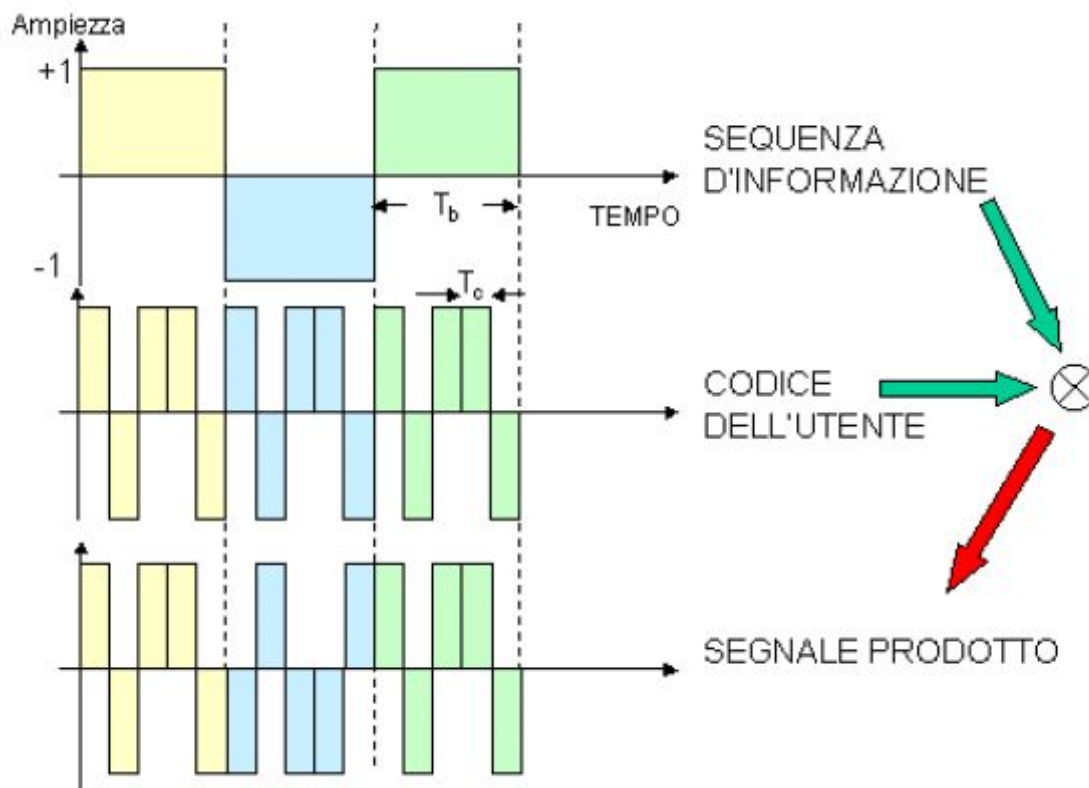


CDMA

La tecnica CDMA (*Code Division Multiple Access*) si differenzia dalle tecniche a divisione di tempo e a divisione di frequenza (TDM, FDM) perchè permette agli utenti di trasmettere alla stessa frequenza e nello stesso istante. La separazione dei vari utenti è ottenuta assegnando a ciascun utente un "codice" (o sequenza) diverso. Le sequenze sono utilizzate per codificare in modo univoco l'informazione d'utente da trasmettere, in modo da poterla distinguere da quella degli altri utenti. Questa operazione è chiamata in gergo tecnico *spreading*. La risorsa elementare è la sequenza associata a ciascun segnale d'utente. Anche in questo caso restano possibili approcci ibridi con le tecniche FDM, TDM sopra citate.

L'operazione di spreading prevede che a ciascun segnale da trasmettere sul canale radio sia associata, con un'operazione di moltiplicazione nel tempo, una sequenza numerica binaria (codice) con velocità di trasmissione (*chip rate*) molto maggiore della velocità dell'informazione da trasmettere. I bit ottenuti dopo questa operazione si definiscono in gergo tecnico *chip*. Le sequenze di codice assegnate agli utenti che condividono lo stesso canale sono fra loro diverse e sono scelte in modo che siano molto poco correlate tra di loro (ad es. tramite uso di codici di Gold).



Ciò fa sì che, in condizioni ideali, in ricezione l'operazione duale (*despreading*) annulli l'effetto delle interferenze mutue e consenta di estrarre il segnale desiderato. Nelle condizioni di propagazioni reali le distorsioni ed i disturbi che i segnali subiscono lungo il canale di comunicazione degradano le condizioni di ortogonalità, perciò il numero di segnali che si possono sovrapporre sullo stesso canale risulta limitato. Il limite della capacità del sistema è quindi dato dal livello di interferenza residua dopo l'operazione di despreading. Risulta dunque di fondamentale importanza ridurre al minimo il livello di interferenza residua.

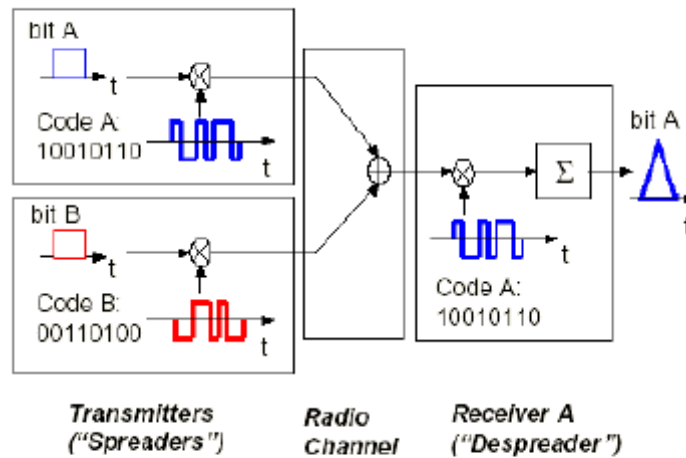
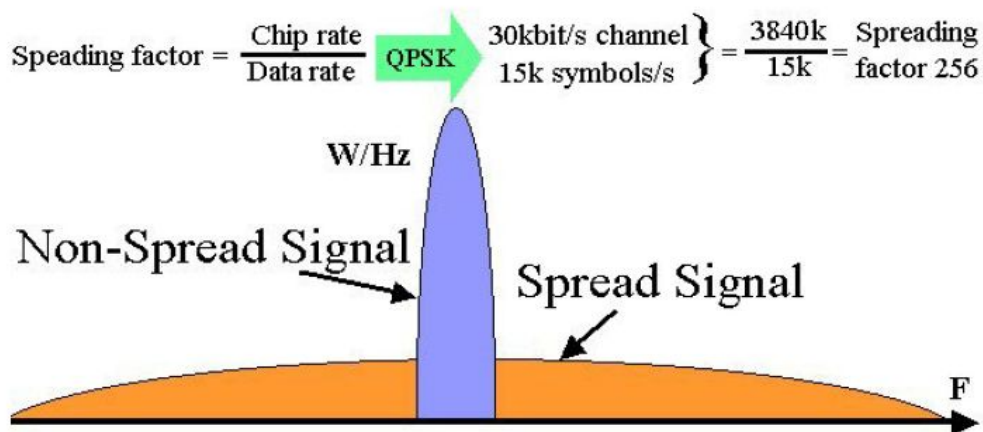


fig.6- CDMA

La banda occupata dal segnale trasmesso è evidentemente maggiore di quella che sarebbe strettamente necessaria per trasmettere l'informazione. La perdita apparente di efficienza spettrale è in realtà compensata dalla possibilità di sovrapporre più segnali sullo stesso canale radio. Quanto maggiore è il rapporto tra la velocità di trasmissione in aria, e velocità di trasferimento dell'informazione utente, tanto maggiore è la robustezza all'interferenza e quindi tanto maggiore è il numero di utenti che si possono trasmettere contemporaneamente sullo stesso canale.

Quantitativamente l'incremento complessivo di banda è pari al *Processing Gain* (P_G) definito come il rapporto fra la banda del segnale trasmesso (f_c) e la banda del segnale di informazione (f_b). Poiché in generale f_c è molto maggiore di f_b l'incremento della banda può variare da alcune unità fino al centinaio di volte.



Si definisce inoltre *Spreading Factor* il numero di chip con cui si rappresenta ogni bit all'ingresso del blocco che effettua l'operazione di spreading. E' importante sottolineare la differenza fra processing gain e spreading factor. Il primo include tutte le elaborazioni che, inserite fra la sorgente di informazione e l'antenna trasmittente, contribuiscono ad allargare la banda; ad es. I codici per la correzione degli errori sono inclusi nel

processing gain. Il secondo invece comprende la sola operazione di spreading. Il processing gain è legato alla capacità della tecnica CDMA di ridurre l'interferenza mentre lo spreading factor è legato al numero di sequenze disponibili e, quindi, regola il numero di utenti che possono essere serviti.

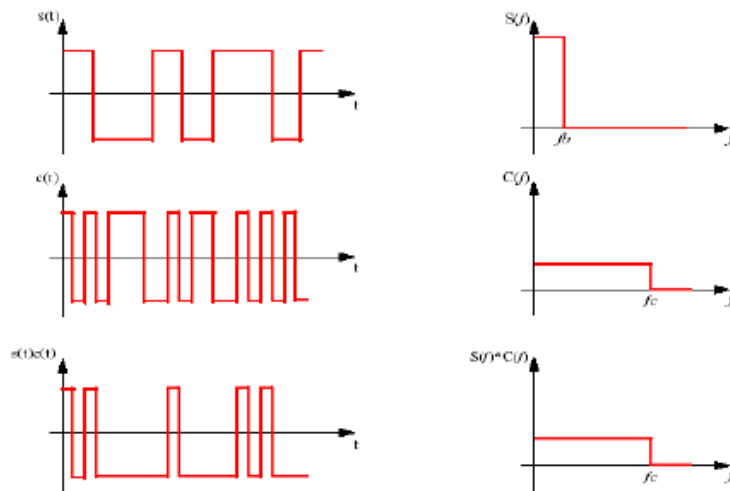
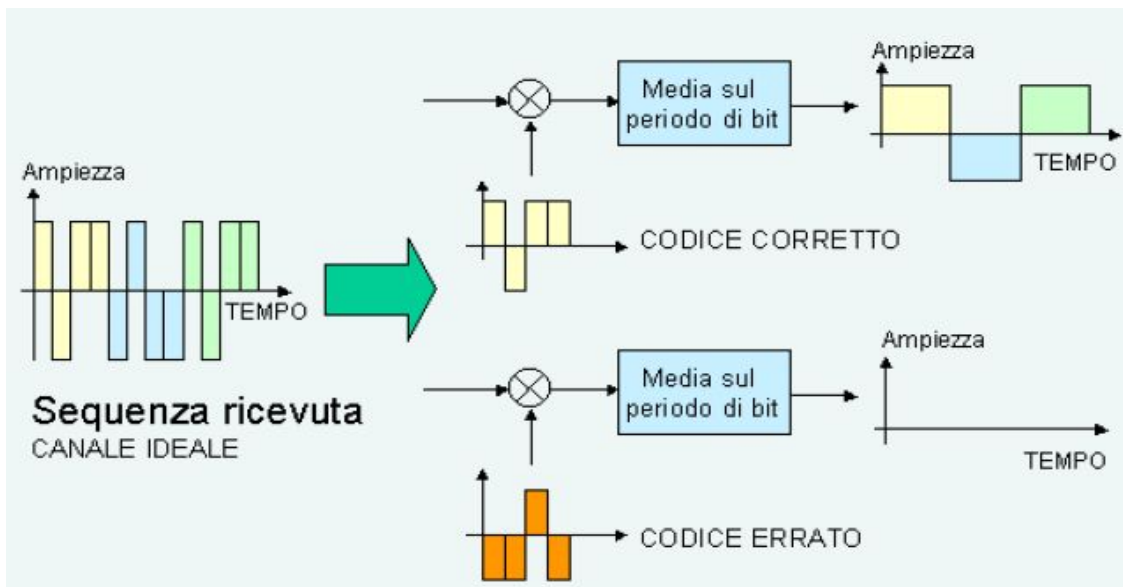


fig.10- Andamento nel tempo e banda del segnale d'utente (in alto), della sequenza di spreading (al centro) e del loro prodotto (in basso).

In ricezione, per recuperare il segnale di informazione utile, si moltiplica il segnale ricevuto per lo stesso codice $c(t)$ assegnato all'utente (operazione di despreading). Per mezzo di un filtro passa basso si seleziona poi la componente utile del segnale. Per poter effettuare il despreading il codice deve quindi essere in qualche modo noto al ricevitore: ad esempio, può essere notificato al terminale mobile tramite la segnalazione in fase di negoziazione della connessione. Occorre inoltre che il codice $c(t)$ applicato in ricezione sia sincrono con quello usato in trasmissione.



Si ricorda che la tecnica CDMA idealmente fa sì che l'interferenza dei diversi segnali si annulli completamente. Nella realtà, però, le condizioni di propagazione riducono le proprietà di ortogonalità delle sequenze usate. Di conseguenza il numero di conversazioni risulta limitato dall'interferenza reciproca. Contrariamente ai sistemi di prima e seconda generazione, ogni qualvolta si accetta una nuova chiamata, la qualità di tutti gli utenti presenti nel sistema si degrada leggermente: nuove chiamate possono essere accettate fintantoché il livello dell'interferenza sarà tale da non garantire più il requisito di qualità desiderato. In UMTS si utilizzano due modalità di accesso CDMA:

- **WCDMA**

(Wideband CDMA) per UTRA/FDD

Vengono adottate due bande distinte per uplink e downlink. Il data rate massimo è pari a 384 Kbit/sec con spreading factor che varia da 4 a 256. In questo sistema il controllo della potenza è eseguito ogni 0,677 ms e viene utilizzata una modulazione QPSK in downlink e doppio codice BPSK in uplink. C'è la possibilità inoltre di effettuare soft handovers. Questo tipo di trasmissione è particolarmente adatto alla trasmissione di servizi di tipo simmetrico, dove la velocità di trasferimento dell'informazione d'utente nelle due tratte è uguale.

- **TDCDMA**

(Time Division CDMA) per UTRA/TDD

La stessa banda è utilizzata in modo completo sia per l'uplink che per il downlink, ma si ha una segmentazione in timeslot. Si possono quindi ottenere canali asimmetrici per downlink e uplink, semplicemente variando i timeslot da destinare alla ricezione o all'invio dei dati. Il data rate massimo è pari a circa 2 Mbit/sec con spreading factor che varia da 1 a 26. In questo sistema il controllo della potenza è eseguito ogni 10 ms e viene utilizzata una modulazione QPSK per entrambi i canali in downlink e uplink. Non c'è la possibilità di effettuare soft handovers.

Entrambe le modalità adottate in UMTS prevedono l'uso di CDMA in modo *Direct Sequence* (DSSS).

Usando questo sistema, il codice viene "iniettato" nel flusso di dati della sorgente (ovvero il segnale in uscita dalla sorgente viene moltiplicato con la sequenza codice). Esiste tuttavia un altro sistema di spread spectrum, chiamato *Frequency Hopping Spread Spectrum* (FHSS) in cui la portante "salta" da una frequenza all'altra in accordo con il codice utilizzato.

Nel sistema TD-CDMA ciascun intervallo di tempo, invece di essere dedicato ad un particolare utente (come in GSM), può essere impiegato da più utenti diversi, sovrapponendo in esso i segnali con una tecnica a divisione di codice del tipo W-CDMA descritto prima. Quindi, in altre parole, continua a sussistere la suddivisione in time slot come nel GSM, con la differenza che ogni time slot può essere usato da più utenti grazie alla tecnica W-CDMA.

Così facendo, su ciascuna portante radio si possono moltiplicare (almeno a livello teorico) un numero di canali pari al prodotto dei numeri di time slot per il numero di sequenza di spreading disponibili.

OFDM

Nel OFDM la larga banda disponibile viene suddivisa in sottobande sovrapposte, invece che in sottobande adiacenti come accade nel FDM. In questo modo otteniamo un'alta efficienza spettrale, e abbiamo un canale praticamente piatto su ciascuna sottobanda. La particolarità della tecnica OFDM risiede nell'ortogonalità delle sottoportanti utilizzate per la modulazione dei sottoflussi, che garantisce l'assenza di interferenza interportante.

Descriviamo ora lo schema di trasmissione e ricezione di un segnale OFDM. Il flusso dati ad alta velocità $1/T$, viene suddiviso in N sottoflussi paralleli a velocità $1/NT = 1/T_s$, ognuno modulato ad una sottoportante diversa. L' i -esima sottoportante è ortogonale alla k -esima con $k \neq i$.

Perché due sottoportanti adiacenti siano ortogonali fra loro, bisogna che la loro spaziatura sia pari a $f_s = 1/T_s$ ovvero l'inverso del tempo di un blocco di N simboli. Tale blocco è chiamato simbolo OFDM, dato che la sua durata è pari al tempo necessario alla trasmissione di un simbolo su ciascuna sottoportante.

Il segnale $x(t)$ da trasmettere rappresenta la somma dei sottoflussi modulati a sottoportanti ortogonali. I benefici di OFDM sono alta efficienza spettrale, migliore robustezza al rumore, bassa distorsione dovuta al multipath.

Ciò risulta particolarmente utile dal momento che in uno scenario di broadcast tipico ci sono sempre canali multipath (ad es. il segnale trasmesso giunge al ricevitore usando vari percorsi, causati da riflessioni, e impiegando tempi diversi). In questo caso, dal momento che versioni multiple del segnale interferiscono tra loro, diventa particolarmente difficile estrarre l'informazione originaria.

OFDM può essere adottato in combinazione con CDMA (ottenendo il sistema che viene chiamato MC-CDMA o OFDM-CDMA).