



CDMA

E

LIVELLO FISICO UMTS



MULTI-ACCESSO

- I sistemi radio trasmettono e ricevono segnali su una risorsa comune.
- Senza opportune tecniche di accesso al mezzo i segnali dei vari utenti andrebbero a sommarsi diventando irriconoscibili (collisioni).
- Allo scopo di massimizzare la capacità del sistema sono state introdotte delle tecniche di accesso multiplo:
 - FDMA
 - TDMA
 - CDMA

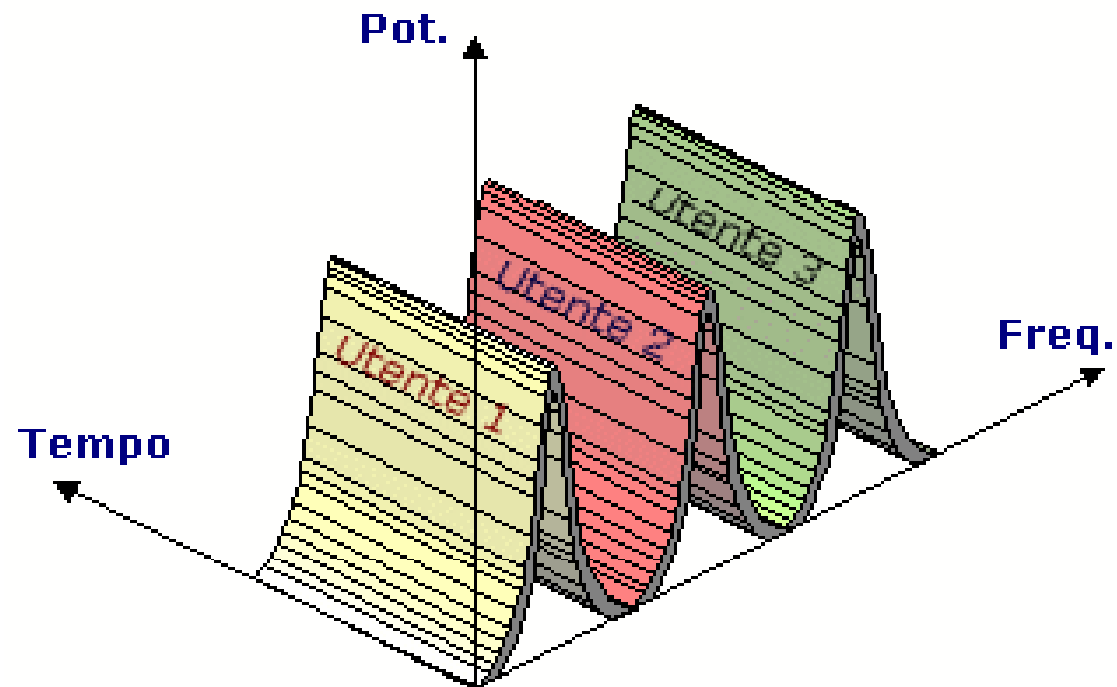


TECNICA FDMA

- La banda viene suddivisa in un certo numero di porzioni (canali) ognuna centrata su una frequenza portante.
- Ad ogni utente viene assegnato un canale per tutta la durata della trasmissione.
- Tra i canali vengono spesso inseriti dei toni di guardia per ridurre le interferenze di interportante.
- Vantaggi: sincronizzazione temporale semplice.
- Svantaggi: sincronizzazione e stabilità in frequenza difficoltosa, sensibilità al multipath.



TECNICA FDMA





TECNICA TDMA

- L'intera banda disponibile viene ripartita in frazioni temporali dette time slot.
- Tutti gli utenti possono accedere all'intera banda ma per intervalli di tempo limitati che si ripetono periodicamente con una certa cadenza (durata della trama).
- Il singolo utente accede all'unico canale per un intervallo prefissato di tempo (time slot) e quindi si mette in attesa dello stesso time slot appartenente alla trama successiva.
- La breve durata delle trame garantisce che l'utente non percepisca la distinzione tra gli istanti in cui il terminale trasmette/riceve e quelli in cui è in attesa.



TECNICA TDMA

- **Vantaggi:**

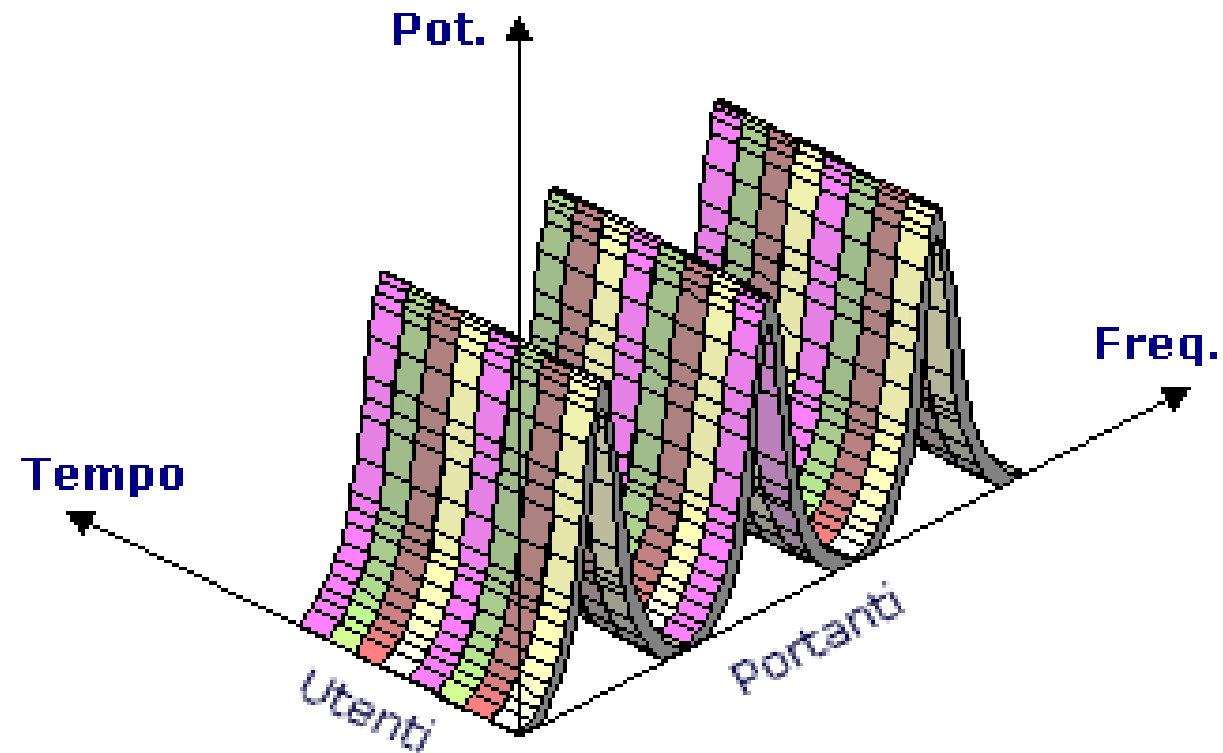
- Gli utenti occupano l'intera banda.
- Non è necessario utilizzare toni di guardia.
- Se le interferenze sono limitate la MS durante il periodo di inattività può ascoltare le trasmissioni sulle altre slot temporali e ciò può essere utile soprattutto nella fase di preparazione dell'handover.

- **Svantaggi:**

- Difficoltà nella sincronizzazione in quanto la trasmissione non è continua.
- Difficoltà nella scelta della durata delle slot.

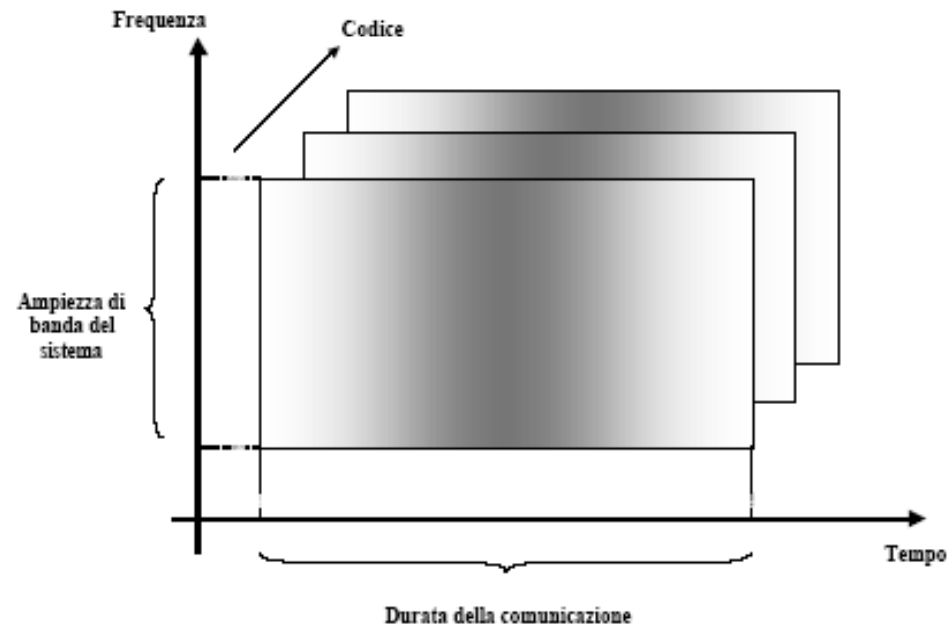


TECNICA TDMA-FDMA





TECNICA CDMA (SISTEMI SS)



- Consente agli utenti di trasmettere sulla stessa frequenza e nello stesso istante.
- Viene assegnato a ciascun utente un codice (detto sequenza di spreading).



TECNICA DS-SS

- Si opera un allargamento di banda utilizzando forme d'onda in banda base caratterizzate da una banda molto maggiore della minima banda possibile.
- L'operazione di spreading consiste nel moltiplicare i segnali utente da trasmettere sull'unico canale radio caratterizzata da una velocità di trasmissione molto maggiore ($\text{chip rate} = 1/T_c$).
- Il segnale effettivamente trasmesso sul canale viene quindi costruito moltiplicando il segnale a banda stretta per la ripetizione periodica della sequenza di spreading.



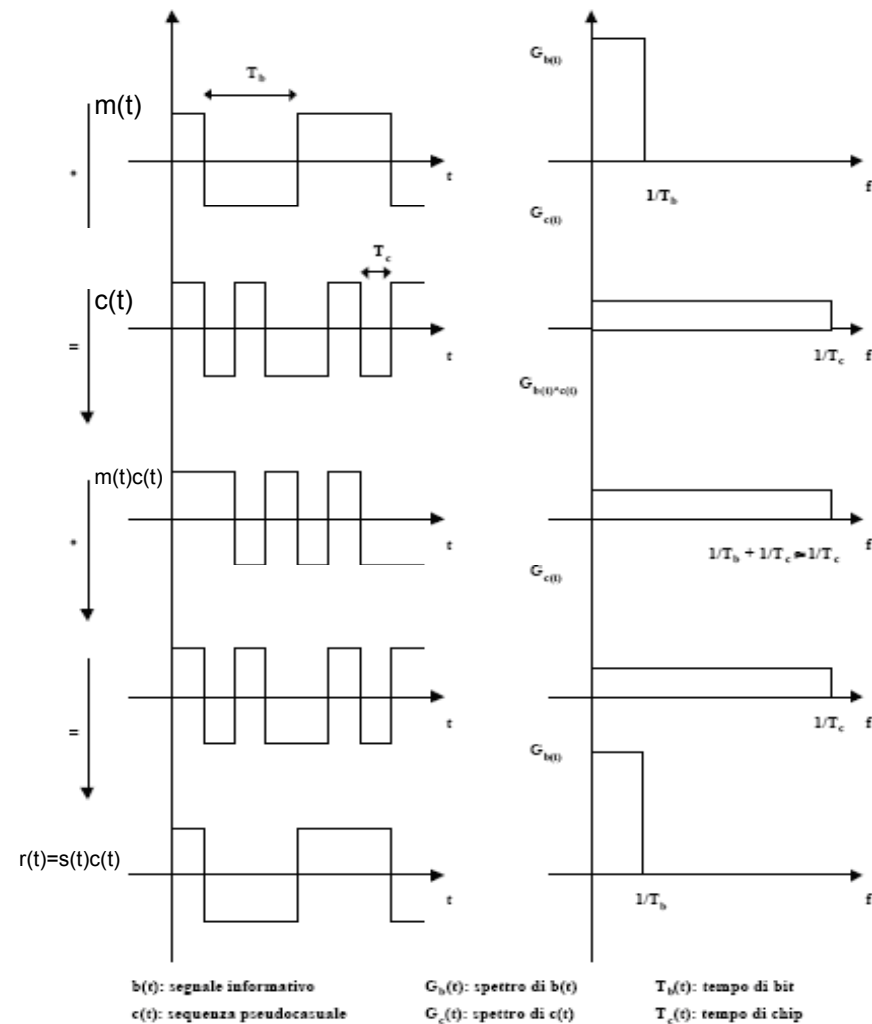
TECNICA DS-SS

- L'operazione di depreading può essere facilmente realizzata moltiplicando il segnale ricevuto per la stessa sequenza utilizzata in trasmissione.
- Se i codici di spreading utilizzati godono di “alcune proprietà” allora saremo in grado di recuperare il segnale dell'utente desiderato.
- I segnali degli altri utenti saranno ancora a spettro espanso, ed in particolare la parte di questi segnali rimasta dopo il filtraggio passo basso è la cosiddetta interferenza residua dovuta al multi accesso.



TECNICA DS-SS

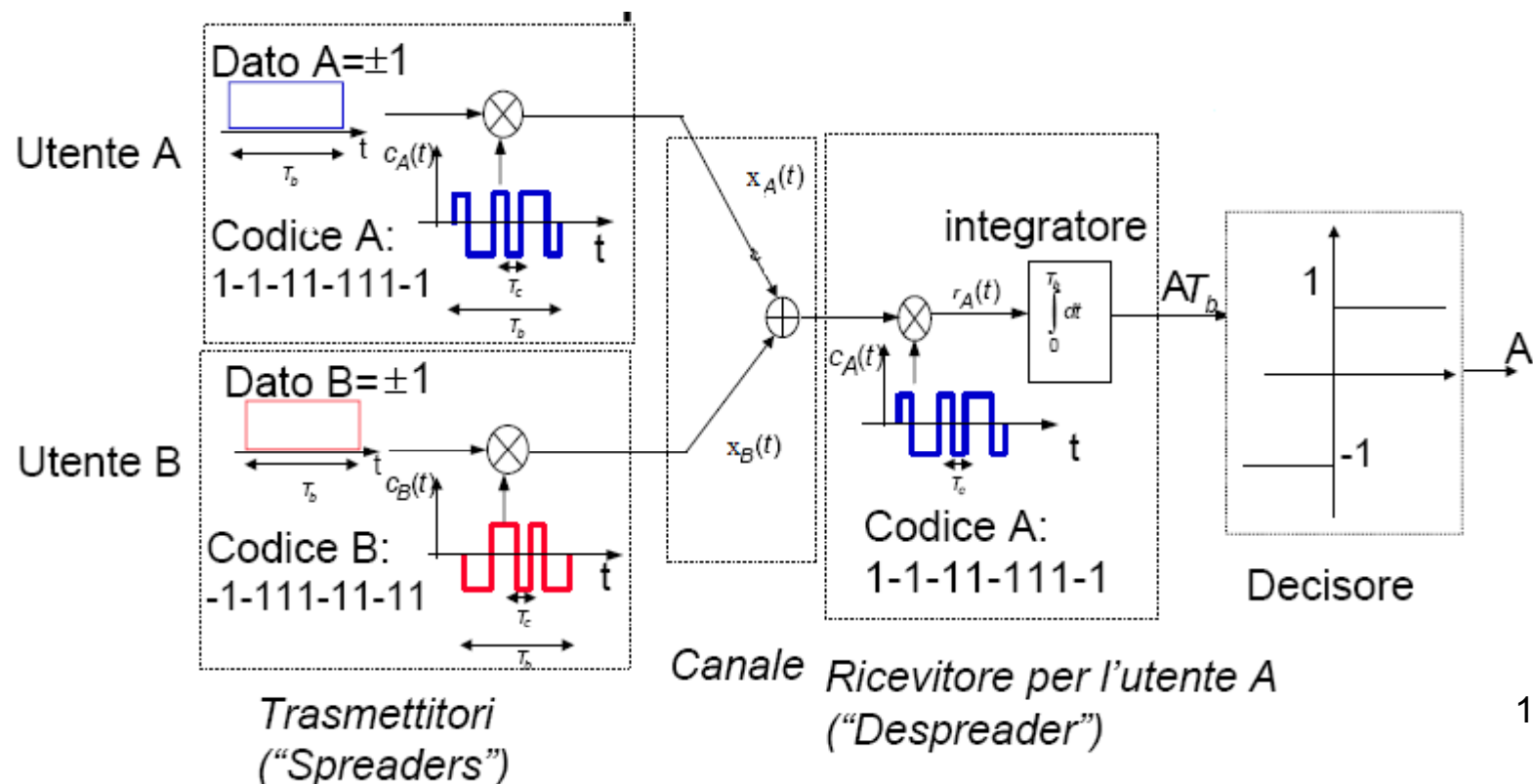
- 1) Segnale da trasmettere
- 2) Sequenza di Spreading
- 3) Segnale effettivamente Trasmesso
- 4) Despreading
- 5) Segnale originale





TECNICA DS-SS

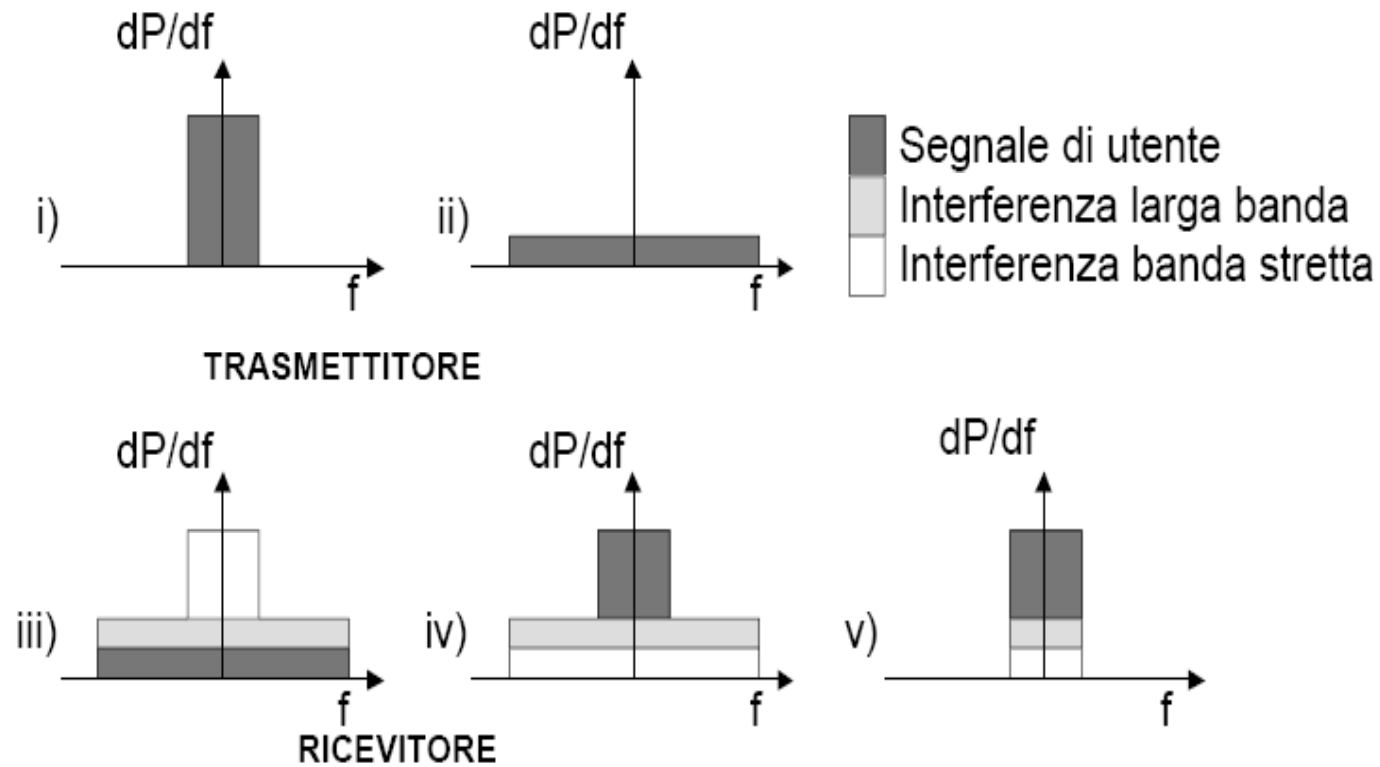
- L'operazione di despreading può essere facilmente realizzata moltiplicando il segnale ricevuto per la stessa sequenza utilizzata in trasmissione.





TECNICA DS-SS

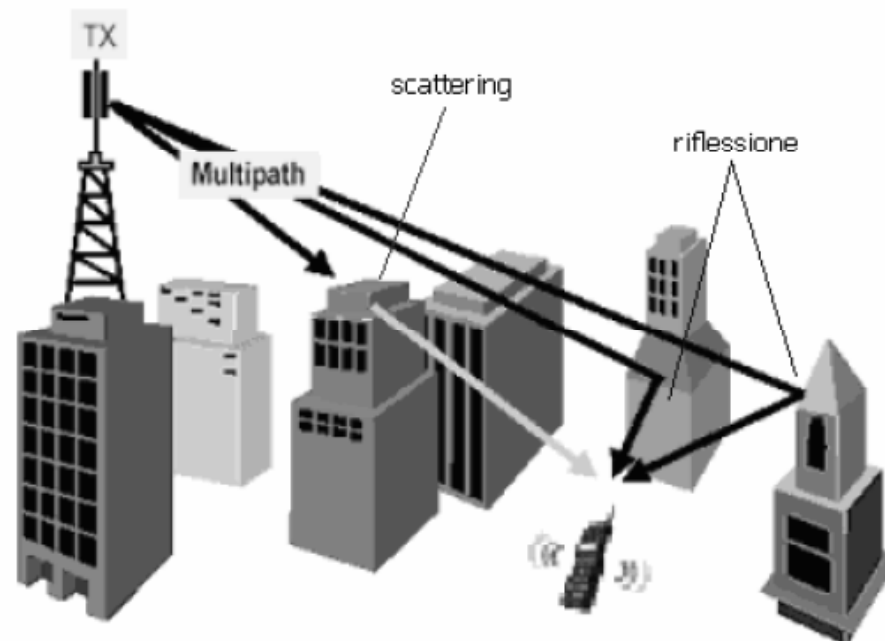
- Effetto dell'espansione sull'interferenza:





MODELLO DI CANALE 2 RAGGI

- Un modello tipicamente usato per descrivere il canale radiomobile è quello di canale multipath, ovvero canale con cammini multipli, che può essere rappresentato come statico o tempo variante. I cammini multipli sono responsabili del fenomeno del fading, che accanto a path loss e shadowing caratterizza i canali wireless.





MODELLO DI CANALE 2 RAGGI

Dato $x(t)$, inviluppo complesso del segnale trasmesso, l'inviluppo complesso del segnale ricevuto è dato da:

$$y(t) = \sum_{i=1}^{Nr} \rho_i e^{j\theta_i} x(t - \tau_i)$$

Nr è il numero di raggi ricevuti, ρ_i , θ_i , τ_i sono ampiezza, ritardo di fase e di gruppo dell' i -esimo raggio.

Supponendo di conoscere l'ambiente di propagazione e la collocazione relativa delle antenne, valutiamo l'impatto dei cammini multipli sulla propagazione del segnale

Ampiezza, sfasamento e ritardo dei cammini vengono assunti come relativi al primo raggio e non assoluti

Nel modello statico questi parametri sono assunti costanti e noti una volta per tutte, per ogni singolo cammino



MODELLO DI CANALE 2 RAGGI

Un raggio diretto e un primo cammino riflesso, con ampiezza, sfasamento e ritardo, relativi al primo raggio, di valore fissato

$$y(t) = x(t) + \rho e^{j\vartheta} x(t - \tau)$$

$$Y(f) = X(f) \cdot (1 + \rho e^{j\vartheta} e^{-j2\pi f\tau})$$

$$H(f) = 1 - \rho e^{-j2\pi(f-f_N)\tau}$$

$f_N = \vartheta/2\pi\tau - 1/2\tau$ Frequenza di notch del canale, massima attenuazione

$$|H(f)| = \sqrt{1 + \rho^2 - 2\rho \cos(2\pi(f - f_N)\tau)}$$

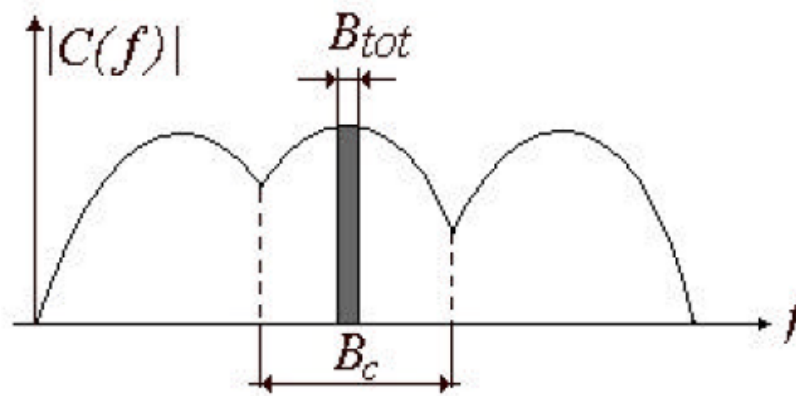
risposta in ampiezza del canale



MODELLO DI CANALE 2 RAGGI

$$B_c = \frac{1}{\tau}$$

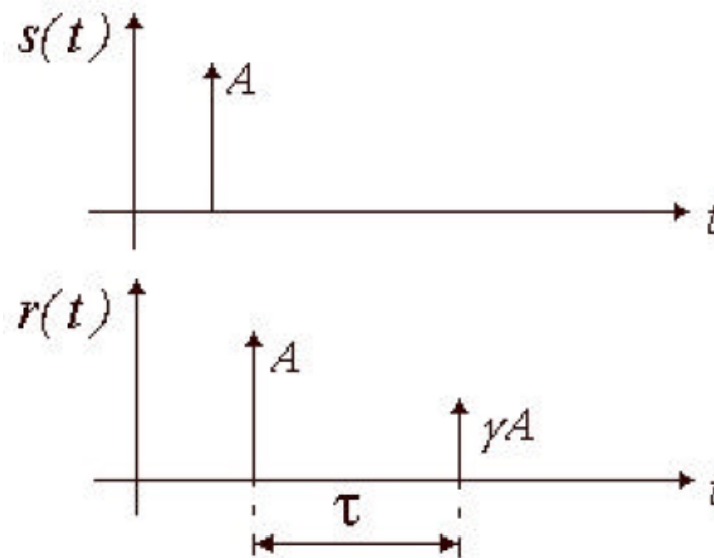
la *banda di coerenza* del canale, con il seguente significato: se la banda utile del segnale è molto minore di B_c allora non c'è distorsione, perché il canale non manifesta un apprezzabile effetto filtrante.



Il termine τ è detto *time spread* (dispersione temporale)



MODELLO DI CANALE 2 RAGGI



assumiamo di trasmettere la sinusoide pura:

$$s(t) = A e^{j2\pi f_0 t}$$

si riceve:

$$r(t) = A e^{j2\pi(f_0 - f_d)t}$$



MODELLO DI CANALE 2 RAGGI

dove f_d è la traslazione in frequenza dovuta al movimento del ricevitore, data da:

$$f_d = f_0 \frac{v}{c} \cos \vartheta$$

dove v è la velocità con cui si muove il mezzo, c è la velocità della luce e ϑ l'angolo con cui incide il segnale al ricevitore, e si ha $f_d > 0$ se il mobile si allontana dal trasmettitore.

Con tali definizioni, la banda di coerenza ed il tempo di coerenza vengono stimati come segue:

$$B_c \cong \frac{1}{\tau_m}, \quad T_c \cong \frac{1}{B_d} = \frac{1}{2f_0 \frac{v}{c}}$$

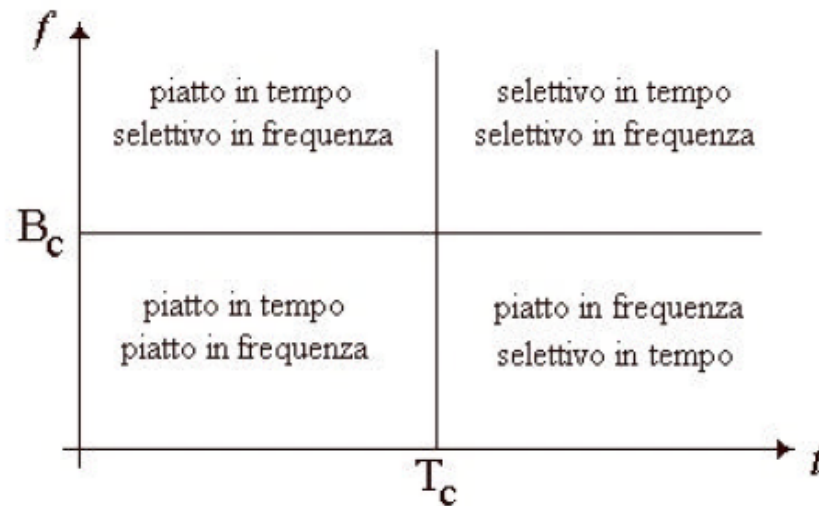
Se consideriamo quindi una generica modulazione numerica il cui simbolo abbia durata T_s e di larghezza di banda totale B_{tot} , le condizioni da rispettare affinché la ricezione avvenga senza distorsioni sono:

$$B_{tot} \ll B_c, \quad T_s \ll T_c$$



MODELLO DI CANALE 2 RAGGI

Nel caso non vengano rispettate tali condizioni il canale viene detto dispersivo in tempo (selettivo in frequenza) ed in frequenza, con le seguenti classificazioni:





PROPRIETA' DEI CODICI DI SPREADING

- Per ottenere l'effettivo massimo fattore di spreading G è sufficiente che la funzione di autocorrelazione sia assimilabile all'impulso di dirac.
- Le sequenze distinte di spreading devono essere tra loro ortogonali, cioè la loro cross-correlation deve essere nulla.
- Massimizzare il numero di sequenze distinte che è possibile ottenere e la loro lunghezza.



PROPRIETA' DEI CODICI DI SPREADING

- Per ottenere l'effettivo massimo fattore di spreading G è sufficiente che la funzione di autocorrelazione sia assimilabile all'impulso di dirac:
 - Per semplicità consideriamo l'intervallo $0 < t < T_b$ relativo alla trasmissione del bit a_0 . Il segnale trasmesso in tale intervallo è dato da:

$$x(t) = a_0 \cdot c(t)$$

- La banda del segnale trasmesso dipende quindi dalla banda del segnale di spreading $c(t)$. Per semplicità consideriamo in luogo di $c(t)$ la sua versione campionata con passo T_c , ovvero $c_i = c(iT_c)$. In questo caso la trasformata di Fourier $C(f)$ può essere espressa come:

$$C(f) = \sum_{i=0}^{G-1} c_i e^{-j2\pi f T_c}$$

- I termini c_i possono essere modellati come variabili aleatorie che assumono con probabilità 0.5 il valore +1 o -1. In questo caso c_i diventa un processo discreto la cui banda massima sarà raggiunta nel caso in cui possa essere assimilato a rumore bianco.



PROPRIETA' DEI CODICI DI SPREADING

- Ovviamente le sequenze di spreading c_i non sono sequenze aleatorie ma sequenze deterministiche (fra l'altro devono essere perfettamente conosciute al ricevitore per effettuare la demodulazione). Tuttavia, per ottenere l'effettivo massimo fattore di spreading G è sufficiente che la correlazione temporale sia assimilabile ad una delta, ovvero:

$$ACF = \frac{1}{G} \sum_{i=0}^{G-1} c_i c_{i+l} \cong \delta(l)$$

- Nei sistemi DS vengono quindi costruite, attraverso opportune tecniche di codifica, sequenze di spreading caratterizzate dalla precedente proprietà al fine di ottenere il massimo allargamento di banda possibile (per un G fissato).



PROPRIETA' DEI CODICI DI SPREADING

- Le sequenze distinte di spreading devono essere tra loro ortogonali, cioè la loro cross-correlation deve essere nulla:

$$\int_0^{T_b} C_A(t)C_B(t)dt \equiv 0 \quad (\text{condizione di ortogonalità tra i segnali di codice})$$

- Alcune classi di sequenze utilizzate:
 - Sequenze di Walsh
 - Sequenze PN
 - Sequenze OVFS



SEQUENZE ORTOGONALI (WALSH)

- A differenza delle sequenze PN, un codice ortogonale è un insieme di sequenze in cui tutte le sequenze di cross correlation a coppie sono uguali a 0.
- Un insieme di sequenze ortogonali è caratterizzato dalla seguente uguaglianza:

$$\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N c_{i,n} c_{j,n} = \begin{cases} 1 & \text{per } i = j \\ 0 & \text{per } i \neq j \end{cases}$$

- in cui $\{c_i\}$ e $\{c_j\}$ sono due sequenze dell'insieme; N è la lunghezza di ciascuna di queste; $c_{i,n}$ e $c_{j,n}$ sono, per queste sequenze, gli elementi di ordine n ($n = 1 \dots N$).



SEQUENZE ORTOGONALI (WALSH)

- Un insieme di codici di Walsh di lunghezza N è costituito dalle N righe di una matrice di Hadamard N x N.
- Le matrici di Hadamard sono matrici quadrate i cui coefficienti assumono solo i valori +1 e -1 e le cui righe (e colonne) sono perfettamente ortogonali tra di loro.
- La matrice di Hadamard di ordine inferiore è quella di ordine due, mentre quelle di ordine superiore, che devono essere comunque una potenza di due, si ottengono in modo ricorsivo nel seguente modo:

$$H_2 = \begin{bmatrix} +1 & +1 \\ +1 & -1 \end{bmatrix} \quad H_4 = \begin{bmatrix} H_2 & H_2 \\ H_2 & -H_2 \end{bmatrix} \quad \dots \quad H_{2N} = \begin{bmatrix} H_N & H_N \\ H_N & -H_N \end{bmatrix}$$



SEQUENZE ORTOGONALI (WALSH)

- I codici di dispersione ortogonali come le sequenze di Walsh possono essere utilizzati solo se tutti gli utenti dello stesso canale CDMA sono sincronizzati con una precisione di una piccola frazione di chip.
- Poiché la correlazione incrociata tra scorrimenti differenti delle sequenze di Walsh non è uguale a 0, se non può essere assicurata una sincronizzazione stretta, sarà necessario utilizzare sequenze PN.



SEQUENZE PSEUDO-NOISE (PN)

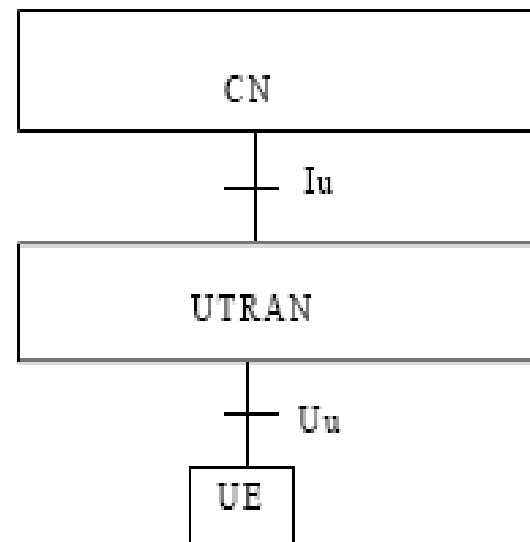
- Vengono generate da un algoritmo utilizzando un valore iniziale (seme).
- L'algoritmo è deterministico e quindi produce sequenze di numeri che non sono statisticamente casuali. Se non si conoscono l'algoritmo e il seme, è praticamente impossibile prevedere la sequenza.
- Il generatore di una sequenza PN è costituito da un registro a scorrimento con Feedback con r elementi di memoria e comandato da un segnale di clock con periodo T_c .
- Alcune uscite intermedie del registro sono sommate modulo due tra loro e riportate in reazione all'ingresso del registro stesso.



IL LIVELLO FISICO DELL'UMTS



ARCHITETTURA GENERALE



UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
CN	Core Network
UE	User Equipment



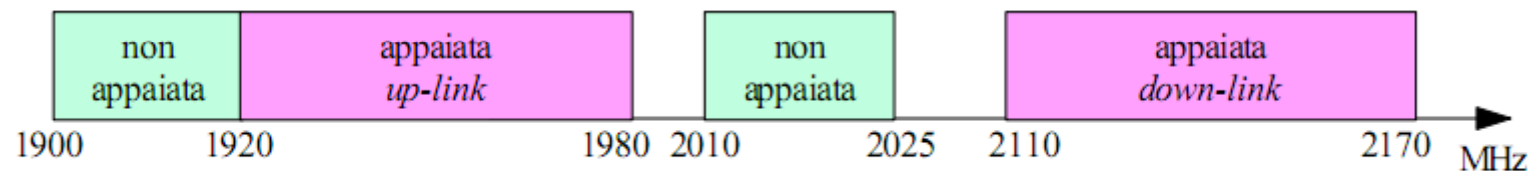
BANDE

- L'UMTS, che in Europa viene standardizzato dal 3GPP, utilizza le seguenti bande:
 - bande accoppiate dai **1920 Mhz** ai **1980 MHz** in uplink (dal terminale alla stazione base Node B) e dai **2110** ai **2170 MHz** in downlink (dal Node B al terminale), dove si impiegherà la modalità FDD (Frequency Division Duplex), con trasmissione digitale voce alla stessa velocità nelle due direzioni (simmetria) che consente un'ampia mobilità e offre piena mobilità di esercizio.
 - bande non accoppiate dai **1900** ai **1920 MHz** e dai **2010** ai **2025 MHz** dove sarà impiegata la modalità TDD (Time Division Duplex), tecnologia per la gestione del traffico asimmetrico nell'UMTS come ad esempio la navigazione su internet (offre una mobilità limitata risultando non adatta su ambienti coperti, indoor).
- Le bande indicate vengono suddivise in portanti da 5Mhz. I segnali da e verso tutti i terminali mobili isofrequenziali presenti nella cella, sono sovrapposti su una banda di 5MHz. La loro differenziazione sarà effettuata tramite scrambling e canalizzazione.



BANDE

Si è detto in precedenza che il sistema UMTS impiega, per le comunicazioni radio da e verso i terminali mobili, due **bande appaiate** e due **bande non appaiate**:





Modalità di funzionamento

- FDD: A duplex method whereby uplink and downlink transmissions use two separated radio frequencies. In the FDD, each uplink and downlink uses the different frequency band. A pair of frequency bands which have specified separation shall be assigned for the system.
- TDD: A duplex method whereby uplink and downlink transmissions are carried over same radio frequency by using synchronized time intervals. In the TDD, time slots in a physical channel are divided into transmission and reception part. Information on uplink and downlink are transmitted reciprocally.
- The access scheme is Direct-Sequence Code Division Multiple Access (DS-SS) with information either spread over approximately 5 MHz (FDD and 3.84 Mcps TDD) bandwidth, thus also often denoted as Wideband CDMA (WCDMA) due that nature, 10MHz (7.68 Mcps TDD) bandwidth, or 1.6MHz (1.28Mcps TDD), thus also often denoted as Narrowband CDMA.
- A 10 ms radio frame is divided into 15 slots (2560 chip/slot at the chip rate 3.84 Mcps) during 0.67 ms (time needed to implement power control)



MODALITÀ DI FUNZIONAMENTO

- Il rate dati sul canale varia con il symbol rate essendo questi derivate dal chip rate e dallo Spreading Factor (SF).

- La durata T_s di un simbolo dipende da SF e dalla durata T_c dei chip:

$$T_s = SF \times T_c, \quad \text{dove } T_c = 1/\text{chiprate}$$

- SF va da 256 a 2 sull'uplink FDD, da 512 a 4 sul downlink FDD, e da 16 a 1 per l'uplink e il downlink TDD.
- Dunque i rispettivi symbol rate di modulazione variano da 1,920 M symbols/s a 15 ksymbols/s (7.5 k symbols/s) per FDD uplink (downlink), mentre per la modalità TDD il symbol rate varia da 3,84 M symbols/s a 240 k symbols/s (Per un chip rate di 7.68 Mcps in modalità TDD lo Spreading factors varia da 32 a 1 sia per l'uplink che per il downlink, dunque i rispettivi symbol rate variano da 7.68 M symbols/s a 240 k symbols/s).



Some Parameters of WCDMA Physical Layer

Carrier Spacing	5 MHz (nominal)
Chip Rate	3.84 Mcps
Frame Length	10 ms (38400 chips)
No. of slots/frame	15
No. of chips/slot	2560 chips (Max. 2560 bits)
Uplink SF	4 to 256
Downlink SF	4 to 512
Channel Rate	7.5 Kbps to 960 Kbps



Parametri principali

	UTRA/FDD	UTRA/TDD
Tecnica di accesso	WCDMA	WCDMA+TDMA Ibrida
Chip rate	3.84 Mcps (SF FDD:4-256, TDD 1-16)	
Spaziatura tra portanti	4.4-5 MHz (200 kHz carrier raster)	
Durata della trama	10 ms	
N. slot per trama	15	
Sincronizzazione BTS	Non richiesta	Non richiesta (consigliabile)
Modulazione	DL: QPSK UL: Dual-code BPSK	DL: QPSK UL: QPSK
Ricevitore coerente	Uplink e downlink	
Multi-rate	Variabile SF + Multi-code + Multi-slot (TDD only)	



I CANALI FISICI

- Sono organizzati in una particolare struttura di trame e timeslot.
- Per il sistema UMTS una trama corrisponde a 10 ms ed è costituita da 15 timeslot.
- Il timeslot è l'unità temporale che contiene una serie di bit suddivisi in diversi campi. Il numero di bit per timeslot non è fisso e dipende dal particolare tipo di canale fisico.
- Nella modalità FDD la trasmissione avviene per tutti i time slot di una trama e i canali fisici sono individuati da un codice e da una frequenza; inoltre, per l'uplink, diversi flussi di informazioni possono essere trasmessi sui due rami I e Q del segnale e quindi differiscono soltanto per la fase relativa (0 o $\pi/2$).
- Nella modalità TDD, invece, un canale fisico sarà caratterizzato anche da un particolare timeslot.).



I CANALI FISICI

- Anche i canali fisici si dividono in canali comuni e canali dedicati.
- I canali dedicati sono:
 - **Dedicated Physical Data Channel (DPDCH):** è un canale utilizzato per trasportare i dati trasferiti dai livelli superiori attraverso il DCH (è il canale di trasporto che trasferisce i dati al livello fisico). Possono esistere uno, nessuno o più DPDCH per ogni connessione di livello 1.
 - **Dedicated Physical Control Channel (DPCCH):** viene utilizzato per il trasporto delle informazioni di controllo generate dal livello 1; tali informazioni consistono principalmente in sequenze di bit pilota (Pilot) per la stima del canale e in comandi per il controllo di potenza (TPC).
- In uplink il DPDCH e il DPCCH sono multiplati in codice sui due rami I/Q del segnale in ogni radio frame, mentre in downlink risultano multiplati nel tempo in un Dedicated Physical Channel (DPCH)



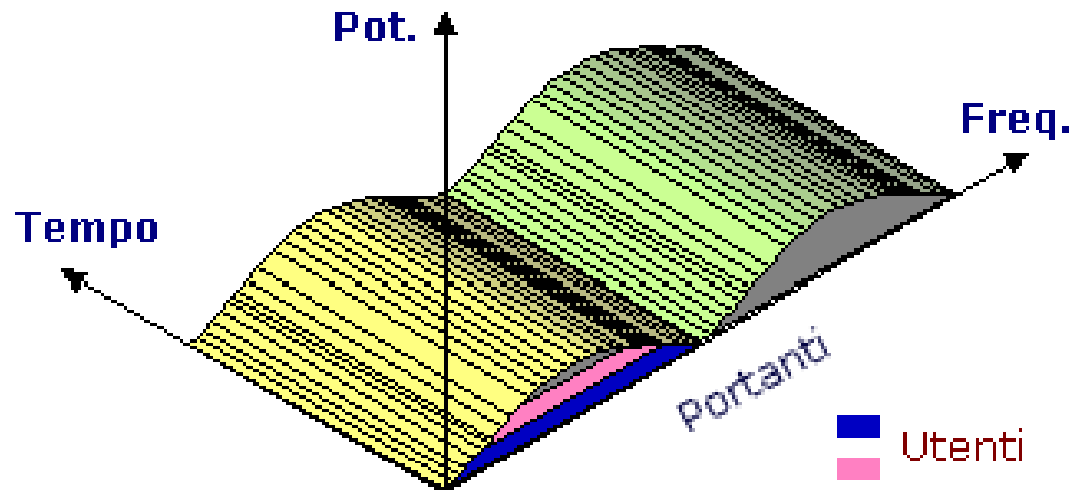
FUNZIONI LIVELLO FISICO

- Rilevamento degli errori sui canali di trasporto e indicazione ai livelli superiori.
- Codifica e decodifica FEC (Forward Error Correction), interleaving e deinterleaving dei canali di trasporto.
- Adattamento della velocità di trasmissione.
- Modulazione e demodulazione, spreading e despreading dei canali fisici.
- Sincronizzazione di tempo e frequenza (chip, bit, slot, frame).
- Misurazioni ed indicazione ai livelli superiori.
- Controllo di potenza ad anello chiuso.
- Processamento a radio frequenza.



SPREADING E SCRAMBLING

- La caratteristica distintiva che il sistema UMTS introduce rispetto al sistema GSM è la moltiplicazione a divisione di codice.



Modalità di separazione degli utenti con divisione di codice

- l'UMTS utilizza delle sottobande con larghezza di 5 Mhz.



SPREADING E SCRAMBLING

- Grazie a questa caratteristica si potrebbe pensare di utilizzare l'intera banda a disposizione per tutti gli utenti, ma questo comporterebbe l'utilizzo di un elevato numero di codici per la canalizzazione, questi sistemi pertanto utilizzano delle porzioni di tale banda (l'UMTS utilizza 5 Mhz per ciascuna portante), e ciascuna di queste può venire utilizzata dai singoli gestori su tutto il territorio di loro competenza. La suddivisione tra le varie celle avviene in questo caso con l'utilizzo dei codici di scrambling che identificano le varie stazioni base trasmettenti.



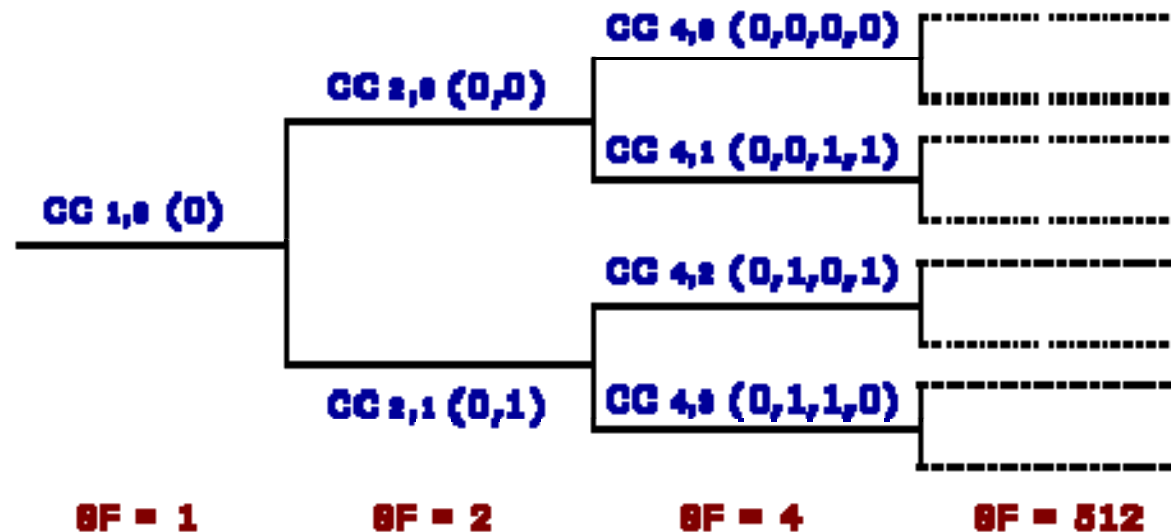
SPREADING E SCRAMBLING

- L'operazione di spreading è costituita essenzialmente da due fasi:
 - La prima fase è la canalizzazione che trasforma ogni simbolo in un certo numero di chip, espandendo così la larghezza di banda del segnale. Il numero di chip per simbolo viene chiamato Spreading Factor (SF).
 - La seconda fase è l'operazione di scrambling, tramite la quale alla sequenza di chip precedentemente ottenuta viene ancora applicato un codice di scrambling



SPREADING E SCRAMBLING

- Con la prima fase (la canalizzazione) i simboli sui rami I e Q (rispettivamente parte reale e parte immaginaria del segnale) vengono moltiplicati in modo indipendente per un codice OVSF (Orthogonal Variable Spreading Factor).



- Con la seconda fase, i segnali risultanti vengono ulteriormente moltiplicati per un codice di scrambling complesso.



SPREADING E SCRAMBLING

- I codici OVSF hanno la caratteristica di essere non correlati e preservano quindi l'ortogonalità tra i diversi canali fisici degli utenti anche a velocità e spreading factor differenti.
- Ogni codice $C_{SF,k}$ è caratterizzato dallo spreading factor e dal numero di codice k con quel determinato SF.
- Ogni livello dell'albero dei codici definisce i codici di lunghezza SF.
- I codici di canalizzazione per tutti i canali fisici vengono assegnati dall'UTRAN.
- Essendo la velocità di chip in aria fissata a 3.84 Mcps, è possibile trasmettere dati di sorgenti a rate variabile semplicemente variando il valore di SF e di conseguenza la lunghezza del codice.



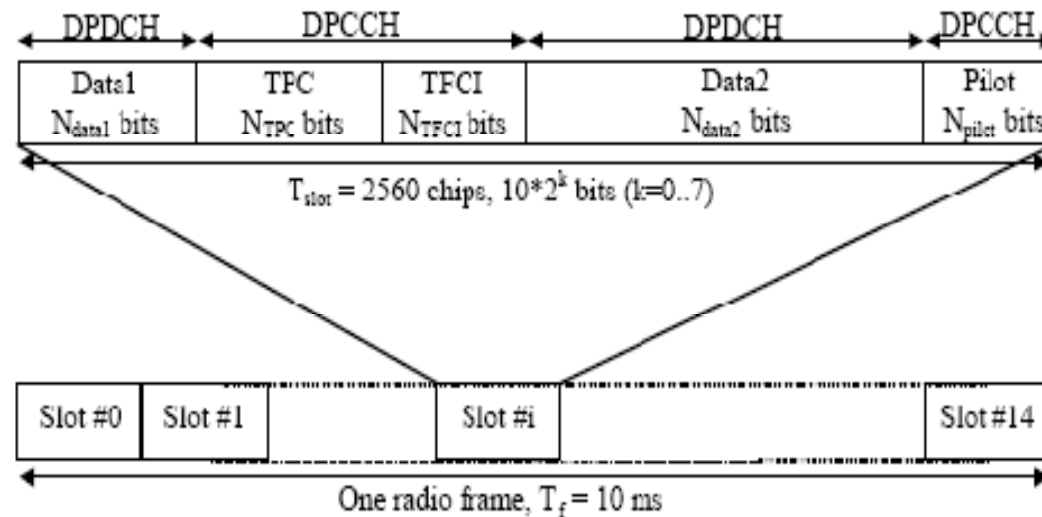
MODULAZIONE

- Lo schema di modulazione dell'UTRA è il QPSK sia per il downlink che per l'uplink per entrambe le modalità di trasmissione.
- Tuttavia per la modalità 1.28 Mcps TDD può essere usata anche la modulazione 8PSK.
- Per alcuni canali fisici della modalità FDD può essere usata anche la 16QAM e la 64QAM.
- Sul canale di uplink della modalità FDD può essere usata una particolare modulazione detta dual QPSK.



IL DOWNLINK

- In downlink vi è un solo canale fisico dedicato, il DPCH sul quale vengono multiplati nel tempo le informazioni di utente ed i messaggi di segnalazione di livello fisico.



- La figura mostra la struttura del DPCH, in cui ogni frame di 10 ms è suddiviso in 15 slot di 2560 chip.



IL DOWNLINK

- In questa direzione, potendo utilizzare una struttura di canale comune per "controlli" e "dati", viene utilizzata la tecnica di modulazione QPSK, la quale consente di trasmettere per ogni singolo Chip un doppio contenuto informativo

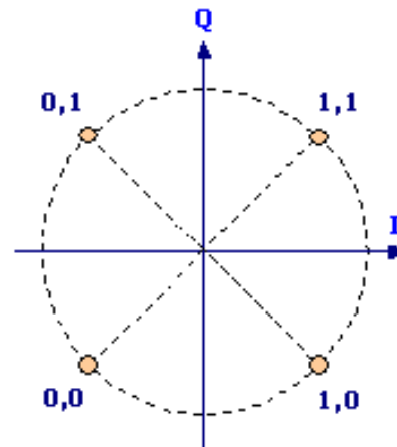
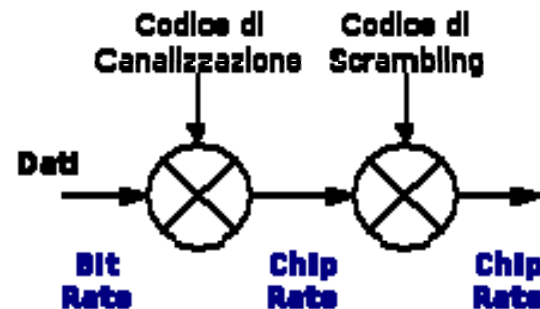


Diagramma di modulazione QPSK



IL DOWNLINK

- il segnale viene avviato ai processi di modulazione, e dopo avervi applicato il codice di canalizzazione che ne determina lo SF, viene applicato un ulteriore codice che esegue il rimescolamento dei vari Chip (la fase di scrambling).



Relazioni tra processi di codifica e velocità di cifra

All'interno di una cella viene utilizzata una stessa sequenza di scrambling, e questo consente la separazione dei segnali tra le varie celle (praticamente in una cella adiacente potrà essere utilizzato uno stesso codice di canalizzazione, ma utilizzando un differente codice di scrambling tali segnali non si sovrappongono)



UPLINK

- In questa direzione vengono utilizzati due canali indipendenti per la trasmissione del canale fisico di controllo (DPCCH) e quello dei dati (DPDCH), i quali peraltro possono utilizzare differenti valori di SF (ricordiamoci che lo SF utilizzato per il canale DPCCH in uplink è fissato al valore di 256).
- Per ottimizzare l'energia necessaria al terminale mobile per la trasmissione di questo segnale viene utilizzata una tecnica di modulazione definita "Dual Channel QPSK". Questa tecnica consiste nel trasmettere sulla componente in quadratura (ramo "Q") il canale di controllo, mentre il canale dati verrà trasmesso sulla componente in fase (ramo "I"), e il segnale composito che ne risulta avrà una caratteristica molto simile a quello di un segnale QPSK, ma con la particolarità di trasportare separatamente i due canali come se fossero due segnali modulati BPSK sulla stessa portante (non a caso questa tecnica di modulazione viene altresì definita come "Dual Code BPSK").



UPLINK

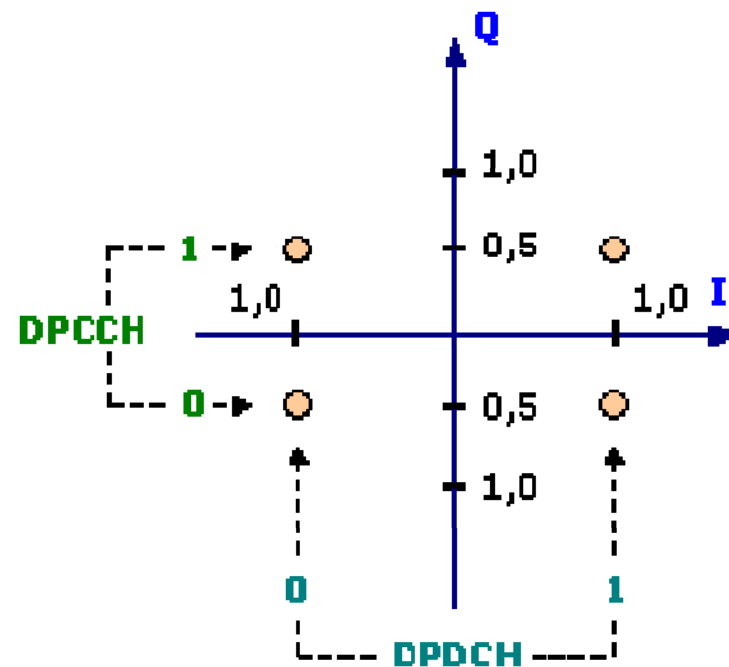


Diagramma di costellazione Dual Channel QPSK
utilizzato in uplink



UPLINK

- In questa Il diagramma sopra riportato rappresenta un tipico segnale modulato in tecnica Dual Channel QPSK, ove la componente in quadratura viene trasmessa con una potenza pari al 50% di quella trasmessa sulla componente in fase. Poiché per ogni singolo canale viene utilizzato un solo simbolo (0 o 1), il quale corrisponde ad un singolo Chip, risulta essere chiara la differenza del massimo SF applicabile in questa direzione (pari a 256), rispetto a quello applicabile in downlink (pari a 512), per il quale ogni Chip rappresenta invece una coppia di Bit, ma è da considerare che la capacità trasmissiva non cambia in quanto con questa tecnica abbiamo la trasmissione dei due canali in divisione di codice, mentre in downlink i due canali sono divisi sulla base del tempo.

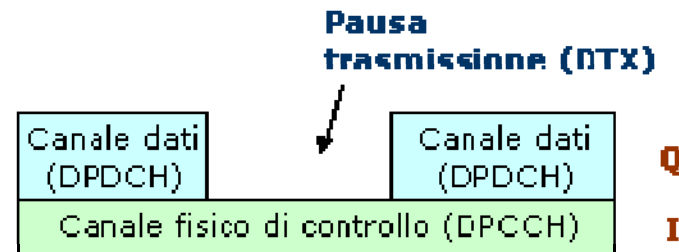


UPLINK

- Con l'utilizzo di questa tecnica di modulazione si possono sfruttare i seguenti vantaggi:
 - Totale indipendenza tra il canale di controllo e quello per la trasmissione dei dati.
 - Possibilità di trasmettere il canale di controllo con una minore potenza rispetto al canale dati, consentendo così un risparmio di energia per il terminale e, contestualmente, creare una minore interferenza del canale di controllo verso il canale dati.



UPLINK



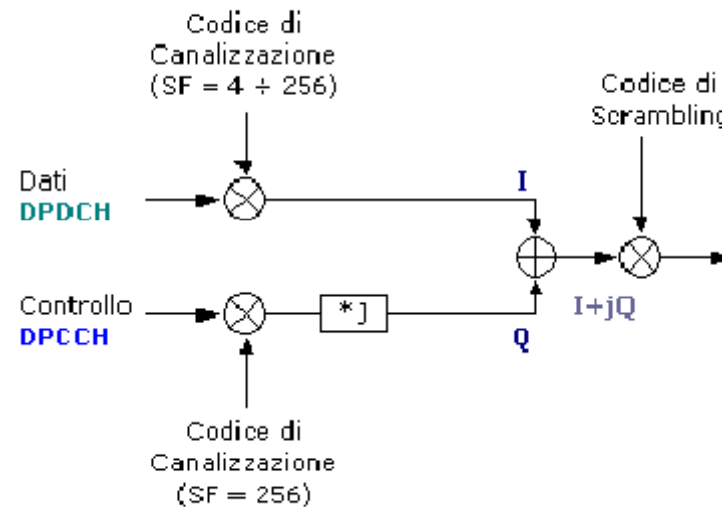
**Principio della trasmissione discontinua
sul canale fisico in uplink**

- Quando viene utilizzata la funzionalità della trasmissione discontinua (DTX) è possibile cessare completamente la trasmissione del canale dati, ma lasciando in trasmissione il canale di controllo verrà comunque tenuta in piedi la comunicazione. Un'altro effetto di questa tecnica applicata al DTX è quello di non creare quei disturbi elettromagnetici classici di una trasmissione ad impulsi, come invece avviene nel GSM, migliorando così la compatibilità elettromagnetica del terminale mobile.



UPLINK

- Anche nella direzione uplink, prima della trasmissione in aria, viene applicato un codice di rimescolamento (scrambling), il quale agirà uniformemente sul segnale già modulato e composto dei canali DPDCH e DPCCH.



Principio di canalizzazione e scrambling di un canale uplink

- Guardando lo schema di principio sopra riportato, possiamo notare come ai due canali uplink (già modulati BPSK) vengano applicati due differenti codici di canalizzazione, dopodichè al canale di controllo viene applicato uno sfasamento di 90° per portarlo sul ramo "Q", nonché un'amplificazione negativa per ridurne la potenza rispetto al canale dati. Solo dopo che i due canali vengono tra loro combinati si applica il codice di scrambling.



ALLOCAZIONE CODICI

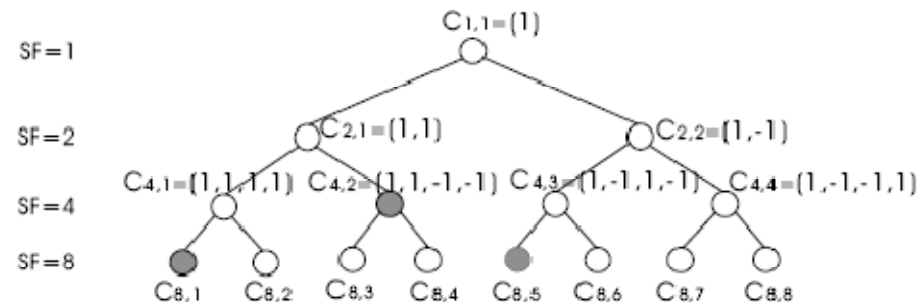
- Nelle applicazioni CDMA i codici ortogonali più comunemente utilizzati sono quelli di Walsh.
- Un insieme di codici di Walsh di lunghezza N è costituito dalle N righe di una matrice di Hadamard N x N.
- Le matrici di Hadamard sono matrici quadrate i cui coefficienti assumono solo i valori +1 e -1 e le cui righe (e colonne) sono perfettamente ortogonali tra di loro.
- La matrice di Hadamard di ordine inferiore è quella di ordine due, mentre quelle di ordine superiore, che devono essere comunque una potenza di due, si ottengono in modo ricorsivo nel seguente modo:

$$H_2 = \begin{bmatrix} +1 & +1 \\ +1 & -1 \end{bmatrix} \quad H_4 = \begin{bmatrix} H_2 & H_2 \\ H_2 & -H_2 \end{bmatrix} \quad \dots \quad H_{2N} = \begin{bmatrix} H_N & H_N \\ H_N & -H_N \end{bmatrix}$$



ALLOCAZIONE CODICI

- I codici OVFS vengono usati come codici di canalizzazione nell'UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) e vengono proprio assegnati da quest'ultima. I possibili codici OVFS possono essere rappresentati con una struttura ad albero.



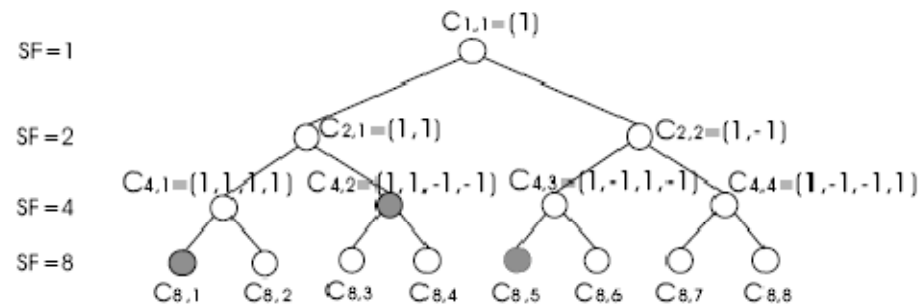
Albero dei codici OVFS con SF=8

- Ogni codice OVFS viene indicato come $C_{SF,k}$, dove SF è il fattore di spreading e k è il numero di branch, con $1 \leq k \leq SF$. Un codice nel livello n (partendo dal livello 0) avrà $SF=(2^n)$. Il codice radice è $C_{1,1}=(1)$. I codici al k-mo livello vengono definiti generando due codici (C, \bar{C}) da ogni codice (C) al (k-1)-mo livello. Il numero massimo di livelli è determinato dal massimo SF. Il numero di codici ad ogni livello è uguale allo SF.



ALLOCAZIONE CODICI

- Tutti i codici dello stesso livello sono ortogonali fra loro mentre il codice di un livello è ortogonale a un codice di un altro livello solo se non è antenato o discendente di quest'ultimo.
- I codici foglia hanno il minimo data rate, che è indicato con R . Il data rate si raddoppia man mano che si passa da un livello più basso a uno più alto dell'albero.
- $C_{4,1}$ ha rate $2R$, e $C_{2,1}$ ha rate $4R$ ed inoltre ci sono i codici evidenziati in grigio che potrebbero essere assegnati perché ortogonali fra loro. Se ad esempio una chiamata richiedesse un data rate di $2R$ non gli si dovrebbe assegnare $C_{4,1}$ ma $C_{4,4}$.





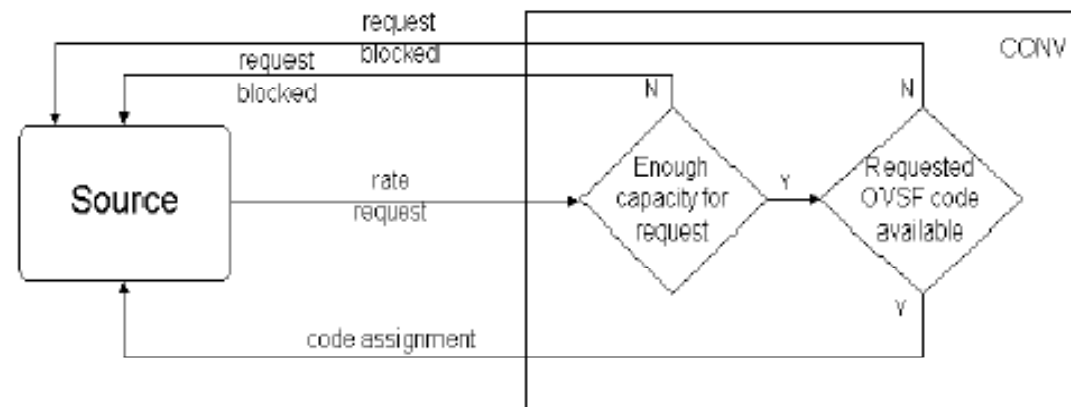
ALLOCAZIONE CODICI

- Il problema dell'assegnamento dei codici è quello di individuare una politica di allocazione dei codici quando ne esistono di liberi, evitando un'eccessiva frammentazione dell'albero.
- Quando non esistono codici liberi ma l'albero ha una capacità sufficiente a servire la richiesta vi sono due possibilità:
 - La prima è quella di rifiutare la richiesta, ed in questo caso si parla di **code blocking** (accade molto spesso per richieste high-rate).
 - La seconda è quella di riallocare alcuni codici nell'albero per servire la richiesta. Questo è chiamato problema di riallocazione dei codici o di **code handover**.
- Abbiamo due schemi di allocazione:
 - **CONV** (*CONVentional ovsf-code assignment*)
 - **DCA**(Dynamic ovsf Code Assignment)



ALLOCAZIONE CODICI

- Nello schema CONV (CONVentional ovsf-code assignment), un codice OVSF viene assegnato a una richiesta di trasmissione solo quando è disponibile e l'ortogonalità viene mantenuta.





ALLOCAZIONE CODICI

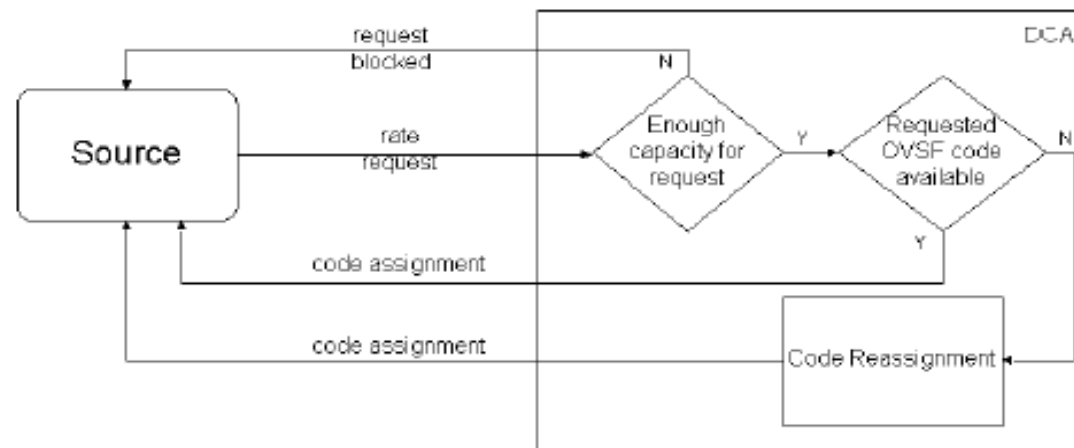
- Esistono tre possibili strategie per la scelta del codice da assegnare:
 - *Random*: Se ci sono più codici nell'albero dei codici che possono soddisfare la richiesta, ne viene preso uno in modo random.
 - *Leftmost*: Se ci sono più codici nell'albero che possono soddisfare la richiesta, si prende quello più a sinistra e lo si assegna alla richiesta. L'intuizione è quella di lasciare libera la parte destra dell'albero per servire richieste high-rate in futuro.
 - *Crowded-first*: Se ci sono più codici nell'albero che possono soddisfare la richiesta, si prende quello il cui albero ha la più piccola capacità libera.





ALLOCAZIONE CODICI

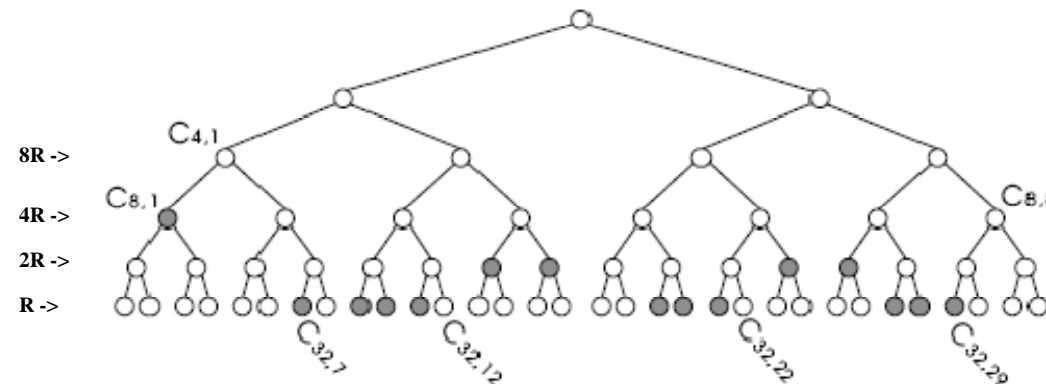
- Per eliminare il problema del code-blocking causato dallo schema CONV, è stato proposto uno schema di assegnamento dinamico DCA.
- Questo schema riassegna i codici che possono causare code blocking al fine di rendere assegnabile un codice per le richieste high-rate:





ALLOCAZIONE CODICI

- Consideriamo come esempio il seguente albero dei codici con una richiesta di rate $8R$:



- Il codice $C_{4,1}$ fa parte del branch a costo minimo di riassegnamento, poiché contiene solo due codici occupati, $C_{8,1}$ e $C_{32,7}$. Quando viene riallocato $C_{8,1}$, bisogna effettuare un ulteriore riassegnamento. Questa volta $C_{8,8}$ viene selezionato come branch a costo minimo perché contiene un solo codice occupato che è $C_{32,29}$. Basandosi sulla strategia crowded-first, $C_{32,29}$ viene liberato e al suo posto viene scelto $C_{32,12}$. Poi $C_{8,1}$ verrà liberato e la relativa richiesta verrà riassegnata a $C_{8,8}$ e così accadrà per $C_{32,22}$ che prenderà il posto di $C_{32,7}$. In questo modo $C_{4,1}$ è stato liberato per servire la richiesta di $8R$.

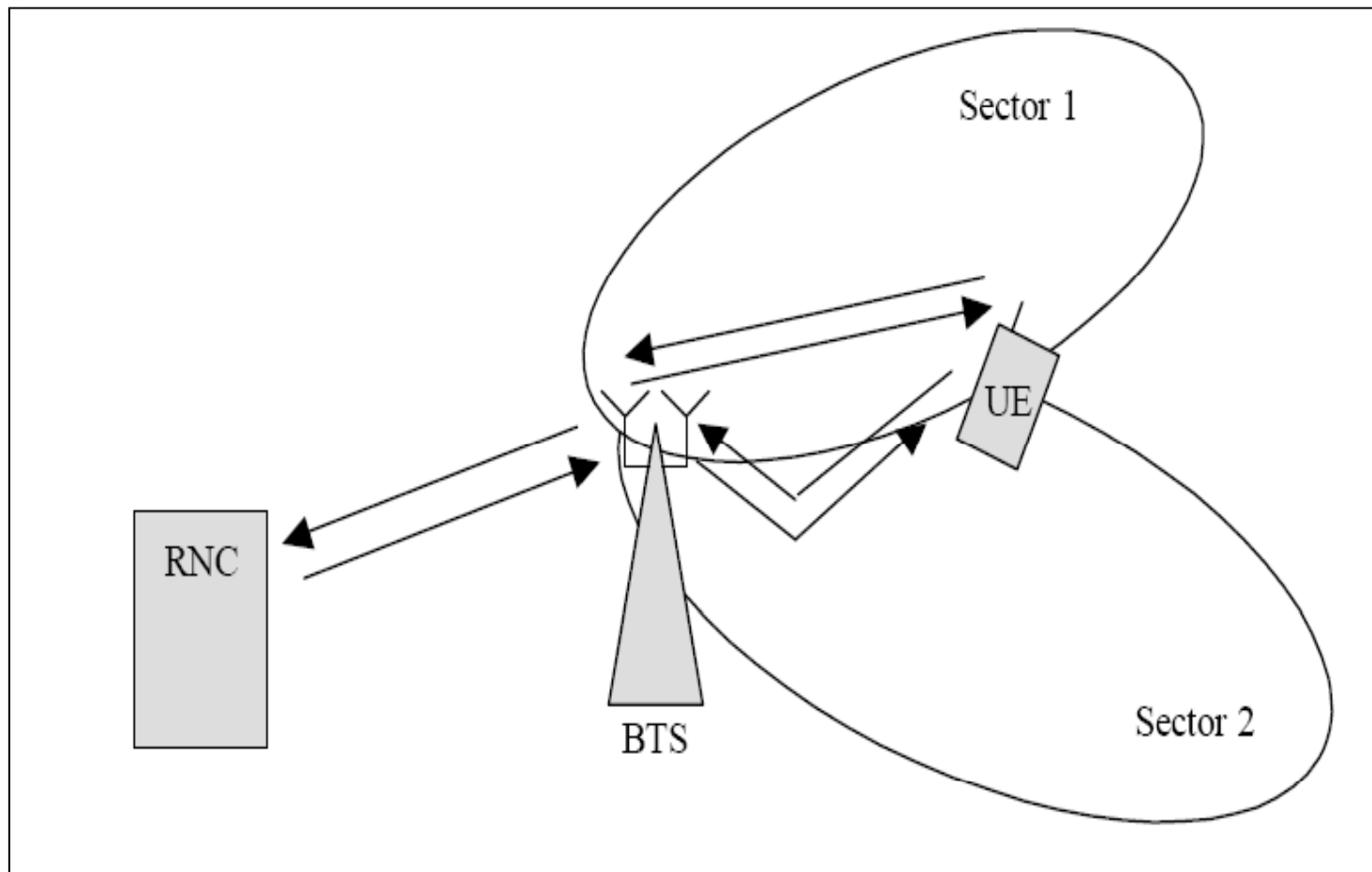


Softer e Soft Handover

- Danno la possibilità all'utente di essere servito da più celle in contemporanea, avvalendosi della macrodiversità;
- il softer h. riguarda più celle afferenti allo stesso node-b, il soft h. celle afferenti a differenti node-b.
- Non verranno rilasciate le risorse di una cella prima di ricevere il servizio dall'altra.

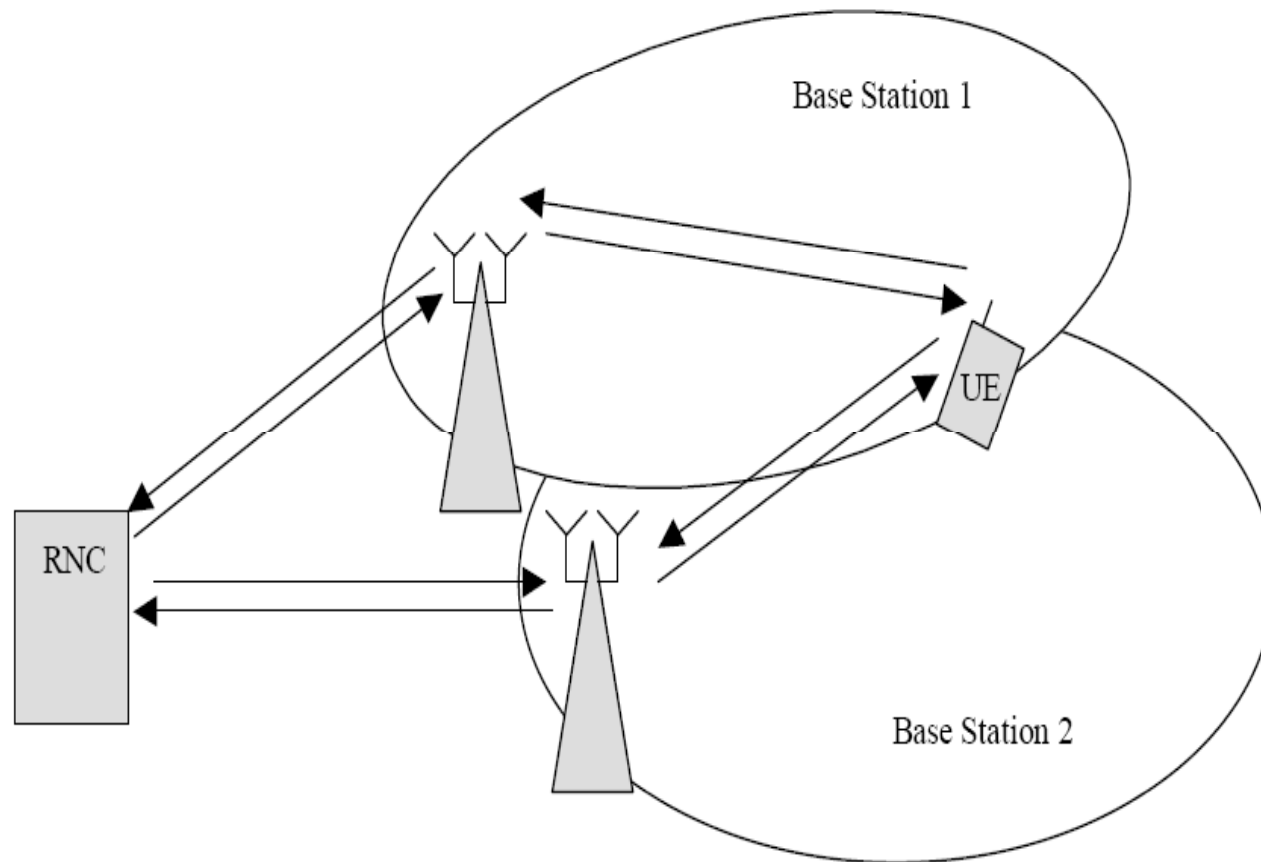


Softer Handover





Soft handover





Macrodiversità - active set

