



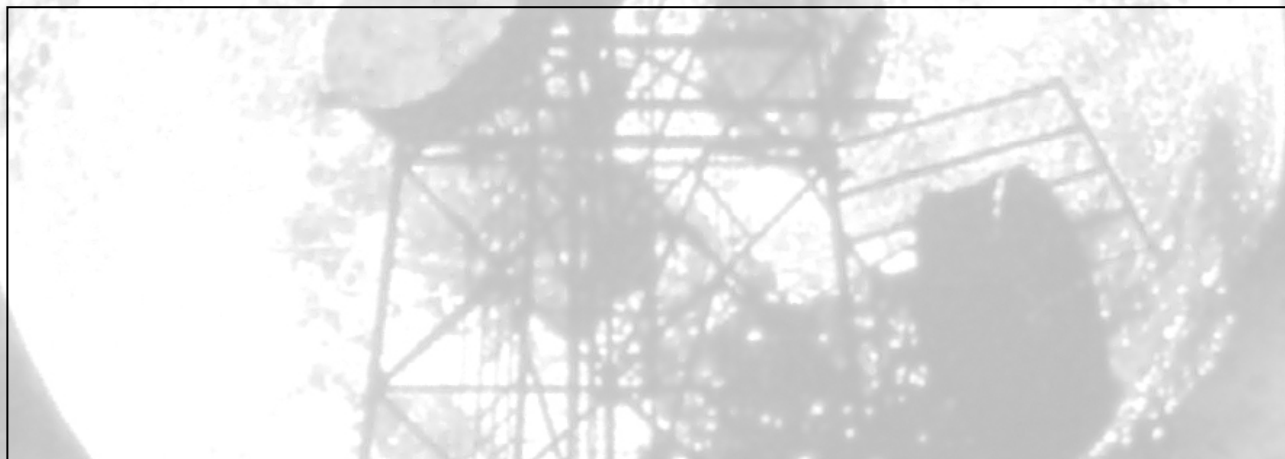
Provincia di Ascoli Piceno

Comune di Fermo

Ufficio Pianificazione Territoriale e Urbanistica
Ufficio Ambiente

PIANO DI RETE PER GLI IMPIANTI DI TELEFONIA MOBILE

Approvato con delibera di Consiglio Comunale n. 10 del 09.02.2007



Oggetto INDIVIDUAZIONE DEI SITI PER STAZIONI RADIO BASE IN COMUNE DI FERMO E VALUTAZIONE IMPATTO AMBIENTALE			Tavola n.
Scala	Data dicembre 2006	Aggiornamento 29/1/2007	
Prof. Roberto De Leo Prof. Graziano Cerri Dipartimento di Elettromagnetismo e Bioingegneria Università Politecnica delle Marche		Visto IL DIRIGENTE URB. Arch. Paolo Strappato IL DIRIGENTE AMBIENTE. Ing. Mauro Fortuna	Prot. Archivio

**Individuazione di siti per
Stazioni Radio Base
in località del Comune di Fermo
e valutazione dell'impatto ambientale**

RELAZIONE TECNICA

Prof. Roberto De Leo, Prof. Graziano Cerri

Dipartimento di Elettromagnetismo e Bioingegneria
Università Politecnica delle Marche
Ancona

1. Introduzione

La valutazione dell'impatto ambientale della radiazione elettromagnetica generata da una Stazione Radio Base (SRB) per telefonia mobile consiste nel calcolo del campo elettromagnetico in prossimità delle antenne trasmettenti, dove il campo ha una intensità maggiore, e nel confronto dei valori ottenuti con quelli previsti dalla normativa.

Il calcolo del campo elettromagnetico può essere effettuato in modo rigoroso risolvendo le equazioni di Maxwell, e, in particolare, per applicazioni legate alla telefonia mobile, si adottano soluzioni asintotiche che utilizzano un approccio basato sulla propagazione a raggi dell'onda elettromagnetica per la descrizione del campo. Questa scelta è legata al fatto che il campo elettromagnetico deve essere calcolato in ambienti particolarmente complessi, si pensi al tessuto urbano di una città, per cui tali tecniche ben si prestano a descrivere i fenomeni elettromagnetici legati alla propagazione del campo, come riflessione dal suolo e dalle pareti degli edifici, diffrazione dai tetti e dagli spigoli degli edifici, effetto di guida dovuto ad una strada cittadina, diffusione da vegetazione. Tali metodi presuppongono però delle informazioni molto dettagliate dell'ambiente: dati geometrici degli edifici (larghezza, lunghezza, altezza) e delle strade, proprietà dielettriche dei materiali con cui sono costruiti e proprietà dielettriche del suolo.

Queste informazioni, qualora note, richiederebbero una elaborazione molto onerosa, per cui, per la valutazione dell'impatto ambientale, verranno qui adottate delle tecniche che, a rigore esatte in un contesto di spazio libero, data la natura dei siti (rurale-suburbani) e l'allocazione degli edifici nella zona di campo lontano delle antenne, possono ben adattarsi alle situazioni analizzate, e comunque fornire risultati sufficientemente accurati; inoltre, una **scelta cautelativa** dei parametri che intervengono nel calcolo, darà una stima dei livelli massimi di campo.

Nel territorio comunale in esame sono già presenti altri impianti di telefonia mobile: per la valutazione complessiva dei livelli di campo, sarà necessario considerare l'effetto di tutte le SRB, e ciò può essere fatto in base a quanto di seguito riportato.

Lo scopo di questa relazione tecnica è quello di: 1) suggerire dei siti nel territorio comunale idonei all'installazione di SRB, sulla base di indicazioni fornite dalle autorità comunali; 2) valutare l'impatto ambientale di SRB allocate in tali siti; 3) stimare la copertura radio.

In mancanza di dati relativi alle caratteristiche specifiche delle stazioni radio base che si intendono installare si farà riferimento a dati tipici per questo tipo di applicazione.

2. Posizionamento delle SRB.

Da sopralluoghi effettuati nel comune di Fermo, sono stati individuate alcune possibili aree per l'installazione di SRB con caratteristiche simili a quelle che saranno analizzate nella sezione 4.

A seguito di tali osservazioni, i tecnici del Comune di Fermo hanno delimitato alcune possibili zone che sono state analizzate per valutare la loro idoneità come siti per SRB

Saranno di seguito considerate:

- centro urbano di Fermo;
- centro urbano costiero;
- zona Capodarco;
- zona Campiglione

2.1 Centro urbano di Fermo

E' innanzitutto da sottolineare che dall'analisi è stato escluso a priori il centro storico della città, non idoneo ad ospitare SRB per l'alto valore storico-architettonico degli edifici. Le aree suggerite dai tecnici comunali sono localizzabili alla periferia della zona urbanizzata lungo le quattro catene collinari che si dipartono dal monte su cui sorge il centro storico.

2.1.1. Zona Cimitero

Da un punto di vista elettromagnetico questa zona si presenta senza particolari problemi, considerando una possibile installazione di SRB nell'area indicata dal punto Q. La mappa di Fig. 2.1.1 riporta anche la direttrice considerata, orientata verso il centro della città; il relativo profilo del collegamento corrispondente alla sezione individuata dal vettore tracciato nella mappa a partire dal punto Q, diretto a circa 125° Sud-Est rispetto alla direzione NORD di riferimento (verticale verso l'alto rispetto al foglio) è mostrato nel grafico in basso. L'origine e la punta del vettore sulla mappa corrispondono rispettivamente alle coordinate 0 e 1400m nel grafico del profilo. Il profilo altimetrico riporta le altezze a livello del suolo e quindi non considera gli edifici, che sono situati lungo il pendio della collina nella regione compresa tra le barre verticali, denominata per questo motivo all'interno del grafico come "zona urbanizzata".

La stessa simbologia sarà utilizzata per tutte le mappe e i profili altimetrici riportati nel seguito della relazione.

Un opportuno traliccio porterebbe la quota delle antenne a circa 230m, che si ritiene accettabile per un'adeguata illuminazione dell'area. La stessa figura evidenzia anche la posizione dello stadio, che potrebbe essere valutata come possibile alternativa: infatti i pali dell'illuminazione, per numero, posizione e altezza sono sicuramente idonei ad ospitare antenne.

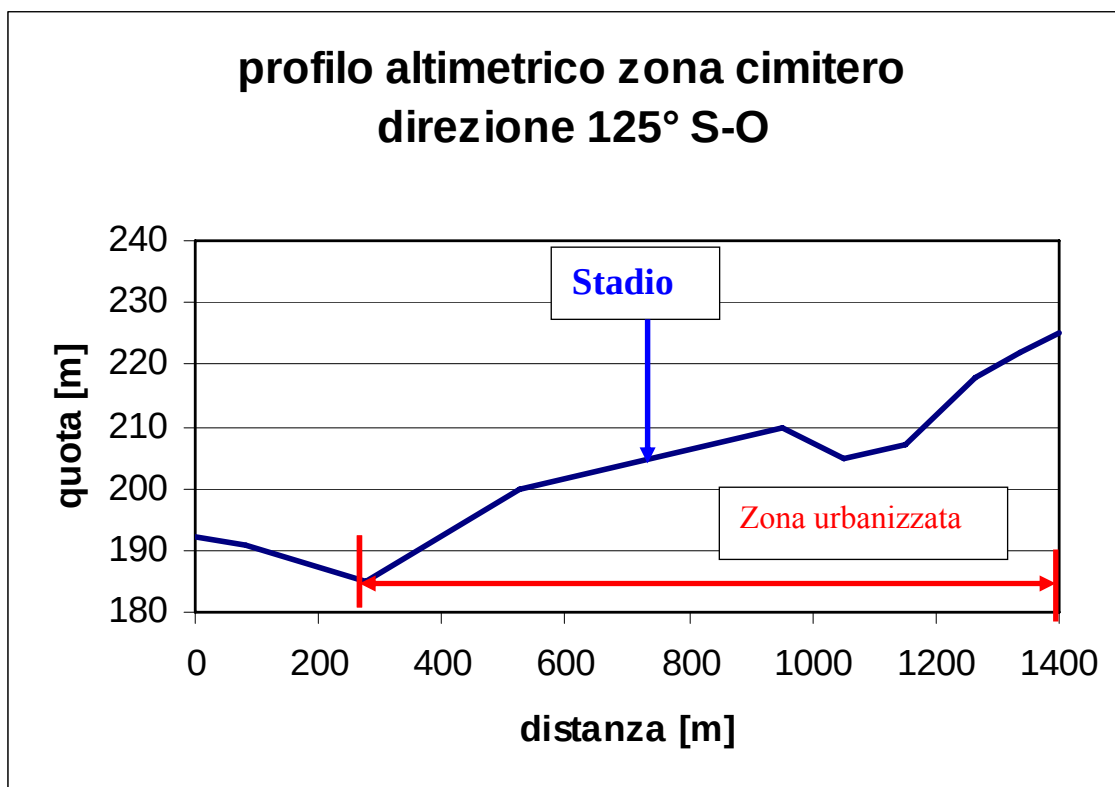
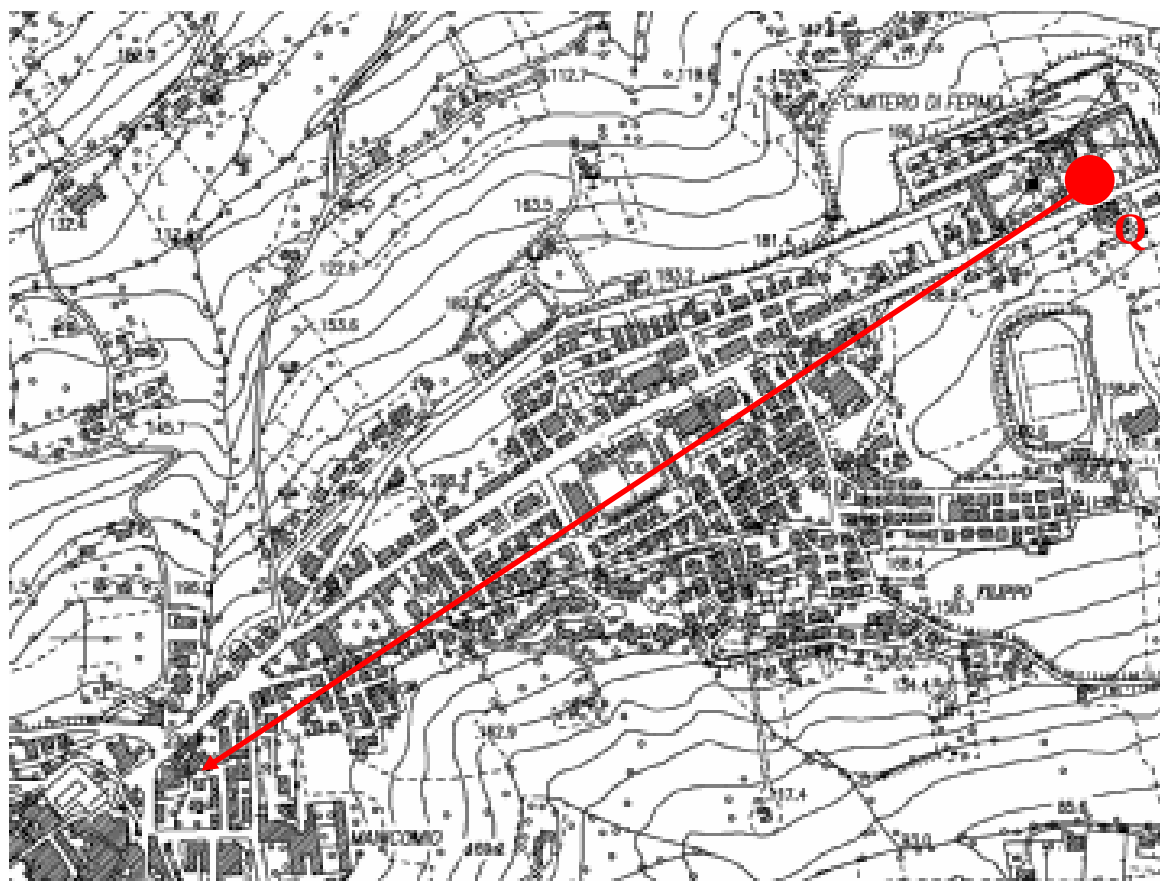


Fig. 2.1.1. Zona cimitero. Figura in alto: mappa con sezione per il tracciamento del profilo nella direzione 125° SUD-OVEST. Figura in basso: profilo del collegamento.

2.1.2. Zona Montagnola

La zona della Montagnola è un sito ideale per il posizionamento di antenne in quanto è un'altura di altezza pari o superiore a quella delle colline circostanti, è scarsamente abitata, e non eccessivamente lontana dalle aree da irradiare. E' questo il motivo per cui ospita già dei siti di antenne. A verifica di queste considerazioni preliminari, anche per questo sito è stata individuata una direttrice che, dalla zona indicata dal punto S della mappa di Fig. 2.1.2, è orientata verso il centro cittadino, supponendo che questa sia la direzione di massima radiazione. Il relativo profilo altimetrico è mostrato nella medesima figura in basso.

E' possibile notare che le aree urbanizzate, comprese tra le barre verticali rosse, sono ad oltre 200m dall'antenna e tutte poste a quote inferiori; solo la piazza antistante il Duomo verrebbe a trovarsi alla medesima quota delle antenne.

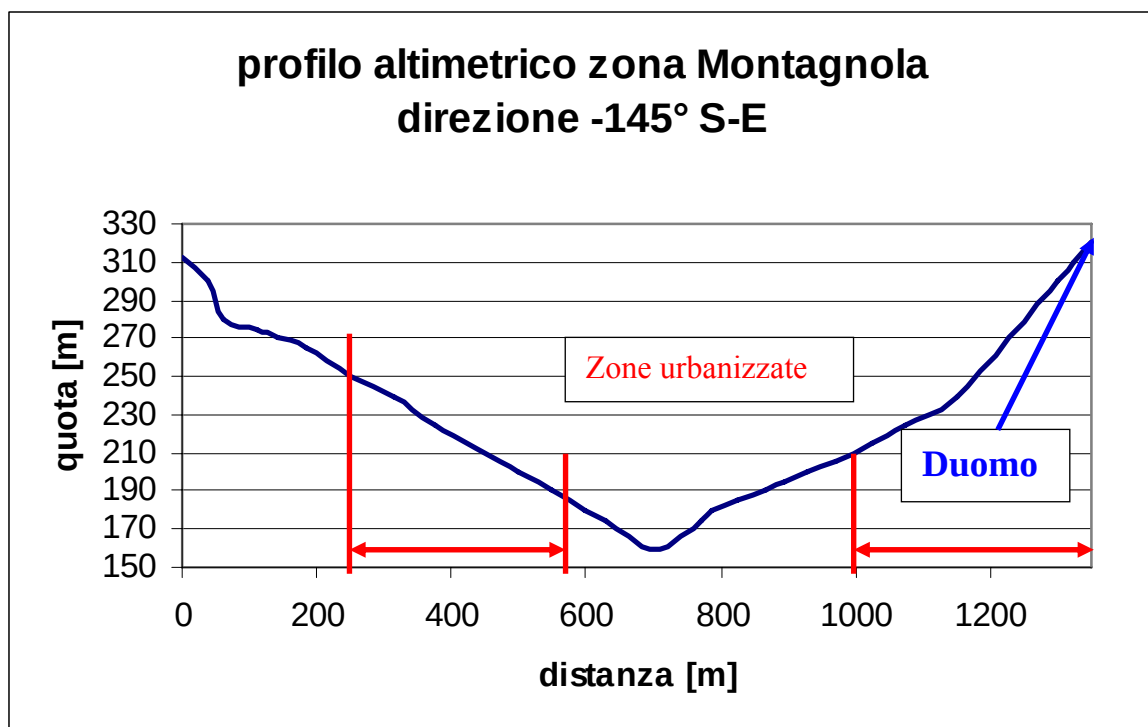
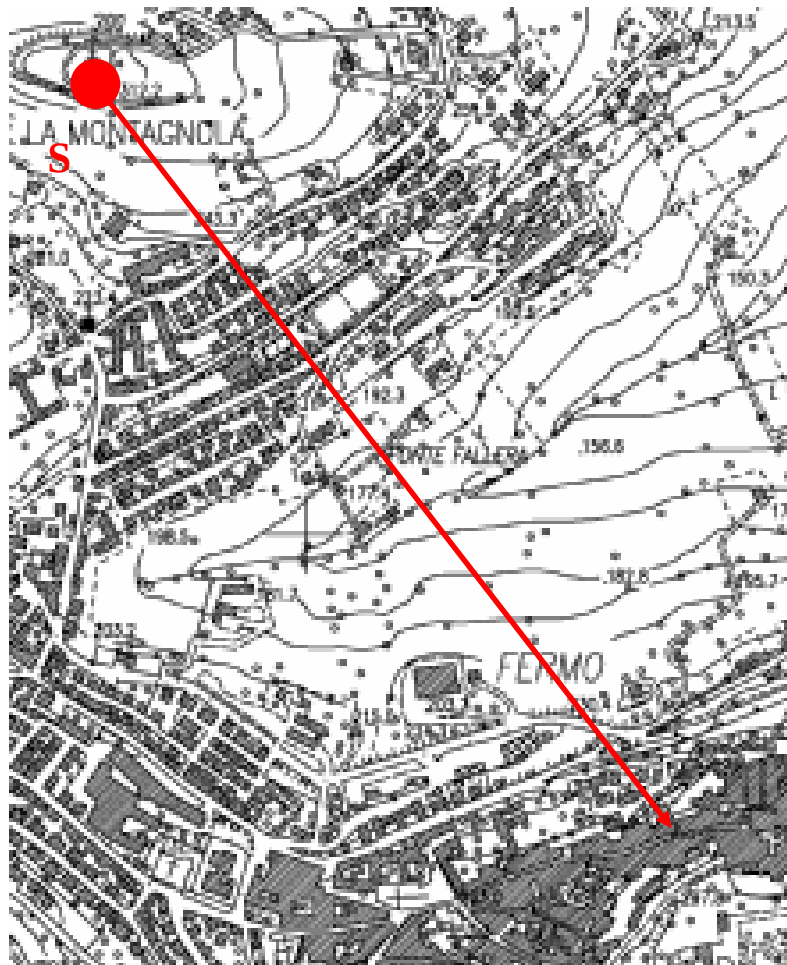


Fig. 2.1.2. Zona Montagnola. Figura in alto: mappa con sezione per il tracciamento del profilo nella direzione -145° SUD-EST. Figura in basso: profilo del collegamento.

2.1.3. Zona Cappuccini

Questa zona è mostrata in Fig. 2.1.3. La mappa riporta il punto T come possibile sito per una SRB, scelto in base agli stessi criteri precedentemente usati per la scelta delle altre possibili sedi di installazione.

In mancanza di input specifici sulla direzione del fascio, è stata evidenziata una eventuale settorizzazione della copertura nelle direzioni individuate dalle direttrici Tx, Ty, Tz, che corrispondono ad illuminazioni verso le zone più edificate.

Come è possibile evincere dai profili altimetrici, Figure 2.1.3.a,b,c, il sito consentirebbe il posizionamento delle antenne ad una quota compresa tra 240m e 250m, più che sufficiente per un'adeguata copertura nelle tre direttrici esaminate.

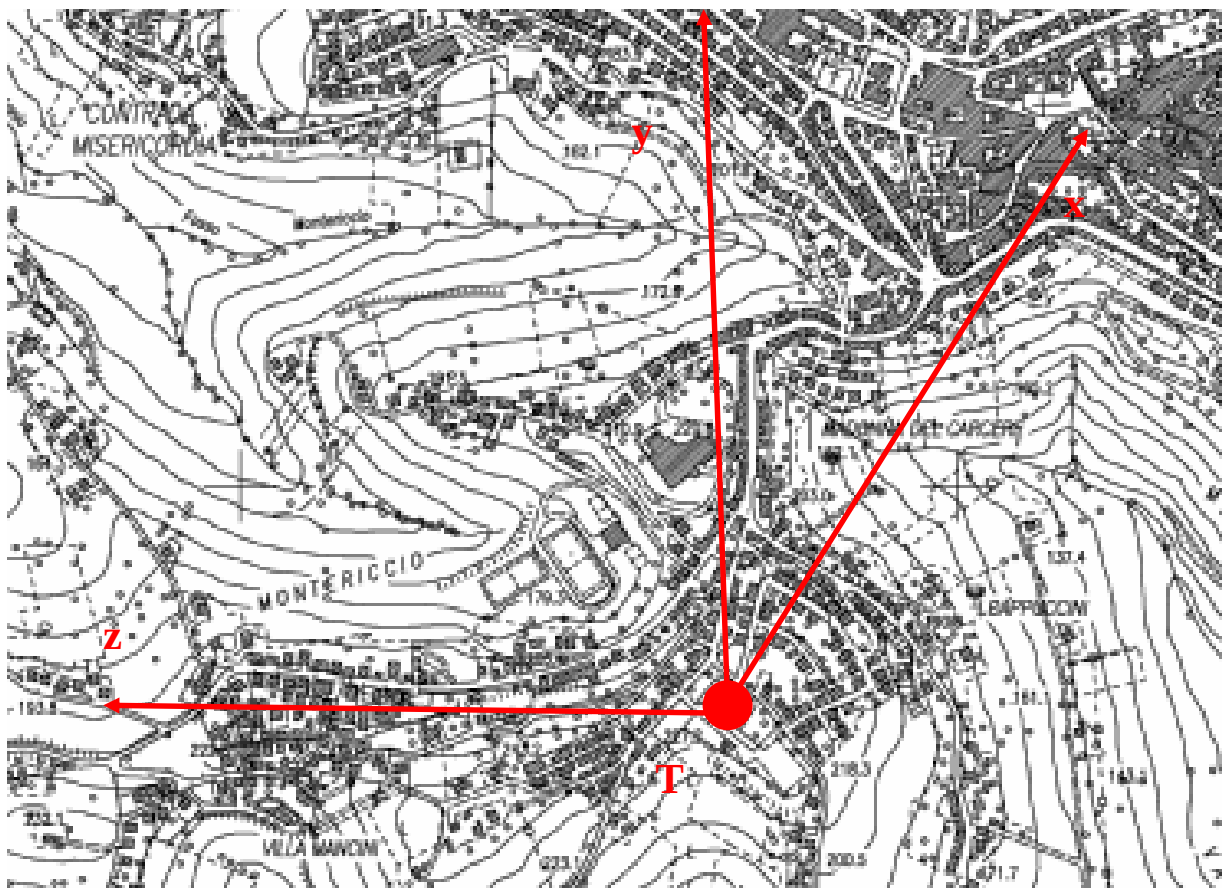


Fig. 2.1.3. Zona Cappuccini. Possibile sito nel punto T. Settorizzazione secondo le direttrici Tx (-38° N-E), Ty (0° N), Tz (90° O).

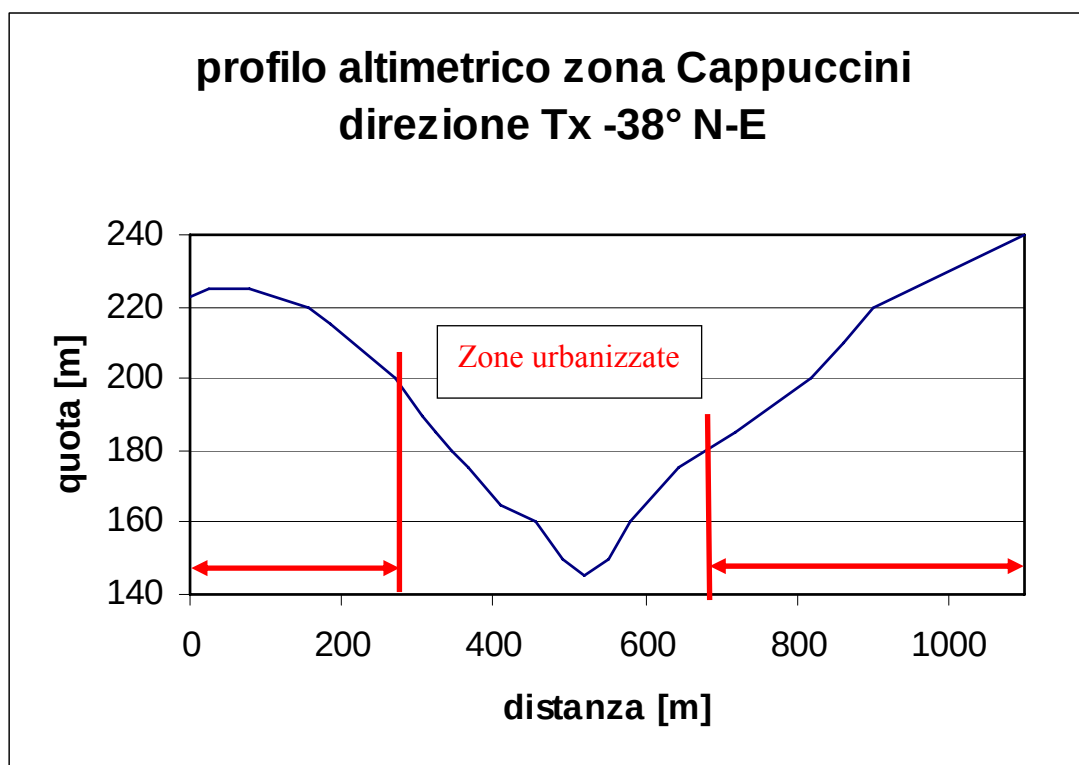


Fig. 2.1.3a. Zona Cappuccini. Profilo del collegamento: direttrice Tx di Fig.2.1.3.

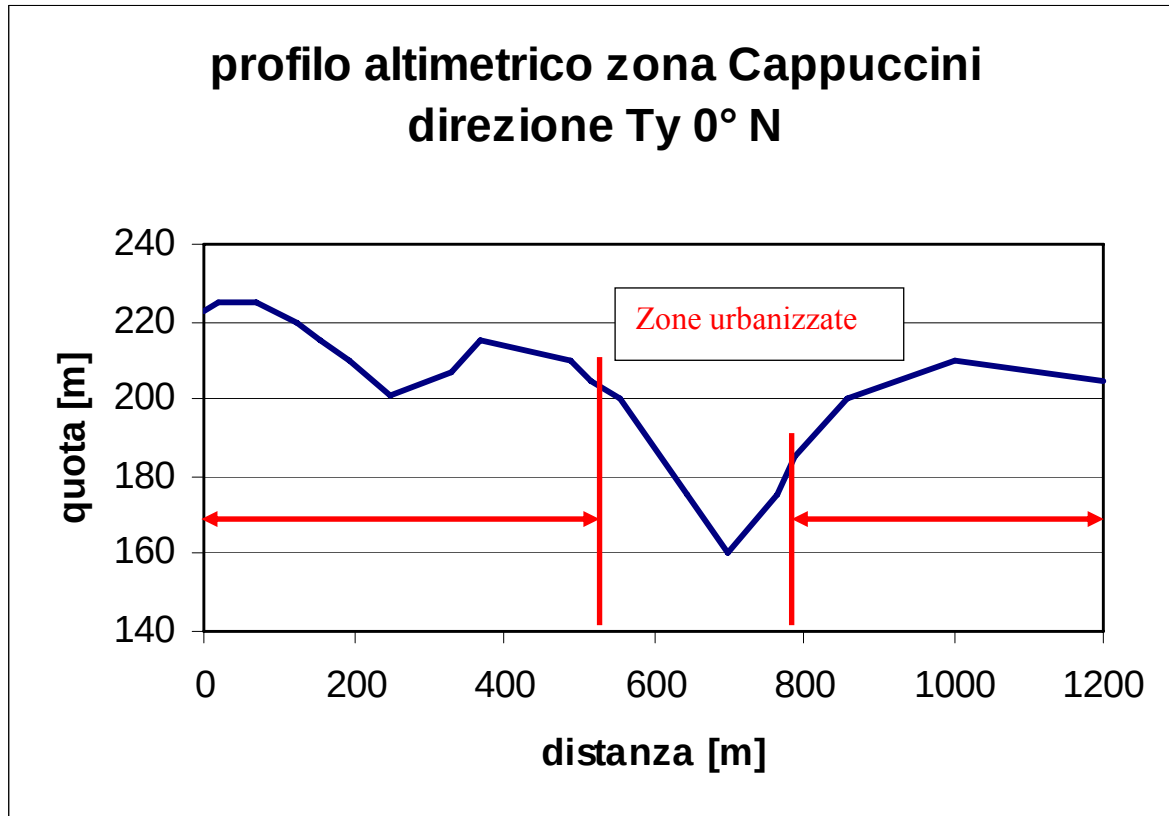


Fig. 2.1.3b. Zona Cappuccini. Profilo del collegamento: direttrice Ty di Fig.2.1.3.

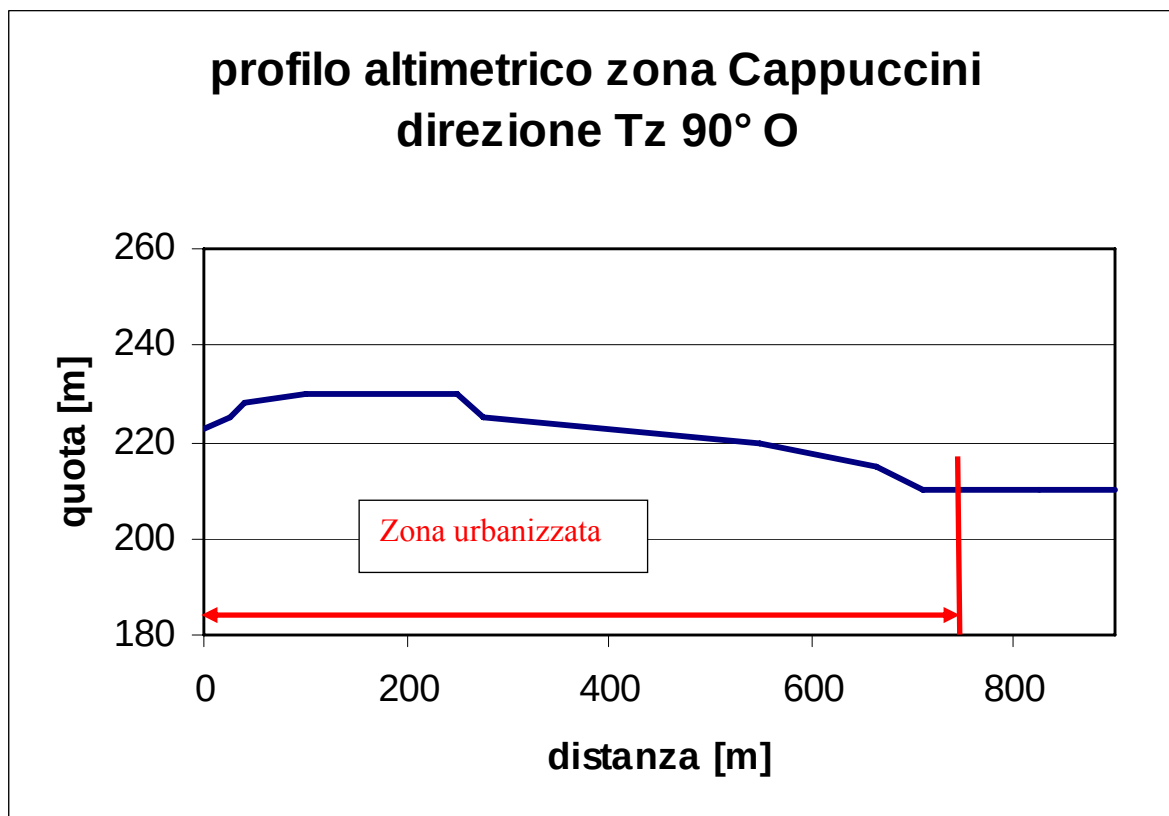


Fig. 2.1.3c. Zona Cappuccini. Profilo del collegamento: direttrice Tz di Fig.2.1.3.

2.1.4. Zona Santa Caterina – Sant’Andrea

Questa zona si estende nella parte SUD-EST del paese; in seguito ad indicazioni avute dall’amministrazione comunale, tutta l’area edificata non è stata presa in considerazione come possibile sito di SRB ed in particolare il crinale della catena collinare, anche se del tutto idoneo; in alternativa è stata presa in esame la possibilità di utilizzare il declivio, ipotizzando l’installazione di SRB ai margini della zona abitata.

La figura 2.1.4a riporta la mappa della zona in esame nella quale è evidenziato un taglio trasversale a circa 18° in direzione NORD-OVEST; il profilo altimetrico corrispondente alla sezione suddetta è mostrato nella figura 2.1.4b. L’origine e la punta del vettore sulla mappa corrispondono rispettivamente alle coordinate 0 e 600m nel grafico del profilo.

E’ evidente che il posizionamento delle antenne sul declivio al di fuori della “zona urbanizzata” rende problematica la copertura elettromagnetica dell’abitato, a causa dell’ostacolo alla propagazione rappresentato dal crinale e dagli edifici su di esso costruiti; per la soluzione del problema si richiede l’utilizzo di almeno due antenne, una per ogni versante.

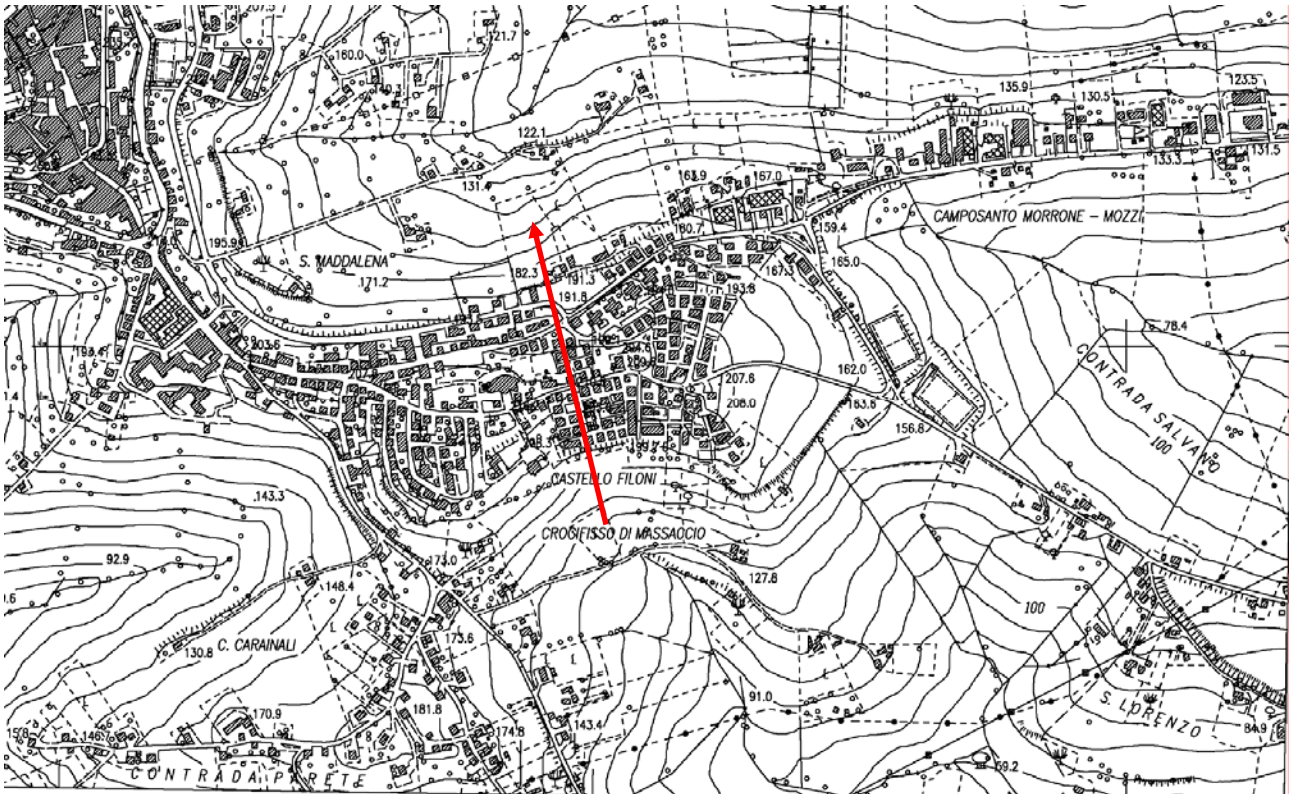


Fig. 2.1.4a. Zona di Santa Caterina. Mappa con sezione per il tracciamento del profilo nella direzione 18° N-O.

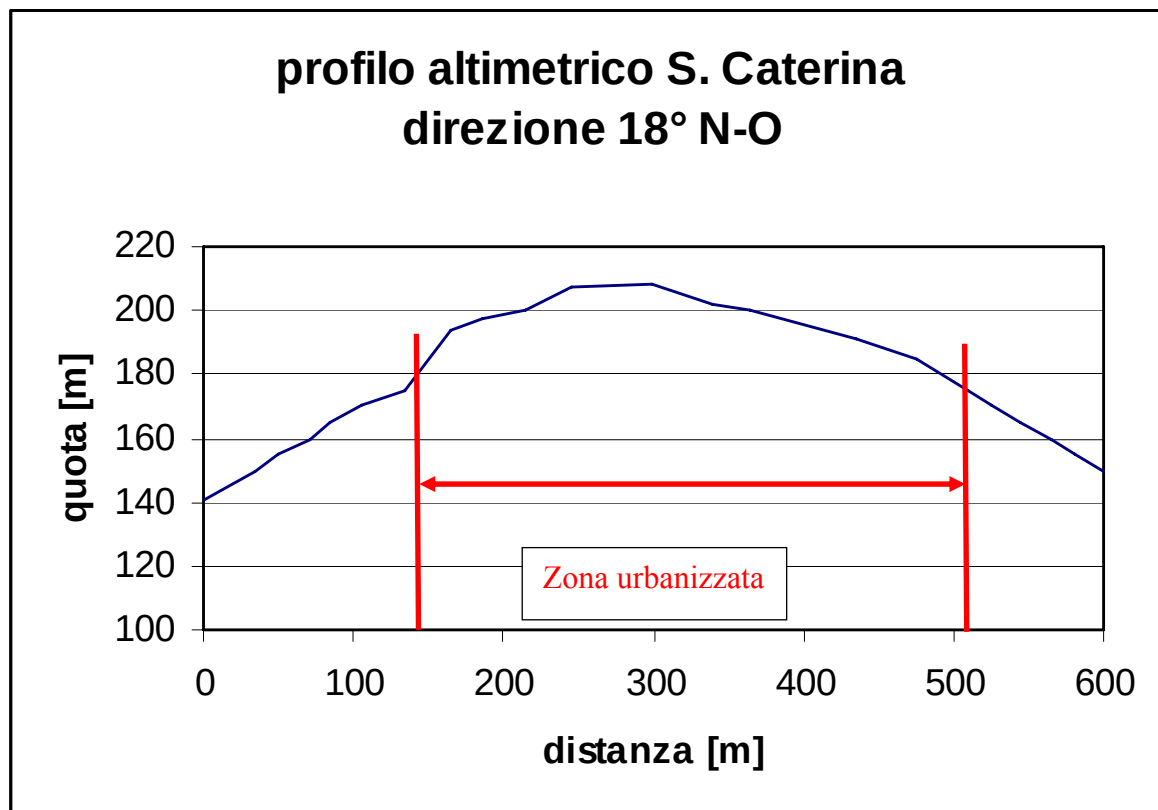


Fig. 2.1.4b. Zona di Santa Caterina. Profilo del collegamento.

Nell'esplorazione di possibili soluzioni, escludendo quelle che prevedano siti alle pendici della collina e fuori della zona urbanizzata, e che implicherebbero una illuminazione dal basso verso l'alto, si è dapprima cercata una soluzione con posizionamento delle antenne sui crinali circostanti.

La Fig. 2.1.4c mostra l'ipotesi di irradiazione dalla zona cimitero, per la copertura elettromagnetica del versante Nord del quartiere di Santa Caterina, e la fig. 2.1.4d riporta il relativo profilo altimetrico.

Come si può notare c'è visibilità radio per quanto concerne il versante settentrionale, ma la distanza tra le antenne, posizionate nella zona cimitero, ed un possibile utente all'interno dell'abitato di Santa Caterina, è dell'ordine di due km, e questo potrebbe costituire una criticità per il collegamento. Considerazioni più quantitative sono rinviate al capitolo 6.



Fig. 2.1.4c. Zona cimitero. Mappa con sezione per il tracciamento del profilo nella direzione 160° SUD-OVEST per copertura zona Sant'Andrea- Santa Caterina.

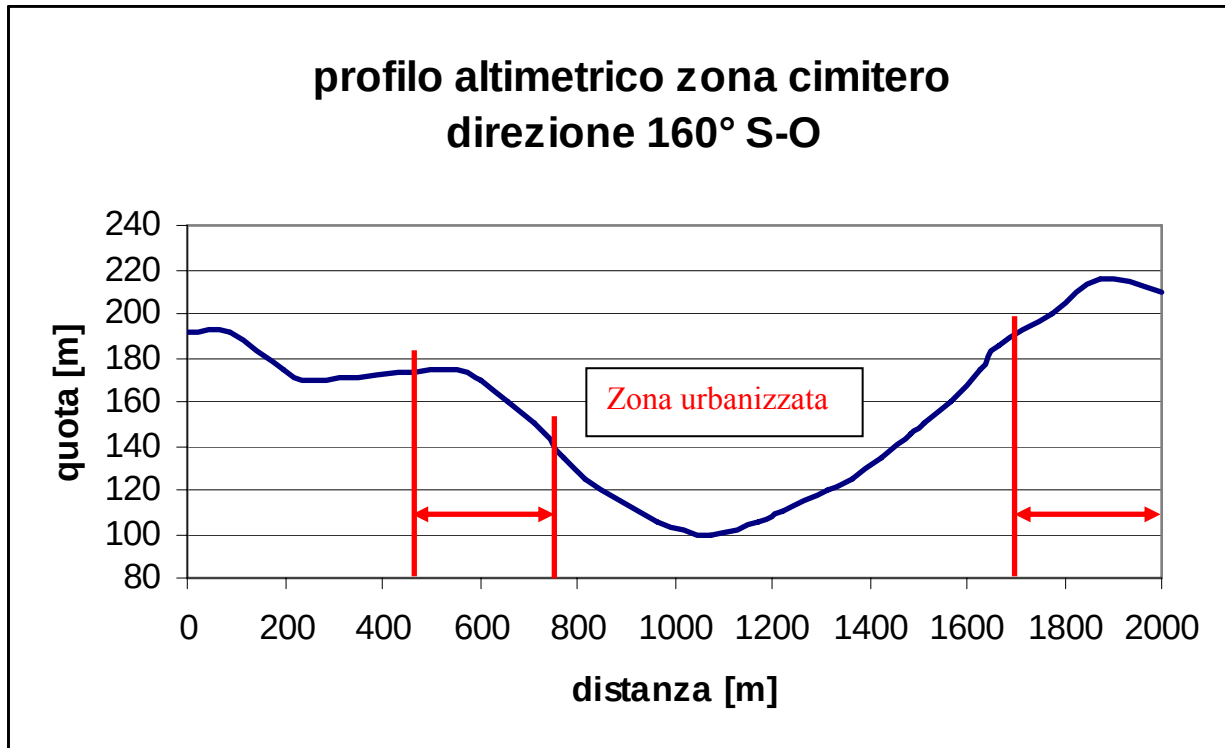


Fig. 2.1.4d. Zona cimitero. Profilo del collegamento per copertura zona Sant'Andrea - Santa Caterina.

Per quanto riguarda il versante SUD, è stata invece vagliata l'ipotesi di irradiazione dalla zona dei Cappuccini, allocando le antenne nel punto T di Fig. 2.1.3. La Fig. 2.1.4e mostra la mappa relativa a questa situazione per la copertura elettromagnetica del versante SUD del quartiere di Santa Caterina, e la fig. 2.1.4f riporta il relativo profilo altimetrico.

Come si può notare c'è visibilità radio anche per quanto concerne il versante meridionale, ma la distanza tra le antenne ed un possibile utente può superare i due km, e questo, come sopra riportato, potrebbe costituire una criticità per il collegamento.



Fig. 2.1.4e. Zona Cappuccini. Mappa con sezione per il tracciamento del profilo nella direzione - 84° EST per copertura zona Sant'Andrea.

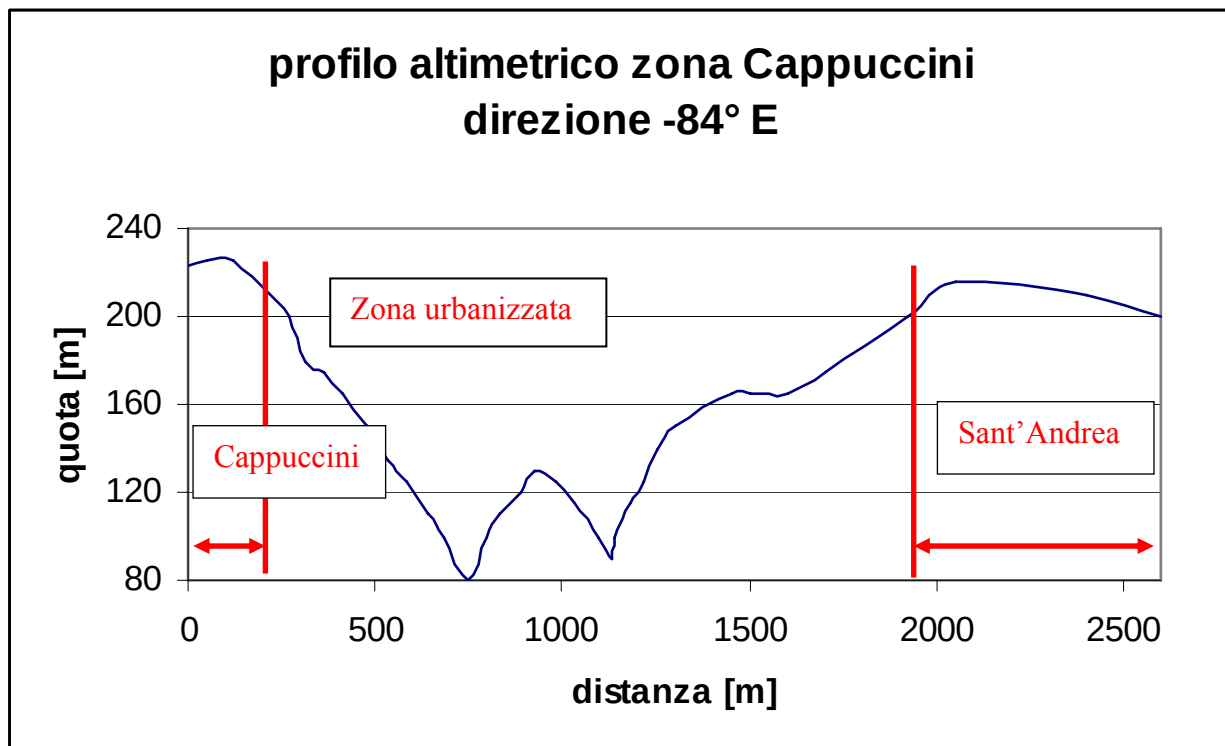


Fig. 2.1.4f. Zona Cappuccini. Profilo del collegamento.

Stante la possibile criticità per realizzare la copertura radio utilizzando antenne posizionate nei siti precedentemente esaminati, e mantenendo l'ipotesi di allocare un'antenna per ogni versante, sono state considerate alcune possibili soluzioni alternative, che, anche se non ottimali da un punto di vista elettromagnetico, potrebbero comunque costituire un ragionevole compromesso tra l'esigenza di posizionare le antenne al di fuori del perimetro dell'edificato e fornire una copertura che possa garantire il servizio.

La Fig 2.1.4g mostra una possibile posizione per l'installazione di una SRB sul versante NORD della collina, nell'area individuata dal punto P.

La figura successiva, 2.1.4h, riporta il profilo del collegamento relativo alla sezione individuata dal vettore tracciato nella mappa a partire dal punto P, diretto a circa 92° EST rispetto alla direzione NORD di riferimento.

Come si evince dal profilo, l'escursione delle altezze del suolo della zona urbanizzata è di circa 10m, compresa tra 195m e 205m; considerando che le abitazioni sono in maggioranza palazzine di tre-quattro piani, e quindi di altezza stimabile in circa 15m, si può concludere che una SRB installata nel punto P, corrispondente circa alla posizione individuata dall'ascissa 0m nel grafico del profilo, con antenne montate su un traliccio di 30-35m in modo da sovrastare in quota la maggior parte delle abitazioni, garantirebbe una adeguata copertura a tutto il versante NORD.

Per quanto riguarda il versante SUD, la situazione è un po' più articolata. La mappa riportata in Fig. 2.1.4i mostra il punto O come possibile sito per una SRB, scelto in base agli stessi criteri precedentemente usati per la scelta del punto P.

In questo caso però è stata evidenziata una eventuale settorizzazione della copertura nelle direzioni individuate dalle direttrici Ox, Oy, Oz, con illuminazione verso le zone più edificate.

La direttrice Ox è quella più critica poiché anche in questo caso la zona urbanizzata si trova nella zona dove il suolo presenta le quote maggiori. Vale comunque il criterio precedentemente esposto, per cui una SRB situata in O (area corrispondente all'intervallo prossimo all'ascissa 0m del profilo) ad una quota di circa 200m, con un traliccio di 30-35m garantirebbe una adeguata copertura a tutto il versante SUD, Fig.2.1.4l.

Meno critica è invece la situazione relativa alle direttrici Oy ed Oz, i cui profili sono riportati nelle Figure 2.1.4m e 2.1.4n, dalle quali si evince che il medesimo traliccio di 30-35m porterebbe le antenne a posizionarsi al di sopra delle altezze degli edifici.

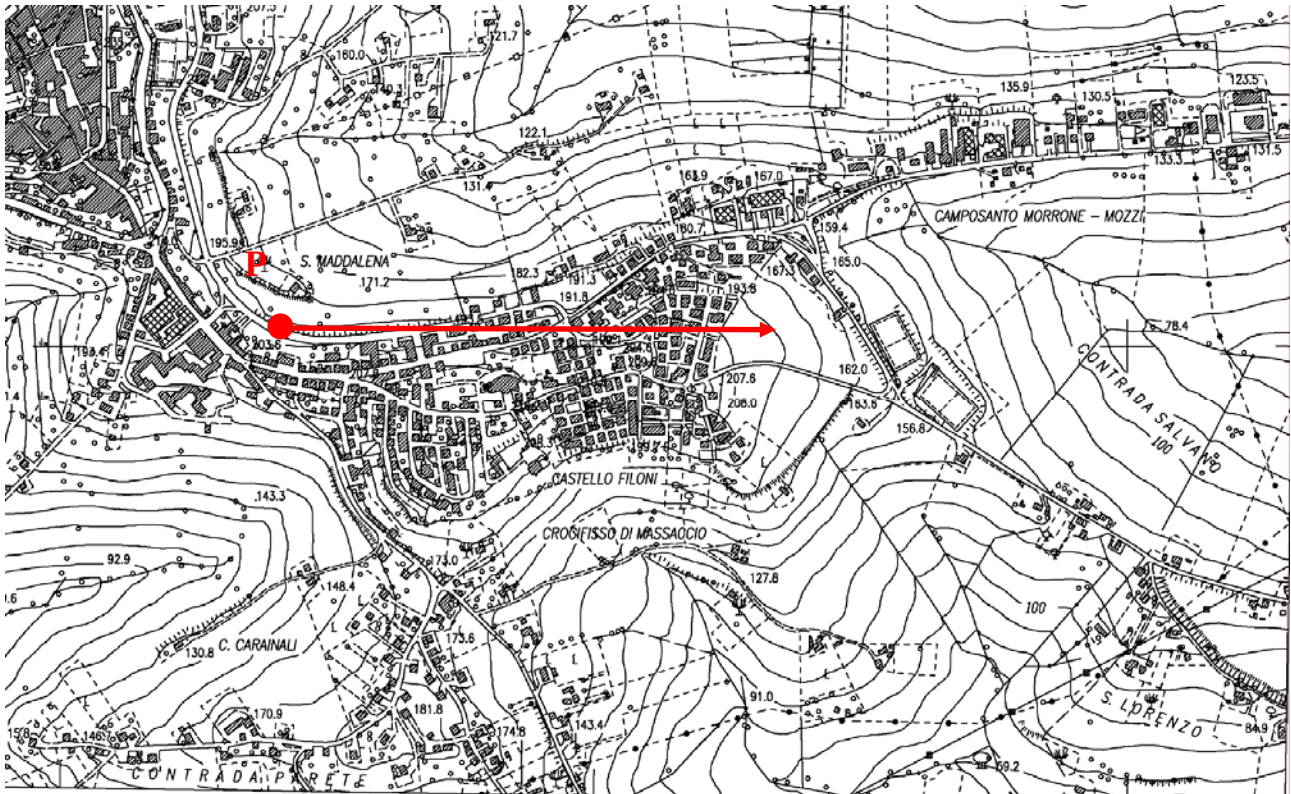


Fig. 2.1.4g. Zona di Santa Caterina. Mappa con sezione per il tracciamento del profilo nella direzione -92° EST.

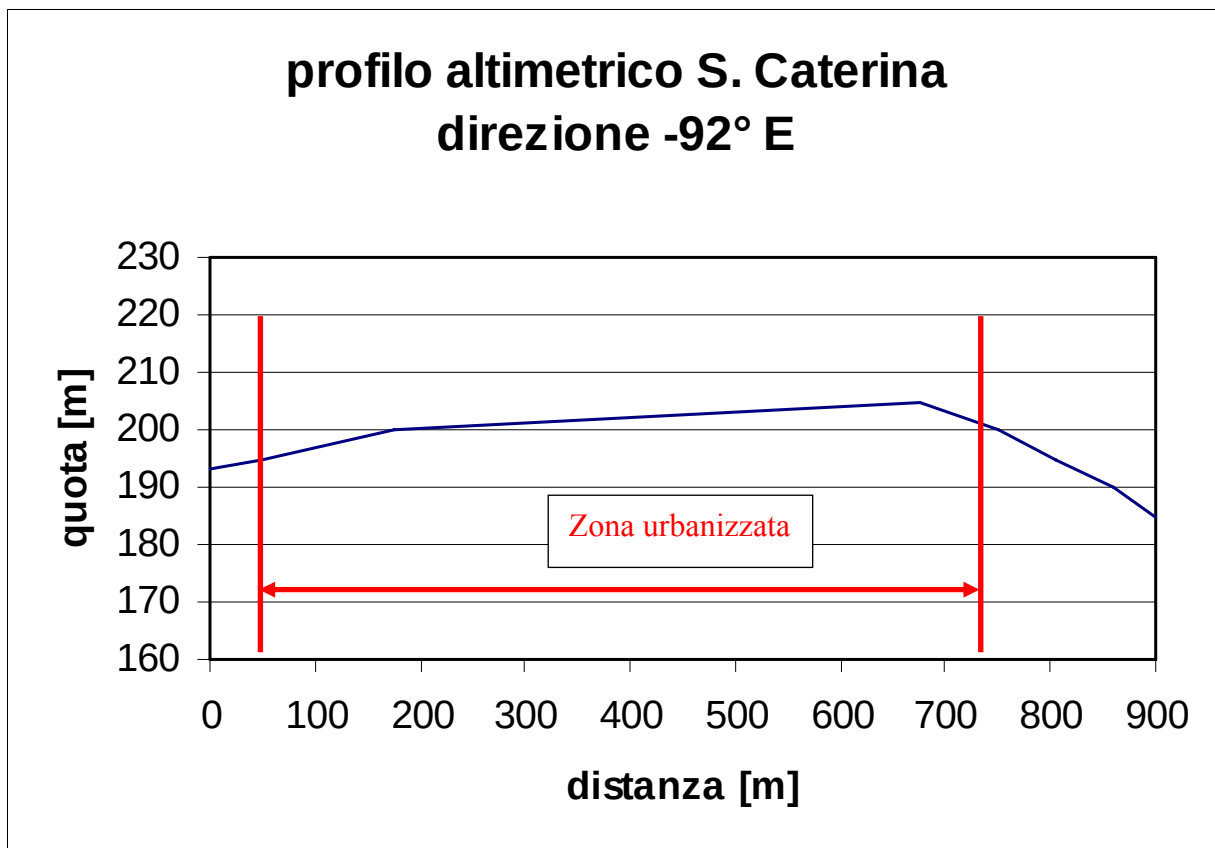


Fig. 2.1.4h. Zona di Santa Caterina. Profilo del collegamento.

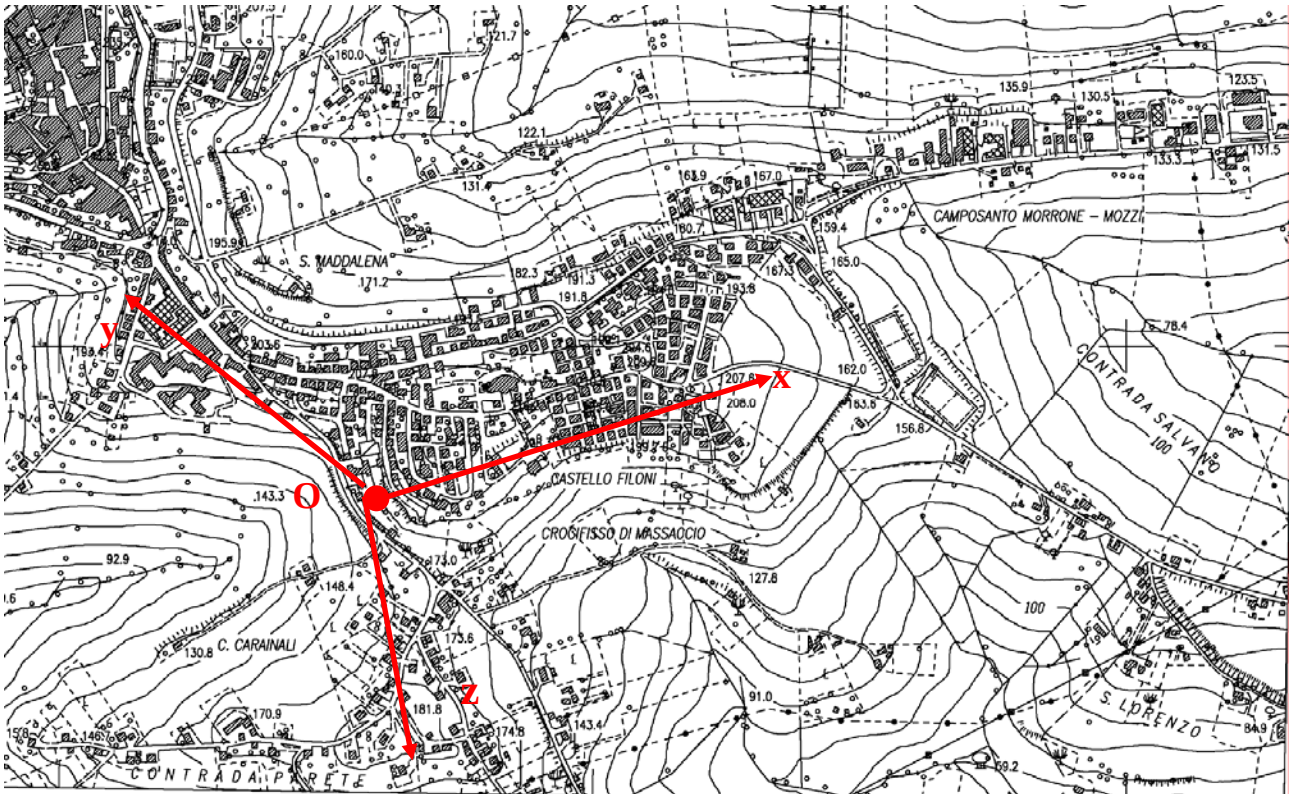


Fig. 2.1.4i. Zona di Santa Caterina. Possibile sito nel punto O. Settorizzazione secondo le direttrici Ox (-68° N-E), Oy (45° N-O), Oz (-177° S-E)

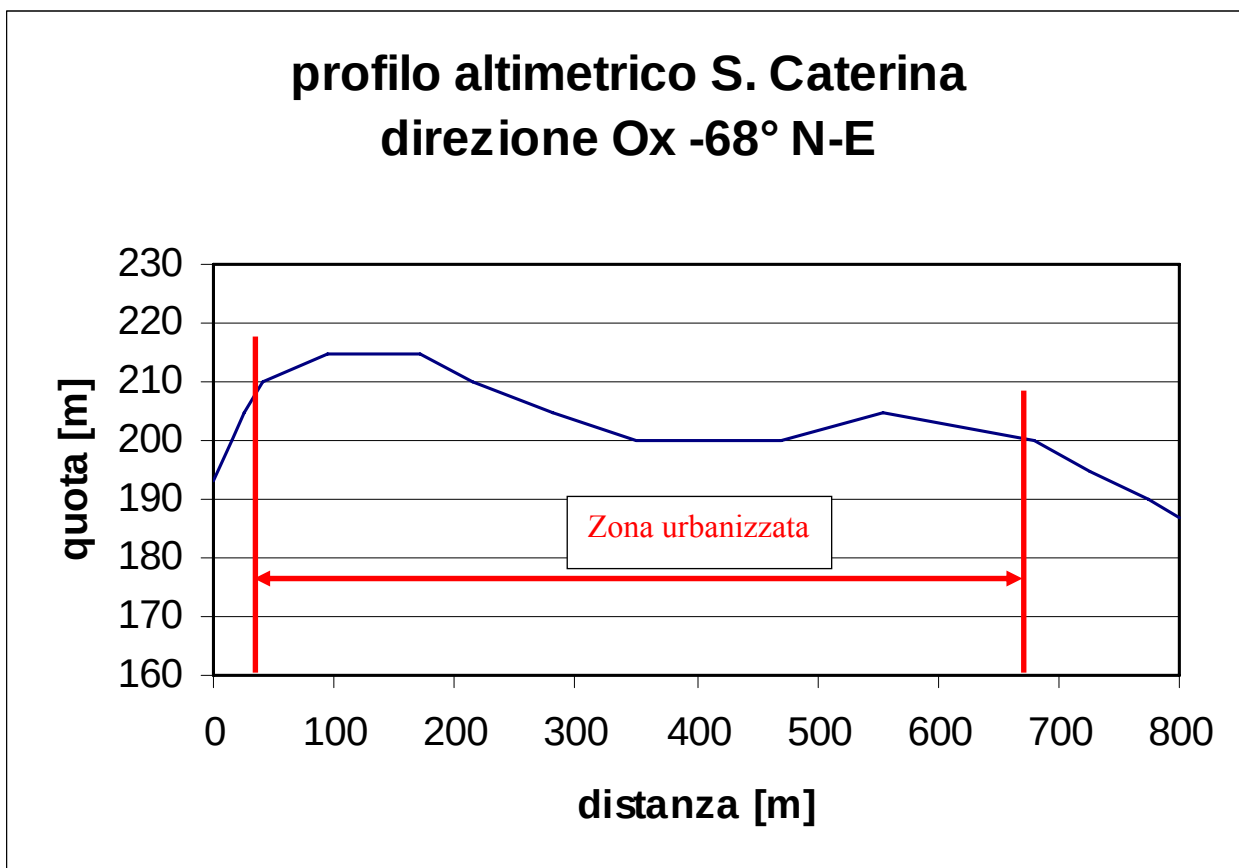


Fig. 2.1.4l. Zona di Santa Caterina. Profilo del collegamento: direttrice Ox di Fig.2.1.4i.

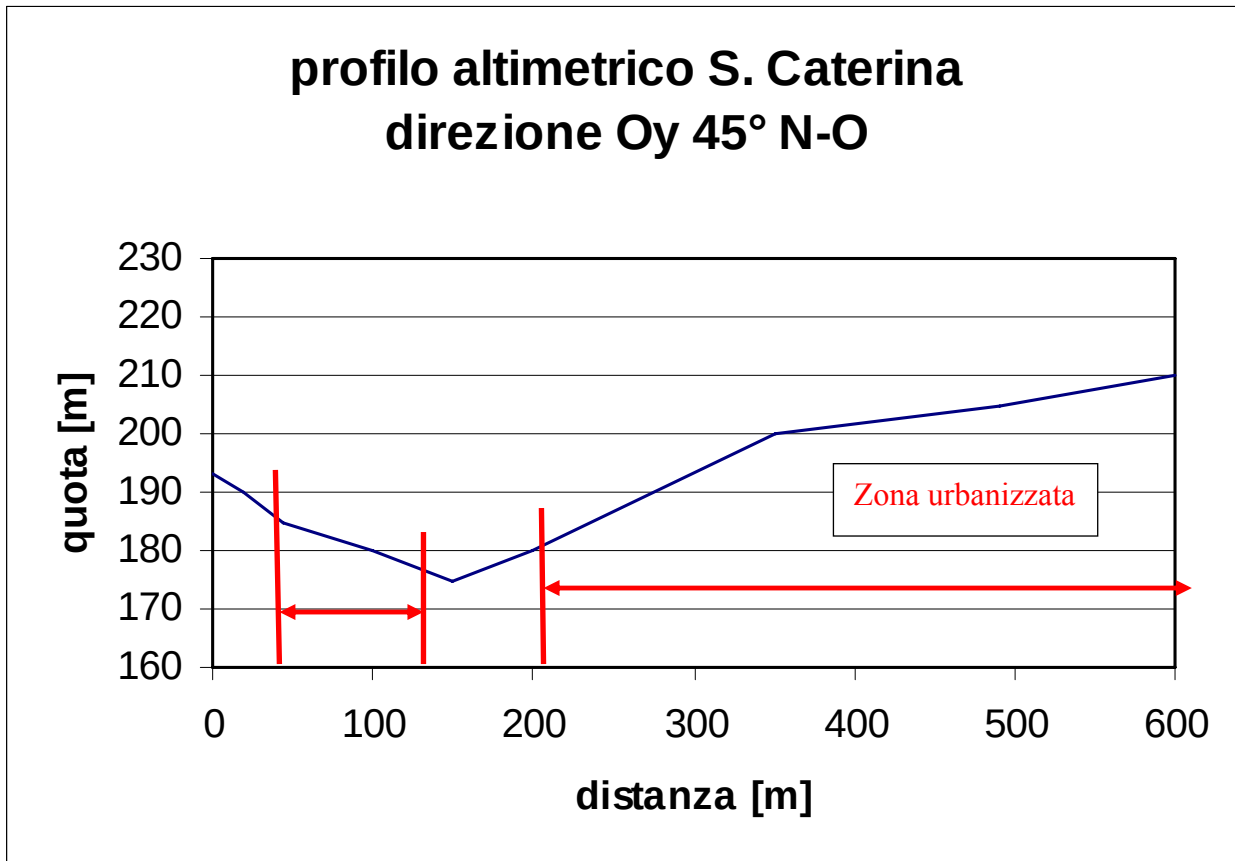


Fig. 2.1.4m. Zona di Santa Caterina. Profilo del collegamento: direttrice Oy di Fig.2.1.4i.

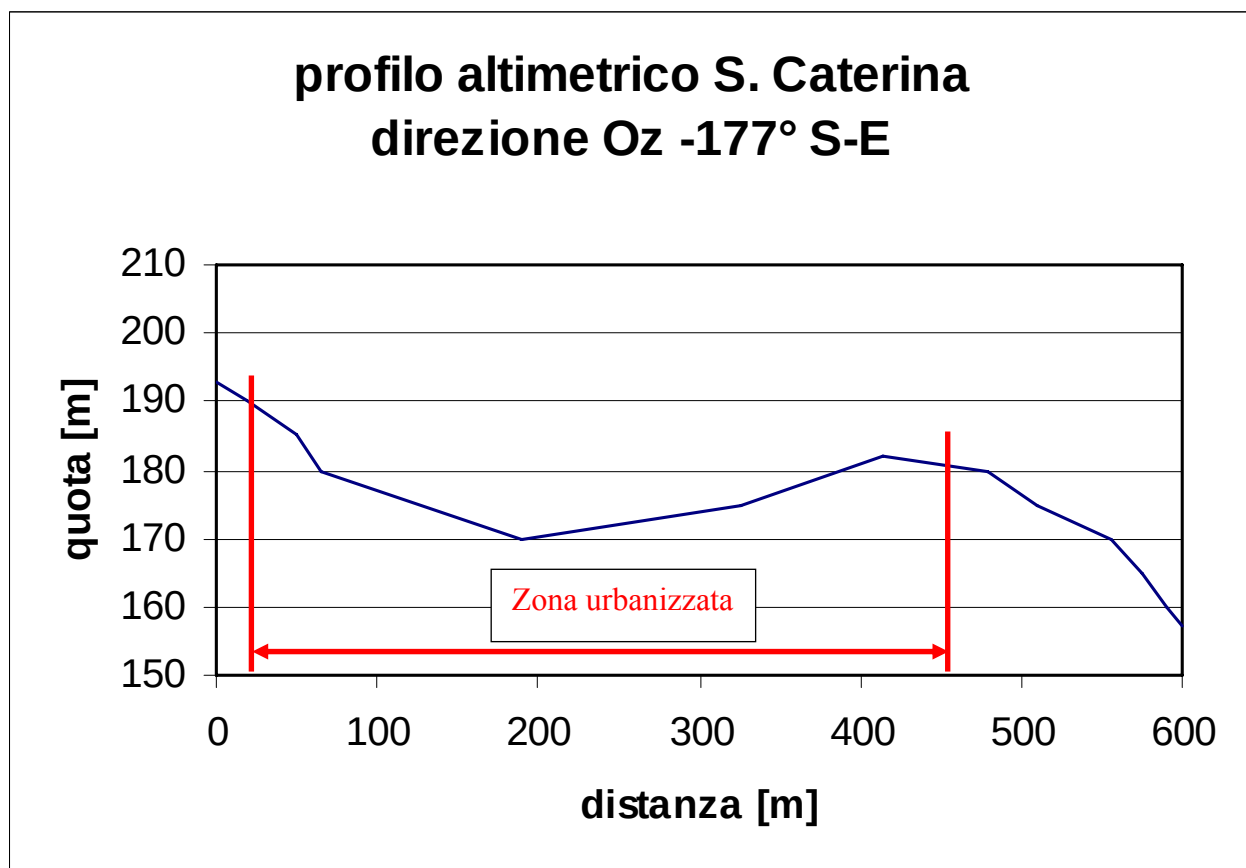


Fig. 2.1.4n. Zona di Santa Caterina. Profilo del collegamento: direttrice Oz di Fig.2.1.4i.

2.2 Centro urbano costiero

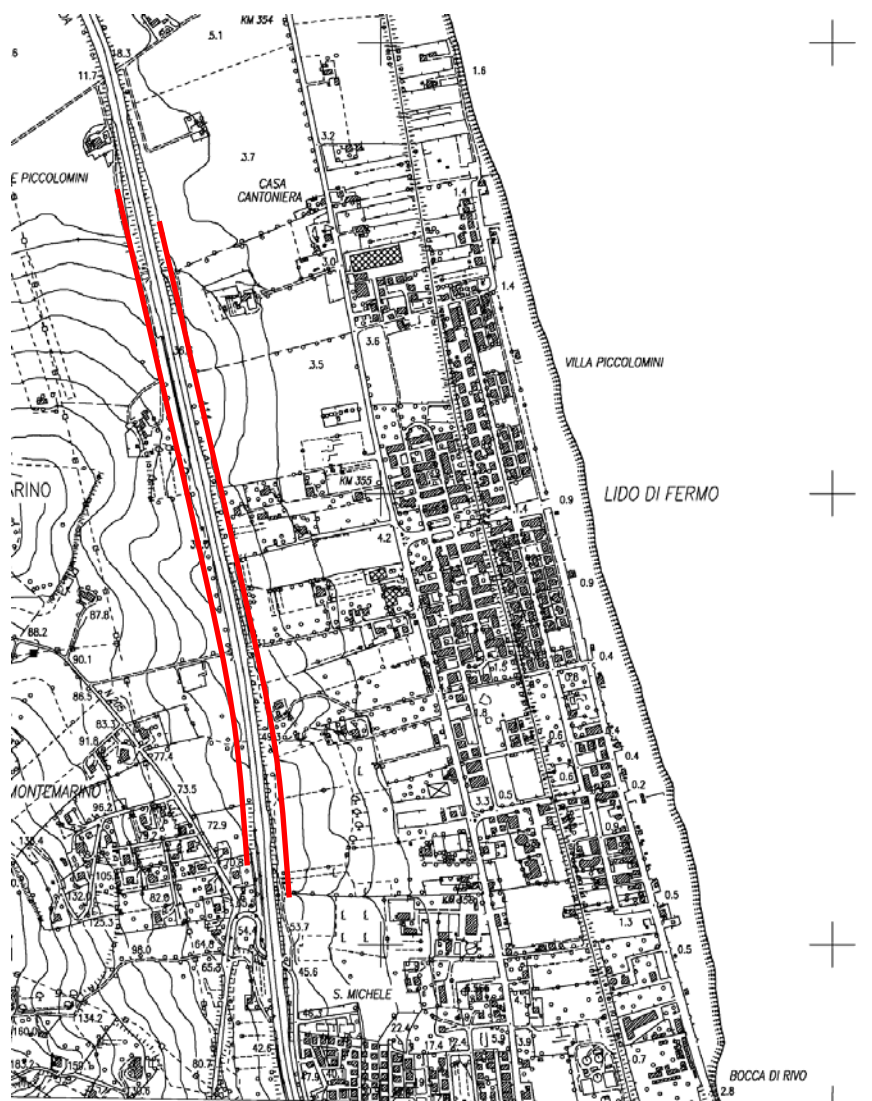


Fig.2.2. Zona costiera, litorale Nord.

Per questa zona, di cui la Fig.2.2 mostra il litorale Nord, si suggerisce di usare come possibile sito per l'installazione di SRB la fascia di non edificabilità di larghezza 60m che fiancheggia l'autostrada A14.

Quest'area orograficamente posta ad una quota compresa tra 40m e 50m, ovunque superiore a quella del centro abitato garantisce una buona visibilità radio (non si riporta quindi il profilo altimetrico); la distanza dalle abitazioni più vicine sarebbe mediamente non inferiore ad alcune decine di metri. Occorre inoltre considerare che per la copertura del centro abitato, le antenne dovranno essere orientate in modo che la direzione del lobo principale di radiazione sia approssimativamente parallela alla costa. Ciò farà sì che le abitazioni più vicine saranno illuminate dai lobi secondari, si troveranno cioè in regioni dello spazio in cui l'antenna presenta un guadagno direttivo inferiore rispetto al massimo e ciò contribuirà a ridurre l'esposizione delle abitazioni più vicine.

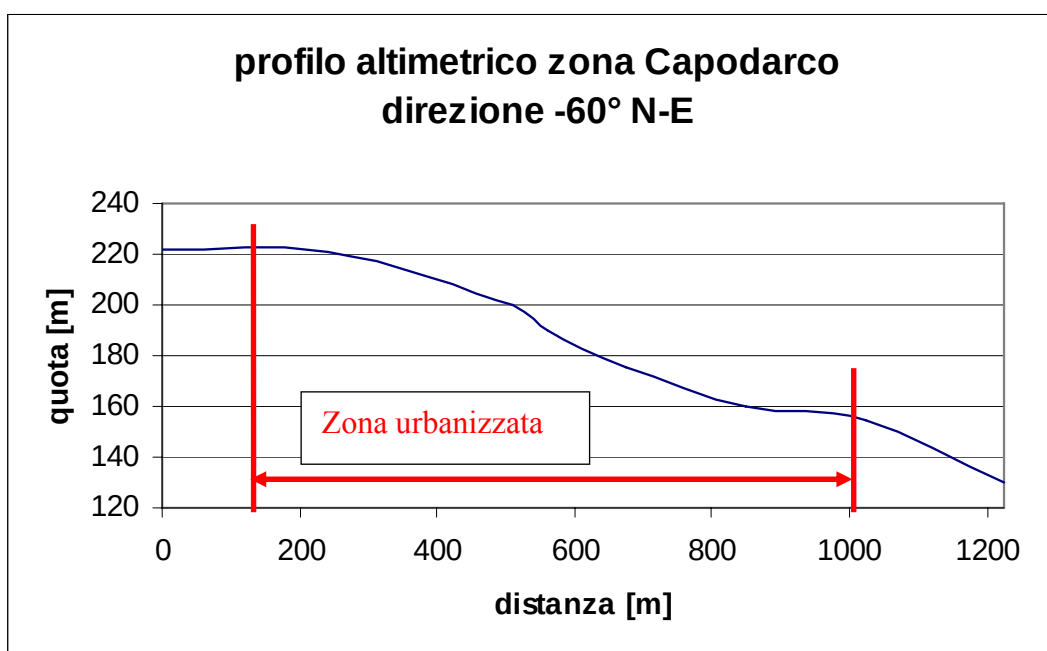


Fig. 2.3b. Zona Capodarco. Profilo del collegamento: direttrice -60° N-E di Fig.2.3a.

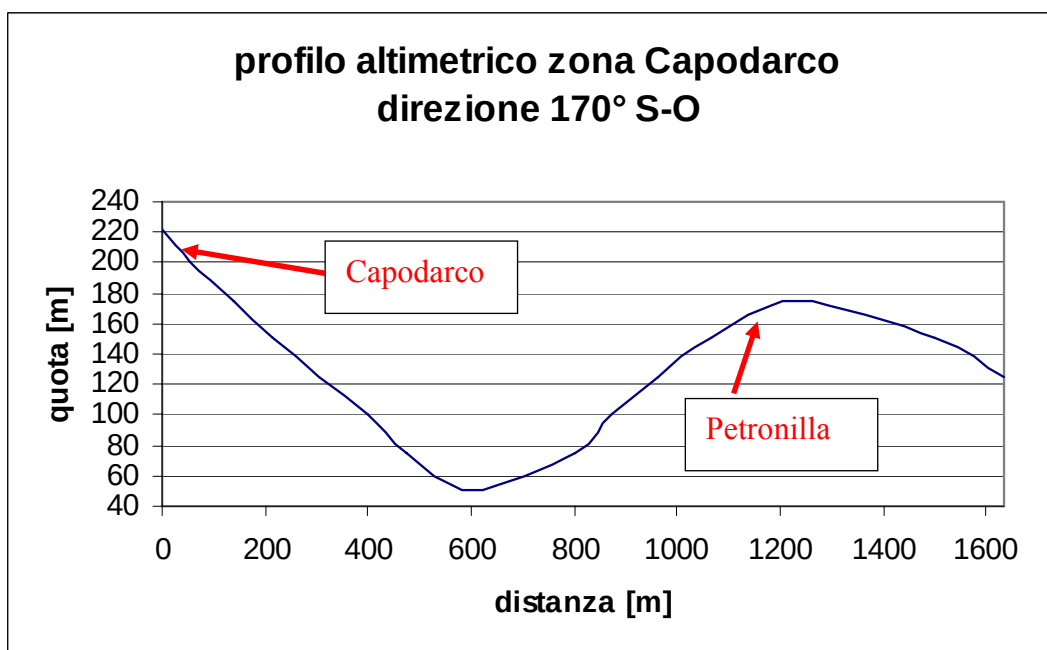
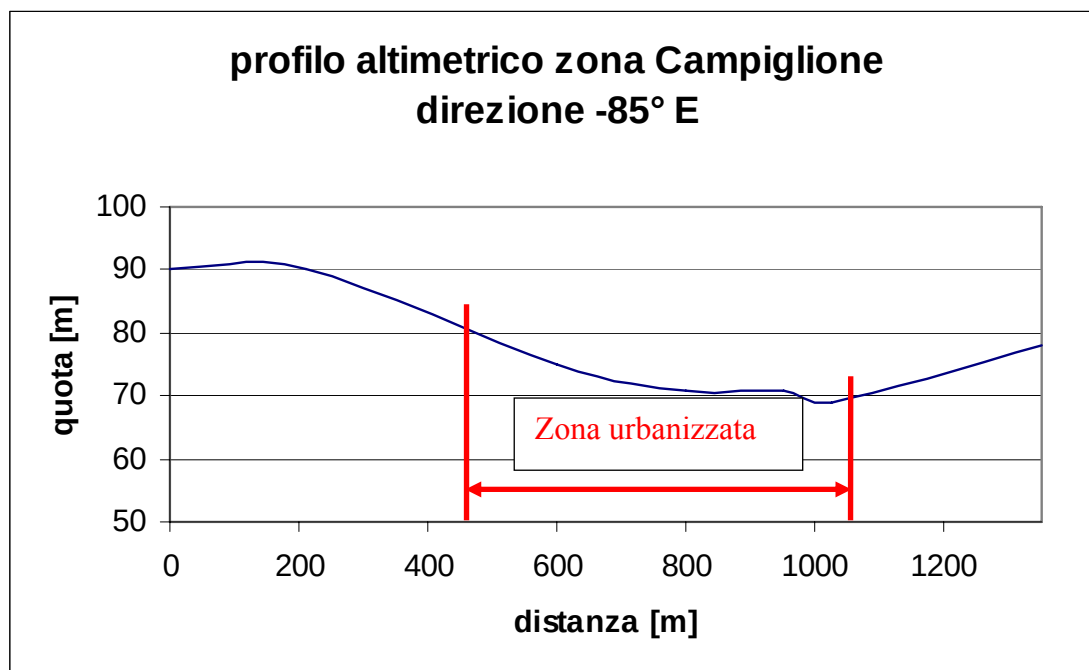


Fig. 2.3c. Zona Capodarco. Profilo del collegamento: direttrice 170° S-O di Fig.2.3a.

2.4 Zona Campiglione

Per questa zona, di cui non è disponibile la mappa, è stato scelto, quale possibile sito, il declivio di una collina, in completa zona rurale, ad Ovest dell'abitato di Campiglione. La Fig. 2.4 mostra il profilo altimetrico, dal quale si evince l'assenza di particolari problemi di copertura. La posizione è anche ottimale per la copertura della sottostante zona industriale.



3. Calcolo del campo elettromagnetico

Come accennato nell'introduzione, per la valutazione del campo elettromagnetico verrà utilizzata l'equazione di Friis [2] sia perché mancano alcuni dati essenziali per poter usare algoritmi più sofisticati, sia perché questi non sono strettamente necessari in quanto la situazione in esame è "elettromagneticamente" più simile a quella di spazio libero, poiché si fa l'ipotesi che non vi siano edifici nelle immediate vicinanze dell'elemento radiante. Si terrà comunque in considerazione la presenza del suolo introducendo cautelativamente il contributo dell'onda riflessa.

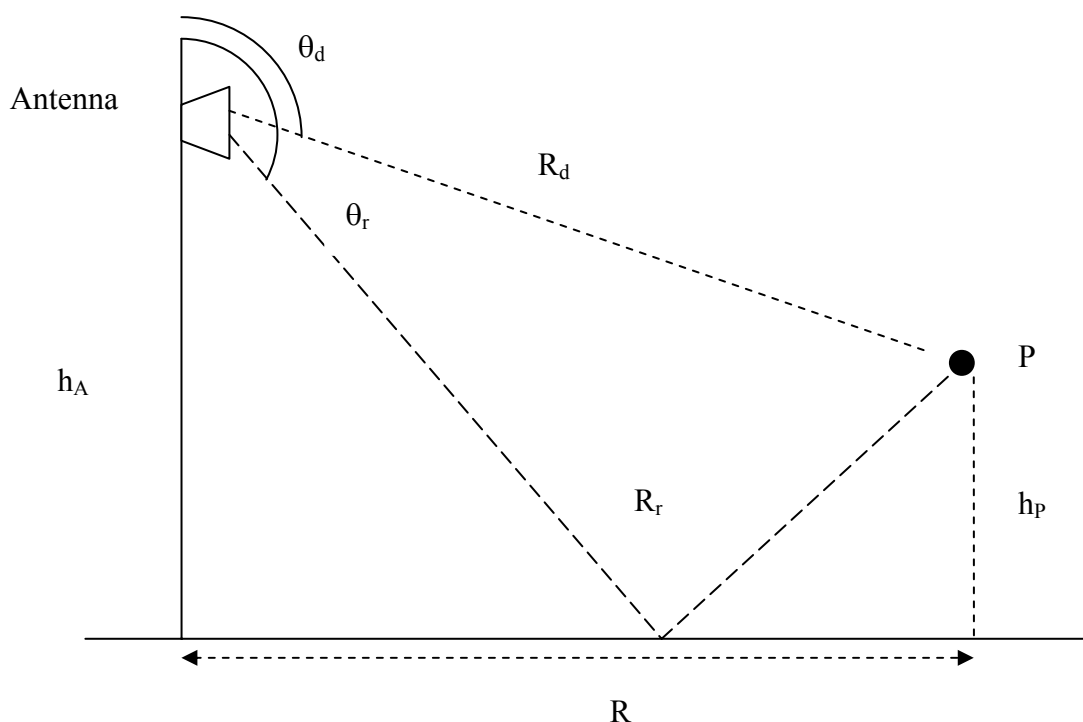


Fig.3.1. Geometria del problema (sezione verticale); i pedici 'd' e 'r' si riferiscono all'onda diretta e riflessa rispettivamente. L'angolo θ rappresenta la distanza angolare in elevazione tra la direzione verticale e la direzione individuata dal punto di osservazione

Facendo riferimento alla Fig.3.1, possiamo osservare che nel punto P il campo totale E sarà dato dalla somma di due contributi: uno dovuto all'onda diretta, E_d , ed uno all'onda riflessa dal suolo, E_r ; a scopo cautelativo si assume che il coefficiente di riflessione del terreno sia unitario e che nel punto P i due contributi si compongano costruttivamente (stessa fase).

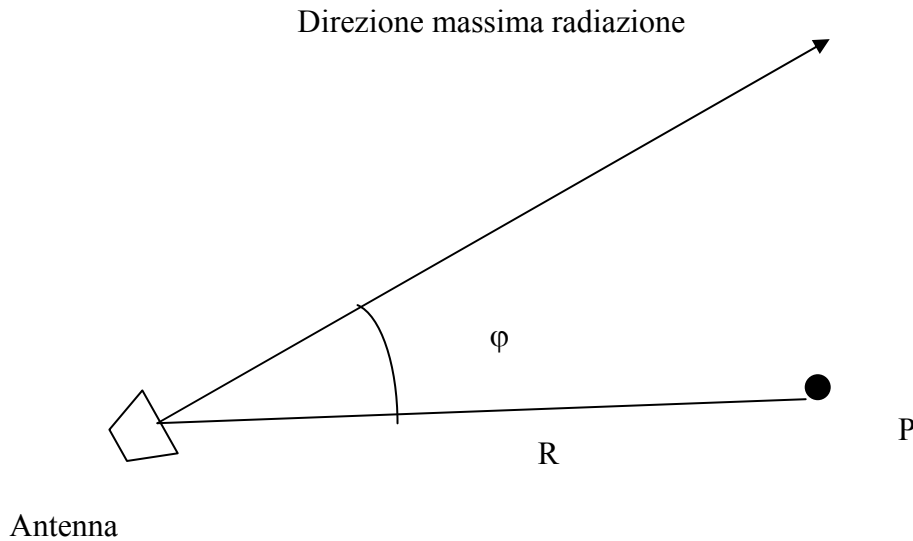


Fig. 3.2. Geometria del problema (pianta); l'angolo ϕ rappresenta la distanza angolare in azimuth tra la direzione di massima radiazione dell'antenna e la direzione individuata dal punto di osservazione.

La Fig.3.2 mostra la geometria del problema per quanto riguarda il piano orizzontale. Nel punto P il campo totale $\mathbf{E}$ risulta pertanto essere esprimibile come:

$$E = E_d + E_r = \sqrt{\eta \frac{P_t g(\theta_d, \phi)}{4\pi R_d^2}} + \sqrt{\eta \frac{P_t g(\theta_r, \phi)}{4\pi R_r^2}} \quad (1)$$

Dove: E = intensità del campo elettrico [V/m]

η = impedenza intrinseca del mezzo (377Ω)

P_t = potenza irradiata dall'antenna [W]

$g(\theta, \phi)$ = guadagno direttivo

R_d = distanza percorsa dell'onda diretta [m]

R_r = distanza percorsa dell'onda riflessa [m]

θ_d = direzione dell'onda diretta rispetto alla verticale

θ_r = direzione dell'onda riflessa rispetto alla verticale

ϕ = direzione in azimuth del punto di campo rispetto alla direzione di massima radiazione dell'antenna

4. Caratterizzazione dell'antenna

Nell'eq. (1) è necessario definire la funzione $g(\theta, \varphi)$, che dipende dall'antenna usata. Il costruttore fornisce generalmente i diagrammi di radiazione in forma grafica, ma questi sono difficilmente utilizzabili per il calcolo del campo all'esterno del lobo principale di radiazione.

Inoltre, per predire il campo in ogni punto dello spazio attorno all'antenna occorre avere il solido di radiazione dell'antenna, mentre i diagrammi di radiazione rappresentano le caratteristiche radiative solo nei due piani principali (piano verticale e piano orizzontale). Essendo generalmente queste antenne delle schiere di elementi radianti, la conoscenza dei singoli elementi (tipologia, numero, geometria, dimensioni) permetterebbe comunque di determinare in modo esatto il solido di radiazione.

In mancanza di tali dati, si è pertanto deciso di rappresentare il solido di radiazione $S(\theta, \varphi)$ mediante una funzione analitica, data dal prodotto dei diagrammi di radiazione nei due piani principali, approssimazione comunemente usata in tali casi.

$$S(\theta, \phi) = D_V(\theta) D_O(\phi) \quad (2)$$

dove $D_V(\theta)$ è il diagramma di radiazione nel piano verticale e $D_O(\phi)$ è il diagramma di radiazione nel piano orizzontale. I due diagrammi sono determinati considerando che generalmente le antenne per stazioni radio base sono costituite da schiere di dipoli, e quindi i diagrammi assumono le seguenti espressioni:

$$D_V(\theta) = \frac{1}{10} \frac{\sin\left(10 \frac{\pi}{2} \cos(\theta - \theta_T)\right)}{\sin\left(\frac{\pi}{2} \cos(\theta - \theta_T)\right)} \sin(\theta - \theta_T) \quad 4/9 \pi (80^\circ) < \theta - \theta_T < 5/9 \pi (100^\circ) \quad (3)$$

$$D_V(\theta) = 0.2 \quad \text{altrove}$$

dove θ_T è l'eventuale angolo di tilt meccanico o elettronico della direzione di massima radiazione dell'antenna rispetto all'orizzontale e θ è la direzione rispetto alla verticale in cui si vuole determinare il campo (Fig. 3.1). Gli argomenti delle funzioni trigonometriche sono espressi in radianti. Questa funzione è rappresentativa di un diagramma con un'apertura del fascio a metà potenza di circa 10° . Il valore 0.2 dato al diagramma al di fuori del lobo principale assicura un rapporto lobo principale / lobo secondario di circa 14 dB. Considerare questo valore per tutto il diagramma al di fuori del lobo principale è una scelta cautelativa.

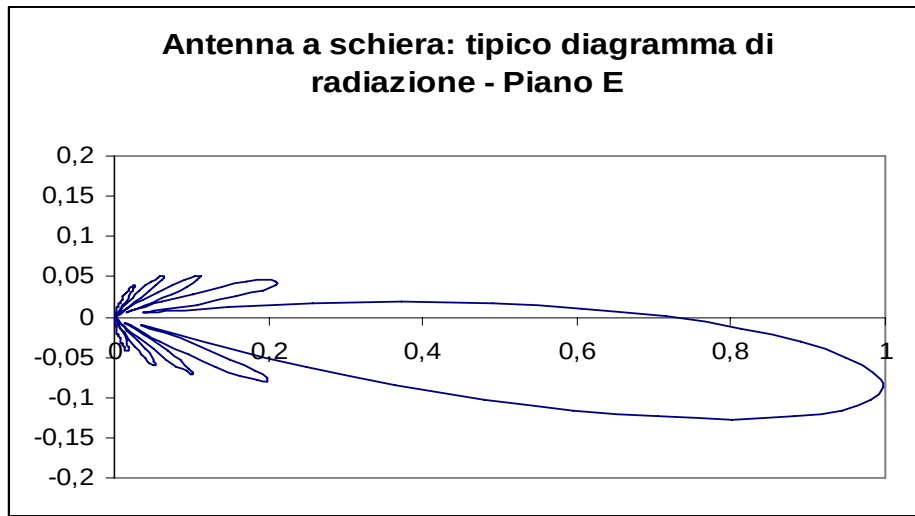


Fig. 4.1a. Diagramma di radiazione nel piano verticale: tipico diagramma di una schiera collineare.

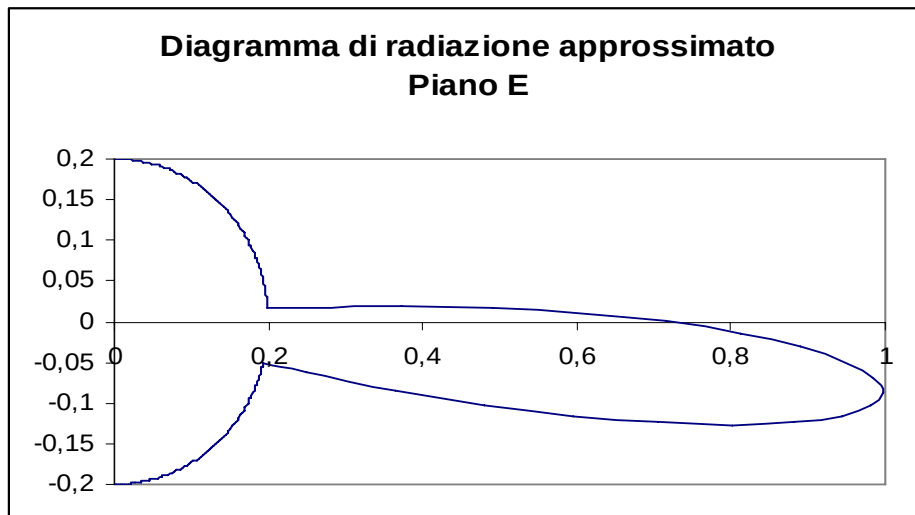


Fig. 4.1b. Diagramma di radiazione nel piano verticale: diagramma considerato.

La Fig.4.1a mostra il tipico diagramma di un'antenna a schiera collineare, comunemente usata per SRB, mentre la Fig.4.2b riporta il grafico del diagramma adottato, espresso dall'eq. (3); per il suo tracciamento è stato considerato un angolo di tilt $\theta_T=5^\circ$ rispetto all'orizzontale: è evidente anche il livellamento al valore più grande dato alla radiazione dei lobi laterali.

Per il diagramma nel piano orizzontale:

$$D_o(\phi) = \frac{1}{2} \frac{\sin\left(2\frac{3}{8}\pi \sin \phi\right)}{\sin\left(\frac{3}{8}\pi \sin \phi\right)} \left(\frac{1 + \cos \phi}{2}\right) \quad (4)$$

dove ϕ è la direzione in cui si vuole determinare il campo riferita alla direzione di massima radiazione dell'antenna (Fig. 3.2). Gli argomenti delle funzioni trigonometriche sono espressi in radianti. Questa funzione è rappresentativa di un diagramma con un'apertura del fascio a metà potenza di circa 68° nel piano orizzontale. L'antenna così modellata ha pertanto caratteristiche molto simili a quelle utilizzate in siti che prevedono la tecnica di settorizzazione dell'area da servire.

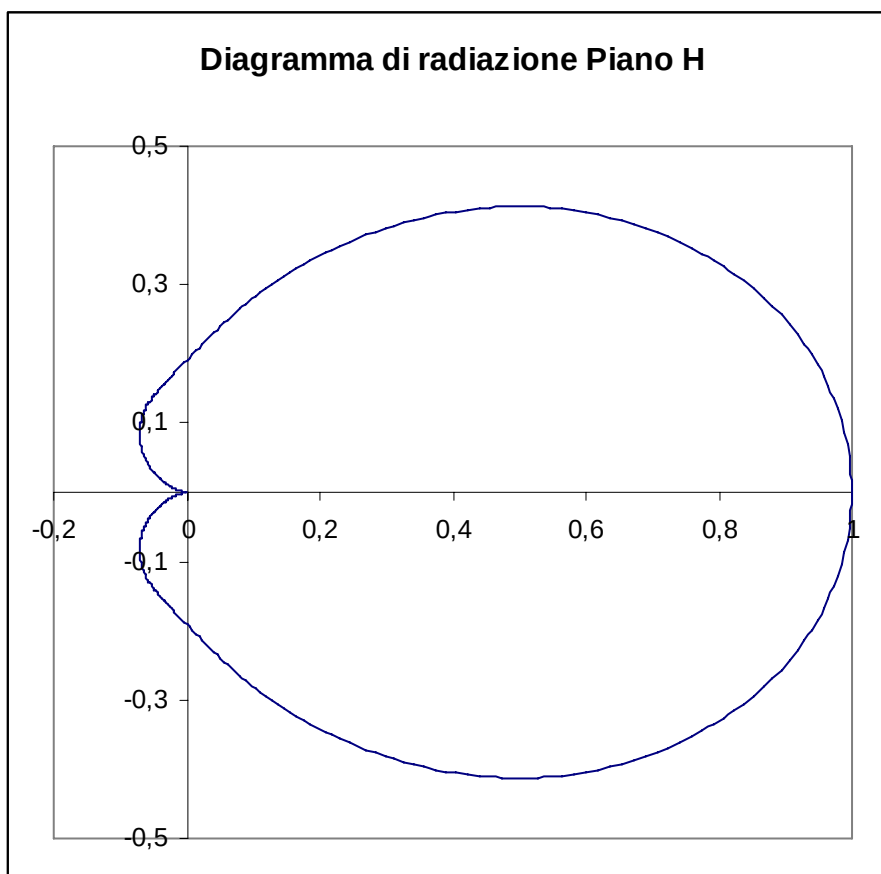


Fig. 4.2. Diagramma di radiazione nel piano orizzontale.

La Fig.4.2 riporta il grafico del diagramma adottato.

Considerando che tali antenne hanno un guadagno di circa 17 dBi, (= 50), la funzione guadagno direttivo che appare nell'eq. (1) è pertanto:

$$g(\theta, \phi) = 50 S^2(\theta, \phi) \quad (5)$$

5. Valutazione dell'impatto ambientale.

I campi saranno valutati in punti nel piano verticale contenente un'antenna della SRB, in una regione di altezza pari all'altezza dell'antenna e fino ad una distanza di 100m dal piede dell'antenna stessa.

La stazione radio base è generalmente costituita da tre antenne diversamente orientate, come mostrato in Fig.5.1: nel calcolo si è trascurato il contributo, in quanto non significativo, delle due antenne non contenute nel piano dove è valutato il campo, poiché tali antenne hanno generalmente una notevole attenuazione fronte/retro del campo irradiato (> 20 dB), caratteristica peraltro considerata anche nel diagramma di radiazione nel piano orizzontale, eq.(4).

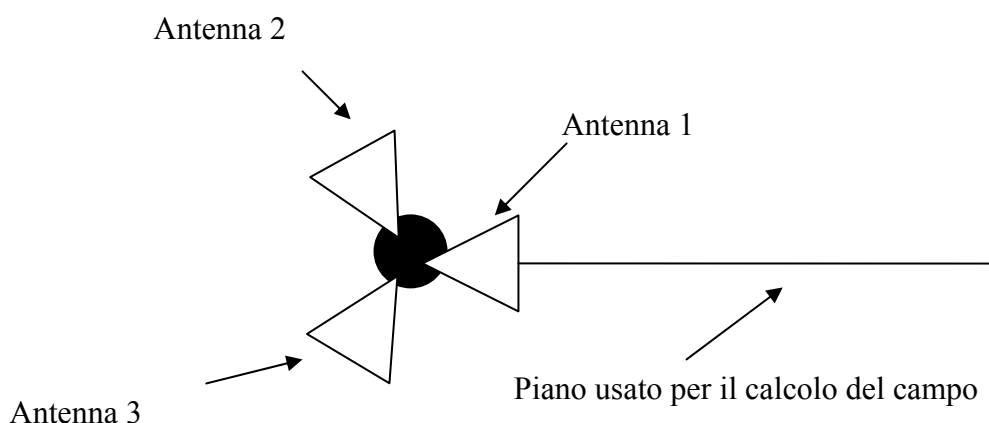


Fig. 5.1. Rappresentazione schematica nel piano orizzontale della disposizione delle antenne di una SRB in cui è utilizzata la tecnica della settorizzazione.

Si è stimata una potenza irradiata dall'antenna considerata (antenna 1 in Fig.5.1) della SRB, in condizione di perfetto adattamento di impedenza, pari a $P_t = 30$ W, indipendentemente dall'attenuazione dei cavi. Anche questa scelta è cautelativa in considerazione delle potenze degli impianti esistenti.

Sarà inoltre considerata un'altezza dell'antenna dal suolo di 30 m e un angolo di tilt $\theta_T = 5^\circ$ verso il terreno.

Il suolo è stato considerato piano e fortemente riflettente (modulo del coefficiente di riflessione $|\rho| = 1$), unitamente alla condizione di caso peggiore in cui onda diretta e onda riflessa si compongono in fase, eq.(1). Situazioni in cui $|\rho| < 1$ o terreno in declivio rispetto al punto dove è posta l'antenna originerebbero campi di intensità inferiore rispetto a quelli calcolati.

Si verifica che la regione di campo lontano, secondo Fraunhofer, supponendo la frequenza di 1000 MHz e la dimensione dell'antenna di circa 1.5 m, inizia a circa

15m dal centro elettrico dell'antenna e pertanto, ad eccezione della zona di campo vicino (area tratteggiata in Fig.5.2), tutti i punti in cui si calcola il campo sono in tale regione e ciò giustifica l'adozione delle espressioni nell'eq.(1) per il calcolo del campo.

Nell'ambito delle ipotesi precedentemente descritte, il calcolo del campo ha fornito il risultato sinteticamente espresso in Fig. 5.2.

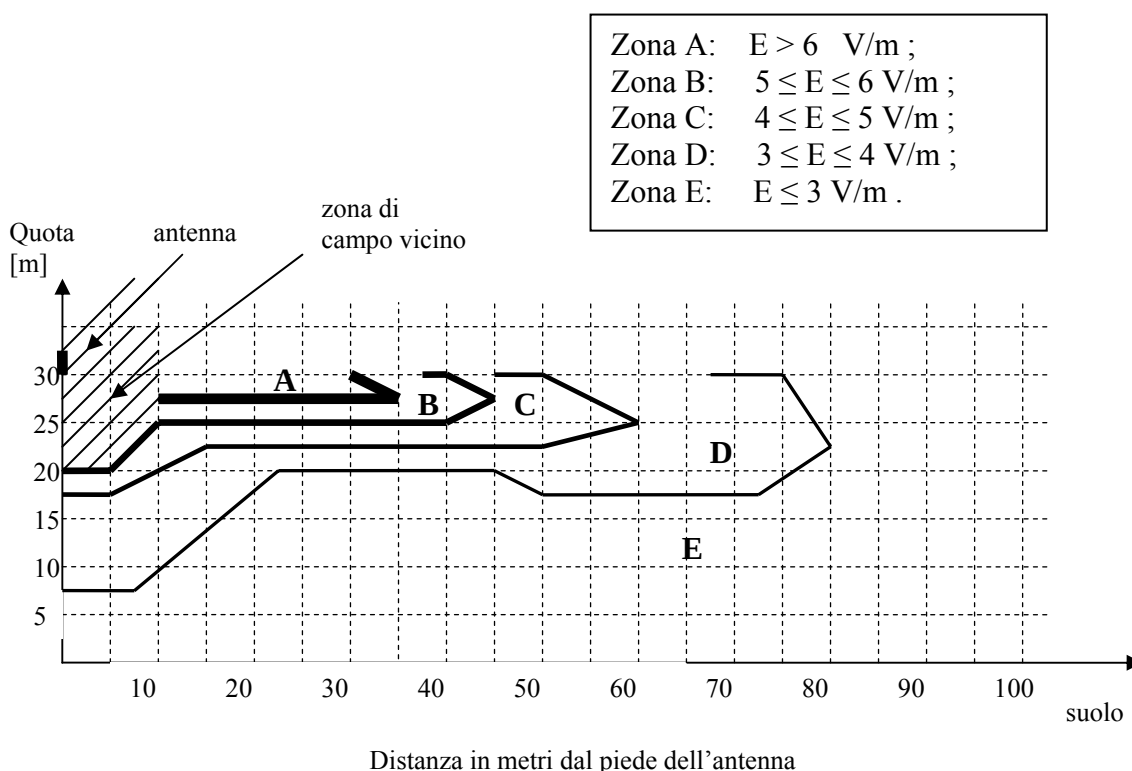


Fig.5.2. Regioni di campo nel piano verticale contenente l'antenna. La legenda riporta gli intervalli dei valori dell'intensità del campo elettrico E nelle varie regioni. Potenza irradiata $P_t = 30$ W.

Fig.5.2 riporta la regione del piano verticale contenente l'antenna in esame. Per facilitare la lettura del grafico è stata inserita la griglia a tratteggio formata da semirette orizzontali e verticali distanziate di 5m.

La legenda inserita in figura permette di identificare cinque zone, ognuna caratterizzata da un intervallo di valori del campo irradiato dall'antenna.

Nella zona di campo vicino (area a tratteggio obliquo) le espressioni di eq.(1) non sono più valide e dovrebbero essere sostituite da equazioni più accurate: in questa regione il campo non è stato valutato, ma sarebbe buona norma comunque considerare $E > 6$ V/m.

E' evidente in figura l'effetto del lobo principale di radiazione dell'antenna che porta ad un prolungamento (verso destra in figura) delle regioni di campo.

Volendo estendere le regioni di campo in tutto lo spazio circostante la SRB, occorrerebbe pesare i valori di campo nel piano orizzontale con il diagramma di fig 4.2 e aggiungere il contributo delle altre antenne, come da Fig.5.1; in via cautelativa, si potrebbe adottare il solido generato dalla rotazione di 360° delle curve rappresentate in Fig.5.2 attorno all'asse verticale dell'antenna.

Dai risultati di Fig.5.2 appare evidente che nella situazione ipotizzata, estremamente cautelativa, a livello del suolo, il campo si mantiene sempre a livelli $< 3 \text{ V/m}$.

Per quanto riguarda gli edifici direttamente investiti dalla radiazione del lobo principale di un'antenna, all'interno cioè dell'angolo solido a metà potenza, e per i quali è ragionevole ipotizzare distanze dall'antenna non inferiori ai 300m, pena l'ostruzione del collegamento, si determina un'intensità di campo dell'ordine di 0.5 V/m .

Qualora la potenza effettiva dell'impianto fosse diversa da quella indicata, i valori di campo dovranno essere moltiplicati per il fattore correttivo C dato dalla seguente relazione

$$C = \sqrt{\frac{P_{eff}}{30}} \quad (6)$$

dove P_{eff} è la potenza effettiva irradiata espressa in Watt.

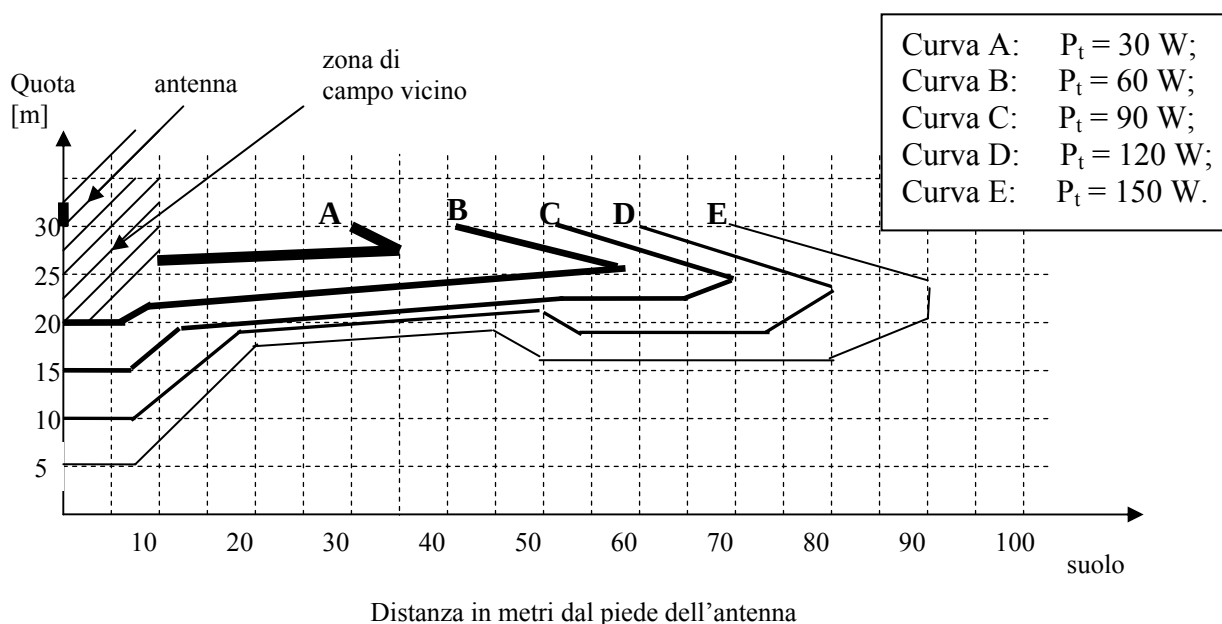


Fig.5.3. Regioni di campo: le linee rappresentano curve in cui l'intensità del campo elettrico $E \approx 6 \text{ V/m}$, per vari valori di potenza irradiata.

A titolo di esempio si riporta in Fig.5.3 il grafico delle curve in cui l'intensità del campo elettrico $E \approx 6 \text{ V/m}$, per valori di potenza irradiata $P_t = 30 \text{ W}$, 60 W , 90 W , 120 W e 150 W .

Ogni curva divide lo spazio in due regioni, quella interna, più vicina all'antenna, sarà ovviamente caratterizzata da campi $> 6 \text{ V/m}$, quella esterna da valori di campo $< 6 \text{ V/m}$.

Ipotizzare potenze così elevate per collegamenti di telefonia cellulare è tecnicamente poco significativo; questo grafico si riporta all'unico scopo di fornire una stima del campo qualora sullo stesso impianto coesistano molti sistemi e di diversi gestori. Si può notare che ad altezze inferiori ai 15m il campo si mantiene a livelli più bassi rispetto ai limiti di legge anche alla potenza più elevata.

Qualora in prossimità della SRB si trovino altre emittenti di qualsiasi natura (impianti di telefonia mobile o di radiodiffusione) i valori di campo ottenuti per la SRB in esame saranno sommati quadraticamente con i valori massimi di fondo dovuti agli altri impianti

$$E_s = \sqrt{E^2 + E_{tot}^2} \quad (7)$$

essendo:

E_s : valore finale stimato del campo;

E : valore di campo dovuto alla SRB in esame;

E_{tot} : valore di campo di fondo dovuto ad altri impianti.

6. Verifica della copertura

La potenza di 30 W ipotizzata come massima potenza irradiata dalle antenne è stata scelta, in mancanza di altri dati, come un valore cautelativo. Si vuole in questo paragrafo verificare se utilizzando un tale valore di potenza si riesce ad ottenere una sufficiente copertura.

Questa stima sarà effettuata per una cella tipo, con caratteristiche simili ai siti evidenziati in nella sezione 2 e per una lunghezza della tratta di circa 1 km, che sembra essere la situazione più tipica in termini di distanza tra la SRB e un utente nella zona servita.

Il parametro principale da calcolare è l'attenuazione del segnale L , definita come

$$L = \frac{P_T}{P_R} \quad (8)$$

essendo P_T la potenza trasmessa e P_R la potenza ricevuta; l'attenuazione è generalmente data in dB, per cui $L_{dB} = 10 \log_{10}(L)$

Per valutare L sarà utilizzato il modello di Walfish-Ikegami [3-5], raccomandato da progetto COST 231 della Comunità Europea, valido per frequenze nell'intervallo $800\text{MHz} < f < 2000\text{MHz}$ e per distanze $0.02\text{km} < d < 5\text{km}$.

Nel calcolo entrano numerosi parametri geometrici, come di seguito specificato, ai quali deve essere attribuito un valore, stimato o misurato: nel caso in esame le quote di antenne ed edifici saranno valutate a partire da un piano orizzontale di riferimento, che corrisponde alla posizione del piede dell'antenna. Nelle espressioni per il calcolo dell'attenuazione non intervengono infatti le quote assolute, ma i valori relativi delle altezze di antenne ed edifici

I parametri di cui si deve tener conto e che devono essere stimati sono di seguito riportati, assieme al valore che è stato loro attribuito nella situazione specifica:

frequenza	$f=1000 \text{ MHz}$
distanza SRB-mobile	$d=1 \text{ km}$
altezza SRB sopra il livello del piano di riferimento	$h_b=30 \text{ m}$
altezza stazione mobile	$h_m=1.5 \text{ m}$
altezza media degli edifici	$h_B=25 \text{ m}$
altezza antenna SRB al di sopra degli edifici	$\Delta h_b = h_b - h_B = 5 \text{ m}$
altezza del mobile al di sotto del tetto degli edifici	$\Delta h_m = h_B - h_m = 23.5 \text{ m}$
separazione degli edifici	$b=20 \text{ m}$
larghezza delle strade	$w=10 \text{ m}$
angolo di incidenza dell'onda rispetto alla strada	$\varphi=90^\circ$

Come si nota, è stata scelta una situazione in cui l'antenna è collocata poco al di sopra del livello dei tetti, situazione plausibile per molti edifici.

In funzione di tali parametri l'attenuazione è:

$$L = \begin{cases} L_{fs} + L_{rts} + L_{mds}, & se L_{rts} + L_{mds} \geq 0 \\ L_{fs}, & se L_{rts} + L_{mds} < 0 \end{cases} \quad (9)$$

Dove

L_{fs} = attenuazione di spazio libero (*free space loss*) = $32.45 + 20\log_{10}d_{km} + 20\log_{10}f_{MHz}$

Inserendo i dati otteniamo

$$L_{fs} = 92.45 \text{ dB}$$

L_{rts} è il termine di diffrazione tetti-strade (*roof to street diffraction*) ed è dato da:

$$L_{rts} = -16.9 - 10\log_{10}W + 10\log_{10}f_{MHz} + 20\log_{10}\Delta h_m + L_{ori}$$

Inserendo i valori e considerando la massima attenuazione per orientazione $L_{ori} = 4\text{dB}$, si ottiene

$$L_{rts} = 34.5 \text{ dB}$$

L_{mds} è il termine di perdita per diffrazioni multiple (*multiscreen diffraction*) che nel caso, essendo $\Delta h_b = 5\text{m}$, vale

$$L_{mds} = -18\log_{10}(1 + \Delta h_b) + 54 + 18\log_{10}d_{km} - 4\log_{10}f_{MHz} - 9\log_{10}b_m$$

Inserendo i valori otteniamo

$$L_{mds} = 16.3 \text{ dB}$$

Quindi

$$L = L_{fs} + L_{rts} + L_{mds} = 92.45 + 29.7 + 30.3 = 143.25 \text{ dB}$$

Supponendo la sensibilità del ricevitore pari -100 dBm , unitario (0 dB) il guadagno dell'antenna del sistema mobile, e 17 dBi il guadagno dell'antenna della SRB, la potenza da trasmettere sarà

$$P_T = -100\text{dBm} + 143.25\text{dB} - 17\text{dB} = 26.25 \text{ dBm} = 0.4 \text{ W}$$

Per una distanza di 2km l'attenuazione aumenta 11.4 dB per cui $P_T = 37.65 \text{ dBm} = 5.8 \text{ W}$.

Questa distanza è da considerare qualora si prenda in esame la copertura del quartiere di Santa Caterina Sant'Andrea dalla zona cimitero o Cappuccini, come descritto nella sezione 2.1.4 e potrebbe essere critica soprattutto per la tratta "in salita", dal telefono cellulare alla SRB.

Un calcolo più accurato dovrebbe tener conto della codifica del segnale, del tipo di accesso multiplo a seconda del sistema considerato (GSM, UMTS), perdite dei cavi, uso o meno di diversità di spazio o polarizzazione, cifra di rumore del ricevitore, ecc.. ma soprattutto delle condizioni di traffico, che non sono note agli scriventi. Si ritiene comunque che il valore ottenuto (0.4 W) ci garantisce che la potenza di 30 W scelta per valutare l'impatto ambientale è realistica e sufficientemente cautelativa.

La condivisione del sito da parte di più gestori è tecnicamente ammissibile, ma essendo molteplici le scelte tecniche che possono essere operate per ogni impianto, i gradi di libertà del problema sono molto numerosi, per cui la valutazione dell'impatto ambientale può avere attendibilità solo conoscendo la potenza di esercizio e le caratteristiche del sistema installato da ogni gestore. Per ogni impianto si dovrà valutare il campo elettromagnetico irradiato, ed il campo complessivo sarà poi ottenuto mediante l'eq.(7).

In generale possiamo però dire che se la potenza complessiva non eccede i 30 W e i guadagni delle antenne non superano quello usato nel paragrafo 5, l'impatto ambientale non si discosterà, come ordine di grandezza, da quello precedentemente calcolato.

7. Potenze per i siti

Non si ritiene di poter porre limiti alla potenza irradiata da ogni SRB avendo imposto di allontanare dal centro abitato le nuove antenne.

Rimangono fermi i limiti di esposizione di 6 V/m nelle zone abitate.

In sede di esame preliminare l'ARPAM verificherà che tali limiti non siano superati dalla SRB proposta da ogni singolo gestore, anche considerando la coesistenza di più gestori.

Analogamente ogni variazione a impianti preesistenti dovrà avere il nulla osta preventivo dall'ARPAM.

Conclusioni.

Sono stati identificati alcuni siti per il posizionamento di SRB nel comune di Fermo. E' stato poi valutato l'impatto ambientale di una possibile installazione, per fornire elementi di valutazione in merito alla scelta del luogo più idoneo per il posizionamento delle antenne.

La mancanza di alcuni dati, sia relativi all'eventuale impianto da installare sia al luogo dell'installazione, ha imposto di operare delle scelte, come specificato nei paragrafi precedenti; le scelte sono state operate sulla base di valori tipici dei parametri per questo tipo di apparati e sono state sempre cautelative, per cui i valori di campo così ottenuti sono da intendersi come valori massimi possibili. Una variazione della potenza irradiata rispetto a quella considerata comporta comunque una ri-determinazione del valore dei campi secondo il coefficiente correttivo riportato nel paragrafo precedente. Anche l'uso di antenne radicalmente diverse da quelle ipotizzate (evento poco probabile data la destinazione dell'impianto) comporterebbe una nuova valutazione del campo.

E' stata anche effettuata una valutazione della copertura al fine di verificare che il valore ipotizzato di potenza irradiata fosse sufficiente a garantire il servizio.

Come indicato nella relazione, al valore di campo stimato deve essere opportunamente aggiunto il campo di fondo dovuto ad emittenti già presenti.

Eventuali problemi locali di copertura, derivanti dall'esclusione a priori di alcune aree, potrebbero essere risolti con l'uso di microcelle.

In conclusione, pur in presenza di stime fortemente cautelative, per quanto riguarda l'esposizione umana, si può affermare che i siti individuati possono ospitare gli impianti di SRB, con limitazioni relative alla distanza di eventuali edifici che implicino esposizione della popolazione per più di 4 ore al giorno, in funzione della potenza di impianto e delle caratteristiche delle antenne, senza che questo pregiudichi la sicurezza di soggetti esposti ai sensi del DPCM 8-7-2003.

Bibliografia

- [1] Materiale grafico fornito dall'Ufficio urbanistica del Comune di Fermo.
- [2] Constantine A. Balanis, "*Antenna Theory, Analysis and Design*" Third Edition, John Wiley & Sons.
- [3] F. Ikegami, "*A theoretical model of mean field strength for urban mobile radio*", IEEE Trans. on Antennas and Propagation, vol. 39 n. 3, pp. 299-302, March 1991
- [4] J. Walfisch, H. L. Bertoni, "*A theoretical Model of UHF propagation in Urban environments*", IEEE Trans. on Antennas and Propagation, vol. 36 n. 12, pp. 1788-1796, 1988
- [5] N. Blaunstein, "*Radio Propagation in Cellular Networks*", Artech House.

Ancona, 29-1-2007.

Prof. Graziano Cerri

Prof. Roberto De Leo