

Sistemi CDMA

1.1 Premessa

L'accesso multiplo a divisione di codice è un concetto radicalmente nuovo nei sistemi di comunicazione *wireless*. Esso ha ricevuto un ampio consenso da parte degli operatori di sistemi cellulari per le sue potenzialità in termini di capacità e della qualità del servizio.

Tale tecnica è stata originariamente impiegata per applicazione di tipo militare per la sua capacità sia di rigettare interferenze volontarie (anti-jamming, AJ) sia di consentire la segretezza della comunicazione (bassa probabilità di intercettazione, LPI). La sua storia risale ai tempi della Seconda Guerra Mondiale.

L'uso del CDMA per applicazioni civili fu proposto per la prima volta negli anni cinquanta ma la sua commercializzazione e' legata al più recente sviluppo tecnologico che ha reso disponibile circuiti ad alta densità d'integrazione e a basso costo.

In questo capitolo viene descritta tale tecnica di accesso multiplo analizzandone gli aspetti generali. Viene poi presentato un sistema CDMA, adottato negli Stati Uniti, noto come *IS-95* -interim standard 95-.

Infine si introducono i sistemi cellulari di terza generazione che adottano il CDMA come modalità di accesso multiplo per la sua grande promessa sia di garantire un notevole aumento della capacità, rispetto ai tradizionali sistemi radiomobili di seconda generazione, e sia di soddisfare alle notevoli esigenze di banda di una nuova comunicazione multimediale globale di dati, video e voce.

1.2 Le tecniche di accesso multiplo.

Una delle principali caratteristiche di ogni sistema di comunicazione cellulare è la tecnica di accesso multiplo, intesa come la capacità del sistema di supportare contemporaneamente più utenti. In altre parole un certo numero di utenti condivide un insieme di canali radio ed ogni utente può avere accesso a un qualunque canale (ad ogni utente, cioè non è assegnato sempre lo stesso canale). Si può pensare a un canale come una porzione di una limitata risorsa radio, la quale è temporaneamente dedicata ad uno specifico scopo, ad esempio una telefonata. Un metodo di accesso multiplo è una definizione di come lo spettro radio sia suddiviso in canali indipendenti e di come essi siano distribuiti sui vari utenti del sistema. Le tecniche di accesso multiplo più comunemente impiegate sono la "*frequency division multiple access (FDMA)*", la "*time division multiple access (TDMA)*", e il "*code division multiple access (CDMA)*".

Differenti tipi di sistemi cellulari utilizzano differenti tecniche di accesso.

Nei tradizionali sistemi analogici (AMPS e TACS), l'intera banda a disposizione del sistema viene suddivisa in sottobande e a ciascun canale compete una diversa frequenza cosicché in ogni istante di tempo utenti diversi accedono alla risorsa comune sfruttando una separazione in frequenza (FDMA), come mostra la seguente figura:

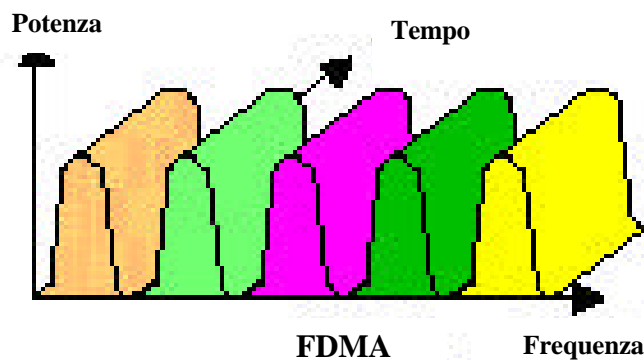


Figura 1.1 FDMA :differenti canali sono assegnati in differenti bande di frequenza

I singoli canali sono assegnati su richiesta da parte di ogni singolo utente. Durante il tempo della chiamata, nessun altro utente può condividere la stessa banda di frequenza. Le principali caratteristiche di un sistema FDMA sono qui riassunte:

- un canale FDMA supporta solo una chiamata in ogni istante
- se un canale non viene utilizzato, esso non potrà essere impiegato da altri utenti per aumentare la capacità ed è quindi una risorsa sprecata
- dopo l'assegnazione di un canale vocale, la stazione base e il terminale mobile trasmettono simultaneamente e con continuità
- la larghezza di banda di un canale è relativamente stretta (30 kHz)
- dal momento che il sistema prevede una trasmissione continua, è richiesto un minor numero di bit di overhead, necessari per la sincronizzazione e per il framing, rispetto ai sistemi TDMA
- i costi di sistema di ciascuna cella sono più alti se comparati con quelli di sistemi TDMA, a causa dei costi dei singoli canali e della necessità di usare costosi filtri passabanda per eliminare le componenti spurie nelle stazioni base e le interferenze tra canali adiacenti

Nei moderni sistemi digitali (NADC e GSM) la banda impiegata dal sistema è suddivisa in diverse portanti, ciascuna delle quali è a sua volta suddivisa in intervalli di tempo separati (*time-slots*), permettendo a più utenti di utilizzare la stessa portante in istanti di tempo (time slot) differenti (TDMA):

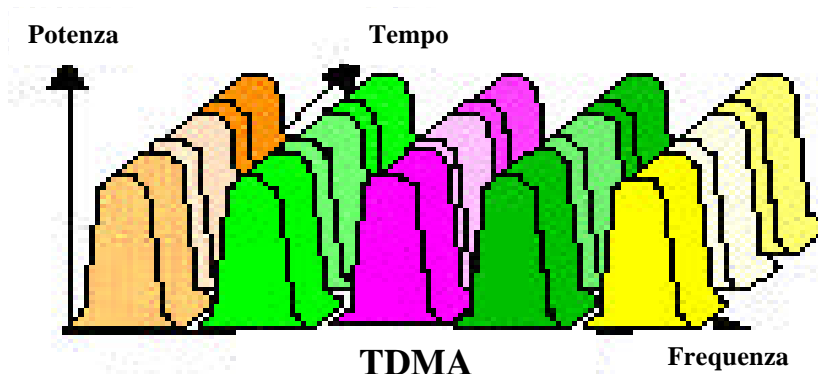


Figura 1.2 TDMA: ogni canale occupa periodicamente un solo time slot

Ogni utente occupa quindi un singolo time slot all'interno di una struttura periodica costituita da più time slot detta frame. Nei sistemi TDMA la trasmissione dei dati è di tipo "buffer and burst", cioè la trasmissione è discontinua, i dati quindi vengono prima memorizzati e poi trasmessi solo durante il time slot dedicato al singolo utente; questo significa anche che è richiesta, a differenza dei sistemi FDMA, una modulazione digitale.

Le trasmissioni di vari utenti sono interallacciate all'interno del frame, costituito da un preambolo, dai bit del messaggio e dai bit di chiusura (trail bit); il preambolo contiene l'indirizzo e le informazioni di sincronizzazione utilizzate dalle stazioni base e dai mobili per il riconoscimento reciproco. Sono previsti intervalli di guardia tra differenti time slot e frame per permettere la sincronizzazione del ricevitore. Le caratteristiche principali dei sistemi TDMA sono qui riassunte:

- una singola frequenza portante trasporta più utenti, che utilizzano differenti time slot. Il numero di time slot per frame dipende da diversi fattori, come la tecnica di modulazione, la banda disponibile, etc.
- la trasmissione è discontinua a burst e permette un minor consumo delle batterie dei mobili, inoltre grazie a tale modalità di trasmissione, il processo di handoff è più semplice dal momento che ogni mobile è in grado di ascoltare il segnale di altre base station durante i periodi di non trasmissione
- un overhead in termini di bit è richiesto per il processo di sincronizzazione

Nei sistemi CDMA tutti gli utenti usano la stessa frequenza portante e possono trasmettere contemporaneamente e con continuità.

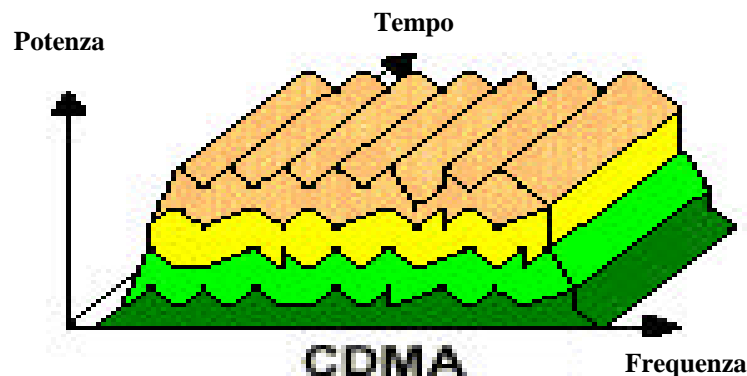


Figura 1.3 CDMA: ad ogni canale è associata un'univoca sequenza pseudo-aleatoria

Ciascun utente è univocamente identificato non più da una separazione in frequenza o nel tempo ma mediante codici numerici pseudo aleatori, ortogonali tra di loro, e trasmette indipendentemente senza alcuna conoscenza degli altri utenti. Il ricevitore mediante un processo di correlazione che fa uso di tali codici, rileva il canale desiderato. Tutti gli altri codici appaiono come rumore nel processo di correlazione. Quindi, mentre, i precedenti ricevitori radio separavano i diversi canali mediante filtri analogici nel dominio della frequenza, quelli di tipo CDMA, sebbene non eliminano interamente il processo di elaborazione analogica, permettono la separazione dei canali di comunicazione mediante una modulazione pseudo-aleatoria che, applicata in trasmissione, è rimossa in ricezione in modo digitale e non più su base frequenza. Più utenti occupano la stessa banda, essendo divisi nel dominio dei codici. L'aspetto caratteristico del CDMA è che sebbene vi siano limiti al numero di chiamate contemporanee per ogni portante, tale numero non è fisso, e quindi la capacità complessiva del sistema dipende da diversi fattori come sarà chiarito più avanti.

Alcuni dei principali vantaggi legati a tale tecnologia sono:

- Forte aumento della capacità di traffico telefonico
- Notevole miglioramento della qualità della voce ed eliminazione dei disturbi udibili dovuti al *fading*
- Riduzione del numero delle chiamate interrotte a causa di fallimenti nel processo di *hand-off*
- Meccanismi di trasporto altamente affidabili per la comunicazione dati, quali fax e traffico Internet
- Riduzione del numero di siti necessari per supportare una data quantità di traffico con conseguente riduzione dei costi di installazione e mantenimento
- Riduzione della potenza media trasmessa
- Riduzione delle interferenze con altri apparati elettronici
- Riduzione dei potenziali rischi per la salute

1.3 Introduzione ai sistemi CDMA: aspetti generali

1.3.1 Piano di copertura tradizionale

La grande promessa della tecnologia CDMA è un notevole aumento della capacità rispetto ai tradizionali sistemi ad accesso multiplo a banda stretta. Semplici modelli suggeriscono un incremento della capacità di un fattore pari a 20 rispetto ai sistemi AMPS e TACS.

Un modello ideale di sistema ad accesso multiplo comprende un insieme di stazioni base, "celle", distribuite sull'area di servizio, e stazioni mobili. Tale modello fu originariamente proposto dai Bell Laboratories come un metodo che avrebbe consentito un aumento della capacità di traffico. Con riferimento ad un generico sistema cellulare, consideriamo una geometria idealizzata come in figura 1.4

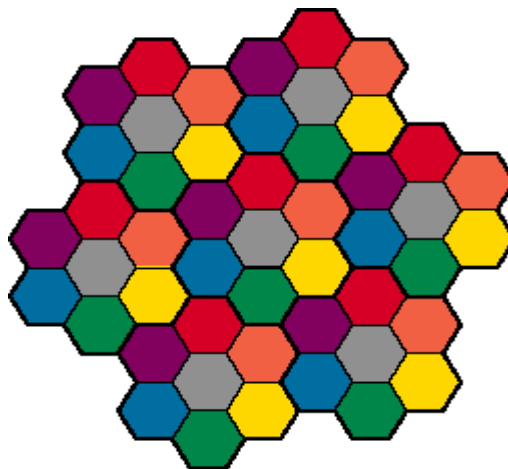


Figura 1.4 Piano di copertura tradizionale

Ad ogni cella è assegnata un set di frequenze. La stessa frequenza ovviamente non può essere utilizzata in celle adiacenti. L'insieme di celle che comprende l'intero numero di canali del sistema è detto cluster, il quale costituisce l'unità atomica del piano di copertura. La figura 1.4 mostra un piano di copertura con

cluster a 7 celle esagonali. Un insieme unico di canali è assegnato ad ognuna delle 7 celle e la configurazione a cluster è quindi replicata sull'area di interesse.

Sebbene tale configurazione non sia applicabile a tutti i sistemi reali, tale pattern è approssimativamente un buon modello di copertura. La capacità di un tale sistema è determinata dalla larghezza di banda del singolo canale e dal fattore di riuso (numero di celle che costituiscono il cluster) pari, nel nostro esempio, a 7. Detto N il numero totale di canali ed n il fattore di riuso, la massima capacità per cella è pari a N/n .

In seguito all'enorme successo commerciale della tecnologia cellulare tale metodo ha cominciato ad evidenziare alcuni limiti. Un primo passo per far fronte alle pressanti richieste in termini di capacità è stato quello di ridurre le dimensioni delle celle con il conseguente aumento della loro densità. Tale soluzione comporta però non solo un aumento della frequenza di *handoff* determinando un incremento della probabilità di avere una chiamata interrotta, ma anche un overhead in termini di costi di installazione e di manutenzione. Tali problemi evidenziano quindi la necessità di una soluzione alternativa.

1.3.2 La “magia” del CDMA

Il CDMA offre una risposta ai problemi di capacità. CDMA utilizza lo *spread spectrum*, una tecnica di modulazione digitale che *diffonde* l'informazione contenuta nel segnale d'interesse su una banda molto più grande di quella minima richiesta per la trasmissione, in pratica il messaggio a banda stretta da trasmettere viene combinato con un segnale a banda larga detto *spreading signal*, tale segnale è una sequenza numerica pseudo-aleatoria (PN: pseudo-noise sequence) che ha un rate notevolmente più grande di quello dei dati originari.

La figura seguente mostra il processo di spreading e l'allargamento della banda che da esso deriva:

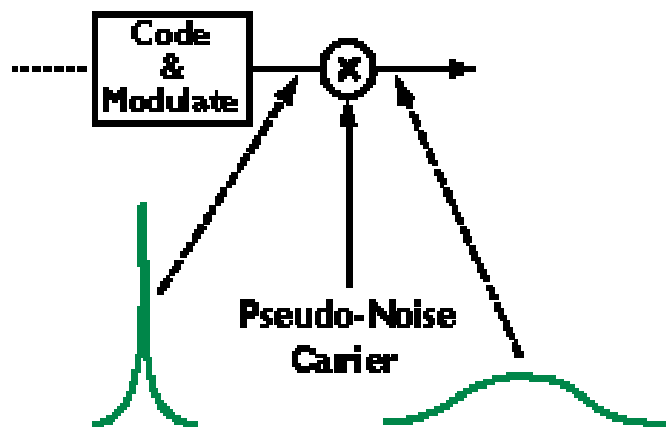


Figura 1.5 processo di spreading

In corrispondenza del ricevitore un segnale spread spectrum viene demodulato attraverso un processo di correlazione con una versione della sequenza PN generata localmente come mostra la seguente figura:

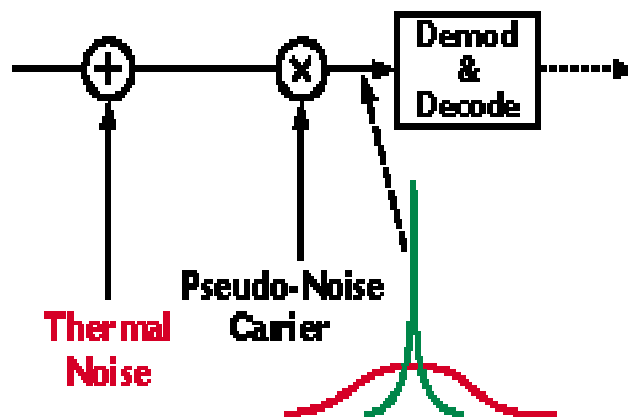


Figura 1.6 processo di despreading

Il rapporto segnale rumore SNR viene migliorato poi con un filtraggio a banda stretta che rigetta la potenza indesiderata e il guadagno che si ottiene è definito *processing gain* W/R , dove W è la banda del segnale trasmesso e R è il tasso di trasmissione. Ad ogni utente è assegnato un particolare codice PN. Essendo tali sequenze ortogonali tra loro, più utenti possono utilizzare negli stessi istanti di tempo la stessa portante. In ricezione il recupero dell'informazione associato a ciascun canale è ottenuto tramite una correlazione tra il segnale ricevuto e il

codice associato al particolare canale d'interesse. La figura 1.7 descrive in sintesi il processo di demodulazione detto *despreading*.

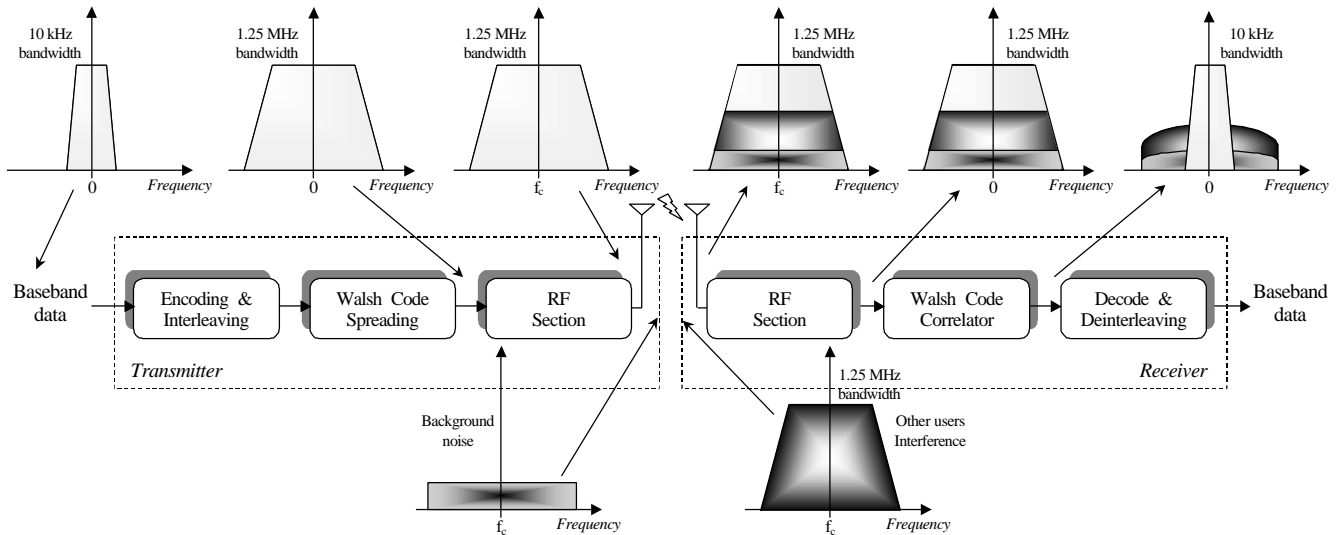


Figura 1.7 Processo di recupero del segnale

Il segnale a banda stretta originario (in verde nella figura) viene diffuso e trasmesso. In corrispondenza dell'antenna ricevente al segnale desiderato si aggiungono i termini di interferenza dovuti sia agli altri segnali CDMA che condividono la stessa banda in ogni istante e che in un sistema cellulare possono provenire dalla stessa cella o da cella adiacenti, sia al rumore del canale e a segnali spuri (segnali colorati in figura). Tutti i segnali, essendo sovrapposti in frequenza, non possono essere discriminati e, quindi, eliminati semplicemente con un filtraggio passabanda. Il processo di demodulazione pertanto si basa sull'uso di una versione locale della sequenza pseudo-aleatoria univoca per ogni segnale.

La correlazione con la sequenza PN corretta, infatti, ripristina il segnale originario a banda stretta, mentre il rumore e il contributo relativo agli altri segnali indesiderati, essendo incorrelati con il codice utilizzato subiscono il processo di diffusione della potenza e si presentano dunque come una forma di rumore a larga banda, che può essere eliminata mediante un filtraggio a banda stretta.

La possibilità di separare ciascun utente mediante un codice e non più su base frequenza o su base temporale, permette di introdurre un nuovo piano di copertura che prevede per i vari utenti l'utilizzo contemporaneo dell'intera banda a disposizione.

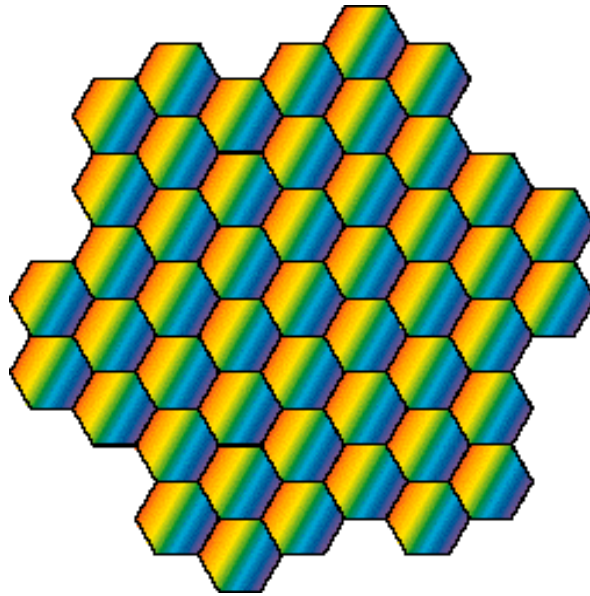


Figura 1.8 Nuovo piano di copertura

La capacità di tale sistema è determinata dall' SNR richiesto per la corretta demodulazione del segnale e dal processing gain. Il parametro che descrive le prestazioni di un ricevitore digitale correttamente progettato è l'SNR:

$$\frac{E_b}{N_0} \equiv \frac{\text{Energy per bit}}{\text{Power spectral density of noise + interference}}$$

N_0 e' dato, in un sistema spread spectrum, dalla somma del rumore e dell'interferenza dovuta agli altri utenti. L'SNR necessario per conseguire un particolare tasso d'errore dipende da diversi fattori tra i quali il codice a correzione d'errore utilizzato e il *fading* introdotto dal canale. Per ricevitori commerciali esso varia tra i 3dB e i 9 dB.

L'energia per bit è legata alla potenza del segnale e al suo rate:

$$E_b = P_s / R$$

N_0 , supposto lo spettro del segnale rettangolare, è pari a:

$$N_0 = F_N k_B T_0 + W^{-1} \sum_{\text{other users}} P_i$$

dove il primo termine rappresenta il rumore termico del ricevitore (F_N è la figura di rumore del ricevitore) mentre il secondo è il contributo d'interferenza degli altri utenti. Riscrivendo l'equazione dell'SNR in termini di R e W si ottiene

$$(E_b/N_0)_j = (P_j/R) / (F_N k_B T_0 + W^{-1} \sum_i P_i)$$

e quindi aumentando il rapporto W/R è possibile tollerare valori maggiori di N_0 .

1.3.3 Il problema del near-far

L'uso della tecnologia CDMA per applicazioni di tipo cellulare è stato reso possibile grazie al superamento del gravoso problema del near-far. Assumiamo costante la potenza trasmessa da tutte le stazioni. In un ambiente radio mobile, alcuni utenti si possono trovare nelle vicinanze della stazione base, altri ad una distanza superiore. La differenza di attenuazione dovuta alla propagazione può essere notevole. Supponiamo, per esempio che siano presenti solo due utenti, e che entrambi trasmettano una potenza tale da trascurare gli effetti del rumore. Allora l'SNR espresso in dB è:

$$\left(\frac{E_b}{N_0} \right)_{dB} = \frac{W}{R} + P_j - P_i$$

Se ci sono 30 dB di differenza tra le attenuazioni e una differenza tra i rapporti SNR dell'utente più vicino e di quello più lontano di 60 dB, per ricevere correttamente l'utente più lontano occorrerebbe un processing gain di 40 dB o W 10000 volte superiore al data rate con un'efficienza spettrale irrisoria, molto

peggiore del più inefficiente sistema FDMA o TDMA. Al contrario, se si sceglie un processing gain più ragionevole l'utente più lontano non riceve alcun servizio.

1.3.4 Il controllo della potenza

Per superare tali inconvenienti, bisogna rimuovere l'ipotesi secondo la quale la potenza trasmessa sia la stessa per tutti i trasmettitori e introdurre un controllo della potenza affinché la potenza ricevuta da tutti gli utenti sia grosso modo la stessa. Assumendo un perfetto controllo della potenza, la somma del rumore più l'interferenza è data da

$$\begin{aligned} N_0 + I_0 &= N_0 + (N-1)P_s \\ N_0 &= F_N k_B T_0 \end{aligned}$$

dove N è il numero totale di utenti. L'SNR diviene

$$\frac{E_b}{N_0 + I_0} = \frac{P_s/R}{N_0 + (N-1)P_s/W} = \frac{W/R}{(N_0 W/P_s) + N - 1}$$

La massima capacità è raggiunta se il controllo di potenza è tale che l'SNR garantisca un'accettabile probabilità d'errore. Fissato l'SNR risolvendo l'ultima equazione rispetto a N si ottiene la capacità del sistema CDMA:

$$N - 1 = \frac{W/R}{\left(\frac{E_b}{N_0 + I_0}\right)_{\text{target}}} - \frac{N_0}{P_s} \xrightarrow{P_s \rightarrow \infty} \frac{W/R}{\left(\frac{E_b}{N_0 + I_0}\right)_{\text{target}}}$$

Nel caso particolare dello standard IS-95 con un tasso di 9600 bps e un W pari a 1.2288 MHz si ottiene:

$$N \approx \left(\frac{W}{R}\right)_{\text{dB}} - \left(\frac{E_b}{N_0 + I_0}\right)_{\text{target, dB}} \approx 21.1 - 6 \text{ dB} = 15.1 \text{ dB}$$

cioè N=32. L'SNR pari a 6 dB è un valore nominale. Con il controllo di potenza si ha un *trade off* tra la capacità e la qualità del servizio nel senso che tali parametri sono reciproci: un aumento di 3 dB dell'SNR comporta un dimezzamento della capacità e viceversa.

Analisi più sofisticate, che prendono in esame anche altri fattori qui trascurati, mostrano comunque un netto miglioramento rispetto ai tradizionali sistemi a banda stretta. Con un E_b/N_0 variabile tra i 3 e i 9 dB si ottiene un valore per la capacità variabile tra 16 e 64.

Dall'equazione che fornisce N_{limite} si osserva che, idealmente, la potenza trasmessa dal generico mobile dovrebbe tendere all'infinito all'approssimarsi di N al suo valore limite. Poiché la potenza richiesta aumenta, i mobili all'estremità dell'area di copertura non sono in grado di erogare un valore di potenza adeguato. Cioè è loro richiesto di trasmettere una potenza che superi le loro possibilità. La pratica conseguenza di ciò è che il carico del sistema dovrebbe essere opportunamente controllato, in modo da evitare fallimenti di copertura dovuti a tale fenomeno.

1.3.5 Dettagli sul Controllo della Potenza

E' stata precedentemente messa in luce (par. 1.3.4) la necessità di un controllo di potenza al fine di garantire un corretto funzionamento del sistema cdma. L'ipotesi, secondo la quale la potenza ricevuta dalla stazione base dai vari utenti sia la stessa, poggia evidentemente sulla considerazione che i mobili siano in grado di variare la loro potenza trasmessa. Tale fatto rappresenta un vincolo pesante se si considera che, in un tipico scenario radio-cellulare, non di rado si incontrano perdite dovute alla propagazione di 80 dB. Per un tipico link budget di un sistema IS -95 ciò significa che il trasmettitore del mobile deve essere in grado di variare la potenza trasmessa in un range che si estende dai 2.5 nW ai 0.25 W. Il problema è particolarmente sentito nel tratto reverse in quanto al ricevitore della stazione base arrivano più segnali da fonti diverse. Per trattare un intervallo di variabilità così ampio sono stati adottate due tecniche di controllo, una a ciclo aperto, l'altra a ciclo chiuso.

- **Controllo a Ciclo Aperto**

Il mobile stima le perdite dovute alla propagazione misurando il livello di potenza ricevuta con un AGC (Automatic Gain Control). Tale potenza, che include

segnale utile, rumore e interferenza, è utilizzata nella relazione seguente per determinare la potenza da trasmettere:

$$\text{Rx Power (dB)} + \text{Tx Power (dB)} = -73 \text{ dB (mW}^2\text{)}$$

Notiamo che questa è una relazione reciproca, nel senso che all'aumentare della potenza ricevuta, quella trasmessa diminuisce.

I comandi di adeguamento della potenza sono trasmessi al mobile tramite messaggi di overhead, dipendenti dall'effettiva potenza radiata dalla cella (ERP) e dalla sensibilità del ricevitore.

- **Controllo a ciclo chiuso**

Tale controllo è una sorta di correzione fine sulla stima della potenza nel ciclo aperto. La cella misura l' E_b/N_0 ricevuto e lo compara con una soglia (che in generale varia dinamicamente): se il valore misurato è inferiore a tale soglia la stazione base invia un messaggio, "up", che comanda un aumento della potenza trasmessa dal mobile, se tale valore supera la soglia si invia un messaggio di "down". Il mobile, regola la sua potenza coerentemente alla stima della potenza fornita dal controllo a ciclo aperto e tali regolazioni sono dell'ordine di un dB a comando. Non è previsto un comando del tipo "non far niente", un tale evento è codificato con due comandi in successione di up e di down. Le informazioni di controllo sono inviate ogni 1.25 ms a cui corrisponde una frequenza di 800 correzioni al secondo. Da risultati eseguiti su sistemi funzionanti su larga scala si verifica che gli errori sulla stima di E_b/N_0 hanno una distribuzione log-normale con deviazione standard di circa due dB.

Il meccanismo di controllo visto si è dimostrato essere particolarmente efficace soprattutto se il fading non è troppo profondo. Fortunatamente proprio nelle situazioni in cui il controllo di potenza inizia a non essere efficace le tecniche di codifica e di interleaving consentono il mantenimento delle prestazioni, conferendo così, robustezza al meccanismo.

1.3.6 L'Handoff

L'atto del trasferimento della gestione di un radiomobile da una stazione base a un'altra è chiamato handoff (oppure handover).

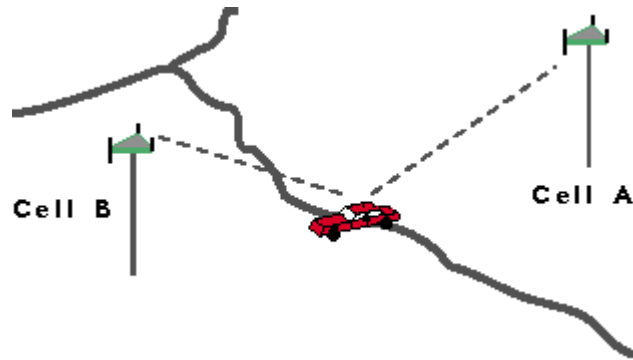


Figura1. 9 Handoff

Nel cdma avere un handoff performante è una vitale necessità, di conseguenza in questo paragrafo si dedicherà una particolare attenzione a questo importante aspetto.

L'implementazione di tale processo è radicalmente diversa dai tradizionali sistemi a banda stretta, e rappresenta uno dei punti di forza della tecnologia cdma.

Indipendentemente dalla tecnologia impiegata i passi principali da eseguire sono:

1. Partire da uno stato in cui un'unica stazione base supporta il mobile in questione.
2. Determinare che la qualità del link corrente sta diminuendo e trovare una nuova stazione a cui "passare" la conversazione.
3. Informare la cella individuata al passo precedente dell'imminente handoff fornendole, inoltre, tutte le informazioni necessarie all'identificazione del mobile e all'esecuzione dell'handoff
4. Avvertire il mobile di iniziare ad eseguire l'handoff
5. La nuova cella inizia a servire il mobile.
6. Il mobile inizia ad usare la nuova cella.
7. Il mobile smette di usare la vecchia cella.
8. La vecchia stazione smette di servire il mobile.
9. Entrare in uno stato in cui solo la nuova stazione supporta il mobile.

La maniera tradizionale di eseguire l'handoff (ad es. AMPS) comporta una serie di problemi. Innanzitutto, il meccanismo è di tipo "hard" nel senso che la comunicazione è momentaneamente interrotta quando si passa da una cella all'altra. Inoltre, la comunicazione avviene sempre con una sola stazione base e quindi non si può beneficiare dei vantaggi che una diversità in tal caso comporterebbe. Gli eventi che danno luogo all'handoff sono essenzialmente basati su misure, da parte della stazione base, della potenza ricevuta dal mobile, atte a stimare quando il livello ricevuto scenda sotto una prefissata soglia. Quando ciò accade, si interrogano altre stazioni predefinite candidate. Tale soglia non può essere troppo bassa pena una qualità della voce troppo scadente negli istanti prossimi all'handoff. Si capisce comunque che tale soglia non può essere tenuta ad un livello troppo alto, infatti se si ha una sensibilità eccessiva la frequenza di handoff (numero di eventi nell'unità di tempo) può essere tale da comportare una probabilità di interruzione della chiamata insostenibile per i livelli di capacità richiesti.

Nel cdma l'handover è di tipo "soft" nel senso che c'è uno stato della chiamata in cui due o più stazioni base supportano il mobile. Tale meccanismo richiede evidentemente che le stazioni base multiple siano in grado di trasmettere lo stesso traffico al mobile in questione e tale diversità (nel numero delle stazioni base) migliora notevolmente le prestazioni rispetto alle tecnologie tradizionali. Vediamo come sia possibile ottenere più di una stazione impegnata nel processo di handoff. Il mobile discrimina le stazioni sulla base del loro rapporto pilota-interferenza, PIR. Tale valore è confrontato con una soglia assoluta: le stazioni che superano tale valore entrano a far parte del così detto insieme delle celle *attive*. La seconda soglia è di tipo relativo. Si valutano le differenze tra il PIR più alto e tutti gli altri, quando una di tali valori è inferiore alla soglia la stazione base corrispondente esce dal set di stazioni attive.

Con tale sistema si garantiscono ottime prestazioni in termini di rapporto segnale rumore al ricevitore, il quale beneficia di tale diversità in quanto combina coerentemente segnali provenienti da più stazioni attive.

Ulteriori miglioramenti sono garantiti dall'introduzione di soglie variabili dinamicamente. Infatti, è stato osservato sul campo che la procedura di soft

handoff può in alcuni casi influire negativamente sulla capacità e sulle risorse della rete. L'aggiustamento del livello della soglia di handoff non necessariamente risolve i problemi.

La procedura di inserimento di una nuova pilota nel set attivo, nel caso di soglia dinamica, prevede i seguenti passi:

La stazione mobile rileva le pilota che superano una data soglia statica $T1$, la metrica per tale rilevazione è il rapporto E_c/I_o dell'energia per chip e la potenza totale ricevuta. Quando una pilota supera $T1$, essa entra a far parte delle celle candidate all'handoff. A questo punto viene controllata frequentemente una seconda soglia dinamica $T2$, funzione dell'energia totale delle pilota attive demodulate coerentemente. Sarà il confronto con questa nuova soglia a determinare se la stazione base candidata debba diventare attiva.

In questo modo quando le pilota attive sono deboli, l'aggiunta di una nuova (anche se debole) migliora le prestazioni; mentre con una o più pilota dominanti, l'aggiunta di una più debole che superi $T1$ non migliora le prestazioni ma comporta uno spreco di risorse. La figura 1.10 mostra la differenza tra la soglia statica e quella dinamica.

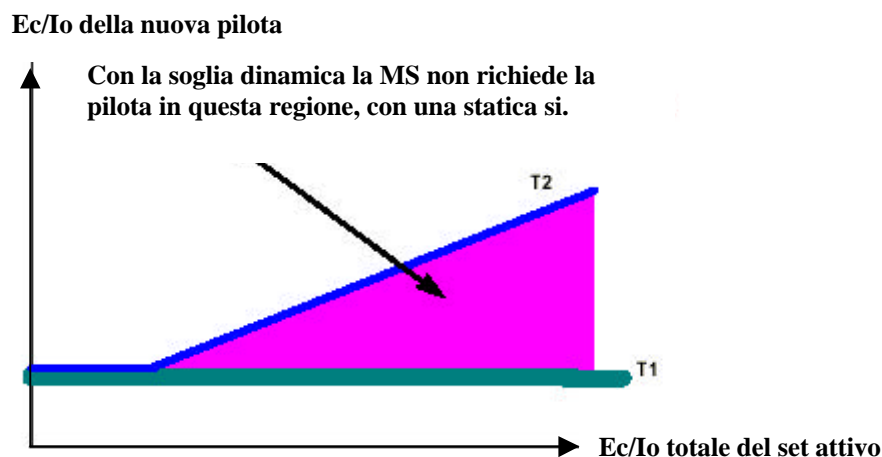


Figura 1.10 differenza tra soglia statica e soglia dinamica

Dopo aver rilevato una pilota sopra T_2 , il terminale mobile riporta tale informazione alla rete la quale provvede ad allocare le risorse necessarie per l'handoff e ordina al mobile di demodulare coerentemente questa ulteriore pilota.

Quando il livello di una pilota scende sotto una ulteriore soglia dinamica T_3 , funzione dell'energia totale delle pilota attive, viene rimossa dall'insieme delle attive e reinserita tra le candidate. Ad una successiva diminuzione del livello sotto una nuova soglia T_4 , si ha la rimozione definitiva. La figura 1.11 mostra l'evoluzione temporale degli eventi associati al soft handoff quando il mobile lascia la stazione base Pilot1 per essere servito dalla Pilot2.

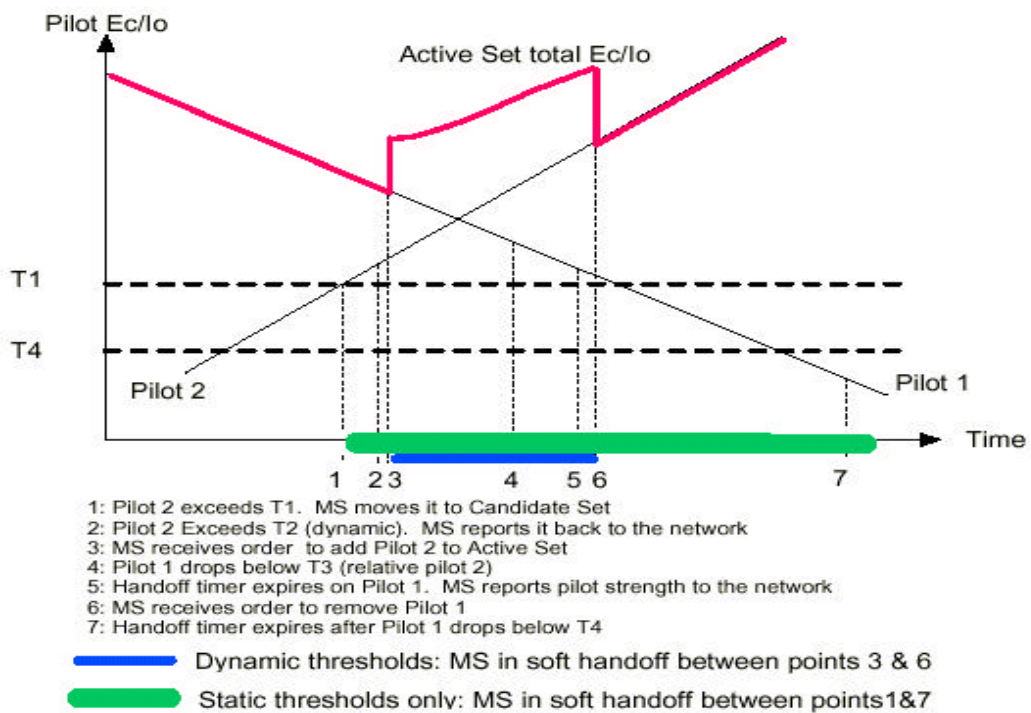


Figura 1.11 Evoluzione del processo di handoff nel tempo

Il principale vantaggio di tale tecnica è di limitare il ricorso all'handoff solo quando questo è strettamente necessario.