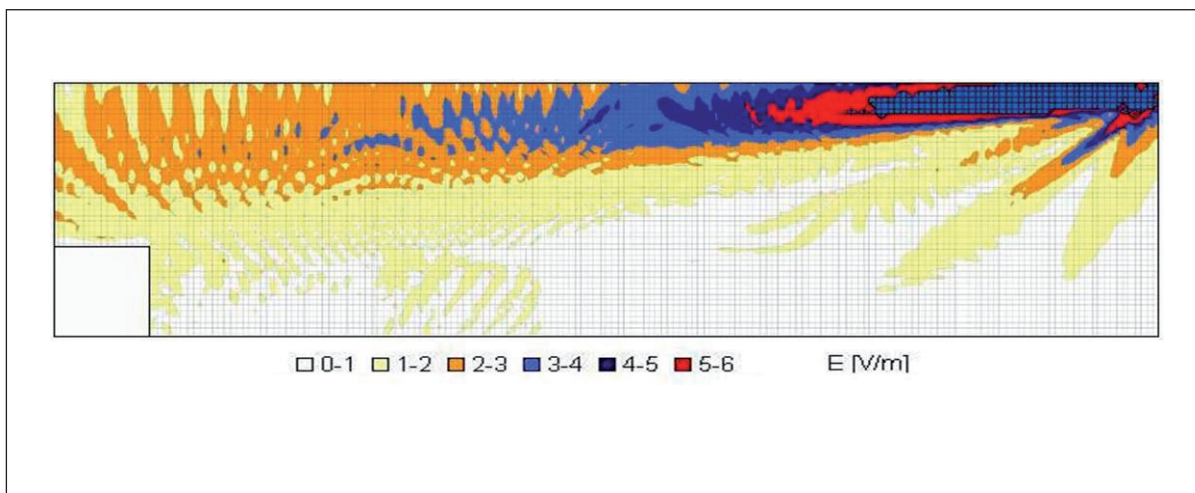
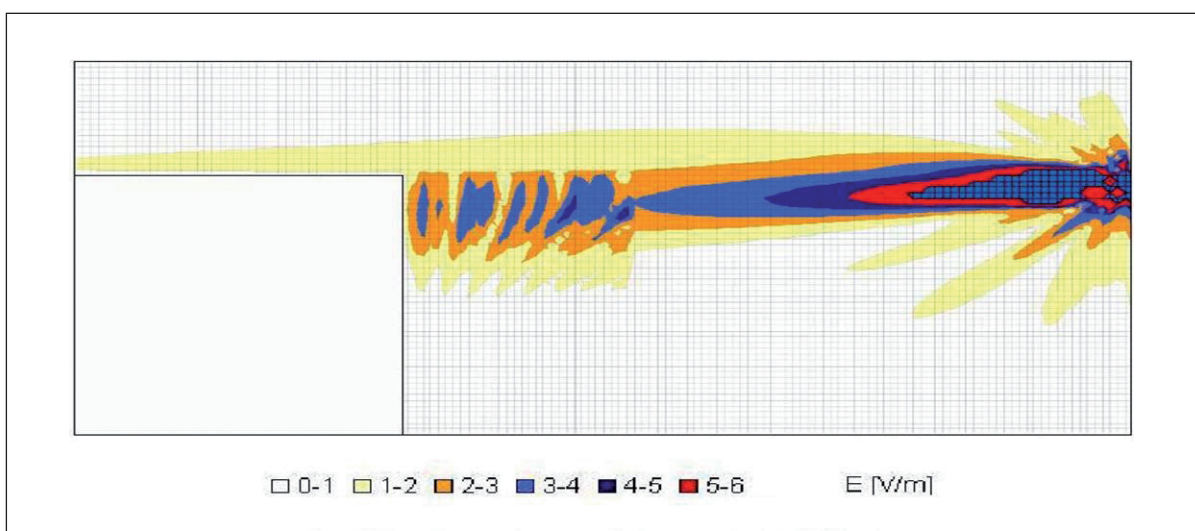


Figura 2.6.16 – Tavernelle prato.



**Figura 2.6.17 – Tavernelle prato. Sezioni orizzontali e verticali dove è stato effettuato il calcolo**



**Figura 2.6.18 – Tavernelle prato. Sezioni orizzontali e verticali dove è stato effettuato il calcolo**

Anche per questo caso vengono riportati i grafici (fig. 2.6.16 – 2.6.17 - 2.6.18) dell'andamento del campo elettrico calcolato, dal quale vengono ricavati i parametri per il FIAE, di seguito riportati nelle Tabelle 2.6.11 e 2.6.12.



**Tabella 2.6.11. Percentuali di punti di campo nei diversi intervalli**

Intervalli di campo [V/m]	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6
Percentuale campioni di campo Figura 2.6.16	97	3	0	0	0	0
Percentuale campioni di campo Figura 2.6.17	71	29	0	0	0	0
Percentuale campioni di campo Figura 2.6.18	66	26	8	0	0	0

**Tabella 2.6.12. Parametri per il calcolo del FIAE e FIAE**

Parametri	Dw	<E>	$\sigma^2$	$L_D$	$L_{<E>}$	$L_\sigma$	FIAE
Figura 2.6.16	3	0.62	0.015	0	1	0	5
Figura 2.6.17	29	0.88	0.15	0	3	0	13
Figura 2.6.18	42	1.17	0.31	0	4	0	17

***Tavernelle – AN: tetto edificio***

Vengono di seguito illustrati i risultati delle simulazioni, ottenuti per il sito ubicato a Tavernelle, sul tetto di un edificio; il palazzo esaminato si trova lungo la strada senza sbocco di fronte al capolinea degli autobus; si è supposto di installare le antenne su di una palina in modo che il centro elettrico sia posto 6 metri sopra la gronda dello stabile stesso. In tabella 2.6.13 si riassumono le caratteristiche salienti dell'impianto, utilizzate per la simulazione.

**Tabella 2.6.13 –Tavernelle tetto edificio. Caratteristiche tecniche dell'impianto.**

Tipo di Sistema	Direzione di Puntamento	H* centro elettrico [m]	Modello Antenna Kathrein	Downtilt Mecc.	Downtilt elettrico	Potenza al connettore per settore (W)
GSM	70° N	6,0	742270	3°	0°	40,00
	200° N	6,0	742270	3°	0°	40,00
	310° N	6,0	742270	3°	0°	40,00
DCS	70° N	6,0	742271	3°	0°	40,00
	200° N	6,0	742271	3°	0°	40,00
	310° N	6,0	742271	3°	0°	40,00
UMTS	70° N	6,0	742212	3°	0°	20,00
	200° N	6,0	742212	3°	0°	20,00
	310° N	6,0	742212	3°	0°	20,00

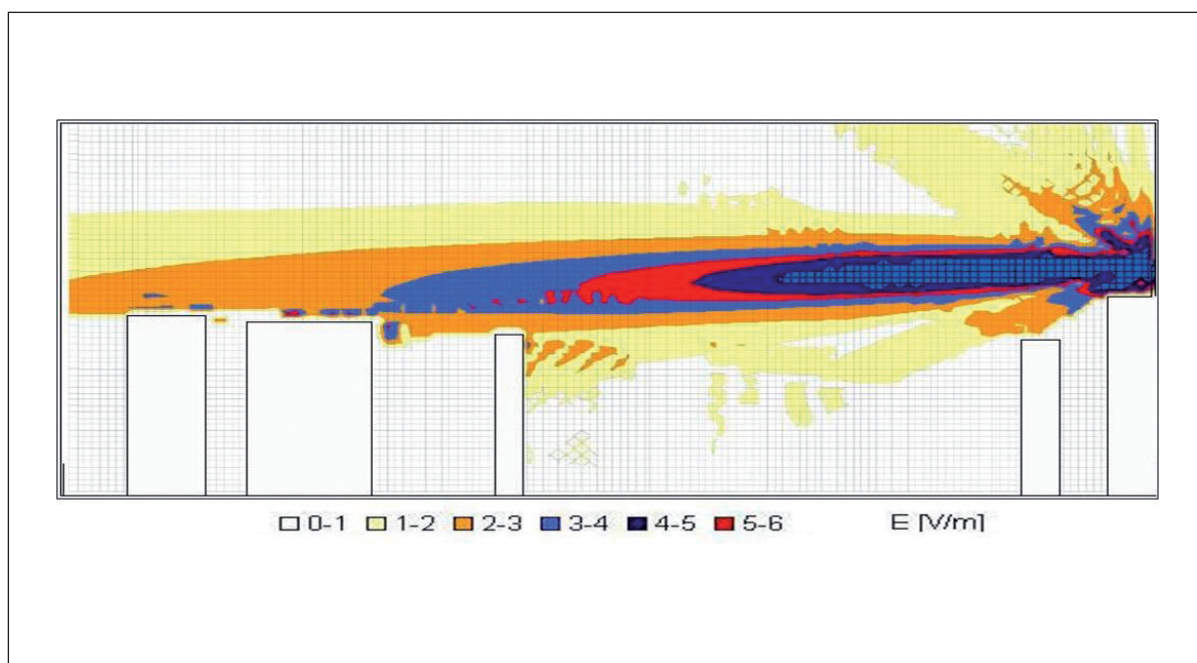
\*: altezza del centro elettrico dalla gronda dell'edificio che ospita il sito – la gronda dell'edificio è posta a 122 metri s.l.m.

Le sezioni verticali scelte sono:

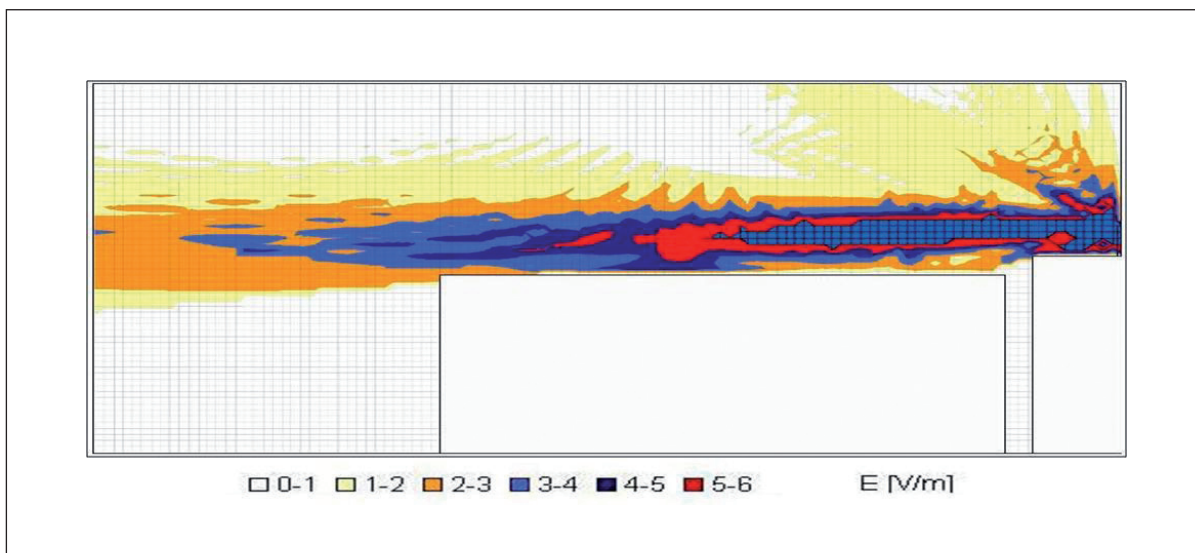
93° N;

169° N;

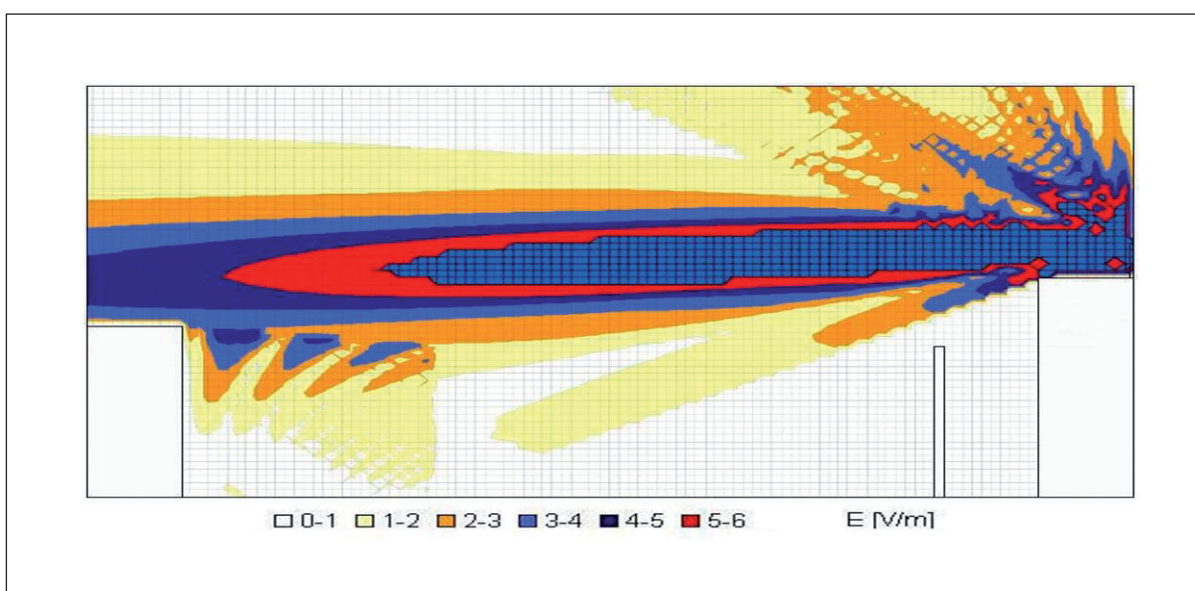
323° N.



**Figura 2.6.19 – Tavernelle tetto edificio. Sezione verticale 93° Nord**



**Figura 2.6.20 – Tavernelle tetto edificio. Sezione verticale 169° Nord**



**Figura 2.6.21 – Tavernelle tetto edificio. Sezione verticale 323° Nord**

Anche per questo caso vengono riportati i grafici (figure 2.6.19-2.6.20 - 2.6.21) dell'andamento del campo elettrico calcolato, dal quale vengono ricavati i parametri per il FIAE, di seguito riportati nelle Tabelle 2.6.14 e 2.6.15.

**Tabella 2.6.14. Percentuali di punti di campo nei diversi intervalli**

Intervalli di campo [V/m]	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6
Percentuale campioni di campo Figura 2.6.20	49	6	21	20	4	0
Percentuale campioni di campo Figura 2.6.21	0	0	51	35	9	5
Percentuale campioni di campo Figura 2.6.22	39	23	11	23	4	0

**Tabella 2.6.15 Parametri per il calcolo del FIAE e FIAE**

Parametri	$D_w$	$\langle E \rangle$	$\sigma^2$	$L_D$	$L_{\langle E \rangle}$	$L_\sigma$	FIAE
Figura 2.6.20	124	1.88	1.42	2	3	2	55
Figura 2.6.21	268	3.31	0.46	4	3	0	<b>93</b>
Figura 2.6.22	130	2.01	1.21	2	4	2	59

Nella tabella 2.6.15 è evidenziato il valore del FIAE finale della SRB considerata, che corrisponde al peggiore tra quelli calcolati

### 2.6.3 Considerazioni conclusive

La Figura 2.6.22 riporta la sintesi di quanto calcolato nei paragrafi precedenti.

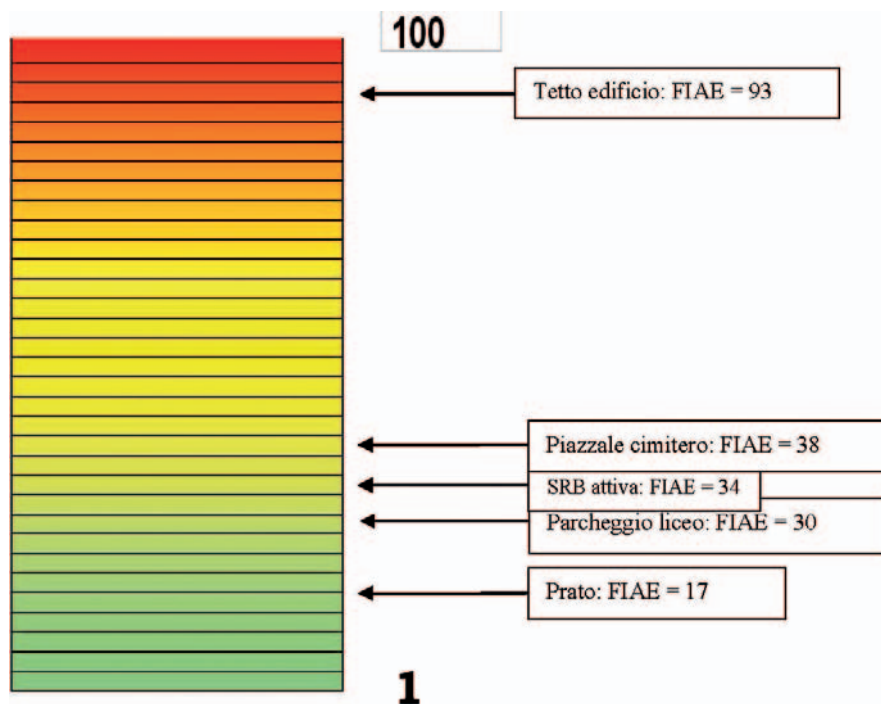


Figura 2.6.22 Confronto valori di FIAE per le situazioni analizzate

La scelta finale, nell'ambito dello studio commissionato dal Comune di Ancona all'ICEmB, è stata quella che riporta il nome di "SRB attiva", come si può facilmente evincere dai nomi dati ai siti. L'analisi a posteriori effettuata tramite il FIAE ci permette di ottenere una valutazione quantitativa dell'impatto ambientale elettromagnetico, precedentemente lasciata ad un esame visivo delle distribuzioni di campo. Questo studio evidenzia che, rispetto al sito scelto, il parametro FIAE ci fornisce posizionamenti a minor impatto; come però specificato precedentemente, in questo caso non si è tenuto conto di altri parametri che invece hanno guidato la scelta durante lo studio per il Comune di Ancona, come informazioni relative alla qualità del servizio fornite dai gestori e la possibilità di utilizzare un palo per l'illuminazione pubblica già esistente riducendo, quindi l'impatto visivo.

## 2.7 Conclusioni

Dopo avere esaminato diverse possibili metodologie per la riduzione delle emissioni di campo elettromagnetico, basate sulla diminuzione della potenza fornita, modifica del fascio di irradiazione, modifica della direzione di puntamento, variazione dell'altezza del centro elettrico, recinzione del sito, co-siting, delocalizzazione degli impianti, sono emerse delle considerazioni interessanti.

L'interesse sembra fortemente polarizzato sul possibile impatto delle Stazioni Radio Base per telecomunicazioni, mentre sono trascurati tutti gli altri impianti, quali, ad esempio, quelli per

---

il broadcasting radiotelevisivo. Sebbene iniziative per la comunicazione e la formazione, in particolare verso la popolazione, siano presenti in modo discontinuo su tutto il territorio nazionale, non sembra di intravedere alcuna forma di coordinamento o di gestione strutturata a più livelli (dal comune, alla provincia, alla regione, ecc..).

Risulta, quindi, assolutamente necessaria ed improrogabile la progettazione di un protocollo quadro, a livello nazionale, che possa essere di riferimento per tutte le autorità pubbliche che si trovano ad affrontare problematiche di questo tipo.

Dopo aver messo a fuoco alcuni aspetti tecnologici rilevanti per la minimizzazione delle emissioni elettromagnetiche da parte di sorgenti per sistemi di telefonia mobile, a parità della qualità del servizio e dell'efficienza, sono stati esposti i principali criteri ispiratori per l'elaborazione di linee guida per la procedura di minimizzazione. Sono stati identificati dei prerequisiti per qualunque procedura, quali ad esempio la disponibilità di un archivio delle sorgenti elettromagnetiche, dei regolamenti comunali, la possibilità di usare strumenti software per la stima numerica delle distribuzioni di campo e la disponibilità dei piani di espansione dei gestori. A seguito di un'analisi dell'attività già svolta, sia a livello nazionale che internazionale, e tenendo in considerazione le necessità specifiche del territorio italiano, sono state predisposte delle linee-guida operative per il best-siting degli impianti. Tali linee-guida possono rappresentare una sorta di standard nella determinazione del "miglior posizionamento degli impianti", per garantire trasparenza nello sviluppo delle reti di tali impianti e un corretto coinvolgimento, oltre che degli operatori del settore, anche delle autorità e della popolazione.

Focalizzando l'attenzione sul best-siting, inteso come scelta del posizionamento di una o più Stazioni Radio Base, coniugando esigenze di salvaguardia dell'ambiente e della salute della popolazione con quelle dei gestori, deve essere visto come una vera e propria procedura basata su più passi.

Quando i piani di sviluppo delle rete telefonica di un determinato gestore vengono a contemplare una determinata area geografica, le relative amministrazioni comunali devono individuare le zone ritenute più idonee, qui ovviamente nasce la questione sulla definizione condivisa del concetto di idoneità. Su questa base viene effettuata la fase di sviluppo del progetto da parte dell'operatore. Sulla base delle caratteristiche degli impianti (diagrammi d'antenna, potenza, direzione di irradiazione) e delle caratteristiche del sito (coordinate, altezza, traliccio ecc.) viene fatta seguire una fase di analisi intesa come valutazione del campo elettromagnetico prodotto da tutti gli impianti presenti sul territorio, mediante l'utilizzo di modelli previsionali in spazio libero. Successivamente si progetta una rete di stazioni in base ai piani di sviluppo dei diversi gestori e alle richieste delle amministrazioni comunali. Infine, si effettua una campagna di misure, in banda larga ed in banda stretta per verificare i livelli di campo emessi. L'attività di monitoraggio, intesa come acquisizione continuativa e prolungata nel tempo dell'intensità del campo emesso, sembra essere una soluzione interessante, sebbene costosa, per dare risposte complete e trasparenti alla popolazione, per verificare valori e variabilità dei campi elettromagnetici emessi e per acquisire una grande quantità di dati da utilizzare per indagini statistiche. Su queste basi devono poi partire le attività di consultazione che devono vedere coinvolte tutte le parti interessate, cioè le autorità politico-sanitarie, le popolazioni coinvolte, i gestori, le associazioni dei cittadini.

Un aspetto che è emerso con chiarezza è la mancanza di indicatori che definiscano in modo oggettivo l'impatto ambientale di una sorgente di campo elettromagnetico; la disponibilità di indicatori di questo tipo, condivisi da gestori, enti pubblici preposti alla concessione delle autorizzazioni e popolazione, garantirebbe la necessaria omogeneità di applicazioni dei criteri di best-siting su tutto il territorio nazionale e potrebbe costituire uno strumento efficace per ricercare

---

e verificare la minimizzazione dell'impatto ambientale di un impianto. A tale proposito è stato sviluppato nell'ambito di tale progetto un indicatore di impatto ambientale (FIAE) basato sulla distribuzione del campo elettromagnetico generato da una generica sorgente.

È stata illustrata l'applicazione pratica del FIAE a diverse situazioni realistiche finalizzate alla localizzazione degli impianti in oggetto, in modo da minimizzare l'impatto ambientale elettromagnetico. Oltre l'assoluta semplicità dell'algoritmo, si vuole sottolineare che l'applicazione del FIAE non comporta, né per i gestori, né per le ARPA locali, alcun lavoro aggiuntivo, rispetto a quello attualmente svolto, nell'attività di progettazione per gli uni e di verifica e controllo per gli altri, sia se si tratta di un impianto di telefonia mobile, sia di diffusione radiotelevisiva. Ciò è legato al fatto che il FIAE si basa esclusivamente sulla conoscenza del campo elettromagnetico presente nell'area da analizzare, ma questa è una quantità fisica che i gestori sicuramente valutano al fine di garantire la necessaria qualità del servizio, come pure gli operatori delle ARPA per stimare il rispetto dei livelli di emissione elettromagnetica.

Ma si ritiene che l'obiettivo più ambizioso legato all'adozione di questo strumento, che ha una sua connotazione oggettiva e verificabile, sia in realtà un cambiamento nella filosofia di approccio al problema del best siting: in tal senso il FIAE, diviene lo strumento operativo che deve guidare il passaggio da una situazione di forte conflittualità tra i vari attori, ad una situazione di cooperazione nella determinazione della soluzione migliore. Crediamo che i cittadini siano fortemente interessati ai benefici derivanti dalle nuove tecnologie, legate fatalmente alla necessità di installare nuovi impianti o aggiornare gli esistenti, ma è fondamentale, al di là del mero rispetto dei limiti di campo previsti dalla legge, assicurare agli stessi che "gli addetti ai lavori" operano in modo da garantire il servizio con il minimo impatto ambientale possibile.

In parallelo con l'individuazione dell'indicatore FIAE, è stato quindi necessario tracciare dei passi semplici di un percorso tecnico e sociale (decalogo MONICEM) in grado di agevolare accordi nazionali fra rappresentanti di tutti i soggetti coinvolti, che possano poi facilitare l'articolazione sul territorio a livello locale e possano quindi portare alla stesura di un accordo quadro che, pur non potendo avere sostanza normativa vincolante, dovrebbe rappresentare un impegno per i tutti i soggetti sottoscrittenti, così come per le autorità pubbliche.

Se i suggerimenti presentati e sintetizzati nel decalogo MONICEM saranno accolti e saranno avviate le iniziative conseguenti, sarà essenziale attivare un osservatorio, quale soggetto stabilmente attivo in grado di valutarne l'applicazione pratica con le sue difficoltà e di conseguenza consolidare una procedura virtuosa di ottimizzazione, fino a giungere alla messa a punto di un sistema in grado di stimolare, promuovere e aiutare la diffusione di tali azioni su tutto il territorio nazionale, così divenendo punto di riferimento e camera di compensazione riconosciuti dalle varie parti in causa.

Finito di stampare nel mese di giugno 2011  
dalla Tipolitografia CSR - Via di Pietralata, 157 - 00158 Roma  
Tel. 064182113 (r.a.) - Fax 064506671







ISBN 978-88-448-0486-2



9 788844 804862

RAPPORTI  
134/ 2011