



# Sistemi Radiomobili e Modelli di Propagazione

---

Ing. G.A. CASULA



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI**  
**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA ELETTRICA ED ELETTRONICA**



# Componenti della attenuazione

- In condizioni ideali di spazio libero la propagazione è governata dalla **formula di Friis**:

$$P_r = P_t G_T G_R \left( \frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 = P(R_0) \left( \frac{R_0}{R} \right)^2$$

$P_t, G_T$ : potenza trasmessa e guadagno dell'antenna trasmittente

$P_r, G_R$ : potenza ricevuta e guadagno dell'antenna ricevente

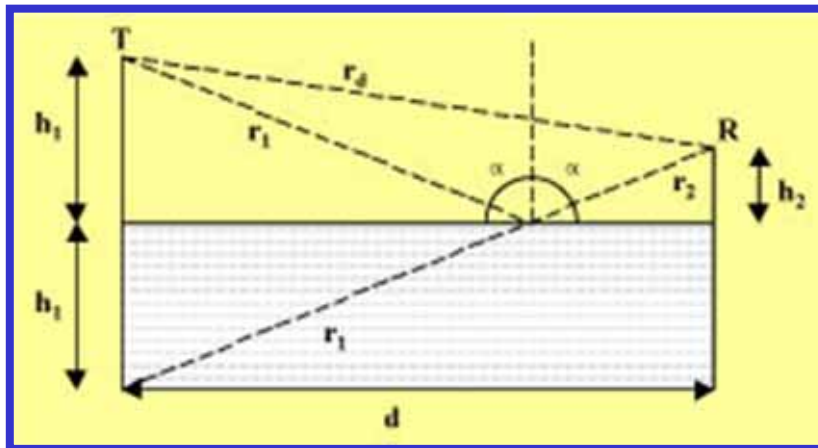
- In spazio libero l'attenuazione di tratta aumenta quindi col quadrato della distanza  $R$  fra le antenne:

$$L(R) = P_t / P_r = \frac{1}{G_T G_R} \left( \frac{4\pi R}{\lambda} \right)^2$$

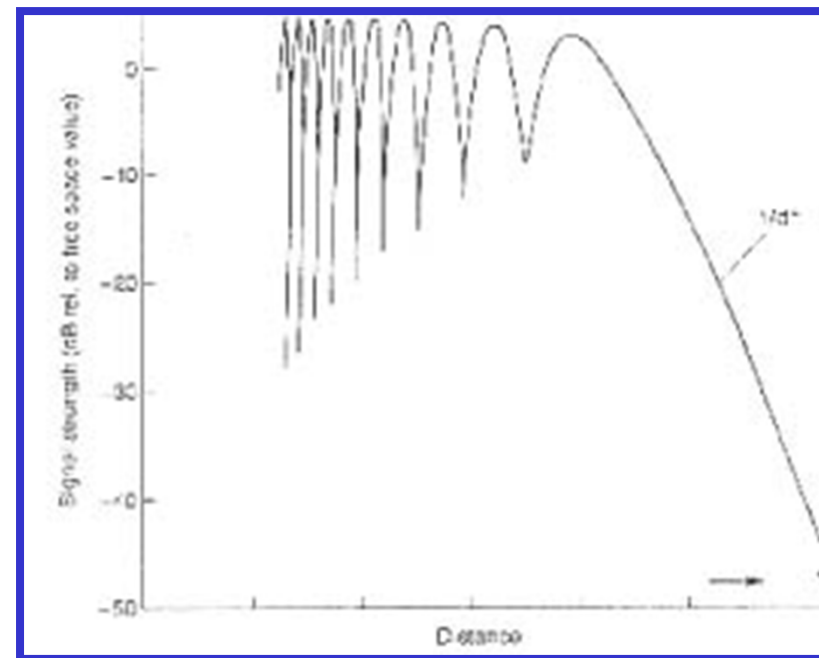
# Componenti della attenuazione

- Le condizioni di propagazione differiscono, in realtà, assai significativamente da quelle di spazio libero.

## Esempio: effetto del suolo

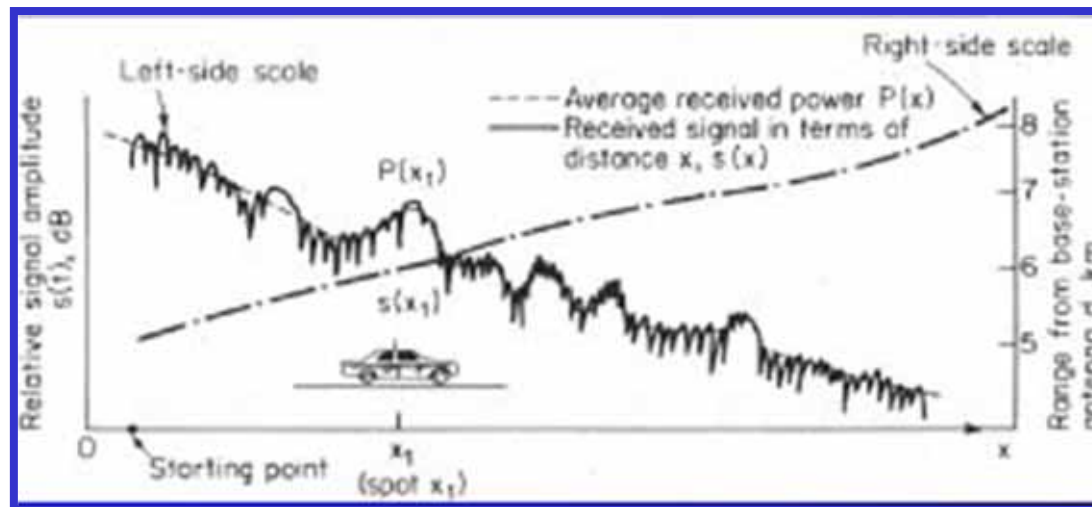


$$L(R) = \frac{R^4}{G_T G_R (h_1 h_2)^2}$$



# Componenti della attenuazione

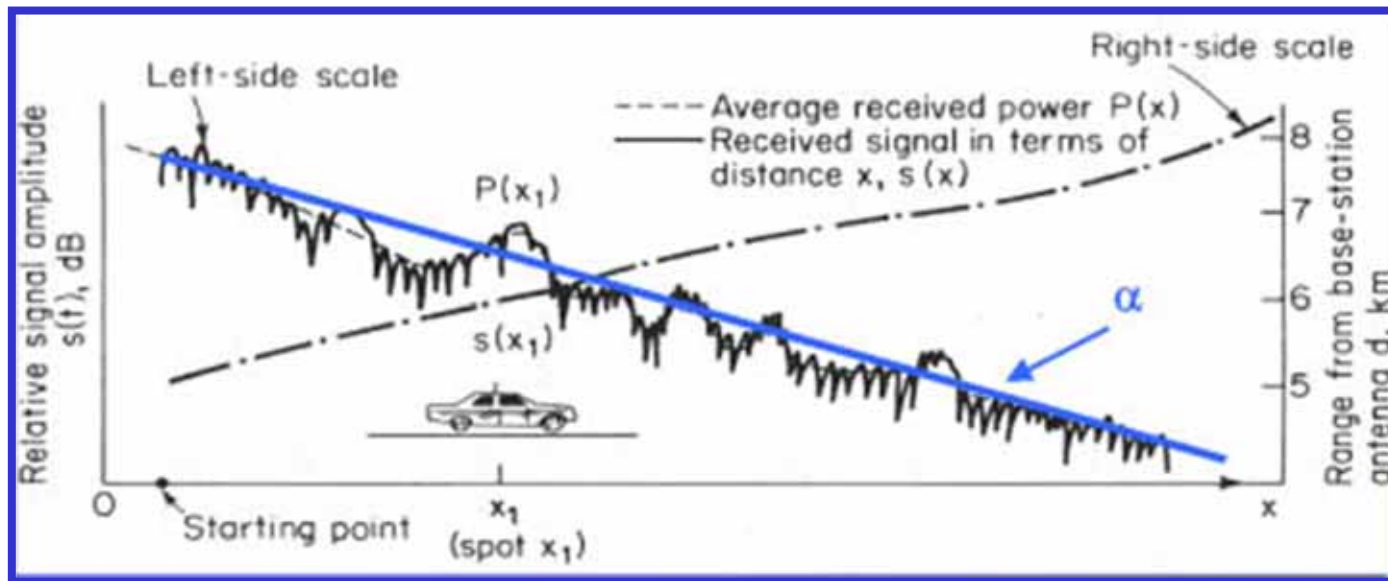
- Considerando tutte le caratteristiche reali dell'ambiente di propagazione, l'andamento della potenza ricevuta con la distanza si discosta significativamente da quello previsto dalla formula di Friis:



- In ambiente reale si possono individuare tre componenti principali:
  - 1. Termine dominante funzione della distanza  $R$ ;
  - 2. Oscillazioni lente;
  - 3. Oscillazioni rapide.

# Componenti della attenuazione

## 1. Termine dominante funzione della distanza



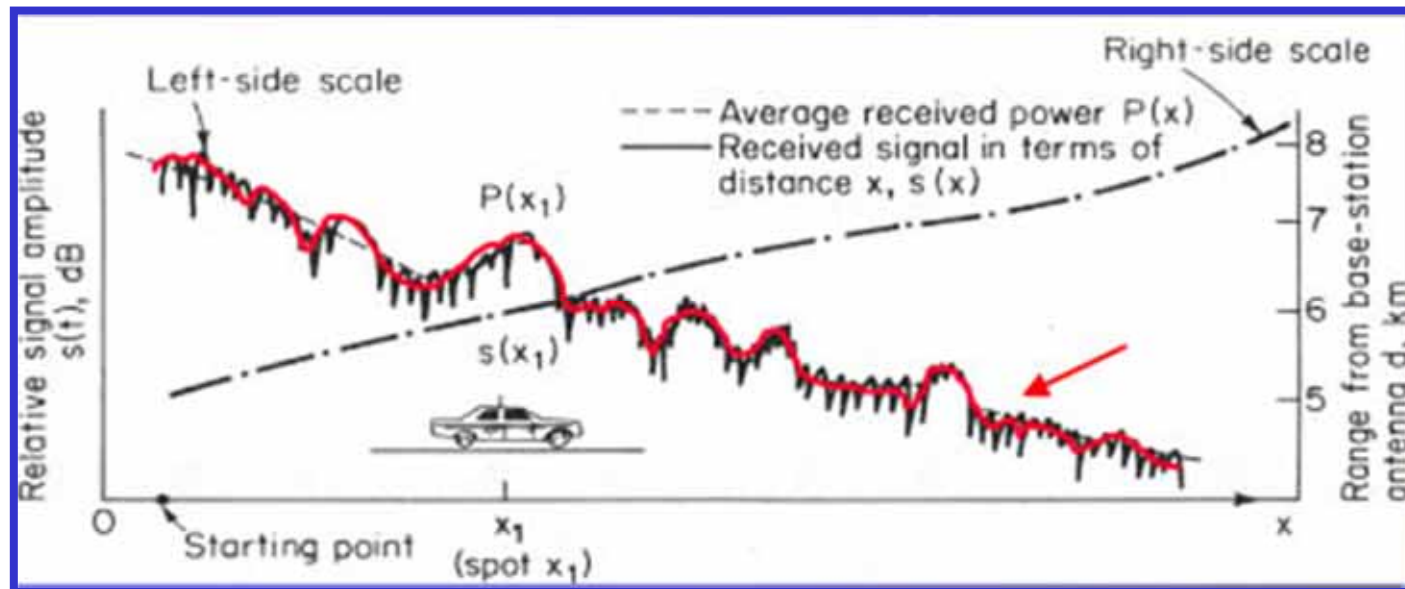
La potenza media ricevuta presenta in funzione della distanza un andamento del tipo:

$$P_r = P(R_0) \left( \frac{R_0}{R} \right)^\alpha$$

$$\text{con } 2 \leq \alpha \leq 4$$

# Componenti della attenuazione

## 2. Oscillazioni lente



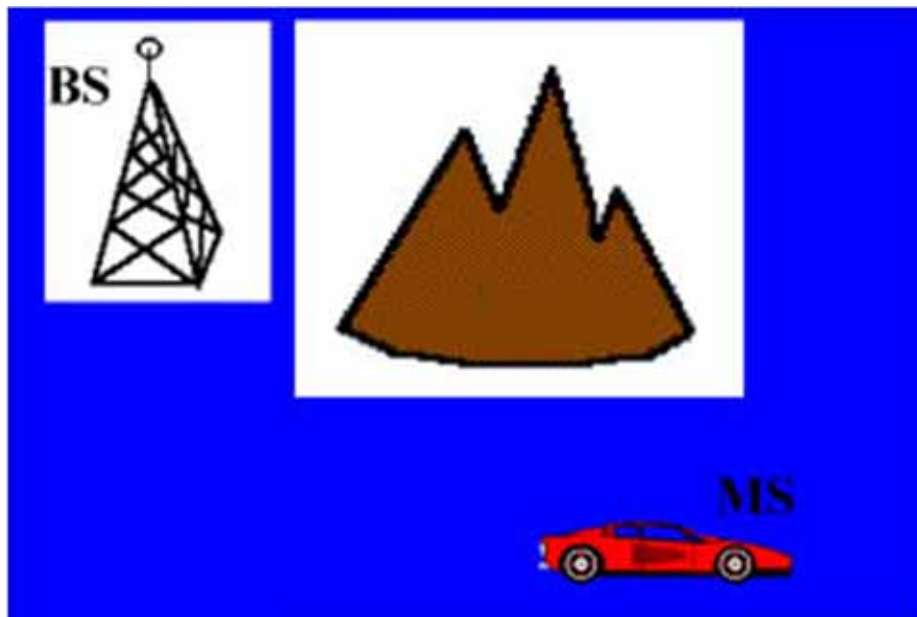
Le oscillazioni lente possono essere modellate per mezzo di una distribuzione log-normale:

$$f_L(l) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(l-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

# Componenti della attenuazione

## 2. Oscillazioni lente

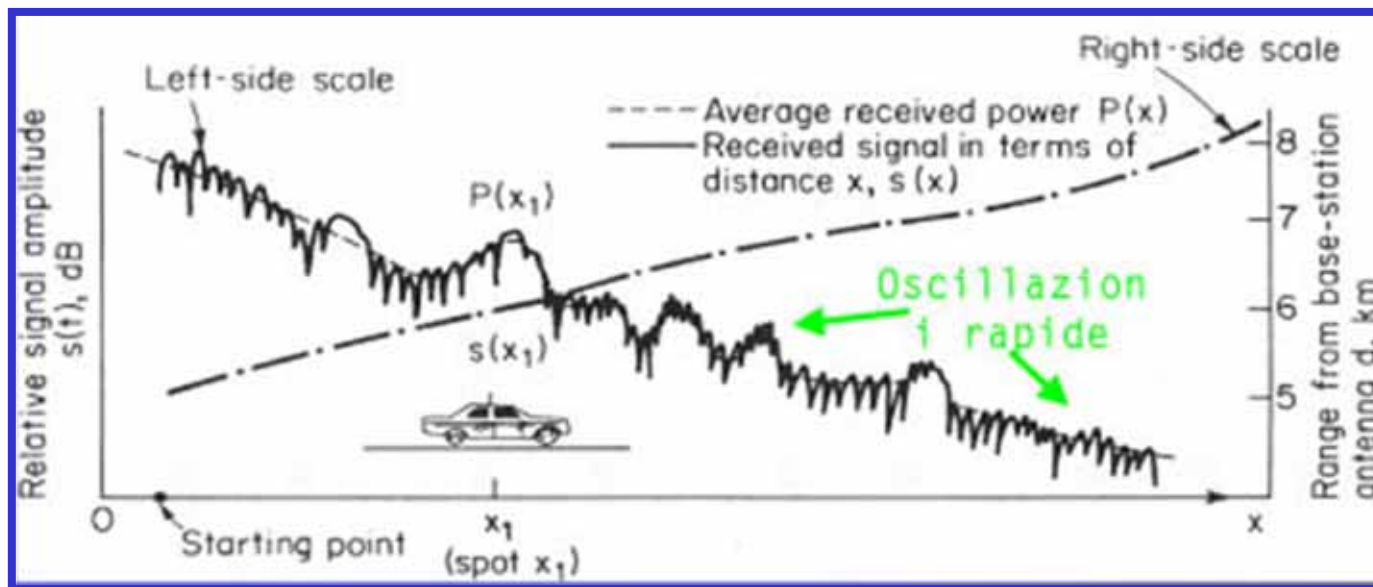
Un collegamento radiomobile è soggetto a forti ostruzioni variabili da posizione a posizione



Gli ostacoli presenti sul cammino di propagazione causano perdite per diffrazione che sono all'origine dello **shadowing lognormale**

# Componenti della attenuazione

## 3. Oscillazioni rapide



Le oscillazioni rapide possono essere modellate per mezzo di una distribuzione Rayleigh:

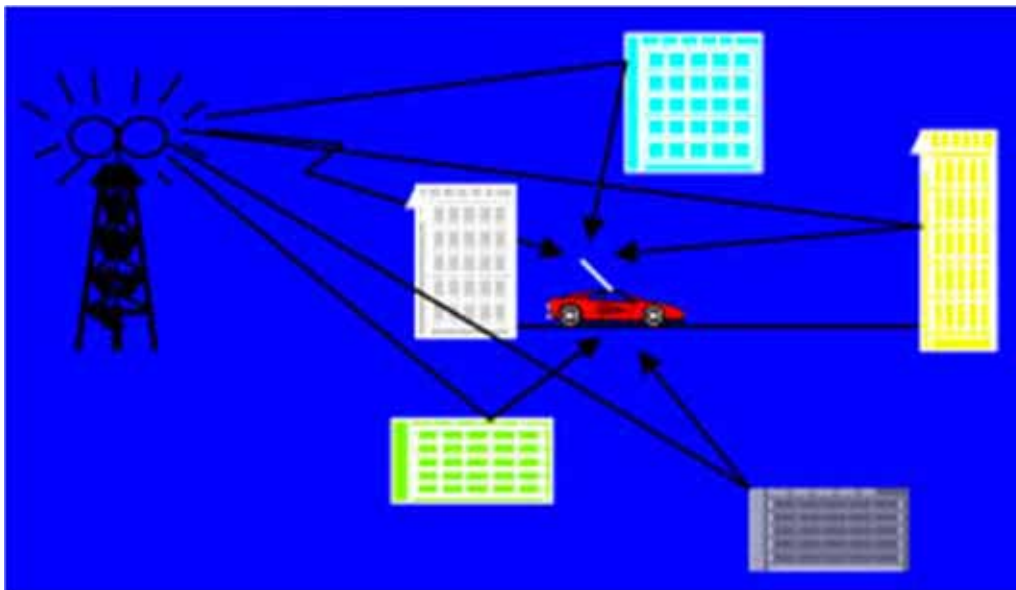
$$f_r(r) = \frac{2r}{\sigma_r^2} e^{-\frac{r^2}{\sigma_r^2}} \quad \text{con } \sigma_r^2 = E\{r^2\}$$



# Componenti della attenuazione

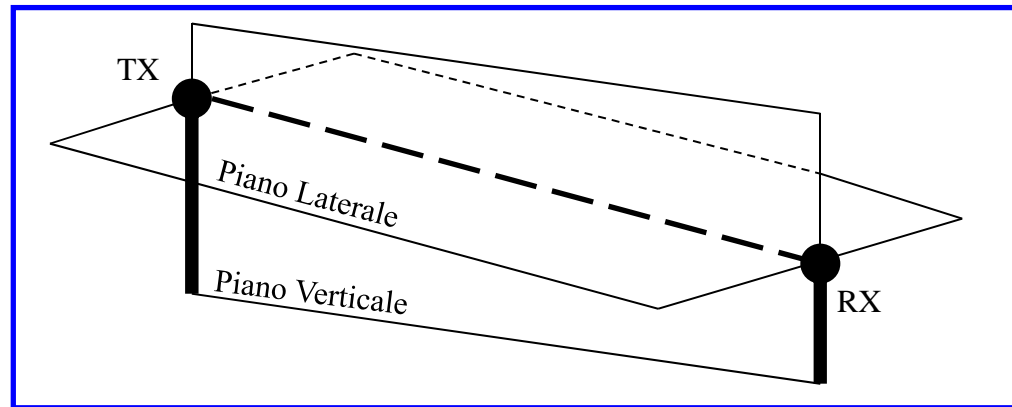
## 3. Oscillazioni rapide

La presenza di molti ostacoli nello scenario di propagazione fa sì che al mobile giungano numerosi contributi originati dall'interazione delle onde elettromagnetiche con l'ambiente circostante (*multipath*). Il segnale ricevuto è dato pertanto dall'*interferenza* dei segnali che giungono al ricevitore dopo aver percorso cammini differenti.



Gli oggetti dello scenario causano *riflessione*, *trasmissione* e *diffrazione* delle onde elettromagnetiche, dando origine al **fading alla Rayleigh**.

# Propagazione: piano laterale e piano verticale



La propagazione reale è per sua natura un fenomeno intrinsecamente 3D, tuttavia spesso è una utile semplificazione considerare solo la propagazione nei seguenti piani geometrici:

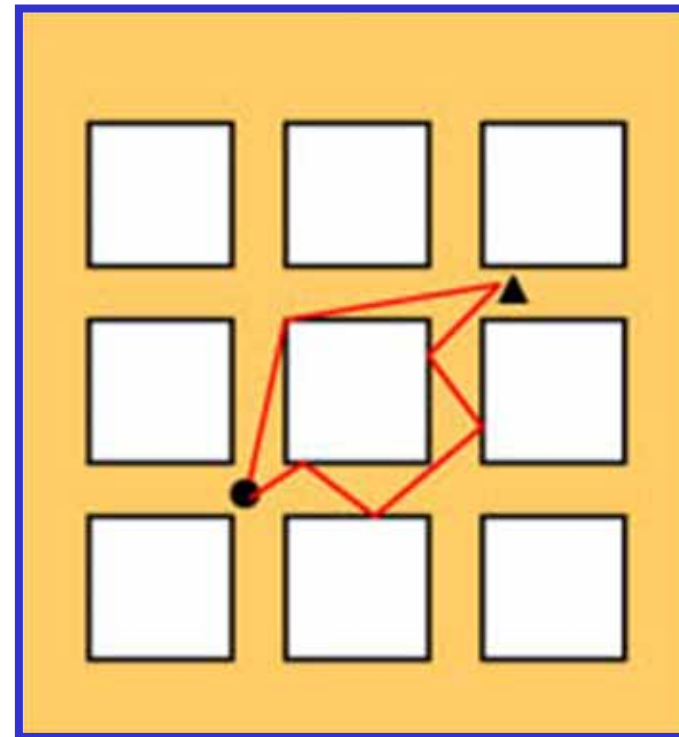
- 1) **Piano Verticale (PV)** : piano contenete le due antenne.
- 2) **Piano Laterale (PL)** : piano inclinato rispetto al suolo, comprendente le due antenne e perpendicolare al piano verticale.

La propagazione nei due piani avviene secondo modalità e meccanismi differenti.

# Propagazione: piano laterale

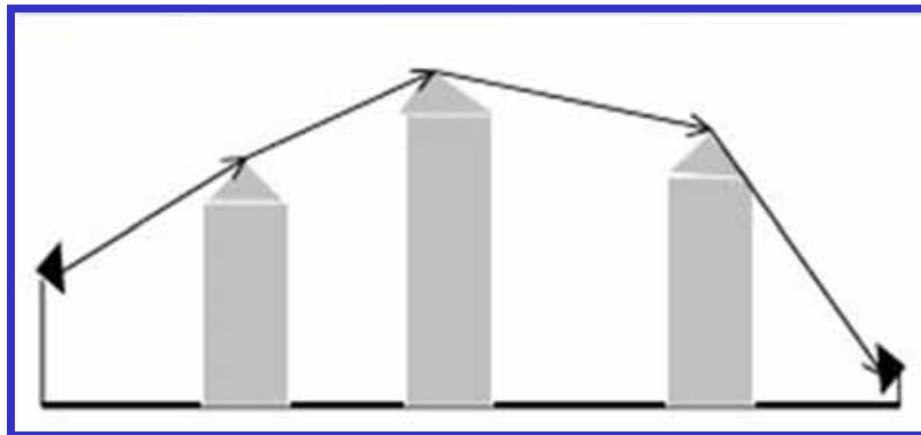
- Piano laterale caratterizzato da numerosi cammini multipli fra le antenne.
- Meccanismi propagativi principali:
  - 1. Riflessioni sulle pareti degli edifici
  - 2. Diffrazioni sugli spigoli degli edifici
  - 3. Diffusioni da vegetazione o pareti rugose e/o non omogenee.
- All'aumentare della distanza fra le antenne, i cammini si fanno sempre più “intricati”, aumentando così il numero di interazioni necessarie a garantire il collegamento.

L'attenuazione sul piano laterale aumenta quindi molto rapidamente con la distanza.

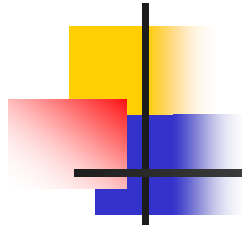


# Propagazione: piano verticale

- Pochi cammini significativi (spesso un solo cammino).



- Meccanismo propagativo principale: **Diffrazione** sui tetti degli edifici (propagazione **Over Rooftop**).
- Numero di ostacoli significativi aumenta abbastanza lentamente con la distanza  
⇒ Attenuazione sul piano verticale aumenta con la distanza, ma meno rapidamente dell'attenuazione sul piano laterale.

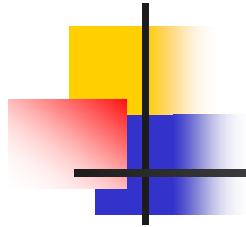


## Propagazione: punto di prevalenza

- La potenza viene sempre ricevuta da entrambi i “*piani di propagazione*”. Per valori limitati della distanza di tratta (tipicamente fino a qualche centinaio di m) il piano laterale porta il contributo di potenza più significativo, mentre per valori elevati è il piano verticale a svolgere un ruolo predominante

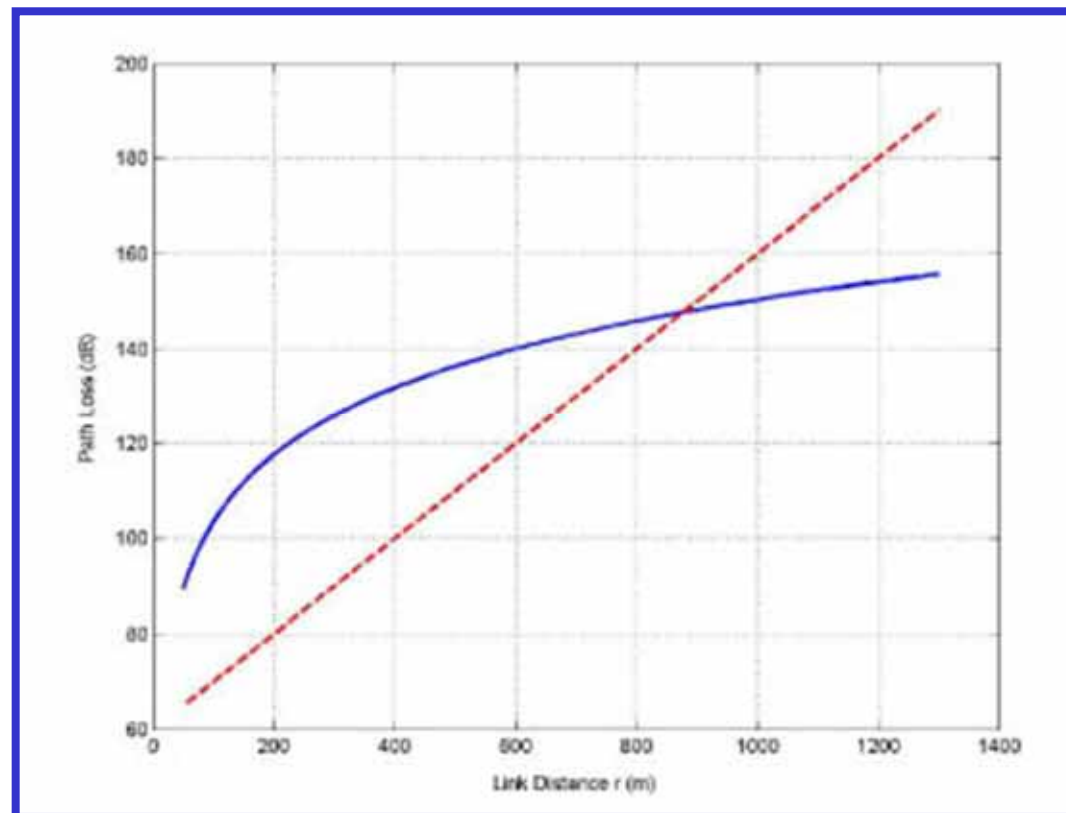
$$A_{dB}^{TOT} = -10 \log \left( 10^{-\frac{10}{A_{dB}^V}} + 10^{-\frac{10}{A_{dB}^L}} \right)$$

- Si definisce allora **punto o distanza di prevalenza** il valore di distanza per il quale l’attenuazione sul piano laterale coincide con l’attenuazione sul piano verticale.

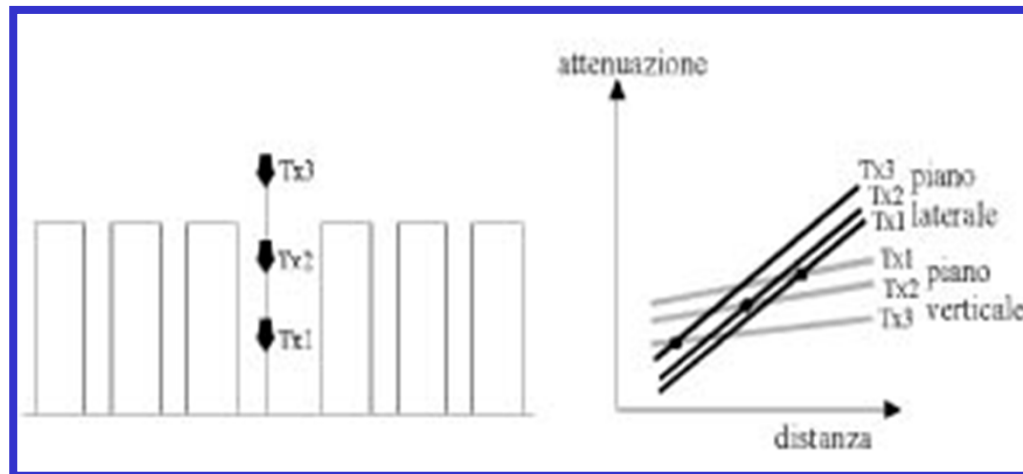


# Propagazione: punto di prevalenza

## Contributo Qualitativo Piano Verticale e Laterale

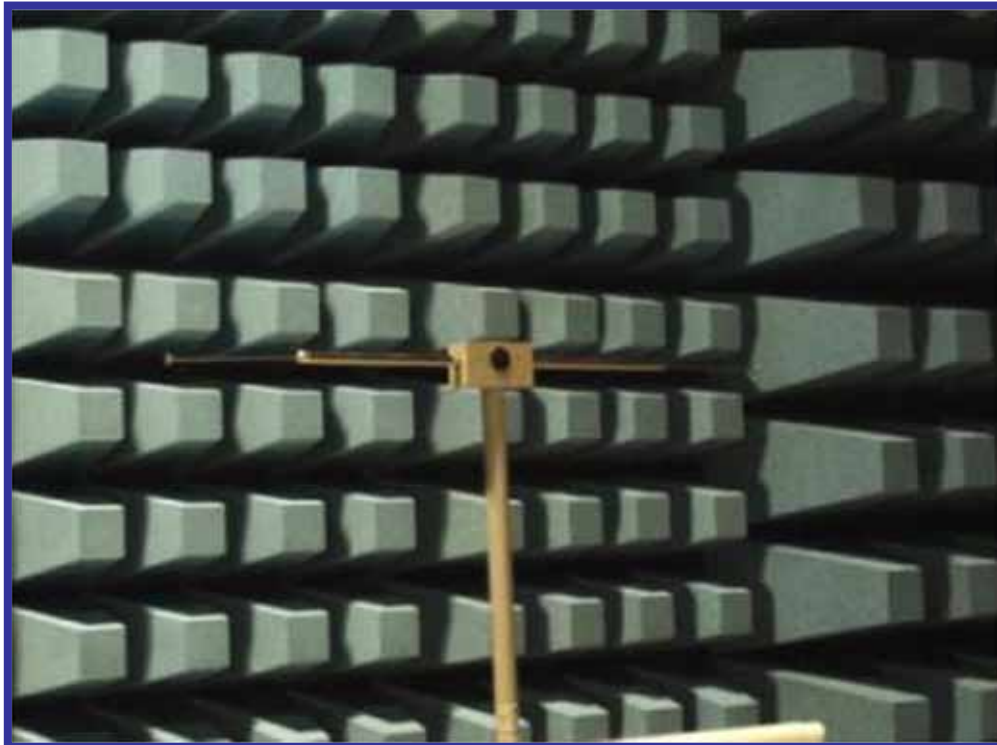


## Propagazione: punto di prevalenza e copertura



- Il valore della distanza di prevalenza dipende sensibilmente dall'altezza della BS (Stazione Raidiobase). In particolare, al crescere di tale altezza migliora la propagazione nel piano verticale, poichè gli ostacoli in prossimità dell'antenna divengono meno ostruenti e, dunque, meno attenuanti.
- Il ruolo dei due piani di propagazione dipende quindi fortemente dal tipo di copertura:
  - 1. *MACROCELLE*  $\Rightarrow$  solo Piano Verticale
  - 2. *SMALL-CELL*  $\Rightarrow$  Piano Laterale e Piano Verticale
  - 3. *MICROCELLE*  $\Rightarrow$  solo Piano Laterale

## Dipolo a mezza lunghezza d'onda

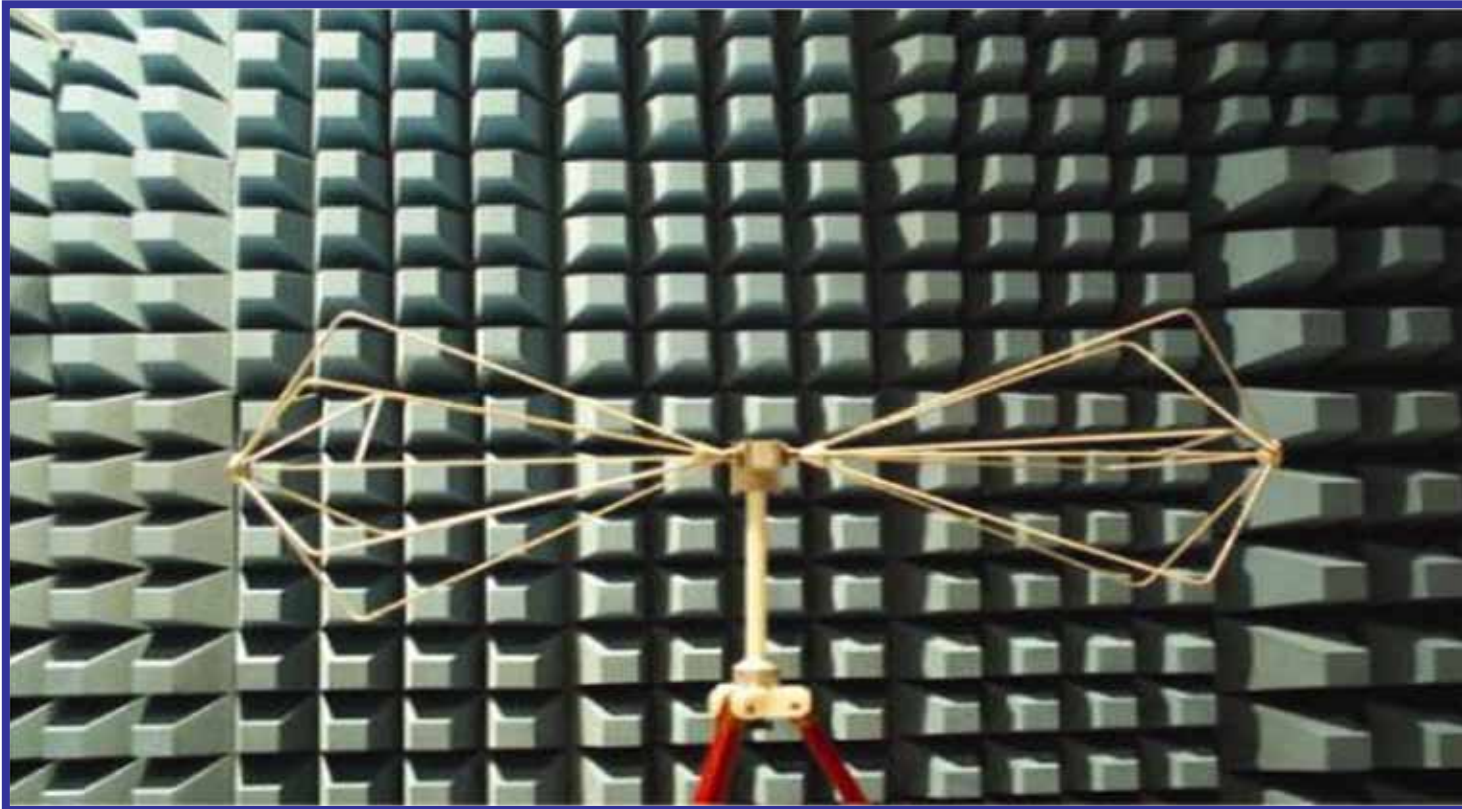


- Il dipolo a mezza lunghezza d'onda (o dipolo a  $\lambda/2$ ) è il tipo più semplice di antenna.
- E' impiegato in ***UHF*** e ***VHF*** ed è utilizzato come dispositivo di confronto per determinare il guadagno di un'antenna. Tale antenna è mostrata in figura.



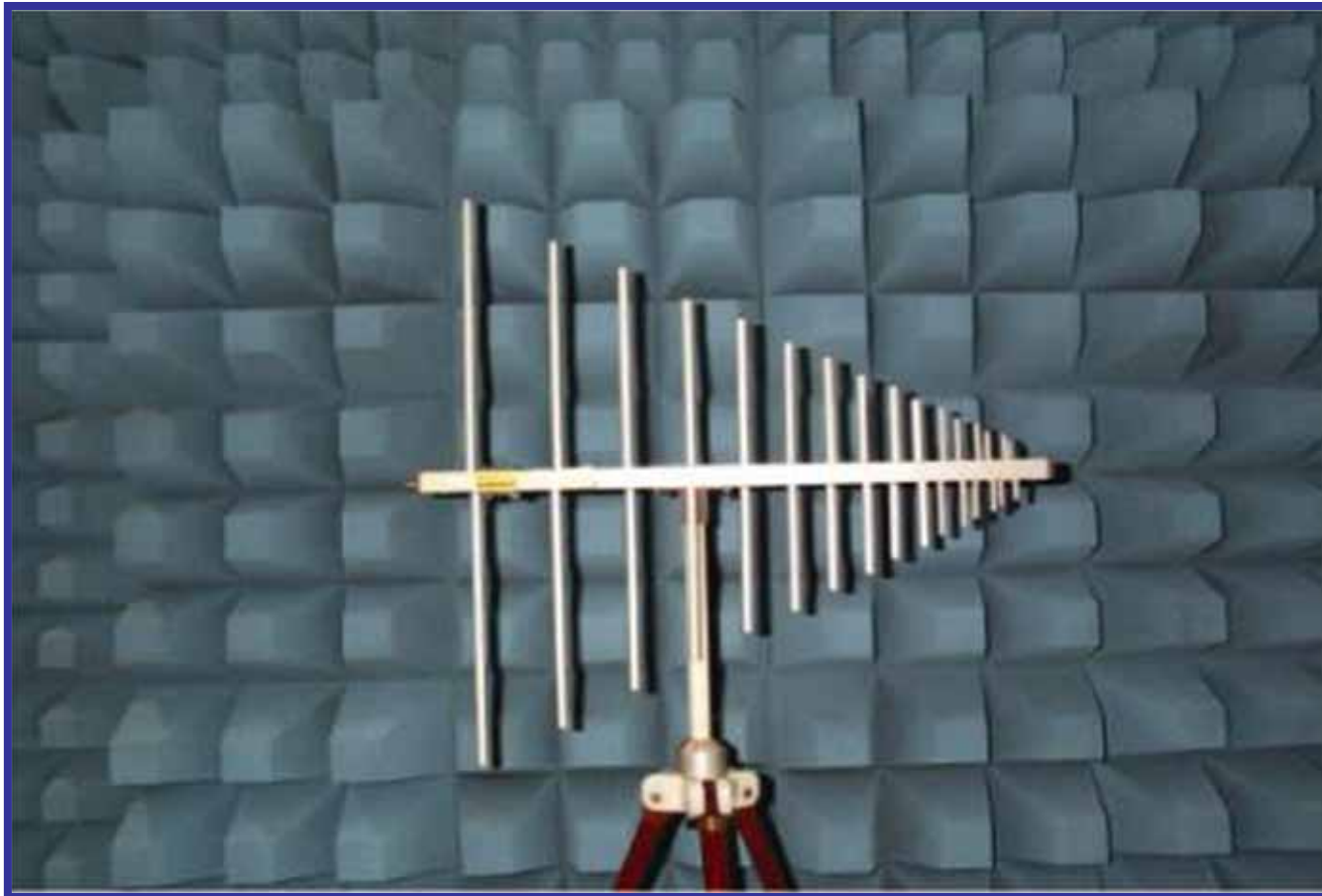
## Antenna biconica

- In pratica, non potendo realizzare coni di lunghezza infinita, questi vengono **troncati**, ottenendo l'antenna mostrata in figura.



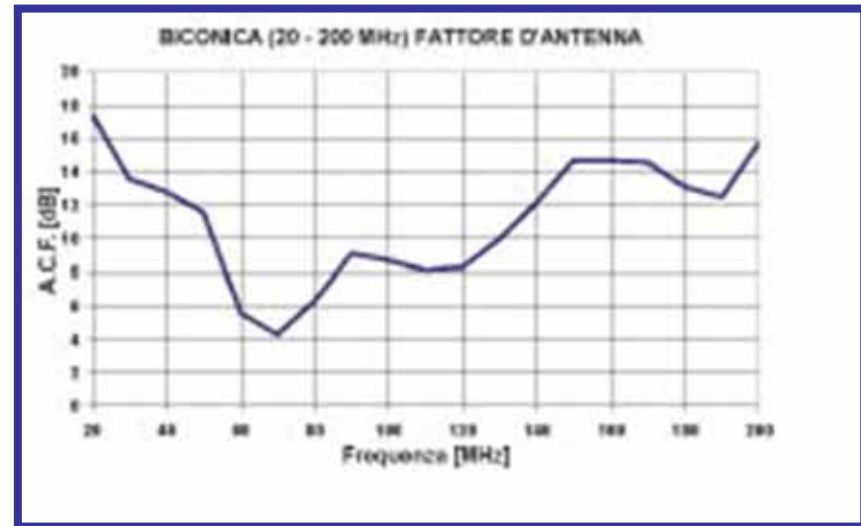
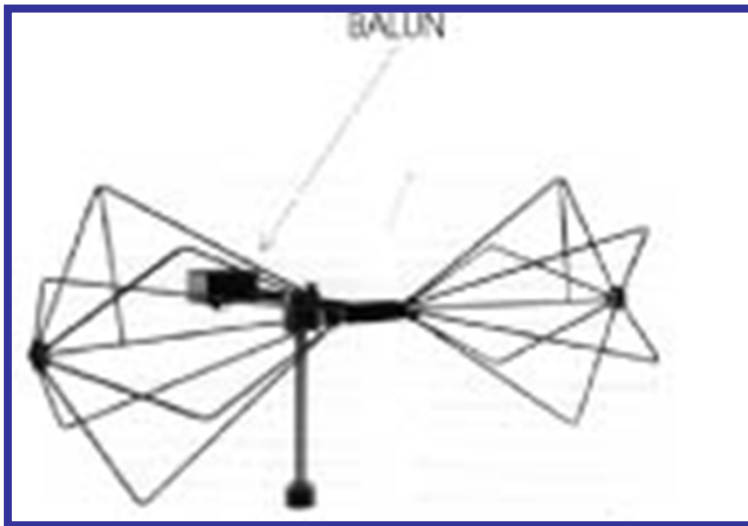
# Antenna log-periodica

## Antenna log-periodica



## Sottosistemi di Misura: Antenne

- ANTENNA BICONICA (Ailtech mod. 94455-1)



**Dimensioni:**  $W = 1.37$  m;  $\varnothing_{\max} = 0.54$  m

Con queste antenne si può ottenere la misura delle tre componenti ortogonali ( $E_x$ ,  $E_y$  ed  $E_z$ ) inclinando l'antenna di  $\theta=54.74$  rispetto alla verticale ed effettuando 3 misure ottenute ruotando successivamente l'antenna di  $120$  nel piano orizzontale. Da queste si può quindi ottenere anche il modulo  $E$  come radice quadrata della somma dei loro quadrati.

## Sottosistemi di Misura: Antenne

- SPIRALE CONICO-LOGARITMICA (CLS)



Esistono **due** implementazioni di antenna a spirale conico-logaritmica che differiscono fra di loro per la *gamma di frequenza* che coprono: una la gamma **200MHz – 1GHz** e l'altra la gamma **1GHz – 10GHz**.

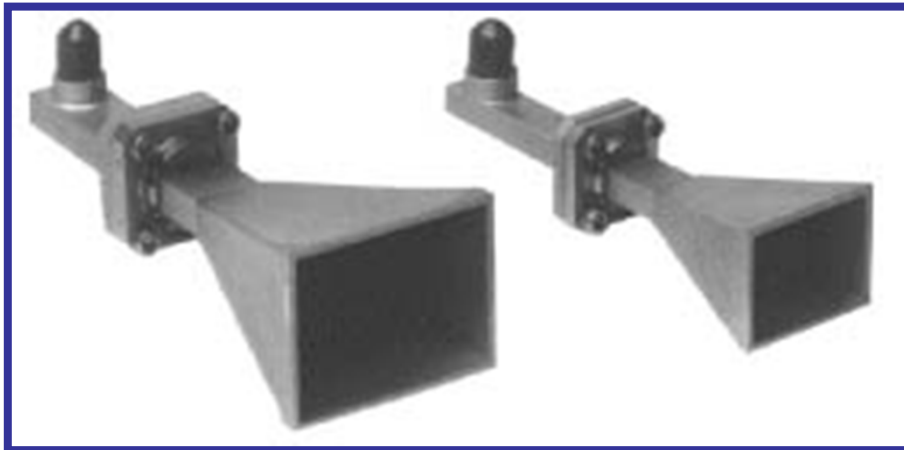
L'antenna a Spirale Conica Logaritmica risponde per costruzione a campi con **polarizzazione circolare**. Grafici e tabelle del fattore d'antenna vengono forniti per campi con tale tipo di polarizzazione.

Quando l'antenna a Spirale Conica Logaritmica viene utilizzata per misure su campi a **polarizzazione lineare** (sicuramente il caso più comune) il fattore d'antenna ***K*** va **aumentato di 3 dB**

## Sottosistemi di Misura: Antenne

ALTRI TIPI DI ANTENNE (Di impiego meno comune):

- TROMBE A GUADAGNO STANDARD



Si tratta di strutture compatte, indicate per misure nella banda delle **microonde**, ed in particolare nella gamma delle **SHF** ( $3 - 30\text{ GHz}$ ); questa viene coperta con trombette che hanno dimensioni sempre più piccole al crescere della frequenza.

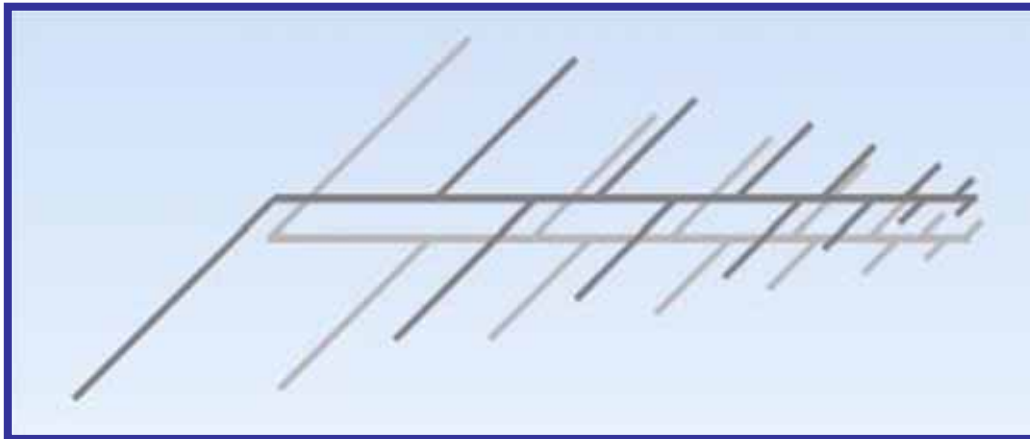
Il costruttore fornisce solitamente l'**area efficace**  $A_e$  o il **guadagno**  $G$ , dai quali si può ricavare il **fattore d'antenna**  $K$ , con le formule riportate nelle pagine precedenti.

Come accade per molte antenne ad apertura, l'area efficace è pari ad una frazione (fra **0.5** e **0.9**) dell'**area geometrica della bocca**.

# Antenne a larga banda per misure selettive

## Antenna log-periodica

- L'antenna log periodica presenta un **discreto guadagno** ( $6 - 12 \text{ dB}$ ) ed una **larghezza di banda** pari ad un **ordine di grandezza** (tipicamente,  $200 \text{ MHz} - 2 \text{ GHz}$ )



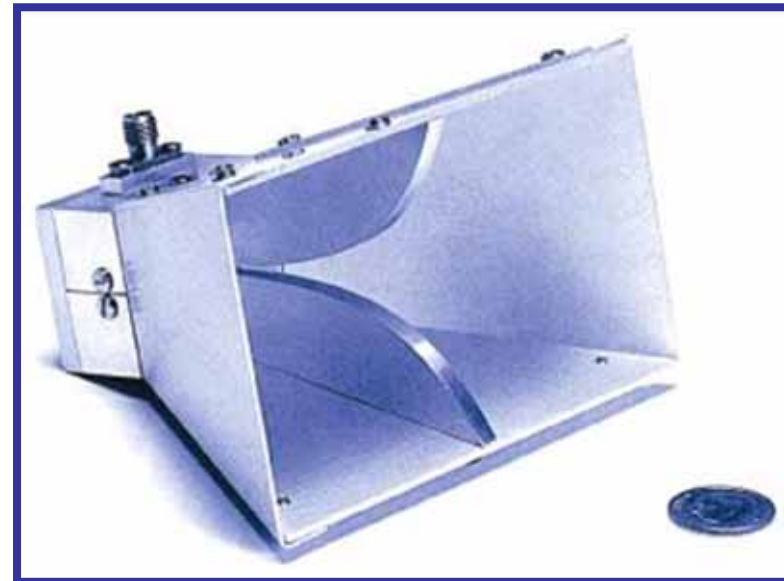


# Antenne a larga banda per misure selettive

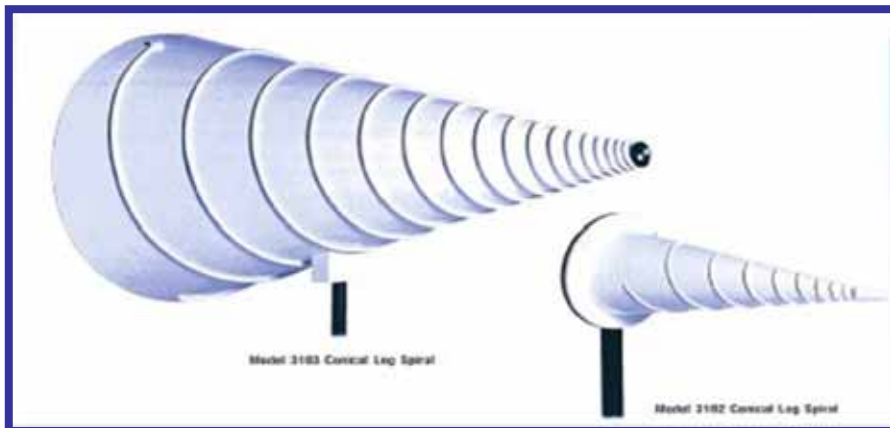
## Antenne standard



**4. LogPeriodic antenna:**  
*gamma da 100 MHz a 3 GHz*



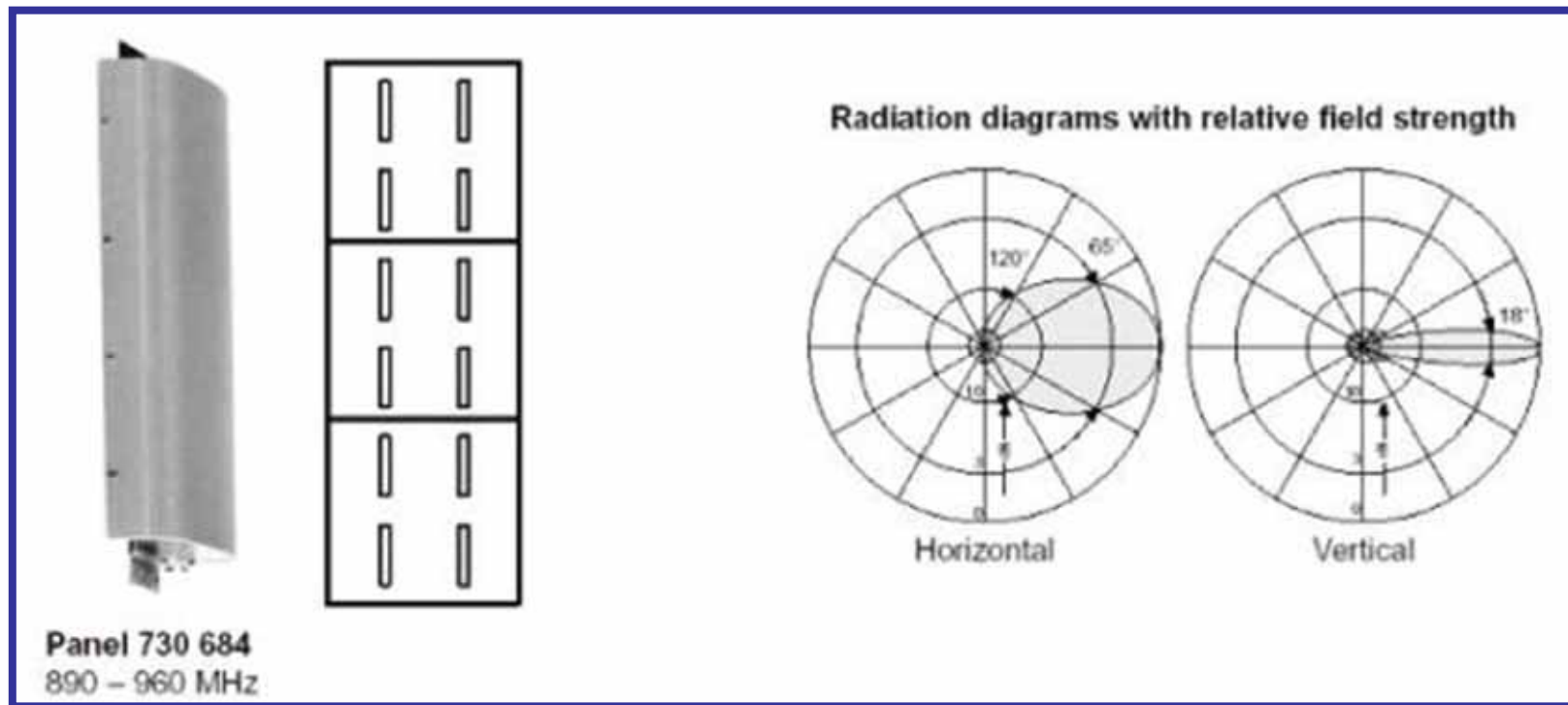
**5. Double-ridged Waveguide horn:**  
*gamma da 1GHz a 40GHz*



**6. ConicalLog Spiral:**  
*gamma da 200 MHz a 10 GHz*

# Antenna per telefonia cellulare

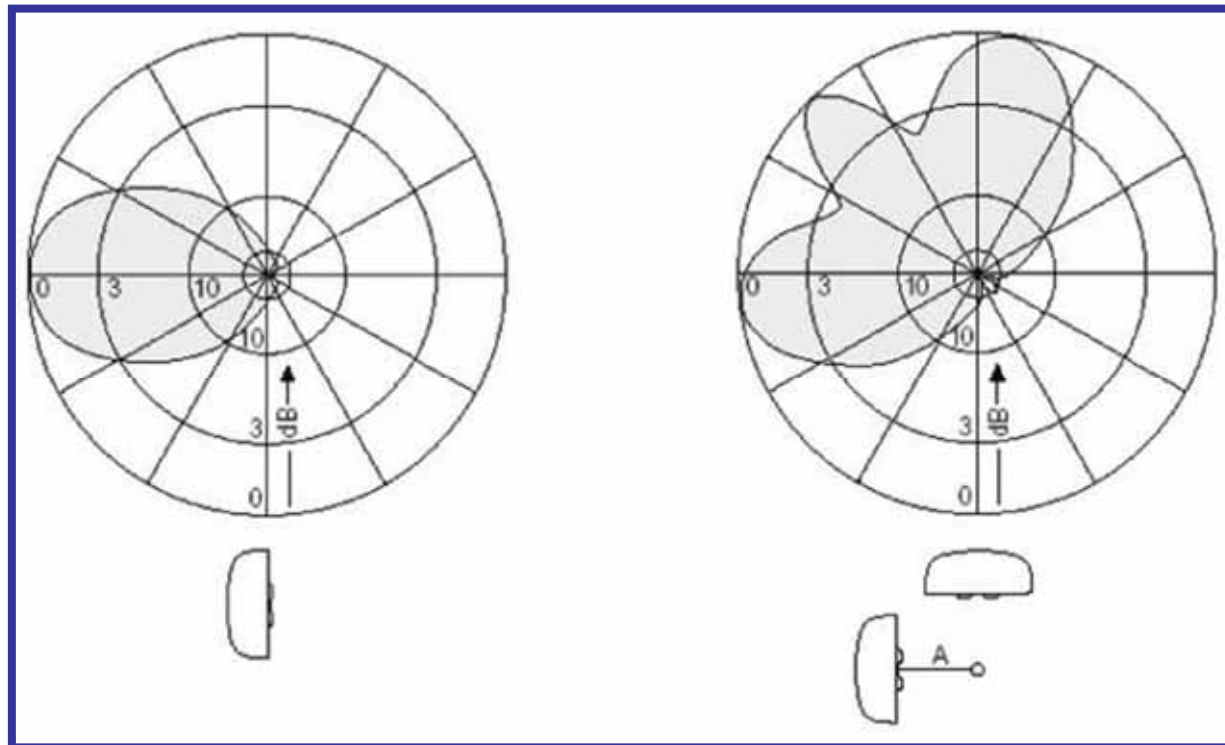
- Le antenne per **telefonia mobile** installate nelle stazioni radio base possono essere costituite da **schiere di dipoli**; si ottiene così il **diagramma di radiazione** riportato in figura.



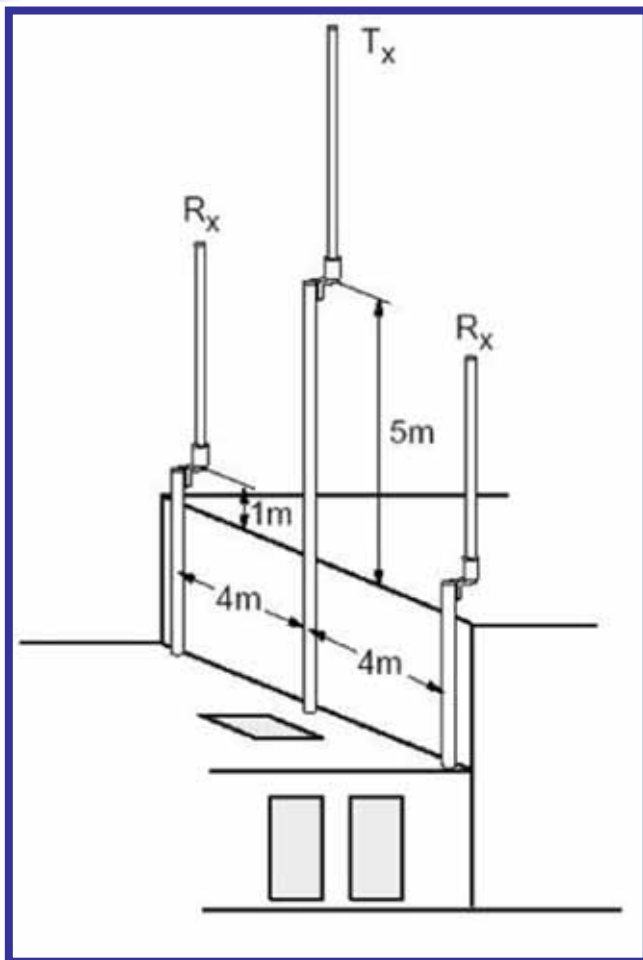


# Antenna per telefonia cellulare

- Per ottenere **diagrammi** di radiazioni con **angoli di apertura** più **ampi** (ossia per allargare il diagramma di irradiazione complessivo) è possibile utilizzare **più antenne**, per esempio con la configurazione riportata in figura.

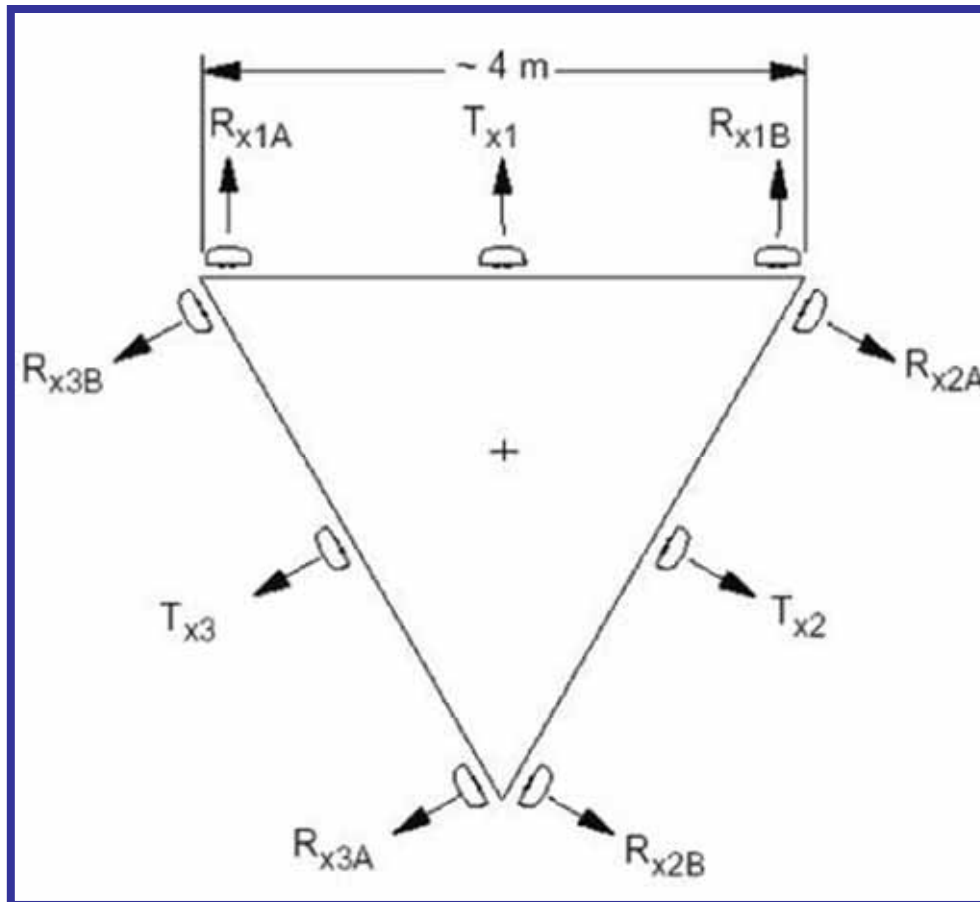


# Antenna per telefonia cellulare



- Una **stazione radio base** GSM è tipicamente dotata di **tre antenne** di cui **una trasmittente** e **due riceventi** per ciascun settore da **ricoprire**
- L'antenna **trasmittente** è montata **più in alto** e in posizione **mediana** al fine di evitare **interferenze** con le antenne **riceventi**. La disposizione è mostrata in figura.

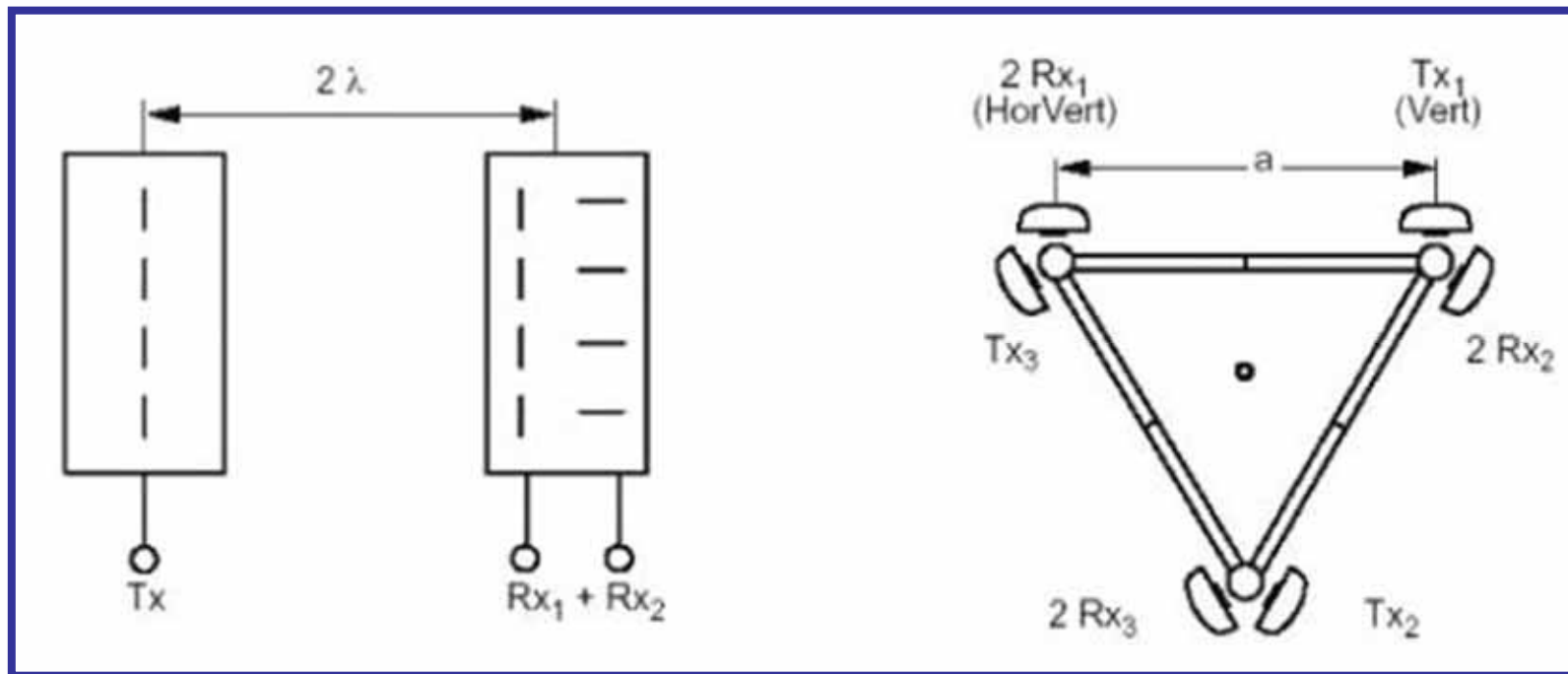
# Antenna per telefonia cellulare



- In una stazione radio base per **trasmettere** il segnale in **tutte le direzioni** (e coprire quindi un angolo pari a 360 ) si possono disporre **tre terne di antenne** ciascuna su un lato di un **triangolo equilatero**, come mostrato in figura.

# Antenna per telefonia cellulare

- Infine per **ricevere** il segnale sia in **polarizzazione orizzontale** che **verticale** si possono utilizzare antenne con **dipoli** disposti sia **orizzontalmente** che **verticalmente** (antenne riceventi con doppia polarizzazione), come riportato in figura.



# Procedura di misura a larga banda

## Strumentazione per misure a larga banda

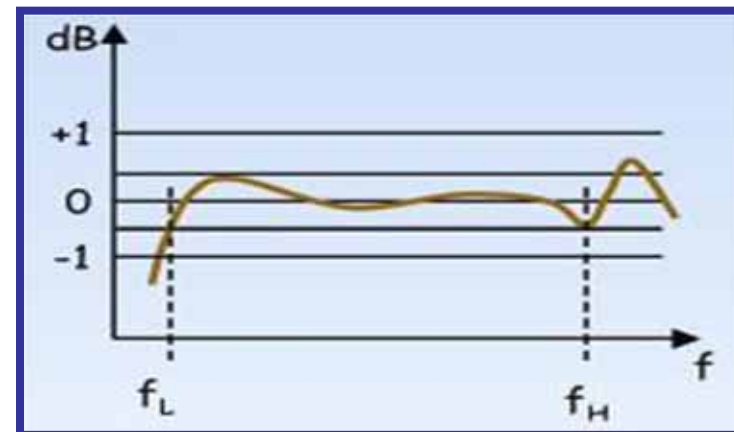
### Set di misura a larga banda:

- Mainframe con display
- Sensore triassiale a larga banda
- Cavalletto dielettrico e telescopico



### Caratteristiche del sensore:

#### **1. Risposta in ampiezza uniforme su una banda molto estesa**



Il sensore infatti deve rivelare l'ampiezza di segnali radioelettrici comunque distribuiti all'interno di una banda che, secondo il **D.M. 381/98**, deve essere compresa tra **100 KHz e 3000 MHz**

# Procedura di misura a larga banda

## Strumentazione per misure a larga banda

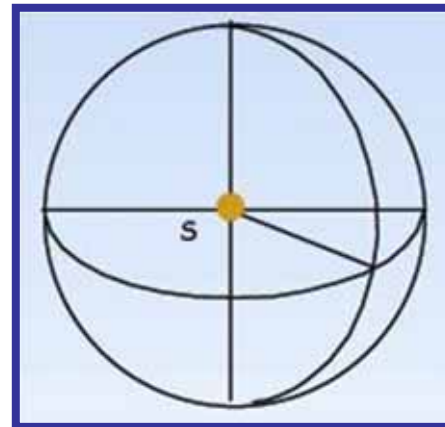
### Set di misura a larga banda:

- Mainframe con display
- Sensore triassiale a larga banda
- Cavalletto dielettrico e telescopico



### Caratteristiche del sensore:

#### **2. Risposta in ampiezza nel rispetto della isotropia spaziale**



Il sensore deve essere capace di rilevare con precisione l'ampiezza di qualunque segnale radioelettrico, indipendentemente:

- dalla sua **polarizzazione**
- dalla **direzione di provenienza**

# Procedura di misura a larga banda

## Strumenti per misure a larga banda

Particolare dello  
strumento **EMR300** della  
Wandel -Goltermann



Connessione al PC  
via cavo ottico.



Lo strumento EMR300  
posizionato sul treppiede  
dielettrico



# Procedura di misura a larga banda

## Strumenti per misure a larga banda



**Il display dell'8053 come si presenta dopo l'accensione e la routine di controllo (si noti la risposta dei tre assi del sensore).**

**Strumento 8053  
della PMM**



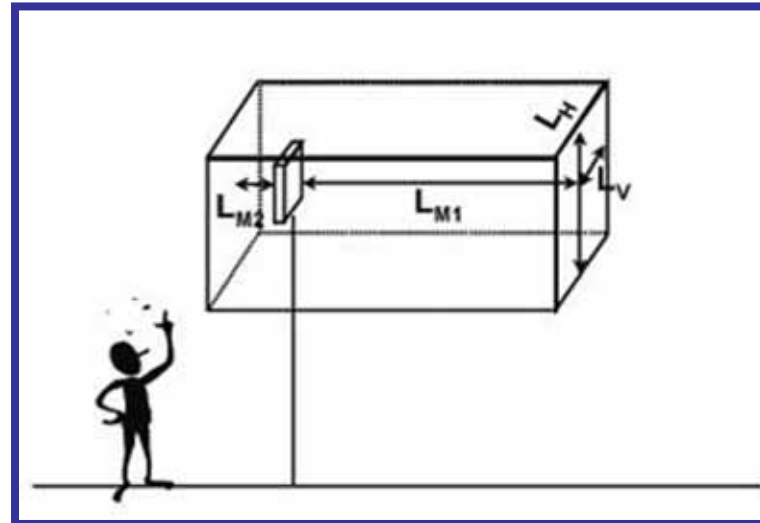
**Col comando “Mode” il display passa a visualizzare i valori MAX, MIN, RMS. Contemporaneamente è possibile lanciare la misura mediata sull'intervallo di tempo desiderato.**



# Il volume di rispetto

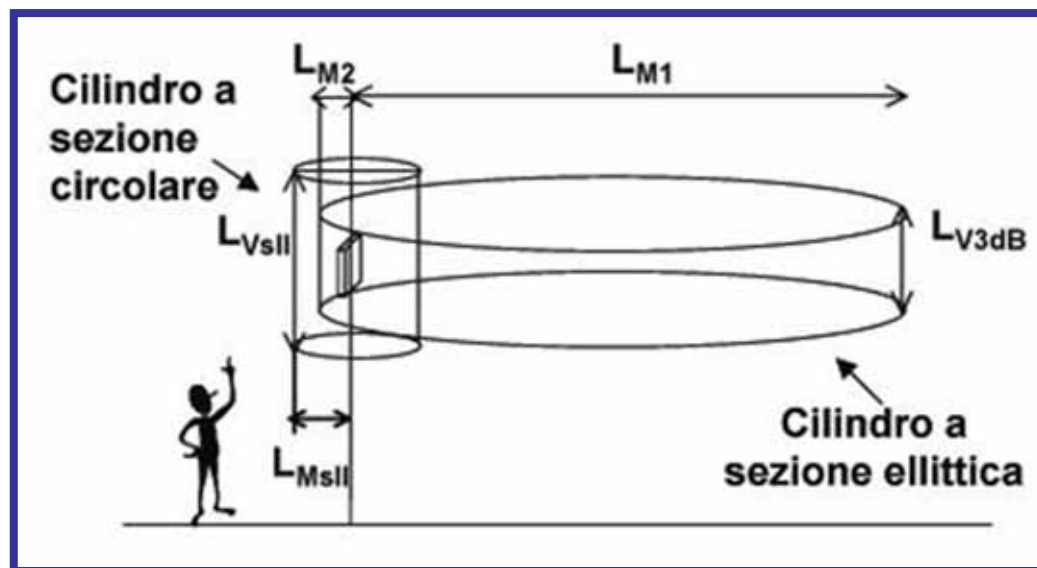
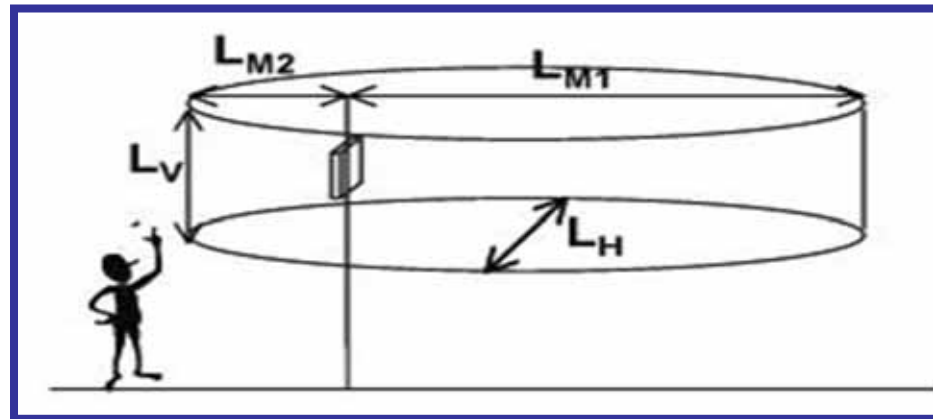
- Il **Volume di Rispetto** è definito da tre dimensioni:
  - $L_M$  dimensione massima nella zona antistante l'antenna (*profondità*)
  - $L_V$  dimensione parallela al piano verticale dell'antenna (*altezza*)
  - $L_H$  dimensione parallela al piano orizzontale dell'antenna (*larghezza*)
- Il centro dell'antenna si trova nel punto medio di  $L_V$  e  $L_H$ , mentre  $L_M$  si suddivide in due segmenti  $L_{M1}$  e  $L_{M2}$  che si estendono in avanti e indietro dal centro dell'antenna.

*Rappresentazione del volume di rispetto mediante un cilindro a sezione rettangolare*



# Il volume di rispetto

*Rappresentazione del volume di rispetto mediante un cilindro a sezione ellittica*

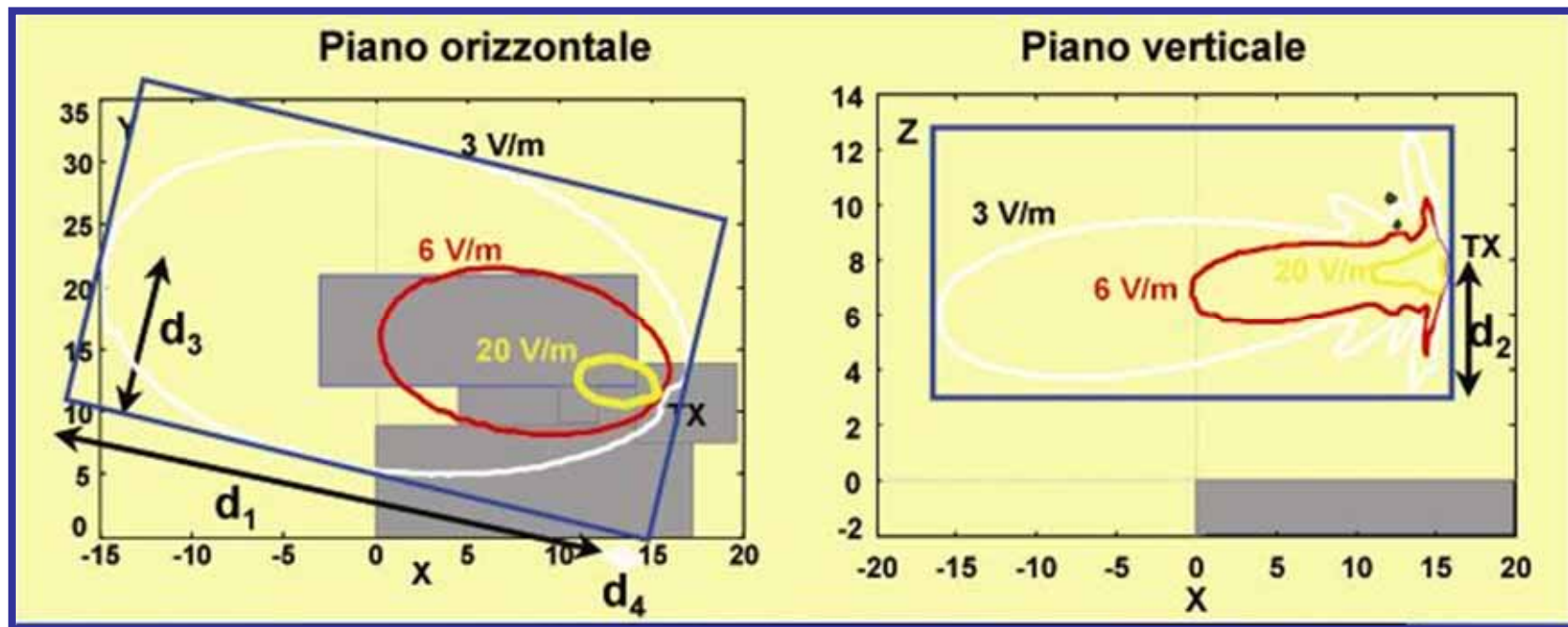


*Rappresentazione del volume di rispetto mediante una coppia di cilindri:  
uno a sezione circolare  
e uno a sezione ellittica*

# Software di Elaborazione

## Esempio di utilizzo di un Software di Elaborazione

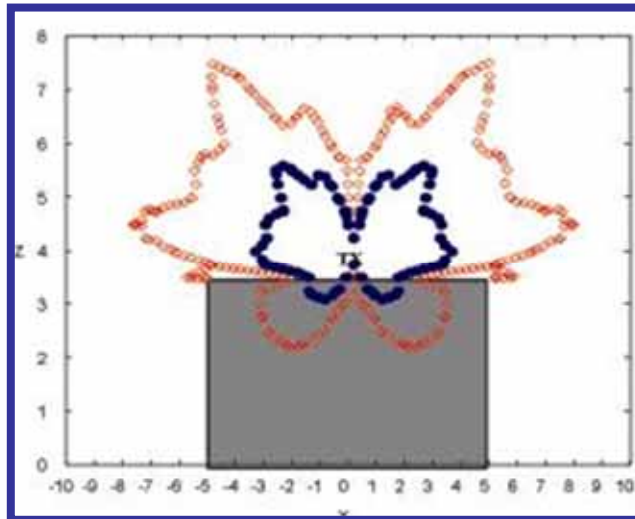
### Analisi dei livelli di campo



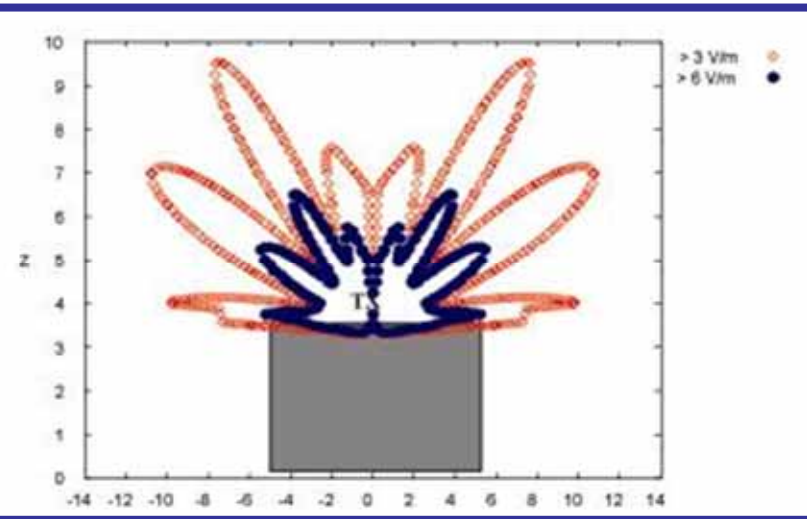
**Il volume di rispetto sovrastima l'area effettiva in cui i limiti vengono superati**

# Il ruolo dei materiali

## Edicola in cemento



## Edicola in metallo



- L'antenna è posta sopra il tetto dell'edicola
- L'altezza dell'installazione varia tra 3.7 e 4.5 metri dal suolo
- La potenza massima attribuibile al trasmettitore, in corrispondenza di 3.7 metri, è 4.4 Watt

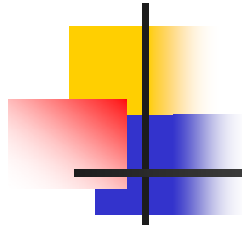
# Siti Microcellulari

## Antenna all'esterno di edificio con portico



### Caratteristiche dell'impianto:

- Impianto installato in corrispondenza di un incrocio a T
- Impianto formato da due celle per illuminare le strade. Ogni cella comprende due trasmettitori, alimentato con 0.34 Watt
- L'altezza dell'installazione è 5.2 metri



# Sistemi Radiomobili

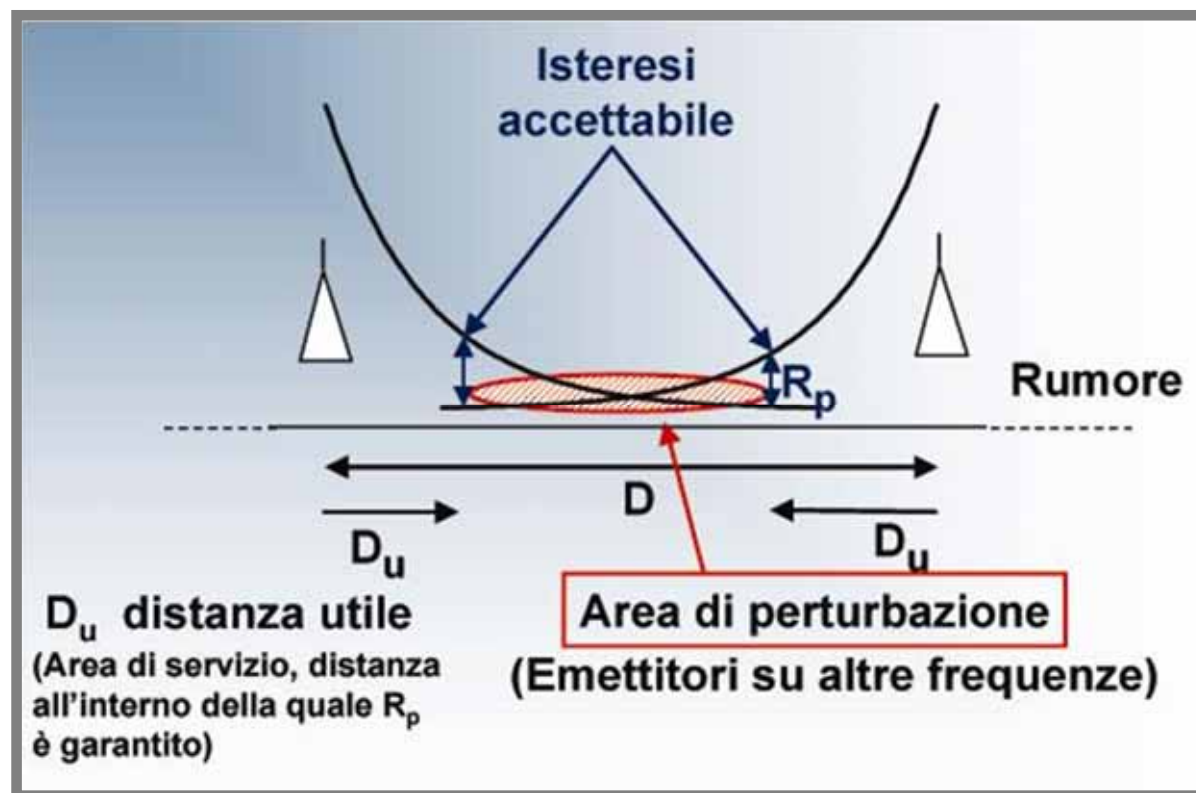
---

## Radio sistemi d'area

- Possono essere **monodirezionali** (o *diffusivi*) o **bidirezionali** (*simmetrici* o *asimmetrici*)
- **Sistemi Radiomobili**: *mobilità di accesso e comunicazione*
- Esiste un'**attenuazione** in funzione della **distanza** che è *sempre presente*: il **territorio** deve dunque essere **diviso** in tante **porzioni** per ciascuna delle quali si deve prevedere una **stazione dedicata** che funge da tramite per la distribuzione del segnale in quella porzione del territorio
- Due **stazioni** che servono porzioni di territorio **contigue** non possono utilizzare la stessa **banda** di frequenza
- Un **ricevitore** che si trovi in una posizione dove è prevalente il segnale di una data stazione **percepisce** quello delle stazioni più vicine operanti sulla stessa frequenza come **interferenza**

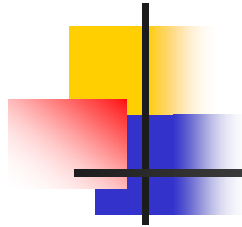
# Sistemi Radiomobili

## Valutazione della distanza tra stazioni radiobase



➡ Regime di limitazione da interferenza

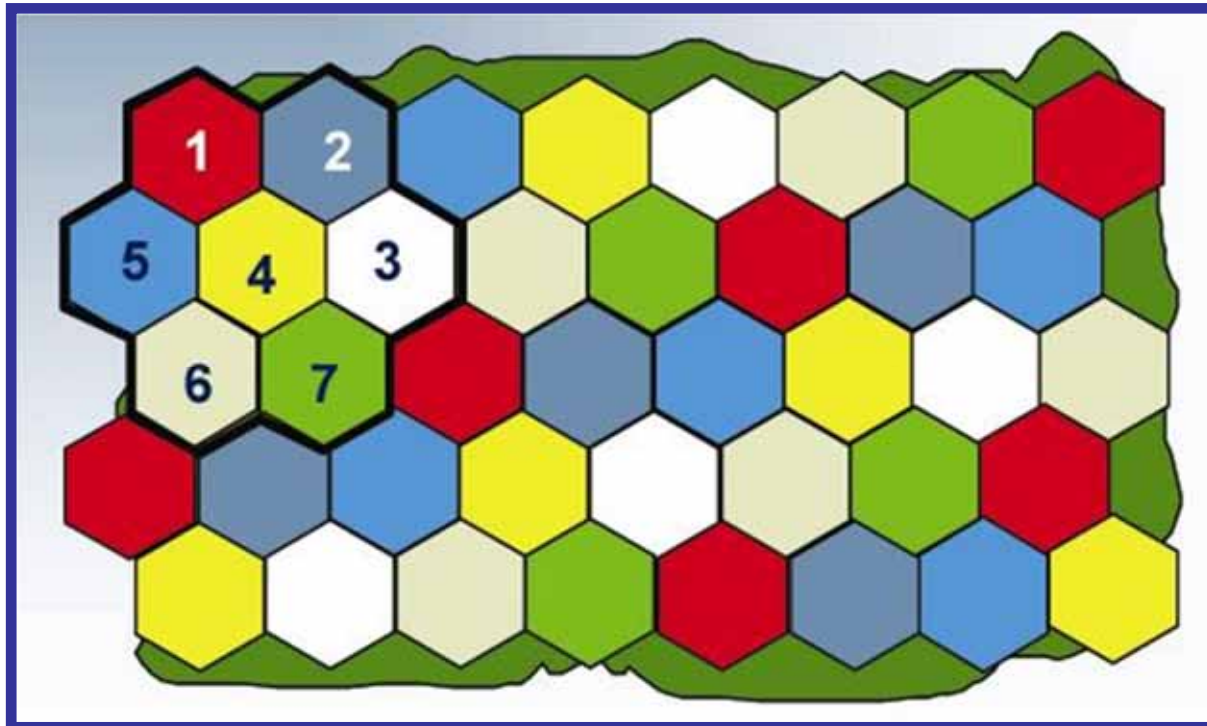




# Sistemi Radiomobili

**Suddivisione cellulare del territorio:  
schema ad interferenza controllata**

**Cluster con sette frequenze:  $f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6, f_7$ .**





# Sistemi Radiomobili

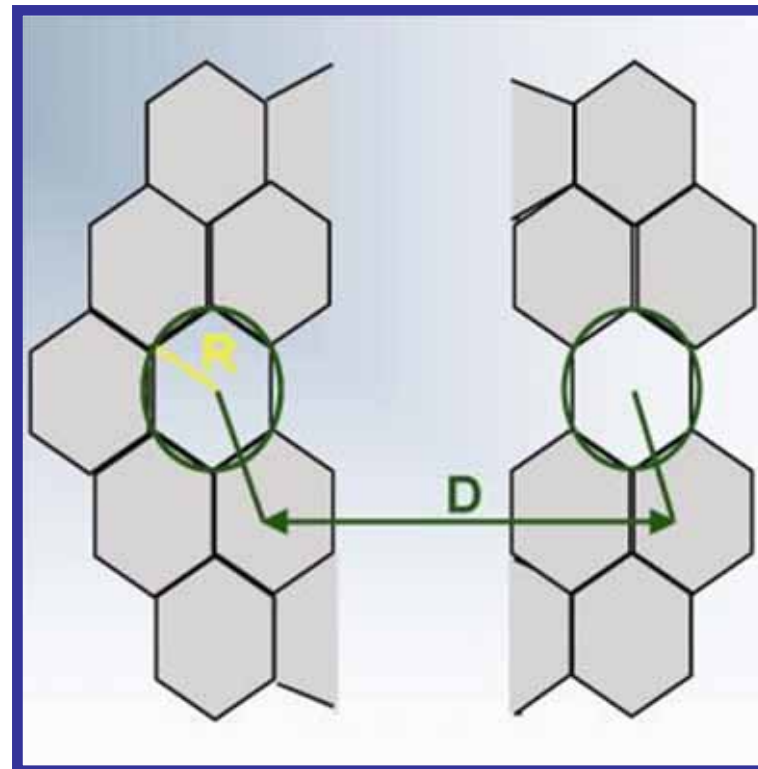
## Suddivisione cellulare del territorio

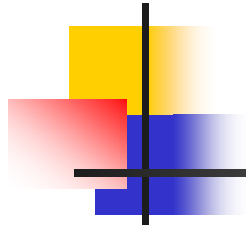
**Cluster:** gruppo di celle utilizzando canali diversi

$$m = \frac{D^2}{3R^2}$$

**m:** Numero di Celle che compongono il cluster.

### Celle esagonali

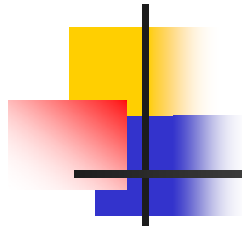




# Sistemi Radiomobili

## Propagazione del segnale in ambiente radiomobile

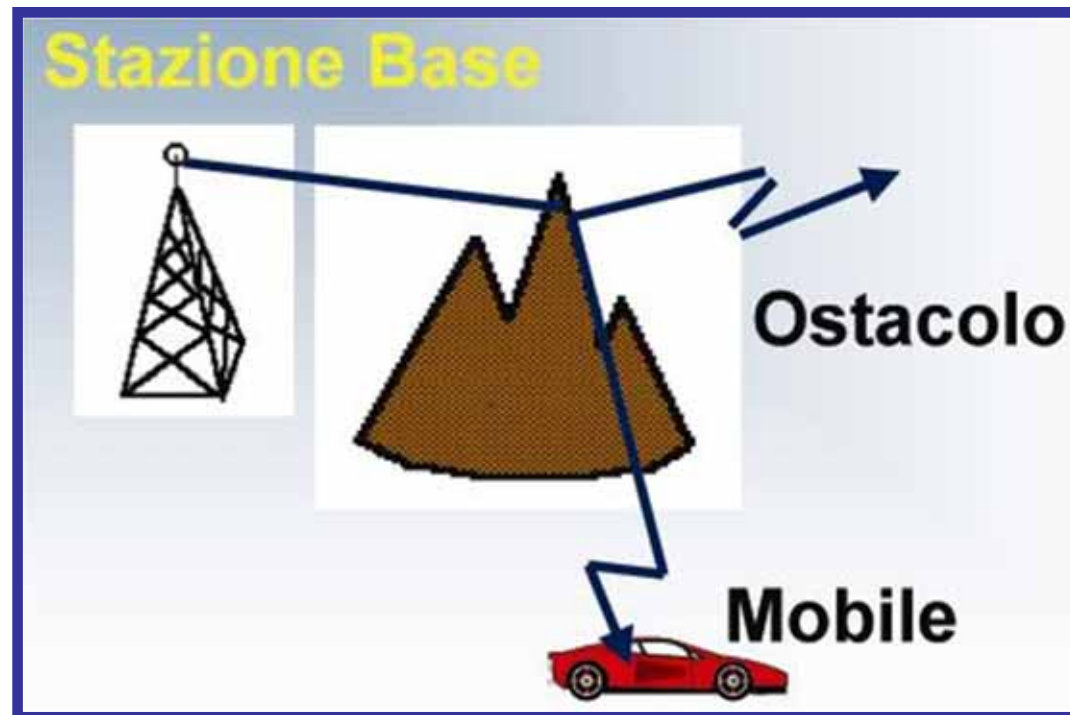
- 1) Le **condizioni di propagazione medie** dell'area considerata **differiscono** da quelle di **spazio libero**
- 2) Sono presenti **ostruzioni** forti **variabili** da posizione a posizione
- 3) Il **segnale risultante** è **somma** di segnali che hanno percorso **vie diverse** (*multipath*)



# Sistemi Radiomobili

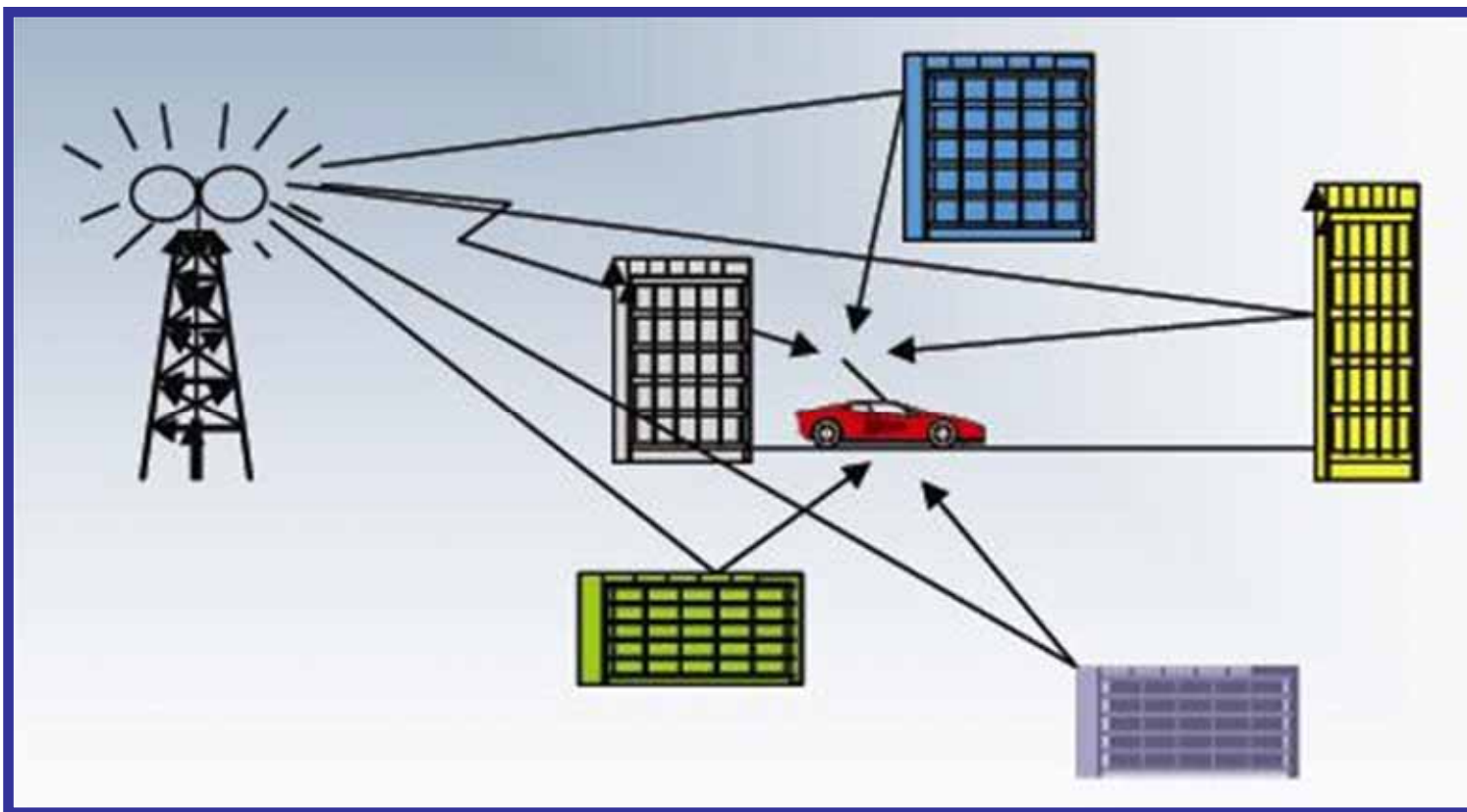
## Problematiche delle reti radiomobili

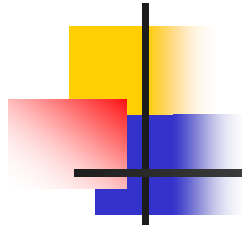
Perdite per diffrazione dovute ad ostacoli presenti nel cammino di propagazione



# Sistemi Radiomobili

## Fenomeno dei cammini multipli





# Sistemi Radiomobili

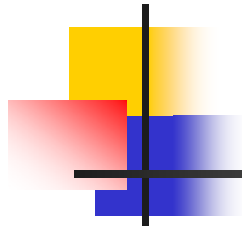
## Area di copertura

- L'**area di copertura** associata ad una *Stazione RadioBase* è la zona geografica all'interno della quale è possibile stabilire una comunicazione bidirezionale con le specifiche di qualità desiderate
- Condizione necessaria è che l'**attenuazione** tra la *Stazione RadioBase* ed il punto considerato,  $A_{tot}$  in dB, sia tale che valgano **contemporaneamente** le due relazioni

$$\begin{cases} P_{BS} - A_{tot} + G_{MS} \geq S_{MS} \\ P_{MS} - A_{tot} + G_{BS} \geq S_{BS} \end{cases}$$

dove:  $P_{BS}$  potenza Stazione RadioBase,  $P_{MS}$  potenza Stazione Mobile,  $S_{BS}$  sensibilità SRB,  $S_{MS}$  sensibilità SM,  $G_{BS}$  guadagno (di antenna e di diversità) SRB,  $G_{MS}$  guadagno SM

- L'**area di copertura** di un sistema radiomobile è data dall'**unione** in senso insiemistico di **tutte** le aree di copertura delle **SRB installate** sul territorio



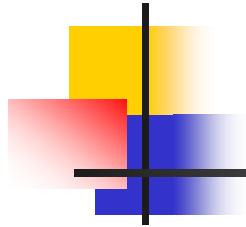
# Sistemi Radiomobili

## Esempio di calcolo del link-budget

<u>Ricezione BTS</u>		<u>TOT.</u>
<b>Ric. Sens.</b>	<i>-104 dBm</i>	<i>-104</i>
<b>Perdite cavo</b>	<i>4 dB</i>	<i>-100</i>
<b>Guadagno A/Rx</b>	<i>12 dB</i>	<i>-112</i>
<b>Margine Int.</b>	<i>3 dB</i>	<i>-109</i>
<b>Margine Log.</b>	<i>5 dB</i>	<i><b>-104</b></i>

<u>Trasmissione MS</u>		<u>TOT.</u>
<b>Potenza Picco</b>	<i>39 dBm</i>	<i>39</i>
<b>Isolatore/Comb</b>	<i>0 dB</i>	<i>39</i>
<b>Guadagno A/Tx</b>	<i>2 dB</i>	<i>41</i>
<b>Perdite Cavo</b>	<i>2 dB</i>	<i><b>39</b></i>

Massima Attenuazione Consentita : **143** = **39** + **104**



# Modelli di previsione

---

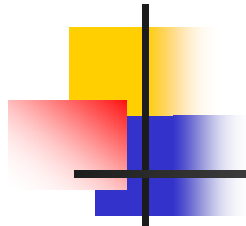
I moderni sistemi di telecomunicazione richiedono:

- *Aree di copertura ridotte*
- *Elevata Qualità di Servizio*
- *Elevata Bit Rate*
- *Elevata Efficienza Spettrale*

La disponibilità di modelli di previsione consente di evitare lunghe e costose campagne di misura.

Un modello di previsione efficiente rappresenta un valido strumento per ottenere:

- *Stime di attenuazione*
- *Statistiche di fading*
- *Risposta impulsiva del canale*
- *Valutazioni di interferenza*



# Modelli di previsione

I modelli di previsione possono essere utilizzati in fase di

- *Pianificazione di un sistema radio*
- *Verifica degli obiettivi di copertura e di qualità*

Un modello di previsione è articolato in più parti distinte:



**Descrizione dell'ambiente di propagazione:**

*Lo scenario di propagazione deve essere opportunamente modellato e le sue caratteristiche possono essere eventualmente riassunte da parametri specifici*



**Descrizione dei meccanismi di propagazione:**

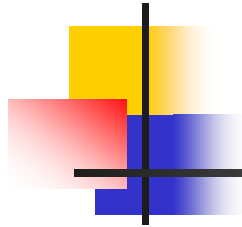
*I meccanismi di propagazione principali per l'ambiente considerato devono essere individuati e adeguatamente modellati*



**Definizione dei parametri del collegamento:**

*Devono essere definite le caratteristiche delle antenne tra cui è instaurato il collegamento che si vuole studiare (es. posizione, potenza emessa, diagramma di radiazione)*



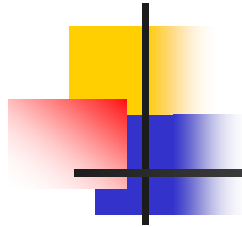


# Modelli di previsione

---

I modelli di previsione possono essere distinti in

- **Modelli empirici**  
(ad es. Modello di Okumura-Hata, Modello di Epstein-Peterson)
- **Modelli statistici**  
(ad es. Modello di Hashemi, Modello di Walfish-Ikegami,  
Modello COST 259, Ray Tracing statistico)
- **Modelli semideterministici**  
(ad es. Modello di Berg, Modello di Saunders-Bonar)
- **Modelli deterministici**  
(ad es. Ray Tracing Image Method, Ray Launching)



# Modelli di previsione

---

## Modelli empirici



Utilizzano pochi parametri derivati da estese campagne di misura



Sono semplici e veloci da utilizzare



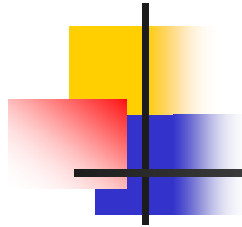
Forniscono tipicamente solo stime di attenuazione



L'estensione dei parametri statistici nel passare da uno scenario all'altro influisce pesantemente sulla qualità delle previsioni e può essere necessario calibrarli. Richiedono quindi calibrazione (tramite misure ) in funzione dello scenario propagativo che si sta considerando



Le previsioni possono non essere sufficientemente accurate



# Modelli di previsione

## Modelli Empirici: Il modello di Okumura-Hata

- Fornisce stime di attenuazione
- È stato sviluppato a partire da misure realizzate da Okumura a Tokio nel 1968. La formula è stata poi fornita da Hata nel 1980.

$$L = 69.55 + 26.16 * \log(f) - 13.82 * \log(h_{BS}) - a(h_{MS}) + [44.9 - 6.55 * \log(h_{BS})] * \log(R^n)$$

$f$ : frequenza, in MHz

$h_{BS}$ : altezza equivalente della BS in m (si tiene conto della irregolarità del terreno)

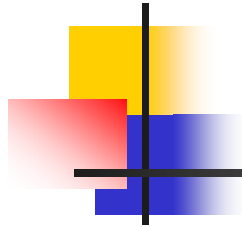
$a(h_{MS})$ : parametro legato all'altezza sul terreno del MS (di solito trascurabile)

$R$ : distanza fra i terminali, in km

$$n = \begin{cases} 1 & \text{per } R \leq 20 \text{ Km} \\ 1 + (0.14 + 1.87 * 10^{-4} * f + 1.07 * 10^{-3} * h_{BS}) * [\log(R / 20)]^{0.8} & \text{altrimenti} \end{cases}$$

- I limiti di applicabilità del modello sono:

$$\begin{aligned} R &\geq 1 \text{ km} \\ h_{BS} &\geq 30 \text{ m} \end{aligned}$$



# Modelli di previsione

## Modelli statistici



Possono fornire previsioni a banda larga e a banda stretta



Utilizzano pochi parametri derivati da insiemi di dati misurati e richiedono semplici elaborazioni dei dati in input



Possono richiedere una fase preliminare di elaborazione dati



Le previsioni possono non essere sufficientemente accurate a causa della mancanza di informazioni relative ai comportamenti propagativi in scenari diversi

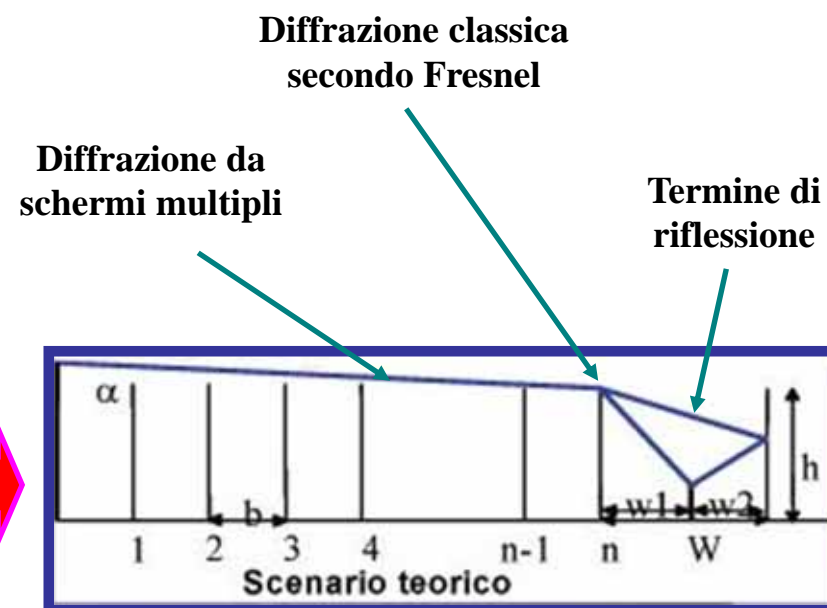
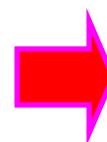
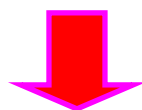


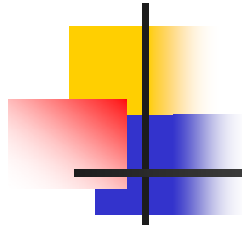
L'estensione dei parametri statistici nel passare da uno scenario all'altro influisce pesantemente sulla qualità delle previsioni e può essere necessario calibrarli

# Modelli di previsione

## Modelli Statistici: Il modello di Walfish-Ikegami

È un modello per il piano verticale che considera la **diffrazione** da schermi multipli (*Walfish-Bertoni*) e il contributo **roof-to-street** (*Ikegami*)





# Modelli di previsione

## Modelli Statistici: Il modello COST 259 - DCM

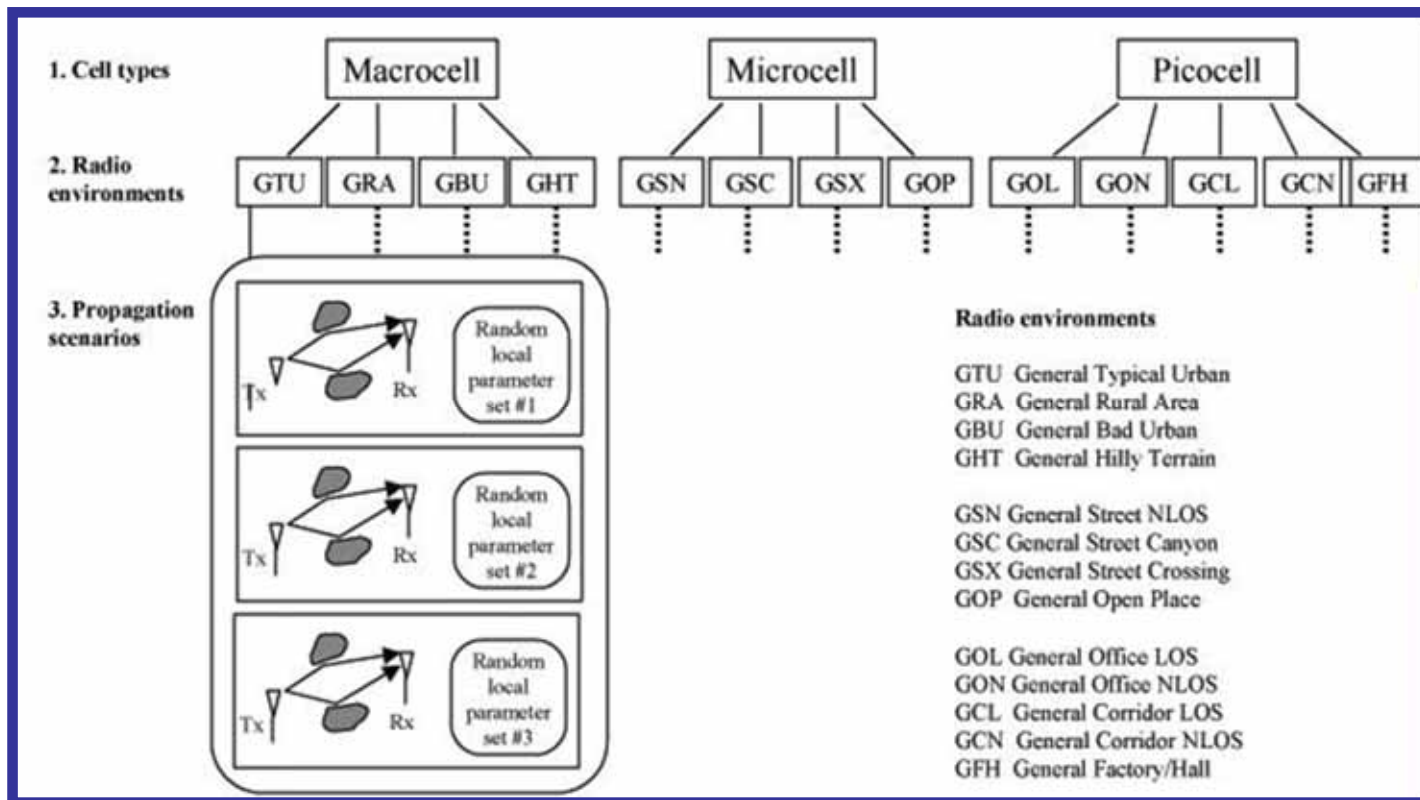
Le principali caratteristiche del *Directional Channel Model* proposto in ambito **COST 259** (***COST 259 -DCM***) sono:

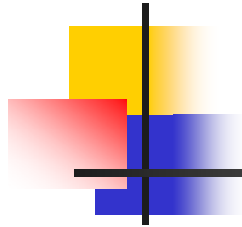
- **Accuratezza:** la statistica del Multipath è riprodotta correttamente
- **Semplicità:** semplice da utilizzare e a contenuto costo computazionale
- **Consistenza:** per previsioni a banda stretta è affidabile almeno quanto gli altri modelli presenti in letteratura
- **Completezza:** le proprietà direzionali del canale sono riprodotte sia alla BS che alla MS; riproduce sia il fading lento che il fading rapido; è applicabile a scenari macro-, micro-e pico-cellulari; le frequenze principali di applicazione sono a 1, 2, e 5 GHz

# Modelli di previsione

## Modelli Statistici: Il modello COST 259 - DCM

È proposta una *struttura a tre livelli* per tener conto dell'esistenza di scenari propagativi molto diversi tra loro



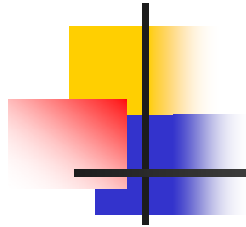


# Modelli di previsione

## Modelli Statistici: Il modello COST 259 - DCM

- La prima distinzione si fa in base al tipo di cella (**livello 1**)
- Per ciascun tipo di cella si individua un certo numero di *Radio Environments (RE)* (**livello 2**)
  - Le caratteristiche topografiche di un RE sono fornite da *parametri esterni* (es. frequenza, altezza media BS e MS, altezza media palazzi)
  - Le condizioni di propagazione in un RE sono caratterizzate statisticamente mediante *parametri globali* estratti da estese campagne di misura
- Il **livello 3** è costituito dagli *scenari di propagazione* definiti come realizzazioni di processi stocastici
  - Le singole realizzazioni sono specificate da *parametri locali* (es. posizione BS e MS, distribuzione degli scatterers)
  - Le proprietà statistiche dei parametri locali vengono derivate da un insieme di parametri globali
  - I medesimi valori di parametri locali valgono su aree pari ad alcune decine di lunghezze d'onda



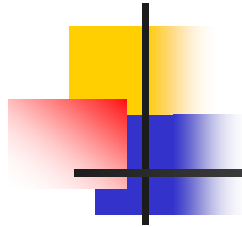


# Modelli di previsione

---

## Modelli Statistici: Il modello COST 259 - DCM

- Il modello fornisce le statistiche necessarie a riprodurre adeguatamente le caratteristiche dello scenario di interesse e la relativa formulazione  
  
(es. generazione dei cluster, riproduzione del large-scale e small-scale fading, modello di dispersione in tempo/azimut/elevazione)
- Si può quindi caratterizzare completamente un RE mediante i parametri globali ai quali vanno affiancati alcuni parametri esterni



# Modelli di previsione

---

## Modelli semi-deterministici



Utilizzano pochi parametri topologici e di collegamento



Sono semplici e veloci da utilizzare



Richiedono un limitato impiego di risorse sia in termini di tempo di calcolo che di memoria occupata



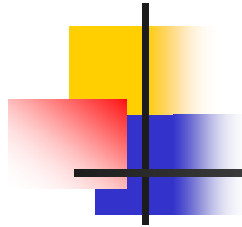
Richiedono calibrazione



Limitata accuratezza delle previsioni



Non forniscono generalmente previsioni a banda larga



# Modelli di previsione

---

## Modelli Semi-deterministici: Il modello di Berg

- È un modello per ottenere stime di attenuazione sul piano orizzontale
- Prende le mosse dall'osservazione che in area urbana la propagazione avviene lungo direzioni privilegiate che coincidono con l'orientazione delle strade (*effetto canyon*)

### INPUT:

*Parametri topologici e di collegamento  
(es. orientazione delle strade, posizione delle antenne)*

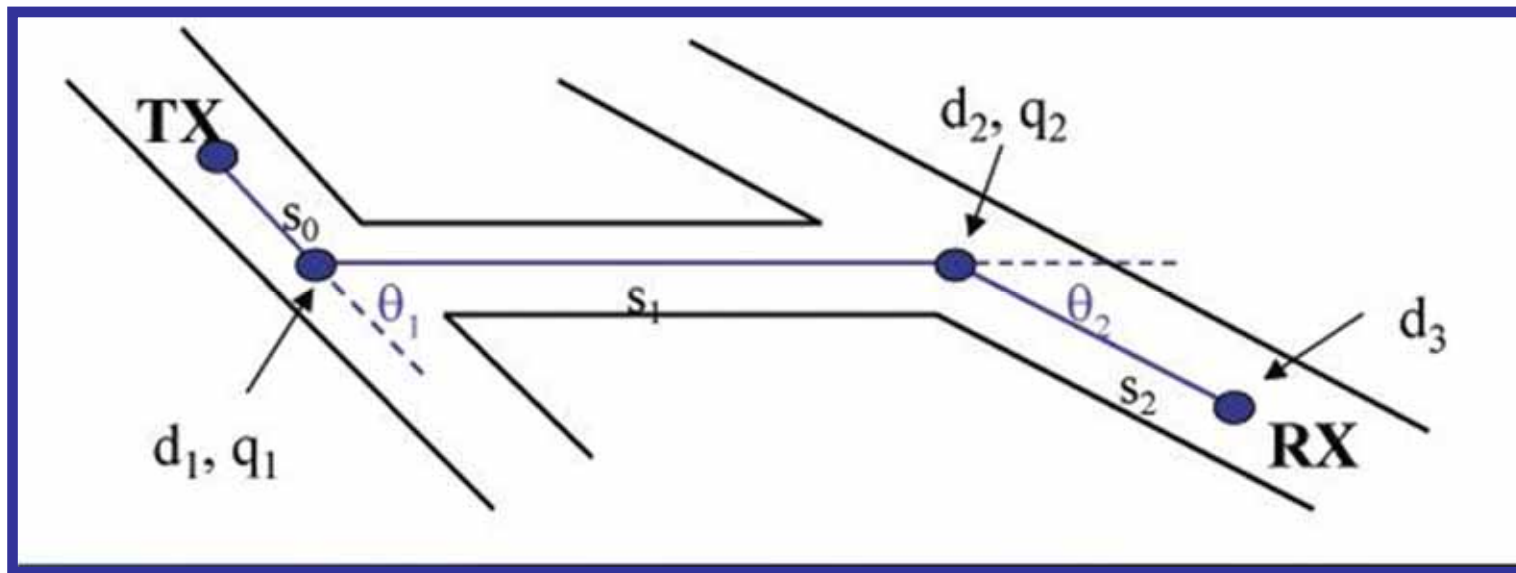
### OUTPUT:

*Valori di attenuazione in funzione della orientazione delle strade*

# Modelli di previsione

## Modelli Semi-deterministici: Il modello di Berg

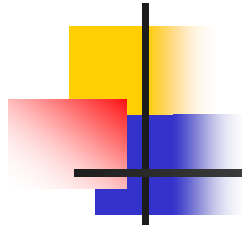
La direzione di propagazione cambia in corrispondenza dei punti nodali



$s_j$ : distanza tra due punti nodali

$d_j$ : distanza fittizia utilizzata nel calcolo dell'attenuazione

$q_j$ : parametro che determina la dipendenza dell'attenuazione da  $\theta_j$



# Modelli di previsione

---

## Modelli deterministici



Forniscono previsioni accurate sia a banda stretta che a banda larga



Permettono di tener conto di informazioni aggiuntive che influenzano la propagazione  
(es. diagrammi di radiazione delle antenne)



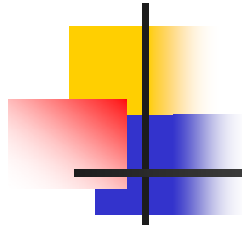
Non richiedono calibrazione



Comportano un oneroso impiego di risorse sia in termini di tempi di calcolo che di memoria occupata



Richiedono spesso una fase di pre-processing per la descrizione dell'ambiente urbano di interesse

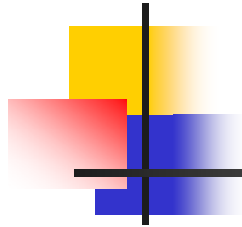


# Modelli di previsione

---

## Modelli deterministici: Generalità sul Ray Tracing

- I modelli di previsione più sofisticati fra quelli attualmente disponibili sono quelli basati su algoritmi di *Ray Tracing*
- Consentono di ottenere previsioni accurate sia a banda stretta che a banda larga
- Permettono di tenere conto in modo semplice di informazioni aggiuntive che influenzano la propagazione (es. diagrammi di irradiazione, polarizzazione)
- La teoria alla base degli algoritmi di Ray Tracing è l'*Ottica Geometrica (GO)*
- La propagazione è descritta mediante *raggi* che subiscono diverse interazioni con gli oggetti dello scenario (es. edifici)



# Modelli di previsione

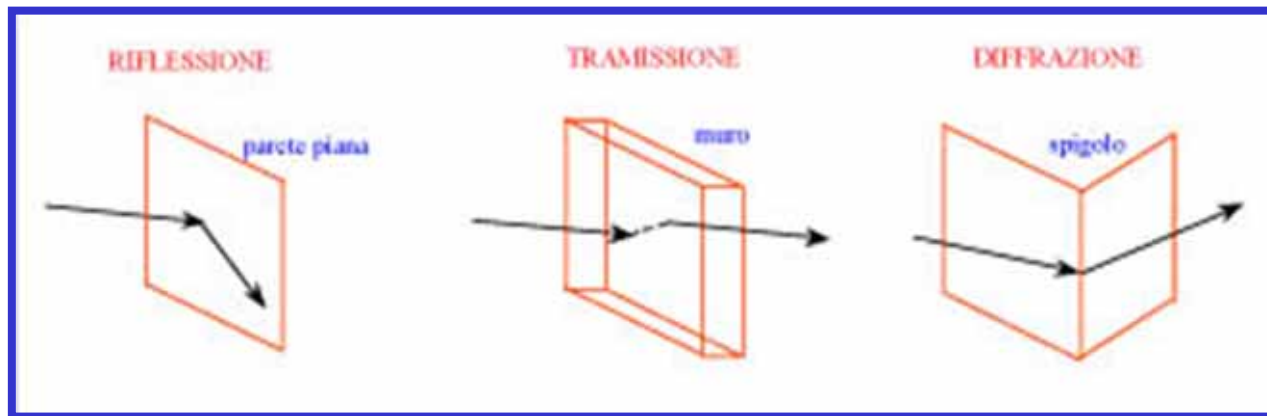
## Generalità sull'Ottica Geometrica

- Vale nell'ipotesi  $\lambda \rightarrow 0$
- Consente di individuare dei cammini per descrivere la propagazione dell'energia detti raggi
  - *Le traiettorie dei raggi soddisfano il principio di Fermat secondo il quale il raggio e.m. che unisce due punti è caratterizzato dal fatto di rendere minimo il cammino ottico tra i punti stessi. Tale principio vale anche in presenza di discontinuità del mezzo che determinano le riflessioni.*
- È una teoria scalare
  - *Una volta individuate le traiettorie dei raggi la propagazione è pienamente descritta da una funzione intensità che coincide con il modulo del vettore di Poynting*

# Modelli di previsione

## Propagazione microcellulare e Ottica Geometrica

Nel propagarsi, i raggi subiscono diverse interazioni con l'ambiente di propagazione



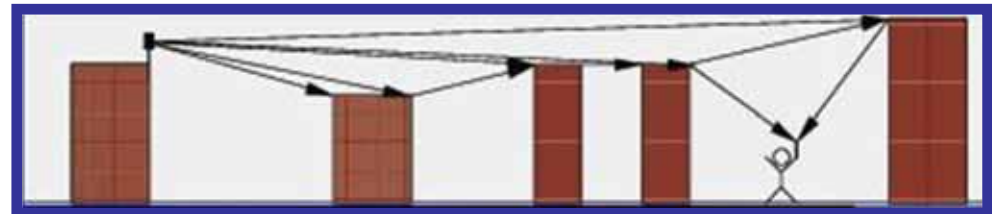
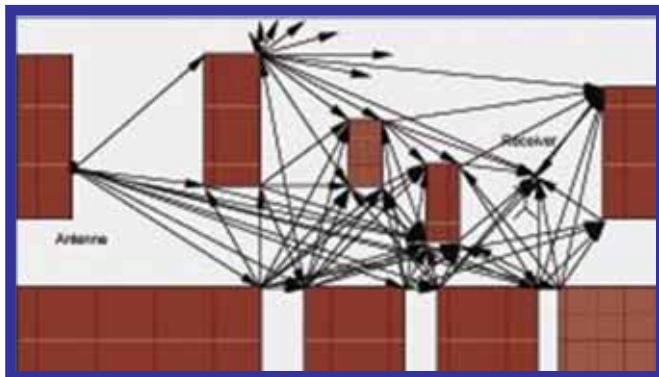
**Principio del campo locale:** Il campo associato al raggio riflesso o diffratto dipende solo dalle proprietà elettromagnetiche e geometriche dell'oggetto nelle immediate vicinanze del punto di riflessione o diffrazione



# Modelli di previsione

## Modelli deterministici: Il Ray Tracing

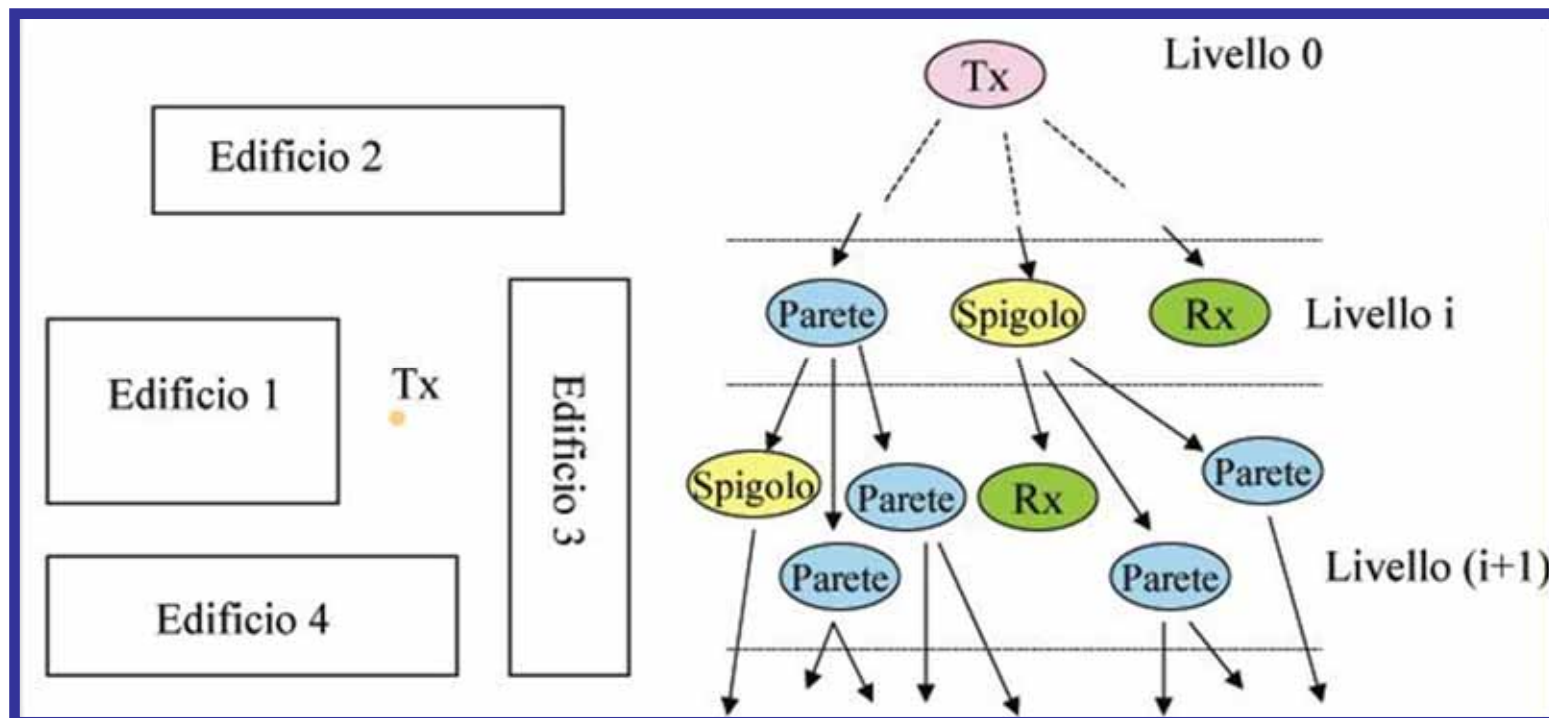
- La propagazione è studiata mediante raggi che interagendo con l'ambiente garantiscono il collegamento radio tra la stazione base e il terminale mobile. Ogni interazione è classificata come *evento* subito dal raggio
- I meccanismi di propagazione tipicamente considerati sono la *riflessione*, la *diffrazione* e la *trasmissione*.
- Gli algoritmi implementati possono prevedere lo studio della propagazione in **2D** o in **3D**, con la variante **2D++** in cui la propagazione sui piani laterale e verticale è studiata separatamente

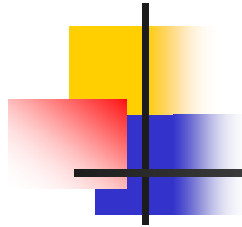


# Modelli di previsione

## Modelli deterministici: Il Ray Tracing

- A partire dalla topologia dell'ambiente di propagazione si individuano le relazioni di visibilità tra gli oggetti dello scenario e si costruisce l'albero di visibilità la cui profondità dipende dal massimo numero di eventi che si intende considerare





# Modelli di previsione

## Modelli deterministici: Il Ray Tracing

- A partire dall'albero di visibilità si possono tracciare i raggi. Il campo elettrico ricevuto in un punto di stima è ottenuto dalla somma dei contributi trasportati da tutti i raggi che giungono in quel punto:

$$E = \sum_i E_i = \sum_i a_i \exp\left(-j \frac{2\pi}{\lambda} r_i\right)$$

$r_i$ : è la lunghezza del cammino percorso dall'**i-esimo** raggio

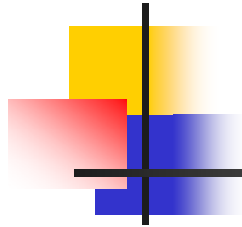
$a_i$ : è l'ampiezza associata all'**i-esimo** raggio

- L'ampiezza associata ad un cammino dipende dagli eventi subiti dal raggio ad esso associato

$$a_i = \frac{E_0 f_{ti} f_{ri}}{r_i} \left\{ \prod_j R_j \prod_k T_k \prod_n D_n A_n(s, s_i) \right\}$$

$E_0$ : costante dipendente dal campo in trasmissione

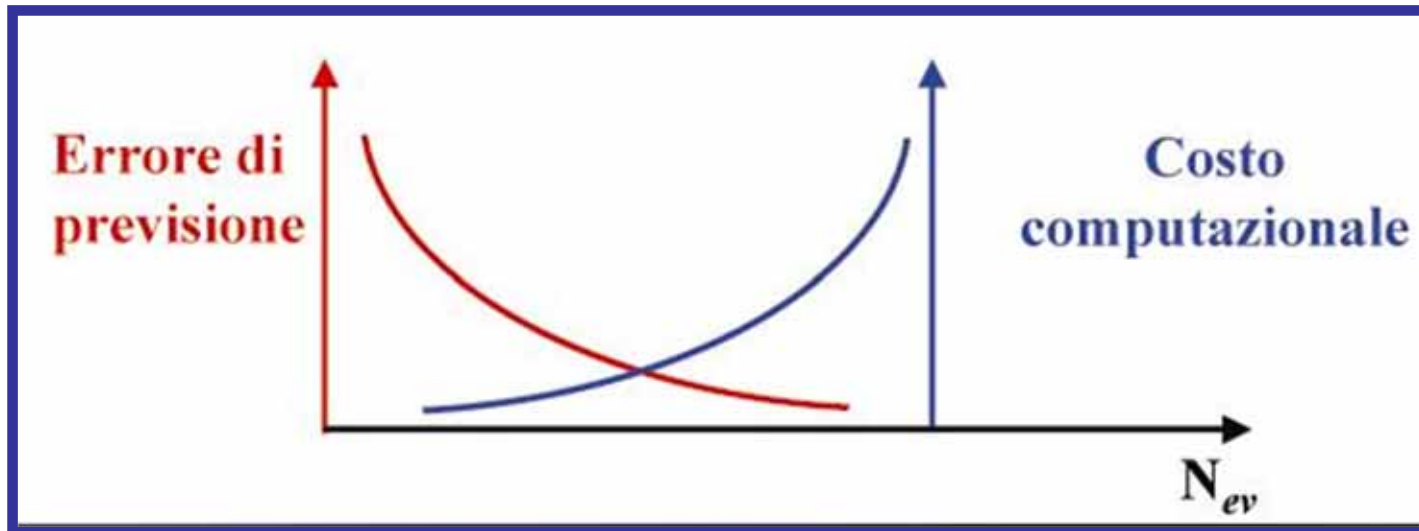
$f_{ti} f_{ri}$ : informazioni sui diagrammi di irradiazione delle antenne



# Modelli di previsione

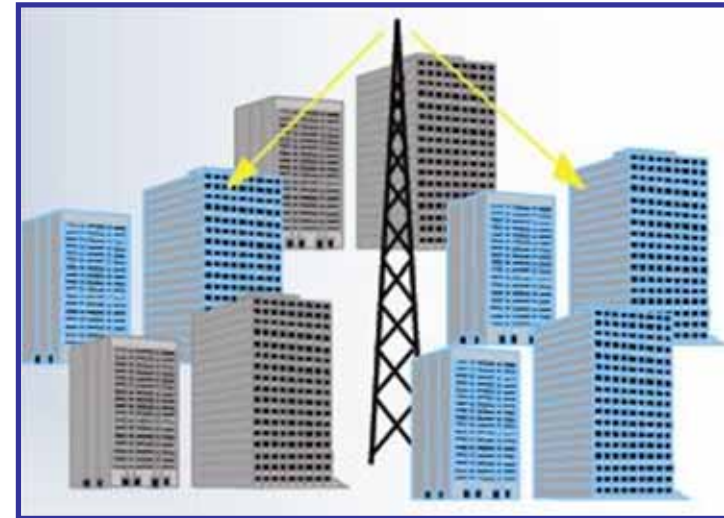
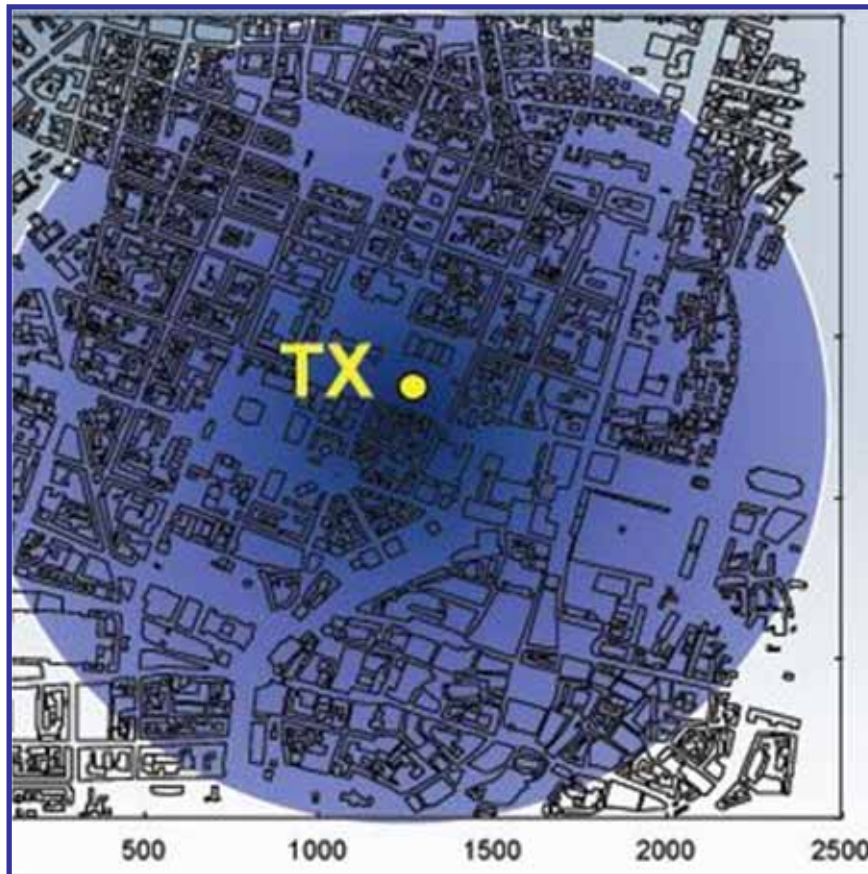
## Modelli deterministici: Il Ray Tracing

- Richiedono una descrizione accurata dell'ambiente e quindi la disponibilità di database spesso costosi e difficilmente reperibili
- Gli algoritmi di Ray Tracing sono molto onerosi in termini di tempo di calcolo poichè la qualità delle previsioni dipende fortemente dal numero di eventi che si considerano nelle simulazioni



# Copertura del Territorio

## Copertura macrocellulare



L'antenna è installata al di sopra della massima altezza degli edifici circostanti.

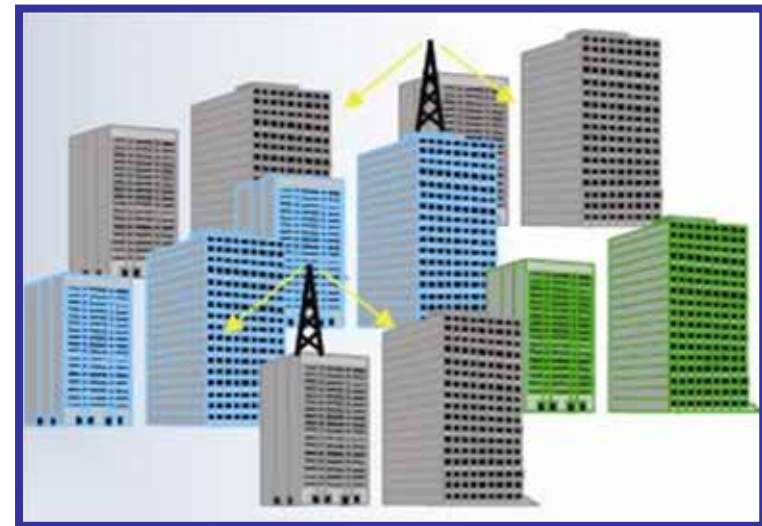
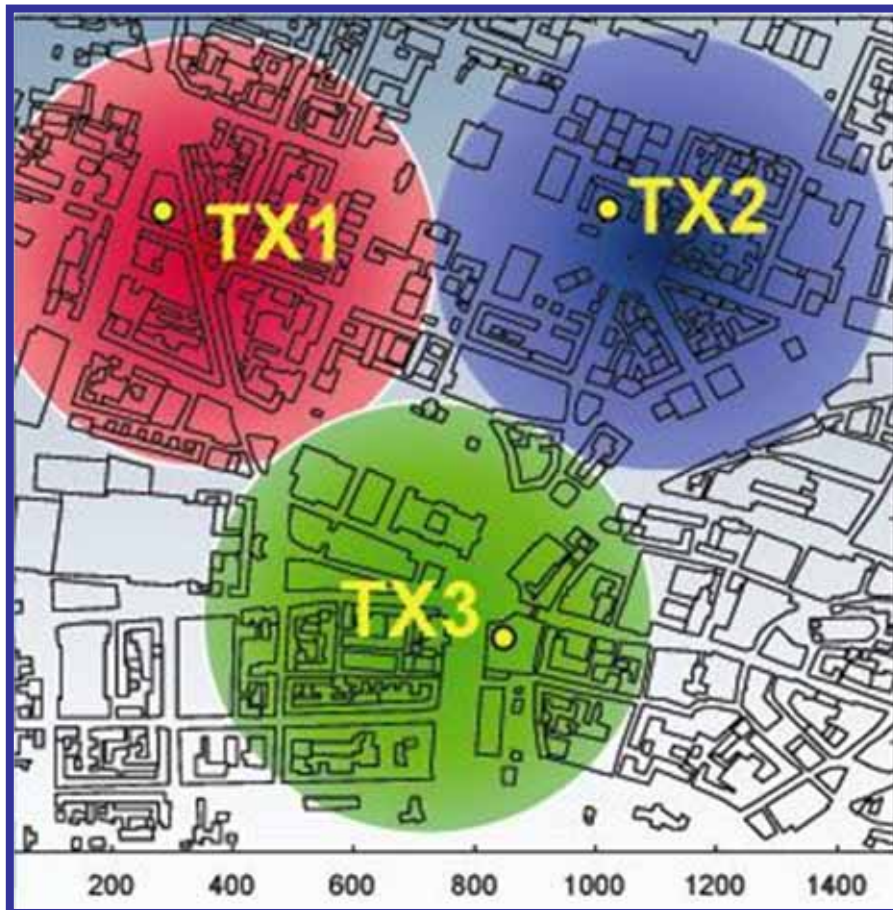
**Raggio della cella: 1    10 Km**

**Potenza trasmessa: 8    14 Watt**



# Copertura del Territorio

## Copertura small-cell



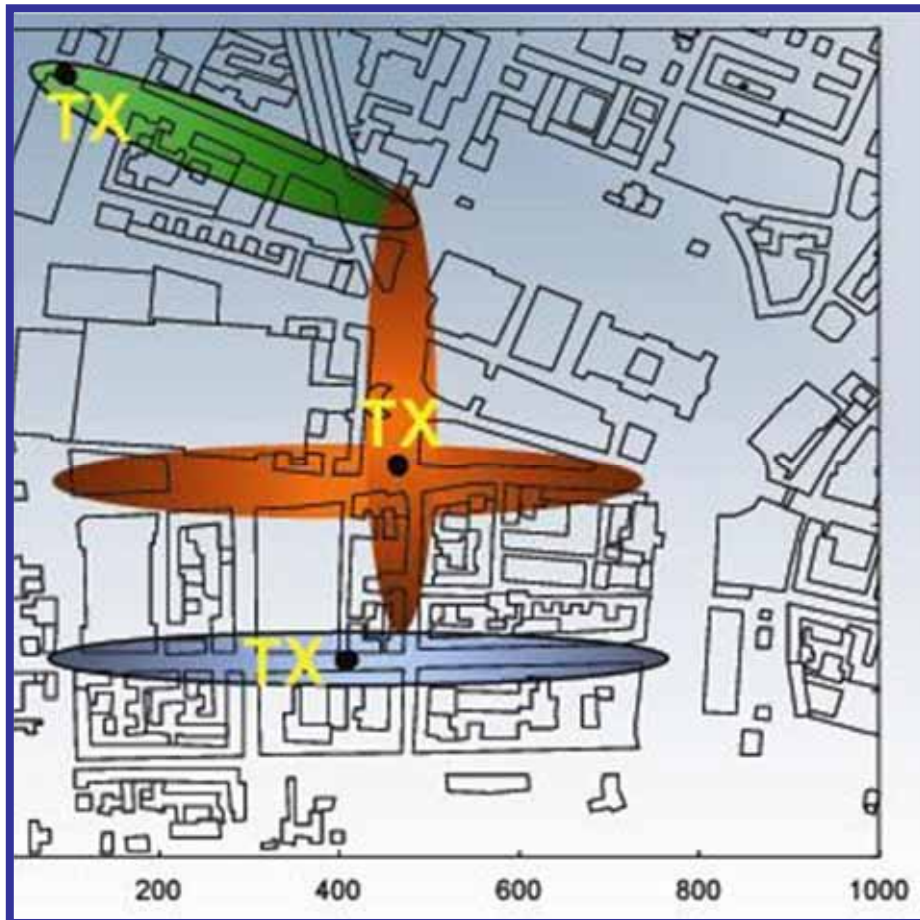
L'antenna è installata alla stessa altezza del tetto degli edifici circostanti.

**Raggio della cella: 300 m    3 Km**

**Potenza trasmessa: 8 Watt**

# Copertura del Territorio

## Copertura microcellulare



L'antenna è installata al di sotto del tetto degli edifici.

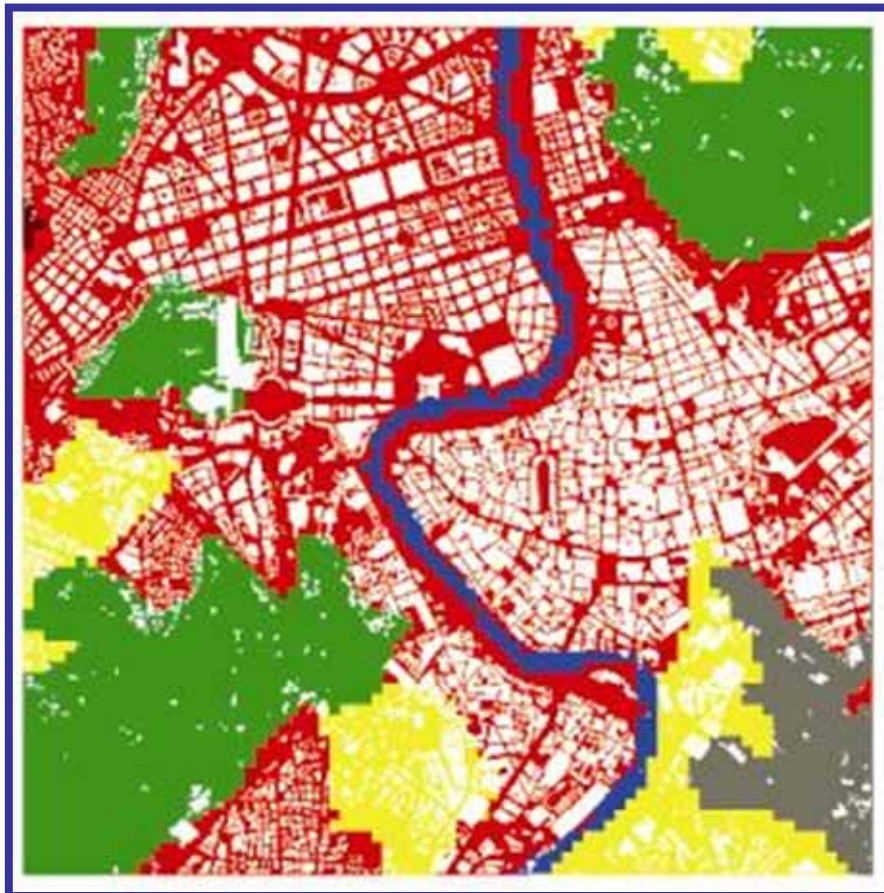
**Raggio della cella:** 100 500 m

**Potenza trasmessa:** 0.25 1 Watt



# Copertura del Territorio

## Cluster ambientale in area urbana



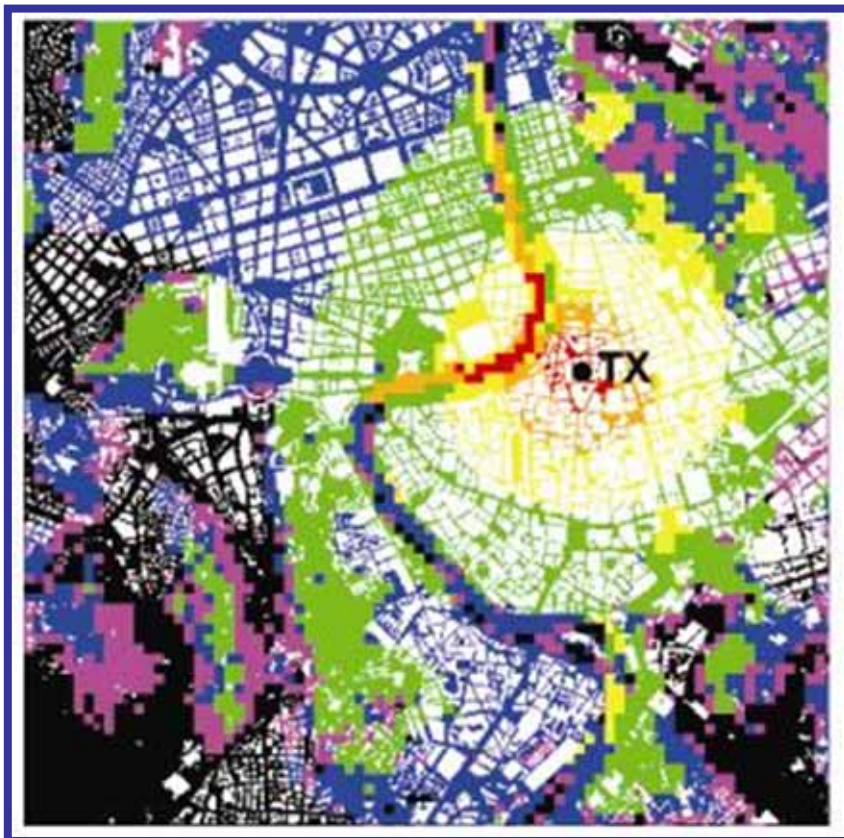
-  **Urban**
-  **Suburban**
-  **Park Land**
-  **Construction Sites**
-  **Sport Facilities**
-  **Water**



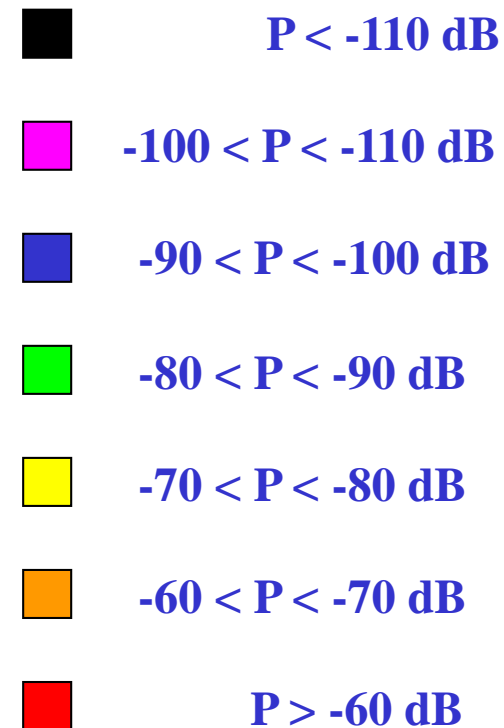
# Copertura del Territorio

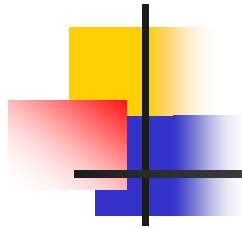
Calcolo della copertura in ambiente reale: modello statistico

Frequenza: 1800MHz     $h_{tx}$ : 31 m



Potenza ricevuta:

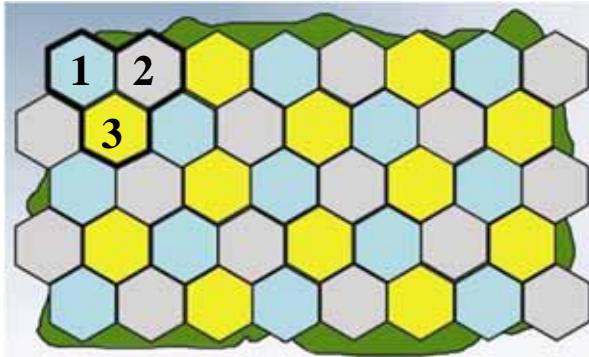




# Copertura del Territorio

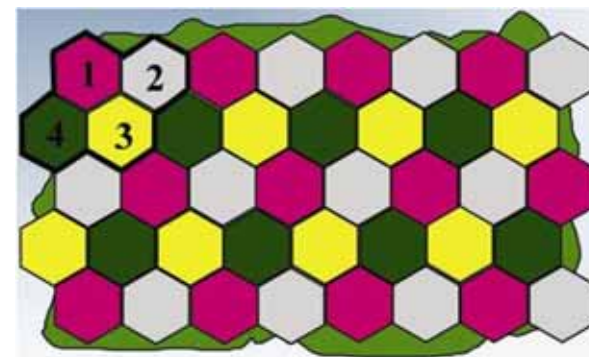
## Suddivisione cellulare del territorio

### CLUSTER 3



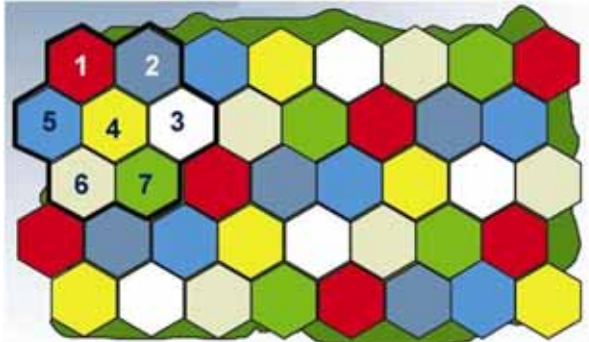
**Mappa territorio**

### CLUSTER 4



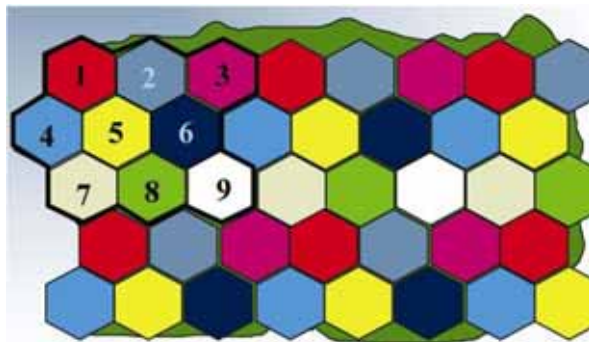
**Mappa territorio**

### CLUSTER 7



**Mappa territorio**

### CLUSTER 9



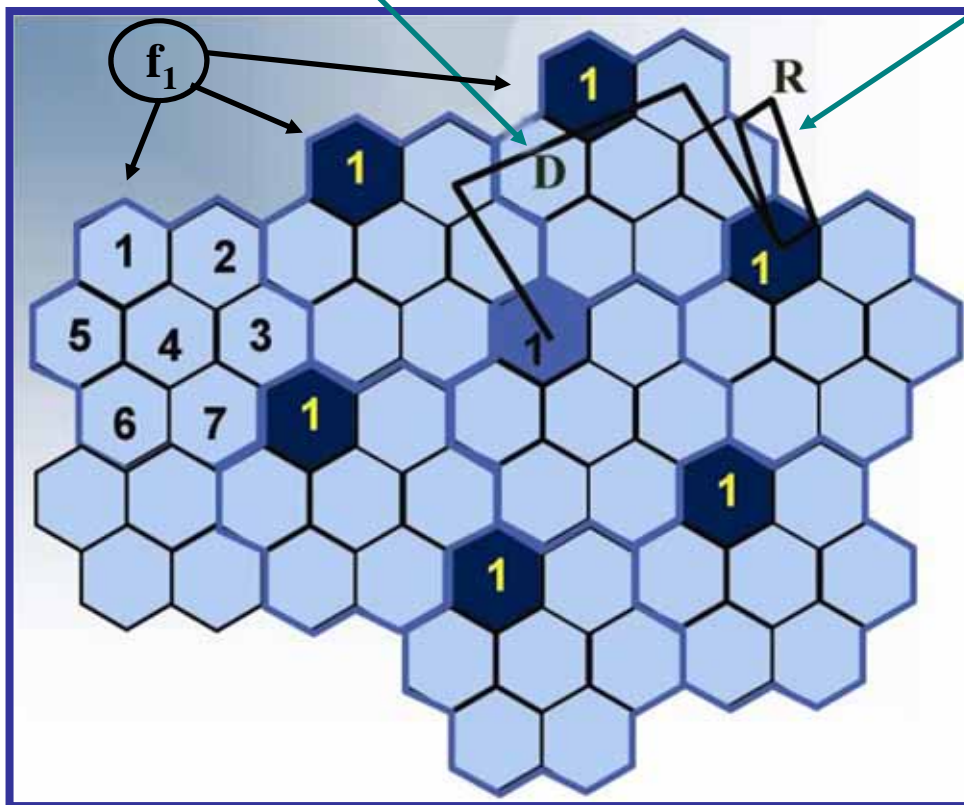
**Mappa territorio**

# Copertura del Territorio

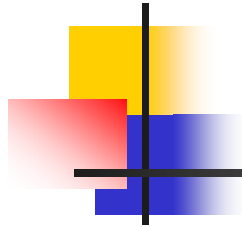
## Suddivisione cellulare del territorio: ri-assegnazione delle frequenze

D: Distanza di riuso delle frequenze

R: Raggio di ogni cella



La frequenza  $f_i$ , utilizzata nella cella  $i$ -esima di un certo **cluster**, può essere riutilizzata soltanto nella corrispondente cella  $i$ -esima dei **cluster** adiacenti, o comunque in celle di altri **cluster** poste ad una distanza **non inferiore** a  $D$  (vedi ad es. la frequenza  $f_1$  in figura)

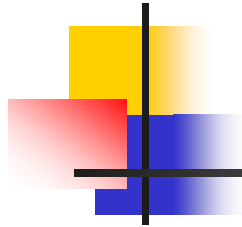


# Copertura del Territorio

## Calcolo del rapporto segnale utile -segnale interferente

- Caso di copertura del territorio con celle esagonali.
- C/I calcolato da terminali mobili a stazione radiobase.  
Ipotesi:
  - Mobili di eguale potenza (assenza di controllo)
  - Mobile utile  $d = R$  (bordo cella).
  - Mobili interferenti  $d=D$  (al centro della cella che utilizza la stessa frequenza).
  - Si considerano i 6 interferenti più vicini.
  - Antenne omnidirezionali a centro cella
  - Territorio ad attenuazione uniforme

$$L(d) = L(d_0) \left( \frac{d}{d_0} \right)^\alpha$$



# Copertura del Territorio

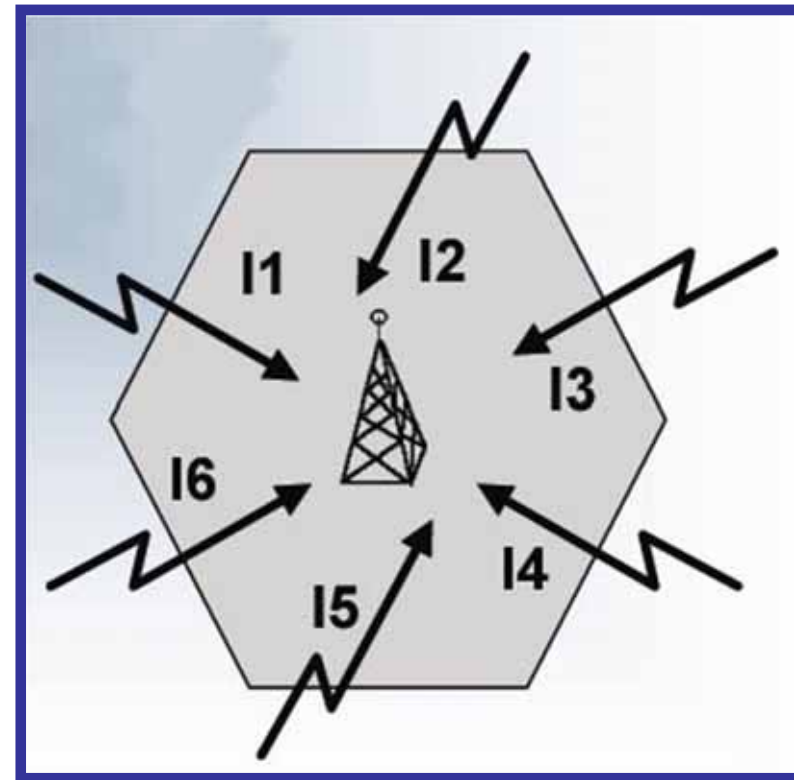
## Calcolo del rapporto segnale utile -segnale interferente: C/I

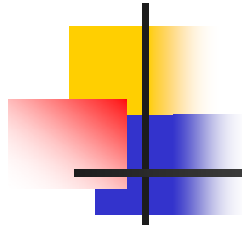
**C** = Potenza utile dell'antenna

**I** = Potenza interferenti  
Isfrequenziali

**M<sub>c</sub>** = dimensione del cluster

**$\alpha$**  = filtraggio spaziale





# Copertura del Territorio

## Calcolo del rapporto segnale utile -segnale interferente: C/I

- **Potenza segnale utile  $\rightarrow d=R$**

$$P_u = \frac{P}{L(d_0)} \left( \frac{d_0}{R} \right)^\alpha$$

- **6 Segnali interferenti  $\rightarrow d=D$**

$$P_I = 6 \frac{P}{L(d_0)} \left( \frac{d_0}{D} \right)^\alpha$$

- **Rapporto C/I:**

$$\frac{P_u}{P_I} = \frac{C}{I} = \frac{\frac{P}{L(d_0)} \left( \frac{d_0}{R} \right)^\alpha}{6 \frac{P}{L(d_0)} \left( \frac{d_0}{D} \right)^\alpha} = \frac{1}{6} \left( \frac{D}{R} \right)^\alpha$$

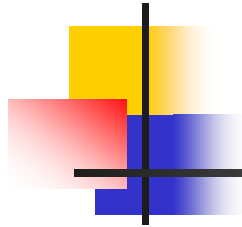
**Essendo:**

$$\frac{D}{R} = \sqrt{3M_c} \rightarrow \frac{C}{I} = \frac{(3M_c)^{\alpha/2}}{6}$$

$$M_c \left( \frac{C}{I}, \alpha \right)$$

La **dimensione ottimale** del cluster è funzione sia del **filtraggio spaziale** e sia del **rapporto C/I**





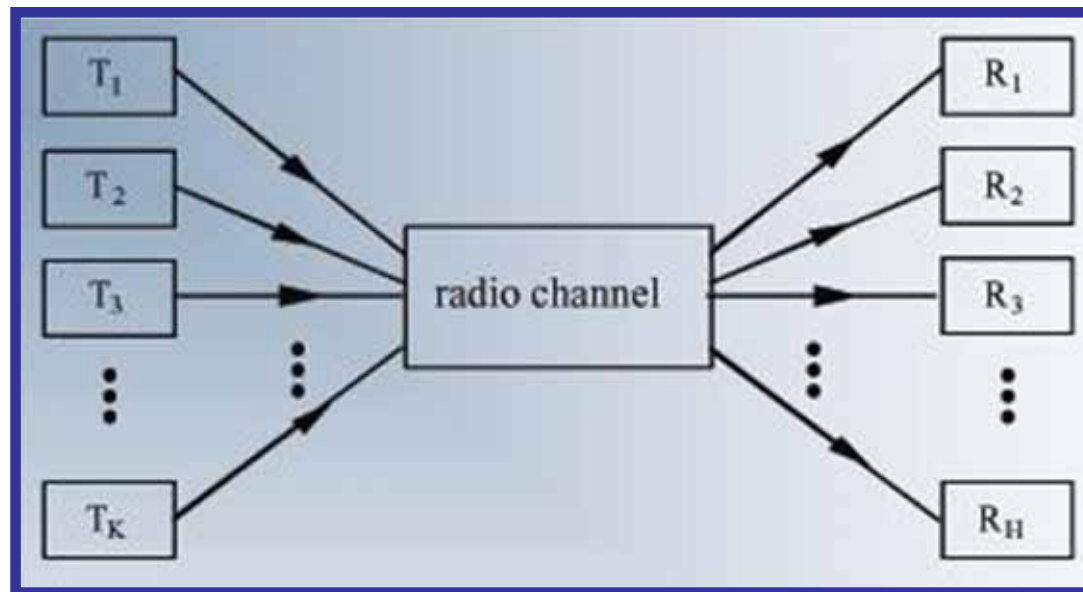
# Copertura del Territorio

## Calcolo del rapporto segnale utile -segnale interferente: C/I

- Il valore medio del C/I e la sua deviazione standard devono essere valutati dal progettista
- Tramite simulazioni devono essere considerati i seguenti parametri di sistema:
  - dimensione del cluster
  - coefficiente di propagazione  $\alpha$
  - deviazione standard  $s$  delle variabili Log-normali
  - correlazione esistente tra segnali utili e segnali interferenti
  - posizione del mobile utile all'interno della cella
  - numero di segnali interferenti considerati
  - controllo di potenza (se previsto dal sistema)
  - distribuzione del traffico offerto
  - caratteristiche di copertura delle celle (dimensione delle celle, caratteristiche radioelettriche delle antenne, puntamento e posizione dell'antenna, ecc)

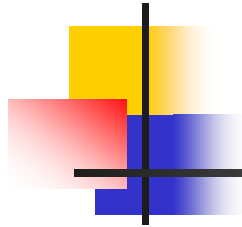
# Copertura del Territorio

## Accesso multiplo per sistemi radiomobili



La coesistenza sul canale di comunicazione del segnale desiderato con altri non di interesse impone la scelta di un criterio per distinguere i segnali (metodo di canalizzazione)





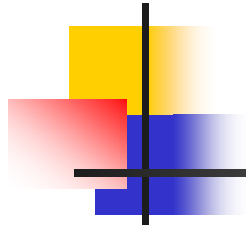
# Copertura del Territorio

## Chiave di canale

- Questa operazione consiste nello scegliere un sottoinsieme di possibili forme d'onda (**chiave di canale**) che viene assegnata al collegamento desiderato
- Il ricevitore esegue l'operazione complementare per distinguere la forma d'onda di interesse da quelle indesiderate.

## Modulazione e demodulazione

- E' necessario dare una forma fisica all'informazione da trasmettere per rendere possibile il transito sul canale radio e la ricostruzione al ricevitore
- Al trasmettitore, l'operazione che traspone il contenuto informativo in una delle possibili forme d'onda (**chiave di informazione**) viene definita modulazione (a cui corrisponde l'operazione complementare di demodulazione al ricevitore)



# Copertura del Territorio

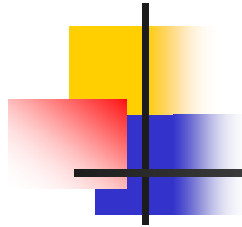
---

## Segnale, interferenti e disturbo

- All'i-esimo ricevitore situato nell'area di copertura del servizio il segnale ricevuto ha la forma:

$$s_i(t) = e_n(t) + S_m e_m(t) + d(t)$$

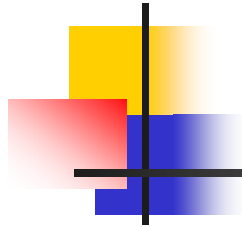
dove  $e_n$  identifica l'emissione che il ricevitore desidera selezionare tra quelle possibili indicate con  $e_m$  e  $d$  identifica il disturbo



# Copertura del Territorio

## Efficienza nell'uso dello spettro

- Una volta stabilite le caratteristiche del servizio da realizzare, il progettista ha generalmente a disposizione l'uso esclusivo di una porzione di banda di frequenze sull'area del servizio e deve soddisfare i requisiti di qualità del servizio.  
Lo scopo è di massimizzare il numero di collegamenti e contemporaneamente permettere a tutti i ricevitori di avere accesso alle comunicazioni presenti.
- L'ottimizzazione dell'uso delle risorse spettrali può essere raggiunta perseguendo alcuni obiettivi parziali, tra cui:
  - Minimizzazione degli effetti dell'interferenza dei segnali indesiderati  $e_m$ , sfruttando le informazioni disponibili su questi segnali
  - Scelta di forme d'onda con proprietà appropriate per essere separate da ogni forma di disturbo



# Copertura del Territorio

## Segnali ortogonali

- Caso di segnali **SINCRONI**: al singolo ricevitore le varie forme d'onda, trasmesse con periodo  $T_s$ , giungono perfettamente sincroni.
- In ogni  $T_s$  il segnale può essere espresso per mezzo di una base ortonormale di funzioni diverse da  $0$  nell'intervallo  $[0; T_s]$

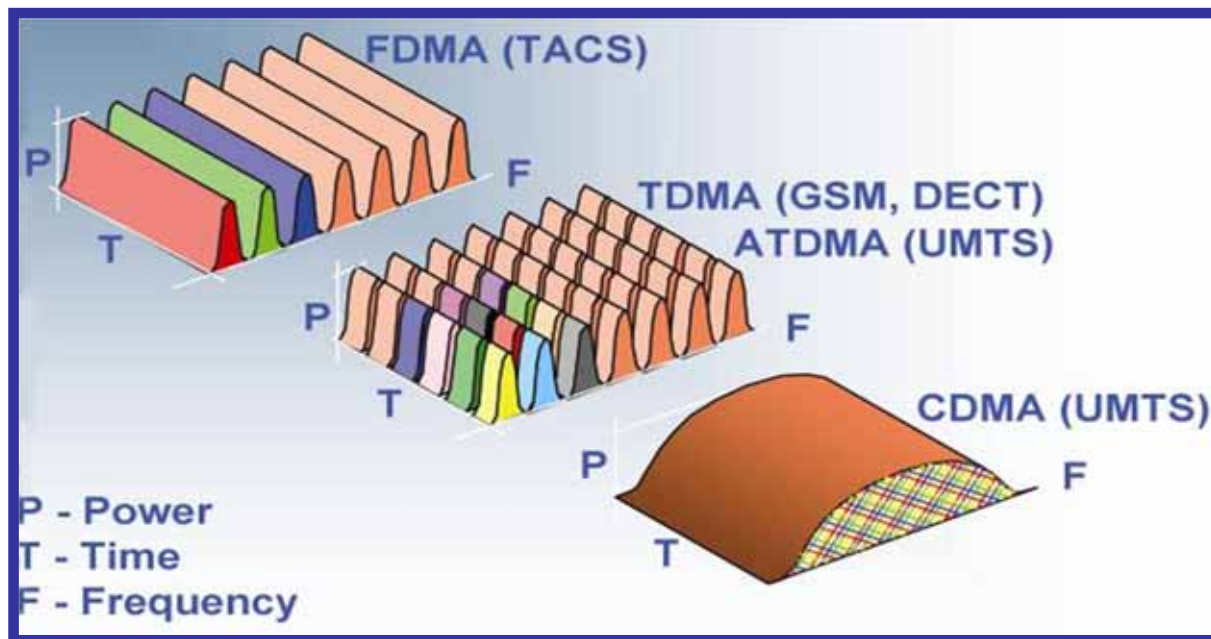
$$s_i(t) = S_j s_{ij} y_j(t)$$

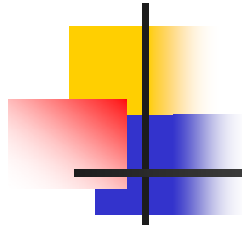
- In pratica, la **chiave di canale** è identificata dalla scelta di una o più funzioni ortonormali da assegnare ad ogni collegamento, creando canali indipendenti o ortogonali
- L'allocazione dei canali agli emettitori può essere fissa, come nel caso di audio o video broadcasting, o determinata ogni volta che c'è una richiesta di comunicazione, come nel caso di sistemi cellulari

# Copertura del Territorio

## Accesso multiplo CDMA

- Attualmente è possibile implementare la separazione dei canali in base alla correlazione per una grande varietà di forme d'onda. Quando la separazione dei canali richiede la correlazione completa, l'**accesso multiplo** si dice **a divisione di codice (CDMA)**.
- La forma di CDMA più diffusa è basata su segnali a spread spectrum

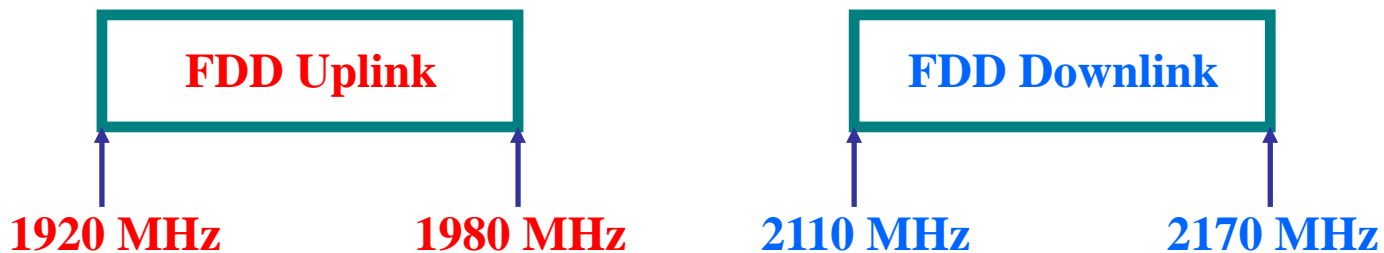




# Sistema UMTS

## Generalità

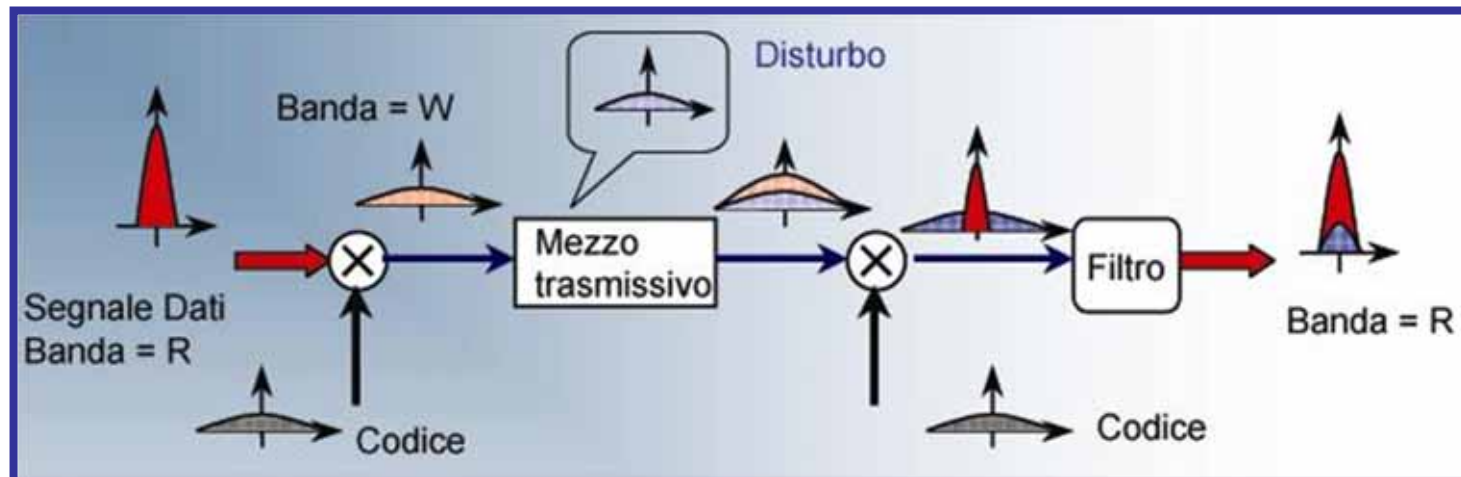
- Standardizzato dal 3GPP
- Si propone di fornire una molteplicità di servizi e di supportare sorgenti a bit rate variabile
- Accesso multiplo CDMA
- Interfaccia radio FDD: 2 bande separate e simmetriche di 60 MHz ciascuna per le 2 tratte

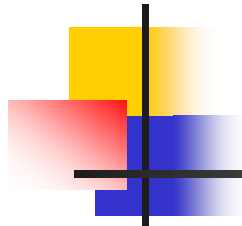


# Sistema UMTS

## Generalità

- La forma di **CDMA** più diffusa è quella basata su segnali **Spread Spectrum**
- La separazione tra gli utenti è ottenuta assegnando a ciascuno, con una operazione di moltiplicazione, un **codice** (operazione di **Spreading**)
- In ricezione in condizioni **ideali** l'operazione duale (**Despreading**) annulla l'effetto delle interferenze mutue e consente di **estrarre** il segnale desiderato





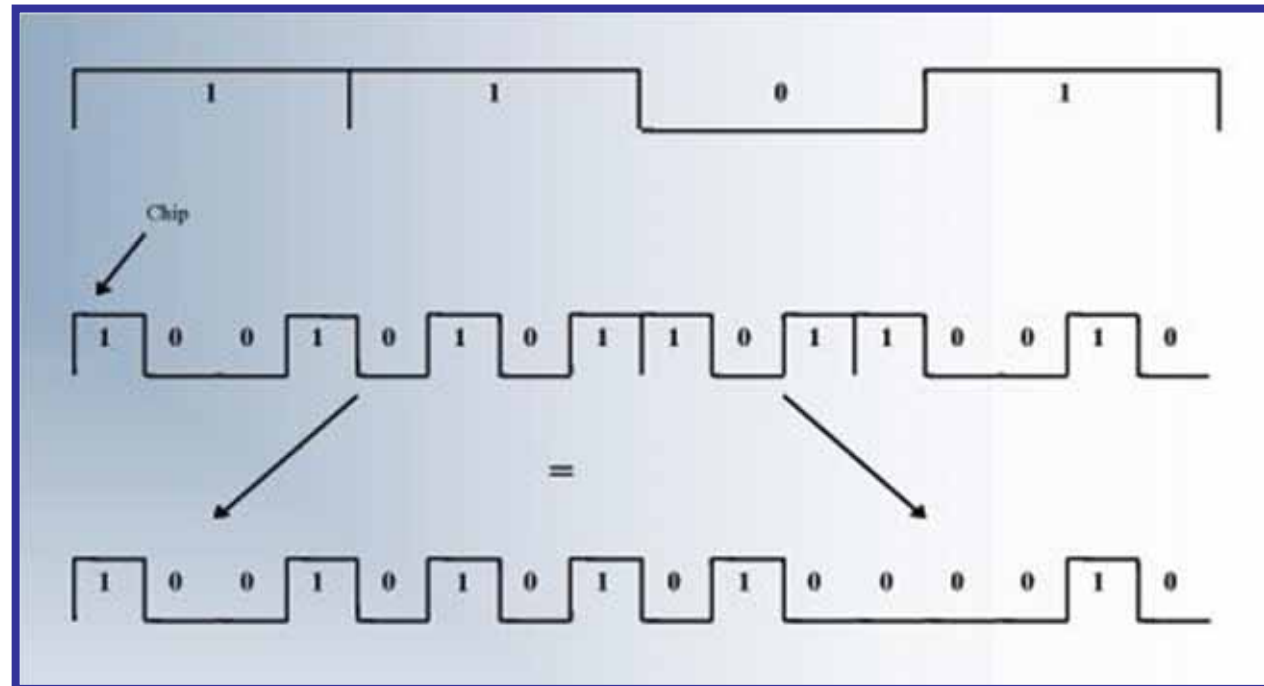
# Sistema UMTS

## Generalità

Flusso dati di sorgente  
a bit rate  $B_r$

Codice di Spreading a  
chip rate  $C_r$

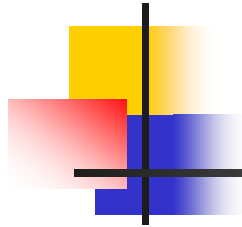
Segnale a banda larga  
(chip rate  $C_r$ )



## SISTEMA UMTS:

- Lo standard fissa la chip rate  $C_r = 3.84 \text{ Mchip/sec}$

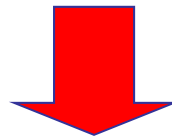




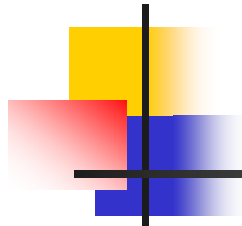
# Sistema UMTS

## Interferenza e capacità

- Gli utenti possono trasmettere tutti alla stessa frequenza e nello stesso istante
- La capacità è stabilita dal livello di interferenza tollerabile sull'interfaccia radio → **SOFT CAPACITY**
- Effetto near-far



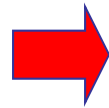
E' necessario il **CONTROLLO DI POTENZA**: in uplink tutti i segnali devono arrivare alla stazione base con lo stesso livello di potenza  
(controllo di potenza IDEALE)



# Sistema UMTS

## Copertura e capacità

- Controllo di potenza
- Limite massimo alla potenza trasmissibile dal terminale mobile

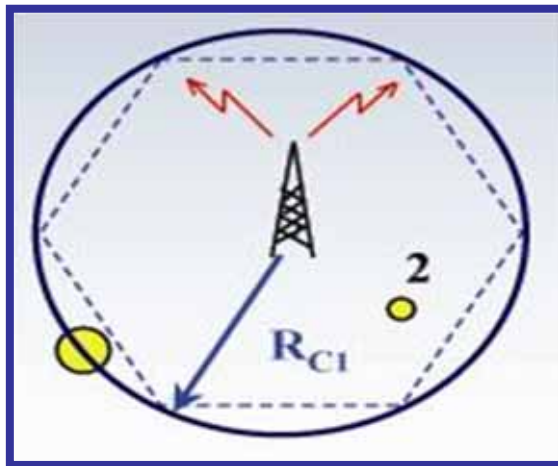


Le dimensioni della cella variano al variare del numero di utenti attivi in essa: **CELL BREATHING**

2 utenti attivi nella cella



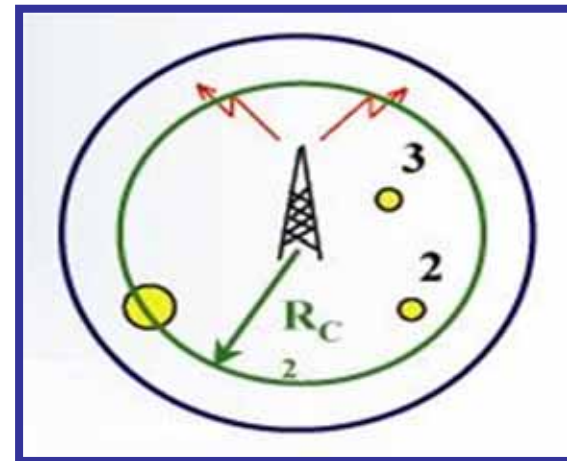
3 utenti attivi nella cella



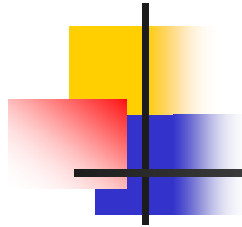
1,  $P_{MAX}$



$$R_{C2} < R_{C1}$$



1,  $P_{MAX}$



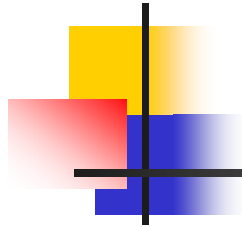
# Sistema UMTS

## Controllo di potenza: uplink

- Aumenta la capacità del sistema
- Evita che qualcuno “urli”
- Elimina l’effetto near-far (in DL invece tutti i segnali arrivano al mobile percorrendolo stesso cammino...)

## Sistema UMTS:

- Controllo di potenza basato sulla qualità: occorre che il mobile trasmetta la minore potenza possibile che garantisce le specifiche di qualità fissate per il servizio considerato
  - Il terminale mobile deve modificare la potenza trasmessa in modo da mantenere il rapporto segnale/rumore ricevuto dalla stazione base pari ad una soglia assegnata
- Controllo di potenza ad anello aperto
- Controllo di potenza ad anello chiuso

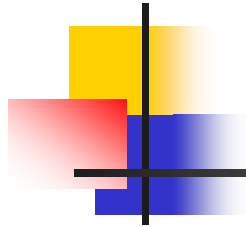


# Sistema UMTS

## Riepilogo Sistema UMTS

- Parametri principali interfaccia radio FDD

<b>Accesso Multiplo</b>	<b>CDMA</b>
<b>Chip Rate</b>	<b>3.84 Mchip/secondo</b>
<b>Canalizzazione</b>	<b>5 MHz</b>
<b>Durata di trama</b>	<b>10 ms</b>
<b>Slot per Trama</b>	<b>15</b>
<b>Velocità di Trasmissione dell'Informazione</b>	<b>Variabile (al max. ogni 10 ms)</b>



## Confronto fra Sistema GSM e Sistema UMTS

### Caratteristiche dei terminali: Tipi di User equipment

CLASS	OUTPUT POWER [dBm]
<i>1</i>	<i>33</i>
<i>2</i>	<i>27</i>
<i>3</i>	<i>24</i>
<i>4</i>	<i>21</i>



# Confronto fra GSM ed UMTS

---

## Differenza fra UMTS e GSM 1800

Il rapporto delle **distanze limite** calcolate nel caso di **massima configurazione** tra sistema **UMTS** e **GSM 1800** nel caso di utilizzo di **antenne** con **caratteristiche elettriche simili** è:

$$(2/3)^{1/2} = 0.8$$

Quindi i **sistemi UMTS** consentono, a parità di condizioni, un **risparmio di potenza** pari al **20%**.

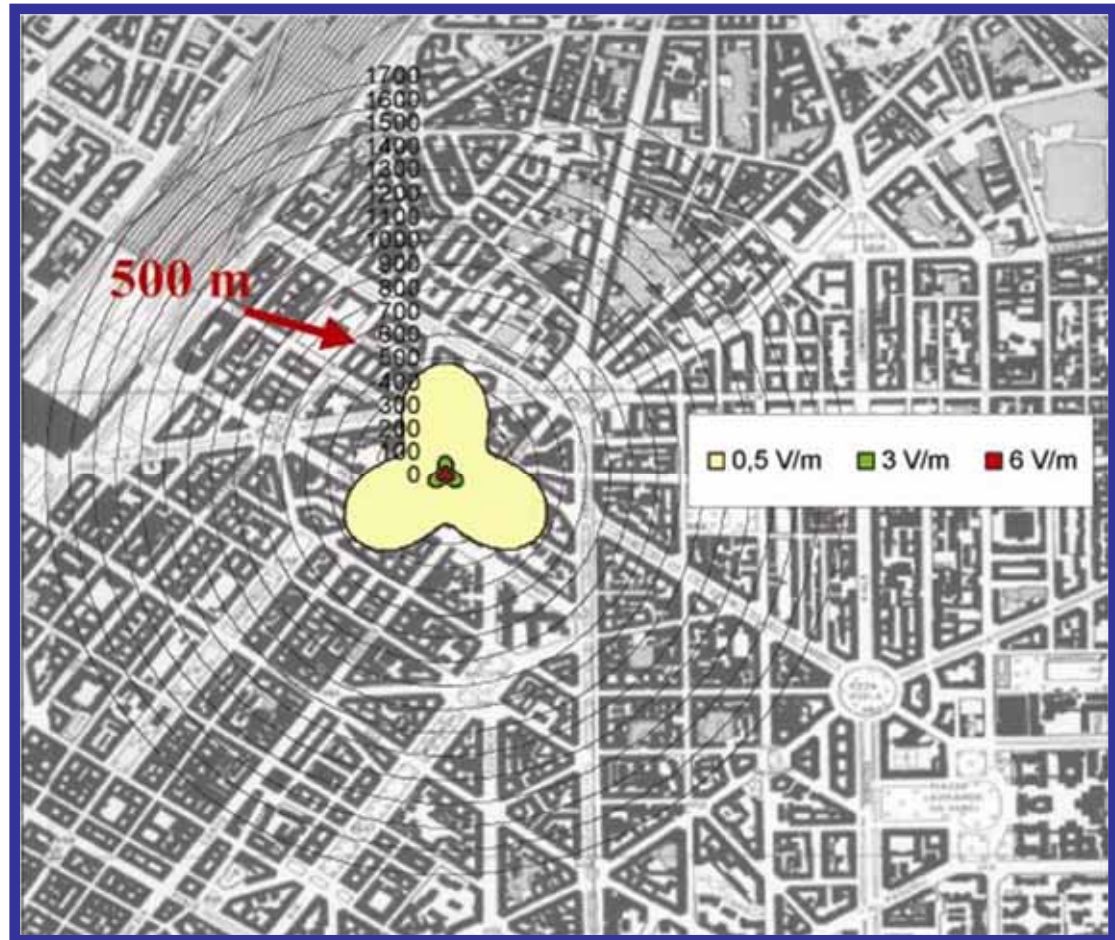


-20%

# Confronto fra GSM ed UMTS

## CASO GSM

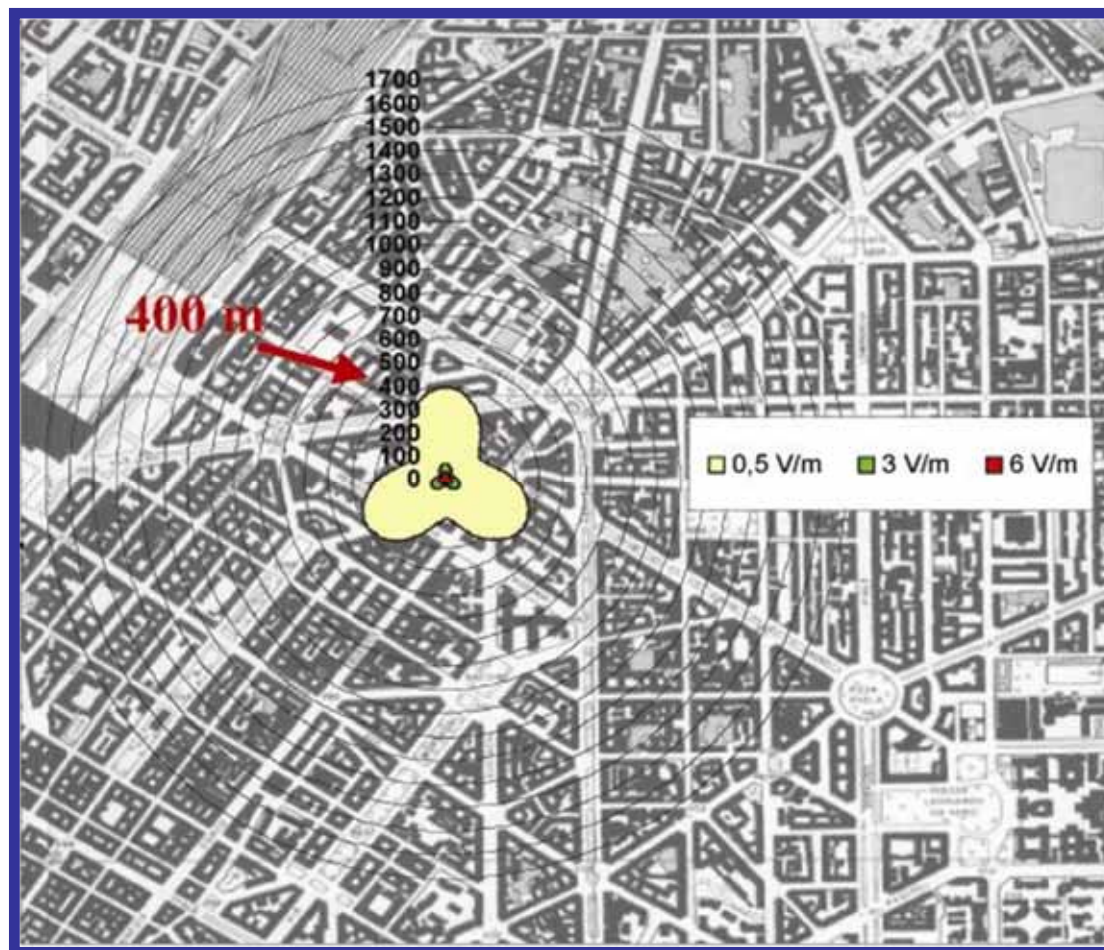
- 3 settori (0,120,240)
- 6 portanti per cella
- 10 W portante
- Antenna a 65° lobo oriz.
- Max Gain 18 dBi



# Confronto fra GSM ed UMTS

## UMTS 1° CASO

- 3 settori (0,120,240)
- 2 portanti per cella
- 20 W portante
- Antenna a 65° lobo oriz.
- Max Gain 18 dBi

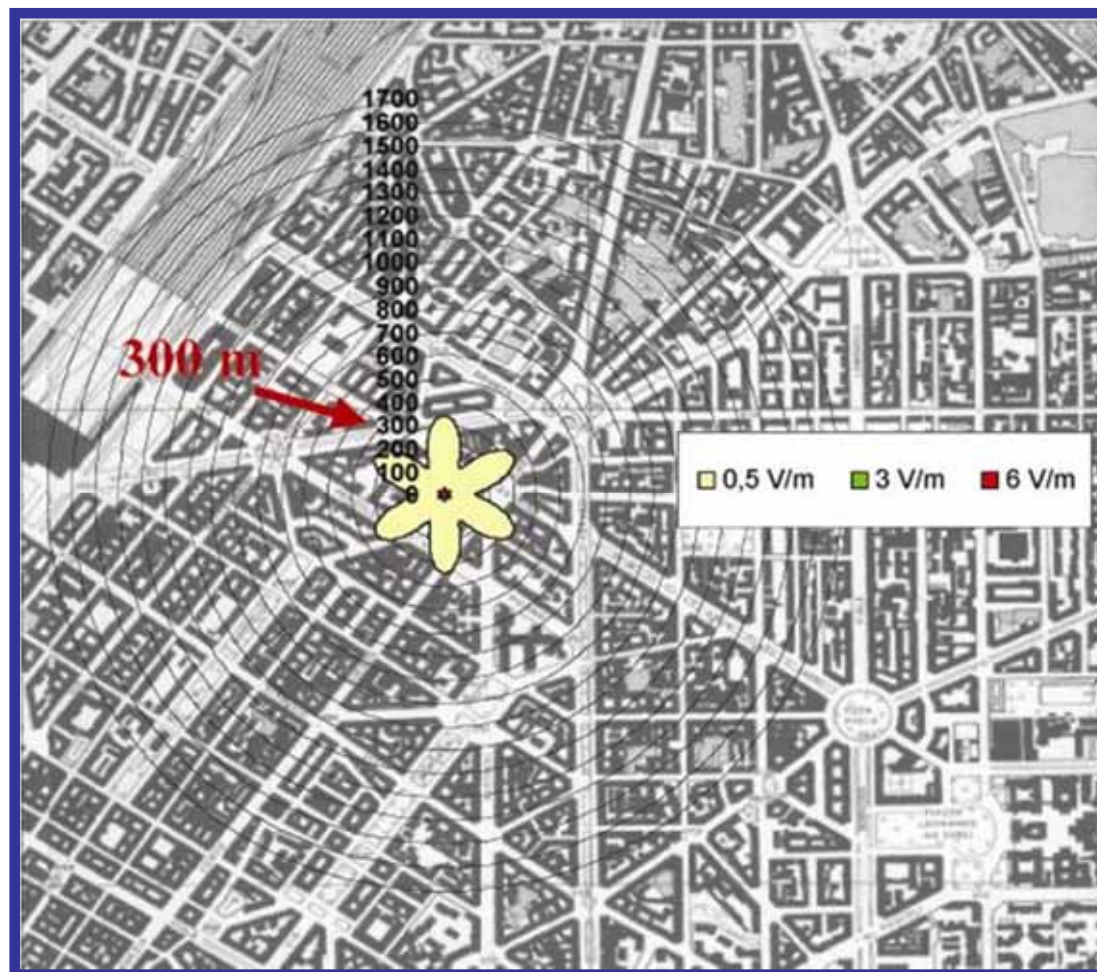




# Confronto fra GSM ed UMTS

## UMTS 2° CASO

- 6 settori  
(0, 60, 120, 180, 240, 300)
- 1 portante per cella
- 20 W portante
- Antenna a 33° lobo oriz.
- Max Gain 19.5 dBi





# Confronto fra GSM ed UMTS

## Co-siting GSM-UMTS

$$d_{GSM} = \frac{\sqrt{30P_{GSM} * G}}{E_{lim}}$$

Volume di rispetto per GSM

$$E_{UMTS} = \frac{\sqrt{30P_{UMTS} * G}}{d_{GSM}}$$

Contributo dell'UMTS  
nel volume GSM

$$E_{tot} = \sqrt{E_{UMTS}^2 + E_{lim}^2} = E_{lim} \sqrt{1 + \frac{P_{UMTS}}{P_{GSM}}}$$

E totale nel  
volume GSM

**+15%**



# Conclusioni

---

## Impatto Ambientale UMTS

- **Potenza di uscita** degli apparati a massima configurazione **inferiore** al caso **GSM**
- **Maggiore utilizzo** di apparati di tipo **mini** e **micro**
- **Aumento** del numero di **celle** per **sito**
- Utilizzo di **antenne adattative**
- Utilizzo di **antenne multibanda**