

Caratteristiche della propagazione urbana

Sistemi broadcast: coprono un'area metropolitana mediante un solo trasmettitore che trasmette in un canale di frequenza dedicato; l'antenna trasmittente è posizionata nel punto più alto disponibile ed irradia la massima potenza consentita.

Sistemi di telefonia mobile: l'area metropolitana è suddivisa in piccole zone, ognuna delle quali copre solamente una frazione dell'area metropolitana.

La suddivisione in zone è necessaria in quanto la banda di frequenze assegnata al sistema di comunicazione è limitata, e gli utenti del servizio sono invece in numero molto elevato.

Si sfrutta l'attenuazione del segnale radio trasmesso con la distanza dal trasmettitore per riutilizzare la banda di frequenze assegnata all'interno della stessa area metropolitana.

Caratteristiche della propagazione urbana

Due diverse zone della stessa area che utilizzano la stessa frequenza devono essere poste ad una distanza sufficiente da evitare che il segnale trasmesso dagli utenti (o dalle stazioni radio base) presenti nella prima zona interferisca con il segnale trasmesso dagli utenti (o dalle stazioni radio base) presenti nella seconda zona.

Sistema di comunicazione progettato in modo che:

- il rapporto segnale/rumore in ogni zona in cui è suddivisa l'area metropolitana sia adeguato;
- l'interferenza con le altre zone dell'area che utilizzano la stessa frequenza sia la minima possibile.

Caratteristiche della propagazione urbana

Banda di frequenze assegnata ai sistemi cellulari:

- 450 MHz TACS;
- 900MHz e 1800 MHz GSM;
- 2.2 GHz UMTS.

La lunghezza d'onda è inferiore al metro (molto minore delle tipiche dimensioni degli edifici, molto maggiore della rugosità dei materiali con cui tali edifici sono realizzati).

La propagazione delle onde radio in ambiente urbano può essere descritta mediante i fenomeni di:

- riflessione e trasmissione sulle pareti degli edifici;
- diffrazione dagli spigoli degli edifici.

Tecniche di accesso multiplo

Consentono la separazione di segnali radio diversi che vengono inviati/ricevuti simultaneamente da una stazione radio base/access point per permettere a più utenti mobili dislocati nella stessa zona di utilizzare il sistema di comunicazione.

Frequency-division-multiple-access (FDMA):

- applicato al segnale trasmesso dopo la modulazione analogica FM;
- ad ogni utente è assegnato un canale in frequenza per l'uplink ed un canale in frequenza per il downlink.
- il sistema può servire un numero di utenti massimo pari a:

$$N_c = \frac{\Delta B_{TOT}}{2 \cdot \Delta B_c}$$

ΔB_c : banda di ogni canale monodirezionale

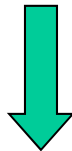
ΔB_{TOT} : banda totale assegnata al sistema

Tecniche di accesso multiplo

Riutilizzo spaziale nei sistemi FDMA:

- gli stessi N_c canali in frequenza sono riutilizzati in differenti aree geografiche;
- le aree che utilizzano la stessa frequenza sono posizionate sufficientemente lontane fra loro per limitare l'interferenza di co-canale.

Trasmissioni digitali segnali radio



Tecniche di accesso multiplo applicate al segnale analogico dopo una codifica digitale.

Tecniche di accesso multiplo

Time-division-multiple-access (TDMA):

- piccole porzioni del segnale digitale sono compresse in piccoli intervalli di tempo e trasmesse in una assegnata slot temporale che si ripete periodicamente;
- intervallo di trasmissione diviso in periodi, suddivisi in N slot di tempo;
- nella n-esima slot di tempo, ciclicamente, trasmette l'utente n-esimo a cui quella slot è stata assegnata;
- accesso multiplo TDMA equivalente a FDMA in una particolare slot di tempo;
- riutilizzo spaziale delle frequenze per TDMA simile a FDMA.

Sistema GSM: trasmette 8 segnali TDMA in bande di frequenza di larghezza pari a 200 Khz;

Tecniche di accesso multiplo

Code-division-multiple-access (CDMA):

- segnale digitale trasmesso dopo codifica (ogni bit di informazione è trasmesso mediante sequenza codificata di bit di durata minore chiamati chips).
- Banda di trasmissione più larga per ogni canale (bit di durata minore → banda più ampia)
- Tutti gli utenti di una certa area utilizzano la stessa banda in frequenza: il ricevitore distingue gli utenti in base al proprio codice
- Interferenza dovuta ai segnali degli altri utenti appare all'utente principale come rumore di fondo → riutilizzo spaziale delle frequenze per il CDMA effettuato limitando l'interferenza totale generata dagli altri utenti
- Livello rumore di fondo inversamente proporzionale a numero di chips

Tecniche di accesso multiplo

Bande di frequenza separate per downlink e uplink

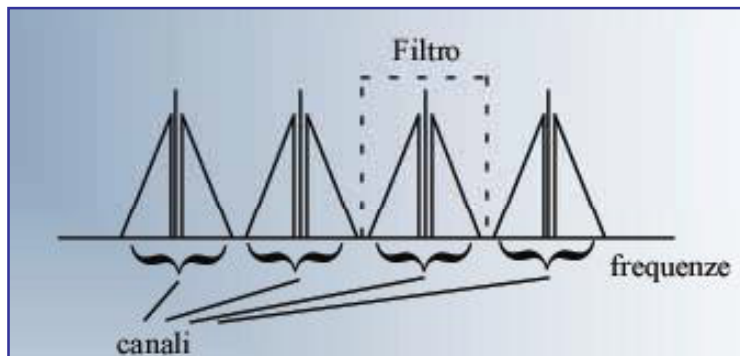
Sistema CDMA IS-95:

utilizza 128 chips per la codifica di ogni bit

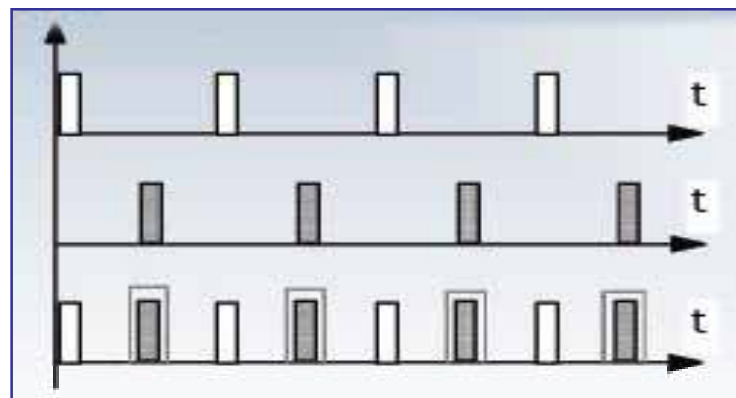
segnale trasmesso nell'intera banda di 1.23 MHz assegnata ad ogni canale.

Tecniche di accesso multiplo

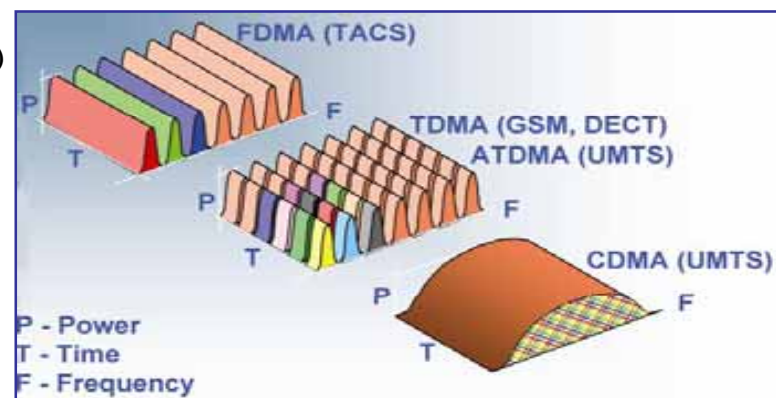
a)



b)



c)



Caratteristiche della propagazione urbana

Propagazione in spazio libero: potenza ricevuta P_R da antenna ricevente posta a distanza R (sufficientemente grande da considerare la ricevente in zona di Fraunhofer per la trasmittente e viceversa) da una antenna trasmittente che emette una potenza P_T (formula di Friis)

$$P_R = \frac{G_T \cdot G_R \cdot \lambda^2}{(4\pi)^2 R^2} P_T = \frac{P_T \cdot A}{R^2}$$

A è un parametro che può essere considerato costante una volta fissate le antenne e la frequenza del collegamento.

Antenne in vicinanza del suolo (stazioni radio base poste in posizioni non troppo elevate), con approssimazione di terra piatta:

$$P_R = \frac{P_T \cdot A}{R^4}$$

Caratteristiche della propagazione urbana

L'andamento della potenza con la distanza in collegamenti in spazio libero, è del tipo $1/r^n$ ($n \leq 4$).

Il campo nella propagazione in zone urbane varia molto più rapidamente.

Questo è uno svantaggio perchè a parità di copertura, servono potenze più grandi, ma diventa un vantaggio dato che anche le interferenze decadono più velocemente.

E' dunque possibile riutilizzare lo stesso canale ad una distanza minore.

Se la variazione con la distanza fosse $1/r^2$ come in spazio libero, il riutilizzo di canale/frequenza non sarebbe in pratica possibile.

Caratteristiche della propagazione urbana

Per stazioni radiobase poste in alto, la potenza ricevuta varia sempre come $1/r^n$, con n tipicamente compreso fra 3 e 4.

Per RBS poste in basso o per i sistemi più avanzati, sia A che n possono dipendere dal reticolo stradale e dalla sua complessità, dall'orientazione delle strade e così via, ed n può essere molto maggiore di 4.

Oltre alla variazione con la distanza, il segnale presenta in ambiente urbano variazioni aleatorie significative, che danno luogo ai fenomeni di fast fading e shadow fading.

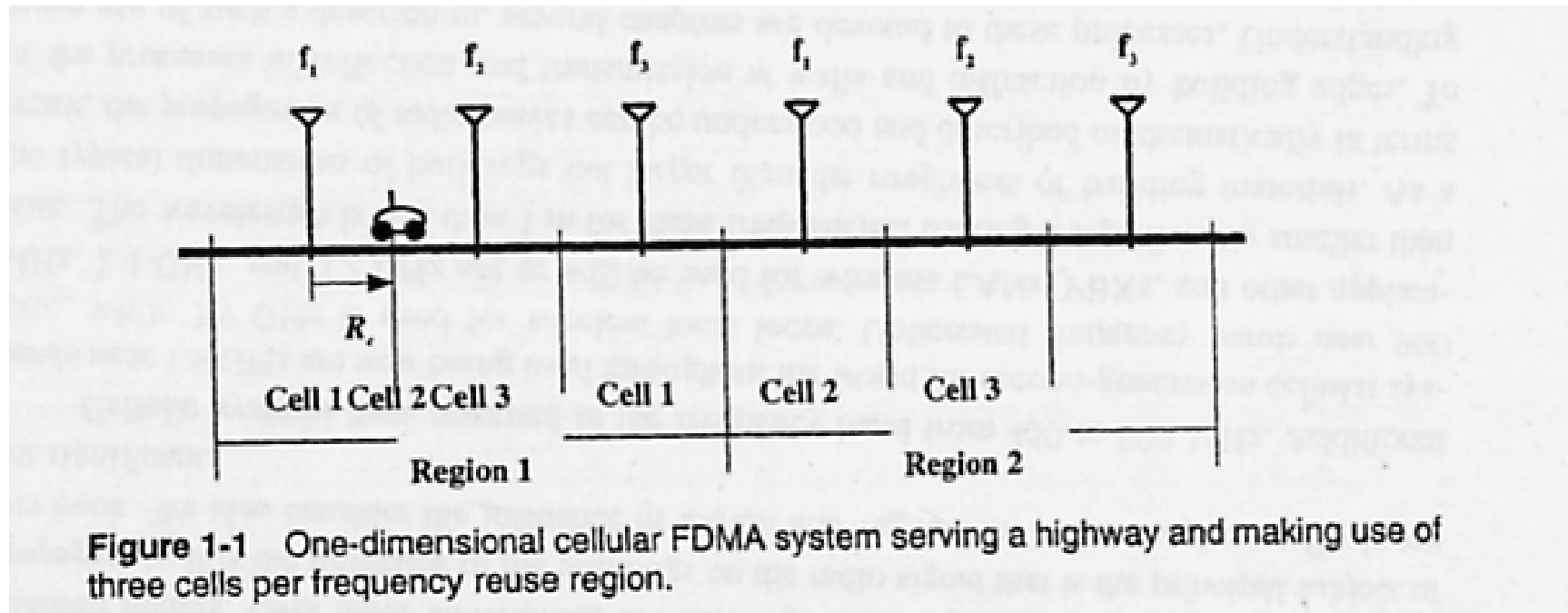
Per sistemi che operano in ambiente indoor (internamente agli edifici), la propagazione del segnale è ancora diversa.

Caratteristiche della propagazione urbana

ESEMPIO: Copertura di una zona lineare (autostrada, linea ferroviaria).

Si può considerare il problema come monodimensionale.

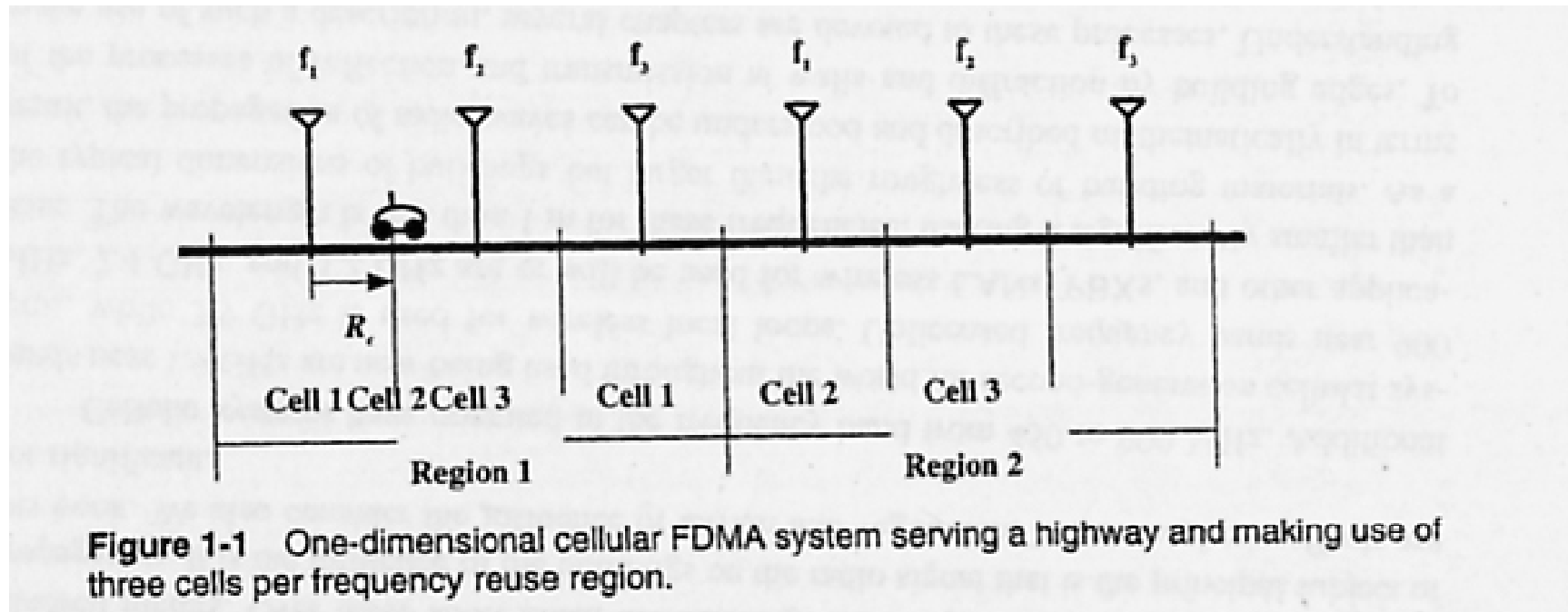
La zona in cui si vuole realizzare la copertura (schematizzabile come una retta) sarà divisa in celle con antenne trasmettenti situate al centro di ogni cella.



Caratteristiche della propagazione urbana

ESEMPIO: Copertura di una zona lineare (autostrada, linea ferroviaria).

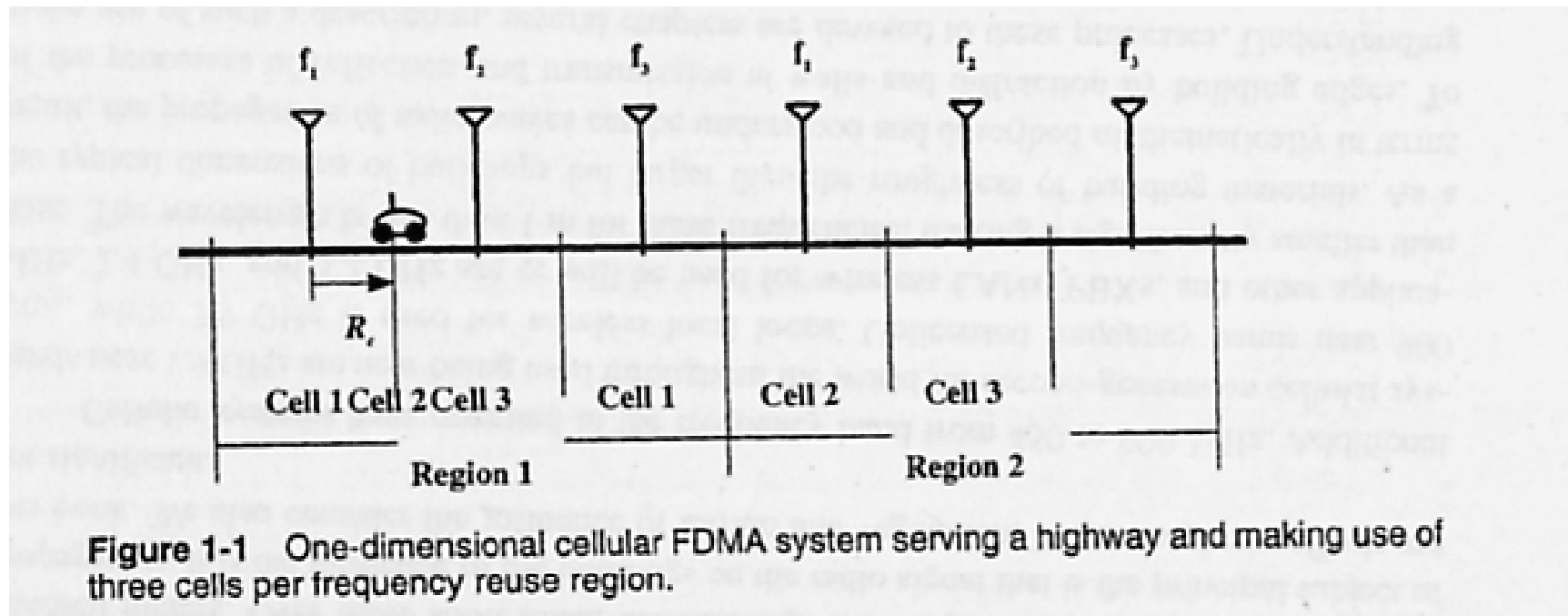
Supponiamo che la zona sia suddivisa in un certo numero di regioni in cui sono riutilizzate le stesse frequenze e che ogni regione sia a sua volta suddivisa in N_r celle di raggio R_c , ciascuna operante ad una determinata frequenza (compresa fra f_1 per la prima cella ed f_{N_r} per la cella N_r -esima).



Caratteristiche della propagazione urbana

ESEMPIO: Copertura di una zona lineare (autostrada, linea ferroviaria).

Nella fase di downlink un utente mobile che si trova nella cella 1 della regione 1 riceverà il valore più basso di potenza P e il valore più alto di interferenza I dalla regione 2 quando si troverà nei pressi del confine fra le due celle 1 e 2.



Caratteristiche della propagazione urbana

ESEMPIO: Copertura di una zona lineare (autostrada, linea ferroviaria).

Valutiamo il rapporto tra interferenza e segnale ricevuto nel terminale mobile in questa situazione, che rappresenta il caso peggiore (worst case) per il sistema.

La legge di variazione dell'ampiezza sarà del tipo:

$$P_R = \frac{P_T \cdot A}{R^n}$$

La potenza del segnale che arriva al terminale mobile vale:

$$S = \frac{P_T \cdot A}{R_C^n}$$

Caratteristiche della propagazione urbana

Il segnale interferente dipende da N_r (numero di celle con canali diversi).

Se per esempio $N_r=3$, ho $N_r-1 = 2$ celle di distacco tra due celle che utilizzano la stessa frequenza/canale.

Il segnale interferente vale (supponendo che tutte le stazioni radiobase trasmettano la stessa potenza P_T):

$$I = P_T \cdot \frac{A}{(2N_R - 1)^n \cdot R_C^n}$$

dove a denominatore è indicata la distanza fra la più vicina stazione radiobase interferente ed il terminale mobile:

$$(N_R - 1) \cdot (2R_C) + R_C = 2R_C N_R - 2R_C + R_C = (2N_R - 1) \cdot R_C$$

Caratteristiche della propagazione urbana

Il rapporto tra il segnale e l'interferenza nel caso peggiore (a bordo cella) è :

$$\frac{S}{I} = (2N_R - 1)^n$$

Se il ricevitore fosse dentro la cella riceverebbe un'interferenza non molto diversa, mentre il segnale ricevuto sarebbe molto più elevato ed S/I molto più grande.

Nel caso tipico (sistema cellulare statunitense Advanced Mobile Phone System AMPS) il valore di S/I richiesto deve essere superiore a 17dB.

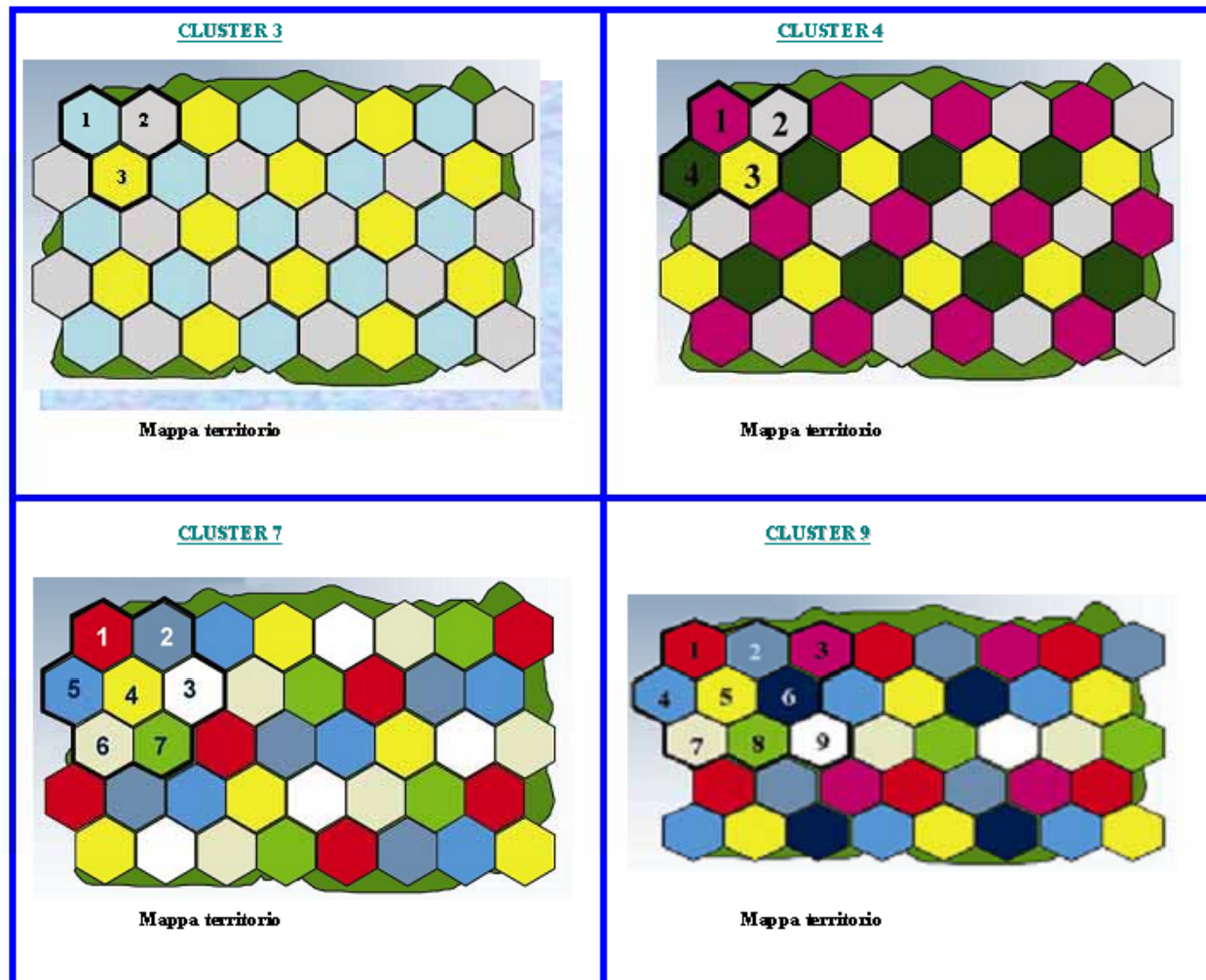
In condizioni di spazio libero ($n=2$) dovrei avere almeno $N_r = 4$ celle per ogni regione.

Con attenuazioni più forti (ad es. $n=4$) N_r può anche essere uguale a 2 (otterrei 19 dB).

Caratteristiche della propagazione urbana

Progetto di copertura bidimensionale per area metropolitana:

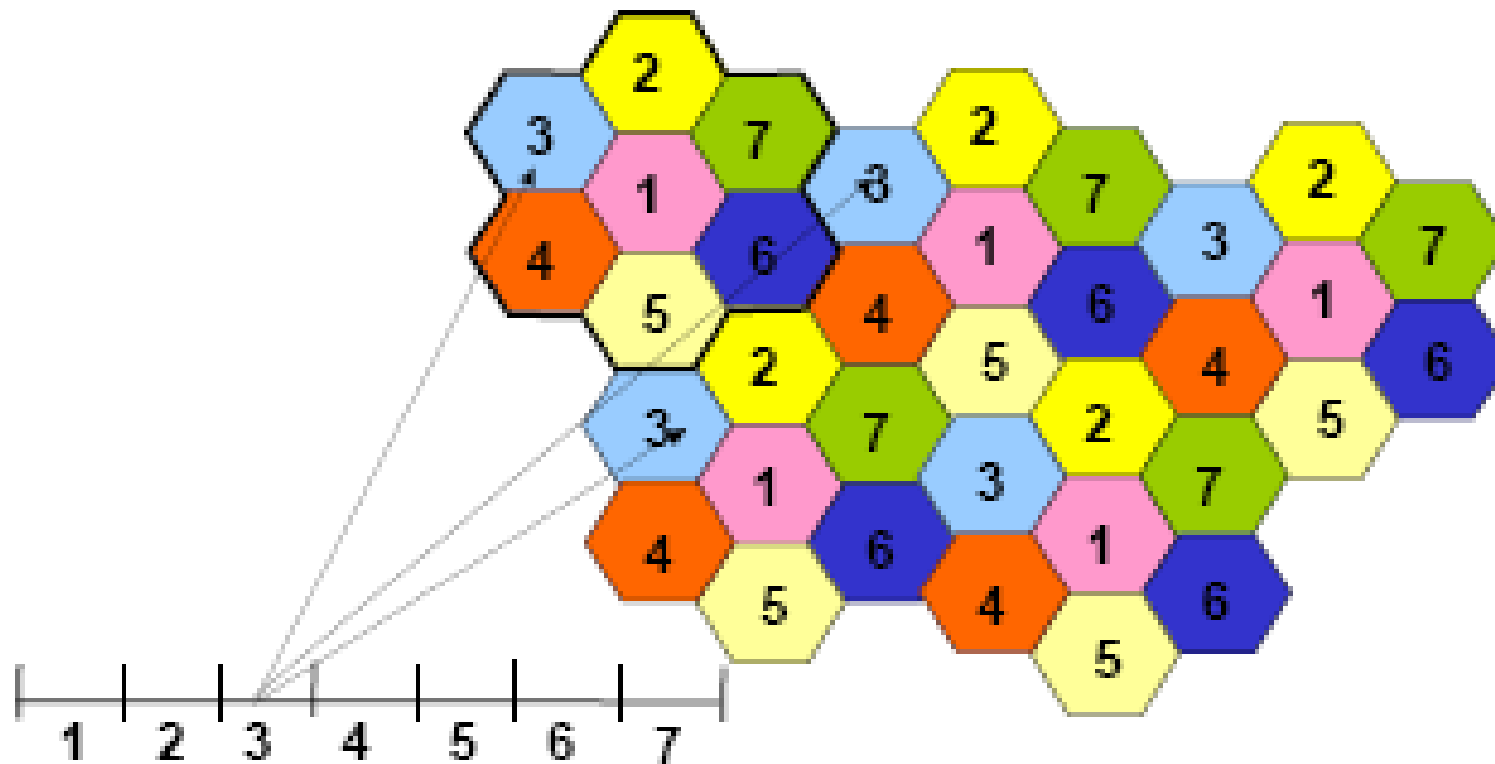
celle esagonali → ogni cella avrà più di una cella adiacente



Caratteristiche della propagazione urbana

Il caso tipico di riuso del canale prevede di suddividere la zona in regioni avente ciascuna 7 celle.

Riutilizzo delle frequenze



Caratteristiche della propagazione urbana

CLUSTER: insieme di celle adiacenti che utilizzano tutte le frequenze (canali) disponibili.

Le celle che formano un cluster, per ragioni geometriche di copertura, non possono essere di numero qualsiasi ma possono assumere solamente i valori 1,3,4,7,9,12,13,16,19,21 e così via.

Celle a frequenze diverse sono fra loro disgiunte, mentre celle che utilizzano la stessa frequenza sono dette di “co-canale”.

Supponiamo che tutti i trasmettitori siano posti al centro di ogni cella.

D: distanza tra i centri di due celle che utilizzano la stessa frequenza

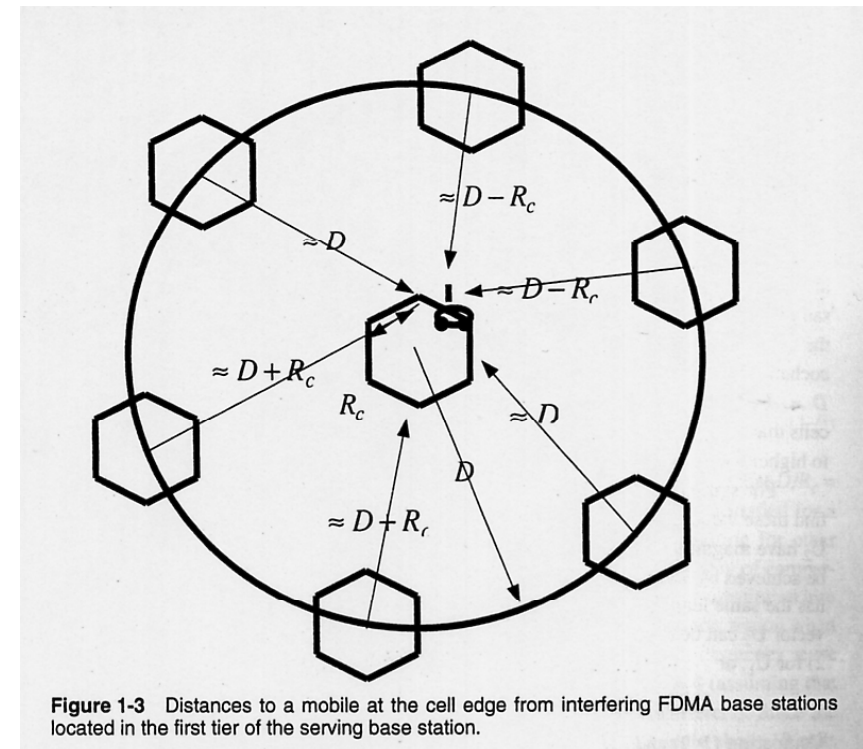
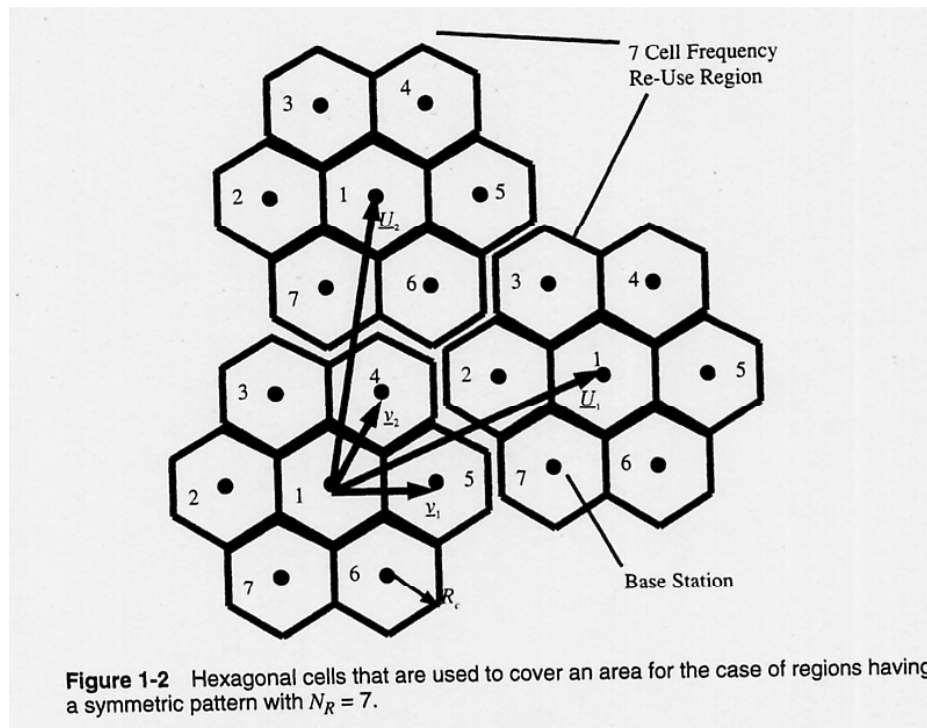
R_c : raggio di ogni cella (massima distanza tra centro e bordo della cella).

Caratteristiche della propagazione urbana

Le celle di co-canale giacciono in un perimetro circolare (tier) attorno alla cella centrale.

La distanza fra il centro della cella centrale e i centri delle celle di co-canale è la stessa per un determinato tier.

Nel primo tier vi sono 6 celle di co-canale, tutte poste a distanza D dalla cella di riferimento.



Caratteristiche della propagazione urbana

L'area di ogni regione contenente 7 celle si dimostra essere pari nel caso esaminato a $D^2 \cdot \sin 60^\circ$.

Ogni cella esagonale ha invece area pari a $3 \cdot (R_c)^2 \cdot \sin 60^\circ$.

Il legame fra il numero di celle N_R e la distanza D di riutilizzo delle frequenze è:

$$A_{regione} = D^2 \cdot \sin 60^\circ = N_R \cdot A_{cella} = N_R \cdot (3R_c^2 \cdot \sin 60^\circ) \quad \Rightarrow \quad N_R = \frac{1}{3} \left(\frac{D}{R_c} \right)^2$$

Valutiamo l'interferenza di downlink dovuta alle celle di co-canale, supponendo che il ricevitore sia posto al bordo della cella.

Supponiamo che la legge di variazione dell'ampiezza per il segnale trasmesso dalla RBS sia pari a $P_T \cdot A/R^n$.

Caratteristiche della propagazione urbana

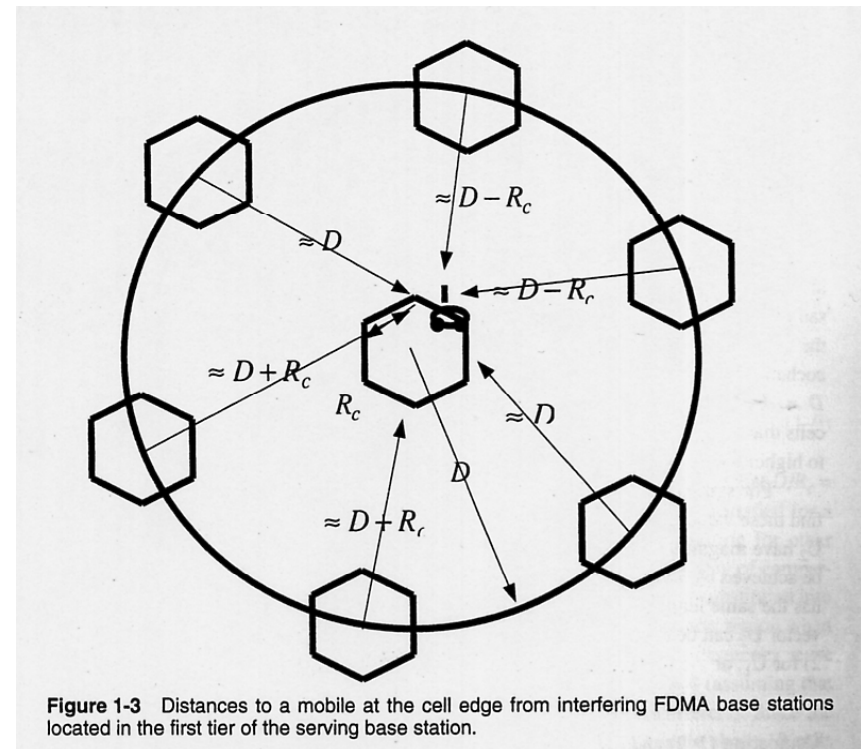
Il segnale ricevuto dal terminale mobile vale :

$$S = \frac{P_T \cdot A}{R_C^n}$$

Il segnale interferente è dato, almeno, dalla somma dei 6 segnali provenienti dalle 6 celle in cui riutilizzo il canale/frequenza.

La distanza fra ognuna di queste 6 celle e la cella centrale si può ridurre alla somma di tre coppie di termini uguali.

Le tre distanze uguali in genere si approssimano con : $D+R_c$, $D-R_c$ e D .



Caratteristiche della propagazione urbana

$$\begin{aligned}
 I &= P_T \cdot A \cdot \left[\frac{1}{(D - R_C)^n} + \frac{1}{(D)^n} + \frac{1}{(D + R_C)^n} + \frac{1}{(D - R_C)^n} + \frac{1}{(D)^n} + \frac{1}{(D + R_C)^n} \right] = \\
 &= 2 \cdot P_T \cdot A \cdot \left[\frac{1}{(D - R_C)^n} + \frac{1}{(D)^n} + \frac{1}{(D + R_C)^n} \right] = 2 \cdot \frac{P_T \cdot A}{R_C^n} \cdot \left[\frac{1}{\left(\frac{D}{R_C} - 1\right)^n} + \frac{1}{\left(\frac{D}{R_C}\right)^n} + \frac{1}{\left(\frac{D}{R_C} + 1\right)^n} \right]
 \end{aligned}$$

Il rapporto S/I vale quindi:

$$\begin{aligned}
 \frac{S}{I} &= \frac{\frac{P_T \cdot A}{R_C^n}}{2 \cdot \frac{P_T \cdot A}{R_C^n} \cdot \left[\frac{1}{\left(\frac{D}{R_C} - 1\right)^n} + \frac{1}{\left(\frac{D}{R_C}\right)^n} + \frac{1}{\left(\frac{D}{R_C} + 1\right)^n} \right]} = \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{1}{\left(\sqrt{3N_R} - 1\right)^n} + \frac{1}{\left(\sqrt{3N_R}\right)^n} + \frac{1}{\left(\sqrt{3N_R} + 1\right)^n} \right]
 \end{aligned}$$

Caratteristiche della propagazione urbana

Nel caso di legge di attenuazione del segnale con $n=4$, il valore $N_R=7$ garantirebbe un rapporto S/I di circa 17dB.

Nella propagazione in spazio libero, invece, per la quale $n=2$, il numero di N_R necessario ad ottenere lo stesso valore S/I diventa circa di 100 celle (improponibile).

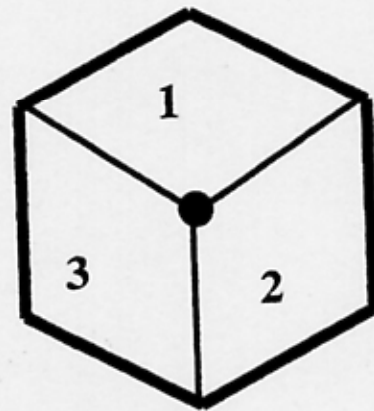
Quindi nelle zone in cui l'andamento della potenza è più decrescente rispetto allo spazio libero ($n>2$), l'attenuazione più elevata può creare problemi di copertura, ma permette di risolvere problemi di interferenze consentendo di riutilizzare il canale molto più vicino.

E' possibile aumentare il rapporto segnale rumore senza incrementare il numero delle RBS utilizzando antenne direzionali che introducono anisotropia nella copertura.

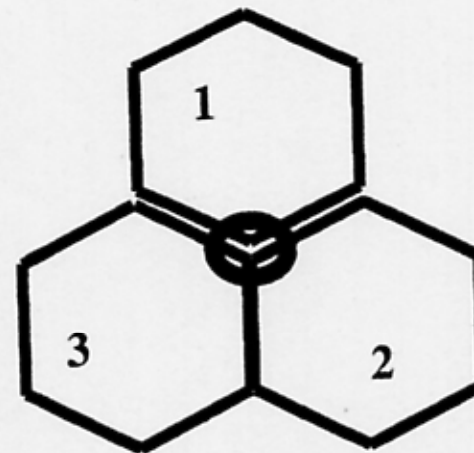
Caratteristiche della propagazione urbana

Se consideriamo una copertura con $N_R=7$, ogni cella esagonale può essere divisa in 3 settori, in ciascuno dei quali si utilizza una antenna con fascio di 120° .

Ciascuna delle tre antenne dovrà utilizzare una frequenza diversa.



(a)



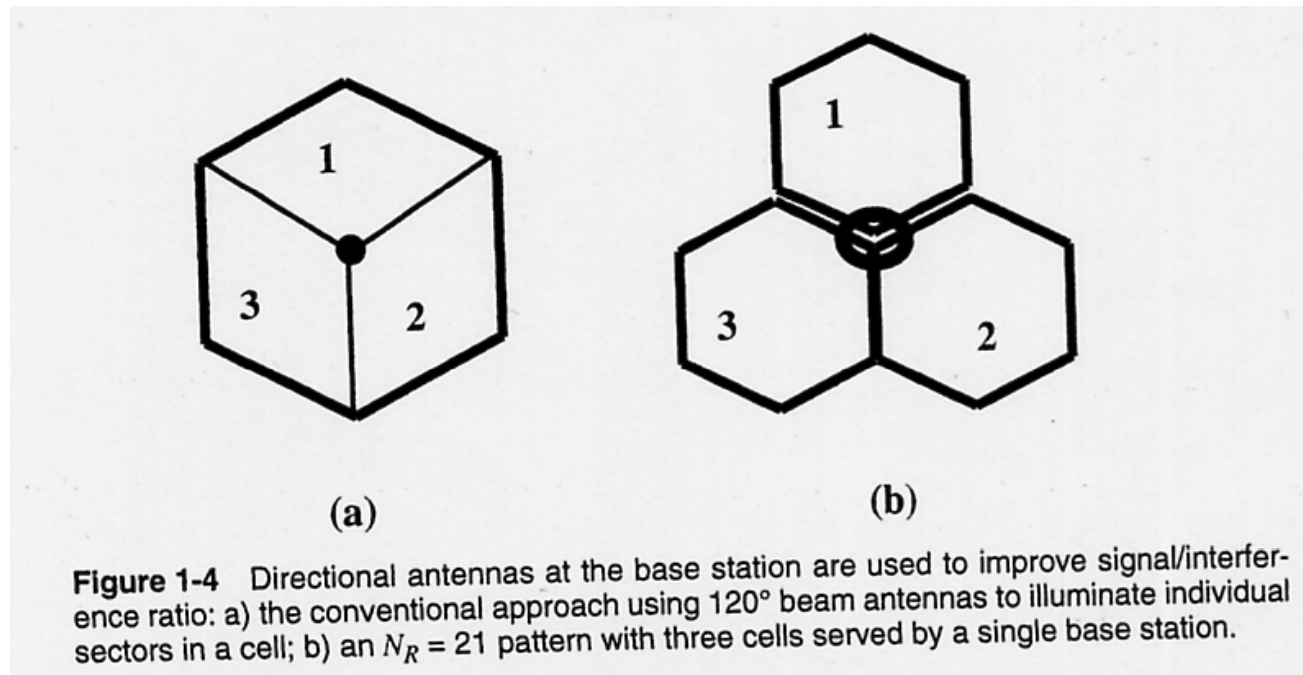
(b)

Figure 1-4 Directional antennas at the base station are used to improve signal/interference ratio: a) the conventional approach using 120° beam antennas to illuminate individual sectors in a cell; b) an $N_R = 21$ pattern with three cells served by a single base station.

Caratteristiche della propagazione urbana

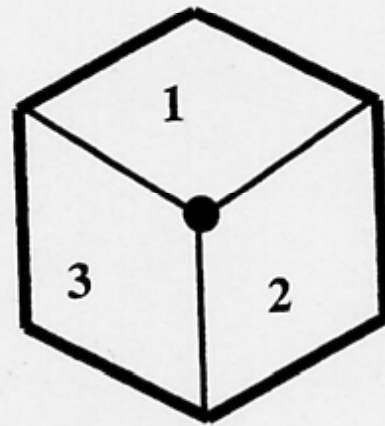
Di conseguenza si dovranno avere non più 7 bande di frequenza diverse, ma $7 \times 3 = 21$ bande di frequenza, e quindi una tale configurazione richiede un aumento di N_R .

Di contro, con l'utilizzo di antenne direzionali si riduce il numero di RBS che possono causare interferenza e si incrementa la distanza fra il terminale mobile posto al bordo della cella principale e la più vicina RBS interferente.

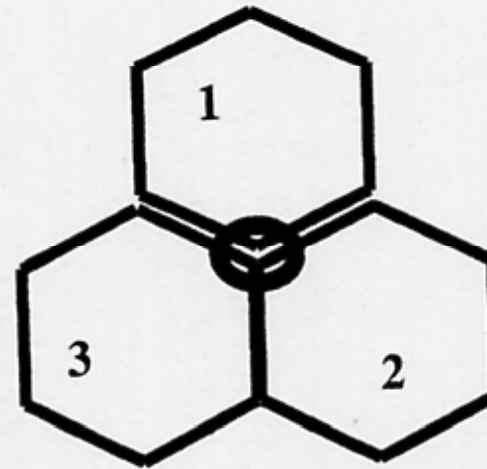


Caratteristiche della propagazione urbana

In alternativa, si può organizzare la copertura dividendo ogni regione in $N_R=21$ celle e posizionare le RBS sul vertice della cella e non nel suo centro.



(a)



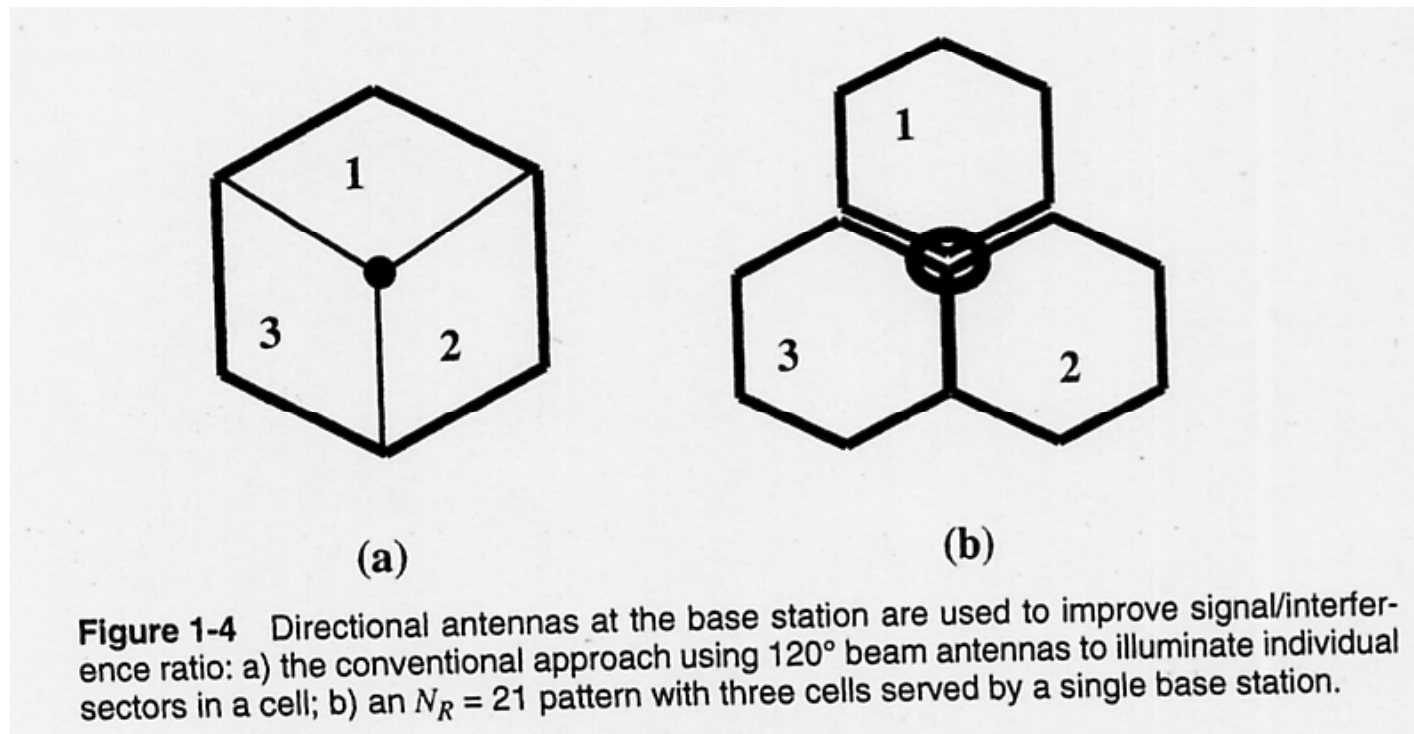
(b)

Figure 1-4 Directional antennas at the base station are used to improve signal/interference ratio: a) the conventional approach using 120° beam antennas to illuminate individual sectors in a cell; b) an $N_R = 21$ pattern with three cells served by a single base station.

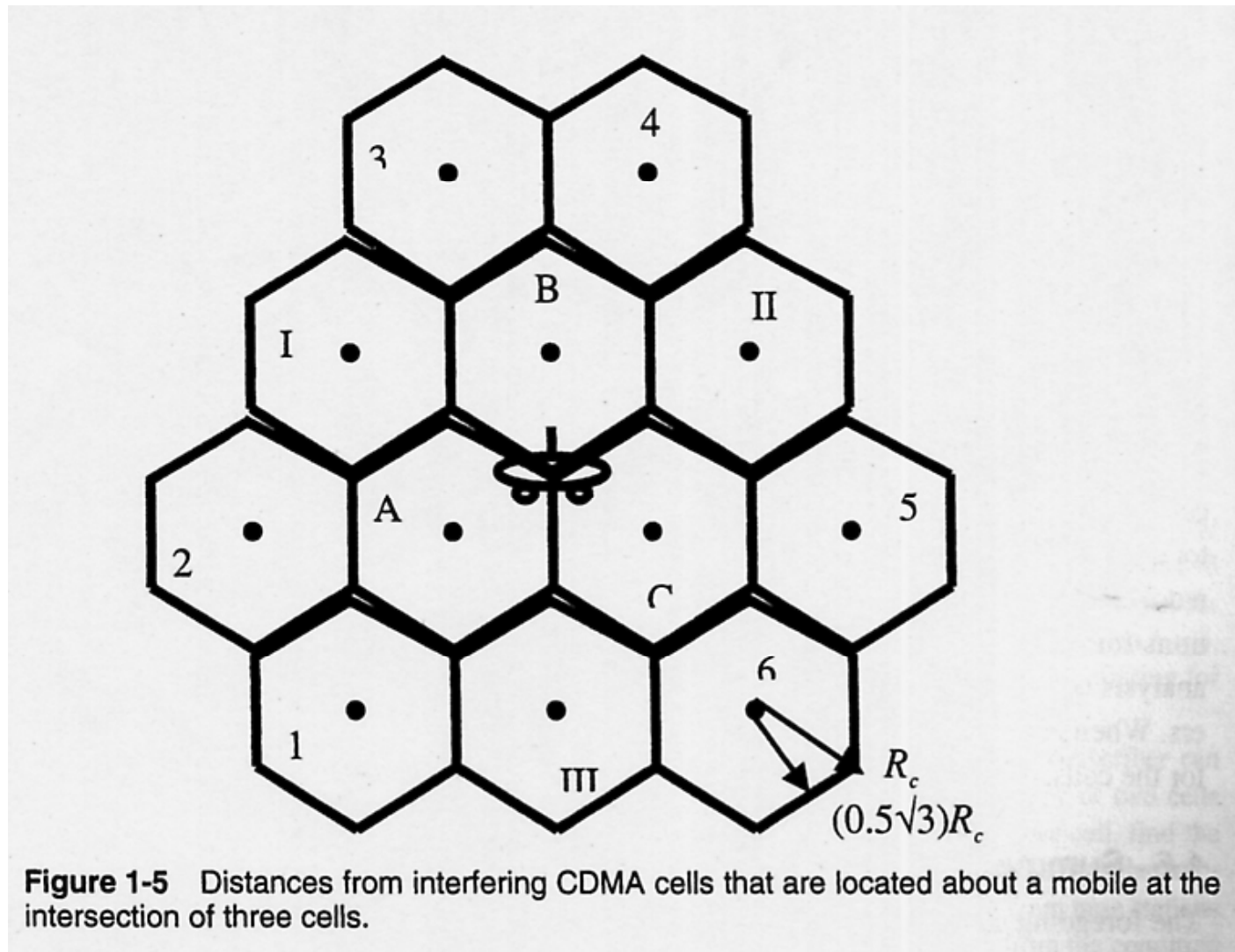
Caratteristiche della propagazione urbana

In questo modo ogni RBS serve 3 celle. Inoltre, ognuna delle 3 celle può essere servita con una antenna direzionale con 60° di larghezza di fascio.

Rispetto al caso (a), con questo approccio (in cui le antenne delle RBS hanno un fascio più stretto) le RBS alla stessa frequenza della cella principale in cui si trova l'utente producono una interferenza minore.



Caratteristiche della propagazione urbana



Caratteristiche della propagazione urbana

Nella banda di frequenze assegnata ai sistemi cellulari (UHF, 300 MHz - 3 GHz) la lunghezza d'onda è inferiore al metro, ed è quindi piccola rispetto alle dimensioni degli edifici.

Ha senso dunque descrivere la propagazione in ambiente urbano mediante la teoria dei raggi (Optica Geometrica).

In AU esistono molti percorsi che collegano Tx e Rx e che coinvolgono i fenomeni di riflessione, trasmissione, diffrazione e diffusione (scattering) da edifici, veicoli, persone, vegetazione, ecc.

L'esistenza di questi percorsi multipli permette di ricevere il segnale anche quando il percorso diretto fra Tx e Rx è ostruito, ossia quando Tx e Rx sono in una situazione di NLOS (Non-Line-of-Sight) e non si vedono l'una con l'altra.