

# **Analisi d'impatto elettromagnetico di diversi scenari di copertura UMTS**

M.T. Bagli\*, S.R. de Donato\*, C. Fabbri\*\*, L. Bruzzi\*\*

\*ARPA Emilia-Romagna, Sezione di Rimini, Via Gambalunga 83, 47900 Rimini (RN),  
sez@rn.arpa.emr.it

\*\* Università degli Studi di Bologna - Dipartimento di Fisica

## **A) INTRODUZIONE**

Lo studio di carattere teorico prevede la simulazione di diversi scenari di copertura di un'area di 100 kmq con sistema UMTS attraverso il calcolo del link-budget (bilancio di tratta) allo scopo di valutare, a parità di servizio fornito, i livelli di campo elettromagnetico presenti nell'ambiente in diverse situazioni di numero delle Stazioni Base, altezza del sistema radiante rispetto al suolo e potenza di output degli impianti.

Mediante l'utilizzo del modello di propagazione di Okumura-Hata e fissando le condizioni iniziali concernenti i requisiti minimi (bit-rate del servizio, carico della rete, margine di interferenza) e la qualità del servizio, si arriva a calcolare il link-budget, ovvero la massima attenuazione permessa tra stazione fissa e mobile, per un dato servizio arrivando così a definire il raggio di copertura di ciascuna cella e, quindi, a determinare il numero totale di SB necessarie per coprire l'area di territorio stabilita.

Disponendo le SB in maniera da ottimizzarne la copertura, mediante l'utilizzo di software modellistici si rappresentano i livelli di campo elettromagnetico ambientale generati nei diversi scenari ipotizzati calcolandone l'esposizione media per la popolazione residente.

Il calcolo, data la complessità, presenta inevitabili approssimazioni ma è comunque fondamentale per fornire uno strumento, alle Amministrazioni comunali, per l'individuazione del criterio più idoneo nella localizzazione di impianti UMTS che, a parità di servizio fornito, presenti un minor impatto elettromagnetico ambientale.

## **B) GENERALITÀ SULLA COPERTURA CELLULARE DI UN'AREA**

La realizzazione di collegamenti tra impianto fisso ed apparato mobile e tra utenti all'interno di un'area, copertura cellulare, si attua mediante la suddivisione del territorio in tante porzioni (celle), ognuna delle quali prevede una stazione dedicata.

Nel sistema UMTS la potenza della Stazione Base (BS) è condivisa da tutte le connessioni all'interno della stessa: la potenza disponibile quindi per un certo collegamento varia in base al carico (numero di utenti all'interno della cella e bit-rate del servizio richiesto) e alla posizione degli utenti connessi.

Il traffico offerto e la copertura cellulare nella rete UMTS sono dipendenti gli uni dagli altri: l'area di copertura di una data stazione base si adatta al traffico presente.

Ad esempio quando una cella è pesantemente caricata, l'algoritmo di controllo automatico della potenza impone a tutti i terminali di aumentare la potenza trasmessa. Come conseguenza si verifica che i terminali distanti dalla stazione base potrebbero non essere più in grado di connettersi: le chiamate vengono interrotte o il servizio sospeso e la cella diviene effettivamente più piccola. Il fenomeno appena descritto è detto "cell Reathing".

La copertura non può essere valutata senza considerare il comportamento effettivo degli utilizzatori (velocità, periodi d'attività/silenzi): ciò richiede una simulazione dinamica che tiene nella dovuta considerazione quest'aspetto.

Un'importante caratteristica dei sistemi di terza generazione è il fattore del riuso unitario delle frequenze: celle adiacenti hanno la stessa frequenza portante ed in ciascuna cella è utilizzata l'intera ampiezza di banda.

La propagazione del segnale risulta complessa poiché non è quasi mai possibile garantire la visibilità radio tra le antenne interessate. Il termine dominante di attenuazione è funzione della distanza ed è dovuto all'attenuazione in spazio libero e a fenomeni di riflessione del suolo, alla presenza di vegetazione e ad ogni altra caratteristica media dell'ambiente sede della propagazione. Inoltre esistono due componenti secondarie di attenuazione: un termine di oscillazioni lente (fading lento o shadowing), non trascurabili su scale di distanza dell'ordine di alcune lunghezze d'onda, dovuto all'ombreggiamento del segnale, causato da ostacoli di varia natura quali colline ed edifici; un termine di oscillazioni veloci (fading rapido) dovute all'interferenza tra le onde corrispondenti a diversi cammini (echi o repliche del segnale trasmesso).

Inoltre dato che l'utente è dotato di mobilità, si ha che l'attenuazione è funzione del tempo, con rapidità di variazione dipendente dalla velocità di spostamento.

Si possono considerare quindi un termine principale  $A(t)$  di attenuazione a variazione lenta, cui si attribuisce la riduzione di potenza del segnale ed un termine, normalmente trascurabile,  $H(f,t)$  che tiene conto delle variazioni rapide.

La valutazione del termine  $A$  è fondamentale per la pianificazione delle coperture e la stesura di uno schema cellulare sul territorio.

### C) BILANCIO DI TRATTA (LINK BUDGET)

È un metodo analitico basato sulla conoscenza dei parametri del sistema radioelettrico. Lo scopo del link budget è calcolare la massima attenuazione permessa tra stazione base e mobile per un dato servizio, determinare quindi il raggio di ciascuna cella ed infine il numero di stazioni base richieste per coprire una data area.

Il calcolo riguarda sia la tratta up-link che quella down-link: viene scelto il raggio che dalle due tratte risulta più piccolo; la condizione sull'uplink risulta nella maggioranza dei casi la più stringente; generalmente l'up-link è la tratta limitata in copertura mentre il down-link in interferenza: infatti la stazione base ha tipicamente 10-40 W (40-46 dBm) di potenza di uscita disponibile mentre il mobile 0.125-0.250 W (21-24 dBm).

Gli elementi coinvolti nel bilancio riguardano le caratteristiche della BS, il tipo di servizio, le caratteristiche della MS, margini di interferenza e di attenuazione.

Il link budget per il sistema UMTS comprende fattori che fanno parte dei requisiti minimi di servizio e altri che rientrano nella qualità del servizio (QoS).

Della prima categoria, fanno parte i parametri relativi al *trasmettitore* (quali ad esempio massima potenza di trasmissione, guadagno dell'antenna, attenuazione del corpo umano) ed i parametri relativi al *ricevitore* (tra i quali sensibilità ricevitore, guadagno di antenna, attenuazione cavi, densità di rumore termico, densità di rumore del ricevitore, potenza di rumore ricevitore, margine di interferenza, potenza di interferenza ricevitore, guadagno di processo,  $E_b/N_0$  richiesto, margine di fast fading).

Dalla somma algebrica di tali fattori si ricava un'attenuazione di propagazione "massima"; l'attenuazione di propagazione "consentita" per il raggio della cella si calcola prendendo in esame anche i requisiti di qualità del servizio quali ad esempio la probabilità di copertura (ACP), il margine di fading lognormale, il guadagno di softhandover e le attenuazioni dovute alla presenza dei cavi e del corpo umano.

### D) MODELLO DI PROPAGAZIONE

Il modello di propagazione fornisce una stima del valore mediano del segnale nell'ambiente considerato e permette di convertire l'attenuazione di propagazione "consentita" per la cella, espressa in dB, nel raggio massimo della cella in km.

Nei calcoli svolti si usa il modello empirico di Okumura-Hata, semplificato in base alle nostre condizioni. È stato sviluppato a partire da misure utilizzate da Okumura a Tokio nel 1968: la formula è stata poi fornita da Hata nel 1980. Essa fornisce una stima del valore mediano del campo in funzione della distanza dall'antenna e di altri parametri di sistema secondo la seguente espressione dell'attenuazione:

$$L(\text{dB}) = 69.55 + 26.16 \cdot \log f - 13.82 \cdot \log h_{BS} - a(h_{MS}) + (44.9 - 6.55 \cdot \log h_{BS}) \cdot \log R$$

in cui:

$f$  = frequenza in MHz;

$h_{BS}$  = altezza equivalente della BS in m (si tiene conto dell'irregolarità del terreno);

$a(h_{MS})$  = parametro legato all'altezza sul terreno della MS e solitamente si trascura.

$R$  = raggio della cella in km.

$L$  = attenuazione di propagazione consentita per il raggio della cella  $R$

I limiti di applicabilità del modello sono:  $h_{BS} \geq 30 \text{ m}$  e  $R \geq 1 \text{ km}$ .

### E) CALCOLO DEL RAGGIO DELLA CELLA IN DIVERSE SITUAZIONI

Data la complessità del calcolo, dovuto principalmente all'importanza delle previsioni di traffico che richiedono strumenti di simulazione dinamica, bisogna introdurre delle semplificazioni per il nostro modello.

Si considera uno scenario ideale con celle aventi tutte le stesse caratteristiche ed una distribuzione del carico uniforme tra tutte le celle.

Per quanto riguarda l'ambiente di propagazione si considera un territorio uniforme con caratteristiche simili allo spazio libero, dove l'attenuazione principalmente è dovuta alla distanza. Si

suppone inoltre che in un certo istante (snapshot) il servizio utilizzato sia lo stesso, caratterizzato da un unico bit-rate, sia in uplink che in downlink e dal fatto che gli utenti si trovano all'aperto e fermi.

Fissando le condizioni di carico della rete, le potenze di trasmissione delle stazioni base e la probabilità di copertura, si attribuisce allo scenario ipotizzato una attenuazione consentita  $L$  dalla quale, attraverso l'utilizzo del modello di propagazione di Okumura-Hata, si ricava il raggio di copertura  $R$  di ogni singola cella prendendo il valore più restrittivo tra quelli calcolati per la tratta in up-link e per quella in down-link dello stesso scenario.

Per determinare poi il numero di SB necessarie per coprire un territorio, si divide l'area totale per l'area di ogni singola cella. La tassellazione viene fatta con esagoni regolari, dato che la legge di attenuazione sul territorio è uniforme e le linee di isolivello sono circonferenze concentriche, l'esagono di riferimento è inscritto nella circonferenza con diametro uguale al raggio di copertura calcolato. L'area totale da coprire è  $100 \text{ km}^2$ . Nei calcoli gli arrotondamenti sono fatti tutti per eccesso.

In tabella 1 viene presentato in sintesi il calcolo del link budget per quattro diversi scenari; per tutti si è scelto lo stesso tipo di servizio e uguale probabilità di copertura del territorio.

Si specifica che il requisito di copertura da soddisfare è relativo all'area utile di servizio  $F_u$  (Area Coverage Probabilità (ACP)), che si calcola in base alla percentuale di punti nei quali si garantisce la copertura del servizio all'interno di una cella generica  $R$ .

Tabella 1 – calcolo raggio di copertura a differenti situazioni di carico

		Pot. Tx max (dBm)	Fc (MHz)	Altezza BS (m)	Bit-rate (kbit/s)	Prob.di copertura (%)	Atten. di propag. consentita $L$	Raggio di copert. (km)	Raggio di copert. definitivo (km)	N° SRB/ 100 kmq
1° SCENARIO carico $\rho$ al 20%	tratta uplink	24	1950	30	144	80	153.1	3.3	3.3	14
	tratta down link	43	1950	30	144	80	166.8	8.1		
2° SCENARIO carico $\rho$ al 50%	tratta uplink	24	1950	30	144	80	151.1	2.9	2.9	23
	tratta down link	43	1950	30	144	80	164.8	8.1		
3° SCENARIO carico $\rho$ al 75%	tratta uplink	24	1950	30	144	80	148.2	2.4	2.4	27
	tratta down link	43	1950	30	144	80	161.7	5.8		
4° SCENARIO carico $\rho$ al 5%	tratta uplink	24	1950	5	144	80	153.9	1.58	1.58	23
	tratta down link	30	1950	5	144	80	155.1	1.7		

Nei primi tre scenari la copertura del sistema viene ipotizzata considerando l'utilizzo realistico di SB con potenza di trasmissione massima fissata a 43 dBm (20 W) e con altezza del centro elettrico dei sistemi radianti a 30 metri d'altezza; i tre scenari si differenziano per le diverse situazioni di carico della rete allo scopo di valutare l'impatto della crescita del traffico sul numero di SB da installare sul territorio e quindi sui livelli di campo a cui è esposta la popolazione. Il calcolo del link budget permette di determinare il raggio di copertura  $R$  con le condizioni ipotizzate.

Nel quarto scenario si prende in considerazione una situazione di copertura del sistema che, utilizzando BS con potenza massima di trasmissione pari a 30 dBm (1 W) e con altezza del centro elettrico di 5 metri, permetta di mantenere la stessa capacità di rete ipotizzata nel primo scenario; per fare ciò il raggio di copertura  $R$  viene fissato a priori, ed inferiore a quello ottenuto negli scenari precedenti, mentre il carico della rete  $\rho$  viene determinato a partire dai dati del primo scenario; in tale caso il calcolo del link budget è solo una verifica delle ipotesi fatte e date le approssimazioni ci si aspetta che il valore del raggio di copertura non coincida perfettamente con quello fissato come condizione iniziale. Seppure la situazione del quarto scenario non risulti realistica, tuttavia permette di valutare, a parità di carico della rete, la variazione di esposizione della popolazione a livelli di campo elettromagnetico generati dall'utilizzo di diverse tipologie di SB sul territorio.

## F) VALUTAZIONE DEI LIVELLI DI CAMPO TRAMITE I PROGRAMMI NFA2K E ALDEMAP

Per il calcolo dei livelli di campo elettrico generati dagli impianti UMTS è stato utilizzato il programma NFA2K che fornisce la previsione dei livelli di campo elettromagnetico presenti nelle vicinanze di antenne che irradiano segnali di frequenza compresa tra 30 MHz e 3 GHz. Vengono inseriti in input i dati relativi ai sistemi di antenne che costituiscono le SB, quali longitudine, latitudine, rotazione traliccio, altezza sistema radiante, potenza, frequenza, tilt.

Mediante l'utilizzo del software Aldemap è possibile rappresentare i livelli di campo generati da più SB dislocate su un territorio.

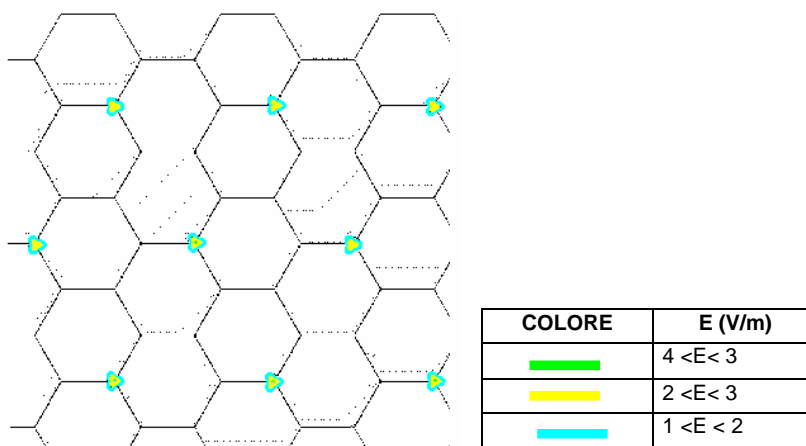
L'antenna utilizzata in tutte le configurazioni è la Kathrein 741794 con guadagno pari a 18.5 dBi, frequenza di trasmissione pari a 1950 MHz e tilt elettrico pari a 2°. Per i primi tre scenari l'illuminazione del territorio avviene dall'alto, ossia le antenne sono installate a 30 m di altezza, nel quarto scenario le antenne sono installate sugli edifici, ad altezza di 5 m.

Nella realizzazione reale di copertura non si adotterebbe lo stesso tipo di antenna: la semplificazione è giustificata dallo scopo della simulazione che è il confronto tra ambienti omogenei.

I tre impianti che costituiscono la SB sono orientati rispettivamente a 90°, 210°, 330°, considerando come riferimento il nord geografico. Le SB sono collocate ad una distanza reciproca di  $1.5 \cdot R$  a scacchiera, in modo da ottimizzare la copertura del territorio, e i sistemi radianti orientati con gli stessi angoli.

In figura 1 è riportata la rappresentazione del 3° scenario, quello in cui è risultato il raggio di copertura minimo e quindi con maggiore numero di SRB sul territorio, con i livelli di campo all'altezza di 25 metri dal suolo. La risoluzione adottata è pari a 5 m, in base alla capacità di calcolo del computer.

Figura 1 – Esempio di rappresentazione dei livelli di campo elettrico calcolati.



Dalla figura 1 si nota che i livelli di campo maggiori o uguali a 1 V/m rimangono confinati attorno ad ogni SB per le distanze considerate, pertanto se ipotizziamo di avere una distribuzione di edifici attorno alla SB, l'esposizione della popolazione dipende unicamente dal campo elettromagnetico generato dal singolo impianto. Naturalmente l'esposizione è maggiore ad altezze prossime a quelle a cui si trova l'antenna trasmittente.

L'unico fattore che determina un incremento dei livelli medi di campo elettromagnetico sull'area di 100 km<sup>2</sup> è l'aumento di SB da utilizzare per la copertura del sistema passando dal 1° al 3° scenario.

## G) CONFRONTO TRA LIVELLI DI CAMPO ELETTRICO PRODOTTI DA SB A 1 W E A 20 W A DIVERSE ALTEZZE DAL SUOLO

Confrontiamo i livelli di campo elettromagnetico generati dalle due postazioni, che hanno rispettivamente potenza massima di trasmissione di 30 dBm (1 W) e 43 dBm (20 W), a diverse altezze dal suolo: a 15 m, corrispondente all'altezza massima degli edifici in ambiente urbano, a 10 m, a 5 m, altezza del centro elettrico dell'impianto del quarto scenario e infine a 2 m.

Le figure 2, 3 e 4 mostrano, come esempio, i livelli di campo elettrico calcolati alle prime tre altezze i cui colori sono riportati in tabella 2; le immagini delle singole postazioni sono realizzate tramite NFA2K.

Le figure mostrano anche i punti di controllo fissati attorno a ciascuna SB fino ad una distanza di 100 metri dal centro della postazione lungo le direzioni corrispondenti alla massima e minima intensità d'irradiazione di un settore su diverse altezze dal suolo.

Tabella 2: legenda colori







COLORE ASSOCIATO	CAMPO ELETTRICO E (V/m)
	$E > 2.5$
	$2 < E < 2.5$
	$1.5 < E < 2$
	$1 < E < 1.5$
	$0.5 < E < 1$
	$E < 0.5$

Figura 2: confronto tra livelli di campo elettrico ad altezza di 15 m

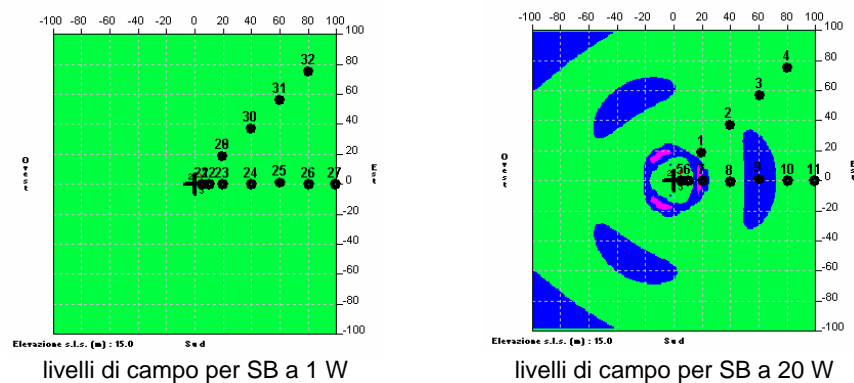


Figura 3: confronto tra livelli di campo elettrico ad altezza di 10 m

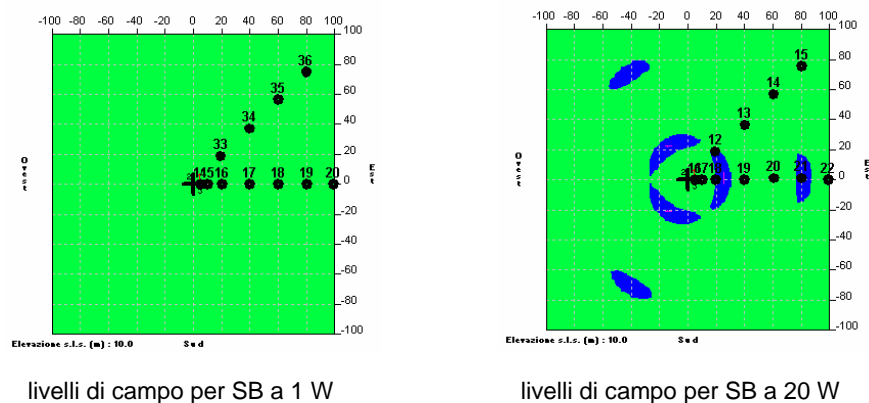
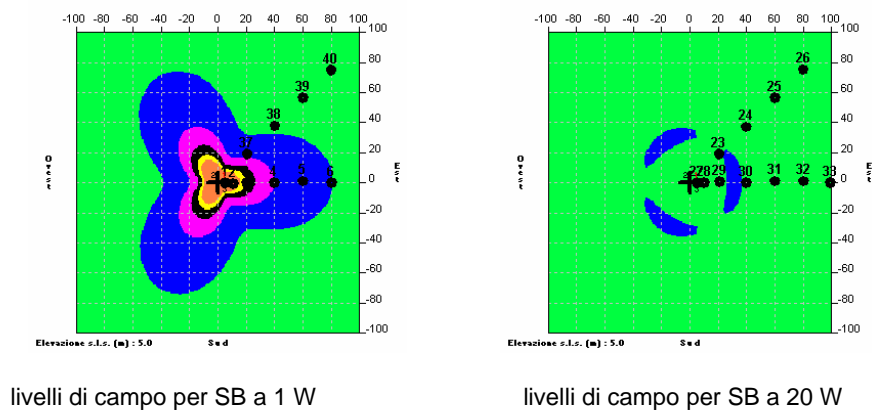


Figura 4: confronto tra livelli di campo elettrico ad altezza di 5 m



Dalle figure 2 e 3 si nota che la SB con potenza di trasmissione di 1 W genera livelli di campo elettrico che risultano ovunque inferiori a 0.5 V/m; la SB con potenza di trasmissione di 20 W crea invece un campo elettrico che raggiunge a 15 m di altezza dal suolo valori compresi tra 1.5 V/m e 1 V/m mentre a 10 metri di altezza i valori di campo elettrico risultano inferiori a 1 V/m.

Dalla figura 4 si rileva che i valori di campo elettrico intorno alla SB a potenza 1 W sono maggiori, infatti il centro elettrico dell'antenna è a 5 m di altezza: in tale caso a 5 m di distanza dall'impianto il valore di campo elettrico è pari a 5.77 V/m mentre per l'impianto a 20 W nello stesso punto è a 0.17 V/m.

In figura 5 si evidenzia che a 2 m di altezza il campo elettrico generato dall'impianto a 20 W si mantiene al di sotto di 0.5 V/m mentre attorno alla SB con potenza 1 W è presente un campo elettrico che al massimo raggiunge, nei punti considerati, un valore pari a circa 1 V/m.

## H) CONCLUSIONI E DISCUSSIONE

Come è logico aspettarsi i volumi di rispetto generati dalla SB con minore potenza di trasmissione risultano di dimensioni inferiori rispetto a quelli generati da impianti con potenze maggiori; tuttavia se si ipotizza che l'altezza media di un edificio in ambiente urbano, quale è il territorio comunale di Rimini, sia tra i 5 e i 10 metri, si nota che l'esposizione della popolazione risulta maggiore con copertura del sistema UMTS che utilizzi SB a potenza massima di 1 W ma a 5 metri di altezza dal suolo piuttosto che con impianti a 20 W che possono essere collocate a 30 metri dal suolo.

In tabella 3 vengono riportati i valori medi di campo elettrico calcolati nei punti di controllo per le diverse altezze.

Tabella 3 – calcolo valori medi di campo elettrico a diverse altezze dal suolo

Altezza (m)	Valor medio di campo elettrico E1 (V/m) per SB 20 W	Valor medio di campo elettrico E2 (V/m) per SB 1 W	E2/E1
15	0.4	0.08	0.2
10	0.3	0.2	0.7
5	0.2	1.4	7
2	0.2	0.5	2.5

Considerando inoltre che la copertura del territorio con impianti a 20 W si realizza con un minor numero di impianti rispetto all'utilizzo di SB a 1 W, si trova che per la copertura del territorio di 100 kmq tale situazione media si presenta 14 volte nel caso di impianti a 20 W contro 23 volte con l'utilizzo di SB a 1 W.

Dall'analisi svolta si può concludere che la copertura con minor impatto elettromagnetico medio risulta quella che utilizza impianti con maggiore potenza e maggiore altezza di collocazione del centro elettrico del sistema radiante rispetto al suolo.

La Legge n. 36/2001 stabilisce all'art. 8 la potestà dei Comuni di emanare regolamenti per assicurare il corretto insediamento degli impianti e la necessità di perseguire l'obiettivo di qualità di minimizzare l'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici.

In tale contesto normativo/regolamentare le elaborazioni presentate nel presente lavoro possono avere, presso le Amministrazioni comunali, il valore di strumento a supporto della pianificazione in grado di individuare il criterio più idoneo per l'installazione sul territorio di SB nella fattispecie per il servizio offerto con il sistema UMTS, proponendo la collocazione degli impianti ad esempio su pali di illuminazione pubblici di rotatorie stradali o di campi da calcio che offrono la possibilità di utilizzare strutture portanti già esistenti e ad altezze rilevanti rispetto al suolo, piuttosto che orientare la scelta verso la collocazione su edifici spesso a quote confrontabili con l'altezza degli edifici limitrofi.

## Bibliografia

- [1] C. Fabbri "Analisi d'impatto ambientale del sistema di comunicazione UMTS: tecniche di misura e simulazione di diversi scenari di implementazione della rete" Tesi di laurea Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali Corso di laurea in Fisica, Università degli Studi di Bologna, Anno Accademico 2004-2005.