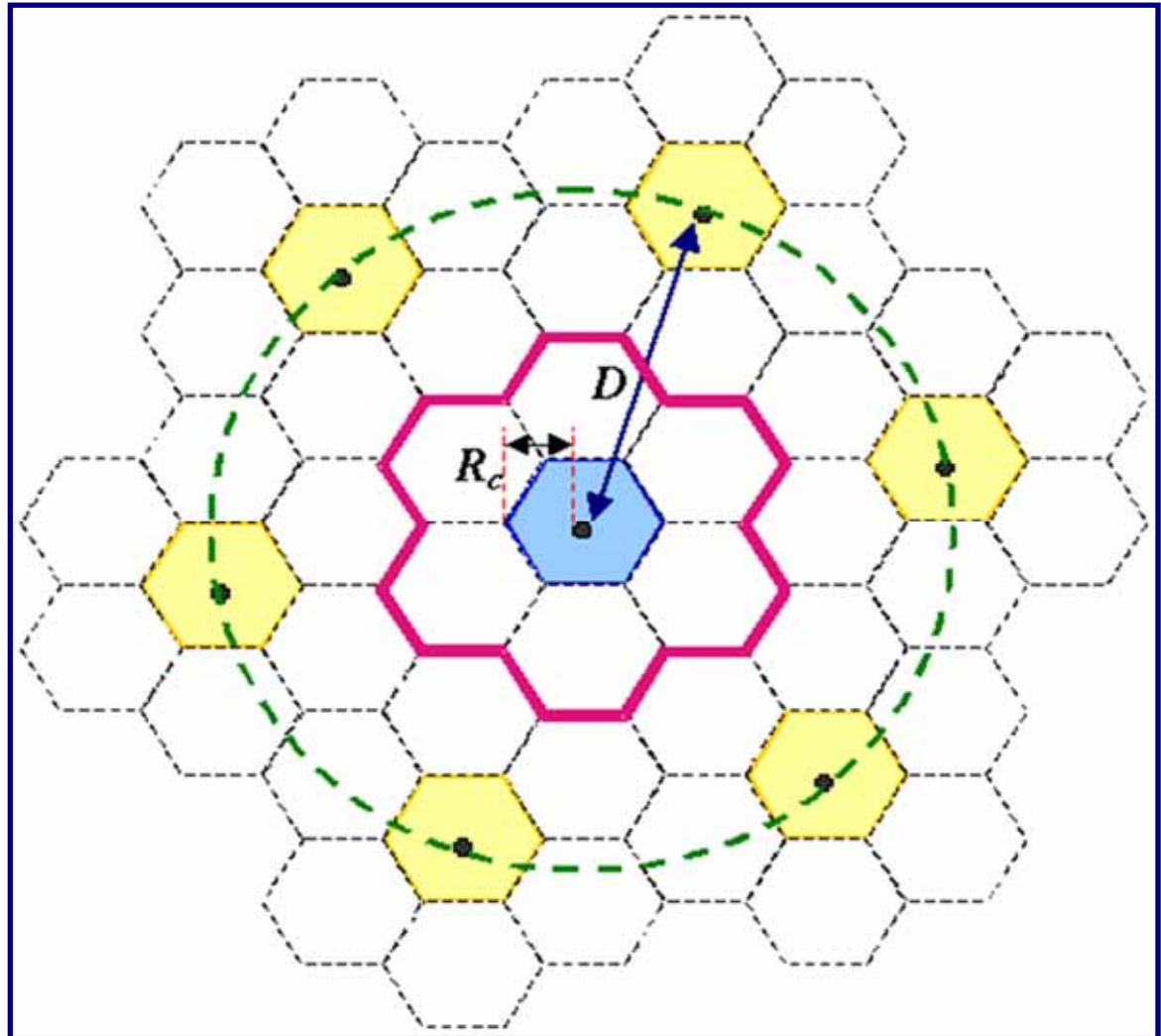


Valutazione del rapporto segnale-interferenze

Consideriamo un sistema in cui si ha una stazione radio base che irradia in una cella di forma esagonale.

Valutiamo il legame fra la variazione della potenza con la distanza ed il riuso di un canale in un sistema cellulare.



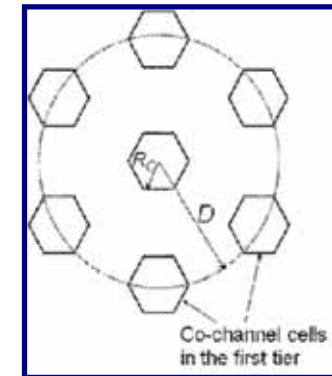
Valutazione del rapporto segnale-interferenze

Cluster con 7 celle ($N_R=7$ canali diversi per ogni cluster).

Il canale presente nella cella centrale (azzurra) è riutilizzato in 6 celle disposte su un cerchio (gialle).

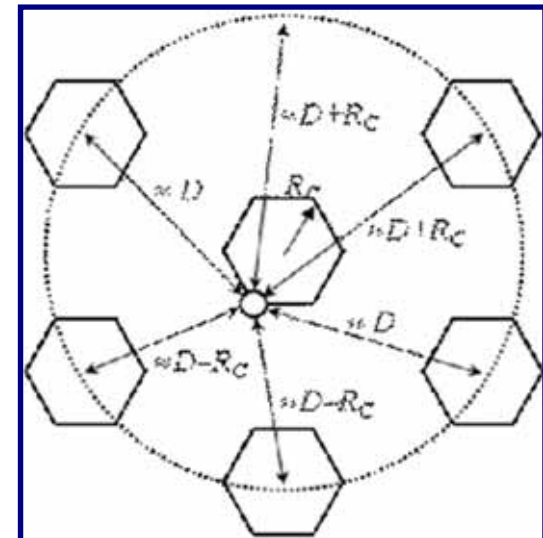
La distanza di riuso D (raggio del cerchio) è:

$$D = \sqrt{3N_R} R_c$$



L'interferenza dovuta solamente alle 6 celle di co-canale appartenenti al primo tier, è tale da fornire un rapporto S/I pari a:

$$\frac{S}{I} = \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{1}{\left(\sqrt{3N_R} - 1\right)^n} + \frac{1}{\left(\sqrt{3N_R}\right)^n} + \frac{1}{\left(\sqrt{3N_R} + 1\right)^n} \right]$$



Valutazione del rapporto segnale-interferenze

Fissato N_R , S/I aumenta con n .

Esempio: S/I richiesto pari a 50

in spazio libero ($n=2$) $\rightarrow N_R$ circa un centinaio

in ambiente urbano $\rightarrow N_R$ pari a 7 (caso tipico di utilizzo), garantisce un rapporto S/I > 50 con $n=4$

Il fatto che l'attenuazione sia più rapida di $1/r^2$ richiede maggiore potenza per garantire la copertura, ma permette di evitare più facilmente le interferenze, e quindi di utilizzare complessivamente meno canali per coprire la zona di interesse.

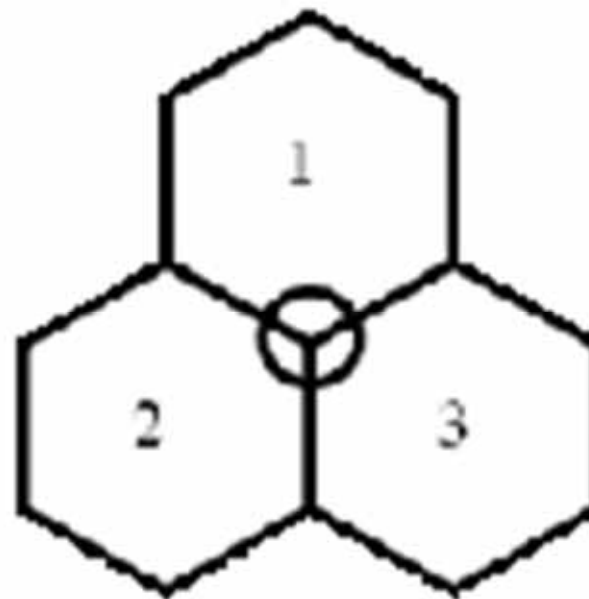
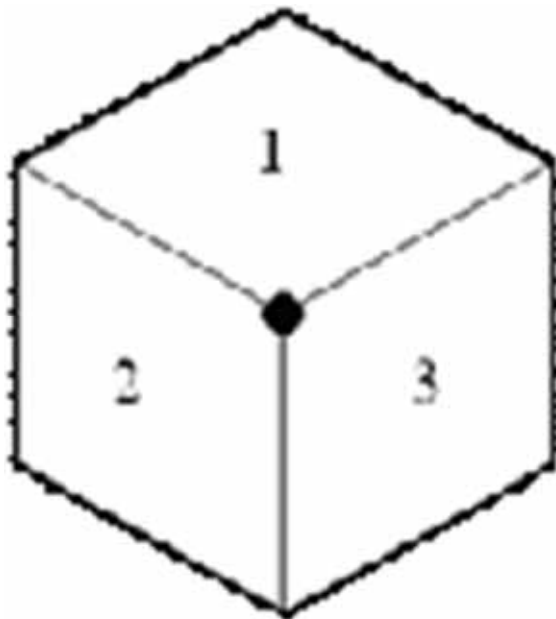
Valutazione del rapporto segnale-interferenze

Occorre considerare almeno altri due effetti:

L'interferenza dovuta alle celle di co-canale dei tiers successivi al primo

Il tipo di configurazione che viene utilizzata

In genere si utilizza una stazione che copre 3 celle utilizzando antenne direzionali (la stazione radio base sta nel punto di intersezione di 3 celle)

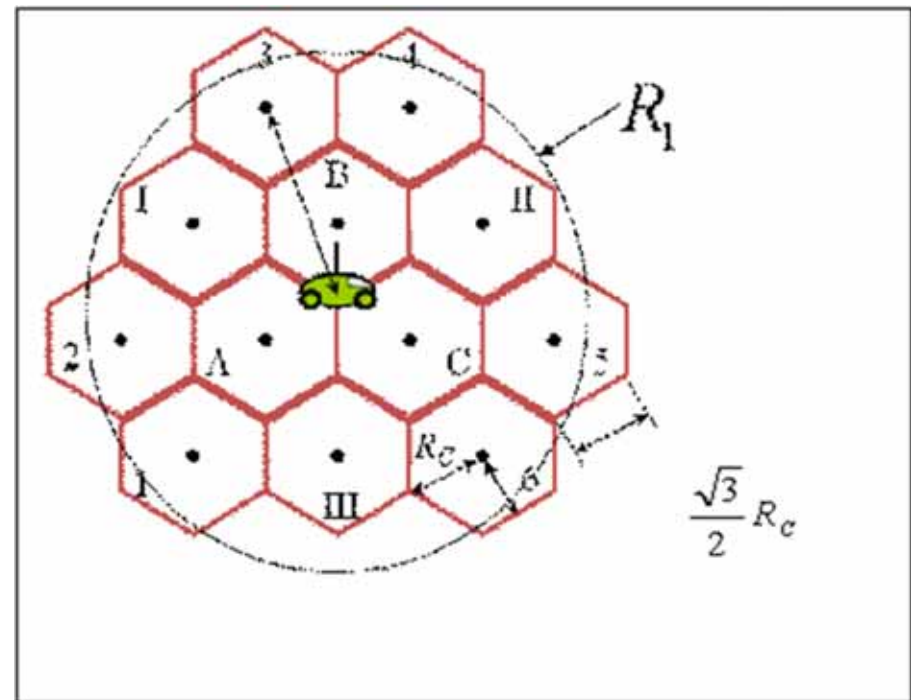


Valutazione del rapporto segnale-interferenze

Valutiamo il rapporto S/I per celle settorializzate.

Effetto della variazione con la distanza nella capacità dei sistemi CDMA (Downlink):

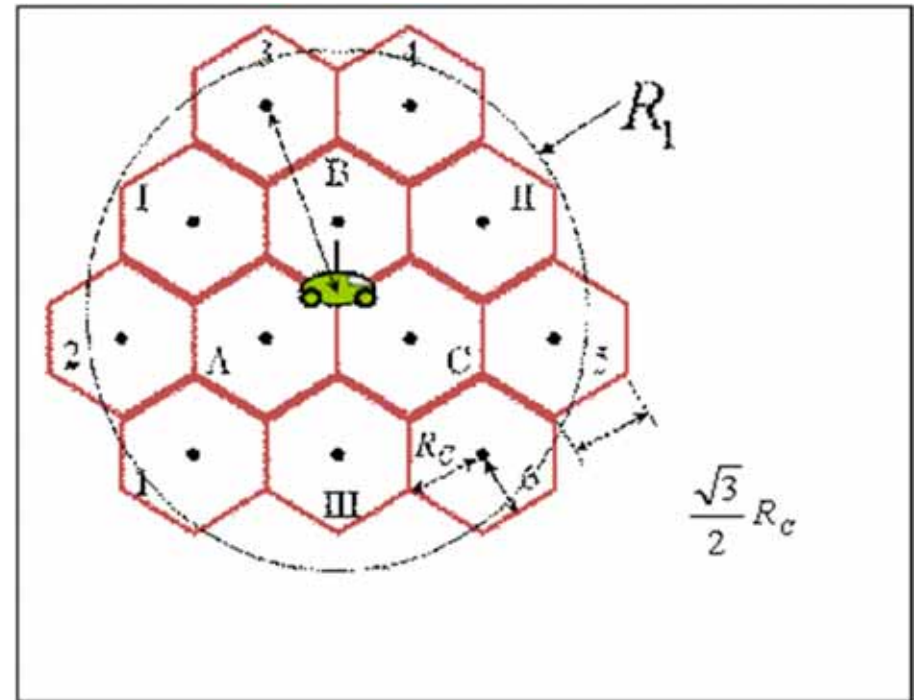
- stessa frequenza utilizzata per comunicare con gli utenti in tutte le celle
- diverso codice utilizzato per ogni utente
- segnali di utenti in altre celle sono visti come interferenza dall'utente considerato



Valutazione del rapporto segnale-interferenze

Effetto della variazione con la distanza nella capacità dei sistemi CDMA (Downlink):

- utenti nelle stesse celle hanno codici ortogonali, ma le interferenze dovute al multipath perturbano i codici introducendo interferenze
- ogni utente può ricevere lo stesso segnale da un massimo di tre stazioni di base
- per una ricezione adeguata, $I \leq FP$, in cui il valore di $F > 1$ dipende dal guadagno di processo, dal fattore di attività, ecc.



Valutazione del rapporto segnale-interferenze

Calcoliamo S/I per un utente posto all'intersezione fra 3 celle supponendo una attenuazione del tipo A/R_C^n con la distanza:

Potenza ricevuta dalle 3 RBS più vicine:

$$P = 3P_T A / R_C^n$$

Interferenza dovuta ai segnali inviati dalle RBS agli altri utenti delle celle A, B e C:

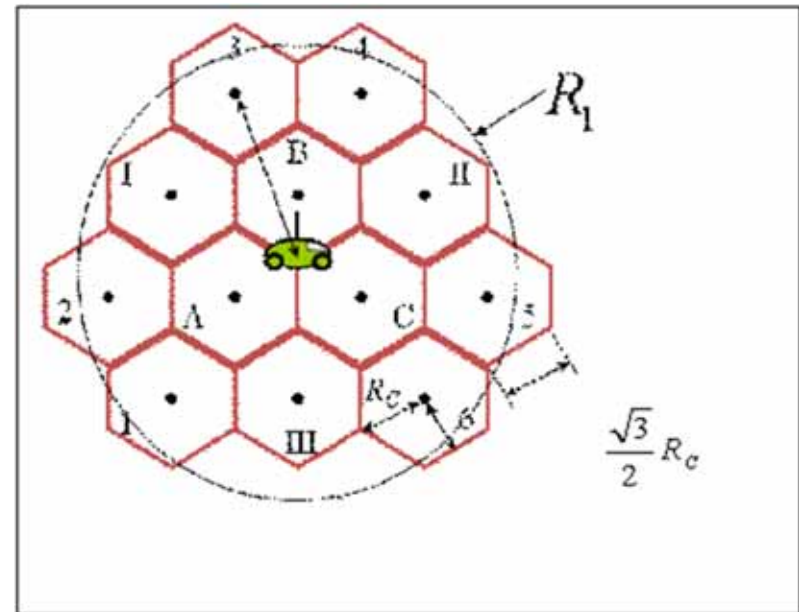
$$I_0 = 3\gamma(N_S - 1)P_T A / R_C^n \quad [0 < \gamma < 1]$$

Interferenza dovuta ai segnali inviati dalle RBS agli utenti delle celle I, II e III:

$$I_\alpha = 3N_S P_T A / (2R_C)^n$$

Interferenza dovuta ai segnali inviati dalle RBS agli utenti delle celle 1, 2,..., 6:

$$I_\beta = 6N_S P_T A / (\sqrt{7}R_C)^n$$



Valutazione del rapporto segnale-interferenze

Potenza dell'interferenza ricevuta dalle RBS fuori dal primo tier:

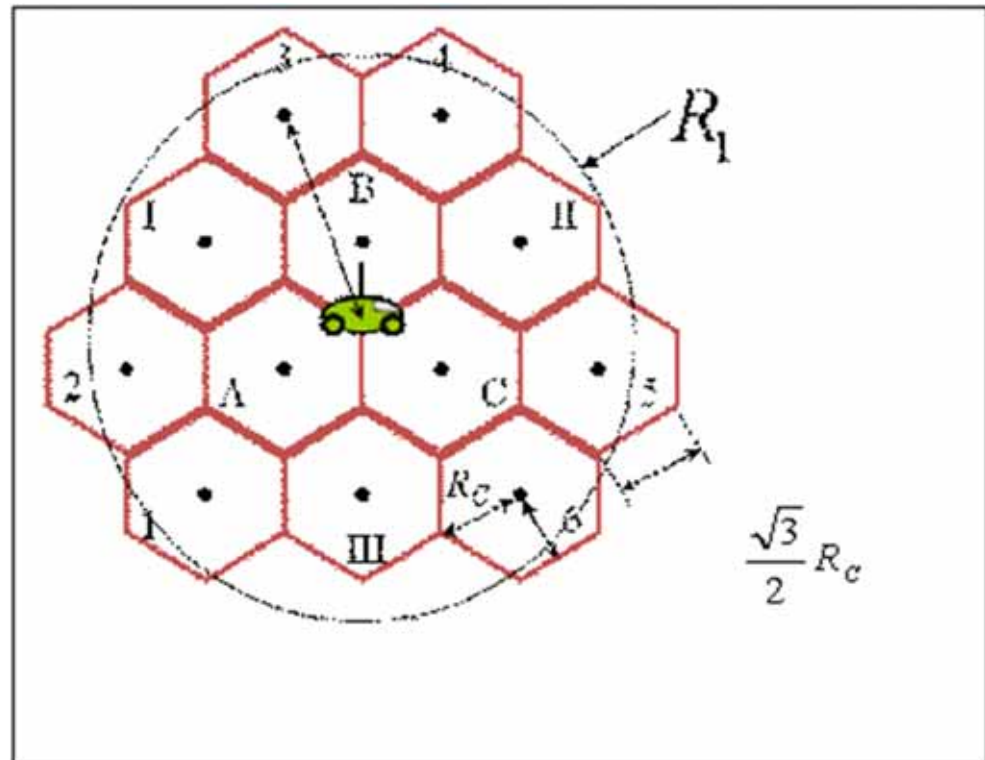
Supponiamo la potenza interferente inviata da tutte le altre RBS uniformemente distribuita in un disco infinito con un foro di raggio R_1 .

La densità di potenza trasmessa è allora:

$$P_D = N_S P_T / (\text{area di una cella})$$

$$\text{Area_cella} = \frac{3\sqrt{3}}{2} R_C^2$$

$$P_D = \frac{2}{3\sqrt{3}} \frac{N_S P_T}{R_C^2}$$



Valutazione del rapporto segnale-interferenze

Potenza di interferenza ricevuta dalle RBS fuori dal primo tier:

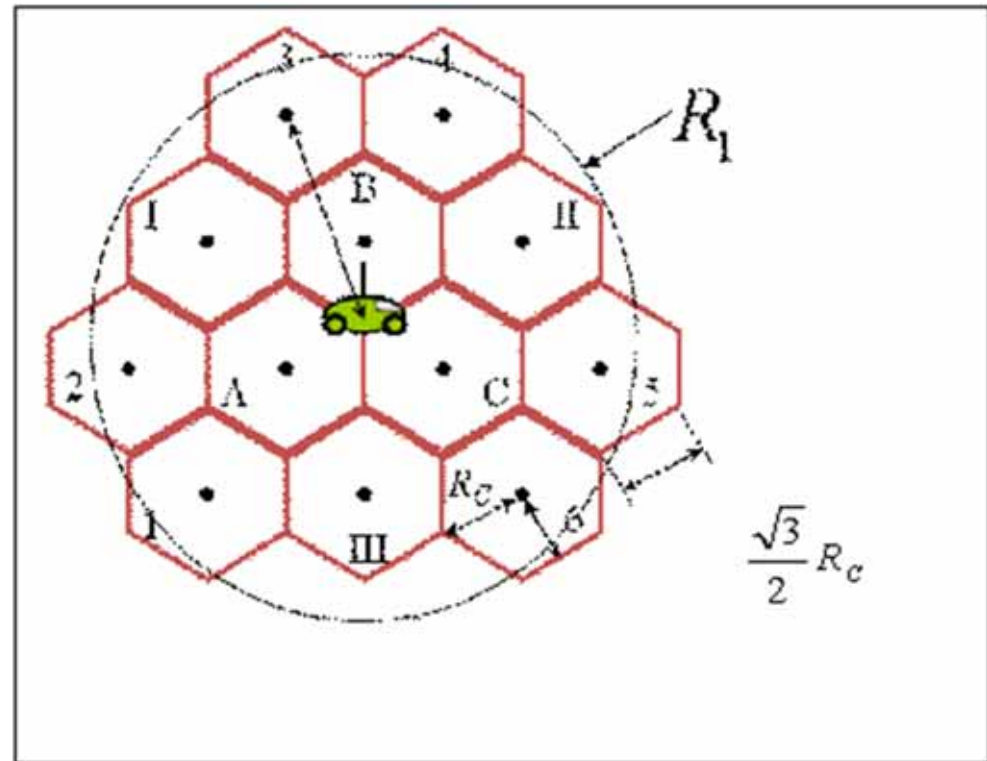
Il raggio del foro si ottiene eguagliando la sua area, πR_C^2 , all'area delle 12 celle corrispondenti:

$$R_1 = 3\sqrt{\frac{2\sqrt{3}}{\pi}}R_C = 3.150R_C$$

La potenza interferente ricevuta da tutte le altre RBS distribuite sul disco infinito vale quindi:

$$I_D = \iint P_D \left(\frac{A}{R^n} \right) (\text{Area_elemento}) =$$

$$= \int_{R_1}^{\infty} \left(\frac{2}{3\sqrt{3}} \frac{N_S P_T}{R_C^2} \right) \left(\frac{A}{R^n} \right) (2\pi R dR) = \frac{4\pi}{3\sqrt{3}} N_S P_T \frac{A}{R_C^2} \int_{R_1}^{\infty} \frac{dR}{R^{n-1}}$$

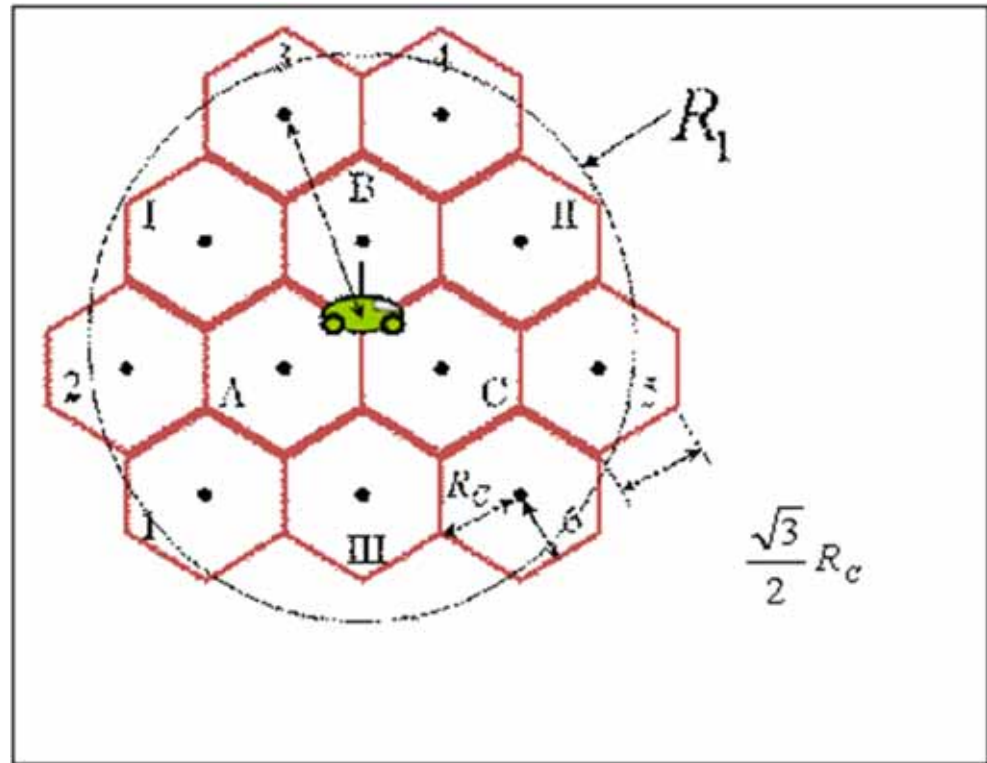


Valutazione del rapporto segnale-interferenze

Se $n \leq 2$, la potenza interferente $I_D \rightarrow \infty$.

Se $n > 2$, la potenza interferente vale invece:

$$\begin{aligned}
 I_D &= \frac{4\pi}{3\sqrt{3}} N_s P_T \frac{A}{R_C^2} \frac{1}{(n-2)R_1^{n-2}} \\
 &= \frac{4\pi}{3\sqrt{3}} \frac{N_s P_T}{(n-2)} \frac{A}{(3.15)^{(n-2)} R_C^n} \\
 &= \frac{2.418}{(n-2)(3.15)^{(n-2)}} N_s P_T \frac{A}{R_C^n}
 \end{aligned}$$



Valutazione del rapporto segnale-interferenze

Rapporto S/I e capacità C_S :

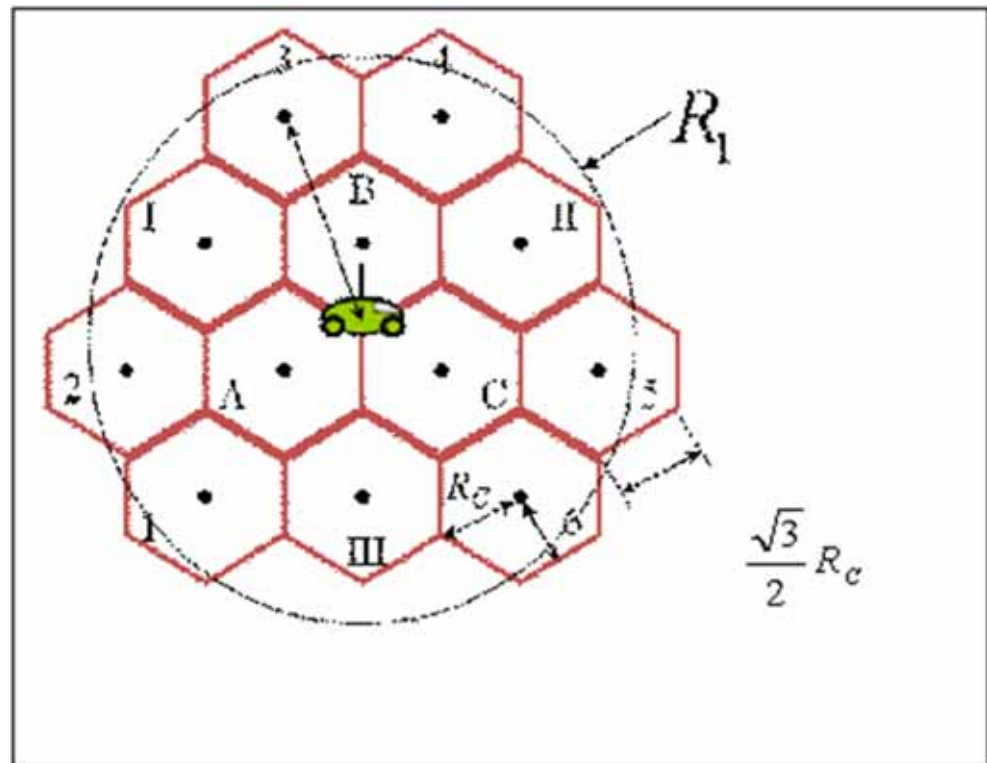
L'interferenza totale vale

$$I = I_o + I_\alpha + I_\beta + I_D$$

Per una ricezione accettabile si richiede di solito:

$$I \leq F(\text{Potenza_Segnale}) = F \frac{3P_T A}{R_C^n}$$

Se $n \leq 2$, la potenza interferente $I_D \rightarrow \infty$ e la capacità N_S tende a zero.



Valutazione del rapporto segnale-interferenze

Se $n > 2$, si ha:

$$I = P_T \frac{A}{R_C^n} \left[3\gamma(N_s - 1) + 3\frac{N_s}{2^n} + 3\frac{2N_s}{(\sqrt{7})^n} + \frac{2.418}{(n-2)(3.15)^{(n-2)}} N_s \right]$$

E per avere una ricezione adeguata:

$$N_s \left[\gamma + \frac{1}{2^n} + \frac{2}{(\sqrt{7})^n} + \frac{2.418}{3(n-2)(3.15)^{(n-2)}} \right] \leq F + \gamma$$

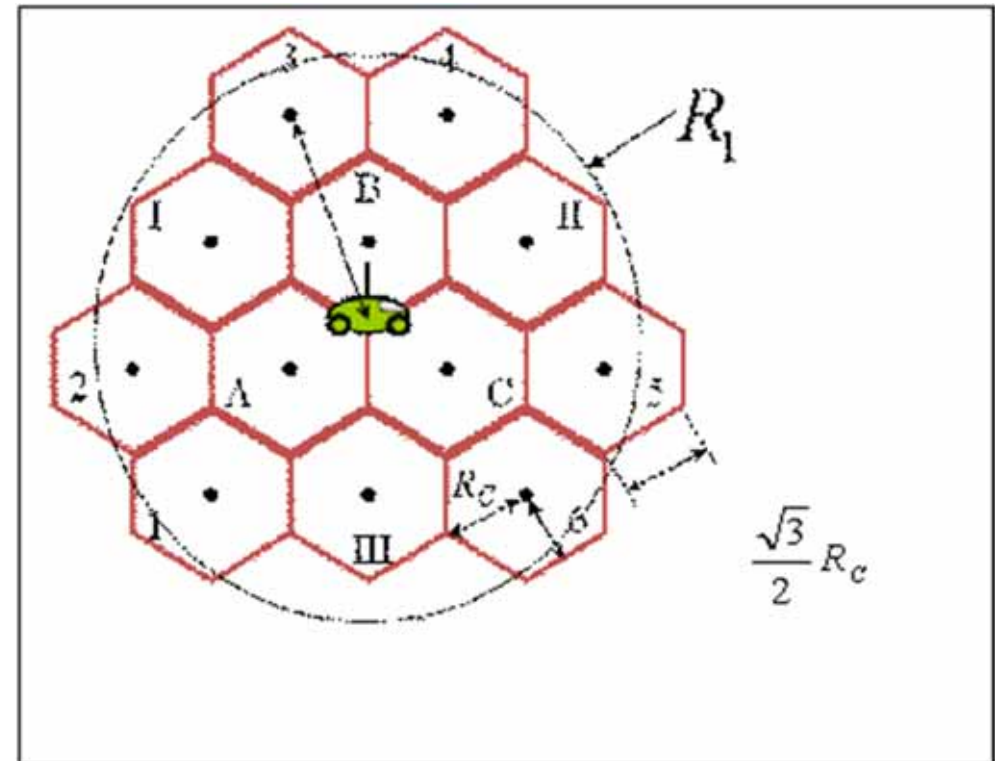
Ad esempio, essendo $F > 1$, supponendo $\gamma = 0.1$ si ha per N_s :

Per $n = 4$:

$$N_s \leq (F + 0.1)/0.224 = 4.47(F + 0.1)$$

Per $n = 3$:

$$N_s \leq 1.70(F + 0.1)$$



Modello di Okumura-Hata per Macrocelle

Primi servizi cellulari: pochi utenti, stazioni RBS poste all'esterno delle città.

In seguito: aumento del numero di utenti → celle di dimensioni considerevolmente ridotte e antenne poste in città.

Aumento dei sistemi di antenne in ambito cittadino, ma con potenze molto più basse

Pianificazione del servizio: ci si è basati su modelli molto semplificati della propagazione, poichè occorre un sistema rapido di valutazione della copertura.

Volendo applicare le equazioni di Maxwell e calcolarne le soluzioni in ambiente urbano, l'ambiente dovrebbe essere discretizzato con celle di dimensioni inferiori alla lunghezza d'onda (qualche cm di lato essendo $\lambda=30\text{cm}$ @ 900MHz).

Modello di Okumura-Hata per Macrocelle

Modelli utilizzati:

- ricavati da campagne di misura (anni 60-70) per distanze dal trasmettitore variabili da 1 km a 20 km o più
- adatti solo per celle grandi (macrocelle, da qualche chilometro a circa 30 km di diametro)

Ci si aspettava un numero di utenti relativamente basso.

Aumento esponenziale numero di utenti → riduzione dimensione celle

Celle attuali: diametro dell'ordine dei 500m (al massimo 1 - 2 km)

Modello di Okumura-Hata per Macrocelle

Modelli empirici:

- campagna di misura effettuata avendo già un'idea dei parametri che influiscono sulla propagazione e sull'attenuazione complessiva,
- si costruisce un modello adattandolo alla campagna di misura

Modello empirico di OKUMURA-HATA: il più utilizzato per le macrocelle, derivato da estese campagne di misura

Considera un gran numero di effetti: altezza RBS, frequenza, edifici, rugosità terreno, ecc. nella valutazione della variazione del segnale ricevuto con la distanza

Fornisce il path loss L in dB in un collegamento fra due antenne isotrope:

$$L_{dB} = 10 \log_{10} (P_T / P_R)$$

Per antenne non isotrope, si sottrae ad L_{dB} il loro guadagno in dB

Modello di Okumura-Hata per Macrocelle

Fornisce il path loss mediano L_{dB} , che per una distribuzione gaussiana di shadow fading coincide con il path loss medio, in funzione dei seguenti parametri:

1. frequenza f_M in Megahertz;
2. distanza R_K dalla stazione radiobase in Km (distanza tra Tx e Rx);
3. altezza h_{BS} della antenna della stazione radio base in metri;
4. altezza h_m della stazione mobile in metri.

Le formule sono state ottenute per adattare i risultati alle misure per il seguente intervallo di variazione dei parametri:

- a) $150 \leq f_M \leq 1500 \text{ MHz}$
- b) $1 \leq R_K \leq 20 \text{ Km}$
- c) $30 \leq h_{BS} \leq 200 \text{ m}$
- d) $1 \leq h_m \leq 10 \text{ m}$

Modello di Okumura-Hata per Macrocelle

Altezze valutate approssimativamente, tenendo conto del fatto che il terreno non è piatto.

Nel modello mancano:

- altezza edifici (modello ricavato da misure solo per RBS elevate)
- larghezza di strade/ edifici (a posteriori sono stati aggiunti fattori correttivi dipendenti dal tipo di città)

Modello di Okumura-Hata per Macrocelle

Formula empirica di Okumura-Hata:

$$L_{dB} = 69.55 + 26.16 \log_{10} f_M - 13.82 \log_{10} h_{BS} - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log h_{BS}) \cdot \log_{10} R_K$$

$a(h_m)$: fattore correttivo dipendente da altezza ricevitore; è nullo per altezze della ricevente fino ad $1.5m$

In “grandi città”, si ha:

$$a(h_m) = \begin{cases} 8.29 \cdot [\log_{10}(1.54h_m)]^2 - 1.10 & \text{per } f_M \leq 200MHz \\ 3.2 \cdot [\log_{10}(11.75h_m)]^2 - 4.97 & \text{per } f_M \geq 400MHz \end{cases}$$

In “città medio-piccole”:

$$a(h_m) = (1.1 \cdot \log_{10} f_M - 0.7) \cdot h_m - (1.56 \cdot \log_{10} f_M - 0.8)$$

Modello di Okumura-Hata per Macrocelle

Esistono altri due fattori correttivi da sottrarre al path loss L_{dB} :

$$K_r = 2[\log_{10}(f_M / 28)]^2 + 5.4 \quad \text{in aree suburbane}$$

$$Q_r = 4.78[\log_{10} f_M]^2 - 18.33\log_{10} f_M + 40.94 \quad \text{in aree rurali}$$

Modello di Okumura-Hata per Macrocelle

Attenuazione in spazio libero:

$$\frac{1}{L} = G_T G_R \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2$$

Attenuazione modello di OKUMURA-HATA:

- all'incirca stessa dipendenza dalla frequenza ($20 \cdot \log_{10} f$ vs $26.16 \cdot \log_{10} f$)
- 69.55: path loss di spazio libero
- dipendenza dalla distanza molto diversa ($n = \frac{44.9 - 6.55 \log_{10}(h_{BS})}{10}$ e dipende dall'altezza della stazione radio base); al crescere di h_{BS} il campo si attenua più lentamente (tende ad arrivare direttamente al ricevitore).

Esempi:

$$h_{BS}=10\text{m} \rightarrow n=3.8;$$

$$h_{BS}=100\text{m} \rightarrow n=3$$

$$h_{BS}=30\text{m} \rightarrow n=3.5 \text{ (quasi doppio rispetto al caso di spazio libero, } n=2\text{)}.$$