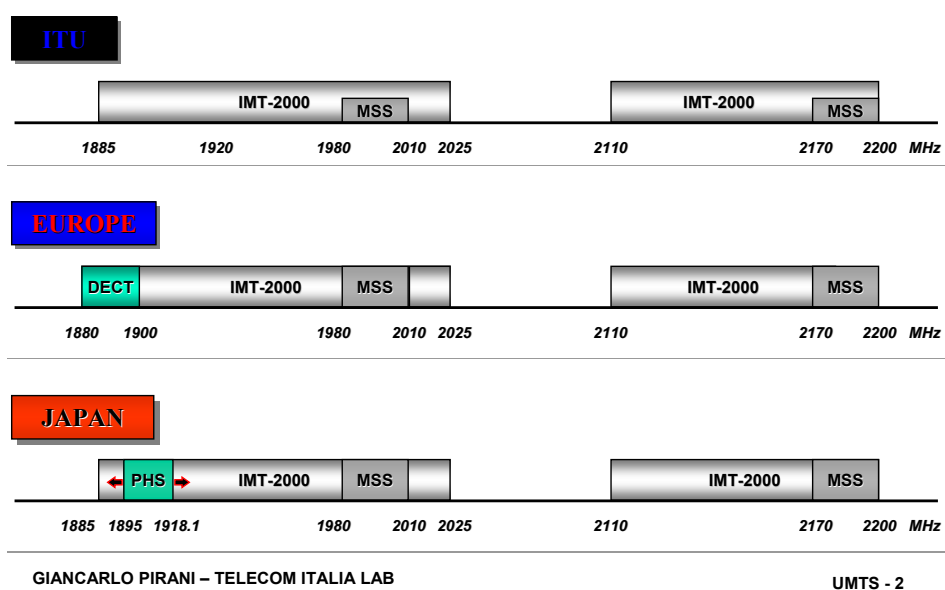


# **Alcune nozioni su: servizi e sistemi UMTS**

**Gruppo Reti TLC**  
**[giancarlo.pirani@telecomitalia.it](mailto:giancarlo.pirani@telecomitalia.it)**  
**<http://www.telematica.polito.it/>**

## Assegnazione di banda per la terza generazione



La banda totale assegnata dal WARC'92 alle regioni mondiali è mostrata in figura. La banda assegnata ai sistemi IMT-2000 include sia porzioni simmetriche sia asimmetriche.

## Requisiti di banda, requisiti degli operatori (1)

Services	User net bit rate	Coding factor	Asymmetry factor	Call duration	Service band (kbit/s)	Switch. mode
High Interactive multimedia	128	2	1/1	144	256/256	Circuit
High multimedia	2000	2	0.005/1	53	20/4000	Packet
Medium Multimedia	384	2	0.026/1	14	20/768	Packet
Switched data	14.4	3	1/1	156	432/432	Circuit
Simple messaging	14.4	2	1/1	30	28.8/28.8	Packet
Speech	16	1.75	1/1	60	28.8/28.8	Circuit

GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

UMTS - 3

Il Forum UMTS ha dedicato molti sforzi per valutare lo spettro necessario in funzione dello scenario atteso di servizi della terza generazione e per calcolare (secondo le assegnazioni WARC e i minimi requisiti di spettro) il numero "ottimo" di operatori UMTS in una dato paese.

Per effettuare questi calcoli il Forum ha assunto che:

- tra il 2002 e il 2005 la maggior parte dei servizi forniti dalla rete UMTS saranno servizi multimediali;
- la voce e i dati a bassa velocità sono assegnati all'UMTS solo per un 10% dell'ammontare totale (90% di questi servizi sono assegnati a sistemi di seconda generazione);
- la minima spaziatura tra portanti è 5 MHz, valida sia per W-CDMA sia per TD-CDMA (i due schemi di accesso scelti dall'ETSI);
- 155 MHz sono disponibili per la terza generazione, come specificato dal WARC.

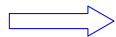
Inoltre le valutazioni del Forum hanno assegnato un alto grado di asimmetria ai servizi ad alto bit-rate sia per *range* di "periodo di sessione (minuti) sia per *range* di "lungo termine (giorno).

L'asimmetria (rapporto tra bit trasmessi sull'*up-link* e bit trasmessi sul *down-link* in un intervallo di tempo di integrazione) può raggiungere valori di alcune decine in un periodo di sessione.

La tabella rappresenta le classi di servizi UMTS e le relative caratteristiche adottate dal Forum UMTS per effettuare stime della banda richiesta e per valutare il numero ottimo di operatori UMTS in un determinato paese.

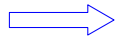
## Requisiti di banda, requisiti degli operatori (2)

**Ambiente  
urbano ad  
elevato traffico**



**4 Mbit/s/Km<sup>2</sup> per Up-Link  
37 Mbit/s/Km<sup>2</sup> per Down-Link**

**Minimi requisiti  
per gli operatori**



**2X15 MHz + 5MHz**

**frequenze simmetriche  
(paired)**

**frequenze asimmetriche  
(unpaired)**

GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

UMTS - 4

Le assunzioni del Forum sulla penetrazione multimediale sono:

- 16% di utenti multimediali per l'anno 2005
- 30% per l'anno 2010.

Come detto, la voce e i servizi dati a bassa velocità vengono assegnati ai sistemi di seconda generazione per la prima fase dell'UMTS.

I requisiti di spettro (Mbit/s/km<sup>2</sup>) sono stati calcolati attraverso l'assunzioni semplificativa solo per il contesto urbano, dal momento che esso riflette la situazione più congestionata in termini di traffico e di capacità di servizio richiesta.

La condizione operativa minima per un singolo operatore è quella riportata in figura, implicando il fatto che non più di 4 operatori stanno condividendo in un dato paese la banda totale di 155 MHz.

La banda assegnata a ogni operatore è più o meno la stessa in tutta Europa. Ad eccezione della Svezia, tutte le licenze sono assegnate su scala nazionale.

Nel caso di una licenza singola, la banda tipica è 2 x 10 MHz + 5 MHz nella porzione asimmetrica dello spettro.

Offerte miste sono 2 x 10 MHz + 5 MHz e 2 x 15 MHz + 5 MHz rispettivamente. .

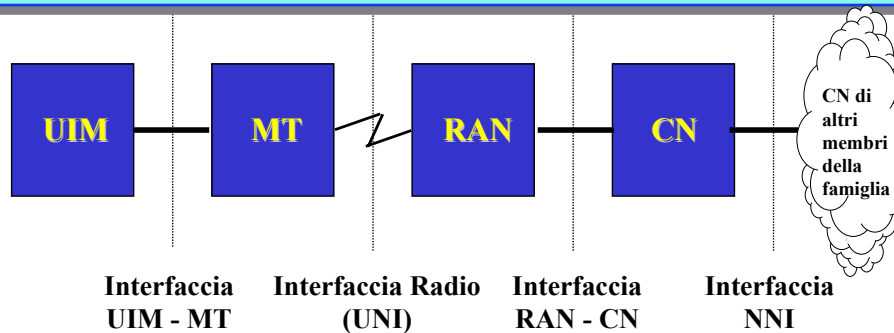
Tipicamente, nei primi anni, viene richiesto che percentuali della popolazione tra 20 e 25% siano coperte. Quando non menzionato, la minima bit-rate richiesta è 144 Kbit/s.

Le condizioni di roaming per 2G - 3G sono normalmente richieste per un periodo di tempo limitato, finché il nuovo entrante non raggiunga una data percentuale di copertura radio. Il roaming nazionale assicurato ai nuovi entranti ha costituito in alcuni casi un punteggio molto alto nei criteri di assegnazione delle licenze. Vengono normalmente anche posti dei limiti all'inquinamento elettromagnetico secondo criteri uniformi in ogni paese (e dipendenti dal paese stesso).

## **“Concetto e membri di IMT2000 Family”**

**Un membro della “IMT2000 Family” dovrebbe supportare:**

- Un insieme di “capabilities” di servizio e di rete (suddivise in fasi)
- Un set di interfacce IMT2000 da essere definite da ITU



GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

UMTS - 5

Questo è il concetto della “IMT2000 family” approvata nel contesto ITU-T. L’ITU ha deciso di definire un framework per i sistemi di terza generazione per permettere la migrazione dai diversi sistemi di seconda generazione sviluppati nelle varie regioni.

Questo implica la sostituzione dell’idea di un sistema target IMT-2000 con una rete di riferimento virtuale IMT-2000 che è primariamente usata per specificare le interfacce necessarie per la “IMT-2000 family”.

Essa dovrebbe permettere a sistemi compatibili di co-esistere e interoperare indipendentemente dal percorso evolutivo e dai requisiti generici che indirizzano i diversi modi di realizzare particolari “capabilities” di servizio e di rete.

In questo contesto, un sistema mobile può essere considerato un membro della “IMT 2000 family” quando esso può supportare un set minimo di “capabilities” di servizi e di rete ed essere compatibile con un set di interfacce definite dall’ITU.

Un accordo esteso è stato raggiunto tra cinque organismi di standardizzazione per sviluppare congiuntamente specifiche per un Sistema Mobile di Terza Generazione, come membro della “IMT-2000 family”. Esso è basato su:

- modalità UTRAN, FDD (W-CDMA) and TDD (TD-CDMA)
- Core Network evoluta da GSM/GPRS.

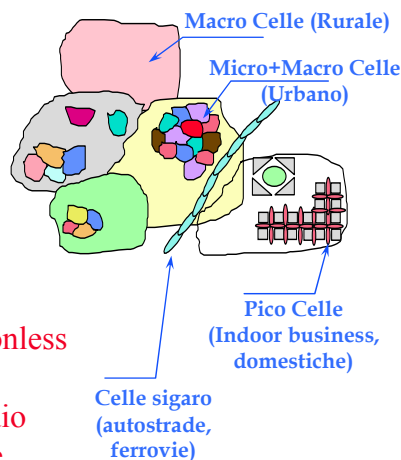
Gli organismi di standardizzazione sono: ETSI (Europa); ARIB, TTC (Giappone); TTA; T1 (USA). L’organismo incaricato delle relative specifiche è il *Third Generation Partnership Project* (3GPP).

## UMTS – Soluzioni flessibili per una varietà di contesti di servizio

diversi tipi di servizio  
“overlapping coverage”  
QoS “service-driven”  
varietà di contesti di servizio



- modelli di sorgente
- servizi connection-oriented e connectionless
- politiche di “call admission”
- controllo risorse radio e prestazioni radio
- impatto sulle strategie di pianificazione



GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

UMTS - 6

I sistemi mobili di terza generazione (UMTS) possono soddisfare un numero significativo di questi nuovi requisiti di servizio, anche se già il sistema GSM sta evolvendo per adattarsi alle nuove dinamiche di mercato. La sua capacità trasmissiva è ora limitata a 9.6 kbit/s, ma può essere aumentata con nuove soluzioni ad-hoc.

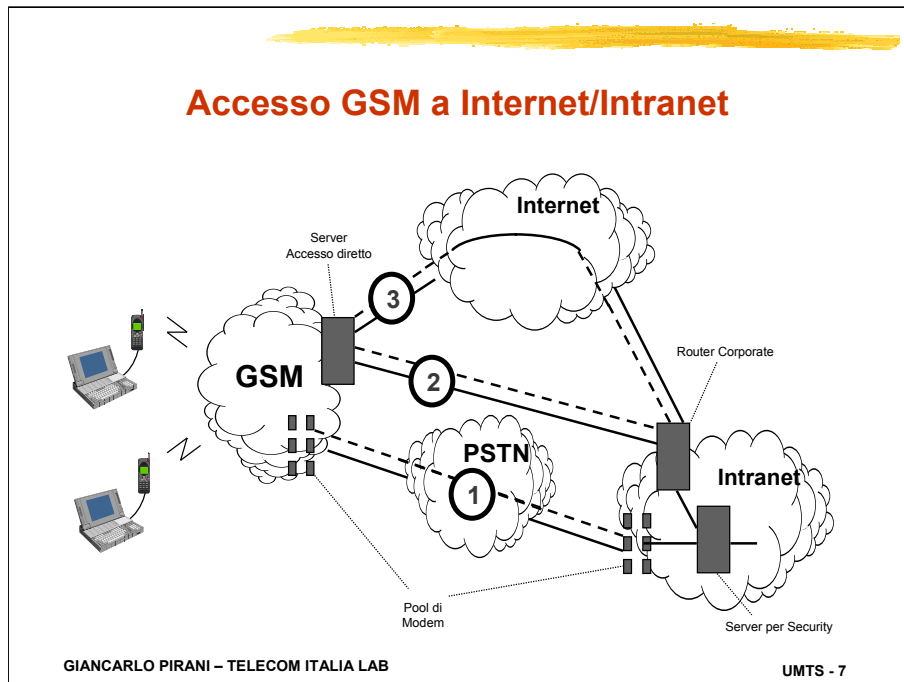
I sistemi mobili possono facilmente basare la loro capacità di innovazione di servizio su soluzioni avanzate per la creazione e il controllo di applicazioni. Esempi sono: il SIM Application Toolkit e il Wireless Application Protocol, che possono promuovere lo sviluppo di servizi a valore aggiunto nelle comunicazioni mobili. Le opportunità di convergenza dipendono anche da questo sviluppo “parallelo” di servizi e “capabilities” mobili.

Un primo elemento che caratterizza l'UMTS rispetto ai sistemi di seconda generazione è il contesto di servizio. La varietà di applicazioni prevista per la prossima decade in ambito mobile richiede che i sistemi di terza generazione siano in grado di operare con una significativa flessibilità, adattando le caratteristiche dell'accesso radio a un ampio spettro di diversi contesti di servizio.

Ad esempio, in un ambito urbano, la copertura radio sarà realizzata sempre più con microcelle (100 – 500 m.). Per minimizzare i costi e soddisfare al tempo stesso la varietà di diversi requisiti di servizio, può essere necessario introdurre una copertura radio sovrapposta nel contesto pubblico. Per la copertura indoor, si adotteranno tipicamente soluzioni a pico-celle.

La flessibilità dell'UMTS rispetto sia agli ambienti di applicazioni sia ai contesti di servizio, può incoraggiare ulteriormente approcci di sostituzione.

Un altro elemento che caratterizza i servizi UMTS si riferisce all'integrazione con la rete IP. Questo in principio può allargare l'insieme di servizi che sarà disponibile agli utenti mobili.



Il GSM offre sin d'ora una serie di soluzioni sofisticate per i servizi dati. La capacità di trasmissione è limitata per adesso a 9.6 Kbit/s. Tuttavia esistono le seguenti estensioni:

- High Speed Circuit Switched Data (HSCSD) che offre la possibilità di instaurare portanti multiple in una singola connessione a commutazione di circuito;
- General Packet Radio Services (GPRS) che introduce la commutazione di pacchetto sull'interfaccia radio;

Il GSM può accedere a Internet/Intranet tramite:

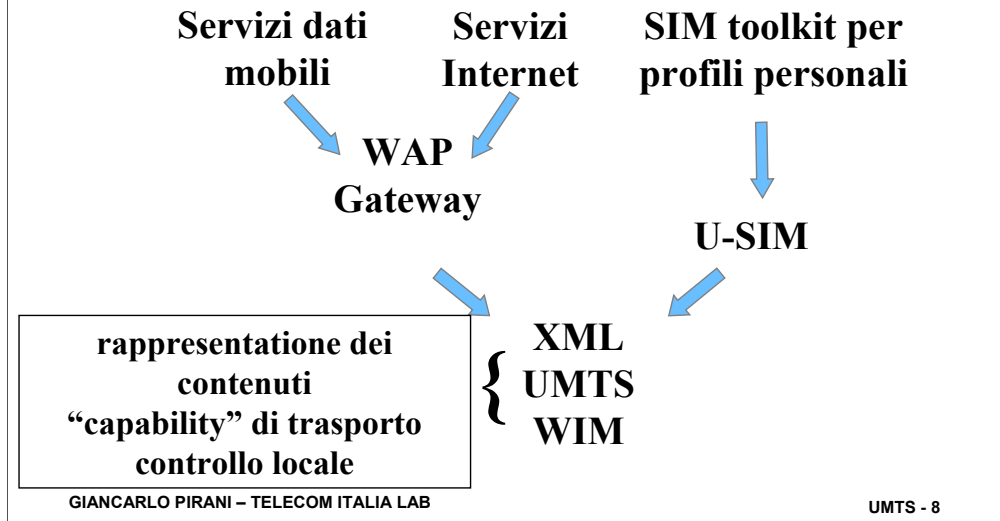
- la PSTN (Public Switched Telephone Network); in questo caso un pool di modem è usato su entrambi i lati della connessione;
- un accesso diretto che è possibile attraverso un server per l'accesso diretto.

Per affrontare il crescente traffico dati, il GSM può avvantaggiarsi dalla banda assegnata nel range di 1800 MHz (GSM 1800).

Le infrastrutture del GSM 900 e del GSM 1800 possono essere integrate una con l'altra: la seconda può essere progettata in modo da coprire zone ad alta densità (microcelle) essendo completamente basata (controllata) dalla infrastruttura del GSM (BSC). Questa integrazione può essere realizzata a diversi livelli gerarchici, ed offre una varietà di possibili configurazioni, in dipendenza dai requisiti di traffico e dal livello di saturazione dell'infrastruttura precedente.

Questo implica un'utilizzazione efficiente dell'infrastruttura GSM e può risolvere diversi problemi di larghezza di banda, permettendo una utilizzazione flessibile e dipendente dal contesto delle caratteristiche del sistema.

## Servizi dati mobili e basati su IP: il percorso verso la convergenza



Nella prospettiva UMTS, due diversi tipi di percorsi possono trovare il loro punto di convergenza.

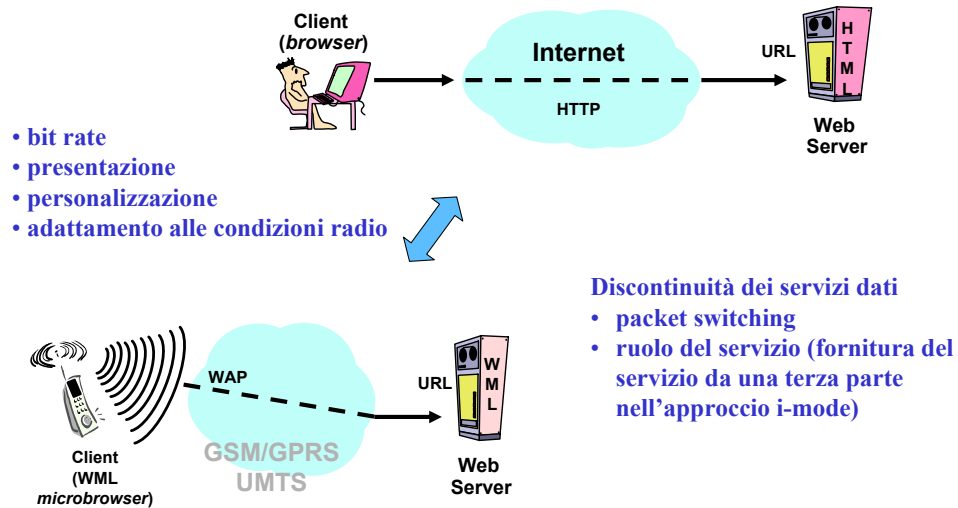
- Uno è procedere dagli interessi comuni tra Mobile e IP identificati per i servizi dati; questo si recupera con le soluzioni WAP e "tipo WAP".
- L'altro è procedere lungo il percorso della personalizzazione, come anticipato dalle applicazioni basate su SIM (SIM toolkit).

La soluzione della convergenza recupera i requisiti in termini di:

- Capability di rappresentazione (uso di eXtended Mark-up Language)
- Capacità (caratteristiche dell'UMTS)
- "Features" di servizio personale, compresa la "capability" di controllare il microbrowser del terminale mobile attraverso la SIM.



## Evoluzione del servizio interagendo con i dati .....



- bit rate
- presentazione
- personalizzazione
- adattamento alle condizioni radio

### Discontinuità dei servizi dati

- packet switching
- ruolo del servizio (fornitura del servizio da una terza parte nell'approccio i-mode)

GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

UMTS - 9

**.....attraverso terminali appropriati  
orientati ai dati, indirizzabili, interattivi**



sensori: traffico, tempo, ambiente,  
controllo, sorveglianza



Wearable



evoluzione  
del palm  
set mobile

Voice Centric: Smart Phone



Information Centric: Communicator



new conditions for ubiquity

contenuti  
(QoS) vincoli  
statistica delle interazioni  
bit rate

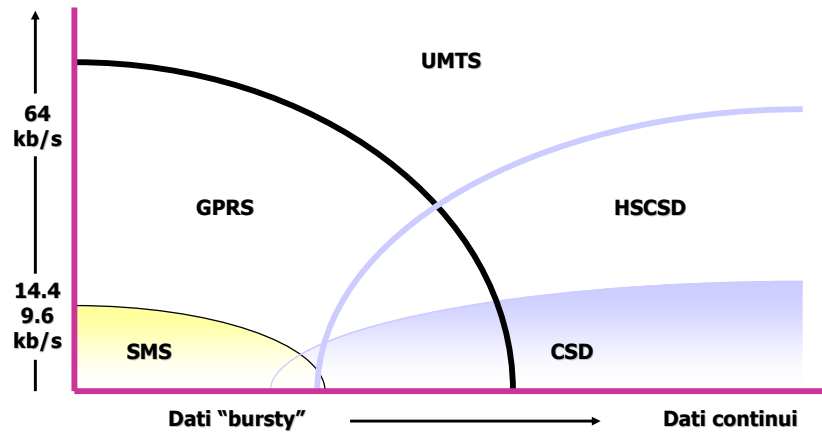


navigatori, console per i  
game, video/camere,  
pagamenti

GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

UMTS - 10

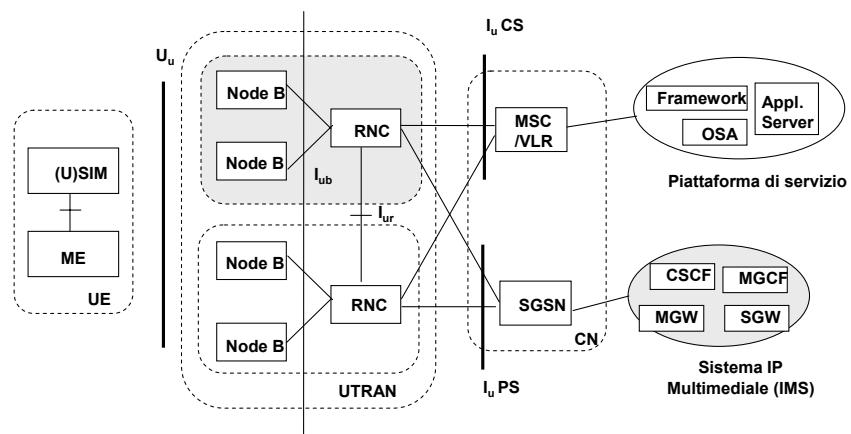
## Posizionamento UMTS



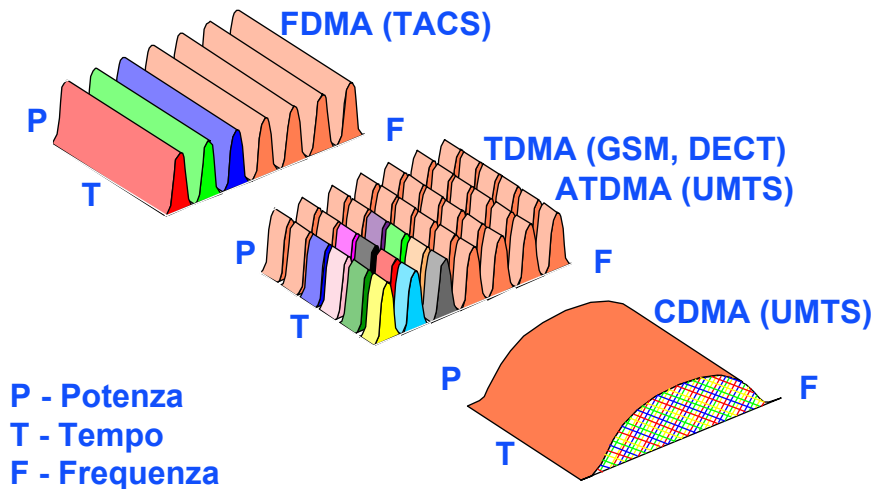
GIANCARLO PIRANI - TELECOM ITALIA LAB

UMTS - 11

# L'architettura dell'UMTS



## Tecniche di accesso per comunicazioni mobili



GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

UMTS - 13

Si è già visto come le più importanti tecniche di accesso sono la FDMA (*Frequency Division Multiple Access*), TDMA (*Time Division Multiple Access*) e CDMA (*Code Division Multiple Access*).

La figura sottolinea la ripartizione che esse inducono sulla banda radio in termini di tempo frequenza e potenza.

Nel 1998, un'importante decisione fu assunta in ambito ETSI: il sistema di terza generazione (UMTS) avrebbe adottato:

- per la porzione simmetrica di banda UMTS un accesso CDMA a banda larga
- per la porzione asimmetrica della banda UMTS una tecnica mista a divisione di tempo e a divisione di codice a banda larga.

La tecnica a divisione di codice appartiene alla famiglia delle tecniche a dispersione di spettro (*Spread Spectrum*). I principali elementi di forza di queste tecniche sono:

- la robustezza contro i disturbi a banda stretta e le interferenze
- la sicurezza intrinseca
- la flessibilità nell'accesso multiplo.

## Tecniche Spread Spectrum

**CAPACITÀ di UN CANALE CON SPETTRO LIMITATO**

$$C = B \log_2 (1 + S/N)$$

[C]=bit/s

[B]=Hz

S/N=signal to noise ratio

Una bit-rate data si  
può ottenere con

Banda stretta e alto S/N

Banda larga e basso S/N

GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

UMTS - 14

Le tecniche *Spread Spectrum* sono caratterizzate dall'uso di una banda trasmissiva molto maggiore di quella usata dai sistemi FDMA e TDMA visti finora.

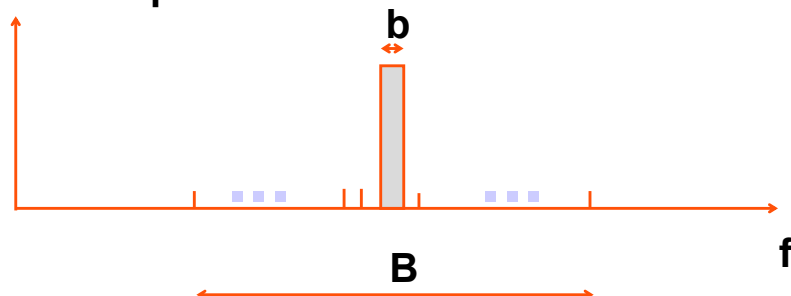
Nel CDMA, il codice associato in modo univoco alla singola comunicazione, rappresenta appunto il meccanismo che disperde il segnale originario su tutta la banda disponibile.

La formula di Shannon (valida in condizioni di *Addictive White Gaussian Noise*) ci dice come, nel caso di tecniche *Spread Spectrum*, la capacità del canale derivi da un valore elevato di B e da un valore molto basso di S/N (*Signal to Noise*). Qui tutti i mobili trasmettono su un singolo canale a larga banda.

Il codice associato alla singola comunicazione discrimina tra le varie comunicazioni. Il singolo codice viene usato in trasmissione per codificare il segnale originario e in ricezione per decodificarlo.

## Frequency Hopping

Densità di potenza



**Il segnale informativo (con banda “b”) è trasmesso cambiando frequentemente la portante (all’interno di una banda  $B \gg b$ ) secondo un pattern di salti (hopping) determinato dal codice di utente**

GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

UMTS - 15

Il codice può essere realizzato in vari modi, corrispondente a diverse realizzazioni della tecnica CDMA:

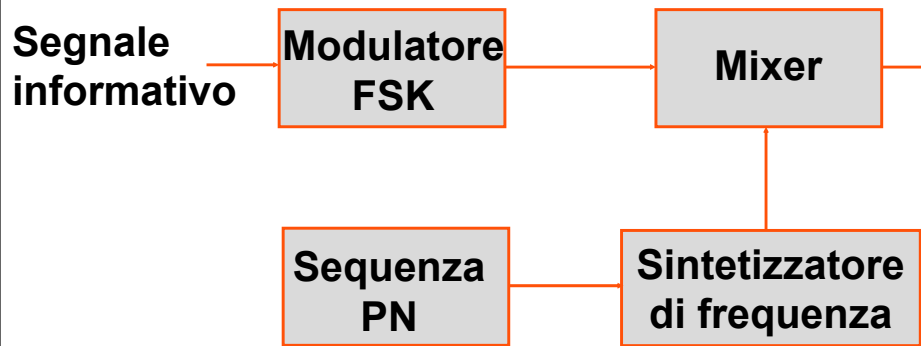
- *Direct Sequence* (DS-CDMA)
- *Frequency Hopping* (FH-CDMA)
- *Time Hopping* (TH CDMA).

La modalità DS-CDMA è stata ritenuta la più promettente per il sistema UMTS e sarà descritta diffusamente.

La modalità *Frequency Hopping* appartiene alla categoria delle tecniche che “evitano” che il disturbo a banda stretta (*jamming source*) colpisca il canale disturbando la comunicazione in corso. La dispersione di spettro è ottenuta cambiando la portante per il trasporto del segnale originario (portante di larghezza  $b$ ) all’interno di uno spettro di banda  $B \gg b$  ( $B$  è la banda su cui la banda del segnale originario viene dispersa).

Una specifica sequenza (codice – *PN sequence*) guida i salti di portante. Nella tecnica FH-CDMA la frequenza di salti è molto elevata (molti salti all’interno del periodo di bit). Altre modalità di salto in frequenza (*slow frequency hopping*) sono usate nel GSM per ridurre l’impatto interferenziale. In questo caso però il salto di frequenza si compie ad ogni slot.

## Schema "Frequency hopping"



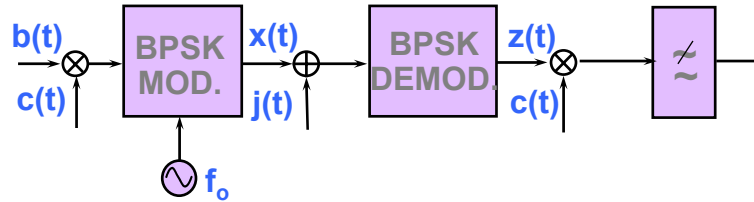
GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

UMTS - 16

Lo schema base della tecnica FH-CDMA è indicato in figura. La frequenza dell'oscillatore locale è cambiata in corrispondenza di ogni salto descritto dalla *Pseudo Noise sequence*. La portante RF in uscita dal mixer cambia di conseguenza.



## Direct Sequence-CDMA (1)



$$z(t) = b(t)c(t) + j(t)$$

$$z(t)c(t) = b(t)c^2(t) + j(t)c(t) = b(t) + \underbrace{j(t)c(t)}_{\text{interferente spread}}$$

interferente spread

GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

UMTS - 17

Nell'area delle tecniche *Spread Spectrum*, lo schema *Directs Sequence* è il più interessante, tant'è che è stato adottato per i sistemi di terza generazione.

Si basa sui seguenti principi di funzionamento:

- il segnale numerico originario  $b(t)$  di bit rate  $R_b$  viene moltiplicato per un segnale numerico a larga banda  $c(t)$ : il codice
- ciò disperde il segnale originario sullo spettro disponibile
- il segnale risultante è quindi modulato e trasmesso.

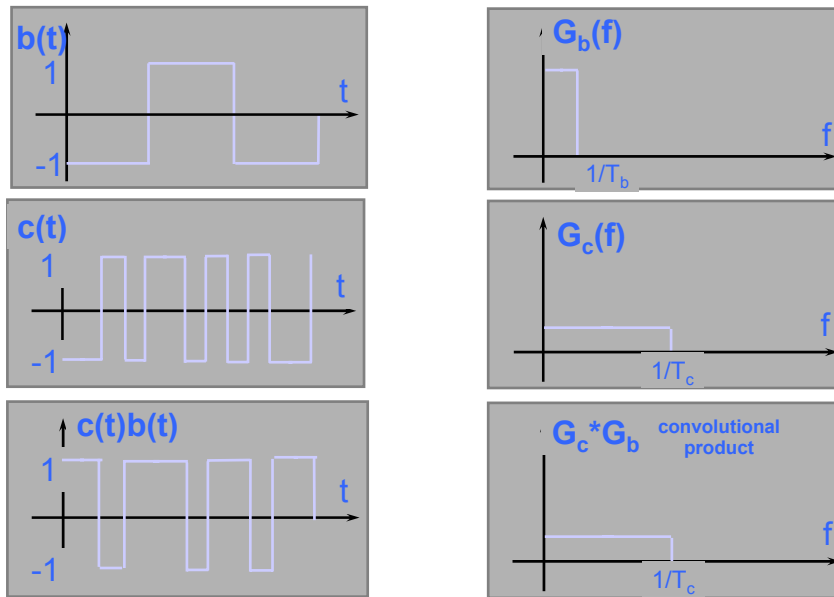
In ricezione, dopo la demodulazione, il segnale ricevuto viene ancora moltiplicato per il codice  $c(t)$  per recuperare il segnale  $b(t)$  originario.

Un disturbo a banda stretta  $j(t)$  che occorra sul canale è disperso in spettro lato ricezione e può quindi essere facilmente filtrato.

I sistemi di questo tipo non sono limitati in modo *hard* in termini di capacità: all'interno della disponibilità di codici, i limiti sono di natura interferenziale (*soft degradation*).

I limiti di capacità sono cioè fissati dalle condizioni complessive di interferenza.

## Direct Sequence-CDMA (2)



GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

UMTS - 18

Lo schema rappresenta ciò che avviene nei domini del tempo e della frequenza.

I tre passi di figura precedono le fasi di modulazione e trasmissione.

Per comodità si assegnano a  $b(t)$  i valori  $+1$  o  $-1$ .

La banda di  $b(t)$  vale  $1/T_b$  dove  $T_b$  è il periodo di bit.

La *Pseudo Noise sequence* (codice)  $c(t)$  occupa (densità spettrale) una banda pari a  $1/T_c$  con  $T_c \ll T_b$ .

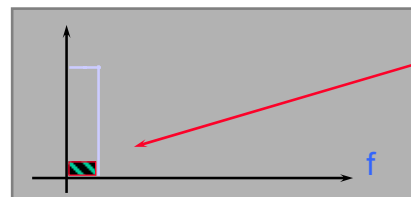
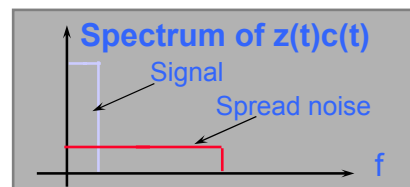
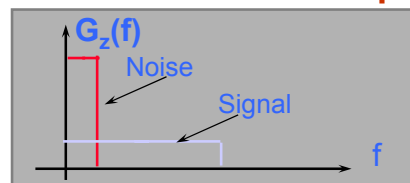
La densità spettrale risultante  $(G_b(f) * G_c(f))$  occupa la stessa banda di  $c(t)$ .

Le varie sequenze  $c(t)$ , associate ognuna ad una connessione, devono essere ortogonali tra di loro.

Nella tecnica CDMA si usano codici lunghi e codici brevi:

- i primi non consentono un controllo preciso della mutua interferenza ma non richiedono particolari precauzioni nella gestione dei codici
- i secondi (ad esempio i codici di Walsh) consentono un controllo preciso dell'interferenza (sono strettamente ortogonali tra di loro) ma richiedono un'attenta gestione della "risorsa" codice.

### Direct Sequence-CDMA (3)



GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

Dopo il filtraggio passabasso, rimane solo una frazione della potenza delle interferenze (fattore di riduzione =  $R_c/R_b$ )

UMTS - 19

Dopo le fasi di dispersione in spettro e modulazione, il segnale è trasmesso in aria. Nell'esempio il canale aggiunge un interferente a banda stretta. Dopo la demodulazione, il segnale risultante  $z(t)$  viene moltiplicato per la sequenza PN.

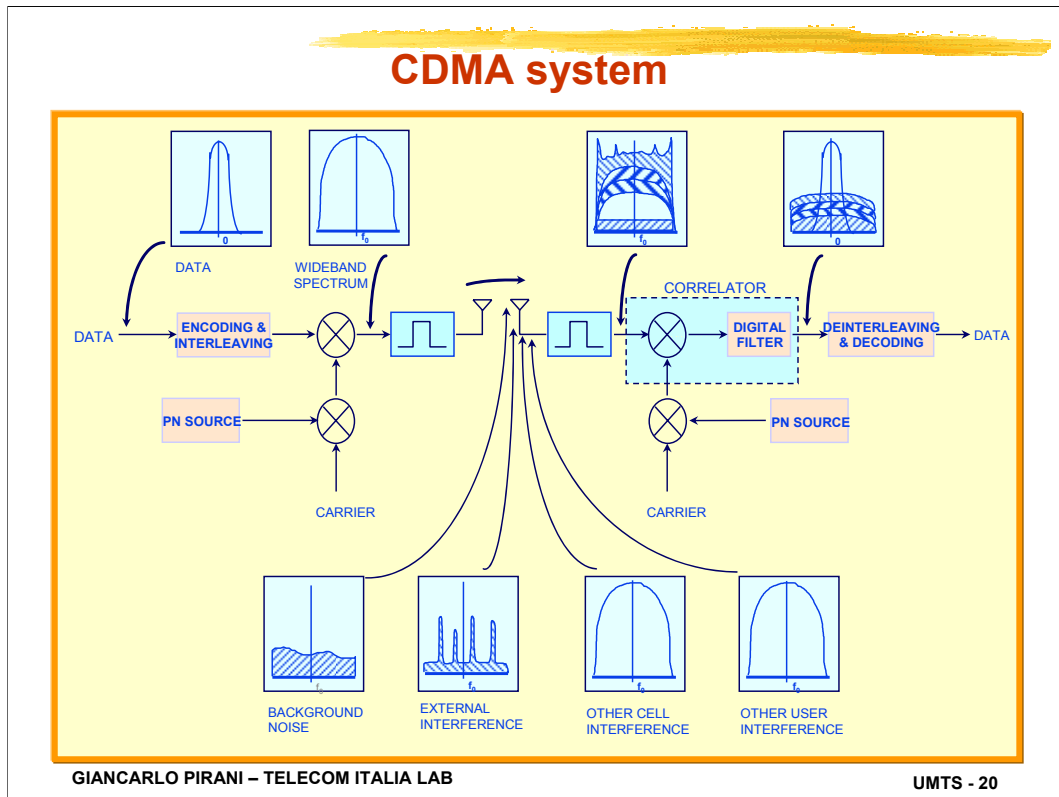
Essendo  $c^2(t)=1$ , si ottiene il segnale originario sommato al segnale interferente. Quest'ultimo viene però disperso in spettro da codice  $c(t)$  in ricezione.

Un filtro passa basso con banda  $1/T_b$  intercetta solo una frazione del segnale interferente, con una densità spettrale ridotta secondo il fattore  $R_c/R_b$ .

Il rapporto  $R_c/R_b$  che rappresenta il numero di chip usati per codificare un singolo bit del segnale  $b(t)$ , a monte del modulatore, è detto *Spreading Factor*.

Si definisce invece *Processing Gain* il rapporto tra il *chip rate* ed il *bit rate* del segnale originario (prima della codifica di canale).

L'interferente a larga banda può essere discriminato in ricezione solo grazie ad un valore C/I favorevole

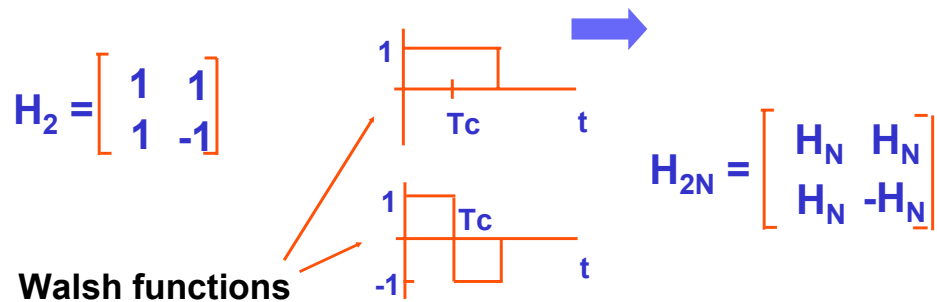


La figura rappresenta il processo complessivo, dalla sequenza originaria del segnale numerico fino alla ricezione.

## Codici di Walsh

È un set di codici ortogonali generati dalle righe di una matrice di Hadamard

La matrice di Hadamard di ordine due è definita come:



GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

UMTS - 21

Esistono tuttavia codici strettamente ortogonali derivati (ad esempio) dalla funzione di *Walsh-Hadamard*.

Sono i cosiddetti codici di canalizzazione usati nell'UMTS. E' facile verificare che il prodotto scalare di due codici (righe) di una matrice di *Hadamard* di un dato ordine è uguale a zero.

La matrice di *Hadamard* di ordine "N (e quindi i relativi codici, identificati dalle sue righe) è ottenuta in modo ricorsivo attraverso un'operazione che utilizza la sola matrice di ordine N:

$$H_{2N} = \begin{vmatrix} H_N & H_N \\ H_N & -H_N \end{vmatrix}$$

## Codici di Walsh: esempio di canalizzazione (1)

d1	1				-1				1			
d2	1				1				-1			
d3	-1				1				1			
w1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
w2	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1
w3	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1
d1w1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1
d2w2	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1
d3w3	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1
r(t) = d1w1+ d2w2+ d3w3	-1	-1	-1	3	-1	-1	3	-1	-1	3	-1	-1

T<sub>c</sub> (red arrow, columns 1-4)      T<sub>b</sub> (blue arrow, columns 5-12)

GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

UMTS - 22

I codici ortogonali si applicano ad ogni bit del flusso numerico originario. Nella figura tre codici ortogonali w1, w2, w3, sono applicati alle tre diverse sequenze di bit d1, d2, d3. Si tratta chiaramente di un caso di *spreading factor* uguale a 4 (rapporto tra T<sub>b</sub> e T<sub>c</sub>).

## Codici di Walsh: esempio di canalizzazione (2)

Per recuperare l'informazione d1 si moltiplica il segnale composto r(t) per il codice w1 e si somma (integra) sul tempo di bit

w1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
r(t)w1	1	-1	1	3	1	-1	-3	-1	1	3	1	-1
$D1 = \sum T_b$	4				-4				4			

$D1 > 0 \Rightarrow$  trasmesso d1= 1  $\Rightarrow d1=[1, -1, 1]$   
 $D1 < 0 \Rightarrow$  trasmesso d1=-1

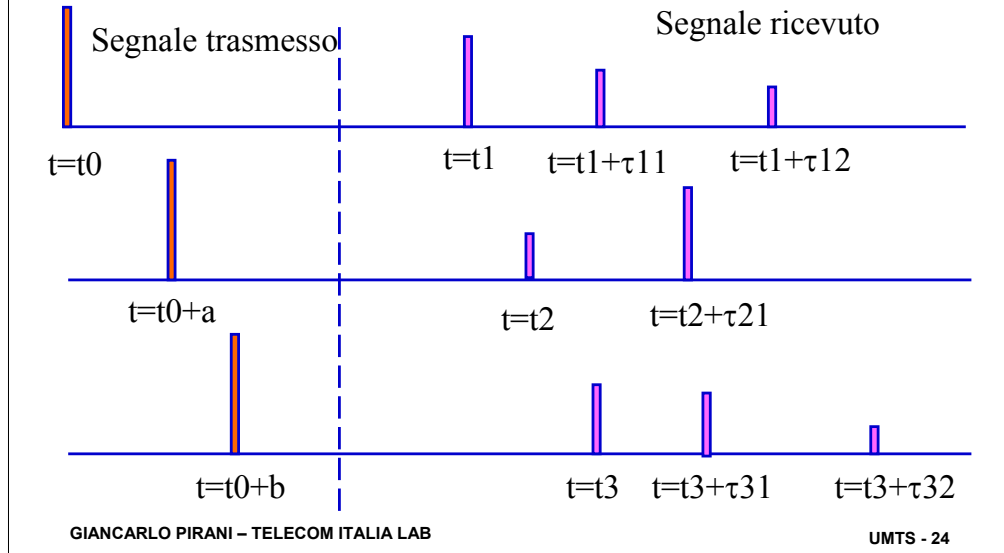
GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

UMTS - 23

In ricezione per ottenere ad esempio la sequenza originaria d1 si moltiplica il segnale composito r(t) per lo stesso codice w1 usato in trasmissione.

Si integra il risultato sul tempo di bit ed una semplice attribuzione del tipo indicata in figura restituisce la sequenza originaria d1.

## Canale tempo-variante multipath: esempio di risposta all'impulso



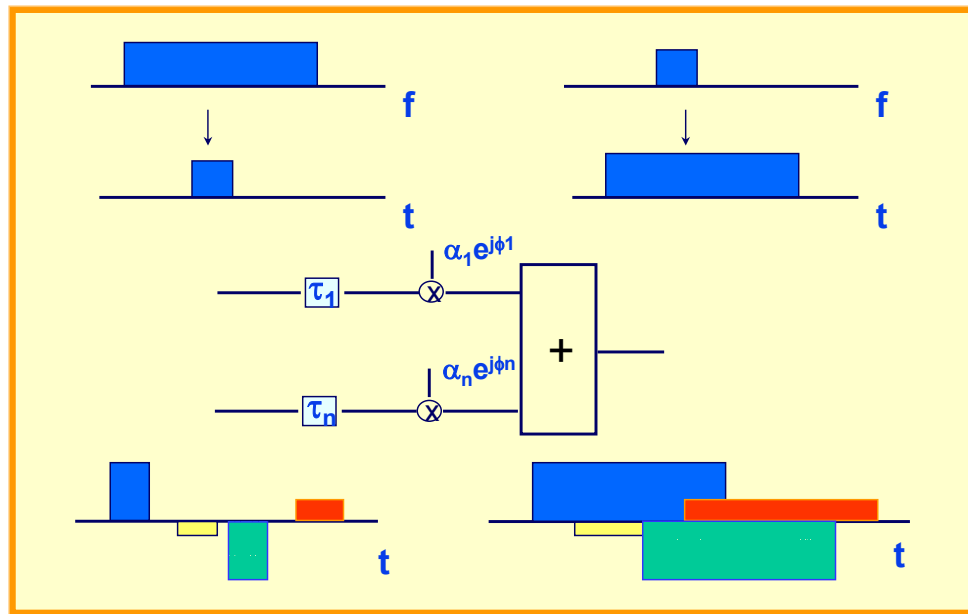
Tuttavia la trasmissione è influenzata dal fenomeno del *multipath*. E' proprio in funzione delle caratteristiche del CDMA che tale fenomeno può essere sfruttato a vantaggio del ricevitore.

Innanzitutto, la trasmissione di un'informazione elementare (ad esempio di un bit), avviene in tempi tanto più stretti quanto maggiore è la banda di cui si dispone.

In secondo luogo, la risposta del canale all'impulso subisce ritardi variabili dovuti al fenomeno del *multipath*.



## Problemi di propagazione dovuti al multipath



GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

UMTS - 25

Le due osservazioni precedenti fanno sì che in un sistema a larga banda come il CDMA, le diverse repliche dello stesso segnale in ricezione, siano più facilmente distinguibili rispetto al caso di un canale a banda stretta.

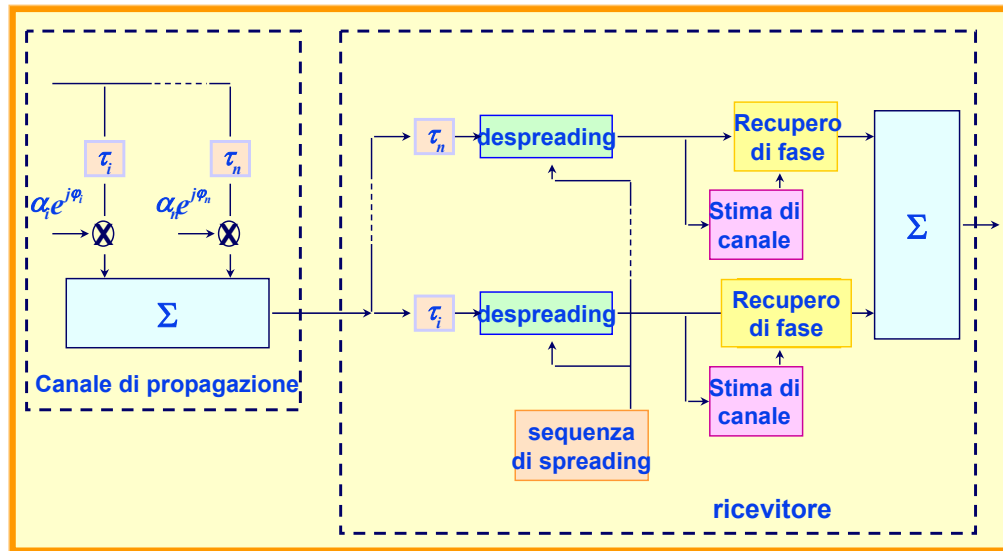
E' così possibile usare un ricevitore particolare (*sake receiver*) capace di rilevare e demodulare ogni replica indipendentemente (sfrutta il cosiddetto *path diversity*).

Ogni versione ritardata dello stesso segnale è rifsata e quindi sommata costruttivamente con le altre repliche.

Si effettua una combinazione (*combining*) delle repliche ottenendo così una qualità maggiore di quella che si sarebbe ottenuta attraverso una semplice demodulazione del raggio più potente.

Nel caso di trasmissione a banda stretta, l'effetto del *multipath* richiede di impiegare complessi equalizzatori capaci di cancellare l'interferenza intersimbolica.

## Il ricevitore rake (rastrello)



GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

UMTS - 26

Il sistema mostra comportamenti differenti in funzione della velocità di MS (*fast fading*).

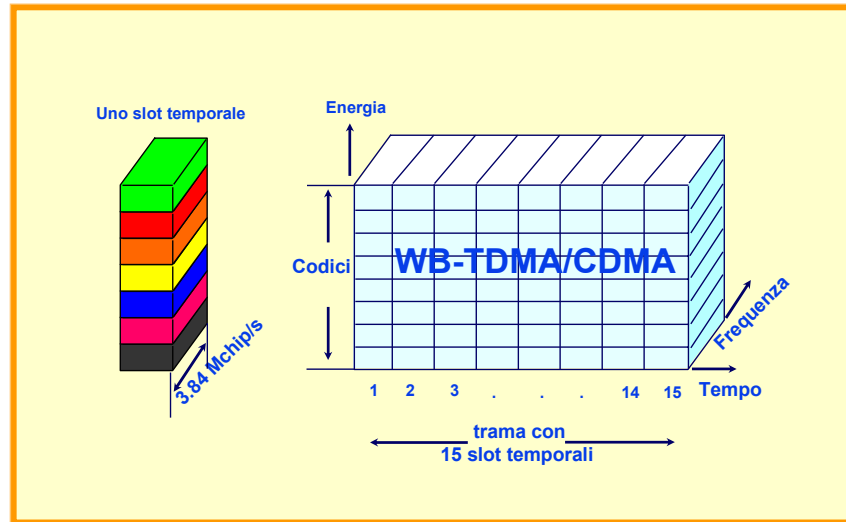
Si possono usare in modo congiunto i meccanismi di controllo di potenza e di *interleaving* per gestire questi effetti legati alla velocità.

A velocità basse, le variazioni di canale sono lente ed il meccanismo di controllo della potenza è in grado di compensare l'attenuazione (variabile) di canale. Come visto, questa tecnica poggia su un meccanismo di *feedback*.

Tale meccanismo diventa poco efficace quanto le variazioni diventano molto veloci con l'aumentare della velocità. Oltre i 100 km/h la dinamica dell'affievolimento è così elevata che non ci sono di fatto correlazioni tra l'esito del controllo di potenza e l'effettivo stato del canale.

In questa situazione è meglio operare con l'*interleaving* che disperde i *burst* di errore causati dal *fading*. Con velocità basse, l'*interleaving* tende a non essere utile perché la durata del *fading* tende ad essere di entità equivalente alla profondità (in tempo) dell'*interleaving*.

## Tecnica TDD (TD-CDMA)



GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

UMTS - 27

Il modo TDD è basato su uno schema di accesso ibrido TDMA-CDMA.

Pertanto i termini *tempo*, *trama* e *slot* assumono lo stesso significato che nel GSM.

In generale un utente a bassa velocità può trasmettere solo in uno slot per trama.

La principale differenza rispetto al GSM è che in uno slot possono essere allocati più utenti distinguendoli attraverso un codice (la componente CDMA).

La componente CDMA viene utilizzata per effettuare la cancellazione degli utenti in uno slot, riducendo così il margine di interferenza.

Inoltre, in questo modo un pool di risorse (slot e codici) è stato creato per permettere ad utenti con diverse bit-rate di coesistere.

## **UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) – la decisione dell'ETSI**

- **Accesso W-CDMA, duplexing FDD nella banda simmetrica (paired)**
- **Accesso TD-CDMA, duplexing TDD nella banda asimmetrica (“unpaired”)**
- **i parametri dovrebbero essere ottimizzati in modo da garantire:**
  - **terminali a basso costo**
  - **armonizzazione con il GSM**
  - **terminali “dual-mode” TDD/FDD**
- **Il sistema deve lavorare con un'assegnazione di larghezza di banda minima di 2x5 MHz (componente FDD)**

GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

UMTS - 28

La decisione sullo schema di accesso radio è stata presa nel gennaio 1998 dopo un anno di valutazioni effettuate da gruppi ad-hoc che hanno investigato diverse tecniche (Wideband CDMA, Wideband TDMA, Orthogonal Frequency Division Multiple Access, Time Division CDMA, Opportunity driven Multiple Access).

Le due componenti di UMTS Transmission Radio Access (UTRA) sono basate su diverse tecniche di accesso. Lo schema Frequency Division Duplex (FDD) è usato nella banda accoppiata dello spettro disponibile, mentre lo schema Time Division Duplex (TDD) è definito per la banda non accoppiata “unpaired”. Una trasparenza completa tra i due sistemi viene garantita.

Questo porta al punto successivo della decisione: la necessità di armonizzare le due componenti, per ridurre i costi di implementazione e i costi operativi.

Allo stesso tempo è stato considerato un altro requisito di compatibilità: l'armonizzazione con il GSM. Questo porta alla possibilità di avere terminali multi-modo: UTRA FDD, UTRA TDD, GSM900, GSM1800 e forse altri.

## 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)	

GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

UMTS - 29

La decisione dell'ETSI di armonizzare le due componenti UTRA ha avuto un impatto sui parametri del TDD.

Mentre all'inizio molti parametri radio erano diversi tra le due soluzioni, attualmente i parametri principali come la "chip rate", la durata di trama e di slot, la modulazione e il filtraggio sono stati allineati.

Questo non risolve i problemi di avere due diverse tecniche di accesso, ma è un buon passo verso la riduzione di complessità e di costo dei terminali e degli apparati "dual mode".

I modi TDD e FDD differiscono soprattutto nella tecnica di accesso.

Naturalmente ci sono altre differenze, ma si riferiscono soprattutto alla gestione delle risorse e ad alcune procedure come il controllo della potenza e l'handover.

Sia i modi FDD che TDD sono basati sulla tecnologia "Wideband CDMA", la cui chip rate di base è 3.84 Mchip/s. Sono anche previste ampiezze di "spreading" di 2x3.84 e 4x3.84 Mchip/s.

Strutture multi-layer (pico, micro and macro cells) possono essere realizzate assegnando diverse portanti CDMA ai diversi layer.

Nello stesso layer, la stessa frequenza è riusata in tutte le celle.

## Controllo di potenza del W-CDMA

### Controllo di potenza su loop chiuso

- Aggiusta la potenza trasmessa dal terminale mobile (o dalla BS) in modo da mantenere il valore del rapporto Segnale/Interferenza – SIR nell'UL (o nel DL) uguale a un certo *target*.

### Controllo di potenza su loop esterno (UL e DL)

- Sulla base di stime di qualità, valuta il valore *target* del rapporto SIR da usare come riferimento nel controllo di potenza su loop chiuso.

### Controllo di potenza su loop aperto (solo UL)

- Aggiusta la potenza trasmessa durante un accesso random sulla base delle stime di *path loss* e di interferenza sull'UL

GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

UMTS - 30

All'interno del meccanismo **Closed Loop Power Control** (up-link) le BS che appartengono al set attivo stimano la potenza ricevuta up-link del DPCCH dopo aver combinato le uscite del *rake receiver*, l'interferenza totale sull'up-link e il  $SIR_{estim}$  sull'UL.

Le BS generano i comandi "Transmit Power Control (TPC)" ("up" o "down") confrontando i SIR stimati con il SIR target (fornito dal loop esterno). I bit del TPC sono inviati al mobile mediante il DPCCH.

Il mobile combina i TPC multipli in un unico comando TPC.

Il mobile aumenta o diminuisce la potenza trasmessa di un gradino di potenza noto.

Nella direzione down-link, il terminale mobile stima la potenza ricevuta down-link dopo aver combinato le uscite del *rake receiver*, l'interferenza totale sul down-link e il  $SIR_{estim}$  corrente sul DL. Il terminale mobile confronta il SIR stimato con il SIR target (fornito dal loop esterno) e invia alla rete i comandi TPC. La potenza trasmessa dalle BS viene aggiustata secondo i bit del TPC ricevuti (dopo essere stati combinati).

L'**Outer Loop Power Control** calcola il target secondo il requisito di BER (bit-error-rate) del servizio. Questo permette di monitorare continuamente la qualità della comunicazione e di aggiustare di conseguenza il SIR.

L'Outer Loop Power Control aggiusta anche l'*offset* di potenza tra DPDCH and DPCCH.

Tipiche cause di variazione del SIR target sono:

- cambio di ambiente al contorno
- azioni di *system management*
- aggiornamenti dell'*active set*

L'**Open Loop Power Control** viene utilizzato per aggiustare la potenza trasmessa del PRACH durante la fase di accesso.

Il mobile misura la potenza ricevuta del Canale Primario down-link e stima il *path loss* sulla base della conoscenza del livello di potenza trasmesso sul Canale Primario (broadcast sul BCCH).

Sulla base del livello di interferenza up-link e del SIR target (entrambi i valori sono trasmessi in broadcast sul BCCH), il mobile stima la potenza da trasmettere sul PRACH.

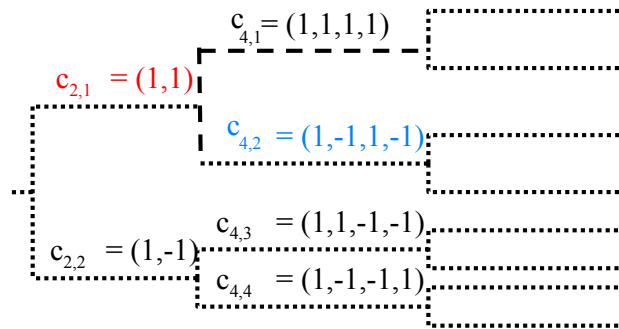
## Canali di trasporto (esempio)

- **Dedicated Channel (DCH):**
  - cambio veloce del bit-rate (10ms)
  - controllo di potenza veloce
  - indirizzamento inerente della MS
- **Random Access Channel (RACH) – up-link:**
  - collisione
  - controllo di potenza “open loop”
  - indirizzamento esplicito della MS
- **Broadcast Control Channel (BCCH) – down-link**
- **Forward Access Channel (FACH) – down-link:**
  - controllo di potenza lento
  - indirizzamento esplicito della MS
- **Paging Channel (PCH) – down-link:**
  - uso di modi “sleep”

La figura elenca i canali di trasporto che sono “mappati” sui canali fisici precedentemente analizzati; le caratteristiche principali di ogni canale di trasporto sono riassunte nella figura.

Ogni canale di trasporto è associato a un formato di trasporto (rappresentato dall'indicatore di formato di trasporto); il formato di trasporto appartiene a un insieme di possibili formati che possono essere associati a quel canale.

## Orthogonal Variable Spreading Codes



GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

UMTS - 32

Gli Orthogonal Variable Spreading Factor Codes (OVSC) assicurano che i segnali trasmessi su diversi canali siano ortogonali l'uno rispetto all'altro. L'uso dei codici OVSC segue lo schema ad albero binario della figura e la scelta del codice dipende dal bit-rate della connessione che deve essere "spread".

La sequenza di codice deve essere ripetuta bit per bit del segnale numerico originario, quindi la profondità di codice viene scelta in modo appropriato. La scelta di una data canalizzazione inibisce l'uso di tutti i codici che la canalizzazione sottende (o da cui è generata) nello schema ad albero.

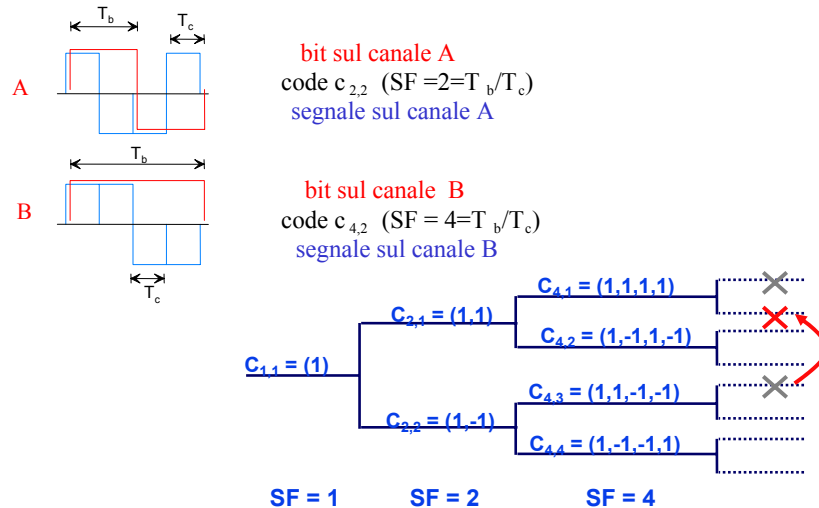
Essendo la chip rate costante, la suddetta allocazione implica che le connessioni con diversi bit-rate siano trasmesse con diversi fattori di spreading.

Come detto, un codice può essere usato in una cella se e solo se nessun altro codice sul percorso dal codice specifico alla radice dell'albero o nel sotto-albero sotto il codice specifico viene usato nella stessa cella. Come conseguenza, il numero di codici di canalizzazione disponibili non è fisso ma dipende dal bit-rate e dal fattore di spreading di ogni canale fisico.

Per migliorare le proprietà di auto-correlazione del segnale di informazione dopo lo "spreading" effettuato per mezzo dei codici OVSC, uno "scrambling" aggiuntivo viene eseguito. I codici di scrambling disponibili sono 512 ed essi sono usati per distinguere le diverse celle.



## Codici OVSF: condizioni e ri-arrangiamento (code handover)



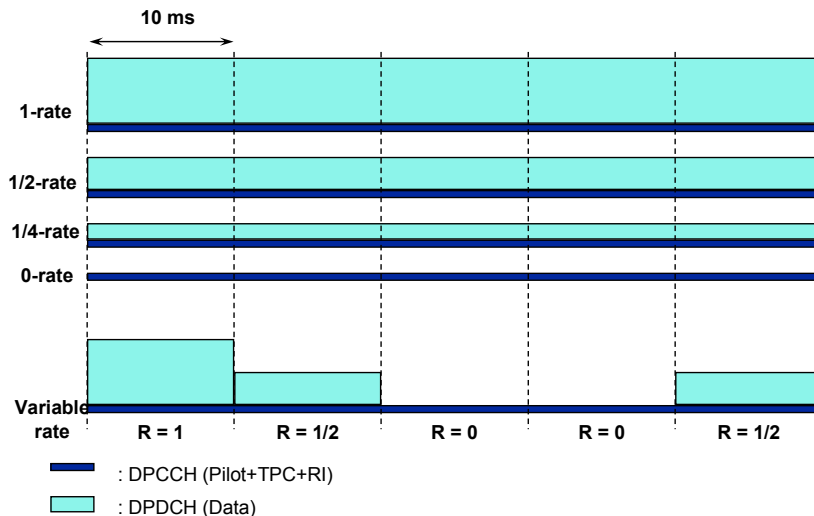
GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

UMTS - 33

Come affermato, i segnali originati dalla stessa sorgente sono ortogonali anche se i fattori di “spreading” sono differenti, purché i codici relativi appartengano a differenti rami del codice ad albero (vedi l’esempio sui canali A e B).

L’uso inefficiente della canalizzazione può portare all’indisponibilità delle risorse di codifica. In alcuni casi un *code handover* può essere necessario per migliorare la disponibilità di codici. Il ri-arrangiamento mostrato in figura, aumenta la possibilità di usare i codici SF4 e SF2.

## Variable Rate Up Link



GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

UMTS - 34

Nei sistemi CDMA la riduzione dell'interferenza porta automaticamente a un aumento della capacità. È allora molto importante sfruttare ogni opportunità che permetta una riduzione della potenza trasmessa.

La componente WCDMA adotta due tecniche differenti per up-link e down-link.

Sull'up-link, per evitare problemi di recupero del sincronismo, viene sempre trasmesso un segnale, senza nessun silenzio.

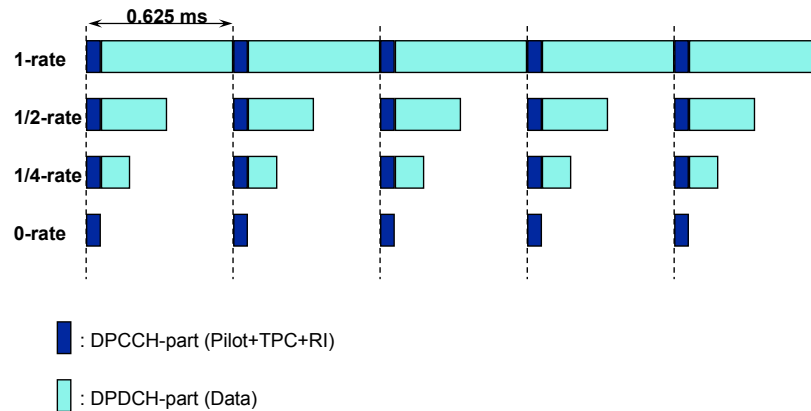
Nel caso di basse bit-rate, viene usato uno "Spreading Factor" più alto, riducendo la potenza necessaria a un livello più basso di quello usato nel caso di trasmissione a piena velocità. Infatti, per raggiungere lo stesso obiettivo di  $E_b/N_0$ , se riduciamo  $R_b$ , dobbiamo ridurre anche la potenza trasmessa  $P$  ( $E_b = P/R_b$ ).

Quando la sorgente è completamente silenziosa (nessuna informazione deve essere trasmessa) la continuità di trasmissione è garantita dalla trasmissione del DPCCH, grazie all'informazione che sta portando.

La granularità minima della bit-rate variabile è uguale alla lunghezza di trama del CDMA (cioè, 10 ms).

Diverse connessioni possono usare diverse rate e la rate di una connessione può essere cambiata lungo la stessa connessione. Il cambio di bit-rate può anche implicare la modifica del "mapping" tra canali di trasporto e canali fisici, la cui configurazione è controllata attraverso il Transport Format Indicator (TFI).

### Downlink Variable Rate (basata su trasmissione discontinua - DTX based)



GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

UMTS - 35

Nel down-link, i canali dati e controllo sono multiplati nel tempo. Con lo stesso “spreading factor”, una bit-rate variabile nello stesso canale fisico è gestita attraverso un meccanismo di trasmissione discontinua, come descritto in figura.

Connessioni ad alto bit-rate richiedono una trasmissione multicodice che usa più di un canale fisico.

## Controllo delle risorse radio (RRC) - servizi e funzioni

- Broadcast dell'informazione | fornito dalla rete "core" (CN) riferito al segmento di accesso
- Set-up, mantenimento e rilascio di una connessione RRC
- Set-up, mantenimento e rilascio dei portanti radio sull' "user plane"
- Assegnazione, riconfigurazione e rilascio delle risorse radio per la connessione
- Arbitrato dell'allocazione delle risorse radio tra le celle
- Funzioni di mobilità della connessione RRC
- Controllo della Qualità del Servizio e allocazione delle risorse radio tra le celle
- Controllo dell' ammissione e della congestione
- Controllo del reporting delle misure dell'MS

GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

UMTS - 36

I requisiti di base per il controllo delle risorse radio si riferiscono a:

- necessità di trasmettere in broadcast messaggi alle MS in una data area (controllo generale fornito sul SAP di "General Control");
- necessità di notificare messaggi di paging e altre informazioni specifiche per il mobile in una data area (controllo della notifica fornito nel SAP di notifica)
- necessità di stabilire e rilasciare connessioni (connessioni punto-punto o multiparty fornite sul SAP "Dedicated Control"); per ogni controllo deve garantire:
  - il corretto trasferimento dei messaggi lungo la connessione;
  - la corretta gestione di priorità tra messaggi di segnalazione e non di segnalazione (es., short message) che condividono gli stessi canali di controllo.

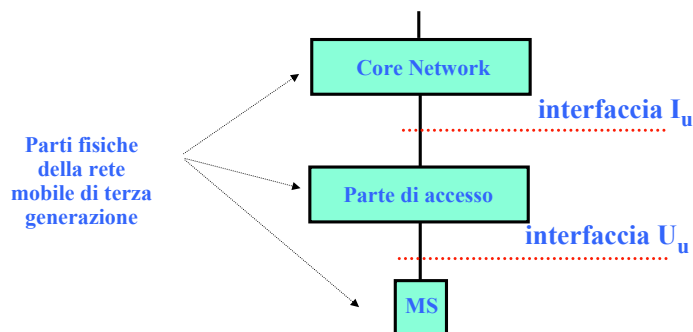
La connessione RRC è una connessione di segnalazione tra la MS e la Radio Access Network (RAN).

Il controllo dei portanti radio include l'esecuzione degli algoritmi di "admission control" e può includere il set-up dei parametri radio per gli strati 1 e 2; questa scelta condiziona pesantemente la linea di divisione tra le funzioni "radio-dependent" e "radio-independent" che saranno discusse nel seguito.

Il controllo delle risorse radio per la connessione è legato all'allocazione/de-allocazione delle risorse anche lungo la stessa connessione.

Le funzioni di mobilità del RRC si riferiscono anche all'hand-over e alla macrodiversità.

## L'architettura della Radio Access Network (ETSI)



GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

UMTS - 37

La necessità di procedere attraverso una chiara separazione tra la Radio Access Network (RAN) and la Core Network (CN) è accettata universalmente. Questa assunzione è piuttosto importante nella definizione dell'architettura e dei protocolli della terza generazione mobili.

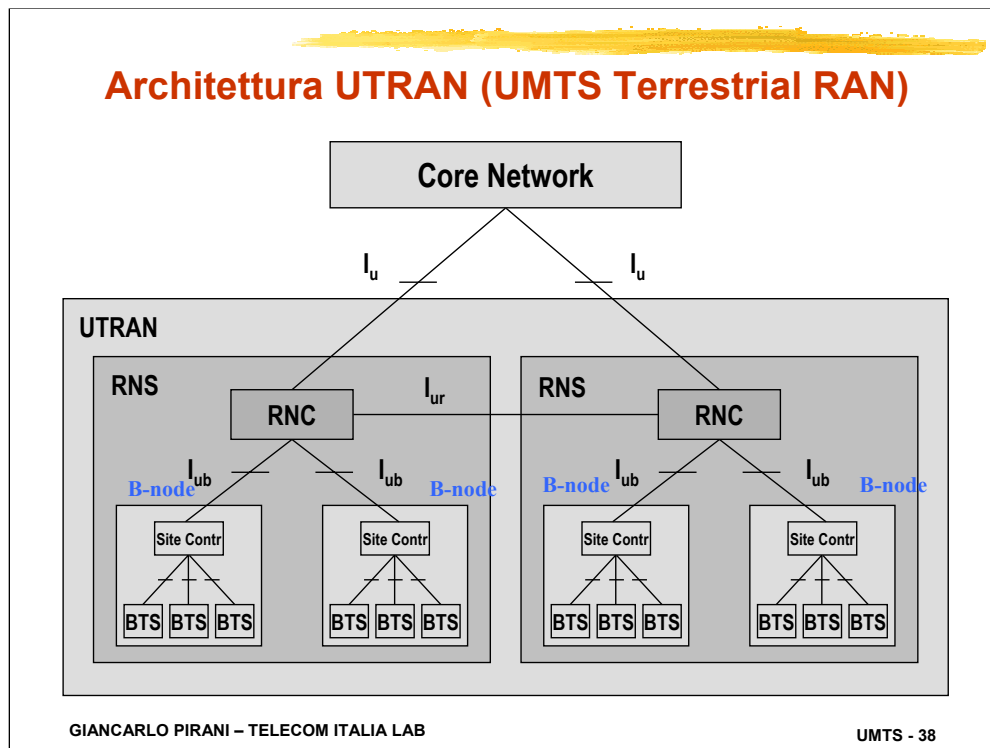
Le parti rappresentate in figura del sistema fisico identificano le interfacce principali: l'interfaccia radio ( $U_u$ ) e l'interfaccia ( $I_u$ ) tra la Radio Access Network (RAN) e la Core Network (CN).

Tipicamente, alla parte di accesso è assegnato il ruolo di trattare il controllo delle risorse radio e le funzioni di mobilità collegate; anche il controllo del'hand-over e dei processi di macrodiversità è assegnato alla parte di accesso.

La Core Network si occupa del controllo di chiamata, delle funzioni collegate al servizio e delle funzioni superiori di mobilità come l'aggiornamento della localizzazione.

Le funzioni mobili della terza generazione associate alla parte di accesso e alla core network sono completamente separate dalle funzioni di trasporto; in altre parole, le funzioni di trasporto non sono considerate una parte funzionale sia della RAN che della CN.

## Architettura UTRAN (UMTS Terrestrial RAN)



Per la RAN, uno schema del tipo tratteggiato in figura è più o meno universalmente adottato (ETSI)

L'UTRAN è composta di diversi Radio Network Subsystems (RNSs) connessi alla Core Network attraverso l'interfaccia  $I_u$ .

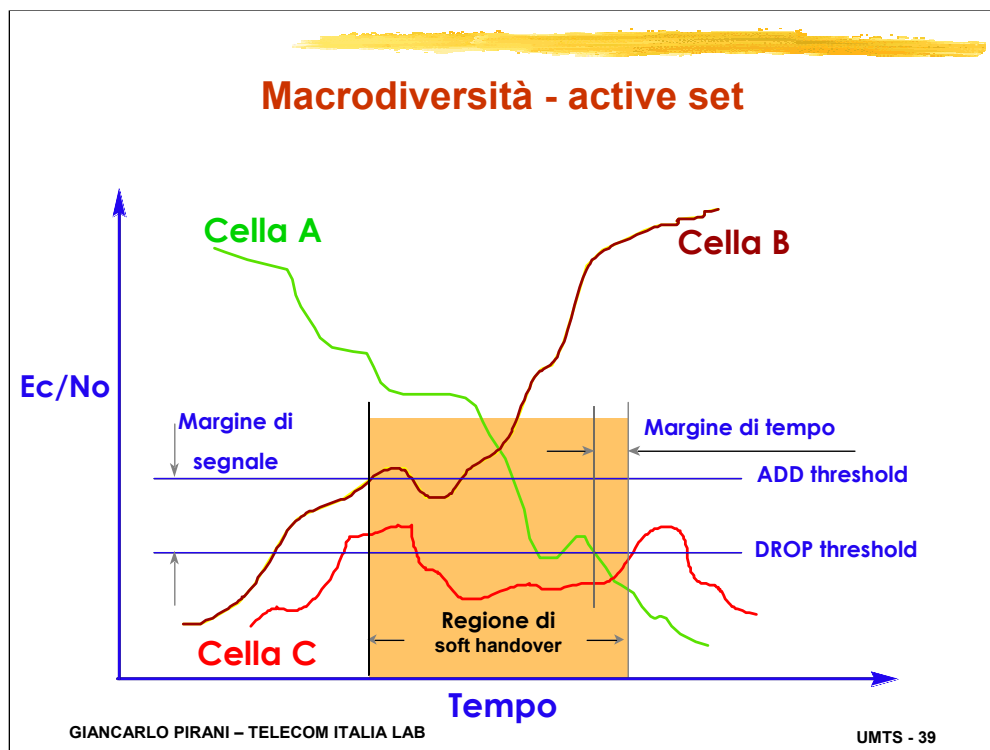
I RNS possono essere direttamente interconnessi attraverso l'interfaccia  $I_{ur}$ .

Ogni RNS è composto di un Radio Network Controller (RNC) and uno o più "B node". Queste entità sono responsabili del controllo delle risorse radio delle celle assegnate.

Un B-node può contenere una singola BTS o più di una (tipicamente 3) controllate da un "site controller".

Il RNC è responsabile del processo di hand-over locale e delle funzioni di combinazione/multicasting relative alla macrodiversità tra diversi B-node.

L'architettura suddetta è adottata come modello del segmento di accesso radio per analizzare l'allocazione delle funzioni principali e i problemi architetturali che nascono nella definizione dei sistemi di terza generazione.



In linea con le sue caratteristiche di accesso, un sistema CDMA può implementare la funzione di hand-over in modo completamente asincrono; questa funzionalità di “soft handover” viene resa possibile attraverso il meccanismo di macrodiversità.

Come detto prima, una data connessione che è stata stabilita tra la MS e la rete, può essere attiva attraverso più di una stazione base; questo significa che gli stessi dati di informazione sono trasportati sull’interfaccia radio attraverso differenti canali (codici) che sono attivati con differenti stazioni.

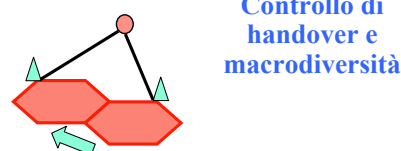
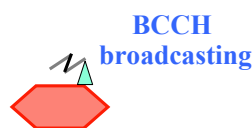
La figura mette in luce il meccanismo tipicamente adottato per determinare il set di stazioni (active set) che porta la connessione; l’attivazione/disattivazione dei cammini paralleli è fatta in funzione del livello di segnale ricevuto dal mobile lungo i suoi spostamenti.

Il primo impatto di questa caratteristica che appare fin d’ora è che una singola connessione è attiva attraverso più percorsi, ciascuno instradato indipendentemente nella rete.

Naturalmente soft handover e macrodiversità sono strettamente legati uno all’altra: nella fase di “cambio di canale” nel processo di handover, la continuità della connessione è implicitamente garantita attraverso la molteplicità realizzata tra il terminale mobile e il “bridging point” nella rete. Questo meccanismo rilascia i vincoli temporali stringenti che caratterizzano i tipi classici di handover (es., l’“hard handover” di un sistema TDMA) dove la continuità della connessione è assicurata attraverso un cambio di frequenza e di time slot e una disgiunzione temporale tra l’attivazione dei due percorsi alternativi.

## Funzioni di controllo nella Radio Access Network (RAN)

- broadcasting dell'informazione di sistema (system knowledge)
- gestione delle risorse radio (resource availability)
- funzioni di handover e macrodiversità (connection continuity)
- cifratura (security)



GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

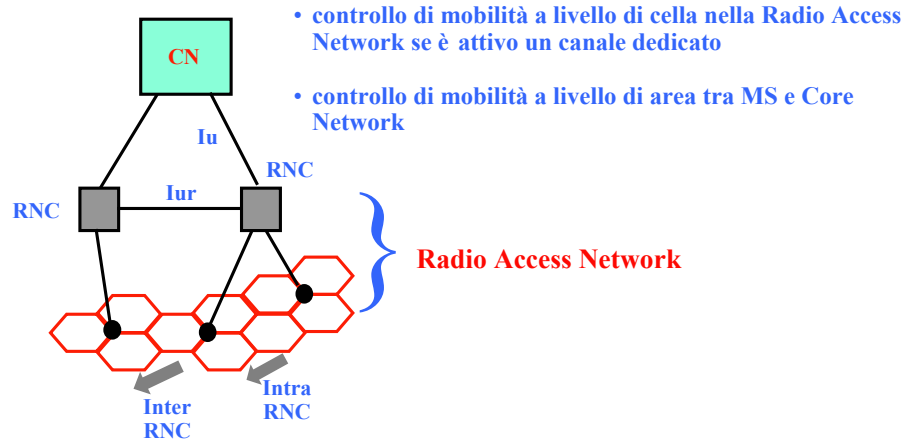
UMTS - 40

La figura mostra le funzioni di base che intervengono nella RAN:

- controllo di trasmissione del broadcasting dell'informazione di sistema (System Information Broadcasting); questa funzione è normalmente eseguita attraverso i General Control Channels Service Access Points (GCSAP) sull'interfaccia radio; per mezzo di questa informazione, la stazione mobile può recuperare tutti i dati e i parametri necessari quando transita in una cella:
  - configurazione dei canali adottata nella cella (RACH, FACH, PAC);
  - identità della cella;
  - diritti di accesso e informazione di "admission control";
  - banda di frequenza usata nella cella;
  - dati di localizzazione (ad es., informazione sull'area di localizzazione)
  - regole e criteri per la selezione e ri-selezione della cella;
  - dati di controllo di potenza;
- funzione di cifratura e de-cifratura; questa funzione può essere effettuata sulla base di chiavi che sono assegnate al livello di connessione o perfino di sessione;
- le funzioni di handover and macrodiversità richiedono una particolare attenzione poiché influenzano direttamente le scelte architetturali della RAN.



## Gestione della mobilità nella Radio Access Network (RAN)



GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

UMTS - 41

Se una connessione dedicata tra un CN DC-SAP e la MS è in corso la mobilità può essere gestita completamente al livello RAN e la localizzazione della MS può essere temporaneamente controllata all'interno del Radio Network Subsystem.

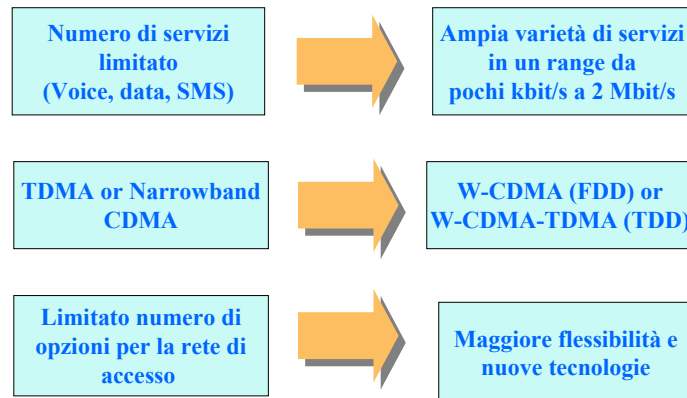
Questo significa che un Radio Network Temporary Identifier (RNTI) deve essere usato per identificare la MS; questo identificatore può essere usato al livello MAC del protocollo.

La gestione della mobilità si riferisce soprattutto ai processi di handover e di macrodiversità; l'interfaccia  $I_{ur}$  permette di gestire questi eventi all'interno della RAN anche quando essi coinvolgono differenti Radio Network Controllers (RNC).

Appena il canale dedicato viene rilasciato, il processo di localizzazione viene passato alla CN, dove la MS può ri-registrarsi in conformità con la sua situazione attuale; il controllo di mobilità rimane assegnato alla CN finché la MS non ha più connessioni in corso.

Le precedenti considerazioni assegnano alle entità fisiche della RAN le funzioni e i protocolli relativi all'handover e alla macrodiversità.

## Dalla seconda alla terza generazione



GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

UMTS - 42

La migrazione dai sistemi mobili di seconda generazione a quelli di terza cambierà certamente le strategie e le procedure comunemente usate nell'attività di pianificazione cellulare.

Nel sistema di seconda generazione l'insieme di servizi che deve essere fornito è limitato alla voce e ai dati a bassa velocità, come Fax, SMS, paging. I sistemi di terza generazione offriranno un set di servizi che vanno da 144 kbit/s (mobile ad alta velocità di spostamento) a 2 Mbit/s (limitata mobilità). Tale differenza ha un impatto sulla pianificazione cellulare poiché gli operatori dovrebbero scegliere un servizio di riferimento (target) usato per dimensionare l'ottimizzazione della copertura radio. Gli schemi di accesso cambieranno dal TDMA (GSM, D-AMPS) al W-CDMA or TDD-CDMA (almeno per il contesto europeo): i metodi, comunemente usati per dimensionare la risorsa radio cambierà drasticamente e in particolare metodologie per l'ottimizzazione dei sistemi CDMA dovrebbero essere definiti e inseriti nei pacchetti software di pianificazione.