



UNIVERSITY  
OF TRENTO

---

**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA E SCIENZA DELL'INFORMAZIONE**

---

38050 Povo – Trento (Italy), Via Sommarive 14  
<http://www.disi.unitn.it>

RAPPORTO TECNICO N.4 – STUDIO ED IMPLEMENTAZIONE DI UN MODELLO  
ELETTROMAGNETICO PER ANALISI COPERTURA UMTS (MODELLO GANDINI  
RIUSCITI) – DIT-PRJ-08-034

A. Massa, and ELEDIALab

Dicembre 2008

Technical Report # DISI-08-086





*ELectromagnetic DIAgnostics Lab.*  
*Information and Communication Technology*  
*Dept.*

*University of Trento*

Via Sommarive 14, 38050 Trento, ITALY  
Phone +39 0461 882057 Fax +39 0461 882093  
E-mail: [andrea.massa@ing.unitn.it](mailto:andrea.massa@ing.unitn.it)



**Contract No. DIT-PRJ-08-034**

## **Rapporto No. 4**

*Studio ed Implementazione di un Modello  
Elettromagnetico per Analisi di Copertura UMTS  
(Modello GANDINI-RUSCITTI)*

***Version: 1.0***

***Document status: Draft***

***Author: L. Manica***

***Access: Confidential***

***Date: 23.12.2008***

***Hour: 14.00***

# Table of Contents:

1. Introduzione	3
2. Files Ingresso - Uscita	4
2.1 Files in Ingresso	4
2.2 Files in Uscita	6
3. Validazione Numerica	9
3.1 Costi Computazionali - Singolo Pixel - $N$ variabile	9
3.2 Analisi Copertura - Campionamento $A_{y_{thr}}$	12
3.3 Analisi Copertura - Costruzione Mappa Probabilità	16
3.4 Analisi Copertura - $P_{thr}$ variabile	18
3.5 Analisi Copertura - $y_{thr}$ variabile	19
4. Conclusioni	20
Bibliografia	21

# 1 Introduzione

Lo scopo di questo report riguarda l'illustrazione dei risultati ottenuti durante il piano di validazione del software che implementa il modello elettromagnetico per l'analisi di copertura *UMTS* (Modello Gandini-Ruscitti) [1]. Il piano di validazione, evoluzione di quello illustrato in modo dettagliato in [3], è suddiviso in cinque casi di test principali, di seguito riportati:

- studio dei costi computazionali del modello al variare del numero massimo di celle  $N$  in trasmissione nel singolo pixel;
- analisi dell'effetto del campionamento del dominio di integrazione nel calcolo della probabilità di copertura;
- studio ed analisi delle mappe di probabilità generate dal modello;
- studio della copertura del sito *UMTS* al variare della probabilità di soglia di copertura  $P_{thr}$ ;
- studio della copertura del sito *UMTS* al variare della potenza di soglia di copertura  $y_{thr}$ .

La scelta di tali casi di test permette la valutazione (a) della capacità del software di costruire una mappa di copertura di un sito *UMTS* a partire dai dati provenienti da un *tool* di *planning* elettromagnetico e (b) dei costi computazionali che il processo di analisi prevede. Inoltre, i risultati ottenuti offrono un'adeguata panoramica dei pregi e dei difetti del modello proposto, ponendo le basi per un ulteriore raffinamento e miglioramento dello stesso.

In dettaglio, il report si sviluppa secondo il seguente schema: nella Sezione 2 sono descritti (i) i *files* di *input* provenienti dal *tool* di *planning* elettromagnetico e (ii) i *files* di *output* forniti dal software implementato. Successivamente, nella Sezione 3 saranno analizzati alcuni casi di test: inizialmente saranno valutati i costi computazionali relativi al calcolo della copertura di un singolo pixel (Sezione 3.1), successivamente sarà mostrato l'influenza che scelte diverse di campionamento portano nel calcolo complessivo della copertura del pixel (Sezione 3.2). Una volta mostrato come nella versione di modello fin ora implementata i risultati possano essere validati solo se il numero di celle trasmittenti nel pixel  $N$  è uguale a 1 sarà costruita una mappa di copertura per una sotto-area del sito *UMTS* (Sezione 3.3), successivamente la copertura del sito sarà analizzata per diversi valori di valori di soglia di probabilità  $P_{thr}$  (Sezione 3.4) e di potenza  $y_{thr}$  (Sezione 3.5). Infine, nella Sezione 4 sono riportate le conclusioni volte sia a sottolineare le potenzialità del metodo nel trattare il problema della copertura di siti *UMTS* sia le necessarie migliorie da apportarvi.

## 2 Files Ingresso-Uscita

In questa sezione sono descritti i *files* in ingresso del software provenienti dal *tool* di *planning* elettromagnetico e i *files* in uscita prodotti dal software che implementa il modello Gandini-Ruscitti. Questi ultimi contengono sia tutte le informazioni necessarie a determinare la copertura di un sito *UMTS* che i costi computazionali (tempi di calcolo) relativi ad ogni parte del modello.

### 2.1 Files in Ingresso

Il *tool* di *planning* elettromagnetico fornisce in ingresso i seguenti *files*:

- *Coverage\_array.txt*;
- *Siti\_anagrafica.txt*;
- *Celle\_Potenze.txt*;
- *Transmitter\_radioelettrici.txt*.

#### File in ingresso - *Coverage\_array.txt*

Il file *Coverage\_array.txt* presenta la seguente struttura:

```
type UMTS
timestamp 11:14:32 23-Jun-08
resolution 50
xmin 392750
xmax 397500
ymin 4989350
ymax 4993900
x_num_pixels 95
y_num_pixels 91
:
394550 4989350 1U5141-A_3 -106.1 1U5192-F_2 -109.4 1U5141-A_2 -109.8
```

Le prime nove righe del file sono descrittive rispettivamente (1) della tecnologia di trasmissione (*UMTS* o *GSM*), (2) della data di creazione del file, (3) della dimensione del lato del pixel espressa in metri, (4 – 7) delle coordinate longitudinali e latitudinali in proiezione

*UTM 32 ED 50* degli estremi della sito, (8–9) del numero di pixel dell'area di studio secondo latitudine e longitudine.

I dati successivi descrivono le potenze ricevute nel pixel provenienti dalle celle serventi. I dati sono organizzati in righe che contengono un numero di campi variabile che dipende dal numero di celle che trasmettono nel pixel. In generale, si trova: (i) Coordinata longitudinale del pixel in proiezione *UTM 32 ED 50*; (ii) Coordinata latitudinale del pixel in proiezione *UTM 32 ED 50*; poi, per ciascuna cella che trasmette nel pixel si trova il codice della cella seguita dalla potenza del segnale ricevuto (espresso in *dBm*) nel pixel. I codici delle celle sono ordinati secondo il valore di potenza che trasmettono nel pixel.

### File in Ingresso - *Celle\_Potenze.txt*

Il file *Celle\_Potenze.txt* contiene tutti i dati relativi alla potenza trasmessa dalla celle, ed è organizzato secondo la seguente struttura:

```
Name Transmitter Max Power (dBm) Pilot Power (dBm) SCH power (dBm) other CCH power (dBm) Total Power (dBm)
1F4529-A1_1(0) 1F4529-A1_1 43 33 23 32.6
1F4529-A1_2(0) 1F4529-A1_2 43 33 23 32.6
:
1W2220-A1_1(0) 1W2220-A1_1 43 27 23 32.6
```

I campi presenti sono: il nome della cella trasmittente, il nome del trasmettitore, la potenza massima trasmissibile, la potenza del segnale pilota, la potenza del canale *SCH*, la potenza degli altri canali *CCH* e la potenza totale trasmessa associata ad un determinato trasmettitore. Da notare come il *tool* di *planning* distingue il concetto di trasmettitore da quello di cella. La cella è un oggetto che contiene tutti i dati di potenza relativi alla trasmissione del segnale e può contenere vari trasmettitori.

### File in ingresso - *Siti\_Anagrafica.txt*

Il file *Siti\_Anagrafica.txt* contiene le informazioni che riguardano la posizione delle celle che trasmettono nel sito *UMTS* da analizzare. Esso è organizzato secondo la seguente struttura:

```
Name X Y Altitude (m)
1F4529-A1 396252.8 4992121.1 [240]
1F4541-A1 393280.2 4993288.3 [252]
1F5160-A3 396484.8 4991933.1 [243]
:
1W2220-A1 396660.06 4991203.96 [235]
```

I campi presenti indicano rispettivamente: (1) il codice identificativo della cella in trasmissione, (2 – 3) la latitudine e la longitudine della cella espressa in proiezione *UTM 32 ED 50*, (4) l'altitudine sul livello del mare (in metri) a cui è posta la cella racchiusa da parentesi quadre se il dato è stato ottenuto da un database altimetrico, o senza parentesi se inserito manualmente dall'operatore.

### File in Ingresso - *Transmitter\_radioelettrici.txt*

Il file *Transmitter\_radioelettrici.txt* contiene i dati associati ai trasmettitori che irradiano nel sito, e presenta i seguenti campi:

```

Site Transmitter Active Antenna Height (m) Azimuth (°) Mechanical Downtilt (°) Main calculation ...
radius (m) Main propagation model Main resolution (m) Cell Edge Coverage Probability (%)
1F4529-A1 1F4529-A1_1 False LPA7-TRI-UMTS 24.8 270 40 15000 ...
umts_2_slope_newclutter_384 50 75 .
1F4529-A1 1F4529-A1_2 False LPA7-TRI-UMTS 21 295 40 15000 ...
umts_2_slope_newclutter_384 50 75 .
:
1W2220-A1 1W2220-A1_1 False 80010248-UMTS 3.5 200 0 15000 ...
umts_2_slope_newclutter_384 50 75.

```

Partendo da sinistra verso destra si trovano: (1) il nome della cella trasmittente, (2) il nome della trasmettitore costruito a partire dal nome della cella e ponendo in fondo al nome un numero progressivo (nell'esempio *1F4529 – A11* indica il trasmettitore numero 1 della cella *1F4529 – A1*). Successivamente si trovano: (3) il flag *active* che indica se la cella trasmette o meno, (4) il nome dell'antenna, (5) l'altezza base antenna, (6) l'azimuth o direzione di puntamento dell'antenna, (7) il *downtilt* meccanico; (8) il raggio principale di calcolo, cioè la distanza massima di propagazione del segnale; (9) il nome del modello di propagazione utilizzato; (10) la dimensione del lato del pixel; (11) la probabilità di copertura a bordo cella.

## 2.2 Files in Uscita

I *files* forniti in uscita dal software che implementa il modello elettromagnetico per l'analisi di copertura *UMTS* contengono le informazioni riguardanti la copertura o meno dei pixel, la probabilità che essi sia coperti e i costi computazioni relativi al processo di calcolo. I *files* in uscita sono tre: *coverage.map.dat*, *coverage.probability.map.dat* e *Tempo.Elaborazione.dat*.

### File in Uscita - *coverage.map.dat*

Il file *coverage.map.dat* è organizzato nel seguente modo:

```
# x - y - coverage
396950 4989350 0
397000 4989350 0
:
397450 4989700 0
396950 4989750 1
397000 4989750 1
397050 4989750 1
:
397350 4989850 1
397400 4989850 1
397450 4989850 1
```

I dati sono disposti su tre colonne che identificano rispettivamente: (1 – 2) coordinate longitudinali e latitudinali in proiezione *UTM 32 ED 50* del pixel ed infine (3) se il pixel è coperto o meno (1 indica che il pixel è coperto, 0 che non è coperto).

### File in Uscita - *coverage.probability.map.dat*

Il file *coverage.probability.map.dat* mantiene la stessa struttura del file *coverage.map.dat* in cui però al posto della colonna di flag si trova una colonna contenente la probabilità di copertura del pixel. In dettaglio si ha:

```
# x - y - coverage - probability
396950 4989350 0 0.218016E+00
397000 4989350 0 0.274784E+00
:
397450 4989700 0 0.929522E+00
396950 4989750 1 0.998290E+00
397000 4989750 1 0.995106E+00
397050 4989750 1 0.989355E+00
:
397350 4989850 1 0.993332E+00
397400 4989850 1 0.989386E+00
397450 4989850 1 0.982162E+00
```

I dati sono disposti su quattro colonne che identificano (1 – 2) coordinate longitudinali e latitudinali in proiezione *UTM 32 ED 50* del pixel, (3) se il pixel è coperto o meno (1 indica che il pixel è coperto, 0 che non è coperto) ed infine (4) la probabilità di superamento soglia associata al pixel. Nel file visualizzato la soglia di probabilità  $P_{thr}$  è fissata in 0.95 e dunque si nota come solo nei pixel in cui tale livello è superato vale la copertura.

### **File in Uscita - *Tempo.Elaborazione.dat***

Il file *Tempo.Elaborazione.dat* memorizza tutte le informazioni riguardanti il tempo di calcolo del processo di copertura. In dettaglio esso è strutturato come:

```
# Time [sec.]
Tempo Lettura Dati: 0.250000E+00
:
76 0.535000E+01
77 0.539000E+01
78 0.551000E+01
:
975 0.542000E+01
976 0.545000E+01
977 0.545000E+01
Tempo Totale: 0.601710E+03
Tempo Medio per Pixel: 0.5136E+01
```

Dopo l'intestazione, nella seconda riga è mostrato il tempo necessario a leggere i dati in ingresso, successivamente i dati sono disposti in due colonne: nella prima è indicato il codice del pixel valutato mentre nella seconda il tempo impiegato a verificarne la copertura. Infine, sono riportati il tempo di calcolo totale e il tempo di calcolo medio necessario per il calcolo della copertura del singolo pixel.

### 3 Validazione Numerica

In questa sezione sono presentati alcuni risultati significativi ottenuti dal software. In dettaglio, il primo caso (Sezione 3.1) riguarda la copertura di un singolo pixel considerando diversi valori di celle trasmettenti. L'attenzione è rivolta ai costi computazionali del modello riferendosi sia al tempo di calcolo che alla memoria occupata. Nella sezione successiva (3.2) si è analizzata l'influenza nella scelta del campionamento sui risultati ottenuti per diverse configurazioni di soglia del rapporto segnale-interferente e di potenza ricevuta nel pixel. Poi (Sezione 3.3), una volta fissato un livello di soglia per il rapporto segnale-interferente  $y_{thr}$  e di probabilità di superamento di tale soglia  $P_{thr}$ , è stata costruita una mappa di copertura per una parte del sito *UMTS* in esame considerando per ogni pixel una singola cella servente. Nella Sezione 3.4 è stato invece studiata l'influenza della probabilità di soglia  $P_{thr}$  sulla mappa di copertura del sito. Infine, nella Sezione 3.5 si è considerata l'evoluzione della copertura del sito variando il valore di soglia del rapporto segnale-interferente  $y_{thr}$ .

#### 3.1 Costi Computazionali - Singolo Pixel - $N$ variabile

Allo scopo di valutare i costi computazionali del modello si è considerata la copertura di un singolo pixel per differenti valori di celle trasmettenti. In dettaglio, il pixel considerato è descritto dalla seguente linea del file *Coverage\_array.txt* di seguito riportata:

```
392750 4989350 1U5192-F_3 -93.32 1U5200-A_3 -103.8 1U5181-A_2 -105.1 ...
1U5181-A_3 -107.5 1U5140-A_3 -108.2 1U5196-A_2 -109.4 1U5141-A_3 -109.4
```

Le coordinate longitudinali e latitudinali in proiezione *UTM 32 ED 50* sono rispettivamente 392750 e 4989350 e nel pixel arriva il segnale di 7 trasmettitori: il trasmettitore 3 della cella *1U5192 - F* il cui valore di potenza vale  $-93.32 [dBm]$ ; il trasmettitore 3 della cella *1U5200* (potenza ricevuta  $-103.8 [dBm]$ ); i trasmettitori 2 e 3 della cella *1U5181 - A* (con potenza rispettivamente di  $-105.1 [dBm]$  e  $-107.5 [dBm]$ ); il trasmettitore 3 della cella *1U5140 - A* (potenza  $-108.2 [dBm]$ ); il trasmettitore 2 della cella *1U5196 - A* (potenza  $-109.4 [dBm]$ ) ed infine il trasmettitore 3 della cella *1U5141 - A* (potenza  $-109.4 [dBm]$ ). La descrizione invece delle potenze e del rapporto tra potenza del segnale pilota e totale si ottiene considerando i dati contenuti nelle seguenti righe del file *Celle\_Potenze.txt*:

```
Name Transmitter Max Power (dBm) Pilot Power (dBm) SCH power (dBm) other CCH power (dBm) Total Power (dBm)
:
1U5140-A_3(0) 1U5140-A_3 43 33 23 32.6
```

1U5141-A\_3(0) 1U5141-A\_3 43 33 23 32.6  
 1U5181-A\_2(0) 1U5181-A\_2 43 33 23 32.6  
 1U5181-A\_3(0) 1U5181-A\_3 43 33 23 32.6  
 1U5192-F\_3(0) 1U5192-F\_3 43 33 23 32.6  
 1U5196-A\_2(0) 1U5196-A\_2 43 33 23 32.6  
 1U5200-A\_3(0) 1U5200-A\_3 43 33 23 32.6

Per tutti i trasmettitori considerati vale  $Max\ Power = 43 [dBm]$  e  $Pilot\ Power = 33 [dBm]$  da cui segue un rapporto  $p = -10 [dBm] = 0.1$ . Il caso di test e' dunque descritto dai seguenti parametri [3]:

- Numero di celle Trasmittenti  $N$ , variabile.  
 $N = 1, \dots, 7$ .
- Livelli di potenza del segnale ricevuto nel pixel provenienti dalle celle:  $X \in R^N$ :  
 $X = [\langle x_1 \rangle, \dots, \langle x_7 \rangle] = [-93.32, \dots, -109.4] [dBm]$ .
- Valore delle varianze dei valori di potenza ricevuta:  $\sigma_n^2$   
 $\sigma_n^2 = \sigma^2 = 8 [dBm]$ ;  $n = 1, \dots, 7$ .
- Coefficiente di Potenza Segnale Pilota su Potenza Totale proveniente dall' $n$ -esima cella, riferito all' $i$ -esimo collegamento terminale mobile - cella:  
 $a_{in} = 10$ ;  $i = 1, \dots, 7$   $n = 1, \dots, 7$ .
- Inverso dei Rapporti Potenza del segnale pilota sulla Potenza Totale:  
 $p_{in} = \frac{1}{a_{in}} = 0.1$ ;  $i = 1, \dots, 7$   $n = 1, \dots, 7$ .
- Rumore Termico riferito alla cella  $n$ -esima cella:  $c_n [mW]$ .  
 $c_n = c = 3.533 \times 10^{-10}$ ;  $n = 1, \dots, 7$ .
- Numero di Intervalli di discretizzazione per la variabile  $y_n$ :  $M_n^y$ ;  $n = 1, \dots, 7$ .  
 $M_n^y = M^y = 200$ ;  $n = 1, \dots, 7$ .
- Soglia per il rapporto Segnale-Interferente:  $y_{thr} = -10.5 [dBm]$ .
- Soglia di Probabilità del rapporto Segnale-Interferente:  $P_{thr} = 0.95$ .

Allo scopo di quantificare i costi computazionali delle varie parti del processo di calcolo sono stati considerati separatamente il tempo necessario alla lettura dei files in ingresso  $t_l$  e quello per il calcolo della copertura  $t_c$ . Inoltre, sono riportati il numero totale di campioni  $M_{tot}$  in cui è discretizzato il dominio di integrazione [1] e una stima della memoria occupata espressa in  $[Kbyte]$ . I risultati ottenuti sono riportati in Tabella I. I tempi di calcolo fanno riferimento a simulazioni ottenute su un PC portatile TOSHIBA S5200-801 con Processore Pentium IV, con frequenza di 4  $[GHz]$  e 512  $MByte$  di RAM. Si nota come sia i tempi di calcolo che la memoria crescano esponenzialmente con il numero di celle in trasmissione. Per  $N \geq 4$  non si è in grado di calcolare la copertura del pixel perchè il software genera un errore di *overflow*. Tale errore è dovuto al fatto che nella versione del software utilizzata i campioni del dominio di integrazione sono generati contemporaneamente e immagazzinati in un vettore [3]. Per superare questo inconveniente nella versione successiva saranno generati solo i campioni necessari al calcolo della probabilità [3] eliminando così ogni errore di *overflow*. Per quanto riguarda invece i tempi di calcolo sarà necessario effettuare uno studio approfondito dello spazio di integrazione selezionando opportuni intervalli in cui la densità di probabilità del rapporto segnale-interferente assume valori significativi e scartando tutti gli altri.

$N$	$t_l [sec]$	$t_c [sec]$	$t_{tot} [sec]$	$M_{tot}$	Memoria $[Kbyte]$	Errore
1	$2.50 \times 10^{-1}$	$3.00 \times 10^{-2}$	$2.80 \times 10^{-1}$	$2 \times 10^2$	$1.56 \times 10^0$	–
2	$2.50 \times 10^{-1}$	$5.32 \times 10^0$	$5.57 \times 10^0$	$4 \times 10^4$	$6.25 \times 10^2$	–
3	$2.50 \times 10^{-1}$	$5.12 \times 10^2$	$5.12 \times 10^2$	$8 \times 10^6$	$1.87 \times 10^5$	–
4	$2.50 \times 10^{-1}$	* $\sim 5.00 \times 10^4$	* $\sim 5.00 \times 10^4$	$16 \times 10^8$	$5.00 \times 10^7$	<i>Memory Overflow</i>

Tabella I: costi computazionali in funzione del numero di celle trasmittenti nel pixel  $N$

\*: valori stimati

### 3.2 Analisi Copertura - Campionamento Dominio $A_{y_{thr}}$

Nella serie di simulazioni effettuate si nota come la scelta di un adeguato sistema di campionamento sia fondamentale per un calcolo accurato della probabilità. Per mostrare questo si consideri il seguente caso di test calcolando la copertura di 2 pixel, descritti nel *file Coverage\_array.txt* dalle seguenti linee di testo:

```
1 Pixel: 393600 4989350 1U5192-F_3 -107.7
```

e

```
2 Pixel: 393950 4989350 1U5192-F_2 -72.45 ...
```

Tali pixel sono rappresentativi perchè sono serviti rispettivamente da una segnale a (a) bassa potenza e (b) alta potenza. Si scelga poi come potenza di soglia  $y_{thr} = -10.01 [dBm]$  e come numero di campioni del dominio di campionamento  $M^y = 200$ . Si vada poi a calcolare la funzione densità di probabilità del segnale  $y$ ,  $p_y$ . Si scelgano poi due modalità di campionamento: la prima è un campionamento uniforme nell'intervallo  $[0; y_{thr}]$  mentre la seconda è un campionamento uniforme nell'intervallo  $[y_{min}; \min(y_{max}, y_{thr})]$  dove  $y_{min}$  e  $y_{max}$  sono definite dalle seguenti equazioni:

$$\begin{aligned} y_{min} &= F(X - 2\sigma^2) \\ y_{max} &= F(X - 2\sigma^2) \end{aligned} \tag{1}$$

dove nell'equazione (1)  $F$  è la funzione che lega il valore di segnale ricevuto nel pixel proveniente dalle celle serventi e definita in [1],  $X$  è il valore di segnale ricevuto nel pixel che nel caso considerato vale  $X = -107.7 [dBm]$  per il primo pixel e  $X = -72.45 [dBm]$  per il secondo. Il campionamento secondo questa modalità è detto *zoomato* perchè va a considerare solo le porzioni di spazio  $A_{y_{thr}}$  dove  $y$  assume valori significativi. La scelta di tale intervallo è giustificata dal fatto che la  $p_y$  ha la seguente espressione [1]:

$$p_y(y) = p_x(G(y)) |\det J_G| \tag{2}$$

dove  $p_x$  è la densità di probabilità del segnale trasmesso nel pixel (nota a priori, gaussiana),  $G$  è la funzione che mappa il rapporto segnale-interferente con le potenze di segnale trasmesse e  $\det J_G$  è il determinante della matrice jacobiana di  $G$ . Dunque  $p_y$  è una gaussiana "modulata" da  $J_G$ ; si è scelto dunque di campionare il dominio di integrazione  $A_{y_{thr}}$  per valori di  $y$  i cui corrispondenti valori  $x$  fossero quelli tali per cui la funzione  $p_x$  assumesse valori significativi (quelli nell'intorno del valor medio della funzione).

I risultati sono riportati rispettivamente in Figura 1 per il primo pixel e nelle Figure 2(a) e 2(b) per il secondo. Si noti come nel primo caso esiste le due  $p_y$  sono sostanzialmente identiche e ricostruite in modo accurato. Tale fatto è provato anche dal valore di probabilità di copertura del pixel che nel caso di campionamento uniforme assume il valore di  $1.4856 \times 10^{-6}$  mentre nel caso di campionamento zoomato vale  $1.3437 \times 10^{-5}$ . La differenza tra i due valori è dovuta all'area sottesa alle code della  $p_y$  che non sono considerate dal campionamento zoomato.

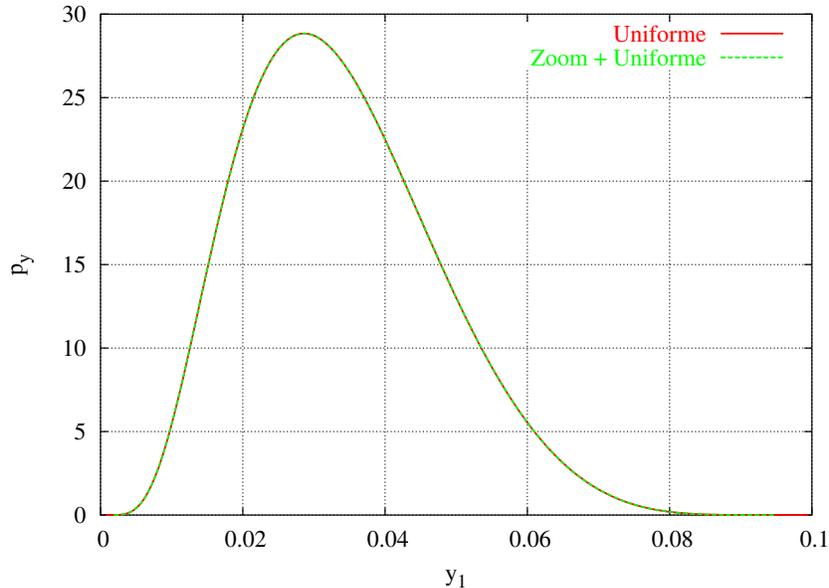


Figura 1: Densità di probabilità del rapporto segnale-interferente  $y_1$  campionata in modo uniforme (rosso) o in modo zoomato (verde) - valore di potenza trasmessa  $X = -107.7 [dBm]$  -  $y_{thr} = -10.01 [dBm]$

Più critica risulta essere la situazione nel secondo pixel; la discretizzazione di tipo uniforme non è in grado di ricostruire la  $p_y$  in quanto essa va a campionare intervalli dove  $p_y$  non è significativa e dunque sotto-campiona nell'intervallo di interesse. A riprova della differenza nei due campionamenti la  $Pr[y > y_{thr}]$  vale 0.978 nel caso di campionamento zoomato mentre vale 0.095 nel caso di campionamento uniforme. Data la potenza del segnale ricevuto nella cella il valore più attendibile risulta essere il primo.

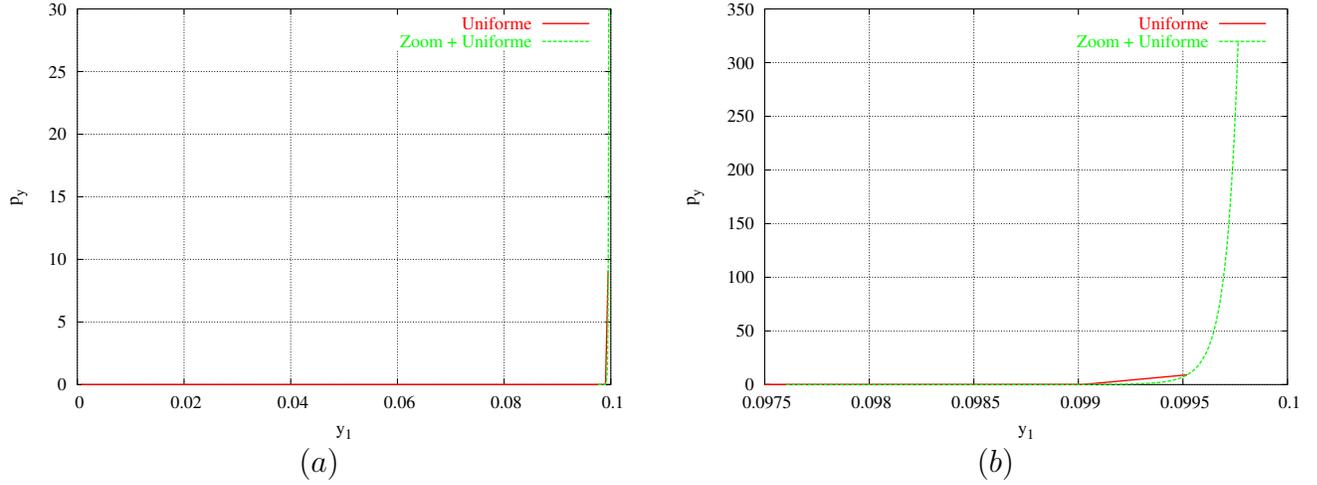


Figura 2: Densità di probabilità del rapporto segnale-interferente  $y_1$  campionata in modo uniforme (rosso) o in modo zoomato (verde) - valore di potenza trasmessa  $X = -72.45 [dBm]$  -  $y_{thr} = -10.01 [dBm]$

A riprova di quanto mostrato precedentemente consideriamo il caso limite per cui la potenza di soglia è fissata a  $y_{thr} = -10 [dBm]$ . I risultati per il secondo pixel sono mostrati nelle Figure 3(a) e 3(b).

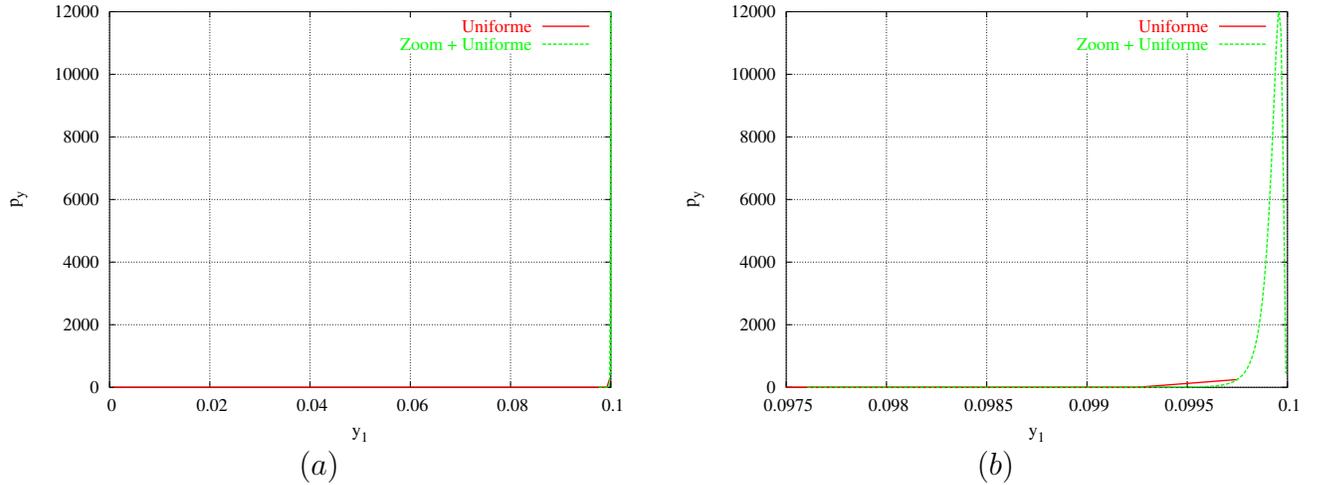


Figura 3: Densità di probabilità del rapporto segnale-interferente  $y_1$  campionata in modo uniforme (rosso) o in modo zoomato (verde) - valore di potenza trasmessa  $X = -72.45 [dBm]$  -  $y_{thr} = -10.0 [dBm]$

Si noti come il campionamento uniforme non riesce a ricostruire la  $p_y$  che assume invece un comportamento “impulsivo” vicino al valore limite 0.1 ( $-10.0 dBm$ ). I valori poi di probabilità

di copertura sono indicativi:  $Pr[y > y_{thr}]$  vale  $8.75 \times 10^{-4}$  nel caso dello zoom mentre vale 0.8759 nel caso di campionamento uniforme. Tale valore è ovviamente non giustificabile in quanto la probabilità di superamento soglia dovrebbe tendere a 0. Il valore ottenuto utilizzando lo zoom è dovuto al fatto che al processo di integrazione non appartiene un piccolo intervallo in cui però  $p_y$  assume ancora valori significativi.

Il comportamento “impulsivo” di  $p_y$  in prossimità del valore limite 0.1 è spiegato dal fatto che esso rappresenta un asintoto per il determinante  $\det J_G$  e nel caso considerato la gaussiana  $p_x$  non assume valori tali da “mitigarne” l’effetto. Ad ogni modo, la scelta di campionare in modo zoomato con estremi  $y_{min}$  e  $y_{max}$  calcolati come (1) risulta essere ottimale nel caso in cui un pixel è servito da una singola cella. Purtroppo per  $N > 1$  non si ha lo stesso positivo riscontro. Si necessita dunque un accurato studio della funzione  $p_y$  per  $N > 1$  individuando prima del campionamento dove essa assume valori significativi.

### 3.3 Analisi Copertura - Costruzione della Mappa di Probabilità

L'analisi della copertura di una porzione del sito *UMTS* è effettuata per  $N = 1$  poichè per  $N$  superiori i risultati ottenuti non sono attendibili. A questo scopo si consideri una sotto-area del sito, delimitata dagli estremi di latitudine  $\min latitude = 393000$  e  $\max latitude = 393450$  e di longitudine  $\min longitude = 4989750$  e  $\max longitude = 4990200$  espresse in proiezione *UTM 32 ED 50*. Si ponga la probabilità di soglia  $P_{thr} = 0.95$  e la potenza di soglia  $y_{thr} = -11.0 [dBm]$ . I dati relativi alle potenze trasmesse nel pixel dalle celle sono ottenuti dal file *Coverage\_array.txt* mentre quelli che riguardano le potenze trasmesse dalle *BS* dal file *Celle\_potenze.txt*. Il valore di rumore  $c = 3.553 \times 10^{-10}$  è lo stesso per ogni cella mentre il numero di campioni del dominio di integrazione vale  $M^y = 200$ . I risultato ottenuto è mostrato nelle Figure 4(a) e 4(b) che indicano rispettivamente la mappa di copertura del sito e la probabilità di superamento soglia per ciascun pixel.

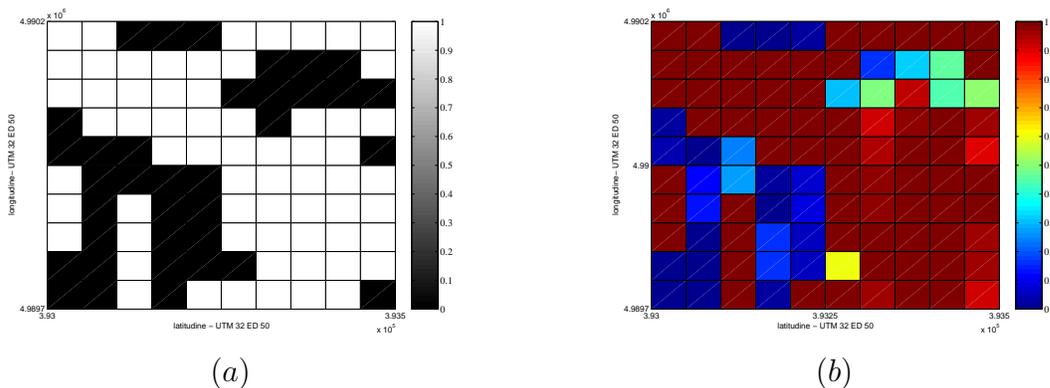


Figura 4: (a) mappa di copertura e (b) mappa di probabilità di una porzione del sito *UMTS* in esame -  $P_{thr} = 0.95$  -  $y_{thr} = -11.0 [dBm]$

La rappresentazione grafica è molto chiara e dà un'immediata idea della copertura di questa porzione del sito *UMTS*. Allo scopo di mostrare l'esattezza del processo di calcolo si considerino tre pixel le cui caratteristiche di copertura sono diverse: il pixel di coordinate (393000; 4989750) (primo pixel in basso a sinistra) descritto dalla seguente linea del file *Coverage\_array.txt*:

```
393000 4989750 1U5192-F_3 -109.9
```

che risulta essere non coperto e con una probabilità di copertura minima in accordo con la potenza di segnale ricevuta molto bassa. Il secondo pixel in posizione (393250; 4989800) (pixel giallo sulla seconda riga) è non coperto ma la sua probabilità di copertura vale circa 0.5, esso infatti è servito dalla cella:

```
393250 4989800 1U5192-F_3 -97.95 ...
```

la cui potenza risulta essere non molto elevata ma superiore a quella del pixel precedente. Infine, si consideri il pixel in posizione (393000; 4989750) (primo pixel in alto a sinistra) che risulta essere coperto; la potenza ricevuta infatti vale  $-75.42 [dBm]$  ottenuta dalla riga:

```
393300 4990200 1U5181-A_2 -75.42 ...
```

Ancora una volta, il risultato ottenuto (copertura del pixel con  $P[y > y_{thr}] \sim 1$ ) è compatibile con il livello di segnale presente nel pixel.

### 3.4 Analisi Copertura - $P_{thr}$ variabile

Allo scopo di analizzare la copertura della porzione del sito *UMTS* in funzione della probabilità di soglia  $P_{thr}$ , si considerino gli stessi parametri che descrivono il caso di test della Sezione 3.4 con l'eccezione della  $P_{thr}$  che è variata dal valore minimo 0 al valore massimo 1. I risultati ottenuti sono riassunti in Figura 5 dove è mostrata la percentuale di pixel coperti in funzione delle probabilità di superamento della soglia.

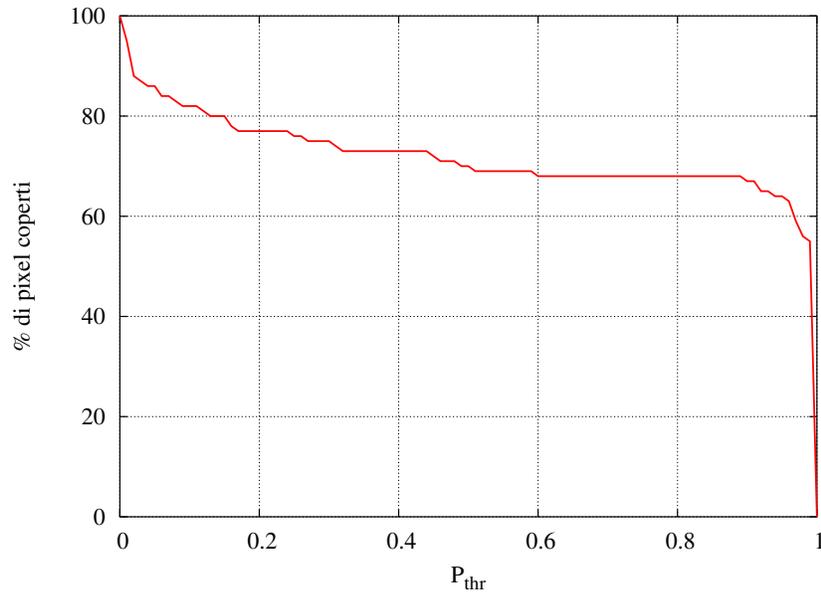


Figura 5: percentuale di pixel coperti nella porzione di sito *UMTS* analizzata in funzione della probabilità di superamento della soglia  $P_{thr}$

Come atteso il numero di pixel coperto diminuisce in modo monotono all'aumentare di  $P_{thr}$ . In dettaglio, ai due estremi si trovano i due casi limite: con  $P_{thr} = 1$  il numero di pixel coperti è nullo, viceversa se  $P_{thr} = 0$  ogni pixel risulta coperto. Si noti inoltre che per  $P = 0.95$  la percentuale di pixel coperti vale il 64% in accordo al caso di test presentato nella Sezione 3.3.

### 3.5 Analisi Copertura - $y_{thr}$ variabile

L'analisi della copertura del sito per diversi valori di  $y_{thr}$  avviene in modo analogo a quanto visto nella Sezione 3.5; in questo caso la probabilità di superamento della soglia è fissa e vale  $P_{thr} = 0.95$  mentre il valore di soglia per il rapporto segnale-interferente è variato nel range  $y_{thr} \in (-15.0 [dBm]; -11.0 [dBm])$ . I risultati ottenuti sono mostrati in Figura 6, dove la percentuale di pixel coperti è funzione di  $y_{thr}$ .

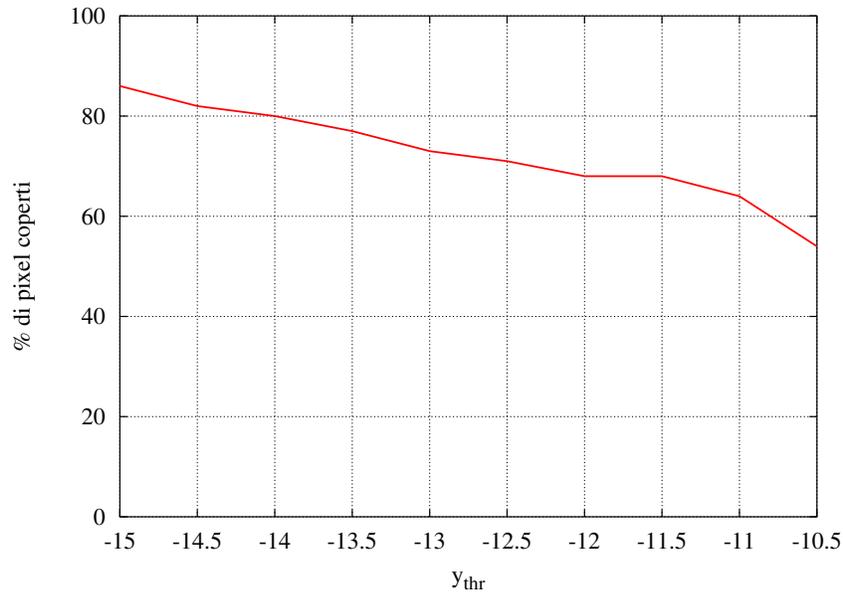


Figura 6: percentuale di pixel coperti nella porzione di sito *UMTS* analizzata in funzione della soglia del rapporto segnale-interferente  $y_{thr}$

Aumentando la soglia del rapporto segnale-interferente diminuisce la percentuale di pixel coperti in modo monotono. Si noti inoltre che per  $y_{thr} = -11.0 [dBm]$  la percentuale di pixel coperti è del 64% come nel caso di test presentato nella Sezione 3.3.

## 4 Conclusioni

Il modello per l'analisi di copertura di siti *UMTS* Gandini-Ruscitti [1] risulta essere uno strumento che tratta in modo efficace e semplice il problema di determinare la mappa di copertura di un sito. In particolare, l'approccio stocastico applicato è l'unico in grado di fornire un grado di affidabilità alle simulazioni numeriche di *tool* di *planning* elettromagnetico. Inoltre, le mappe di probabilità ottenute forniscono una rappresentazione chiara ed immediata della porzione coperta di un sito e dunque possono essere utilizzati sia per l'analisi che per la comparazione di siti *UMTS*. Sfortunatamente, tale modello risulta critico sia dal punto di vista computazionale (memoria occupata, tempi di calcolo) che sul valore di probabilità ottenuto mediante l'integrazione della funzione densità di probabilità del rapporto segnale-interferente per valori di celle serventi nel pixel superiori ad 1.

Allo scopo di superare questi inconvenienti l'attenzione della ricerca sarà focalizzata su due tematiche: (i) il software sarà modificato per superare ogni problema di *overflow* della memoria, (ii) la funzione  $p_y$  sarà studiata in dettaglio cercando gli intervalli di spazio dove essa assume valori significativi per discretizzare in modo appropriato il dominio di integrazione.

## References

- [1] L. Gandini and G. Ruscitti, “A New Method for Estimation of UMTS Coverage Areas by Planning Tool,” *Internal Report VODAFONE Italia*, 2008.
- [2] L. Manica, “Studio ed Implementazione di un Modello per l’Analisi e della Stima di Coperture UMTS,” Report no. 2, *Gruppo ELEDIA*, Università di Trento, Novembre 2008.
- [3] L. Manica, “Studio ed Implementazione di un Modello per l’Analisi e della Stima di Coperture UMTS,” Report no. 3, *Gruppo ELEDIA*, Università di Trento, Dicembre 2008.