

Politecnico di Milano
Dipartimento di Elettronica e Informazione
A.A. 2002-2003

Corso di Reti di Telecomunicazione II
Prof. L. Fratta

Seminario sulle Reti Radiomobili
Parte II - Dimensionamento

Ing. Luca Dell'Anna
luca@dellanna.com

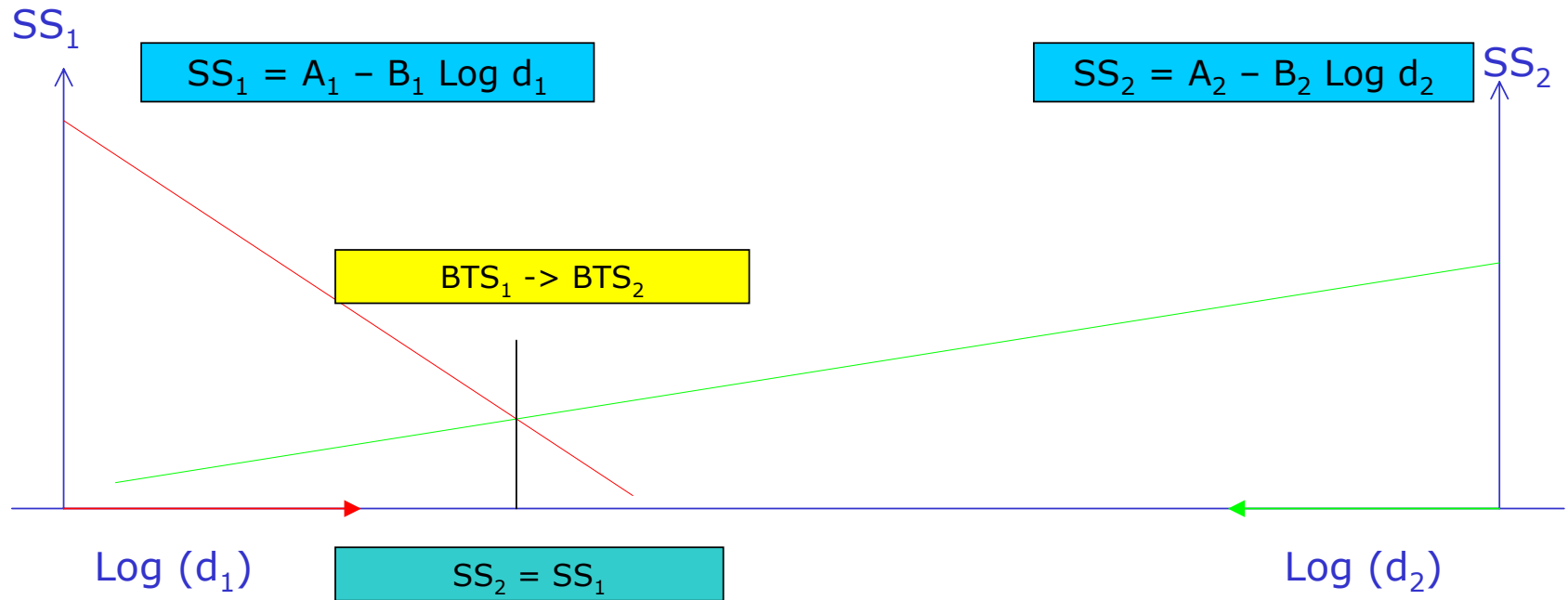
Handover

- ✦ Procedura con cui un terminale mobile in conversazione cambia la stazione base su cui è attestato
- ✦ La procedura è sempre iniziata lato rete sulla base di misurazioni effettuate sul segnale ricevuto e sulla qualità del collegamento BTS->MS e MS->BTS
- ✦ Si richiedono procedure di Handover efficienti e veloci.

Obiettivi dell'Handover

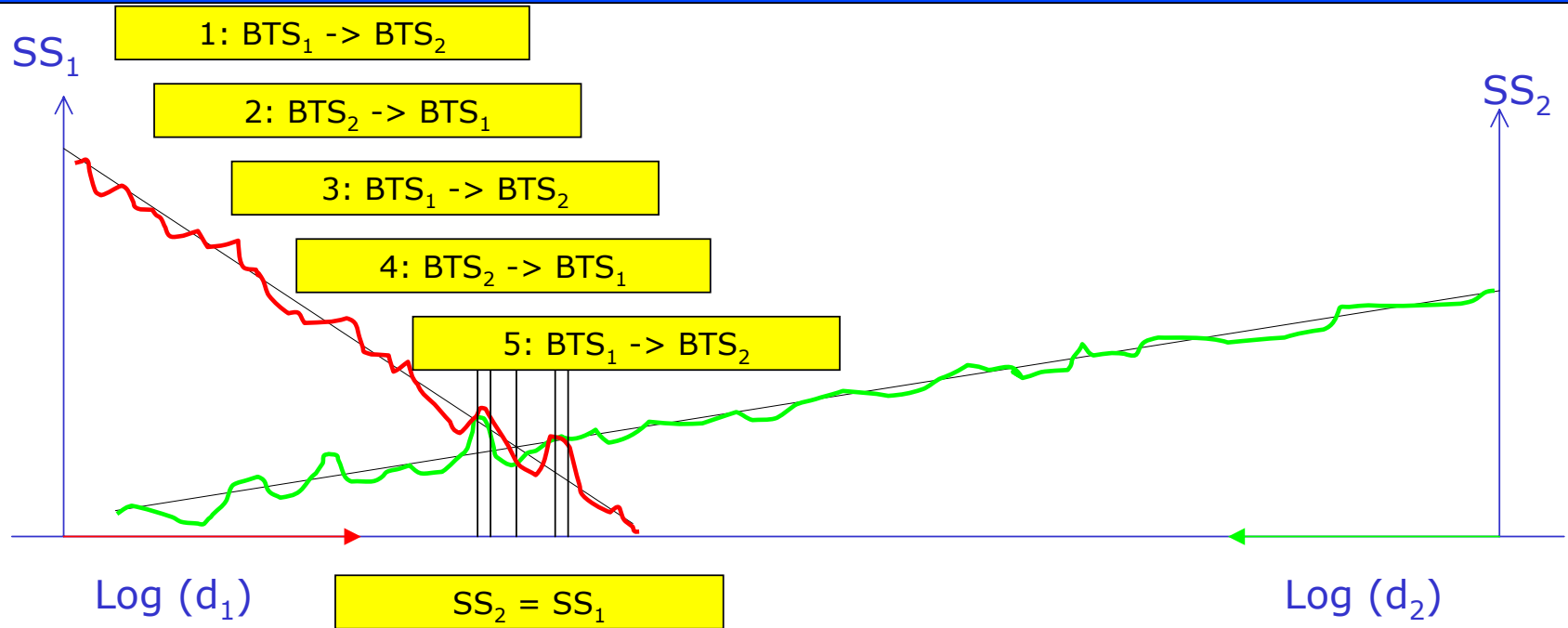
- ✦ Fare agganciare il mobile nello stato ACTIVE con la migliore BTS possibile.
- ✦ Una volta che il mobile si trova nella cella ed è in una situazione di stabilità, le potenze BTS \rightarrow MS e MS \rightarrow BTS possono essere lentamente ridotte in modo ridurre l'interferenza in Uplink e Downlink
- ✦ I calcoli e le misure necessari per eseguire l'HO comporta un carico di CPU per il controllore della rete. Le procedure di HO devono essere quindi ragionevolmente veloci e ridotte al minimo necessario.

Handover



Ipotizzando l'espressione del Signal Strength per le celle Bts1 e Bts2, imponiamo al sistema di eseguire un HO verso una cella adiacente quando il mobile riceverà da questa (Bts2) un segnale **uguale** a quello della cella servente (Bts1).

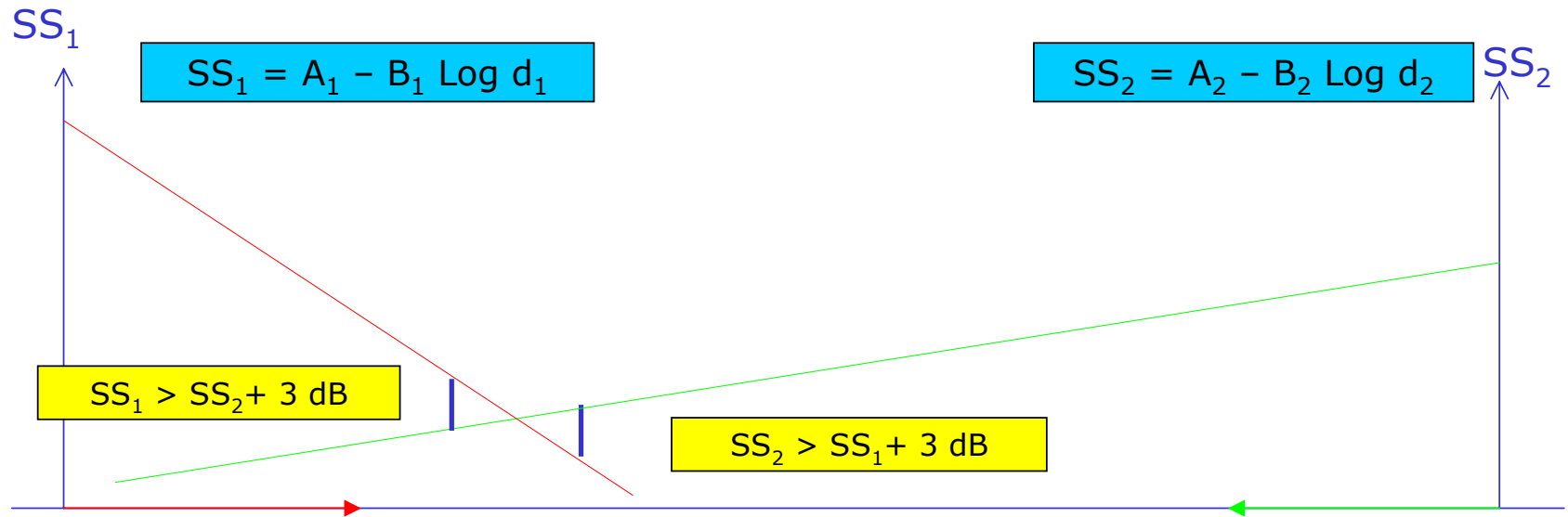
Handover



Purtroppo però l'espressione del SS per le due celle rappresenta una **media** del segnale ricevuto. Istantaneamente (a causa del fading) il segnale si discosta dal suo valor medio con una certa statistica sufficiente a far scatenare una serie di comandi di handover inutile (effetto ping-pong).

Nel caso in figura vengono eseguiti 5 comandi di handover.

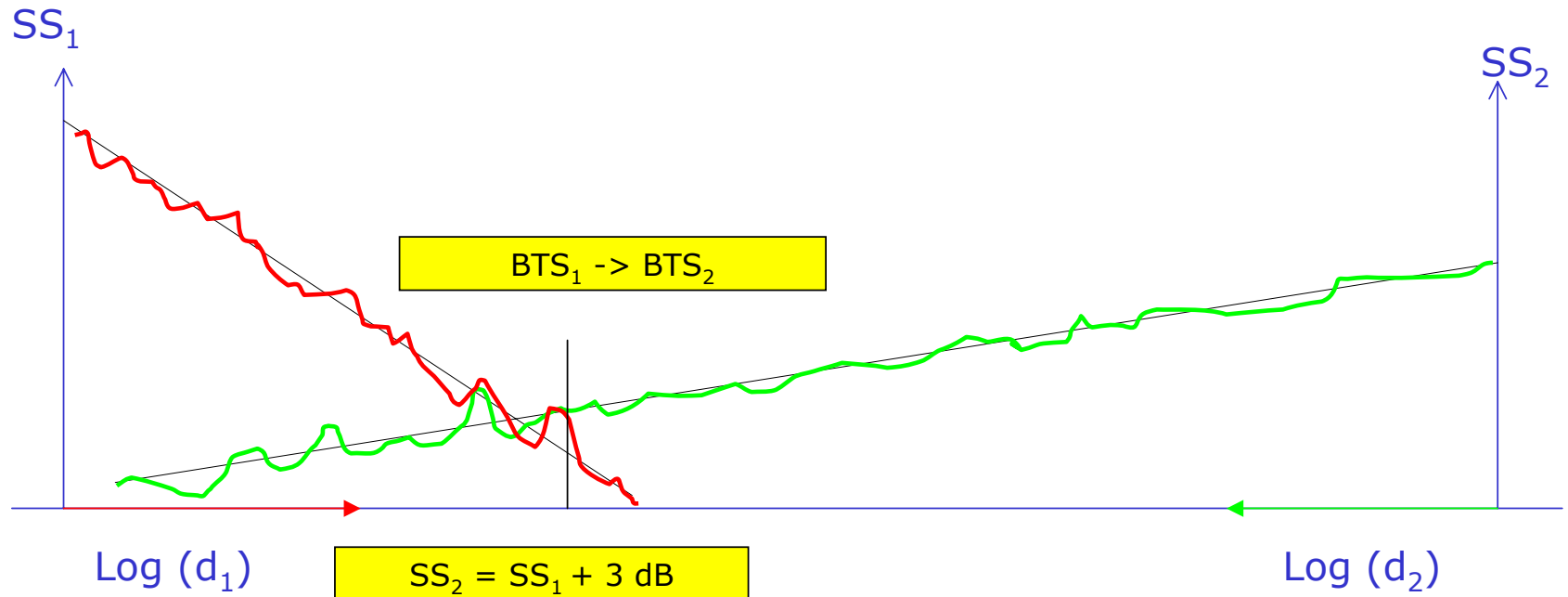
Handover



Proviamo ad introdurre una isteresi.

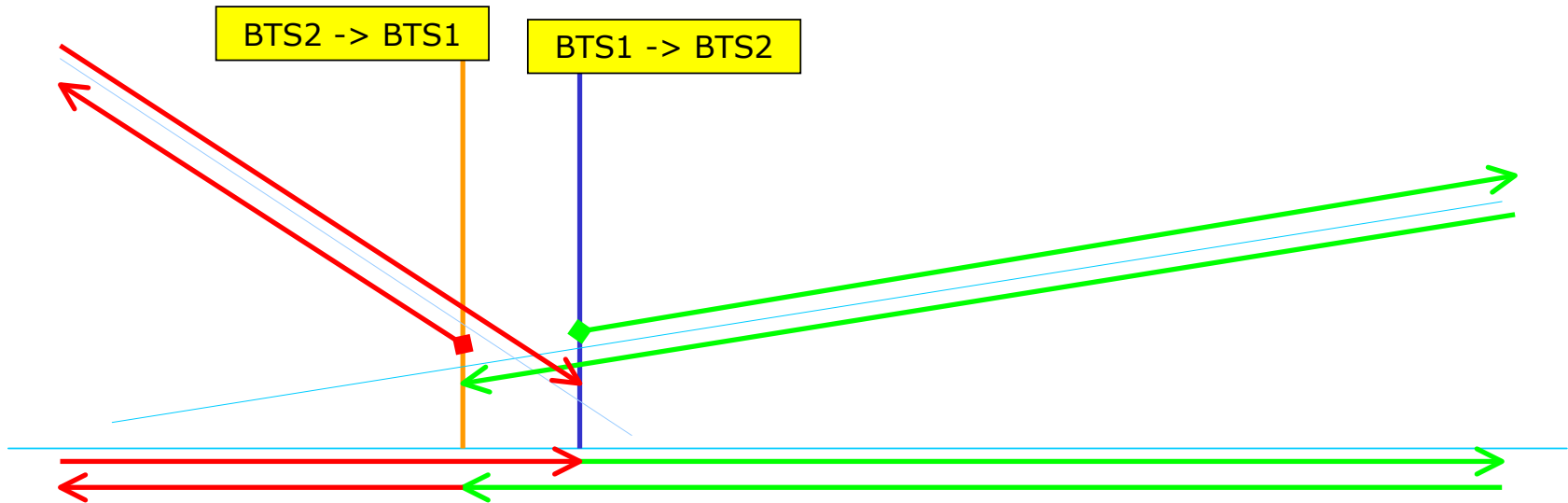
Imponiamo al sistema di eseguire un HO verso una cella adiacente quando il mobile riceverà da questa (Bts2) un segnale **superiore di 3 dB** (es.) a quello della cella servente (Bts1).

Handover



Se la soglia (isteresi) è stata scelta correttamente, pur variando il segnale a causa per esempio del fading, il comando di handover sarà inviato solo quando necessario.

Simulazione hand-over



Consideriamo il piano congiungente due BTS il cui andamento del segnale ricevuto sia rappresentato dalle rette in celeste. Ipotizziamo l'uso di una isteresi di 3 dB. Consideriamo un mobile che si sposti da sx a dx e successivamente nel verso contrario e passi da BTS1 a BTS2 e viceversa.

Si noti come i punti in cui avvengono gli handover non coincidano.

Qualche numero sulle reti reali

Alcuni numeri possono essere utili per capire meglio la dimensione delle reti attualmente in esercizio.

Le reti GSM di un operatore come TIM ed OMNITEL sono costituite da circa

- ✚ 3000 siti ciascuna distribuiti sul più del
- ✚ 90% del territorio italiano.

La rete cellulare di Milano un solo operatore è composta da circa

- ✚ 250 siti macrocellulari
- ✚ 100 circa microcelle

Le microcelle sono utilizzate quando si devono risolvere problemi di copertura e/o "hot-spot" di traffico (Linate, Malpensa, C.so Buenos Aires, Duomo, Staz. Centrale, ecc.)

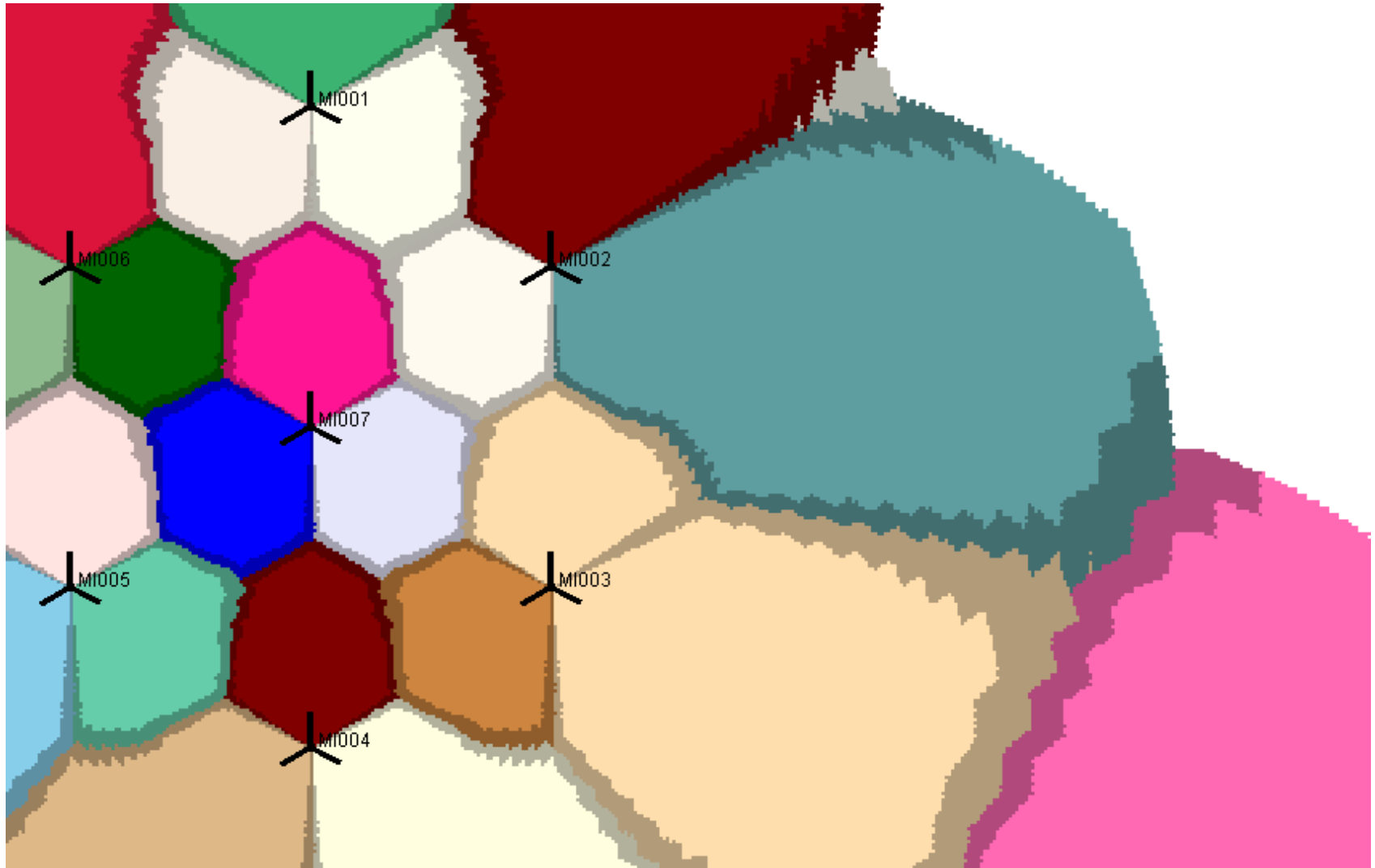
Qualche numero

Pur riutilizzando i siti già costruiti per il GSM (le due reti convivranno), con l'arrivo dell'UMTS il numero dei siti cellulari è destinato ad aumentare considerevolmente.

Tra 2-3 anni le reti UMTS/GSM di ciascun operatore dovranno probabilmente raddoppiare il numero dei siti.

Trovare nuovi siti cellulari è sempre più difficile, per questo si richiede ai progettisti radio di sfruttare e ottimizzare la copertura con i siti a già a disposizione.

Risultato della pianificazione



Risultato della pianificazione

Best Server

Consente di definire le aree di servizio o copertura di tutte le celle all'interno dell'area considerata. A colore diverso corrisponde una cella diversa. Dall'analisi delle dimensioni delle celle è possibile fare una prima verifica della bontà del progetto (es. celle molto piccole potrebbero soffrire di una bassa potenza in Tx).

Composite Signal strength

Consente di valutare qual è il segnale ricevuto all'interno dell'area di progetto. E' utile per verificare che il segnale sia sufficiente a garantire la copertura desiderata.

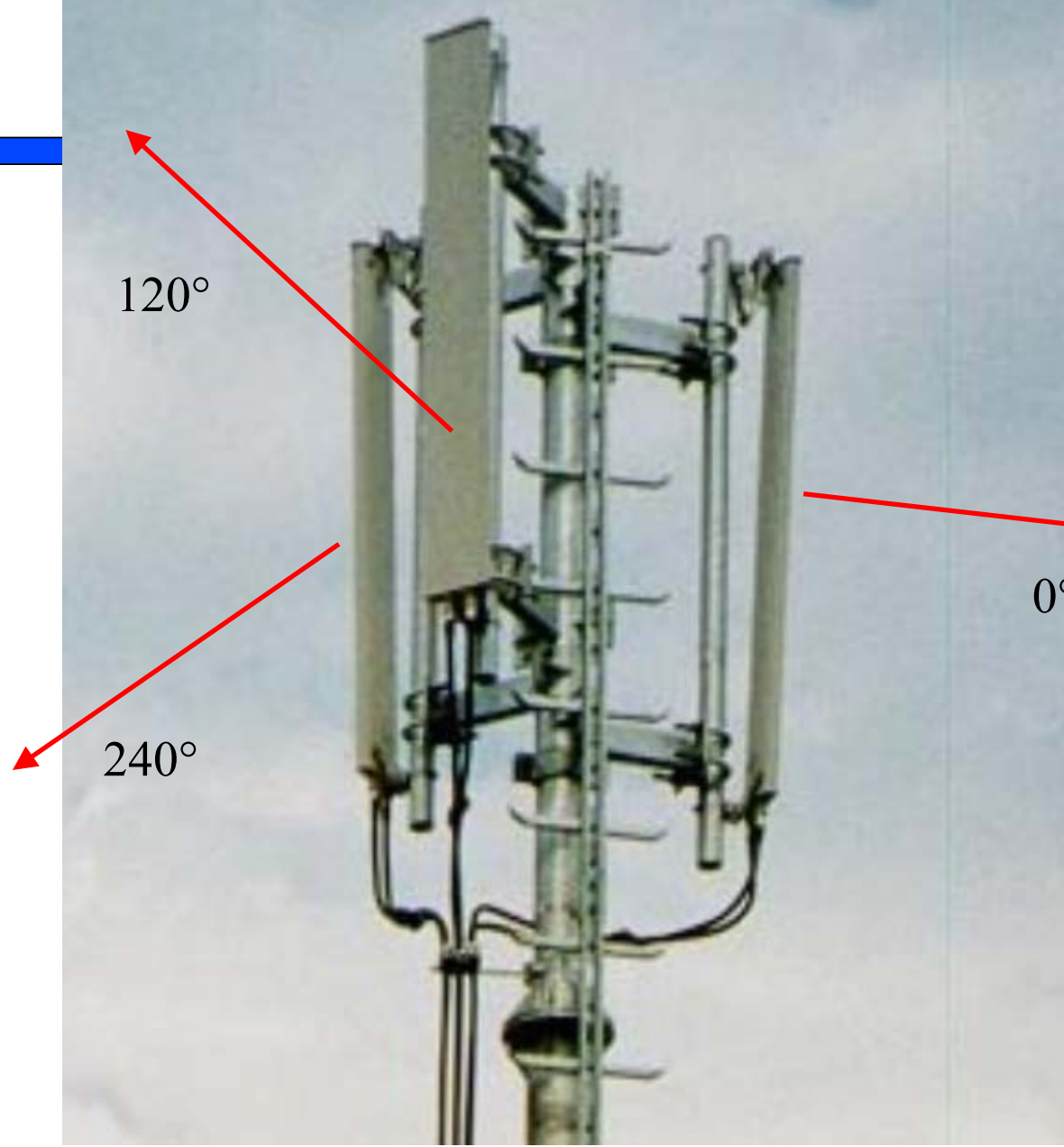
Worst Interference

Indica qual è l'interferenza in downlink che i terminali sperimentano. E' fondamentale per effettuare verificare i risultati dell'algorithm di frequency planning scelto.



Sito cellulare a 3 settori
per gsm1800 nel centro
di Milano

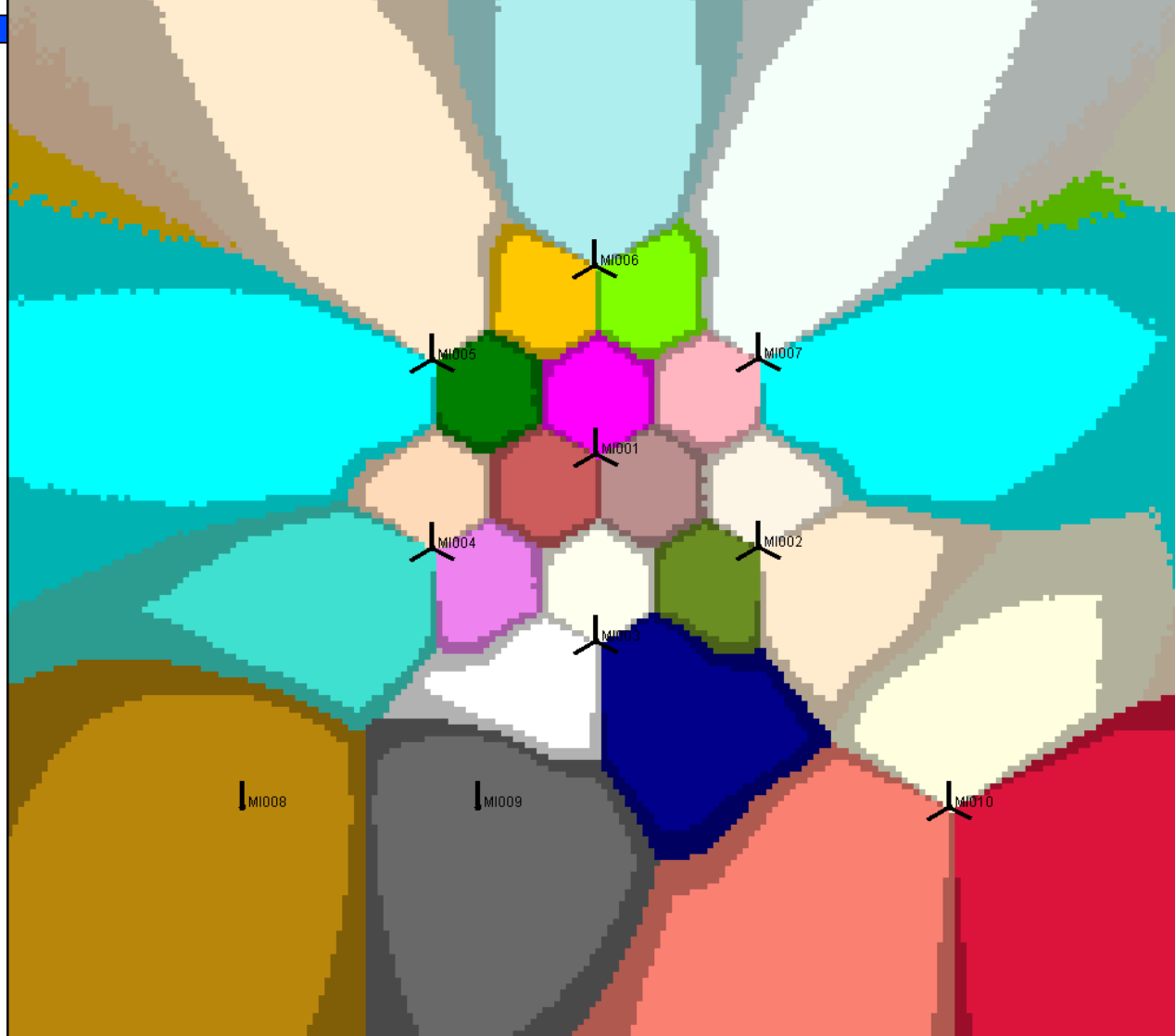
Altezza antenne: 32m ca.



Dettaglio e
azimut antenne

Best server analysis

:: CeRad v1.0 ::
Date: Mon Oct 14 17:35:29 CEST 2002
[5000 m x 5000 m @ 25 m res]
BEST SERVER

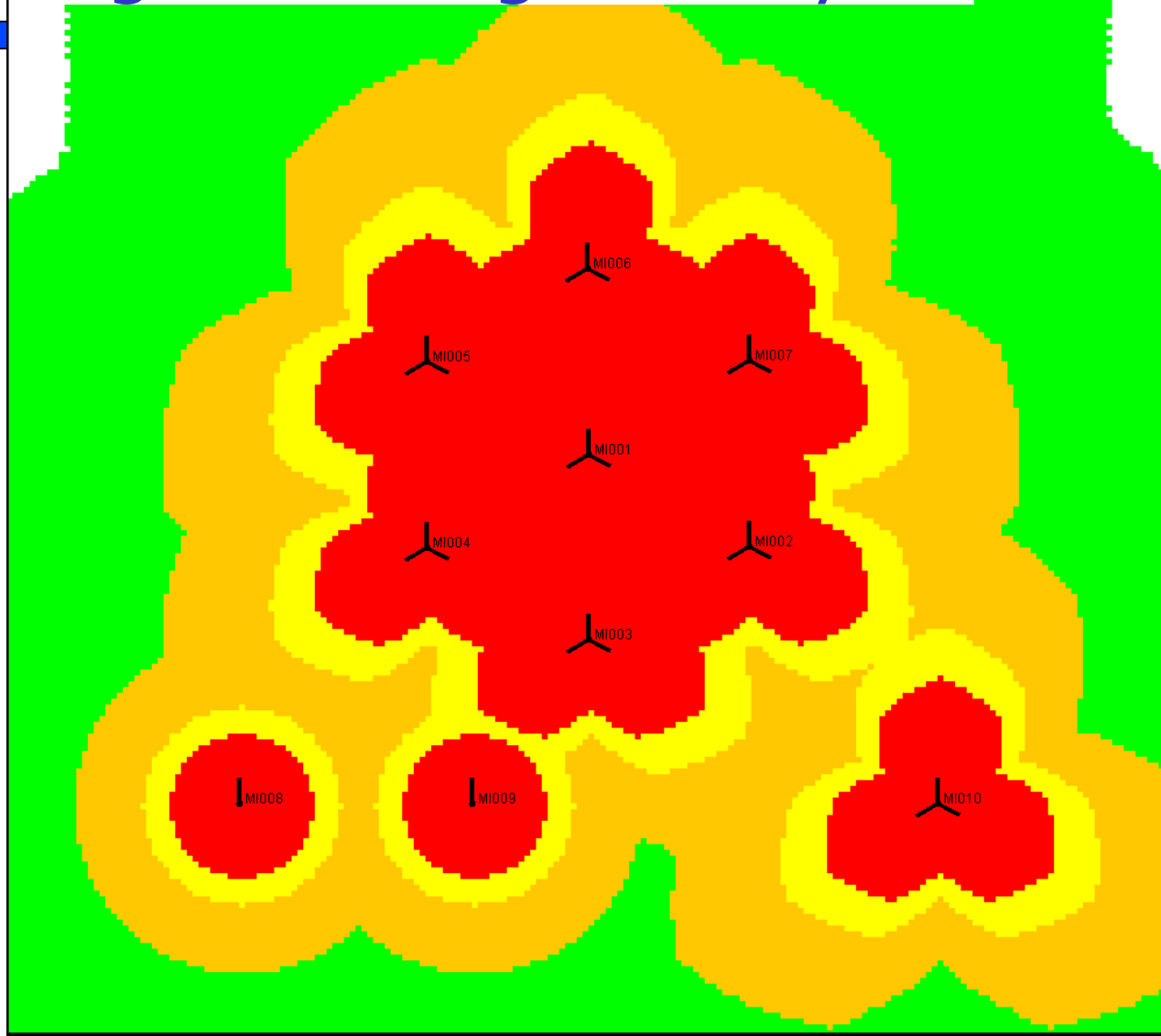


- MI001 [x=2500, y=2500, Urban1800]
 - C1 [0°, 45, H65V7G18]
 - C2 [120°, 45, H65V7G18]
 - C3 [240°, 45, H65V7G18]
- MI002 [x=3193, y=2899, Urban1800]
 - C1 [0°, 45, H65V7G18]
 - C2 [120°, 45, H65V7G18]
 - C3 [240°, 45, H65V7G18]
- MI003 [x=2500, y=3299, Urban1800]
 - C1 [0°, 45, H65V7G18]
 - C2 [120°, 45, H65V7G18]
 - C3 [240°, 45, H65V7G18]
- MI004 [x=1807, y=2900, Urban1800]
 - C1 [0°, 45, H65V7G18]
 - C2 [120°, 45, H65V7G18]
 - C3 [240°, 45, H65V7G18]
- MI005 [x=1806, y=2100, Urban1800]
 - C1 [0°, 45, H65V7G18]
 - C2 [120°, 45, H65V7G18]
 - C3 [240°, 45, H65V7G18]
- MI006 [x=2498, y=1700, Urban1800]
 - C1 [0°, 45, H65V7G18]
 - C2 [120°, 45, H65V7G18]
 - C3 [240°, 45, H65V7G18]
- MI007 [x=3192, y=2098, Urban1800]
 - C1 [0°, 45, H65V7G18]
 - C2 [120°, 45, H65V7G18]
 - C3 [240°, 45, H65V7G18]
- MI008 [x=1000, y=4000, Rural1800]
 - C1 [0°, 45, Omni9]
- MI009 [x=2000, y=4000, Rural1800]
 - C1 [0°, 45, Omni9]
- MI010 [x=4000, y=4000, Urban1800]
 - C1 [0°, 45, H65V7G18]
 - C2 [120°, 45, H65V7G18]
 - C3 [240°, 45, H65V7G18]

(C) Luca Dell'Anna
info@dellanna.com
Versione dimostrativa per
Laboratorio Reti Radiomobili
Politecnico di Milano

Signal strength analysis

:: CeRaD v1.0 ::
Date: Mon Oct 14 17:35:34 CEST 2002
[5000 m x 5000 m @ 25 m res]
SIGNAL STRENGTH
■ RxLev > -65 dBm [21%]
■ -70 dBm >= RxLev > -78 dBm [10%]
■ -78 dBm >= RxLev > -92 dBm [25%]
■ RxLev < -92 dBm [39%]

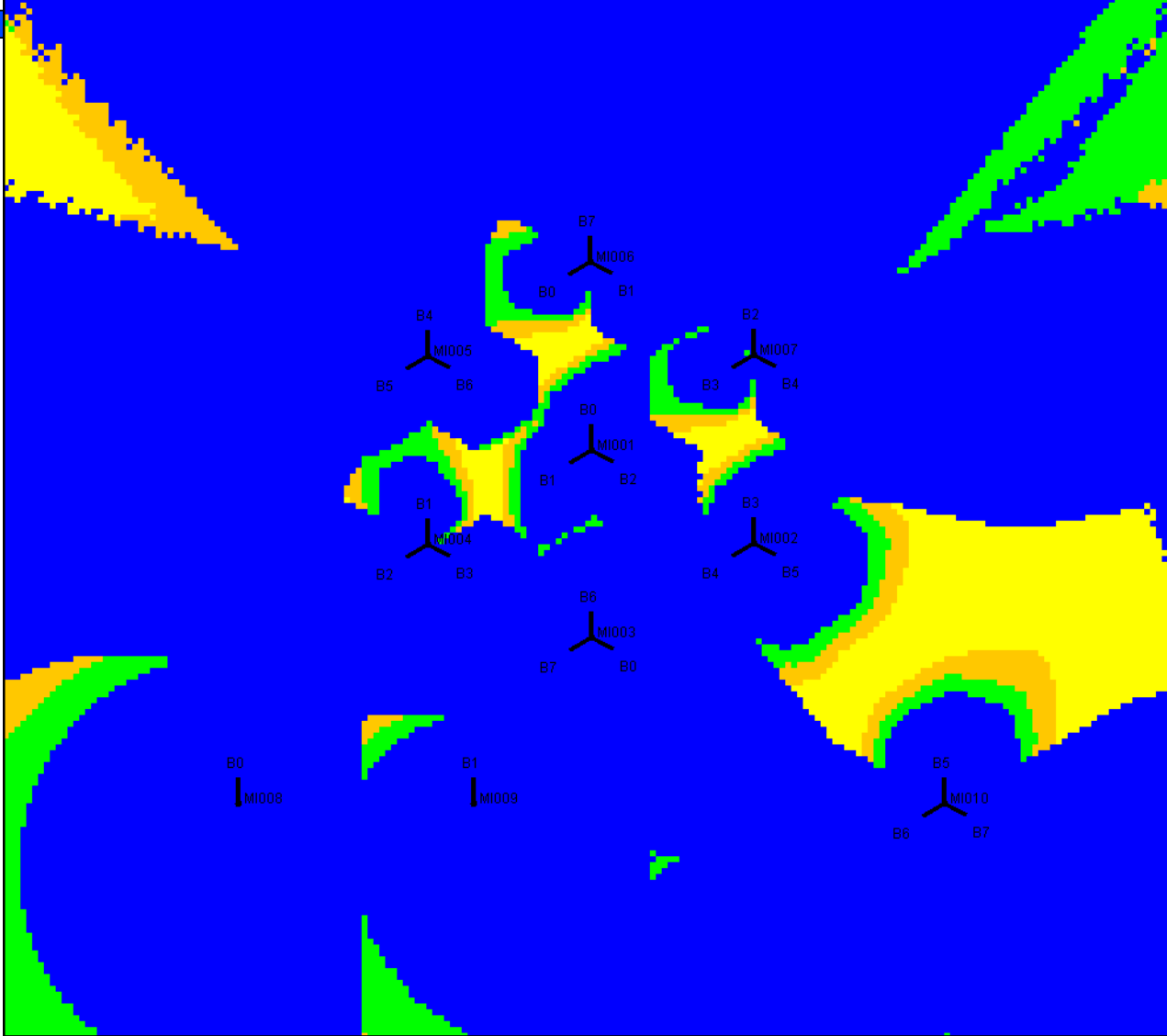


(C) Luca Dell'Anna
info@dellanna.com
Versione dimostrativa per
Laboratorio Reti Radiomobili
Politecnico di Milano

Worst interference analysis

:: CeRaD v1.0 ::
Date: Mon Oct 14 17:35:36 CEST 2002
[5000 m x 5000 m @ 25 m res]
WORST INTERFERENCE

- CIR > 12 dB [87%]
- 9 dB <= CIR < 12 dB [5%]
- 6 dB <= CIR < 9 dB [2%]
- -3 dB <= CIR < 6 dB [5%]
- -3 dB > CIR [0%]

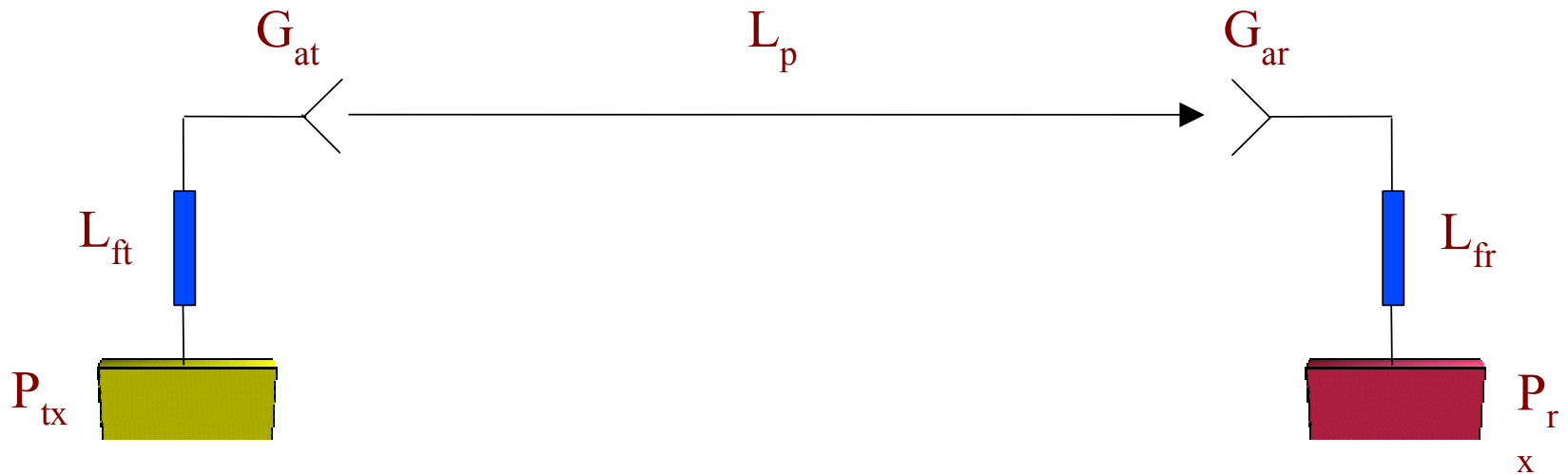


(C) Luca Dell'Anna
info@dellanna.com
Versione dimostrativa per
Laboratorio Reti Radiomobili
Politecnico di Milano

Power budget

Alla base del progetto di tutte le reti cellulari è il power budget.

A partire dalle caratteristiche degli apparati, dall'ambiente di propagazione e dalle specifiche di qualità fornite dall'operatore, il power budget serve a calcolare la quantità di potenza da trasmettere per consentire un collegamento radio con un livello di qualità prefissato (S/N , E_b/N_o , BER, FER, etc.)



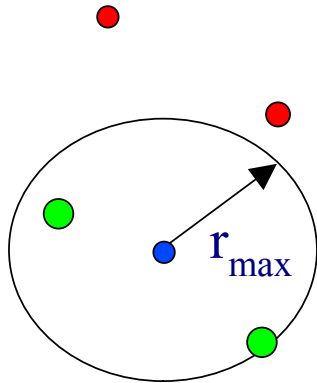
$$P_{rx} = P_{tx} - L_{ft} + G_{at} - L_p + G_{ar} - L_{fr} \quad [\text{dB}]$$

Power budget

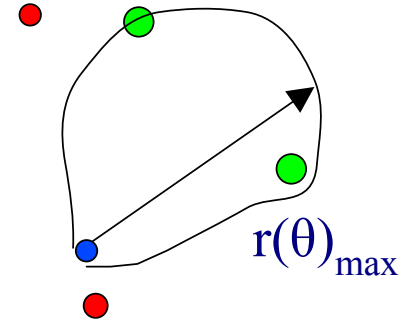
L'esercizio #3 corrisponde ad una caso tipico di calcolo di power budget.

In base ai dati di progetto, infatti, si calcola il raggio entro il quale deve trovarsi il ricevitore perché un connessione sia possibile. Nell'ambito delle reti radiomobili, l'area così definita si dice cella di copertura.

Attenzione: Il termine raggio non significa che la cella sia sempre circolare!



Cella circolare

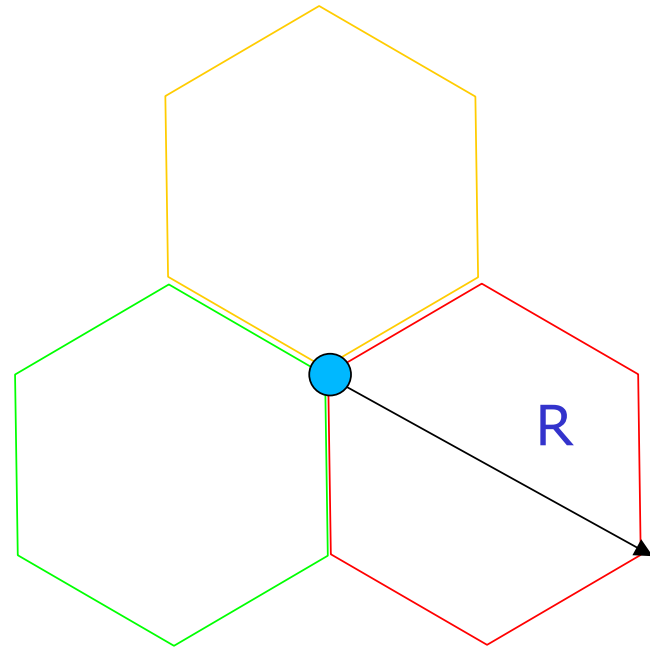
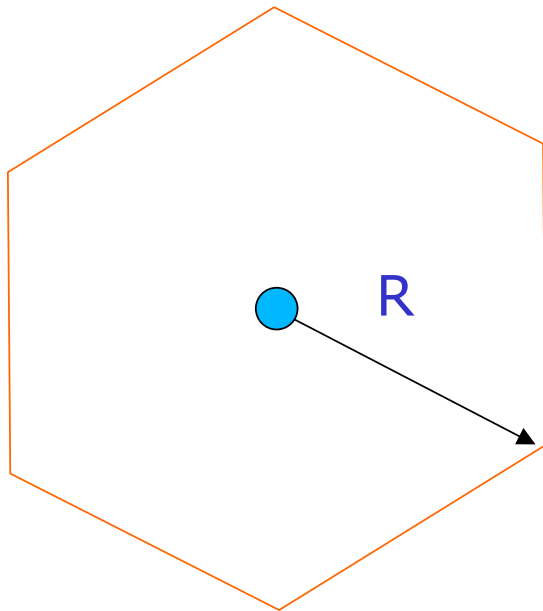


Cella irregolare

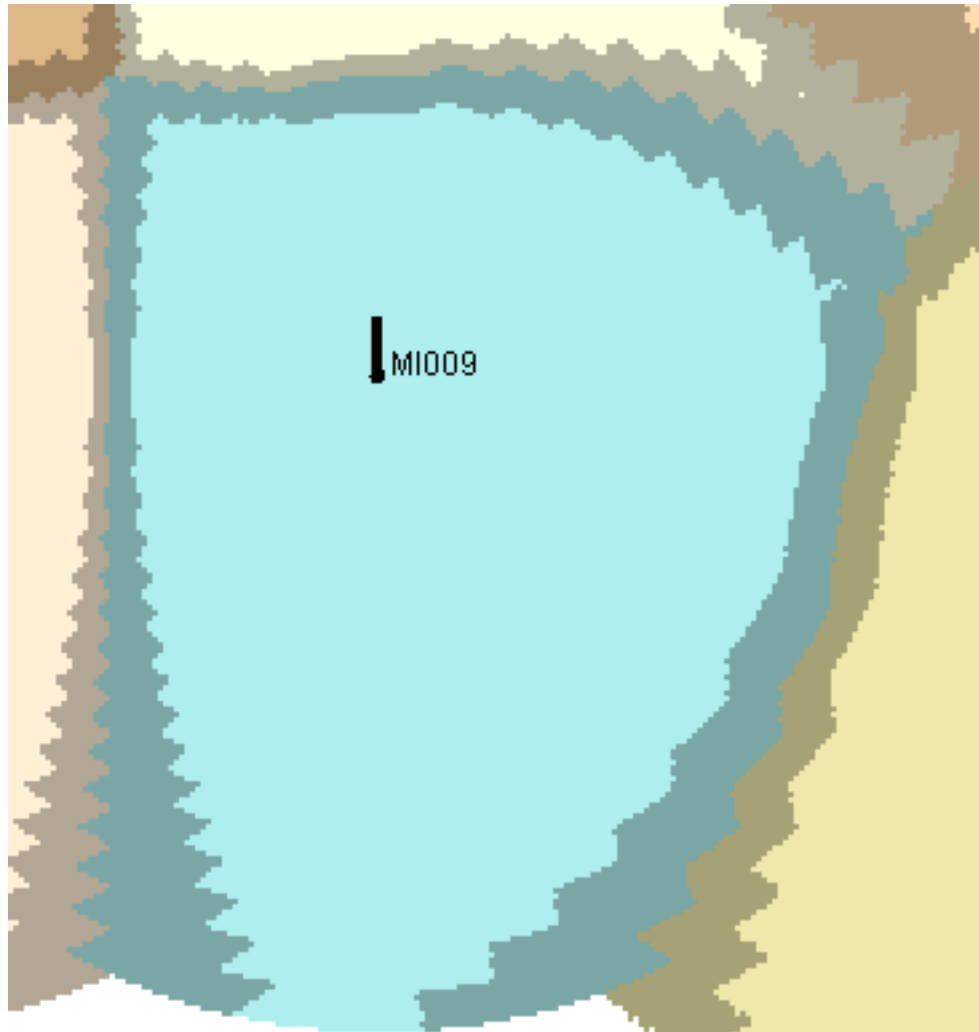
Raggio di cella

In una rete cellulare nominale, l'area di copertura di una cella omni-direzionale corrisponde ad un esagono regolare. Nella realtà, per limitare il numero totale delle installazioni si utilizzano siti con tre settori e antenne direzionali.

Il significato di raggio di copertura dipende quindi dalla topologia della rete.



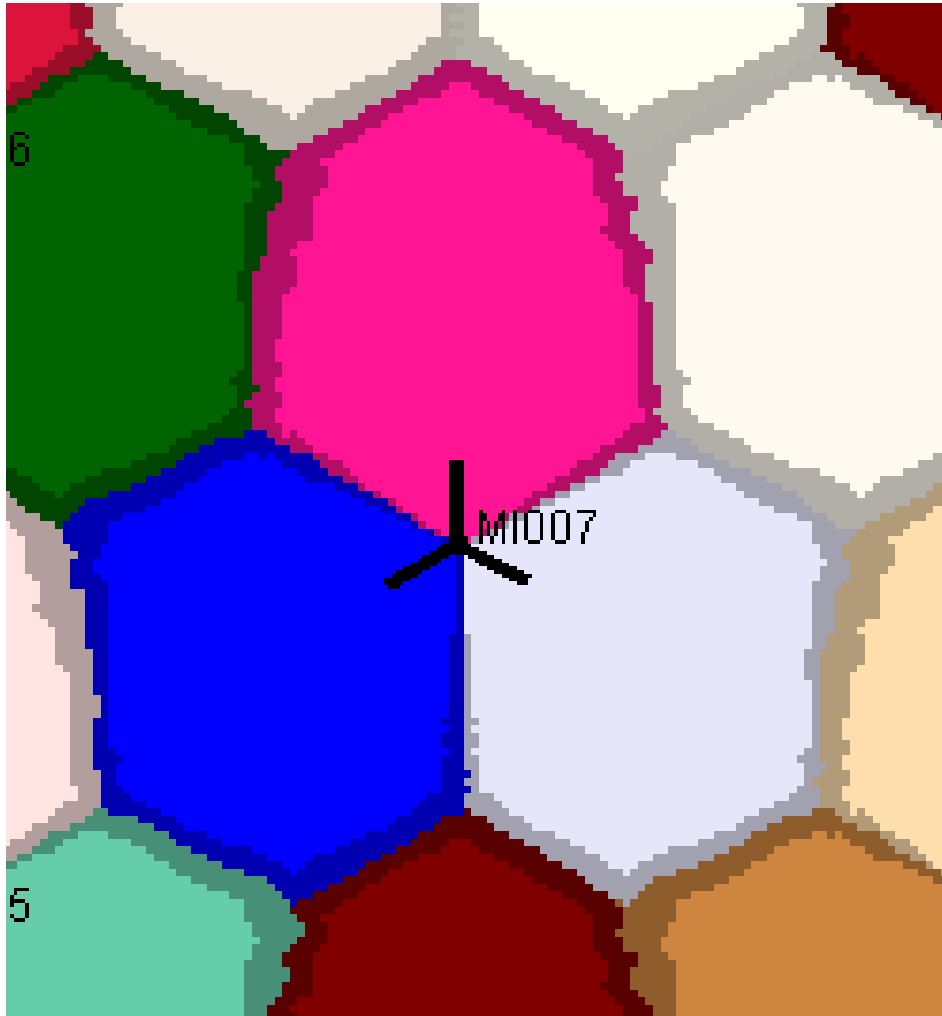
Area di copertura



Esempio di predizione effettuata utilizzando un sito con una sola antenna omni-direzionale.

Il colore indica l'area servita dalla cella (best server area).

Area di copertura



Esempio

Predizione effettuata
utilizzando un sito con

3 settori

Antenne direzionali da 65° H

Azimut 0° , 120° , 240°

Il colore indica l'area servita
da ciascuna cella (best server
area).

Path loss

La dipendenza di L_p (Path Loss) dai vari fattori fisici che intervengono nella propagazione di un'onda radio quali

- ✚ distanza
- ✚ frequenza di lavoro
- ✚ morfologia del territorio
- ✚ agenti atmosferici
- ✚ altezza delle antenne
- ✚ curvatura terrestre
- ✚ ecc.

ha prodotto una lunga serie di modelli di propagazione (Okumura-Hata, Cost231, Walfish-Ikegami, Bertoni, ecc.) raggruppabili in tre categorie principali

- ✚ empirici
- ✚ statistici
- ✚ deterministici

Path loss

La differenza tra le tre categorie dipende principalmente dall'importanza che viene data a

- ✚ misure dirette dell'attenuazione sulla singola tratta
- ✚ utilizzo di modelli analitici (dalle eq. di Maxwell in poi)
- ✚ analisi statistiche di una grande quantità di misure

Una componente essenziale della fase di calcolo è costituita dalle basi dati geografiche (mappe digitalizzate) contenenti informazioni su altezza degli edifici, larghezza delle strade, intensità della vegetazione, ecc. Tanto più dettagliata è l'informazione sulla morfologia dell'area da pianificare tanto meno la predizione sarà affetta da errori.

La risoluzione di tali mappe è variabile; nella pianificazione cellulare si va da pixel bidimensionali di 100x100m a pixel 3d da 2x2m. Il costo di queste mappe è generalmente per byte.

Si deve sempre raggiungere un compromesso tra precisione accettabile della stima e costo dell'elaborazione.

Path loss

Nella pianificazione delle reti radiomobili, principalmente a causa di

- ✚ ridotta altezza delle antenne -> diffrazione
- ✚ gran numero di cammini multipli -> effetto Rice/Rayleigh
- ✚ diffrazione da ostacoli naturali o artificiali -> effetto shadowing
- ✚ movimento del terminale -> media spaziale

si utilizzano quasi sempre modelli di tipo statistico per di più semplificati o specializzati su determinate aree morfologiche, frequenze, ecc.

Una volta fissata la frequenza di lavoro, l'altezza del trasmettitore e del ricevitore e il tipo di ambiente di propagazione (es. rurale, urbanizzato) tali modelli si possono ricondurre quasi sempre alla forma

$$L_p(d) = A + B \text{ Log } d$$

dove L_p , A e B sono espresse in dB e d in km.

Molto utilizzata è la formula inversa: dato un path loss massimo serve a determinare il raggio o la distanza massima cui corrisponde.

Modello statistico: Okumura-Hata

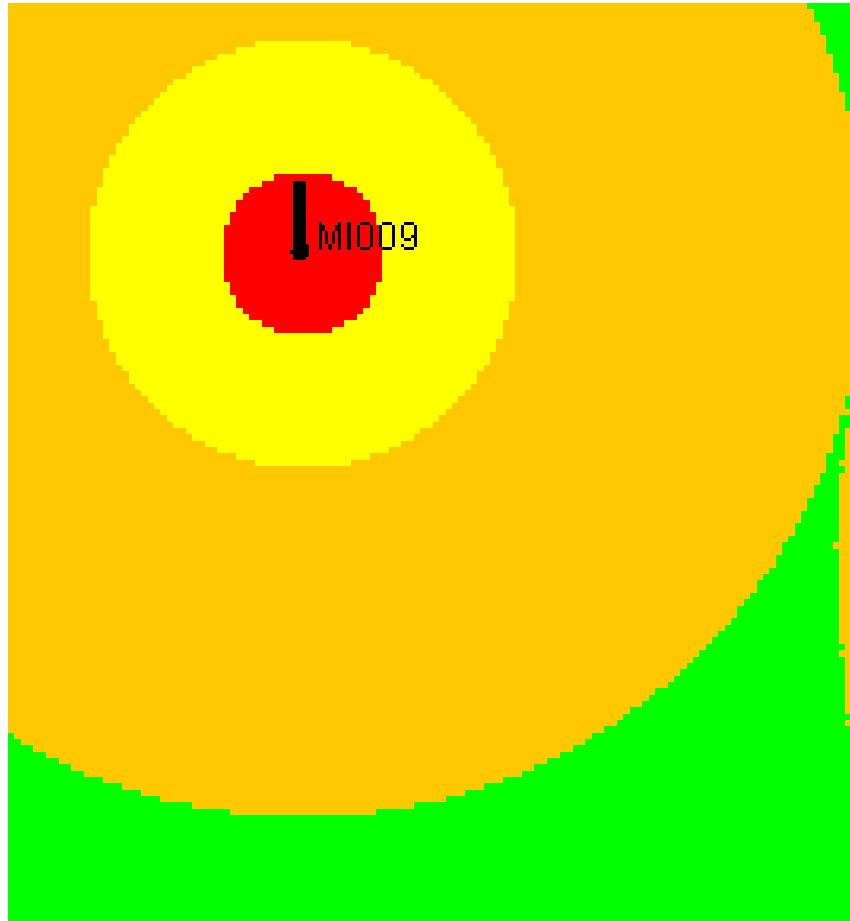
Uno dei modelli statistici più utilizzati è quello detto di Okumura-Hata

$$L_p = 69.55 + 26.16 \log(f) - 13.82 \log(h_t) - a(h_m) + [44.9 - 6.55 \log(h_b)] \log(d) \quad [\text{dB}]$$

Dove

- + f = frequenza di lavoro in MHz
- + sottrarre 6 dB in area suburbana
- + sottrarre 12 dB in area rurale
- + h_b = altezza della stazione base [m]
- + d = distanza dal trasmettitore [km]
- + h_m = altezza dell'antenna della stazione mobile [m]
- + $a(h_m) = 3.2 \cdot \text{Log} (11.75 \cdot h_m)^2 - 4.97$

Esempi di predizioni



Esempio

Calcolo del segnale ricevuto per una sito con 1 cella con antenna omni-direzionale.

Le aree corrispondono a

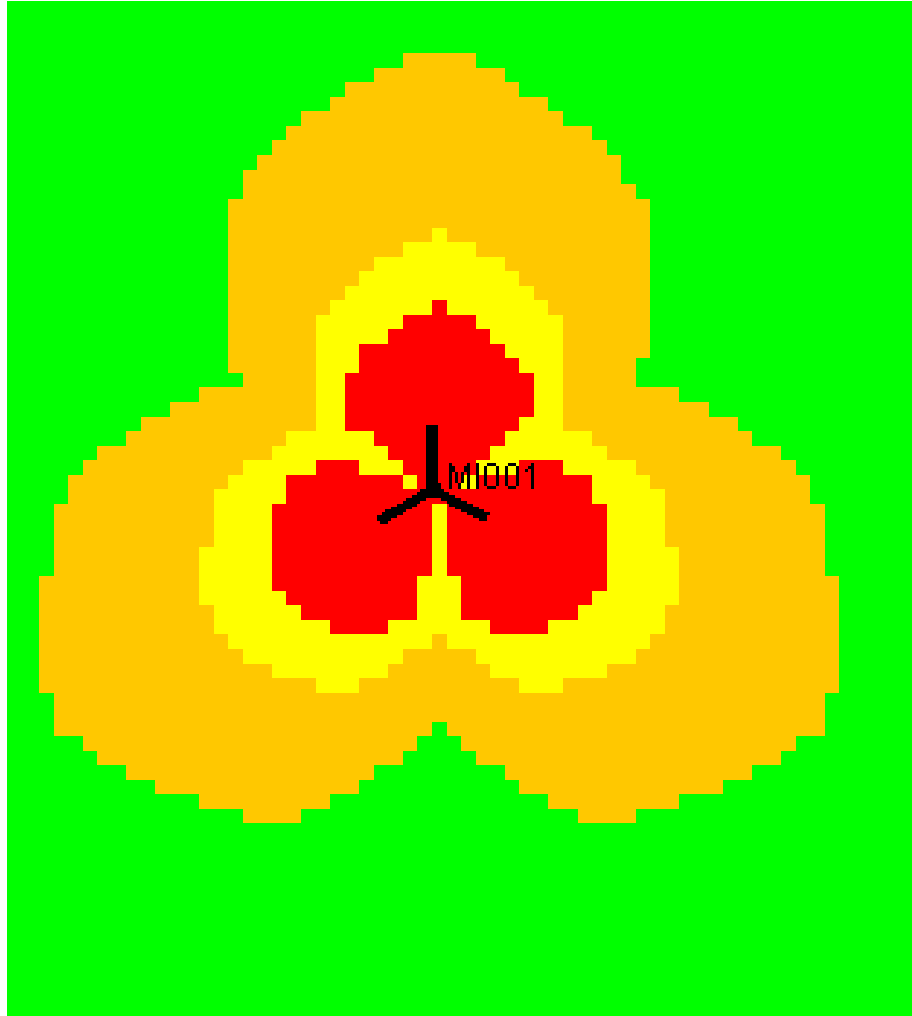
$SS > -65$ dBm

-70 dBm $< SS < -65$ dBm

-85 dBm $< SS < -70$ dBm

$SS < -85$ dBm

Esempi di predizioni



Esempio

Calcolo del segnale ricevuto per una sito con 3 celle con antenna direzionale.

Le aree corrispondono a

$SS > -65 \text{ dBm}$

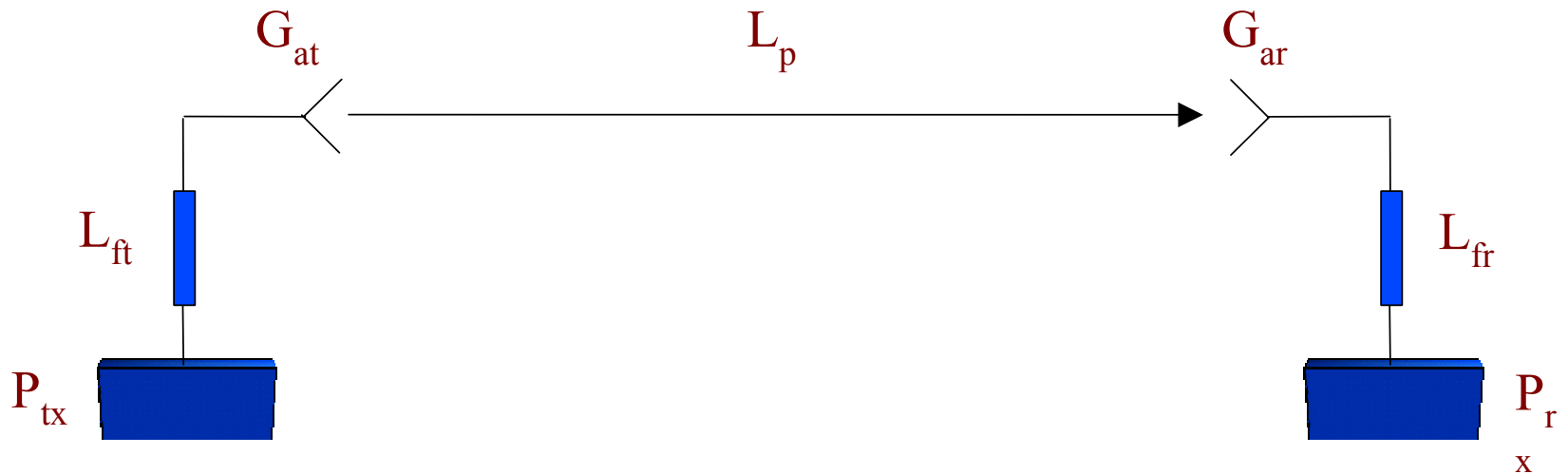
$-70 \text{ dBm} < SS < -65 \text{ dBm}$

$-85 \text{ dBm} < SS < -70 \text{ dBm}$

$SS < -85 \text{ dBm}$

Esercizi

Abbiamo tutti gli elementi per calcolare un Power Budget?



$$P_{rx} = P_{tx} - L_{ft} + G_{at} - L_p + G_{ar} - L_{fr}$$

Esercizio #1

Date le caratteristiche di una BTS, di un MS e il path-loss misurato tra le loro antenne, calcolare il segnale ricevuto dal mobile (downlink).

$$P_{tx} = 45 \text{ dbm};$$

$$L_{ft} = L_{fr} = 1 \text{ dB};$$

$$G_{at} = G_{ar} = 18 \text{ dBi};$$

$$L_p = 125 \text{ dB};$$

$$P_{rx} = ?$$

[R: -46 dBm]

$$P_{rx} = P_{tx} - L_{ft} + G_{at} - L_p + G_{ar} - L_{fr} \quad [\text{dB}]$$

Esercizio #2

Calcolare qual è il segnale ricevuto dal mobile ad una distanza specificata e al suo doppio, conoscendo l'espressione del path-loss.

$$P_{tx} = 45 \text{ dbm};$$

$$L_{ft} = L_{fr} = 1 \text{ dB};$$

$$G_{at} = G_{ar} = 18 \text{ dBi};$$

$$L_p = 130 + 30 \text{Log}(d);$$

$$d_1 = 3.5 \text{ km}; d_2 = 2 * d_1$$

$$P_{rx}(d_1, d_2) = ?$$

[-67.3, -76.3 dBm]

$$P_{rx} = P_{tx} - L_{ft} + G_{at} - L_p + G_{ar} - L_{fr} \quad [\text{dB}]$$

Esercizio #3

Calcolare qual è il raggio di copertura di una BTS conoscendo la sensitività del ricevitore e la legge del path-loss. Ricalcolare il raggio max dimezzando la potenza in trasmissione.

$$P_{tx} = 45 \text{ dbm};$$

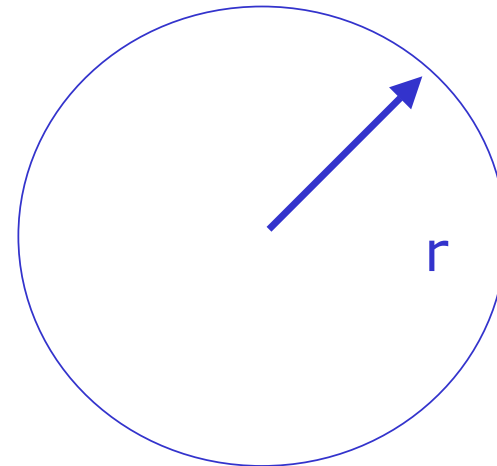
$$L_{ft} = L_{fr} = 1 \text{ dB};$$

$$G_{at} = G_{ar} = 18 \text{ dBi};$$

$$L_p = 130 + 35 \text{Log}(d);$$

$$P_{rx} \geq -85 \text{ dBm}$$

$$r_{max} = ?$$



[9.3 , 7.68 km]

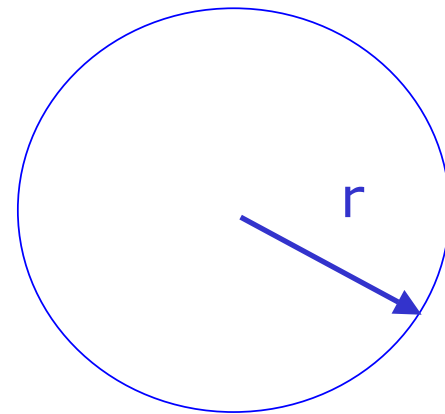
Esercizio #4

Riferendosi al calcolo del raggio di copertura massimo per una cella omnidirezionale circolare dell'esercizio precedente, calcolare la densità di traffico max smaltita dalla cella nelle configurazioni indicate di seguito. Si ipotizzi inoltre che l'aggiunta di alcuni dispositivi introduca nella versione (b) una perdita in trasmissione di 3 dB

a) capacità max 16 Erl

b) capacità max 32 Erl (3 dB di perdita in tx)

[0.058 , 0.172 Erl/km²]



$$P_{rx} = P_{tx} - L_{ft} + G_{at} - L_p + G_{ar} - L_{fr} \quad [dB]$$

Esercizio #5

Date le caratteristiche d'impianto

BTS: $P_{tx}=45$ dbm, $P_{rx\ min} = -100$ dBm, $G_a=18$ dBi, $L_f= 2$ dB

MS: $P_{tx}=30$ dbm, $P_{rx\ min} = -103$ dBm, $G_a= 1$ dBi, $L_f= 1$ dB

- 1- Calcolare il massimo valore di L_p nei versi downlink (BTS->MS) ed uplink (MS->BTS).
- 2- Discutere i risultati ottenuti

R:

Max L_p DL = 164 dB

Max L_p UL = 146 dB

BACKUP SLIDES

Riepilogo: dB

Operatore dB

$$x|_{\text{dB}} = 10 \cdot \text{Log}(x)$$

 es: $345|_{\text{dB}} = 10 \text{ Log}(345) = 25.378 \text{ dB}$

 es: $0.023|_{\text{dB}} = 10 \text{ Log}(0.023) = -16.3827 \text{ dB}$

L'argomento del Log deve essere un numero puro!

Infatti le grandezze che utilizziamo, dBm e dBW, esprimono il rapporto tra la potenza in questione e una opportuna di riferimento.

Riepilogo: dB “notevoli”

2 -> $\cong 3$ dB (3.0103)

$\frac{1}{2}$ -> - 3 dB

1 -> 0 dB

10 -> 10 dB

0.1 -> -10 dB

100 -> 20 dB

0.01 -> -20 dB

1000 -> 30 dB

$200 = 2 * 100 \rightarrow 3 \text{ dB} + 20 \text{ dB} = 23 \text{ dB}$

$0.005 = \frac{1}{2} * \frac{1}{100} = -3 \text{ dB} - 20 \text{ dB} = -23 \text{ dB}$

Riepilogo: dBW, dBm

dBW

Con riferimento ad 1 W utilizziamo il dBW (si legge "dB Watt")

$$\pm x|_{\text{dBW}} = 10\text{Log}(x[\text{W}]/1 \text{ W})$$

$$\pm \text{es: } 345 \text{ Watt} = 25.378 \text{ dBW}$$

$$\pm \text{es: } 0 \text{ dBW} = 1 \text{ W}$$

dBm

Con riferimento ad 1 mW utilizziamo il dBm (si legge anche "dB milliWatt")

$$\pm x|_{\text{dBm}} = 10\text{Log}(x [\text{mW}]/1 \text{ mW})$$

$$\pm \text{es: } 345 \text{ W} = 345'000 \text{ mW} = 55.378 \text{ dBm}$$

$$\pm \text{es: } 0 \text{ dBm} = 1 \text{ mW} = 0.001 \text{ W}$$

$$\pm \text{es: } 30 \text{ dBm} = 1000 \text{ mW} = 1 \text{ W}$$

Riepilogo: dBd, dBi, dBc, dBa

dBd, dBi

Il guadagno di un'antenna è espresso come il rapporto tra la potenza che questa irradia in una determinata direzione e quella che verrebbe irradiata sempre nella stessa direzione da un dipolo $\lambda/2$ o un'antenna isotropa, i valori così ottenuti si indicano in dBd e dBi rispettivamente.

dBc, dBa

Nel calcolo dell'interferenza si impiegano per indicare che il segnale interferente è x dB superiore allo stesso canale dBc o ad uno adiacente dBa.