

Approfondimenti sul sistema UMTS¹

1 Aspetti trasmissivi del sistema di accesso UTRA (UMTS Terrestrial Radio Access)

Gli aspetti generali relativi alle modulazioni QPSK (4-PSK) e BPSK (2-PSK) sono stati trattati nell'Unità 8. Analizziamo ora la loro implementazione nel CDMA. Lo schema di principio di un modem (modulatore-demodulatore) QPSK per CDMA viene riportato in FIGURA 1 e può essere spiegato come indicato qui di seguito.

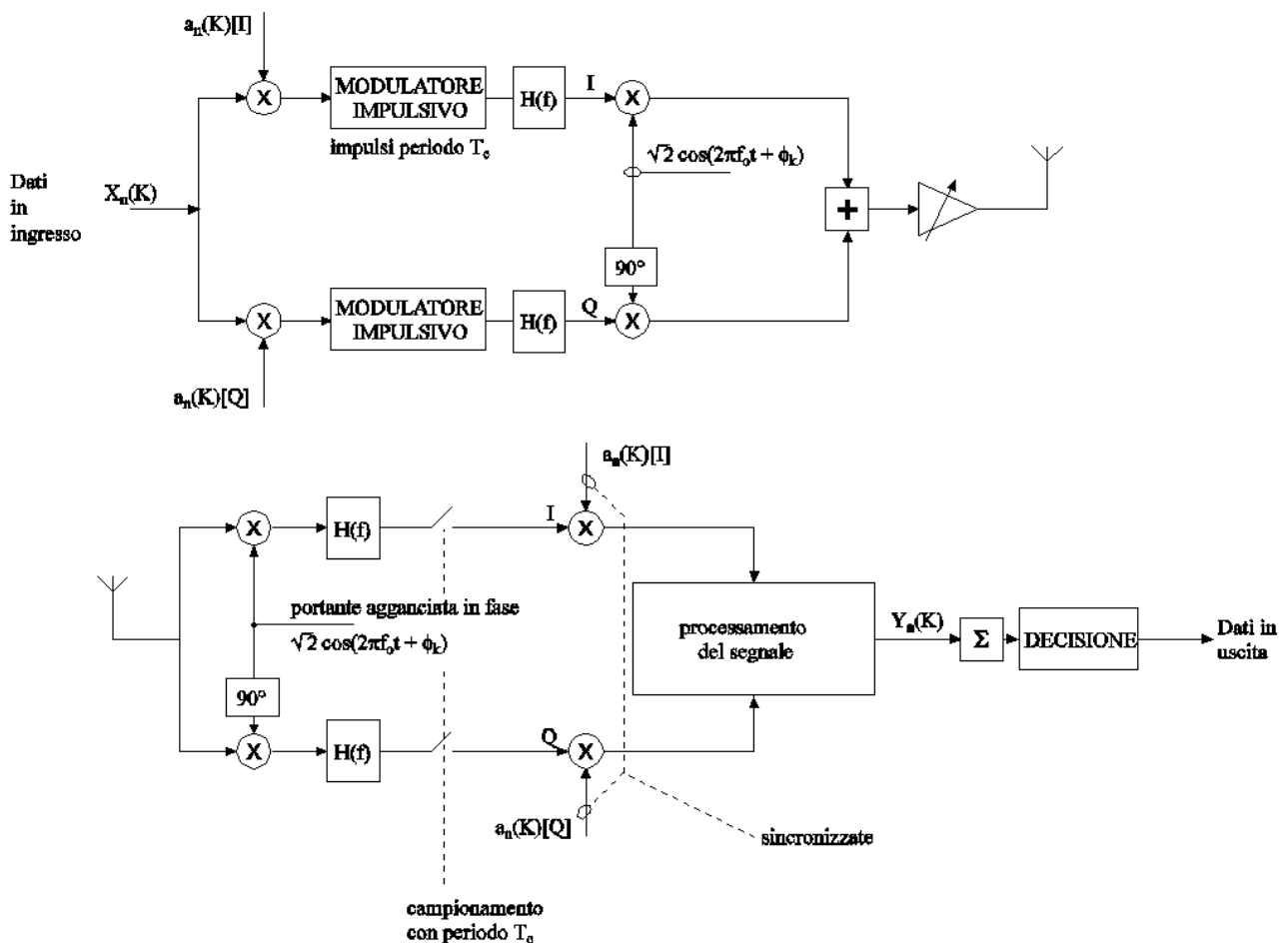


FIGURA 1 Schematizzazione di principio di un modem QPSK di tipo *spread spectrum*.

• Modulazione

Il modulatore è composto da due sezioni:

- la prima sezione esegue lo spreading, moltiplicando i bit in ingresso per una sequenza di codice pseudocasuale.

L'effetto di sparpagliamento (*spreading*) del segnale modulante su una banda W [Hz], viene generato mediante la modulazione della sequenza informativa $x_n(k)$ con una sequenza (pseudo) casuale binaria $a_n(k)$, generata da un clock avente periodo T_c .

Un singolo termine del segnale che rappresenta la sequenza pseudocasuale viene denominato *chip*, per cui la durata del *chip* è pari a T_c (per lo standard UTRA, $T_c = 1/3,84$ [Mchip/s] = 260,4 [ns]), mentre si indica con E_c l'energia di ogni *chip*. La durata della sequenza di dati (bit o simboli) $x_n(k)$ è un multiplo intero della durata di *chip* T_c .

Con l'indice k si indica l'utente k -esimo del sistema ad accesso multiplo.

Il filtro lineare con funzione di trasferimento $H(f)$ serve a limitare il segnale in banda;

¹ Gli approfondimenti sono basati su un contributo dell'ing. Rocco Meo Bertazioli, *Corso di telecomunicazioni* © 2014 Zanichelli editore SpA

- la seconda sezione è costituita da un modulatore I-Q che effettua la modulazione QPSK vera e propria, traslando (*up conversion*) attorno alla frequenza portante (radiofrequenza, RF) il segnale ottenuto dallo spreading.

• Demodulazione

Anche il demodulatore è composto da due sezioni:

- la prima sezione è costituita da un demodulatore coerente, il quale esegue la demodulazione del segnale radio captato, convertendolo da RF in banda base; le operazioni effettuate sono quindi le seguenti: down conversion (conversione in basso), filtraggio e campionamento a frequenza $1/T_c$ per ricostruire i *chip* ricevuti;
- la seconda sezione effettua il de-spreading e il processamento del segnale che consente di riottenere la sequenza di bit trasmessa.

Per semplicità si suppone che il generatore pseudorandom in ricezione $a_n(k)$ sia perfettamente sincronizzato con il segnale equivalente in trasmissione.

Questo è un aspetto fondamentale della tecnica CDMA, poiché si ha una corretta demodulazione soltanto quando il ricevitore utilizza la corretta sequenza $a_n(k)$ (codice unico per ogni utente), perfettamente sincronizzata con il trasmettitore (gli effetti dei cammini multipli sono per il momento trascurati).

Relativamente al k -esimo utente, n -esimo *chip*, in uscita da un ramo del demodulatore saranno quindi presenti (FIGURA 2):

- a) il dato desiderato da estrarre $y_n(k)$, che dipende dal dato trasmesso $x_n(k)$;
- b) le componenti V_I dovute alla interferenza di interchip (corrisponde alla ISI^2 nel caso di demodulatori digitali), che dipendono dai dati $x_{n+m}(k)$ con $m \neq 0$;
- c) le componenti V_0 dovute al rumore di fondo, assunto bianco con densità N_0 [W/Hz];
- d) le componenti V_N dovute agli altri utenti $x_{n+m}(j)$, $j \neq k$; per tutti gli utenti si può considerare che le fasi dei rispettivi generatori pseudocasuali $a_n(j)$ siano non sincronizzate con quelle dell'utente k e che la fase relativa sia variabile tra 0 e 2π ; sotto queste ipotesi l'effetto della trasmissione dell'utente j -esimo sul demodulatore k -esimo sarà assimilabile a rumore bianco con densità $E_c(j)/T_c$.

La somma dei tre contributi sopracitati ($V_I + V_N + V_0$) può essere considerata come una portante BPSK modulata con una sequenza pseudocasuale (pseudorandom), ciò significa che gli effetti degli altri segnali (indesiderati) sono schematizzabili come rumore bianco (non correlato).

Il sommatore effettua l'accumulo su $n = 1/(R \cdot T_c)$ *chip* (periodi sui quali $x_n(k)$ è costante) e quindi

viene effettuata la decisione sul valore $Y = \sum_{n=1}^{1/RT_c} y_n(k)$.

La probabilità di errore nel caso di demodulatore coerente QPSK, in presenza di rumore bianco con densità spettrale I_0 , è pari a: $P_e = Q(\sqrt{2E_b/I_0})$, dove $Q()$ è una funzione denominata *funzione di errore*.

In questo caso si ha che $E_b = E_c(k)/(RT_c)$, mentre I_0 è la densità spettrale dell'interferenza (assimilabile a rumore bianco) che tiene conto delle due componenti V_N e V_0 , in quanto la terza componente (V_I) può essere considerata trascurabile.

Si ricorda, poi, che nel caso in cui la banda totale disponibile (banda di espansione) sia pari a $W = 1/T_c$ [Hz], per un dato rapporto E_b/I_0 , che determina una certa probabilità di errore, è possibile servire un numero di utenti per cella pari a

²Interferenza Inter - Simbolica

$$(n-1) \leq \frac{W/R}{E_b/I_o}.$$

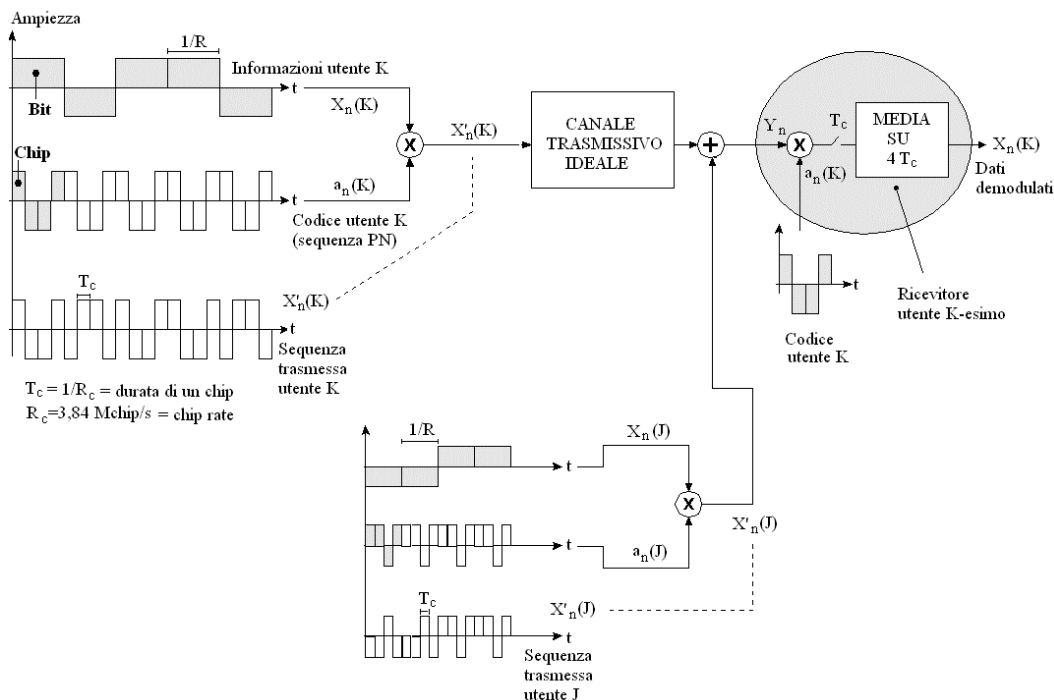


FIGURA 2 Schema di principio dello spreading.

Le ipotesi di base per una corretta modulazione / demodulazione possono essere così sintetizzate:

- le sequenze $a_n(\cdot)[I]$ e $a_n(\cdot)[Q]$ dei due rami in quadratura devono essere ortogonali, o nel caso vengano generate da uno stesso generatore di casualità, i vettori iniziali per la loro generazione vanno separati da un offset casuale³;
- in ricezione la fase e la frequenza della portante, $\cos(2\pi \cdot f_0 + \phi_k)$, devono essere perfettamente sincronizzate con quelle del segnale trasmesso (tecniche di demodulazione coerente mediante PLL, *Phase Locked Loop* descritto nel CAPITOLO 9 del VOLUME 2); analogamente la temporizzazione della sequenza di *chip* è sincronizzata con quella del trasmettitore.

L'obiettivo di ottenere accettabili prestazioni con il più basso rapporto E_b/I_o possibile, al fine di massimizzare la capacità del sistema, è inoltre perseguito con la minimizzazione degli effetti dovuti ai cammini multipli.

La stima del ritardo relativo tra i vari cammini viene effettuata mediante il cosiddetto ricevitore di *Rake*, che sfrutta un particolare segnale trasmesso dal sistema, la sequenza Pilota.

Essa è una sequenza pseudocasuale (Pseudo Noise, PN) a 3,84 Mchip/s che, invece di essere modulata da una sequenza informativa, è modulata con tutti '0' ed è trasmessa da ogni Base Station (BS).

Ogni ramo (L) del ricevitore, detto *finger*, estrae un possibile valore del ritardo del segnale affetto da cammini multipli; il ricevitore ottimo, in base alla tecnica di massima verosimiglianza, effettua poi la somma pesata degli L contributi e determina il valore più probabile del ritardo. La FIGURA 3 rappresenta schematicamente un *finger* del ricevitore.

³Ogni generatore pseudocasuale genera una sequenza a partire da una sequenza iniziale detta di inizializzazione. L'aspetto fondamentale della tecnica di *spread spectrum* è la generazione di lunghe (la lunghezza determina la caratteristica di casualità o pseudorandom PN) e numerose sequenze di spreading, il più possibile scorrelate tra di loro (ortogonali): funzioni di Walsh/Hadamard e i generatori Long Code.

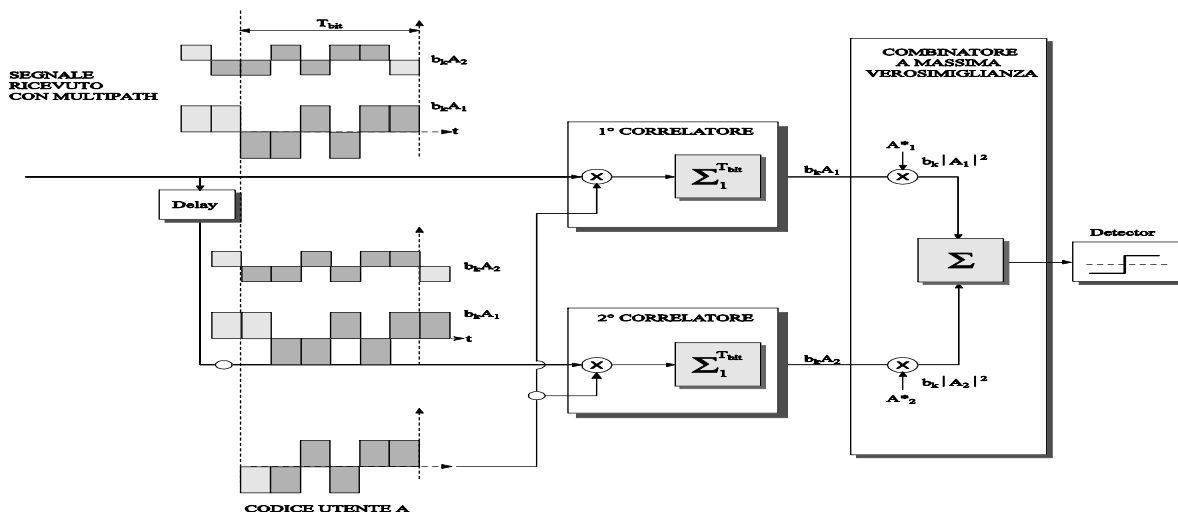


FIGURA 3 ricevitore di Rake.

2 Aspetti di sistema

Qui di seguito sono riportate le caratteristiche principali del sistema UTRA.

La struttura della cella è del tipo convenzionale, in cui ogni stazione radio base (BS, Base Station) è connessa a un controllore di sito, che controlla una o più BS, e l'insieme (BS)+(controllore di sito) forma un *Nodo B UMTS*.

L'apparato di utente viene denominato *Mobile station (MS)* o *User Equipment (UE)*.

I collegamenti tra BS e MS sono così denominati:

- *downlink (DL)* o *forward-link (FL)* per la tratta che va da BS a MS;
- *uplink (UL)* o *reverse-link (RL)* per quella da MS a BS.

Caratteristica fondamentale del sistema CDMA è il fatto che da un contenuto spettrale a banda stretta (multiplo di R [bit/s]) di tutte le informazioni (sia di sistema sia di traffico) che concorrono a definire un canale, si passa a un segnale che occupa una banda W [Hz] molto maggiore, mediante la tecnica di "sparpagliamento ortogonale" (*spreading*) effettuato da una specifica funzione di spreading⁴, detta codice ortogonale (il rapporto W/R è legato al fattore di spreading SF).

⁴Codici ortogonali di Gold, funzioni di Walsh. Queste sequenze di codici sono estratte da sequenze binarie di 42 chip, generate effettuando la somma modulo 2 con il Long Code generator e la appropriata funzione di spread (tra un set di n (ad esempio $n=64$) possibili combinazioni), l'indipendenza tra queste sequenze garantisce l'ortogonalità tra tutti i canali (in particolare: la sequenza di Walsh di indice 0 è assegnata al canale pilota, quella di indice 1 ai canali di traffico, la 2 per la segnalazione).

Come illustrato nella FIGURA 5 del CAPITOLO 12, la definizione di **canale fisico** nelle due modalità TDD (Time Division Duplex) e FDD (Frequency Division Duplex) è la seguente:

- a) per il TDD un canale fisico è univocamente identificato dall'insieme timeslot, codice e portante radio;
- b) per l'FDD un canale fisico è univocamente identificato dall'insieme portante radio, codice e, solo per l'*uplink*, fase del modulatore I Q (cioè se si opera sul ramo I o sul ramo Q).

Si sottolinea che nella modalità FDD il concetto di timeslot è diverso da quello del GSM, in quanto con il CDMA gli utenti condividono a divisione di codice la stessa portante radio.

Possono così esistere più utenti che trasmettono sulla stessa portante radio nello stesso momento, cosa che con il GSM (che adotta la tecnica TDMA) non può accadere pena la nascita di interferenze.

La suddivisione in timeslot consente però sia di associare i canali fisici ai canali logici, come illustrato in FIGURA 6, definire quale tipo di informazioni si trasmettono in un certo momento, sia di effettuare il controllo di potenza in modo accurato, tramite l'invio di appositi bit di controllo in ogni timeslot, sia di definire l'intervallo di tempo dopo il quale una MS può variare il bit rate (a ogni trama).

Nel TDD, invece, il concetto di timeslot assomiglia di più a quello del GSM, in quanto vanno definiti dei timeslot su cui si può solo trasmettere e dei timeslot su cui si può solo ricevere.

Anche qui, però, in uno stesso timeslot possono trasmettere più utenti contemporaneamente, a divisione di codice, grazie all'impiego della tecnica CDMA, per cui la tecnica trasmissiva viene definita TD-CDMA (*Time Division CDMA*).

Va evidenziato, quindi, che su ogni canale fisico, per entrambe le modalità TDD e FDD, coesistono contemporaneamente più utenti che accedono al servizio utilizzando diversi bit rate (voce oppure dati).

3 Livello fisico

Prima di entrare più in dettaglio nello studio degli aspetti più importanti del livello fisico, è necessario specificare alcune definizioni.

Nell'UMTS si definiscono i seguenti tre tipi di canali:

- *canali fisici* → sono costituiti da un insieme di timeslot (per il TDD), codice, frequenza;
- *canali di trasporto* → definiscono *come* e *con quali* caratteristiche le informazioni sono trasportate sull'interfaccia fisica.

Si dividono in *canali di trasporto comuni* e *canali di trasporto dedicati*.

Sono usati per gestire le procedure che coinvolgono oltre al livello fisico (layer 1) anche i livelli superiori, e cioè le misure di potenza necessarie alle procedure di diversità o di handover, la scansione dell'ambiente radio (ricerca dei canali disponibili), la sincronizzazione temporale di timeslot e di trama, il controllo di potenza, ecc.

- *canali logici* → definiscono il contenuto, cioè *cosa* è trasportato.

Si dividono perciò in *canali di traffico* vero e proprio, o TCH (*Traffic Channel*), e *canali di controllo*, suddivisibili in canali dedicati e canali comuni.

Nel dettaglio i *canali logici di controllo* sono i seguenti:

- *Canali dedicati* (DCH - *Dedicated CHannels*); sono attivi quando a una MS è già associato un canale fisico.

Sono canali di trasporto sia per l'*uplink* che per il *downlink* e servono al trasporto sia di informazioni di controllo tra rete e MS (stima del canale, controllo di potenza, velocità di trasmissione) sia al trasporto dell'informazione di ogni utente.

- *Canali comuni* (CCH - *Common CHannels*). Sono attivi quando deve essere identificato un canale fisico per una particolare MS che richieda un accesso alla rete.

Si dividono in *primari* e *secondari* a seconda che la velocità di trasmissione sia costante o variabile, in funzione dello Spreading Factor (SF); ne sono esempi i seguenti canali:

- a) *BCCH (Broadcasting Common CHannel)*, è specifico del solo downlink, trasporta informazioni di servizio diffuse (in broadcast) su tutta la cella;
- b) *FACH (Forward Access CHannel)*, trasporta nel solo downlink informazioni di controllo (per esempio il controllo di potenza) e informazioni di utente, verso una MS già identificata;
- c) *PCH (Paging CHannel)*, è specifico del solo downlink e trasporta informazioni di controllo verso una MS da identificare;
- d) *RACH (Random Access CHannel)* è specifico del solo *uplink* e trasporta informazioni provenienti da una MS (richiesta di accesso, controllo di potenza).
- e) *SCH (Synchronization CHannel)*, è specifico per ogni BS, quindi è trasmesso nel solo downlink. Il canale di sincronizzazione è trasmesso per consentire l'acquisizione da parte della MS della sincronizzazione temporale di chip (da cui estrarre poi tutte le altre sincronizzazioni: di timeslot, trama ecc.) e per l'acquisizione di frequenza.

Vediamo ora come avviene l'associazione tra canali logici e canali fisici.

Come indicato in FIGURA 4, prima di applicare lo spreading si proteggono le informazioni relative ai canali di trasporto dalle eventuali distorsioni, che possono subire nell'attraversare il mezzo fisico, mediante tecniche di codifica convoluzionale⁵, ripetizione di simboli⁶, interleaving⁷.

Prima della trasmissione, inoltre, si fanno transitare i dati in uno *scrambler* che rende le sequenze trasmesse il più possibile pseudocasuali.

Come noto, i due rami (I Q) del modulatore QPSK possono essere considerati come due modulatori BPSK indipendenti.

Le informazioni vengono poi multiplate nel tempo, andando a formare le seguenti strutture temporali:

- a) una *trama* avente durata pari a 10 [ms], che viene suddivisa in 15 timeslot;
- b) un *timeslot* ha quindi durata pari a $(10_{\text{ms}}/15) \approx 0,67$ ms; il numero di bit trasmessi per timeslot è legato al contenuto logico dell'informazione trasmessa, e cioè al servizio (voce, dati a varia velocità), mentre il numero di chip per timeslot è fisso e pari a 2560 *chip*;
- c) una *multitrama* formata da 72 trame consecutive e avente durata pari a 720 [ms].

A questo livello si attua la vera modulazione *spread spectrum*, per cui i simboli di informazione sono 'moltiplicati' con una particolare sequenza (o codice) di spreading, ottenendo un canale fisico caratterizzato da un chip rate fisso, pari a 3,84 Mchip/s, e da un bit rate (lordo) pari a

$$R=3840/\text{SF} \text{ [kbit/s]}$$

dove SF è lo Spreading Factor che si impiega.

L'identificazione delle BS, all'interno di una cella avviene mediante la trasmissione di una portante pilota, che permette la sincronizzazione di sistema a una qualsiasi MS presente nella cella. Queste portanti pilota sono trasmesse in ogni cella utilizzando lo stesso codice PN (di indice 0), ma

⁵Per quanto riguarda il servizio richiesto e quindi la prestazione concessa in termine di BER, è prevista una diversa codifica: per $\text{BER} \leq 10^{-6}$ (servizio dati) turbo codici oppure codici convoluzionali concatenati con Reed-Solomon, nel caso di $\text{BER} \leq 10^{-3}$ (servizio voce) è prevista la sola codifica convoluzionale.

⁶Dal momento che in ingresso al modulatore si possono avere bit rate diverse a seconda del contenuto del canale (utenti diversi che accedono con diverse velocità R), dopo la codifica convoluzionale si attua la così detta tecnica di 'ripetizione dei simboli' (rate matching statica e dinamica) che consiste nella duplicazione di una parte dei simboli in modo da uniformare la velocità in ingresso al modulatore QPSK e nel contempo fornire un ulteriore livello di protezione ai simboli da trasmettere.

⁷La tecnica di interleaving serve a proteggere l'informazione contro gli errori a burst che possono essere introdotti durante la trasmissione nel canale non ideale per effetto di cammini multipli.

generato con un differente offset iniziale, detto *spread spectrum code phase offset*, il che permette di distinguere le varie portanti pilota tra di loro e quindi identificare le BS che le hanno generate.

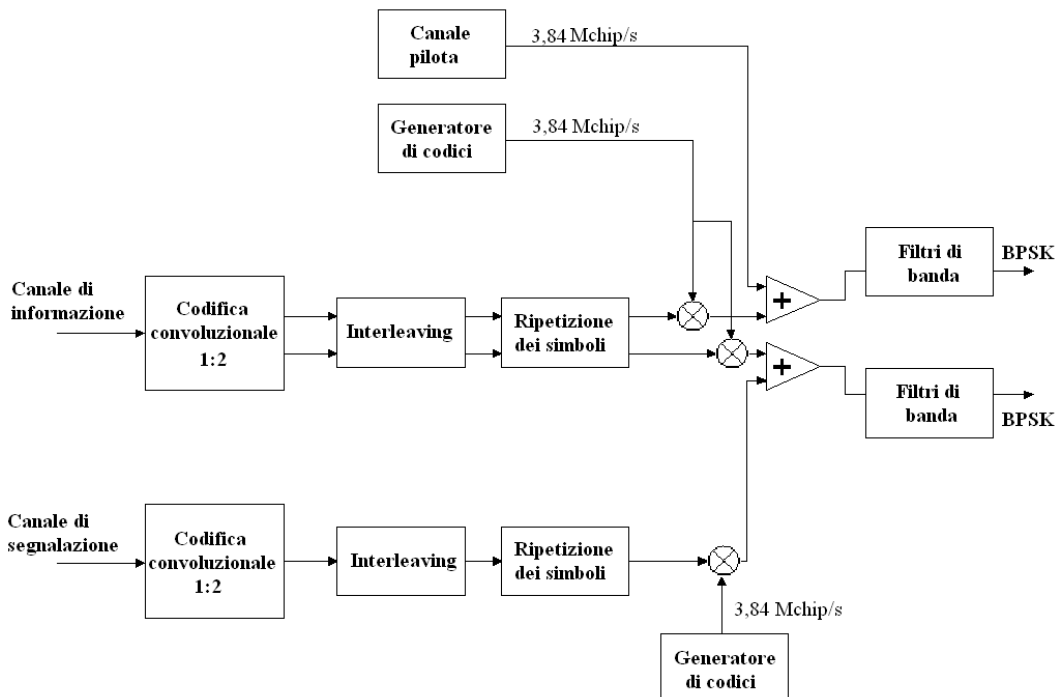


FIGURA 4 Canale di trasporto W-CDMA.

3.1 W-CDMA FDD (Wide band CDMA Frequency Division Duplex)

Per meglio chiarire quanto detto sin ora, esaminiamo più nel dettaglio lo standard W-CDMA FDD, relativo alla standardizzazione proposta da ETSI-SMG, analizzando separatamente l'uplink e il downlink.

3.1.1 Collegamento di uplink (MS → BS)

Caratteristica fondamentale è che sia il canale di controllo sia quello di traffico hanno associato anche un canale pilota sincronizzato con quello della BS a cui la MS è connessa.

Un **canale fisico** è univocamente identificato da una portante radio, da un codice e dalla fase relativa 0 oppure ($\pi/2$), a seconda del ramo del modulatore (I o Q) utilizzato per la trasmissione di specifiche informazioni (FIGURA 5a).

La distinzione tra i canali fisici che operano secondo la tecnica spread spectrum nella stessa banda (stessa portante) è effettuata mediante distinti *user long code*.

Per l'uplink sono stati definiti i seguenti *canali fisici dedicati*:

- DPDCH (*Dedicated Physical Data CHannel*); è utilizzato per trasmettere le informazioni di utente; viene trasmesso sulla componente in fase (ramo I) del modulatore QPSK e più in generale trasporta dei dati generati a partire dal layer 2;
- DPCCH (*Dedicated Physical Control CHannel*); è utilizzato per trasmettere le informazioni di controllo generate dallo strato fisico, o layer 1, quali: la sequenza di bit denominata *Pilot* (utilizzata in Rx per la demodulazione coerente e la stima del canale); i bit per il controllo di potenza (TPC - Transmit Power Control); i bit che indicano le possibili velocità di trasmissione (TFCI – Transmission Format Combination Indicator o RI - Rate Indicator); il DPCCH viene trasmesso sulla componente in quadratura del modulatore (ramo Q).

Il numero di chip trasmessi per timeslot è fisso ed è pari a 2560 chip, mentre il numero di bit per timeslot è variabile in relazione al fattore di spreading (SF) adottato ed è pari a: $n_{bit}^{ro} = 10 \cdot 2^k$. I legami tra il fattore K, il fattore di spreading SF e il chip rate ($R_c=3,84$ Mchip/s) sono i seguenti:
 $K = 0 \div 6$; $SF = 256 / 2^K$; $R = R_c / SF = 3840 / SF$ [kbit/s]

Nella tabella 1 si riassumono le diverse possibilità nel caso di collegamento uplink FDD.

Tabella 1 Numero di bit per timeslot al variare del fattore di spreading (SF) e bit rate lordo (R).

K	n°(bit)	SF	R [kbit/s]
0	10	256	15
1	20	128	30
2	40	64	60
3	80	32	120
4	160	16	240
5	320	8	480
6	640	4	960

Nota:

$R=3840/SF$ [kbit/s]. Poiché una trama dura 10 ms ed è composta da 15 timeslot, si ha che un timeslot dura $10^{-2}/15$ [s]; conoscendo il numero di bit/timeslot (n_{bit}) è anche possibile calcolare il bit rate lordo come: $R = n_{bit} \cdot 15 \cdot 10^2$ [bit/s].

Si noti che nell'*uplink* per i dati di utente si utilizza solo il ramo I del modulatore, che così equivale a un modulatore BPSK (2-PSK), per cui il symbol rate equivale al bit rate.

Il canale comune nell'*uplink* trasporta il solo canale logico RACH (Random Access CHannel); esso è costituito da due parti: un preambolo di durata 1 [ms] (spread con un codice ortogonale Gold) e un messaggio di durata 10 [ms] (il fattore di spreading è limitato tra 32 e 256), separati da un intervallo di guardia di 0,25 [ms].

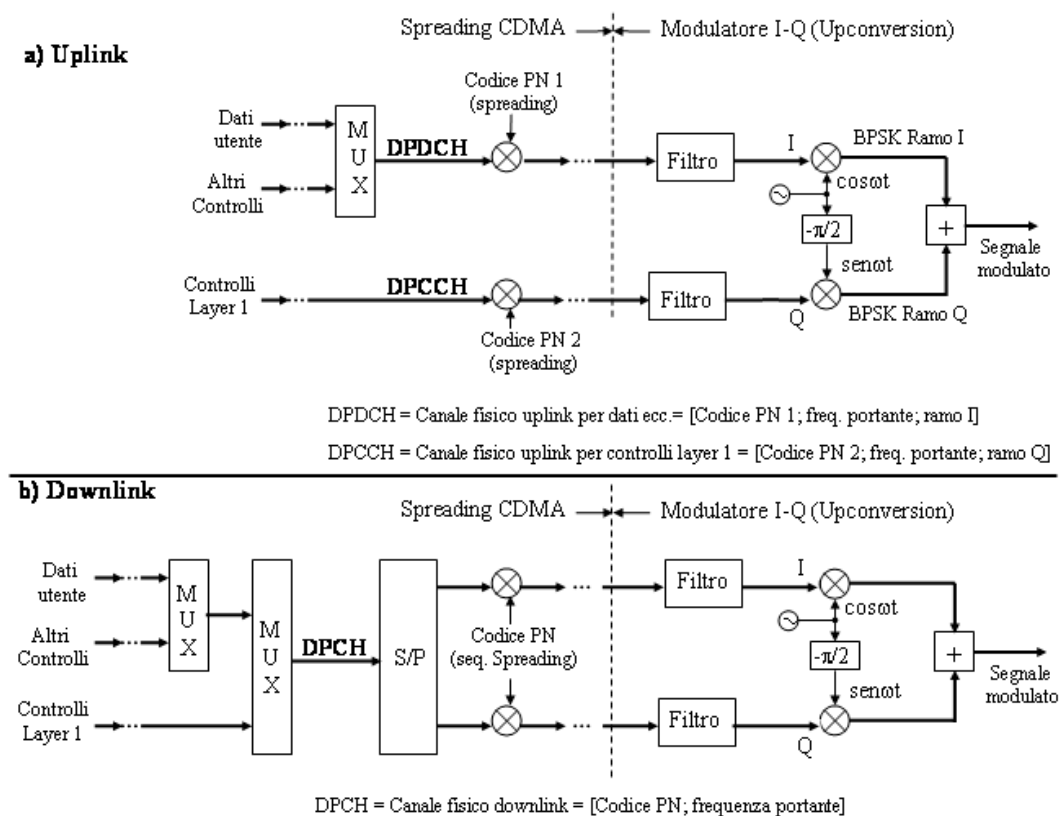


FIGURA 5 a) Canali fisici dedicati di Uplink; b) Canale fisico dedicato di downlink

3.1.2 Collegamento di downlink (BS → MS)

Per il *downlink* sono stati definiti:

- un canale pilota,
- un canale di sincronismo,
- fino a 8 canali di paging
- 64 canali di traffico a 60 [kbit/s] oppure 128 canali a 30 [kbit/s] o ancora 256 canali a 15 [kbit/s].

Come illustrato in FIGURA 5b), nel *downlink* si ha un solo tipo di canale fisico dedicato: il DPCH (*Dedicated Physical CHannel*).

Le informazioni dei layer 1 e 2 contenute nei canali logici DPCCH e DPDCH (che hanno la stessa struttura come nell'*uplink*) sono multiplattate nel tempo.

Nel *downlink* il bit rate raddoppia rispetto all'*uplink*, in quanto si utilizzano entrambi i rami I e Q del modulatore che viene effettivamente utilizzato come un modulatore QPSK, il quale trasporta 2 bit/simbolo raddoppiando così il numero di bit che possono essere trasmessi in un timeslot:

$$n_{bit}^{ro} = 20 \cdot 2^K.$$

Nel downlink, però, il *fattore di spreading* varia tra 4 e 512.

Ne consegue che per il downlink la tabella 1 va modificata raddoppiando il numero di bit/timeslot e di conseguenza il bit rate.

Per esempio se SF=256 si hanno 20 bit/timeslot e un bit rate $R = 30$ [kbit/s].

I canali fisici comuni sono i seguenti:

- CCPCH (*Common Control Physical CHannel*) primario; opera a velocità fissa con SF=256 e trasporta il canale logico BCCH;
- CCPCH secondario; trasporta i canali logici FACH e PCH;
- SCH (*Synchronization CHannel*) è composto da due canali: il primario e il secondario. La procedura di spreading del canale primario SCH è effettuata con un codice ortogonale (di Gold) non modulato lungo 256 chips detto codice primario di sincronizzazione (CPS). Il CPS è unico per ogni Base Station, e quindi ne permette l'identificazione.

Nella FIGURA 6 si descrivono le strutture di trama per i canali dedicati citati.

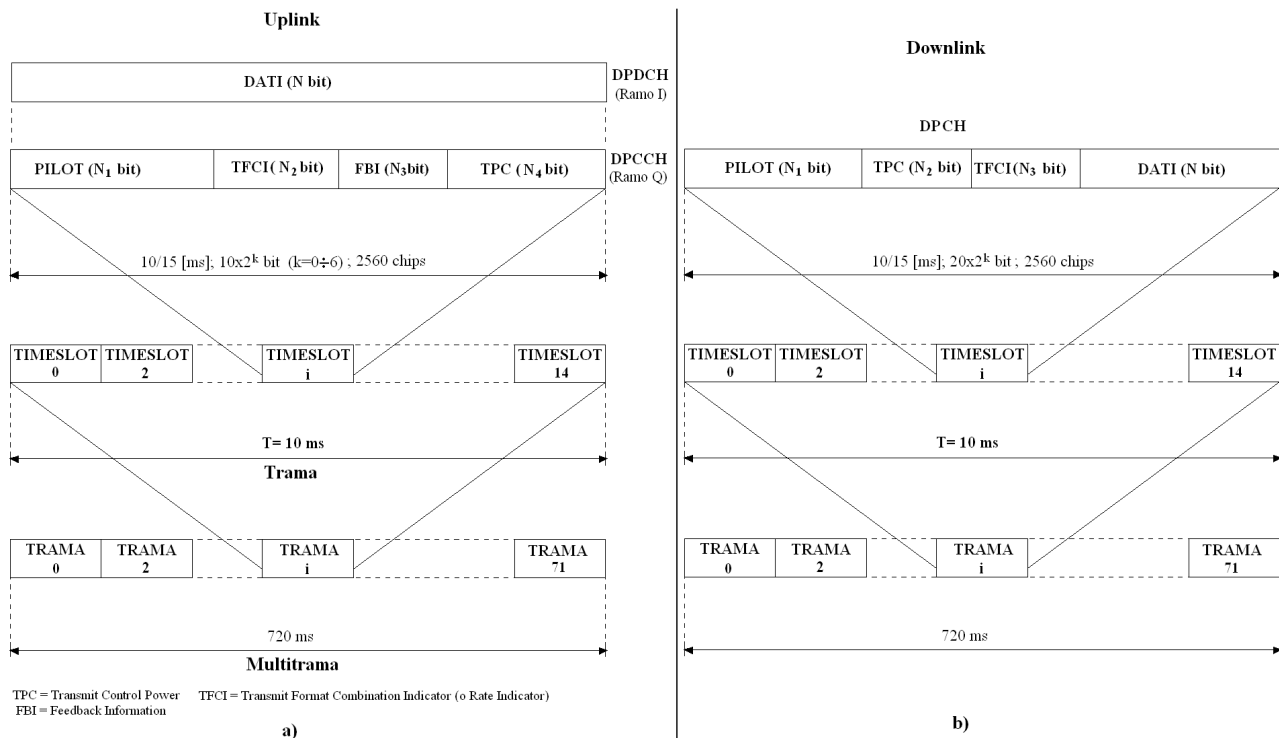


FIGURA 6 a) Trama dei canali dedicati uplink; b) Trama dei canali dedicati downlink

3.2 TD-CDMA (Time Division CDMA)

Esaminiamo ora per il CDMA il caso TDD (*Time Division Duplex*). In sintesi le caratteristiche dello standard CDMA - TDD sono le seguenti: codifica di canale; spreading ortogonale⁸; scrambling dei canali di traffico e di paging (sequenza pseudo random con periodo $(2^{42} - 1)$); successivamente si effettua lo spread con una coppia di sequenze pseudorandom al chip rate di 3,84 [Mchip/s] nel caso di UTRA TDD; filtraggio e modulazione QPSK.

Sia per il canale diretto che per quello inverso i dati sono strutturati in trame, che costituiscono l'intervallo temporale di base del sistema. Nel caso UTRA TDD per i servizi voce a 8 kbit/s è prevista una trama da 20 [ms] (160 bit); per i servizi dati fino a circa 2000 [kbit/s] la trama è da 10 [ms].

Il fattore di spreading per lo standard UTRA - TDD varia da 2 a 16. A titolo esemplificativo in FIGURA 7 si riporta la corrispondenza, o mappatura, dei canali di controllo comuni nei canali fisici, evidenziando il timeslot 0, detto *beacon timeslot* (timeslot faro), nel caso di 8 Base Station.

⁸Mediante codici ortogonali OVSF: Orthogonal Variable Spreading Factor, con una delle 64 funzioni di Walsh
 Bertazioli, *Corso di telecomunicazioni* © 2014 Zanichelli editore SpA

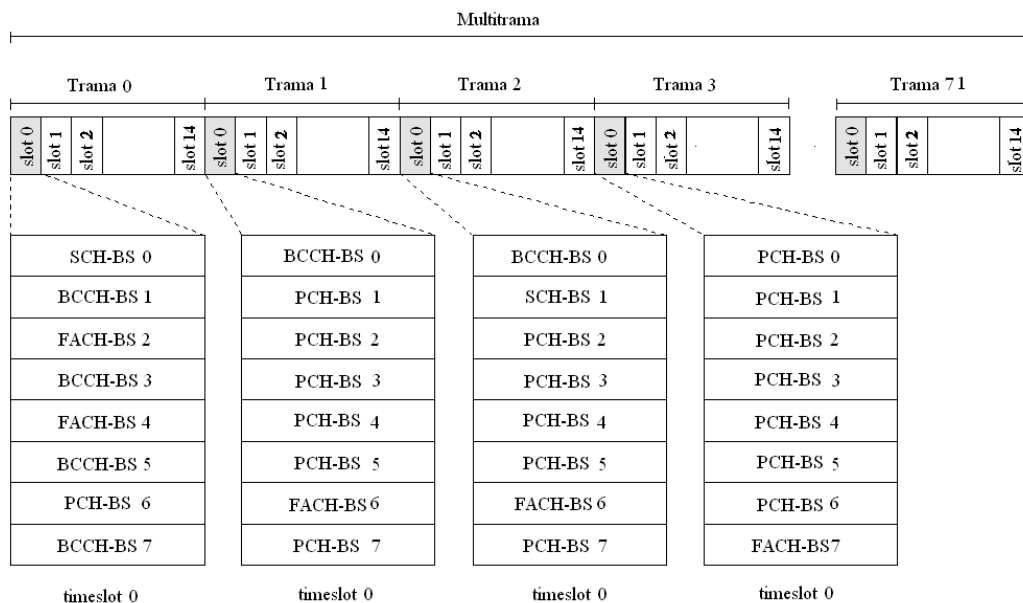
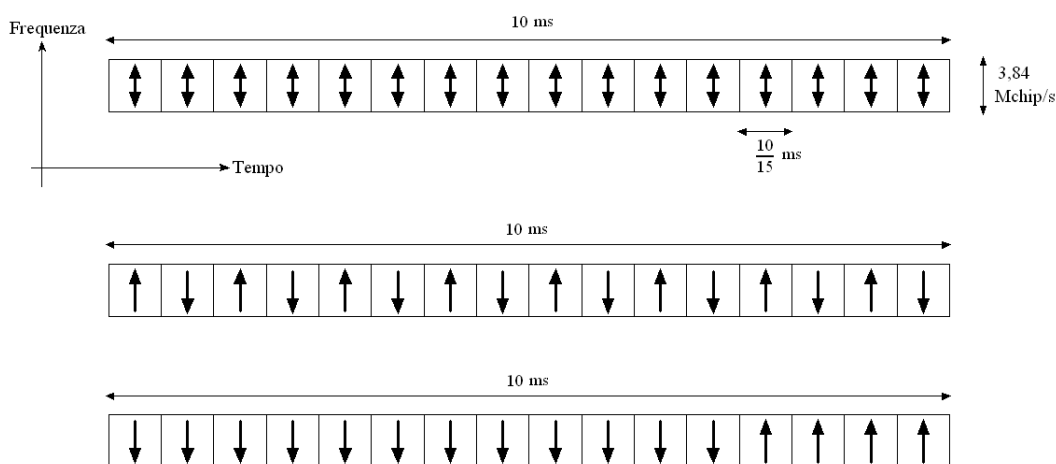


FIGURA 7 Mappatura dei canali per il CDMA TDD downlink.

In FIGURA 8 è schematizzata la struttura della trama UTRA-TDD, evidenziando il fatto che la commutazione da Tx ad Rx può avvenire in corrispondenza di qualsiasi time-slot, ed un numero variabile di volte (con un minimo di almeno 1 time-slot in Tx).



Esempi di modalità di commutazione tra uplink e downlink; gli istanti di commutazione devono essere gli stessi per tutte le celle di un'area

FIGURA 8 Struttura di trama UTRA-TDD

4 Esempi di procedure

Qui di seguito vengono esemplificate alcune delle procedure previste dal sistema UTRA: il controllo di potenza; la richiesta di accesso; l'*handover*.

4.1 Procedura per il controllo della potenza trasmessa

La tecnica di controllo di potenza è adottata in entrambe le tratte ed è basata su misure del rapporto segnale/interferenza (SIR⁹). Sono previste tre tecniche: *open loop* (solo in *uplink*), *closed loop* e *outer loop*.

- *Open loop* (solo in *uplink*); è utilizzata per fissare il livello di trasmissione del canale fisico RACH ed è basata sulla misura del livello di segnale sul BCCH e su informazioni trasmesse dalla BS.
- *Closed loop*; è utilizzata per mantenere il rapporto SIR del ricevitore a un valore prefissato, mediante la trasmissione di un comando '*down*' oppure '*up*' se rispettivamente il valore di SIR misurato dal ricevitore¹⁰ è maggiore o minore di un valore prefissato; in FIGURA 9 è riportato un grafico in cui si riportata una simulazione per quantificare il guadagno dato dalla tecnica di *closed loop* in funzione della velocità del mobile nel caso di servizio voce;
- *Outer loop*; è utilizzata per fissare il valore di SIR di riferimento nel caso dell'*open loop* e si basa su misure qualitative di BER (bit error rate) e FER (frame error rate); la procedura non è definita nel livello fisico.

La frequenza delle segnalazioni con cui si può modificare la potenza trasmessa dipende dallo standard: nel caso FDD il controllo di potenza è applicato a frequenza di timeslot (1,5 kHz), cioè ad ogni timeslot è possibile comandare una variazione di potenza trasmessa grazie alla presenza dei bit TPC, mentre per il TDD la frequenza è più bassa: 100 ÷ 800 Hz.

⁹Signal to Interference Ratio

¹⁰Nel caso della trasmissione in *uplink* il ricevitore della BS effettua la stima della potenza ricevuta dalla MS valutando il canale DPCH e lo rapporta alla potenza totale ricevuta in tutta la banda W, da cui può definire il valore di SIR ricevuto. Analogamente nel *downlink* il ricevitore della MS determina il valore di SIR misurando la potenza utile del canale DPCH e la potenza totale interferente ricevuta.

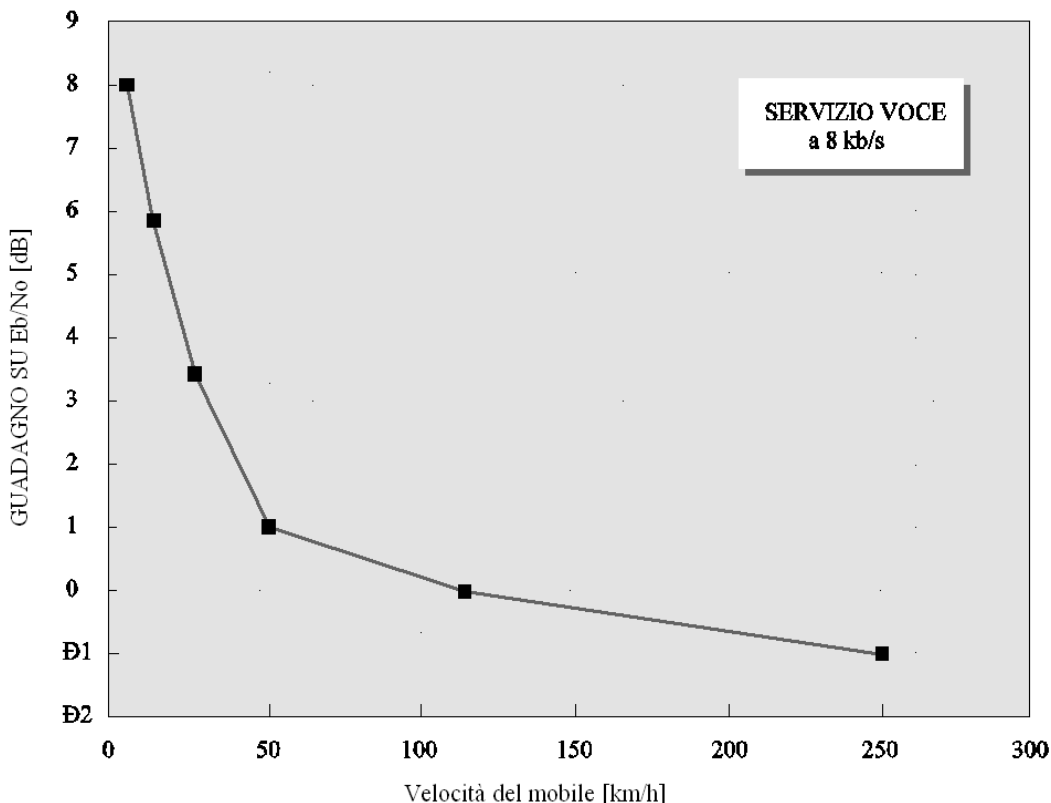


FIGURA 9 Guadagno ottenibile con l'uso della tecnica closed-loop.

4.2 Procedura di accesso della MS

La procedura con cui una MS, denominata anche UE (*User Equipment*), accede alla rete è così schematizzabile:

- MS si sincronizza con una BS (grazie al canale SCH) e quindi si sintonizza sul canale BCCH per avere informazioni su: sequenze di spreading da utilizzare; livello d'interferenza alla BS; livello di potenza con cui si è ricevuto il BCCH (essendo trasmesso sempre alla massima potenza, può essere calcolata l'attenuazione di tratta) e quindi la MS può definire il livello di potenza con cui trasmettere;
- MS seleziona i codici da usare nel canale logico RACH;
- MS sceglie con tecnica casuale il timeslot su cui trasmettere la richiesta di RACH e fissa un timeout per la ricezione di un ACK da parte di una BS.

4.3 Cenni sulle tecniche di handover (HO)

Sono previste tre modalità con cui è possibile effettuare un *handover*:

- soft* e *softer handover*, tra entità che operano alla stessa frequenza;
- inter-frequency handover*, tra entità che operano a frequenze diverse (modalità hardware).

- **Soft handover**

Il mobile in attività effettua continuamente misure per valutare il livello di potenza ricevuta dalle celle adiacenti alla stessa frequenza (*intra-frequency handover*, rappresenta la maggioranza dei casi), li confronta con determinati valori di soglia e trasmette alla stazione base (BS) le misure effettuate; in base a queste informazioni la rete ordina al mobile di aggiungere o rimuovere le BS dal cosiddetto *active set*; il mobile misura contemporaneamente il segnale sul BCCH trasmesso da più BS che appartengono allo stesso 'active set'. La rete in base ai risultati delle misure ricevute decide se effettuare o meno un *handover*.

- **Softer handover**

È un caso particolare di soft handover, avviene tra settori o celle situate nello stesso sito; concettualmente è iniziato e seguito allo stesso modo del soft-handover, la differenza principale è il livello della rete in cui viene eseguito, che è costituito dal controllore di sito di un Nodo B e non dall'RNC (Radio Network Controller).

- **Inter-frequency handover**

Avviene tipicamente nei seguenti casi: HO tra diverse portanti CDMA assegnate alla stessa cella, HO tra diversi livelli di copertura gerarchica, HO tra operatori/sistemi diversi, come nel caso di HO con il sistema GSM, oppure con sistemi operanti in tecnica TDD.

Per poter adottare una tecnica di handover è necessario o raddoppiare il ricevitore (cioè duplicare a livello hardware il cammino dall'antenna al demodulatore per permettere di monitorare contemporaneamente due collegamenti, il che può risultare economicamente oneroso), oppure effettuare la trasmissione in modalità 'slotted' nel downlink, qui di seguito esposta.

Slotted mode

Nella modalità *slotted* è possibile per un singolo ricevitore monitorare il segnale ricevuto da altre portanti, senza modificare il normale flusso dati, perché l'informazione è compressa nel tempo¹¹ creando all'interno del frame un intervallo di tempo per poter effettuare le misure sui segnali provenienti da altre BS.

A.5 Dati di targa di un ricetrasmittitore CDMA

Per completare le specifiche del livello fisico vanno definite le caratteristiche del trasmettitore (classe di potenza, controllo e dinamica, maschere di occupazione spettrale e di accensione/spegnimento (TDD), emissioni spurie) e quelle del ricevitore (BER, protezione da interferenti, max delay spread e Doppler spread). La tabella 2 riepiloga alcune di queste caratteristiche.

Tabella 2 Esempi di caratteristiche per un ricetrasmittitore CDMA

Parametro	Uplink	Downlink
Potenza di picco MS in relazione alla classe di potenza.	Classe 1: +33 dBm; 2W Classe 2: +27 dBm; 500mW Classe 3: +24 dBm; 250 mW Classe 4: +21 dBm; 125 mW	-
Isolamento TX-RX (Att. filtro duplexer)	55 dB; MS	80 dB; BS
Dinamica controllo potenza	80 dB	30 dB
Step controllo potenza	2 dB	2 dB
Frequenza del Power Control	1.5 kHz	1.5 kHz
BER (voce / dati)	$10^{-3} / 10^{-6}$	$10^{-3} / 10^{-6}$
Sensibilità del ricevitore @ BER= 10^{-3}	-117 dBm; MS	-121 dBm; BS

¹¹ Tecniche di code puncturing o aumento della Forward Error Compression.

Infine, in FIGURA 10 è riportato lo spettro di potenza nel caso di BS e MS, in funzione della variazione di frequenza rispetto alla portante.

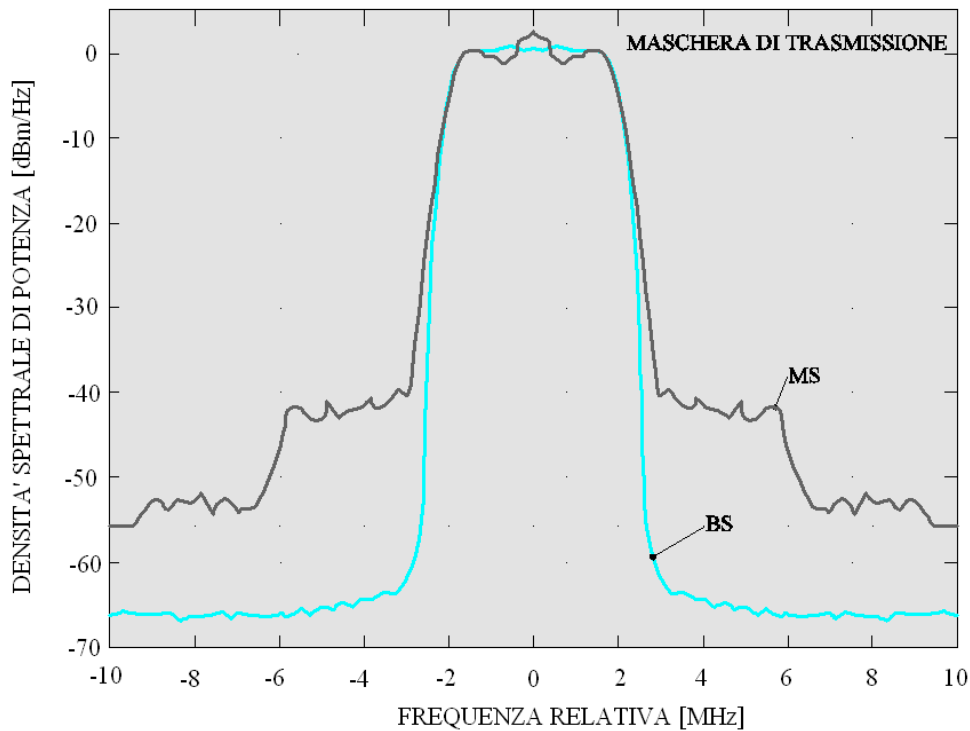


FIGURA 10 Densità spettrale di potenza per BS e MS