

SISTEMI DI TELECOMUNICAZIONE

edizione aggiornata a settembre 2007

Prof. Gaetano Giunta

Corsi di laurea specialistica in
Ingegneria Informatica
Ingegneria Gestionale ed Automazione

Programma del corso.

G. Giunta, Lucidi di SISTEMI DI TELECOMUNICAZIONE

L'ideazione dello standard UMTS. I sistemi cellulari. Tecnica di accesso multiplo alla risorsa radio. Tecnica di copertura cellulare. Gestione della mobilità. Standard di trasmissione radio. Requisiti e servizi dell'UMTS.

Architettura di rete. Architetture protocollari. Pila protocollare ISO-OSI. Modi di trasferimento a circuito ed a pacchetto. Internet protocol (IP). Asynchronous transfer mode (ATM). Architettura dell'UMTS: schema generale. Il terminale mobile UMTS. Nodi della Rete di accesso. Nodi del Core Network del dominio a circuito. Nodi del Core Network del dominio a pacchetto. Nodi del Core Network in comune.

Operational Support System. Il sistema di segnalazione SS7.

I codici e il WCDMA. L'accesso radio W-CDMA: caratteristiche generali. I codici ed il concetto di ortogonalità. I codici: lo spreading. I codici ortogonali di Walsh-Hadamard. Lo spreading ed il de-spreading in UMTS. Guadagno di elaborazione (*processing gain*) in UMTS. I codici di canalizzazione (*spreading*) in UMTS. I codici di *scrambling* in UMTS. L' High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) e l'Enhanced Up-link.

Gestione dei canali fisici, di trasporto e logici in UMTS. Informazione di utente, di segnalazione e di controllo. Canali fisici, di trasporto e logici nel sistema di accesso FDD (*Frequency Division Duplexing*). I canali fisici. Canali fisici dedicati. Struttura della trama multiplata. Canali fisici comuni. Canali di traffico. Canali di controllo. Sincronizzazione iniziale nell'UMTS. Schema di codifica e data processing. Procedure di accesso. Canali di accesso dell'HSDPA e dell'Enhanced Uplink. Il metodo MAC di ritrasmissione *Hybrid ARQ*. L'accesso radio TDD (*Time Division Duplexing*). La struttura radio TDD di UMTS. Canali di trasporto e fisici nel TDD. Gestione della risorsa radio nel TDD. Il GPRS: caratteristiche e convergenza verso UMTS. L'EDGE: miglioramento del GSM/GPRS.

Capacità del sistema e gestione della risorsa radio. Limiti alla capacità del sistema cellulare W-CDMA. Controllo del carico nel sistema cellulare W-CDMA. Limiti al carico. Controllo degli accessi nel sistema cellulare W-CDMA. Cenni sulla propagazione radio delle onde elettromagnetiche. Propagazione radio: il *multi-path*. Propagazione radio: il *fading*. Gestione della risorsa radio. Il *Rake Receiver*. Il *Power Control*. L' *Open Loop Power Control*. L' *Inner Loop Power Control*. L' *Outer Loop Power Control*.

Gestione della mobilità. L' *Handover*. L' *Hard Handover*. Il *Soft* ed il *Softer Handover*. Gestione del *Soft* e del *Softer Handover*. Gestione dei collegamenti radio nel *Soft* e *Softer Handover*. Gestione delle interfacce Iu nel *Soft* e *Softer Handover*. Gestione della mobilità cellulare. Procedure per la gestione della mobilità. Procedure di registrazione iniziale e di *paging*. Gestione combinata della mobilità di cella. Mobilità all'interno della rete. Selezione di cella in mobilità. Mobilità tra operatori.

Gestione della sicurezza. Confidenzialità dell'identità e della localizzazione dell'utente. Mutua autenticazione tra utente e rete: autenticazione dell'utente. Mutua autenticazione tra utente e rete: autenticazione della rete. Confidenzialità della segnalazione e dei dati di utente. Integrità dei dati ed autenticazione della sorgente di emissione. Gestione e trasmissione del vettore di autenticazione e delle chiavi.

Gestione della comunicazione. Schema architetturale. Procedura di registrazione combinata. Instaurazione di chiamata CS proveniente dal mobile. Instaurazione di chiamata CS ricevuta dal mobile. Attivazione di chiamata PS (*PDP context*) proveniente dal mobile. Attivazione di chiamata PS (*PDP context*) ricevuta dal mobile. Attivazione di chiamata PS di *PDP context* secondari. Gestione della comunicazione in *roaming*.

Servizi e applicazioni. Qualità del servizio. La chiamata vocale. La videochiamata. La connessione a internet e servizi WWW. Messaggistica (SMS). Messaggistica multimediale (MMS). Posta elettronica (e-mail). Servizi di streaming e multicasting. Servizi di localizzazione.

L'IP multimedia subsystem (IMS). Modifiche all'Architettura UMTS di Release 4. L'IP multimedia subsystem (IMS) nelle Releases 5 e 6. Architettura di base dell'IMS. Sezioni IP multimediali dell'IMS. Servizi IP multimediali dell'IMS.

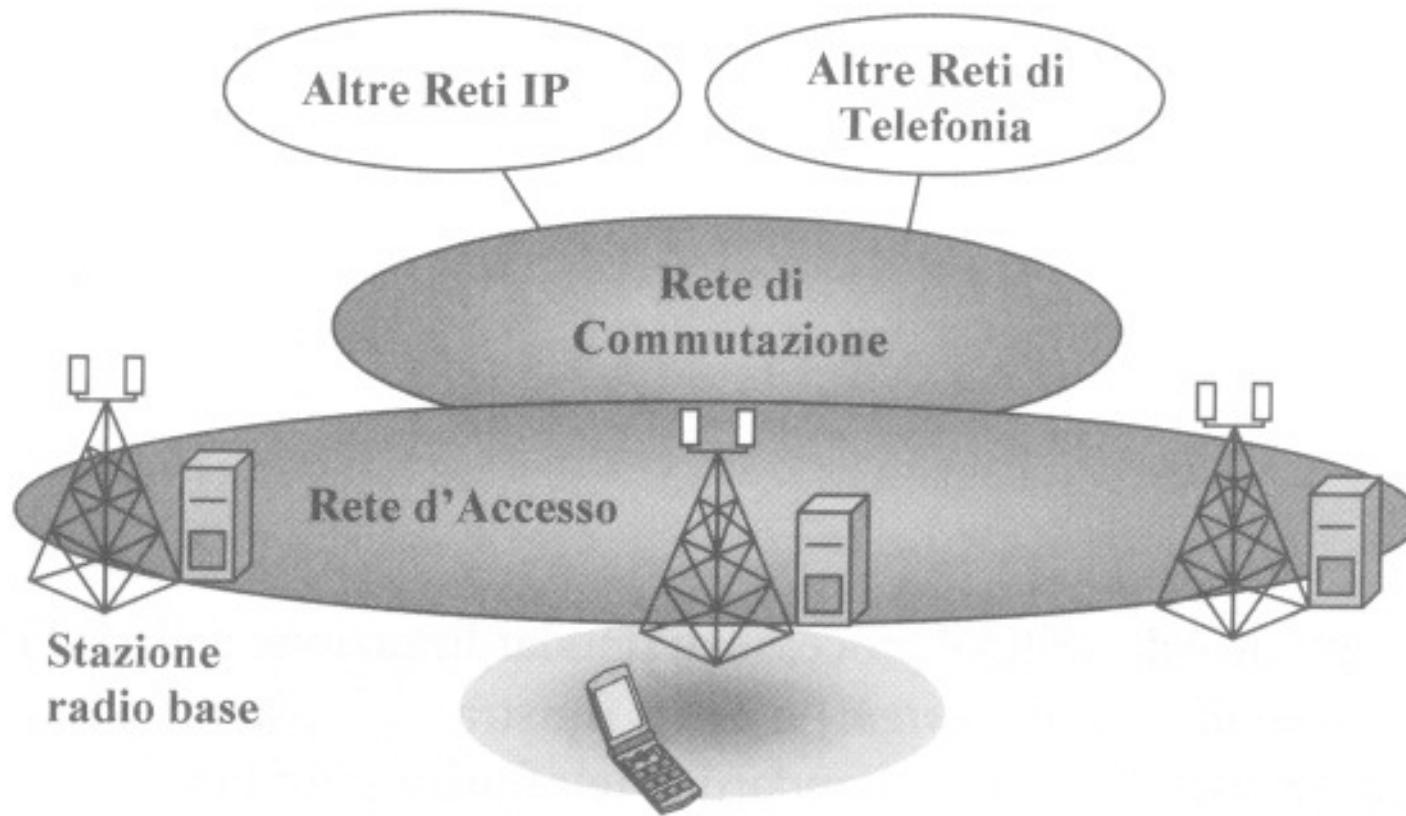
Riferimenti didattici.

- G. Columpsi, M. Leonardi, A. Ricci: “UMTS: Tecniche e architetture per le reti di comunicazioni mobili multimediali”, seconda edizione; HOEPLI INFORMATICA; Novembre 2005 (*).
- G. Giunta, Lucidi del corso di *SISTEMI DI TELECOMUNICAZIONE*, 2007.
- G. Giunta, *Elementi sull'accesso radio nelle reti cellulari 3G–UMTS*, 2007.
- Ulteriori informazioni sul sito internet del corso.

Questi lucidi, non commercializzabili, sono tratti dalle lezioni del Prof. Giunta per gli scopi didattici del corso quale ausilio per gli studenti al libro di riferimento adottato ().*

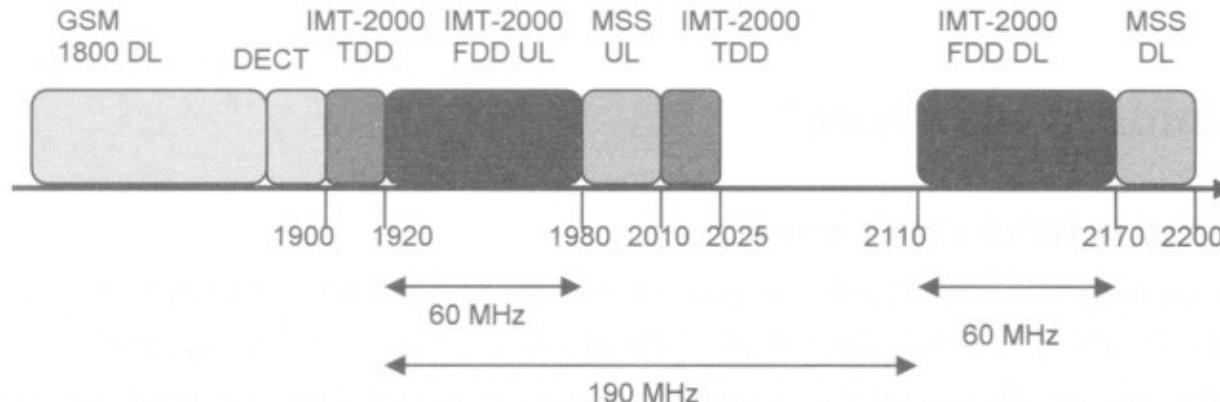
L'ideazione dello standard UMTS. I sistemi cellulari.

- Access Network.
- Core Network.
- Interconnessione con altre reti IP e reti telefoniche.



Tecnica di accesso multiplo alla risorsa radio.

- FDMA (Frequency Division Multiple Access)
- TDMA (Time Division Multiple Access)
- CDMA (Code Division Multiple Access)
- Piano delle frequenze in Europa, Giappone, Corea ed in gran parte dell'Asia.



IMT-2000 FDD UL: Mobile → Rete
IMT-2000 FDD DL: Rete → Mobile



IMT-2000 TDD: Mobile ↔ Rete

IMT-2000 = UMTS

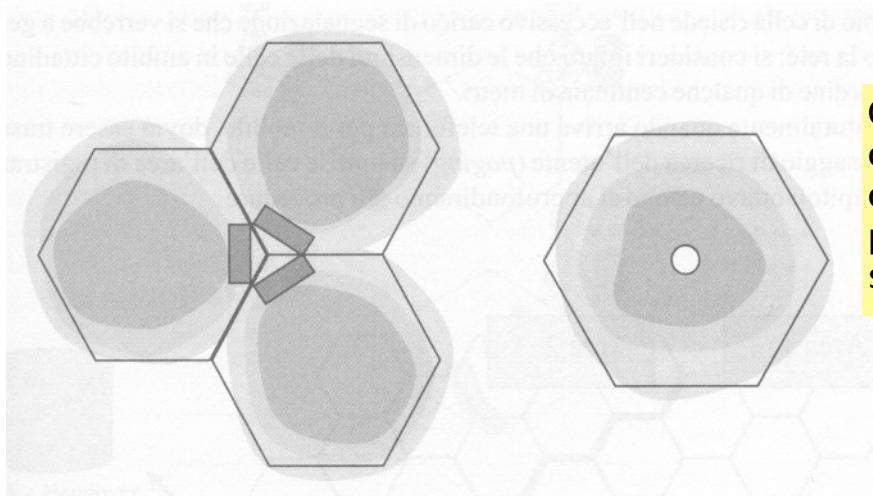
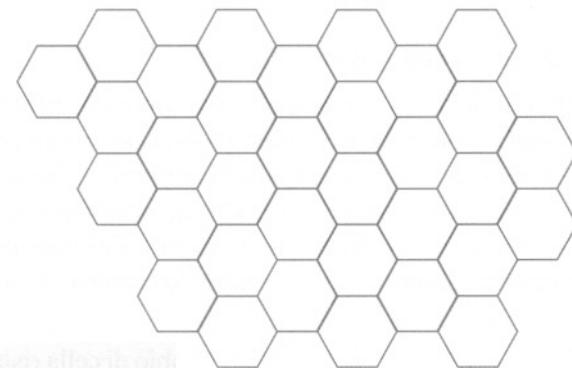
FDD = divisione di frequenza

TDD = divisione di tempo

Tecnica di copertura cellulare.

- Il segnale radio ricevuto è inversamente proporzionale al quadrato della distanza (nello spazio libero) o alla quarta potenza della distanza sorgente-ricevitore (in vicinanza del suolo e/o di ostacoli).
- Vincoli alla potenza elettromagnetica emessa dalle Base Stations (BS).
- Vincoli alla potenza elettromagnetica emessa e necessità di risparmio delle batterie delle Mobile Stations (MS)

Area di copertura	Raggio di cella	Tipo di copertura
Edifici	75 m	Micro/Pico
Urbano	600 m	Macro/Micro
Suburbano	2 km	Macro
Rurale	8 km	Macro



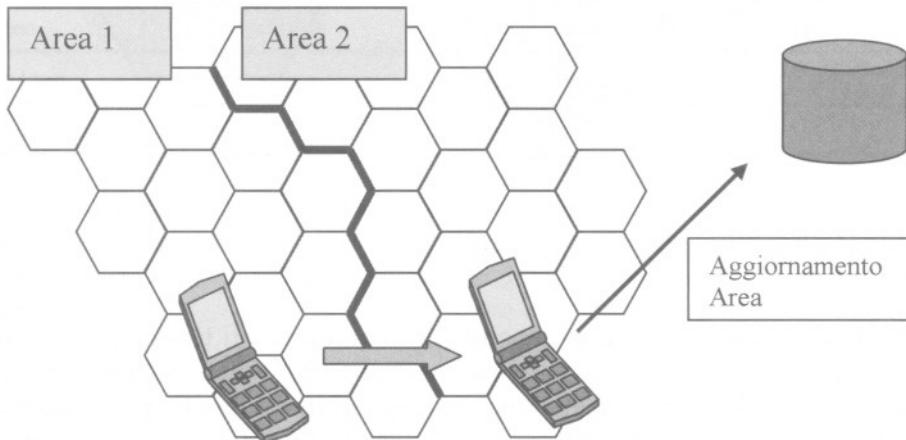
Quando metti un traliccio, conviene mettere 3 ripetitori per creare 3 celle (a nido d'ape) perche' sfrutta al massimo lo spazio

Gestione della mobilità.

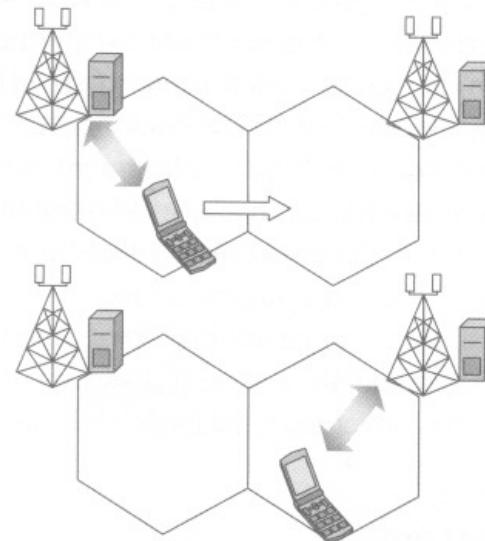
- Cambio area di registrazione.
- Cambio di cella (“handover”).
- Roaming nazionale ed internazionale.

N.B. Il Wi-fi non ha l'handover

Il sistema deve conoscere la posizione del dispositivo per non "sprecare" richieste alle varie celle per gestire l'handover



La notificazione di cambio di cella non avviene mai. La cella potrebbe cercare il dispositivo (paging) ma si può cercare su tutta la rete nazionale, quindi la soluzione è utilizzare delle aree di registrazione, ovvero degli insiemi di celle. La cella quindi viene a conoscenza solo del cambio di area del dispositivo.



UMTS funziona anche su diversi standard di rete come il GSM

non ci sono ad esempio standard di ricezione per favorire la competizione (sistema aperto). Ad esempio le società possono intervenire sul codice di correzione

Standard di trasmissione radio.

Nome	Sigla	Standard Radio
IMT-2000 CDMA Direct Spread	IMT-DS	UTRA FDD (WCDMA)
IMT-2000 CDMA Multi-Carrier	IMT-MC	CDMA2000
IMT-2000 CDMA TDD	IMT-TC	UTRA TDD 3.84 mcps (TD-CDMA)
		UTRA TDD 1.28 mcps (TD-SCDMA)
IMT-2000 TDMA Single Carrier	IMT-SC	UWC-136 (EDGE)
IMT-2000 FDMA/TDMA	IMT-FT	DECT

- core network: **IMT-2000 UMTS**.
- access network: **UTRA FDD (WCDMA) e UTRA TDD (UTRA: Universal Terrestrial Radio Access)**.
- compatibilità con **GSM/GPRS/EDGE** (Europa), con **Synchronous-CDMA** (in Cina) e con **CDMAOne (narrowband CDMA) / CDMA2000 (MultiCarrier CDMA)** (in USA e Canada).

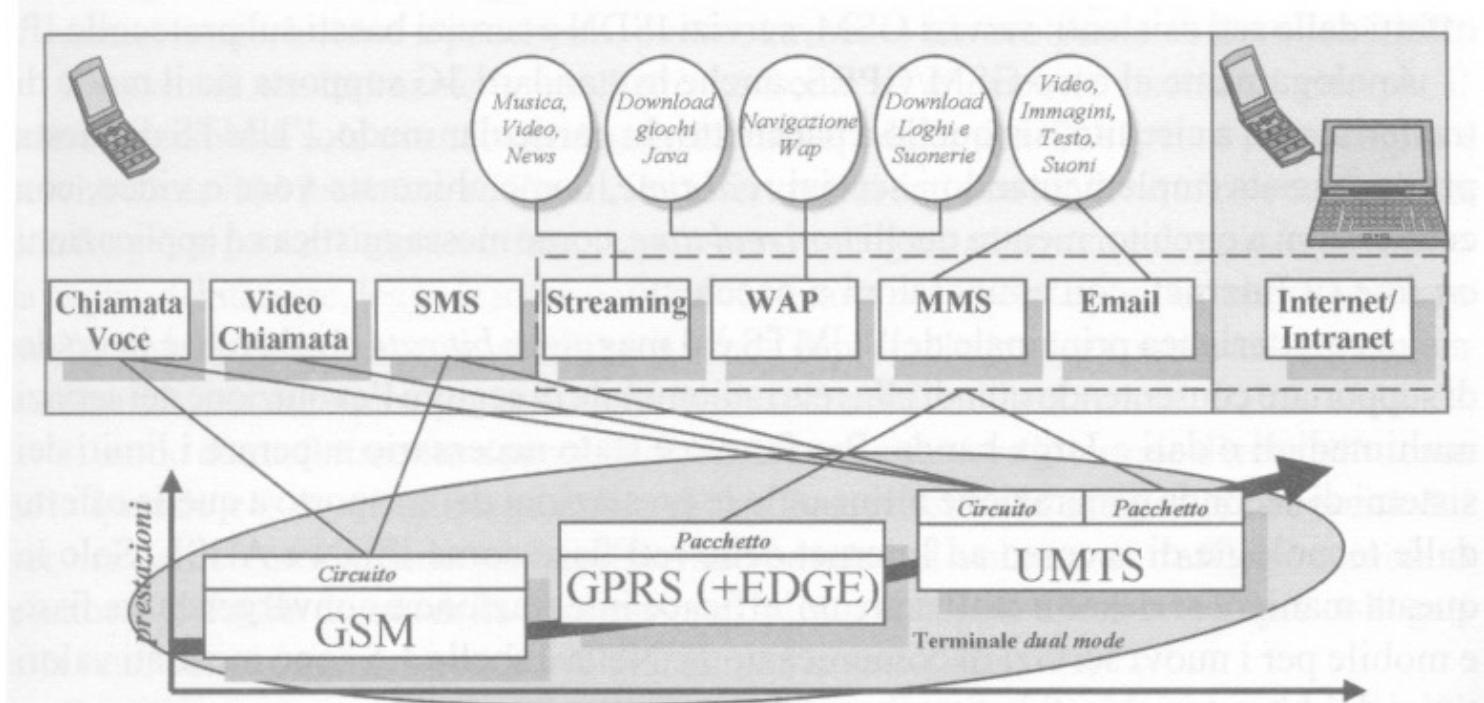
Sistema aperto

modifiche con releases SW ed apparati trasmettitori e ricevitori per reti progettate da operatori in base a standard minimali (favorisce l'innovazione)

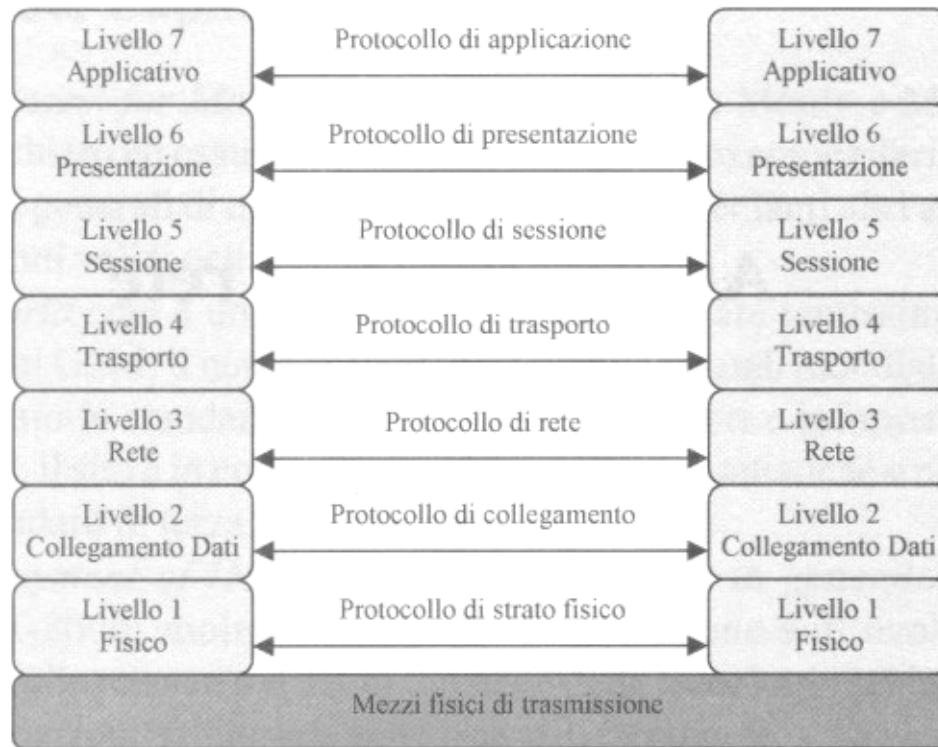
mai aggiornamenti hardware (per risparmiare)

Requisiti e servizi dell'UMTS.

Servizio	Bit rate	Modo di trasferimento	
Voce	12,2 kbit/s	Circuito	circuito: risorse assegnate in maniera FISSA (ES. 12,2 kbit/s non possono né diminuire né aumentare) ed esclusiva, per un determinato servizio.
Videotelefonia	64-128 kbit/s	Circuito	
Streaming Audio e Video	128-384 kbit/s	Pacchetto	
Accesso ad Internet/Intranet veloce	2 Mbit/s	Pacchetto	I pacchetti sono tariffabili facilmente (a kbyte ad esempio) e possono avere instradamenti diversi a differenza del circuito
Email, MMS	64 kbit/s	Pacchetto	
SMS e Messaggi in Broadcast	16 kbit/s	Pacchetto	
Informazioni ed Intrattenimento	64-128 kbit/s	Pacchetto	



Architettura di rete. Architetture protocollari.



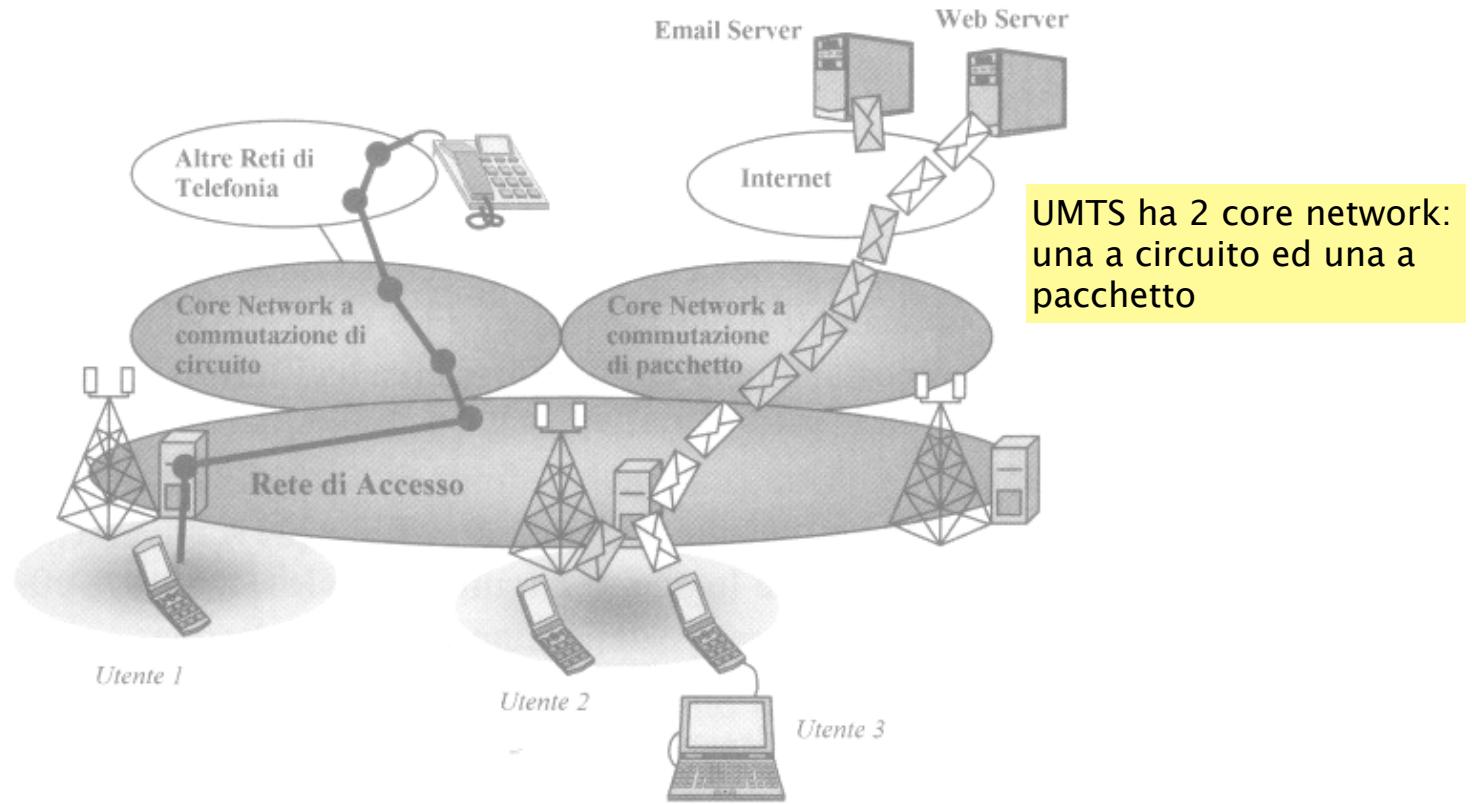
Pila protocolare ISO-OSI

N.B.: la connessione di ciascun livello avviene solo con un livello omologo, con un percorso prima “in discesa”, quindi trasferimento a livello fisico, ed infine “in salita”.

Architettura di rete. Pila protocollare ISO-OSI.

- livello 7 (applicazione): consente l'accesso agli applicativi per la comunicazione;**
- livello 6 (presentazione): rende lo strato sovrastante indipendente da sintassi e semantica dei dati;**
- livello 5 (sessione): instaura sessioni tra macchine remote e gestisce la sincronizzazione;**
- livello 4 (trasporto): organizza i dati per consentire e verificare un trasferimento senza errori;**
- livello 3 (rete): instrada i dati in reti anche eterogenee; routing**
- livello 2 (collegamento dati): preserva la correttezza dell'informazione, rivela e corregge errori ed, infine, regola il traffico dati;**
- livello 1 (strato fisico): si occupa del trasferimento dei dati sui canali fisici.**

Modi di trasferimento a circuito ed a pacchetto.



Rete di accesso: consente l'instaurazione, il mantenimento e l'abbattimento della chiamata.

Rete di commutazione (core network): gestisce la connettività dati verso le varie reti selezionate in base all'APN (access point name) richiesto dal terminale.

Modi di trasferimento a circuito ed a pacchetto. (2)

in una telefonata vengono effettuate 2 connessioni

Servizio a circuito: viene instaurata una (due) connessione che mantiene le risorse per tutta la durata della comunicazione.

Servizio a pacchetto: le informazioni sono organizzate in pacchetti di bit contenenti ciascuno, oltre ai dati, informazioni utili al destinatario per l'instradamento e la ricombinazione dell'intero messaggio.

inoltre esistono sistemi di correzione per la perdita di bit

N.B. Possono verificarsi ritardi dovuti a contese sulla trasmissione attraverso i nodi.

A seconda del servizio è possibile operare mediante:

-) assegnazione delle risorse su domanda.
-) preassegnazione delle risorse mediante un canale virtuale.

Internet protocol (IP).

campo header: source address, destination address

campo payload: dati

indirizzi IP lunghi 32 bit, lunghezza payload variabile.

– IPv6: 128 bit di indirizzamento, funzionalità di flow labeling (tipo di traffico), funzionalità di sicurezza (autenticazione e confidenzialità dei dati)

Asynchronous transfer mode (ATM).

ATM sono molto più piccoli di tipici pacchetti

La “cella” ATM ha una lunghezza fissa di 53 bytes (5 di destinazione e 48 di informazione)

Le informazioni per l'instradamento sono contenuti in due campi:

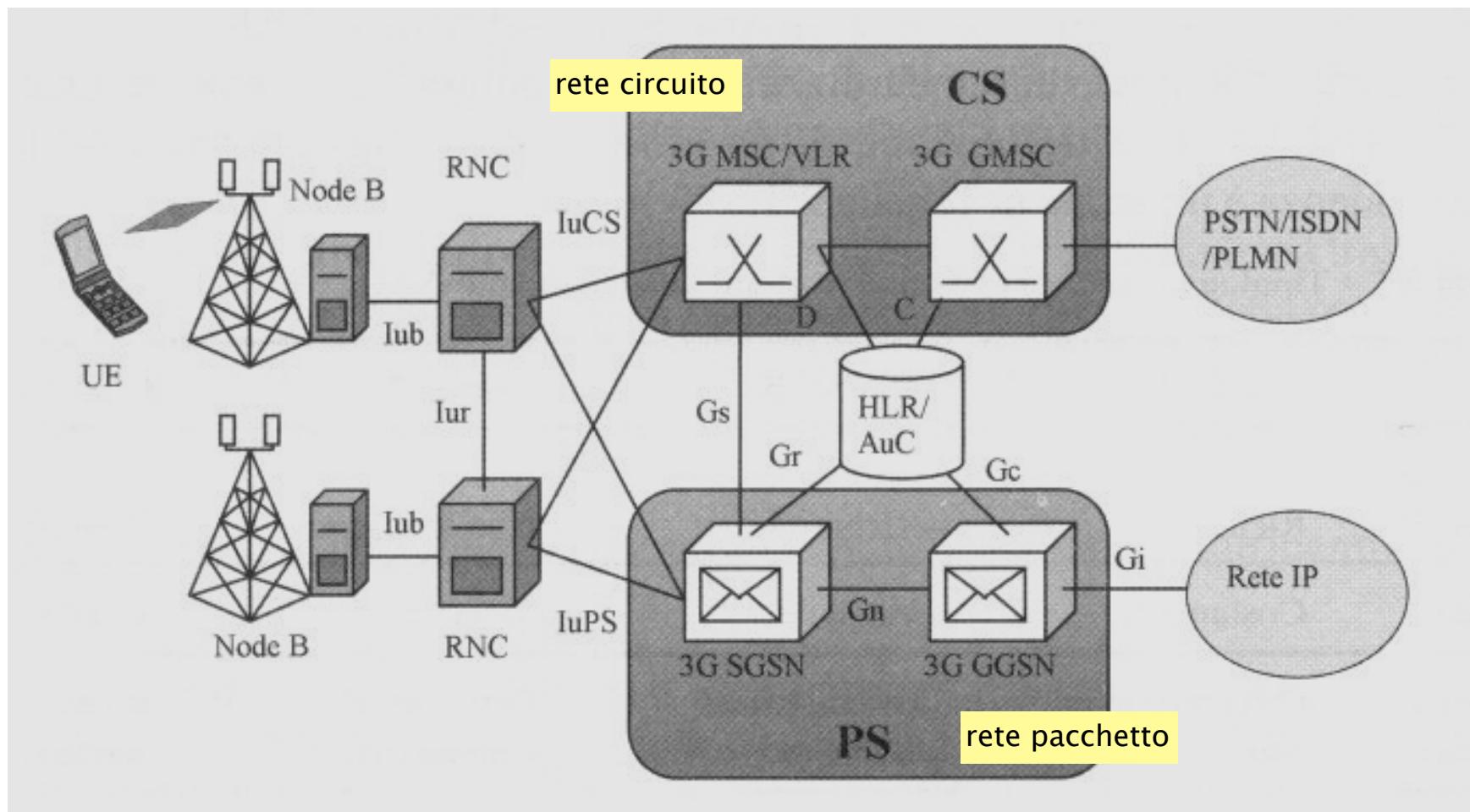
-) Virtual Channel Identifier (VCI)

-) Virtual Path Identifier (VPI)

N.B. più virtual channels possono comporre un virtual path.

La rete ATM è in grado di commutare servizi a varia priorità in base alla classe di servizio richiesto (es.: eventuale relazione temporale, bit rate costante o variabile, eventuale orientamento alla connessione) mediante opportuni strati di adattamento (AAL- Atm Adaptation Layer).

Architettura dell'UMTS. Schema generale.



architettura di una PLMN: Public Land Mobile Network (rete radiomobile pubblica)

Il terminale mobile UMTS.

UE: User Equipment (terminale mobile) o anche MS (Mobile Station)

terminale (identificato dall'IMEI – International Mobile Equipment Identity):

- telefonino con tastiera e display grafico a colori, tele-foto-camera
- palmare con funzionalità UMTS
- scheda PCMCIA per personal computer

scheda USIM (Universal Subscriber Identity Module) per l'identificazione dell'utente e della rete “home” e dei servizi abilitati.

E' implementata in circuito integrato UICC (Universal Integrated Circuit Card).

Codice IMSI (International Mobile Subscriber Identity) =

MCC (Mobile Country Code) + MNC (Mobile Network Code) + MSIN (Mobile Subscriber Identification Number).

Vantaggi:

- separazione di identità utente-terminale che consente di cambiare il terminale
- roaming internazionale tramite il codice IMSI
- memorizzazione di dati di utente trasportabili come rubrica ed SMS

Nodi della Rete di accesso

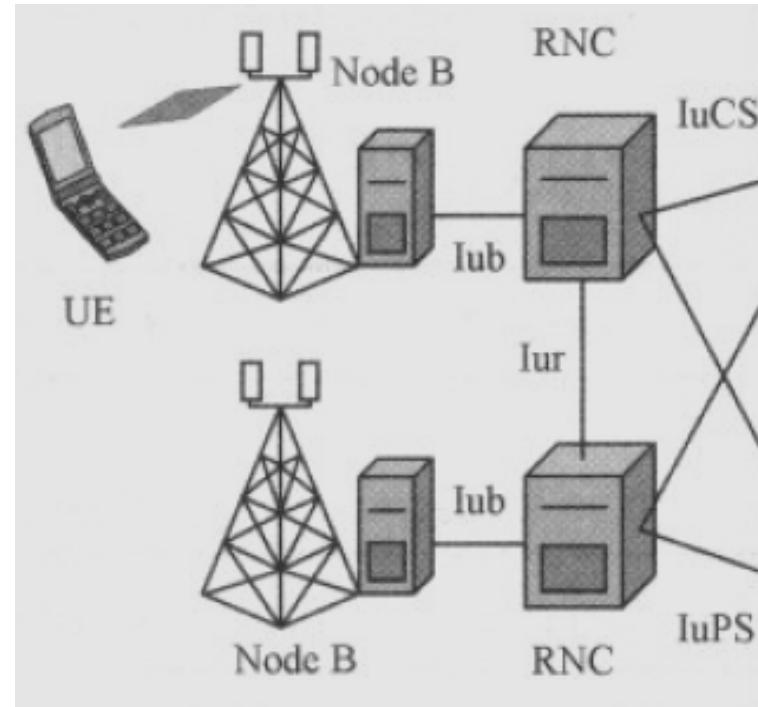
Node B: ad ogni nodo B corrisponde una cella

- modulazione/demodulazione
- utilizzo dei codici
- misure di qualità del canale radio
- controllo di potenza (per trasmissioni UE-nodo B della minima potenza necessaria)
- diversità di ricezione (il nodo B utilizza due antenne) anche più di 2
- collegato all'RNC attraverso l'interfaccia Iub

RNC (Radio Network Controller):

- governa una o più stazioni radio-base
- addetto alla gestione della chiamata, controllo del carico, accettazione di nuove chiamate, gestione dei codici, procedure di Handover
- nei casi di Soft Handover si collega a due nodi B gestiti da due RNC, uno Serving (SRNC) e l'altro Drift (DRNC)
- si connette ad altri RNC attraverso l'interfaccia Iur
- si connette al Core Network tramite l'interfaccia Iu (IuCS a circuito, IuPS a pacchetto)

fra 2 RNC connessi (durante un Soft Handover), quello che comanda è quello connesso da prima. Sostanzialmente non cede il comando



Nodi del Core Network del dominio a circuito.

MSC (Mobile Switching Centre): interfaccia tra parte radio e rete fissa

- funzionalità di commutazione dei circuiti, coordinando le attività di instaurazione, mantenimento/modifica o abbattimento delle chiamate
- funzionalità di reti radiomobili come la gestione della sicurezza e mobilità degli utenti

VLR (Visitor Location Register): implementa le procedure di registrazione per le MS che entrano in nuove Location Area (LA); nel data base sono memorizzate:

- IMSI (International Mobile Subscriber Identity)
 - MSISDN (Mobile Subscriber ISDN number)
 - MSRN (Mobile Subscriber Roaming Number)
 - TMSI (Temporary Mobile Station Identity)
 - LA (Location Area)
 - eventuale identità di registrazione dell'MS presso l'SGSN (Serving GPRS Support Node) della rete a pacchetto
- vengono registrate posizione ed identità del cliente.
- inoltre le credenziali di identità vengono cambiate continuamente per motivi di sicurezza

GMSC (Gateway Mobile Switching Centre): interfaccia con reti esterne PSTN (fisse) o PLMN (mobili) che comprende le funzionalità di Gateway. E' l'operatore che decide quali e quanti MSC possono svolgere le funzioni di GMSC.

IWF (Interworking Function): elemento di rete che consente il dialogo protocollare tra mondo mobile e mondo fisso.

Nodi del Core Network del dominio a pacchetto.

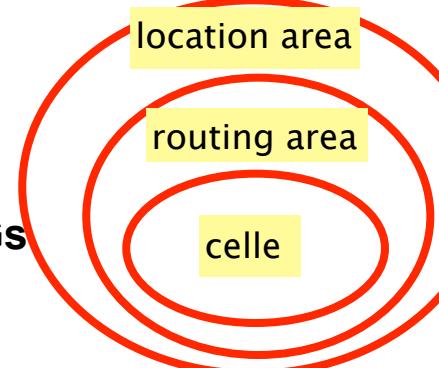
SGSN (Serving GPRS Support Node): equivalente all'MSC del dominio a circuito

- gestisce il traffico degli utenti, la loro mobilità ed esegue funzionalità relative alla sicurezza.
- coordina le attività di instaurazione, mantenimento/modifica o abbattimento dei canali virtuali (detti PDP Context). Infatti, quando un mobile intende fare un trasferimento a pacchetto, richiede all'SGSN l'instaurazione di un PDP Context, cioè un canale virtuale che collega l'UE alla rete esterna.

Le celle sono raggruppate in Routing Area, contenute a loro volta nelle Location Area.

Quando un mobile si sposta di Routing Area, aggiorna la posizione informando l'SGSN. L'SGSN memorizza i seguenti dati per la gestione della mobilità e del traffico:

- IMSI (International Mobile Subscriber Identity)
- una o più identità temporanee
- zero o più indirizzi IP
- informazioni sulla cella e sulla Routing Area
- il numero del VLR se è implementata l'interfaccia di collegamento Gs
- l'indirizzo di ciascun Gateway GGSN con canale virtuale IP attivo



GGSN (Gateway GPRS Support Node): si interfaccia con le reti a pacchetto esterne (sia internet che intranet aziendali).

Il GGSN memorizza i dati di utente per gestire il traffico di un PDP Context, quali:

- IMSI (International Mobile Subscriber Identity)
- zero o più indirizzi IP
- l'indirizzo dell'SGSN dove il mobile è registrato

Nodi del Core Network in comune.

HLR (Home Location Register): data base che contiene le informazioni per gestire un utente mobile. In esso, sono memorizzate:

- informazioni sull'utente (IMSI, uno o più numeri telefonici, indirizzi dei protocolli dati)
- informazioni di localizzazione che permettono la tariffazione e l'instradamento delle chiamate a circuito verso l'MSC o dei dati verso l'SGSN dove l'MS è registrato
- informazioni relativi ai servizi supportati (es.: limitazioni al roaming)

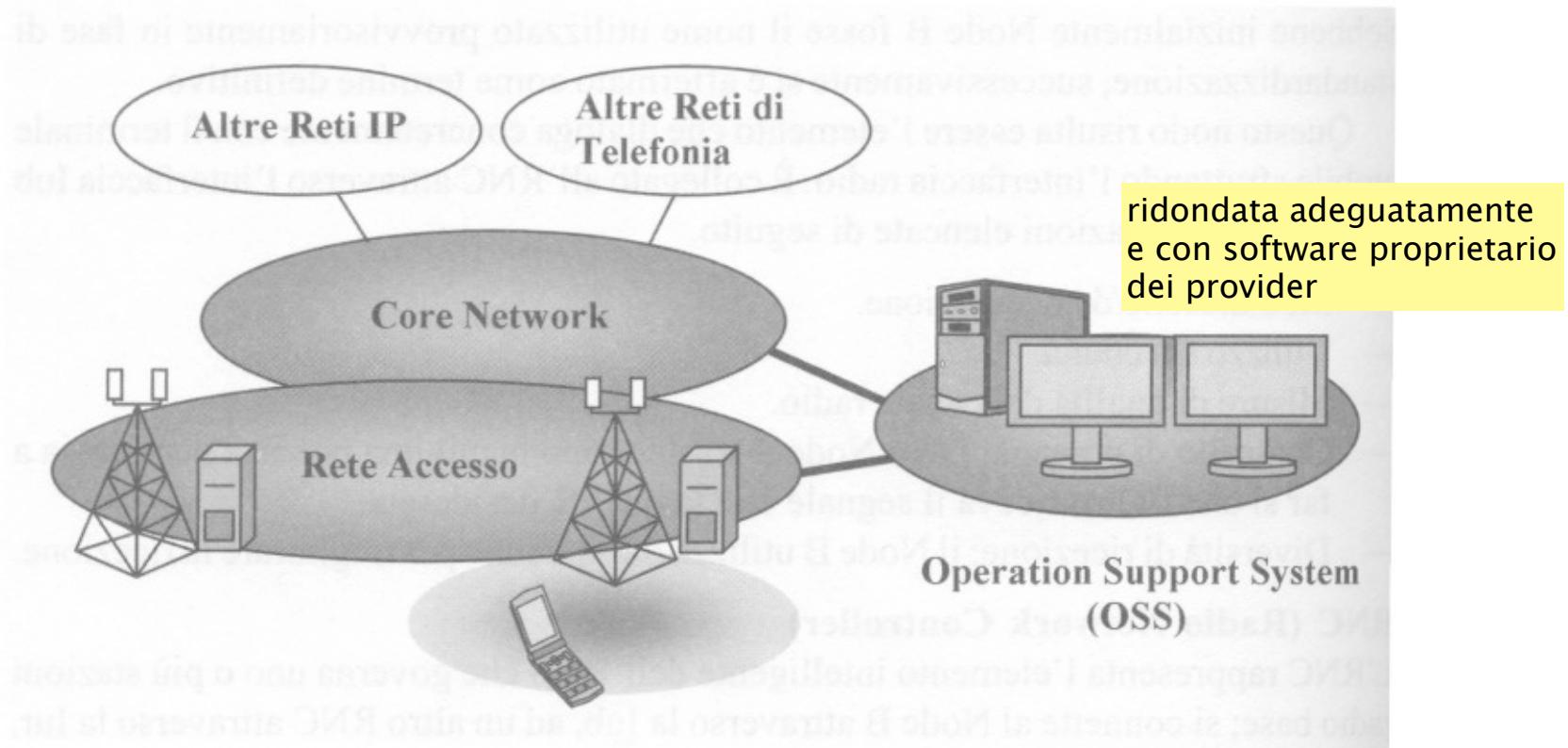
AuC (Authentication Centre):

- consente l'autenticazione degli utenti (IMSI) secondo procedure sicure
- consente di cifrare la comunicazione radio.

Queste informazioni sono poi trasmesse all'MSC all'SGSN

EIR (Equipment Identity Register): consente l'archiviazione delle identità dei terminali (identificati dall'IMEI – International Mobile Equipment Identity) in apposite liste. L'iscrizione a liste "nere" (es.: terminali rubati) ne inibisce l'utilizzo.

Operational Support System.



L'Operational Support System (OSS) è l'insieme degli elementi che consentono il controllo ed il monitoraggio di tutti i nodi di rete, il cambiamento e l'aggiornamento SW di configurazioni. E' costituito da server e workstation su cui risiedono e vengono eseguiti applicativi proprietari. Il protocollo utilizzato nella comunicazione dati è IP.

Il sistema di segnalazione SS7.

si usa ad esempio quando squilla il cellulare o si mandano/ricevono SMS

Il Common Channel Signalling System 7 (CCSS7 o più brevemente SS7) prevede il trasferimento di segnalazione su rete separata. Il sistema SS7 analizza la disponibilità di risorse nell'intera rete, al fine di renderle allocabili per la successiva chiamata.

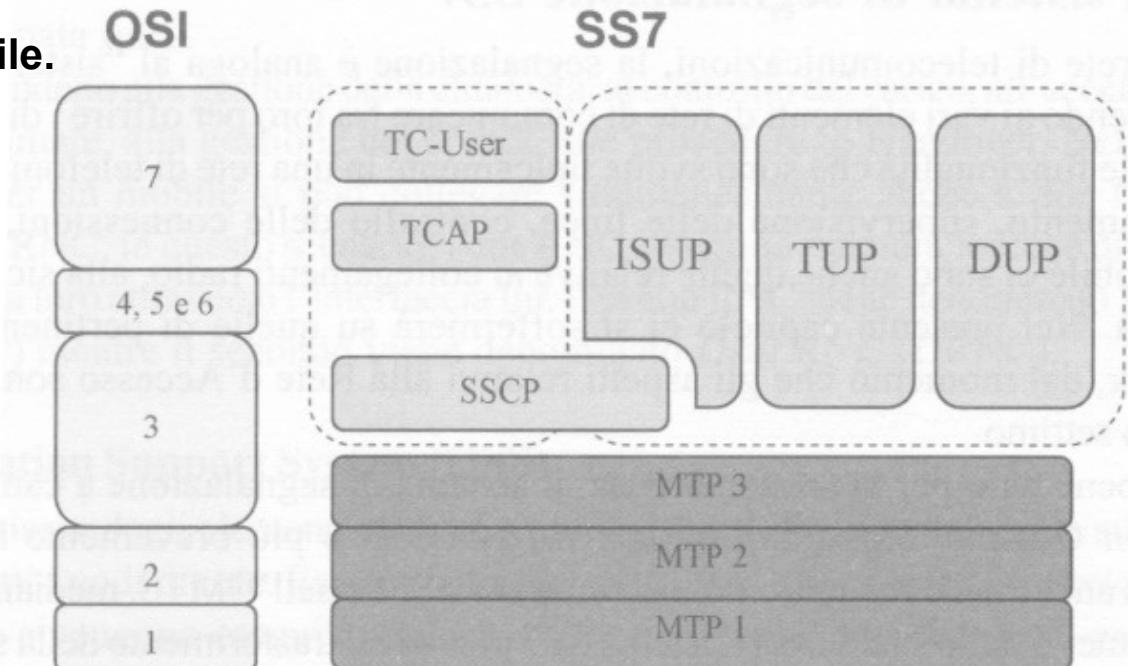
Inoltre, consente la comunicazione tra i nodi di commutazione (circuito o pacchetto) ed i Data Base del sistema radiomobile.

Il funzionamento della rete di segnalazione SS7 deve essere garantito anche in condizioni critiche (congestioni, malfunzionamenti) poiché da questa dipende l'efficienza dell'intera rete radiomobile.

Il trasporto si basa su strati MTP (Message Transfer Part).

Il protocollo SCCP (Signalling Connection Control Part) svolge funzioni di indirizzamento e

trasferimento. Le UP (User Part) sono utilizzate per applicazioni di telefonia tradizionale, le TCAP (Transaction Capability Application Part) per le applicazioni più evolute. Le UP offrono servizi di segnalazione end-to-end per servizi tradizionali (TUP – Telephone User Part), dati (DUP – Data User Part) e ISDN (ISUP – ISDN User Part). 22



L'accesso radio W-CDMA: caratteristiche generali.

anche immune ai
disturbi impulsivi

Wide-band Code Division Multiple Access (W-CDMA):

- evoluzione dei sistemi analogici a campionamento PCM (ETACS) con accesso a divisione di frequenza (FDMA) e sistemi numerici GSM codificati con compressione dei dati ed accesso misto a divisione di frequenza e tempo (FDMA/TDMA).
- distribuzione della potenza di segnale utile in una banda molto ampia e randomicamente “sparpagliata” (*spread spectrum*) al di sotto della potenza di rumore
- la rivelazione è possibile mediante la conoscenza della chiave di codice e pertanto l'intercettamento (senza conoscenza del codice) è fortemente difficoltoso e oneroso
- forte immunità ai disturbi interferenziali a banda stretta (anti-jamming)
- possibilità di variare la velocità del flusso informativo (*bit rate*) mantenendo costante la velocità di trasmissione fisica (*chip rate*) mediante la tecnica dello *spreading*
- funzionalità radio evolute come controllo di potenza frequente, possibilità di più nodi B collegati, utilizzazione di ricevitori a rastrello (Rake) per contrastare il multi-path
- allocazione ed impiego di banda *on demand*, con variazione di bit rate ogni 10 ms
- interworking e handover supportato con la rete GSM nelle aree non coperte da UMTS

Modalità di trasmissione UTRA *Frequency Division Duplexing* (FDD) e *Time Division Duplexing* (TDD): separazione dei flussi up-link e down-link in frequenza o nel tempo.

- FDD: consente la trasmissione di flussi anche in mobilità elevata e in condizioni ostili del canale fisico (collegamenti outdoor, rural and urban vehicular).
- TDD: consente la trasmissione di flussi anche fortemente asimmetrici ma a basse velocità (collegamenti indoor e pedestrian).

I codici ed il concetto di ortogonalità.

$$C_N^l \otimes C_N^m = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N C_{N,j}^l \cdot C_{N,j}^m = \begin{cases} 1 \text{ per } l = m \\ 0 \text{ per } l \neq m \end{cases}$$

$$C_1 = \{-1, -1, 1, 1, -1, 1, -1, 1\}$$

$$C_2 = \{-1, 1, 1, -1, 1, -1, -1, 1\}$$

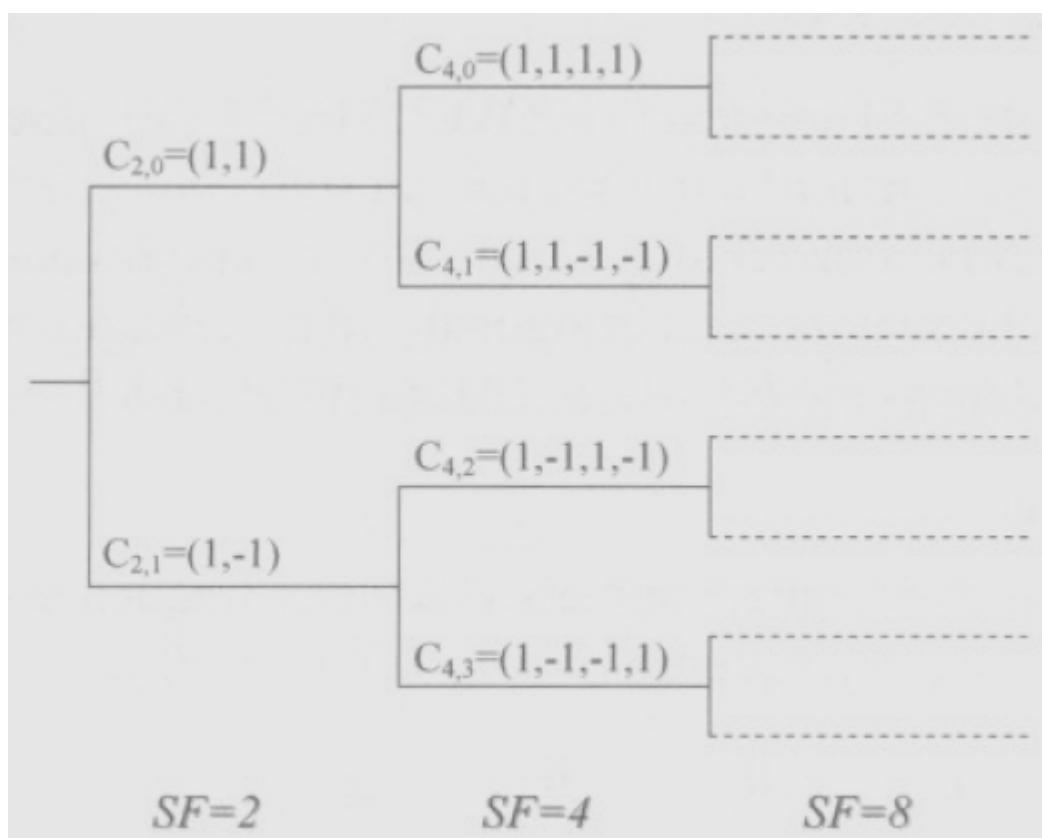
$$C_1 * C_2 = \begin{array}{cccccccccc} -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & * \\ -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & \\ \hline 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & = 0 \end{array}$$

due codici sono ortogonali
se il prodotto scalare è zero

per non creare interferenze i due codici (quindi gli utenti) devono essere ortogonali

I codici ortogonali di Walsh-Hadamard.

$$C_1 = [1] \quad C_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \quad C_4 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix} \quad C_{2^n} = \begin{bmatrix} C_{2^{n-1}} & C_{2^{n-1}} \\ C_{2^{n-1}} & -C_{2^{n-1}} \end{bmatrix}_{n \geq 1}$$



su UMTS si arriva a codici lunghi 256 (quindi 256 utenti a velocità base)

se si vuole cambiare bitrate basta cambiare codice

ogni elemento del codice si chiama chip

codici più corti vengono assegnati automaticamente per aumentare il bitrate

Lo spreading di codice (1).

Sia b_i il generico bit informativo dell' i -esimo ($1 \leq i \leq N$) utente da trasmettere in un gruppo di N utenti attivi, con $b_i \in \{-1, 1\}$.

Definiamo una famiglia di N codici $C = \{\underline{c}_1, \underline{c}_2, \dots, \underline{c}_N\}$ di lunghezza L , cioè tali che il generico codice \underline{c}_i (con $1 \leq i \leq N$ ed appartenente a C) sia la sequenza binaria (geometricamente, il vettore di dimensione L) $\underline{c}_i = [c_{i1} c_{i2} \dots c_{iL}]$ con $c_{ih} \in \{-1, 1\}$. Ogni elemento binario c_{ih} dei codici è detto *chip*, per distinguere l'elemento c_{ih} di codice (il "chip") dal contenuto informativo b_i da trasmettere (il "bit").

Sia $\underline{w} = [w_1 w_2 \dots w_L] \in \mathbb{R}^L$ il rumore additivo di tipo randomico, a campioni reali mutuamente indipendenti (w_i indipendente da w_j) casuali ed indipendenti dal segnale radio trasmesso, che il ricevitore prende dall'antenna, ove ogni campione w_i è statisticamente caratterizzato da una media (o valore atteso) nulla e varianza (che coincide con il valore quadratico medio - o potenza - essendo w_i a media nulla) σ^2 .

Ciascuno degli N codici della famiglia può essere assegnato ad un solo utente della rete mobile dal gestore della cella. Pertanto è importante che gli N codici siano tra loro ortogonali (il prodotto scalare tra i chip di due codici diversi è zero), cioè (come accade per i codici di Walsh-Hadamard, usati come codici di canalizzazione in UMTS con lunghezza di default pari a $L = 256$):

$$\underline{c}_i \cdot \underline{c}_j = L \text{ e } \underline{c}_i \cdot \underline{c}_j = 0 \text{ per } i \neq j$$

oppure, almeno, "quasi" ortogonali (prodotto scalare "quasi" nullo), cioè:

$$\underline{c}_i \cdot \underline{c}_j = L \text{ e } \underline{c}_i \cdot \underline{c}_j = \rho_{ij} \text{ con interferenza } \rho_{ij} \text{ tra i due codici molto minore di } L \text{ (in modulo) ovvero } |\rho_{ij}| / L \ll 1.$$

Lo spreading di codice (2).

Ogni bit informativo b_i dell'utente i -esimo è codificato mediante l'operazione di *spreading* con il codice c_i . In altre parole, il segnale radio trasmesso è $+c_i$ se il bit è +1, oppure $-c_i$ se il bit è -1. Il nome di *spreading* si giustifica con lo *sparpagliamento* dei bit di informazione su più chip fisici. Pertanto, il fattore L prende anche il nome di *spreading factor*.

Il segnale radio trasmesso (dato dalla sovrapposizione di più utenti) è rappresentabile come:

$$\underline{t} = b_1 \underline{c}_1 + b_2 \underline{c}_2 + \dots + b_N \underline{c}_N$$

il segnale radio ricevuto dall'antenna (dopo la compensazione automatica – mediante un adeguato fattore moltiplicativo – dell'attenuazione dovuta al canale radio ed affetto da rumore w additivo d'antenna) sarà:

$$\underline{r} = \underline{t} + \underline{w} = b_1 \underline{c}_1 + b_2 \underline{c}_2 + \dots + b_N \underline{c}_N + \underline{w}$$

Il ricevitore dell'utente i -esimo effettua la decodifica, detta *despread*, mediante il prodotto scalare (diviso per la lunghezza di codice L) con il codice c_i dell'utente i -esimo e decide per b_i' relativamente al bit trasmesso b_i sulla base del segno del risultato d_i dell'operazione (definiamo $v_i = \underline{w} \cdot \underline{c}_i / L$ il contributo di rumore al decisore):

$$\begin{aligned} d_i &= \underline{r} \cdot \underline{c}_i / L = (b_1 \underline{c}_1 + b_2 \underline{c}_2 + \dots + b_N \underline{c}_N + \underline{w}) \cdot \underline{c}_i / L = (b_1 \underline{c}_1 \cdot \underline{c}_i + b_2 \underline{c}_2 \cdot \underline{c}_i + \dots + b_N \underline{c}_N \cdot \underline{c}_i + \underline{w} \cdot \underline{c}_i) / L = \\ &= b_1 p_{1i} / L + b_2 p_{2i} / L + b_i + \dots + b_N p_{Ni} / L + v_i \end{aligned}$$

Regola di decisione del bit al ricevitore $b_i' = \text{sign}[d_i]$

La decisione è corretta se $b_i' = b_i$ altrimenti se $b_i' \neq b_i$ la decisione è errata.

Lo spreading di codice: robustezza e prestazioni (1).

Esaminiamo separatamente le prestazioni del ricevitore (*despread*) in termini di interferenza multi-utente (fattori ρ_{ji}) ed immunità al rumore (fattore v_i).

Riguardo all'effetto dell'interferenza multi-utente, se i codici fossero tutti rigorosamente ortogonali, il decisore opererebbe sulla variabile:

$$d_i = \underline{r} \cdot \underline{c}_i = b_i + v_i$$

In pratica, per rumori non elevati (cioè $|v_i| < 1$), il sistema rileva correttamente il bit trasmesso b_i .

Se i codici sono quasi ortogonali, l'effetto dell'interferenza dipende dall'entità degli N fattori di correlazione ρ_{ji} e dal segno (casuale) dei prodotti fattori $b_j \rho_{ji}$ essendo infatti:

$$d_i = \underline{r} \cdot \underline{c}_i = b_i + \sum_j b_j \rho_{ji} / L + v_i$$

che fornisce il bit trasmesso b_i senza errori se $|\rho_{ij}| / L < 1 / N$.

Quest'ultima condizione (cautelativa) pone un vincolo al numero massimo di utenti *attivi* per cella per evitare errori dovuti all'interferenza. Il carico di cella è pertanto limitato dall'interferenza multi-utente.

Lo spreading di codice: robustezza e prestazioni (2).

Riguardo all'effetto del rumore additivo, occorre notare che il segnale ricevuto \underline{r} , che include il termine di rumore, è moltiplicato per una costante opportuna che amplifica anche la componente di rumore. In realtà, sarebbe quindi più corretto parlare di effetto della limitata potenza di segnale utile ricevuta sull'antenna, a causa delle attenuazioni di canale radio e/o grande distanza tra trasmettitore e ricevitore. In pratica, il confronto si effettua sul rapporto segnale/rumore (SNR), ovvero rapporto tra la potenza di segnale utile e quella dei campioni di rumore, valutati prima e dopo il *despread*.

Il decisore, supponendo trascurabile l'effetto di interferenza prima esaminato, opera sul valore:

$$d_i = \underline{r} \cdot \underline{c}_i \cong b_i + v_i$$

All'ingresso del ricevitore (dopo il moltiplicatore che compensa l'attenuazione) e prima del *despread*, ogni chip binario del segnale utile b_i c_{ih} risulta essere di potenza unitaria, essendo i chip pari a 1 oppure -1. Dopo il *despread*, la potenza (= valore quadratico medio) del segnale utile (b_i) è ancora unitaria.

Riguardo al rumore, avevamo assunto che la potenza (=varianza) dei campioni di rumore w_j prima del *despread* è pari a σ^2 . Dopo il *despread*, la potenza (=varianza) della componente di rumore al decisore $v_i = \underline{w} \cdot \underline{c}_i / L$ risulta essere pari a σ^2 / L poiché, in base alle regole del calcolo delle probabilità e statistica, la media (cioè la somma / L) di L variabili indipendenti ha una varianza pari alla somma delle varianze dei singoli termini ($L\sigma^2$) divisa per L^2 .

Il rapporto tra SNR_{out} (SNR dopo del *despread*) e SNR_{in} (SNR prima del *despread*) risulta:

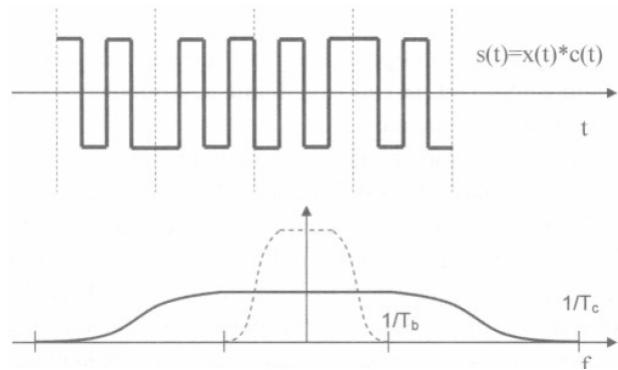
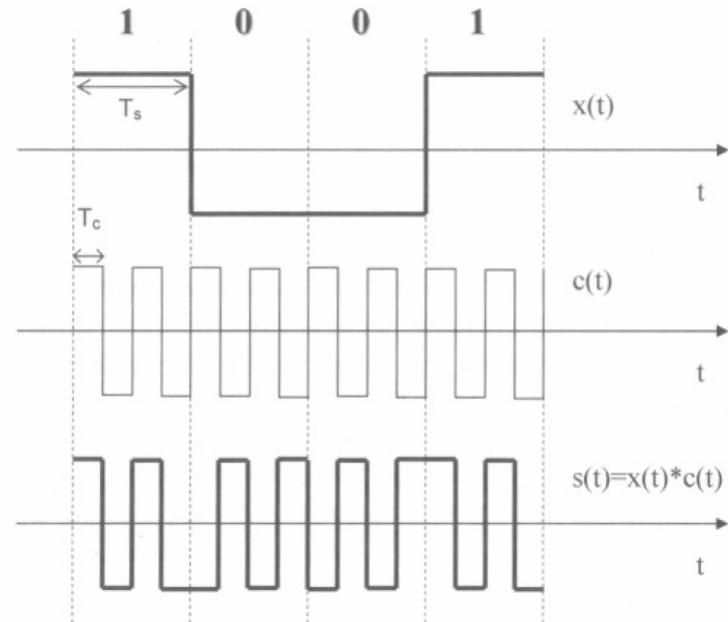
$$\text{SNR}_{\text{out}} / \text{SNR}_{\text{in}} = [1 / (\sigma^2 / L)] / [1 / \sigma^2] = L$$

Pertanto, il rapporto segnale/rumore migliora di un fattore L (lunghezza di codice) che assume perciò il nome di *processing gain*.

Lo spreading sul segnale radio UMTS.

Operazione di *spreading* su una forma d'onda (segnale) numerico

(T_s : periodo di simbolo;
 T_c : periodo di chip)

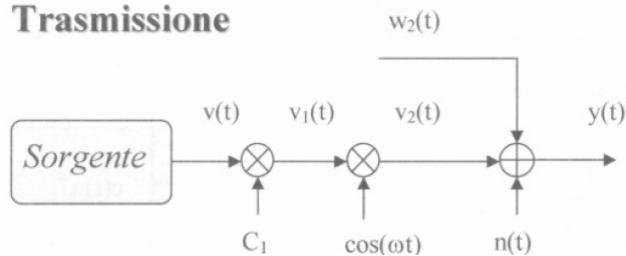


Allargamento della banda dovuta allo *spreading*

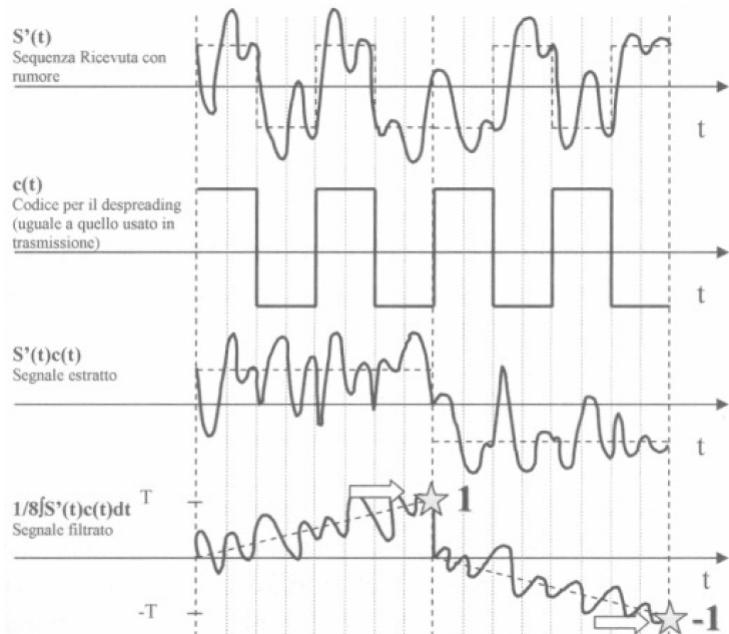
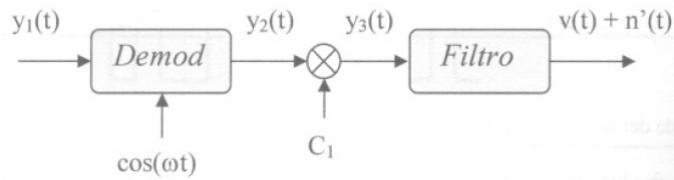
Spreading Factor (SF) = T_s / T_c = Chip Rate / Symbol Rate

Lo spreading ed il de-spreading in UMTS.

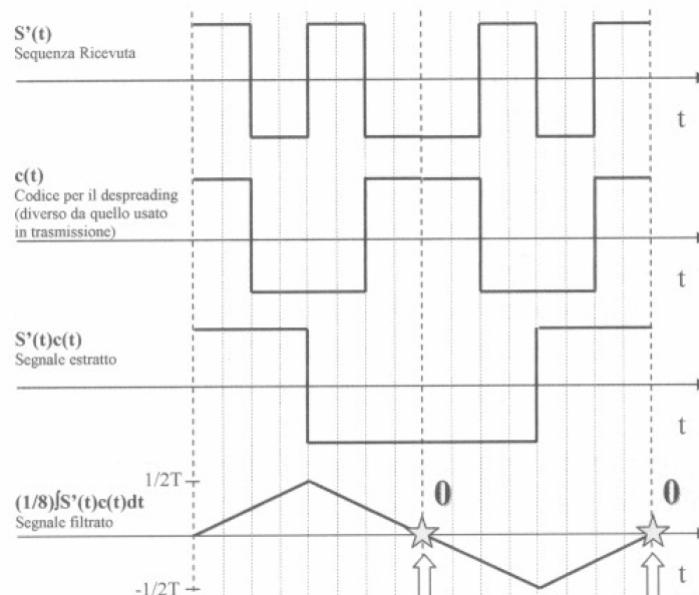
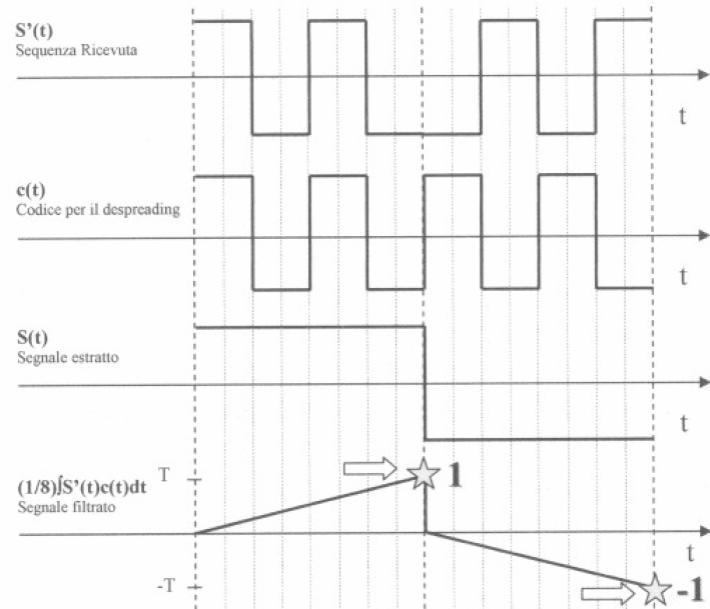
Trasmissione



Ricezione

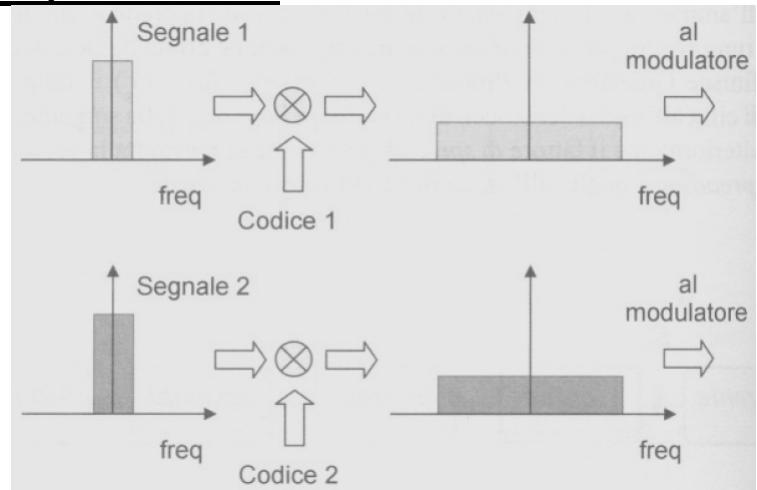
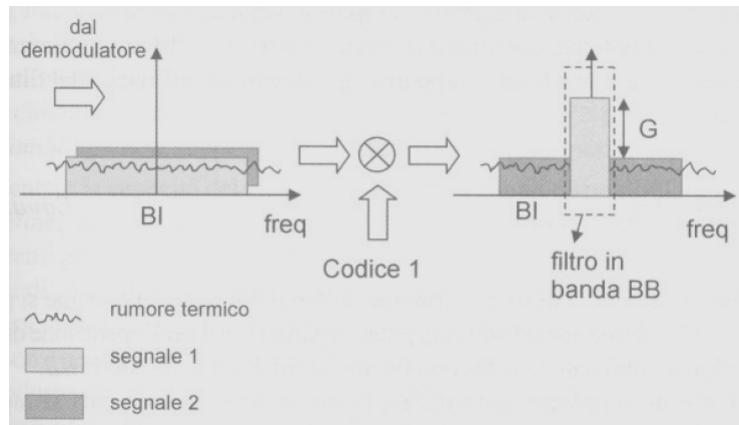


despread con il proprio codice e con un codice interferente ortogonale:



Guadagno di elaborazione (*processing gain*) in UMTS.

esempio di spreading in trasmissione →



← **esempio di despreadin in ricezione**

- Il processing gain (=SF) consente di migliorare il rapporto tra la potenza di segnale utile e quella del rumore+interferenti ottenibile in ricezione mediante il despreadin.
- Questo rapporto (=SF) è anche pari al rapporto tra la banda di interferenza+rumore e la banda del segnale utile estratto con il despreadin.
- Ad esempio, un segnale vocale codificato per GSM o UMTS a 12,2 kbit/s è trasmesso fisicamente con 3,84 Mchip/s con un guadagno di elaborazione di 314,7 pari a 25 dB.

I codici di canalizzazione (*spreading*) in UMTS.

L'informazione trasportata da un simbolo fisico dipende dal numero dei livelli possibili per quel simbolo. Se i simboli sono ad uguale probabilità è $\log_2(\text{livelli})$.

Codice a due livelli (binario): 1 bit per simbolo (0 e 1 logici).

Codice a quattro livelli (quaternario): 2 bits per simbolo (0, 1, 2 e 3 logici).

...

Codice a 256 livelli: 8 bits per simbolo (0, ..., 255 logici).

Spreading Factor (SF) = Processing Gain = Chip Rate / Symbol Rate

Code Gain (CG) = $\log_2(\text{livelli})$ = Bit Rate / Symbol Rate

in UMTS:

up-link SF = 4..256 (potenze di 2), down-link SF = 4..512 (potenze di 2)

up-link CG = 1 (codice a 2 livelli), down-link CG = 2 (codice a 4 livelli)

Chip Rate: 3,84 Mchips / sec

Bit Rate: $3,84 \cdot (\text{CG}/\text{SF})$ Mbits / sec con un codice binario (1 bit per simbolo)

massimo bit rate in up-link: 960 kbit/s; massimo bit rate in down-link: 1920 kbit/s.

I codici di *scrambling* in UMTS.

Oltre ai codici di canalizzazione, in UMTS sono usati codici di *scrambling*.

I codici di *scrambling* servono per:

- aumentare la capacità del sistema in termini di canali disponibili (utenti allocabili) implementando la separazione logica di differenti terminali e differenti celle.
- mescolare ulteriormente in modo random le sequenze di chip dopo lo *spreading*.
- irrobustire le sequenze informative degradate da multi-path e ritardi (i codici di canalizzazione di Walsh non sono più ortogonali tra loro se relativamente traslati).

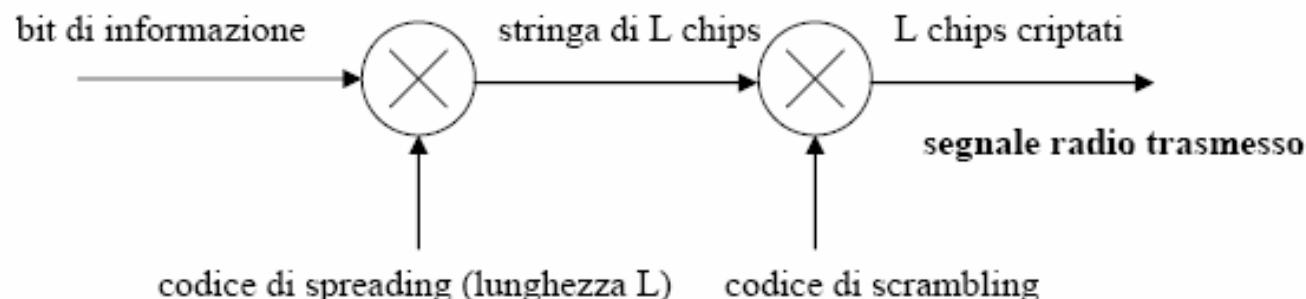
Al contrario dei codici di canalizzazione (*spreading*) di Walsh, i codici di *scrambling* non sono esattamente ortogonali, ma *quasi ortogonali*, ovvero presentano una ridotta (ma non nulla) correlazione tra i codici.

I codici di *scrambling* più adoperati sono robusti alle traslazioni perché la correlazione rimane bassa anche in presenza di shift relativo tra i codici. Essi sono prodotti mediante generatori pseudo-casuali (pseudo-noise - PN code), quali ad esempio i codici di Gold.

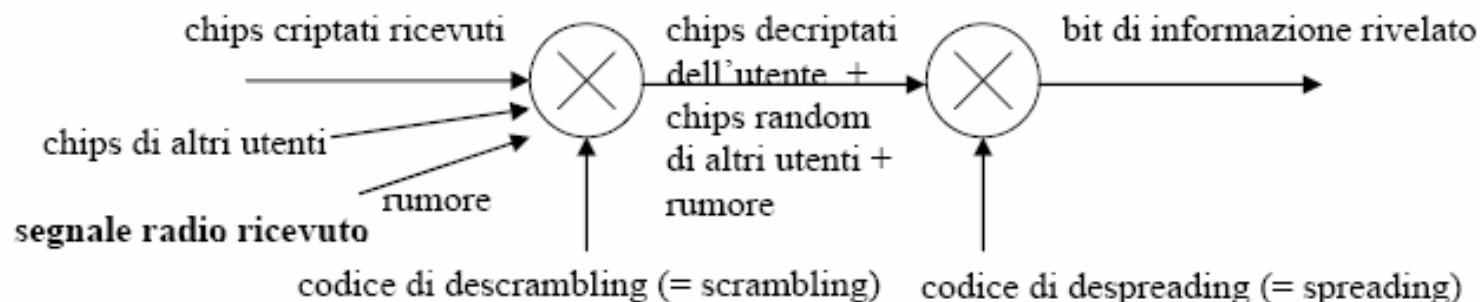
Per tali caratteristiche di precisione di stima di ritardi o shift temporali sono idonei alla sincronizzazione temporale trasmettitore/ricevitore UMTS ed alla stima di range e direzione nei sistemi di telelocalizzazione (GPS e Galileo).

Schema complessivo dello spreading e dello scrambling in UMTS.

Trasmettitore:



Ricevitore:



L' High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) e l'Enhanced Up-link.

Per aumentare la capacità del sistema è stata introdotta nelle Release 5 e 6 la modalità di accesso radio denominata HSDPA (High Speed Downlink Packet Access).

La tecnica HSDPA consente un bit rate massimo in down-link di 14 Mbit/s. Essa si basa su due principali miglioramenti all'accesso radio:

- invece di un codice di canalizzazione W-CDMA a 4 livelli, è utilizzabile un codice a 16 livelli.
- invece di un solo codice di scrambling W-CDMA, sono utilizzati fino a 15 codici PN in contemporanea.

Ovviamente, per poter utilizzare le potenzialità dell'HSDPA le condizioni del canale fisico, in termini di potenza di segnale rispetto a rumore+interferenza, devono essere tali da consentire la corretta decisione tra i simboli (assai meno distinguibili essendo ben più numerosi, a parità di potenza emessa dalla stazione base).

Similmente, anche l'up-link prevede il miglioramento del bit rate tramite la tecnica dell'*Enhanced Up-link* fino ad un massimo di 5 Mbit/s.

Informazione di utente, di segnalazione e di controllo.

Informazione di utente (servizi multimediali del Core Network CS e PS a prefissata Qualità del Servizio – QoS):

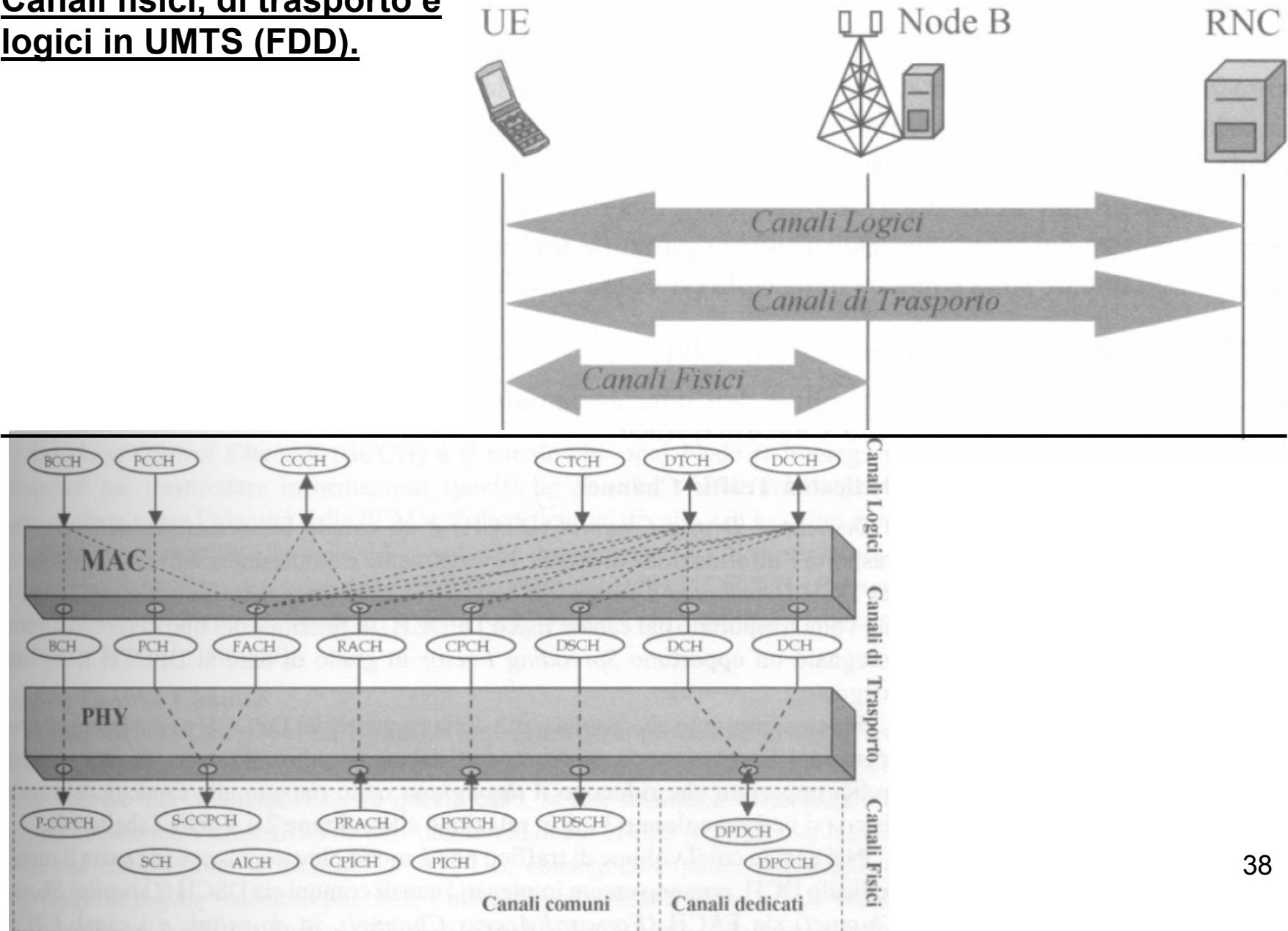
- collegamenti real time (voce o video+voce), di tipo bidirezionale (full duplex).
- collegamenti non real time (accesso ad internet, SMS, MMS) di tipo unidirezionale.

Informazione di segnalazione e di controllo:

- consente la richiesta del servizio con determinate caratteristiche, l'instaurazione di chiamata, la modifica e l'abbattimento delle comunicazioni.
- consente il mantenimento della comunicazione con la qualità di richiesta anche quando l'utente è in mobilità o in zone critiche di copertura radio.

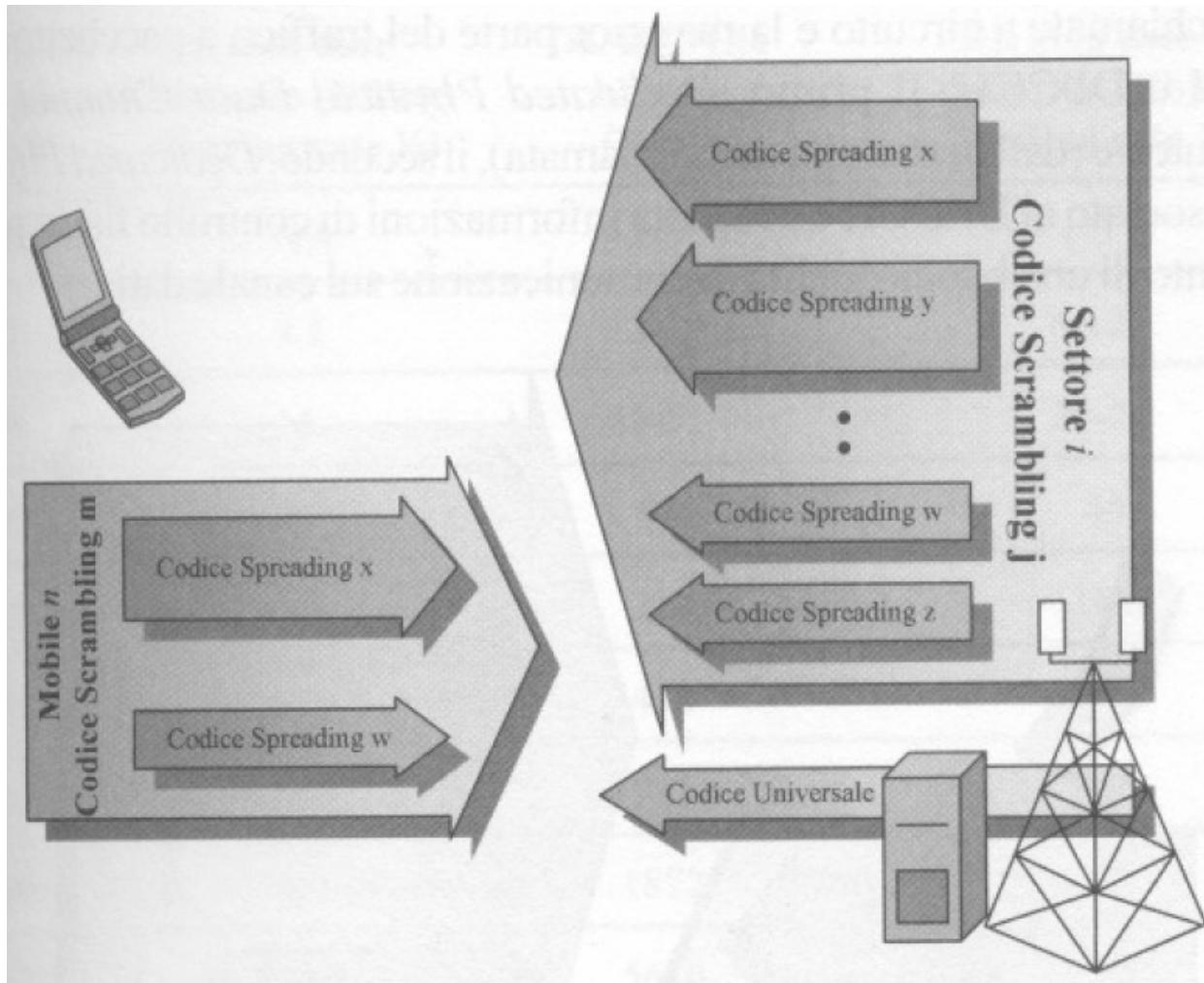
Le informazioni transitano attraverso canali: un canale è il supporto fisico e logico che consente la trasmissione e lo scambio di informazioni.

Canali fisici, di trasporto e logici in UMTS (FDD).



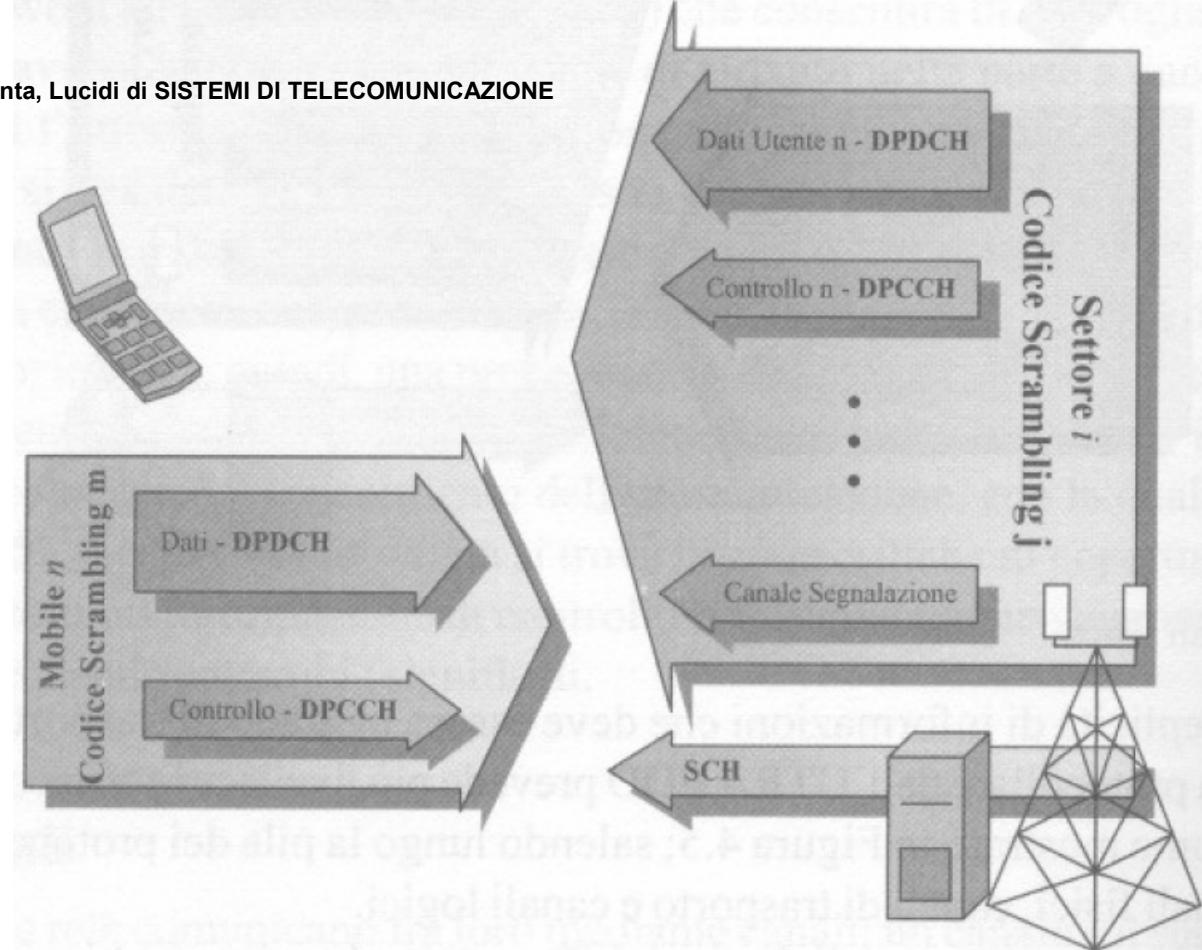
I canali fisici.

I canali fisici sono univocamente individuati dalla terna: frequenza, codice di *scrambling* e codice di *spreading*.



Canali fisici dedicati.

- **DPDCH (Dedicated Physical Data Channel):** trasporta i dati di utente (suddivisi in trame o frames di 10 ms ciascuno, corrispondenti a 15 Time Slots cioè 38400 chips) con bit rate variabile, implementando le operazioni di spreading e scrambling.
- **DPCCH (Dedicated Physical Control Channel):** trasporta le informazioni di controllo del livello fisico, il Power Control, la diversità spaziale di trasmissione, supporta il cambio del bit rate (può essere effettuato frame per frame).



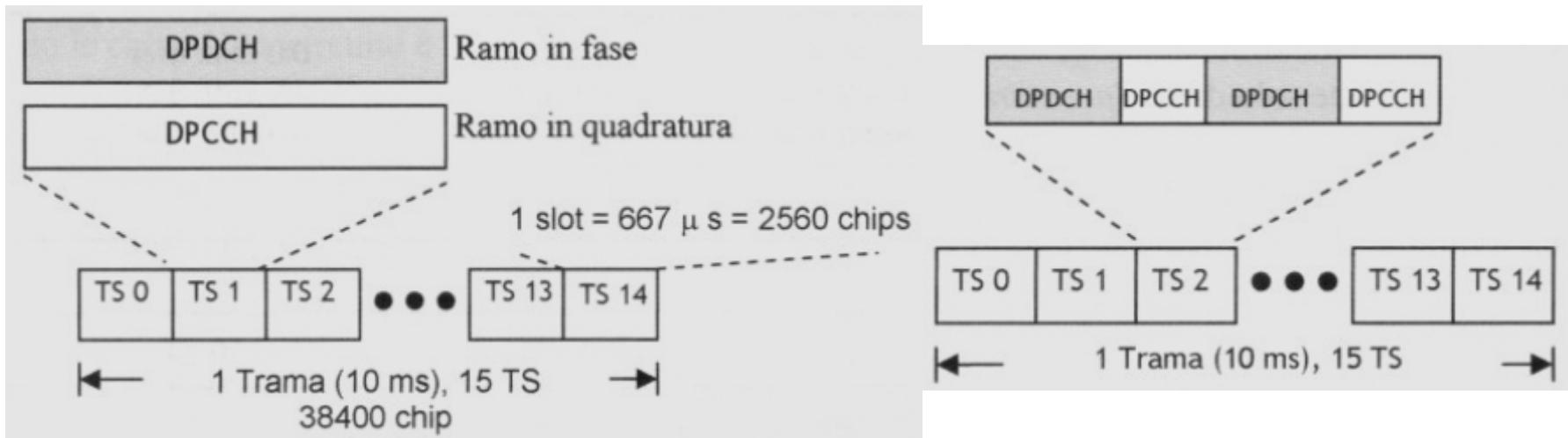
A seconda dello SF utilizzato in up-link e down-link è possibile ottenere diversi bit rate

SF	UL DPDCH bit rate (Kbit/s)	UL max user data rate (Kbit/s) (coding rate %)	DL DPDCH bit rate (Kbit/s)	DL max user data rate (Kbit/s) (coding rate %)
512	NA	NA	3-6	1-3
256	15	7,5	12-24	6-12
128	30	15	42-51	20-24
64	60	30	90	45
32	120	60	210	105
16	240	120	432	215
8	480	240	912	456
4	960	480	1872	936
Parall.	5740	2300	5616	2300

Canali fisici dedicati: struttura della trama multiplata.

Il DPDCH ed il DPCCCH sono trasmessi differentemente in up-link (schema a sinistra) ed in down-link (schema a destra).

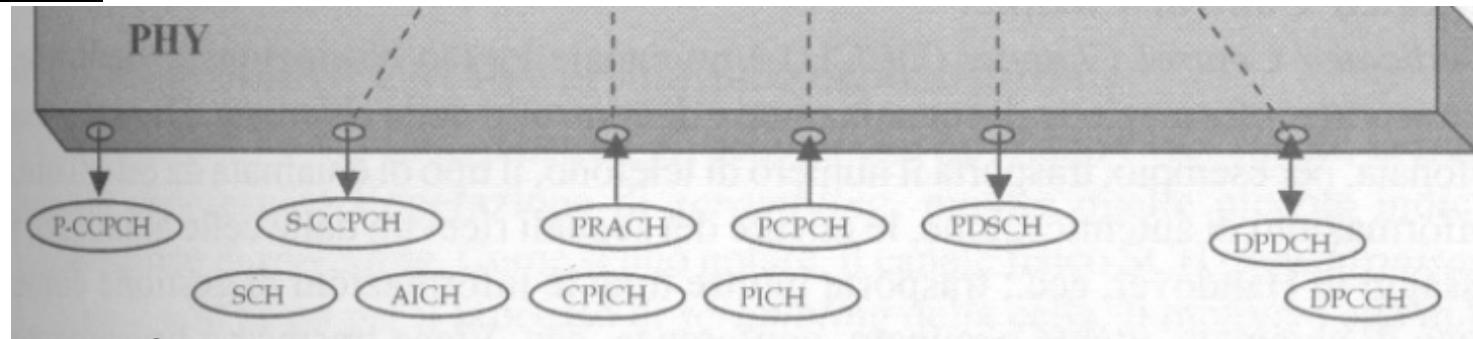
In particolare, i due canali in UP sono multiplati con due codici di spreading (uno per il ramo in fase, uno per il ramo in quadratura del canale fisico) ed un codice di scrambling, mentre in DL con un solo codice di spreading ed un codice di scrambling.



Legenda:

- **ramo in fase:** il segnale originario è modulato (cioè moltiplicato) con $\cos(\omega t)$
- **ramo in quadratura:** il segnale originario è modulato (cioè moltiplicato) con $\sin(\omega t)$ ove $f = \omega / 2\pi$ è la frequenza centrale (in alta frequenza, circa 2 GHz) del segnale radio.

Canali fisici comuni.



- **SCH (Synchronization Channel):** impiegato per la sincronizzazione iniziale (es. dopo l'accensione del terminale).
- **P-CCPCH (Primary - Common Control Physical Channel):** comunica a tutti gli UE della cella le informazioni della rete.
- **S-CCPCH (Secondary - Common Control Physical Channel):** impiegato per trasmettere altre informazioni di controllo della cella.
- **CPICH (Common Pilot Channel):** impiegato per trasmettere il codice di scrambling della cella.
- **PRACH (Physical Random Access Channel):** canale fisico ad accesso casuale.
- **AICH (Acquisition Indication Channel):** usato nella procedura di accesso al PRACH.
- **CSICH (CPCH Status Indication Channel):** indica lo stato del canale di trasporto CPCH.
- **CD/CA-ICH (Collision Detection / Channel Assignment Indication Channel):** rileva le possibili collisioni nel canale di trasporto CPCH.
- **PICH (Paging Indicator Channel):** impiegato nelle procedure di paging (ricerca della posizione del terminale mobile tra le celle).

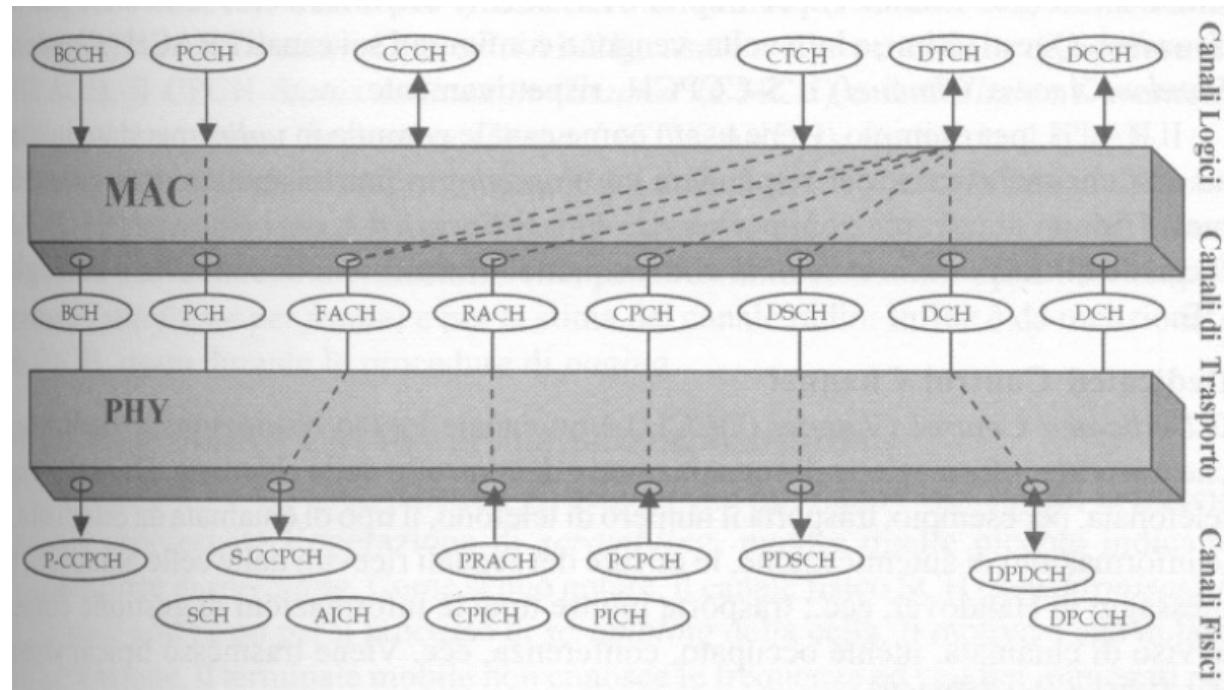
Canali di traffico.

- **DTCH (Dedicated Traffic Channel): canale bidirezionale dedicato che trasporta l'informazione di utente.**

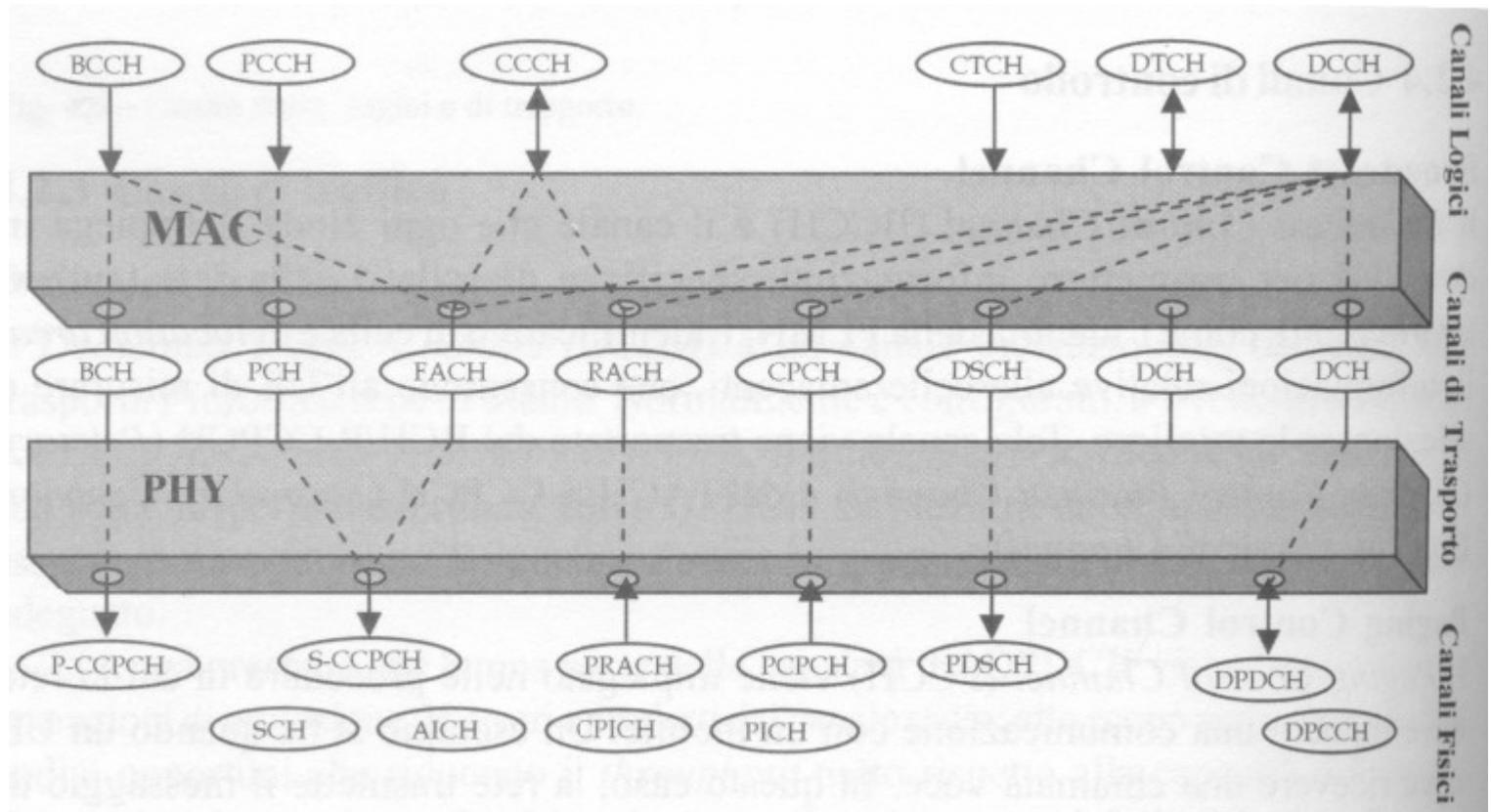
Per il trasporto il DTCH usa solitamente il DCH (Dedicated Transport

Channel), che è a sua volta trasportato sul livello fisico dal DPCH (Dedicated Physical Data Channel). In alternativa al DCH, possono essere impiegati in down-link il DSCH (Downlink Shared Channel) oppure il FACH (Forward Access Channel), ed in up-link il CPCH (Common Packet Channel) oppure il RACH (Random Access Channel).

- **CTCH (Common Traffic Channel): canale punto-multipunto monodirezionale che trasporta il traffico diretto ad uno o più utenti.**
Il canale CTCH viene trasportato dal FACH (Forward Access Channel).



Canali di controllo (1).



- **BCCH (Broadcast Control Channel):** canale che ogni nodo B impiega in down-link per trasmettere informazioni di sistema (identità dell'operatore, identificativo di cella e di location area).

Tale canale è trasportato dal **BCH (Broadcast Channel)** ovvero dal **FACH (Forward Access Channel)** a livello di trasporto e dal **P-CCPCH (Primary - Common Control Physical Channel)** ovvero **S-CCPCH (Secondary - Common Control Physical Channel)** a livello fisico.

Canali di controllo (2).

- **PCCH (Paging Control Channel):** impiegato nelle procedure in cui la rete deve iniziare una comunicazione con un utente mobile. In questo caso, la rete trasmette il messaggio di paging contenente l'identificativo dell'utente chiamato su tutte le celle della location area. L'utente risponderà rendendo possibile l'instaurazione della chiamata.

Tale canale è trasportato dal PCH (Paging Channel) a livello di trasporto e dal S-CCPCH (Secondary - Common Control Physical Channel) a livello fisico.

- **CCCH (Common Control Channel):** canale bidirezionale per le informazioni di controllo tra UE e rete.

Tale canale è trasportato dal RACH (Random Access Channel) nell'up-link ovvero dal FACH (Forward Access Channel) nel down-link a livello di trasporto e dal PRACH (Physical Random Access Channel) nell'up-link ovvero S-CCPCH (Secondary - Common Control Physical Channel) nel down-link a livello fisico.

- **DCCH (Dedicated Control Channel):** canale logico bidirezionale per le informazioni di segnalazione e controllo della chiamata. Trasporta il numero di telefono, il tipo di chiamata, le informazioni di autenticazione, le misure da celle adiacenti ed i messaggi di handover, informazioni di gestione quali avvisi di chiamata, utente occupato, conferenza, ecc.

Tale canale è trasportato dal DCH (Dedicated Traffic Channel) a livello di trasporto e dal DPDCH (Dedicated Physical Data Channel) a livello fisico.

Sincronizzazione iniziale nell'UMTS

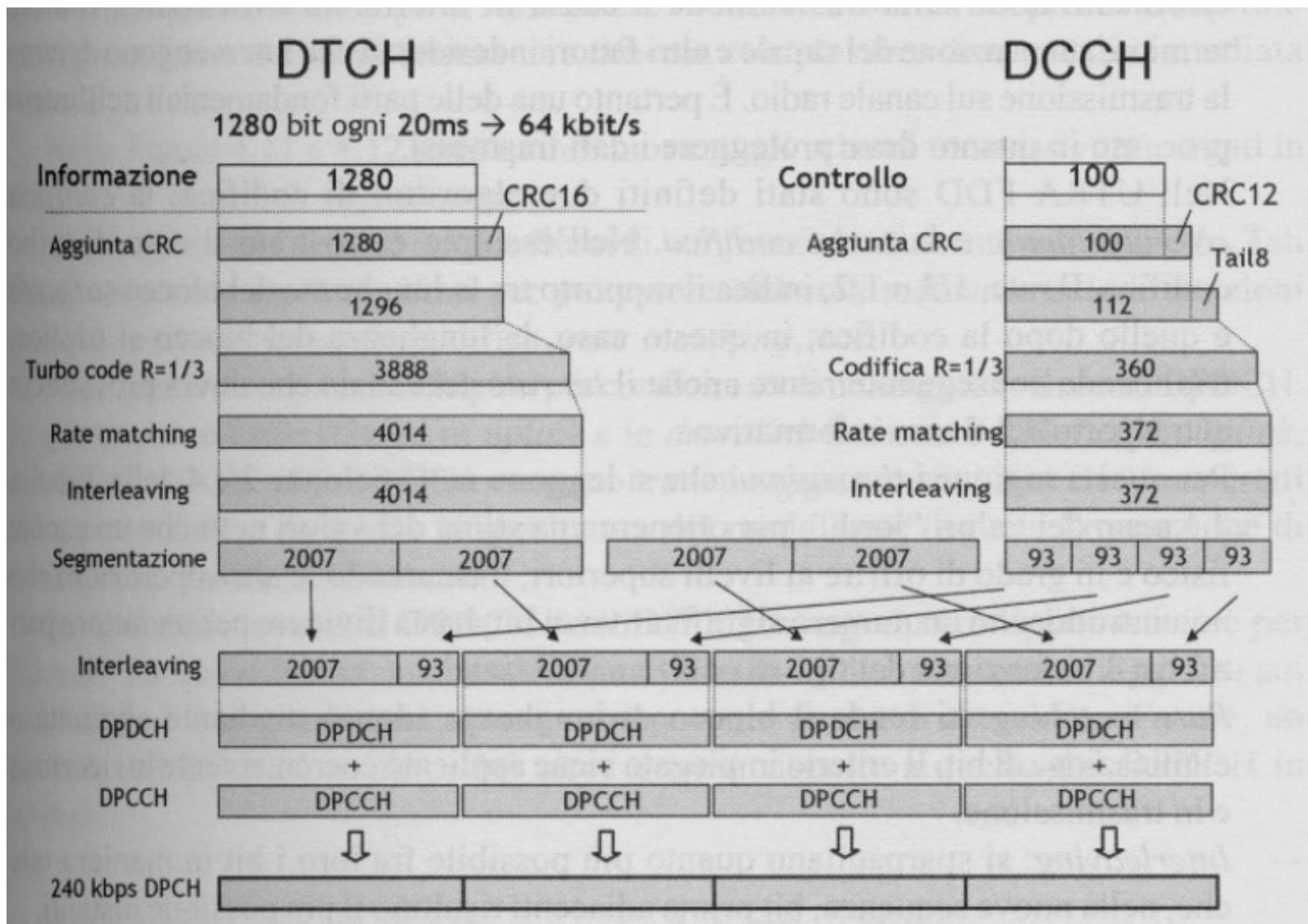
Per effettuare la sincronizzazione con la rete dell'operatore all'accensione del mobile (passando da *idle mode* ad *connected mode*), è necessario individuare le *frequenze* di trasmissione dei canali fisici, il codice di *scrambling* ed il codice di *spreading*.

- P-SCH (Primary Synchronization Channel): rappresenta la *firma (signature)* dell'UMTS. È un codice universalmente noto che viene trasmesso dai Nodi B degli operatori. Il mobile scandisce lo spettro di frequenze alla ricerca del codice P-SCH.
- S-SCH (Secondary Synchronization Channel): il terminale mobile, dopo aver trovato il codice P-SCH, ricerca il codice specifico della cella (S-SCH). L'insieme P-SCH + S-SCH costituisce l'SCH.
- CPICH (Common Pilot Channel): una volta noto l'SCH, è possibile rivelare il CPICH che trasmette “in chiaro” il codice di *scrambling* della cella.
- BCCH (Broadcast Control Channel): note le frequenze usate ed il codice di *scrambling* utilizzato, il mobile può mettersi in ascolto del BCCH (sul canale P-CCPCH: Primary-Common Control Physical Channel) che fornisce finalmente il codice di *spreading* impiegato.

Il mobile effettua ciclicamente ricerche di ulteriori S-SCH e CPICH su celle vicine al fine di trovare delle alternative alla cella corrente da utilizzare in caso di *handover*.

Schema di codifica e data processing

- **DTCH (Dedicated Traffic Channel):** canale bidirezionale dedicato che trasferisce l'informazione di utente, trasportato dal DPCH (Dedicated Physical Data Channel).
- **DCCH (Dedicated Control Channel):** canale logico bidirezionale per le informazioni di segnalazione e controllo della chiamata.



Procedure di accesso

- **Accesso al RACH (Random Access Channel):** viene utilizzato come canale di trasporto in up-link per segnalare alla rete di voler iniziare una chiamata, per rispondere ad un paging o per trasmettere una ridotta quantità di informazioni per servizi dati. La procedura consiste in:
 - 1) richiesta dell'UE sul PRACH (Physical Random Access Channel);
 - 2) risposta del Nodo B sull'AICH (Acquisition Indication Channel);
 - 3) terminazione dell'UE sul PRACH con il messaggio RACH.
- **Settaggio della connessione e controllo della risorsa radio (RRC - Radio Resource Control):** la procedura di setup viene utilizzata ogni volta che è necessario instaurare una connessione radio tra UE e rete. La procedura di RRC Connection Setup consiste in:
 - 1) RRC Connection Request mediante richiesta della UE sul CCCH/RACH (Common Control Channel / Random Access Channel);
 - 2) RRC Connection Setup mediante risposta del Nodo B o RNC sul CCCH/FACH (Common Control Channel / Forward Access Channel);
 - 3) messaggio di terminazione di RRC Connection Setup Complete da parte della UE sul DCCH (Dedicated Control Channel).

Canali di accesso dell'HSDPA e dell'Enhanced Uplink.

La tecnica di miglioramento del bit rate (fino a 14 Mbps nominali) nell'UMTS denominata HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) ha introdotto, per supportare nel down-link i canali logici DTCH (Dedicated Traffic Channel) e DCCH (Dedicated Control Channel), il nuovo canale di trasporto HS-DSCH (High Speed Downlink Shared Channel), che a sua volta poggia sul nuovo canale fisico HS-PDSCH (High Speed Physical Downlink Shared Channel).

Inoltre, le informazioni necessarie alla corretta gestione e decodifica dell'HS-DSCH da parte del mobile sono trasmesse dall'ulteriore canale fisico HS-SCCH (Shared Control Channel for HS-DSCH).

Infine, l'HS-DPCCH (High Speed Dedicated Physical Control Channel) è usato nell'up-link per i riscontri relativi all'HS-DSCH usato in down-link.

Similmente, lo schema dell'Enhanced Uplink prevede (ottenendo bit rates nominali pari a 5,76 Mbps) per i canali logici DCCH e DTCH, il nuovo canale di trasporto E-DCH (Enhanced Dedicated Channel), che a sua volta poggia sul nuovo canale fisico E-DPDCH (E-DCH Dedicated Physical Data Channel).

Inoltre, le informazioni di controllo relative all'E-DCH sono trasmesse dall'ulteriore canale fisico E-DPCCH (E-DCH Dedicated Physical Control Channel).

In aggiunta, ulteriori canali di controllo fisici in down-link (E-AGCH: *E-DCH Absolute Grant Channel*, E-HICH: *E-DCH Relative Grant Channel*, E-RGCH: *E-DCH Hybrid ARQ Indicator Channel*) sono utilizzati.

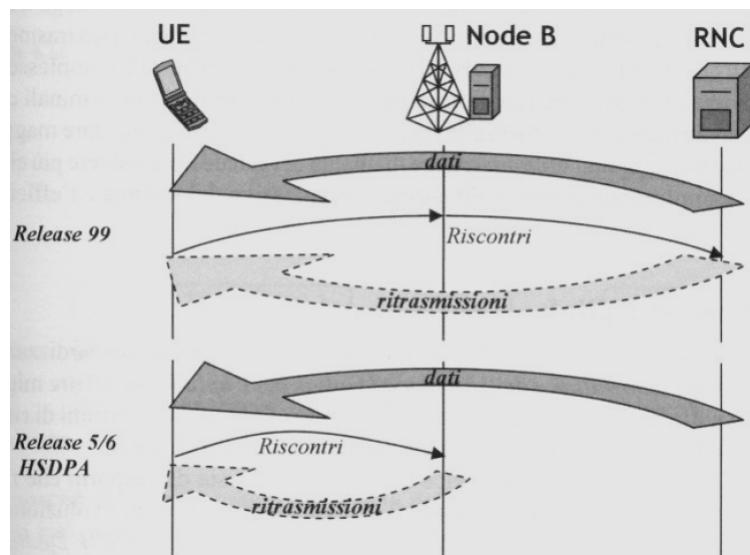
Il metodo MAC di ritrasmissione *Hybrid ARQ*.

Oltre alle miglioramenti apportati ai canali ed alle tecniche di codifica, un sostanziale incremento delle prestazioni è stato possibile grazie al meccanismo di ritrasmissione (in caso di errori) del tipo ARQ (Automatic Repeat reQuest).

In particolare, sono previsti due nuovi strati: il **MAC-hs** (Medium Access Control for HSDPA) ed il **MAC-e** (Medium Access Control for Enhanced Uplink).

Infatti, invece di ritrasmettere i dati a livello dell'RNC (Radio Network Controller), è stato previsto un più rapido meccanismo di ritrasmissione (chiamato *Hybrid ARQ* – Hybrid Automatic Retransmission Query) tra UE e Nodo B.

Il nuovo sistema adatta la ritrasmissione alle condizioni del canale radio, prevedendo la modalità di ritrasmissione dell'intero blocco (*Chase Combining*) oppure della sola parte incrementale (*Incremental Redundancy*) necessaria da aggiungere ai dati (errati) ricevuti per la corretta rivelazione dell'informazione.



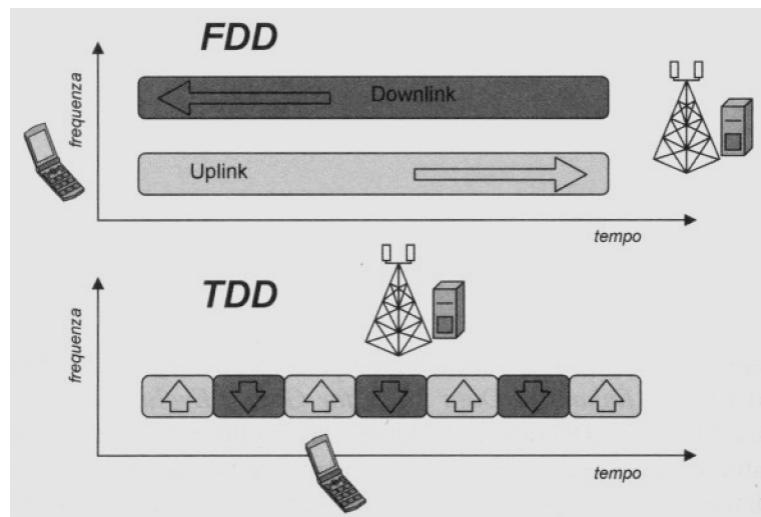
L'accesso radio TDD (*Time Division Duplexing*).

Modalità di trasmissione *Frequency Division Duplexing* (FDD) e *Time Division Duplexing* (TDD):

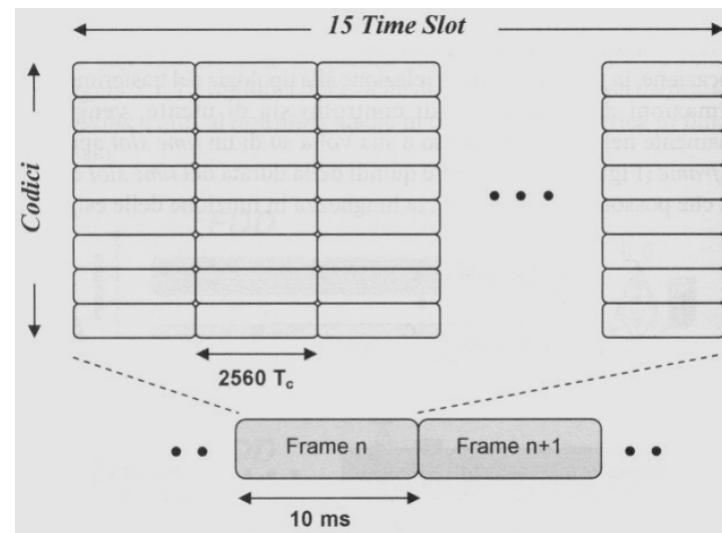
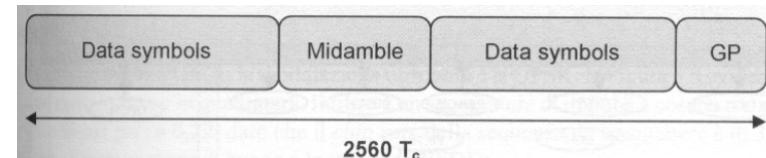
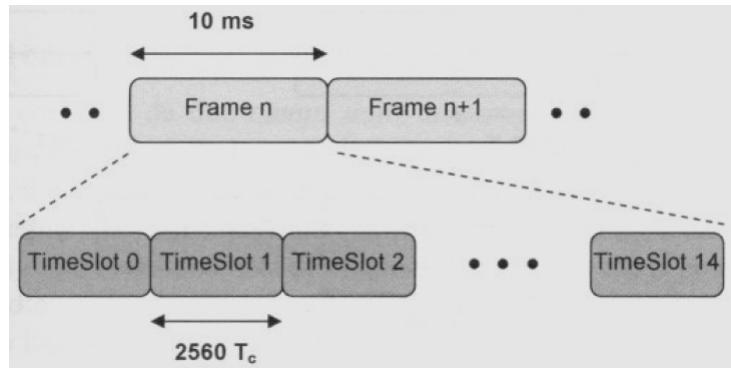
- FDD: separazione dei flussi up-link e down-link in frequenza. Consente la trasmissione di flussi anche in mobilità elevata e in condizioni ostili del canale fisico (collegamenti outdoor, rural and urban vehicular).
- TDD: separazione dei flussi up-link e down-link nel tempo. Consente la trasmissione di flussi anche fortemente asimmetrici ma a basse velocità (collegamenti indoor e pedestrian).

L'algoritmo di assegnazione dei canali (DCA – *Dynamic Channel Allocation*) implementato è in grado di distribuire le risorse dinamicamente limitando l'interferenza e mantenendo la QoS richiesta dai servizi (sia *real time* che *non real time*). La gestione è effettuata sia a livello di codici che di *time slot* da utilizzare.

Nota: è operativa la versione cinese del TDD (TD-SCDMA) a più basso chip rate.



La struttura radio TDD di UMTS.

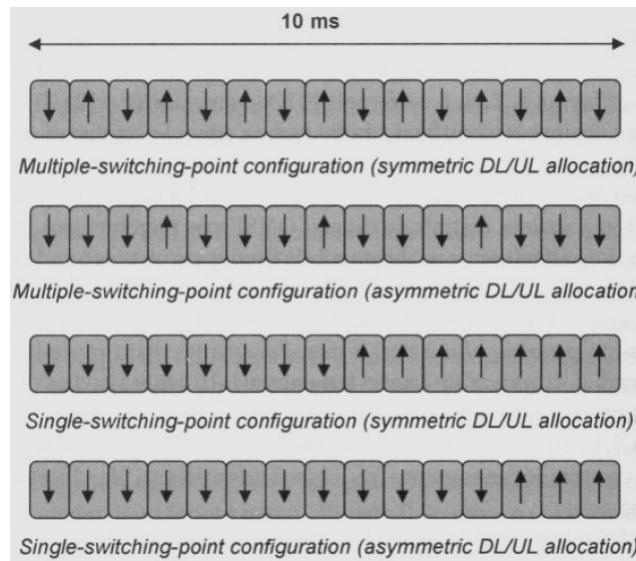


Multiplazione di più canali a differenza di codice (e di tempo).

Canali di trasporto e fisici nel TDD.

I canali sono sostanzialmente gli stessi del FDD. Alcuni aspetti peculiari sono evidenziati di seguito.

- **USCH (Uplink Shared Channel)**: è un canale condiviso in up-link tra diversi mobili per trasportare informazioni di controllo che dati di utente. E' configurato su uno o più PSCH (Physical Uplink Shared Channel) con *spreading factor* variabili tra 1 e 16.
- **DSCH (Downlink Shared Channel)**: è un canale condiviso in down-link analogo al precedente.
- **DCH (Dedicated Transport Channel)**: trasporta sia informazioni di controllo che dati di utente. E' configurato su uno o più DPCH (Dedicated Physical Channel) suddividendo dinamicamente il *frame* in *slots* disponibili per l'up-link o il down-link (vedi esempio sottostante) con *spreading factor* variabili ancora tra 1 e 16.



Gestione della risorsa radio nel TDD.

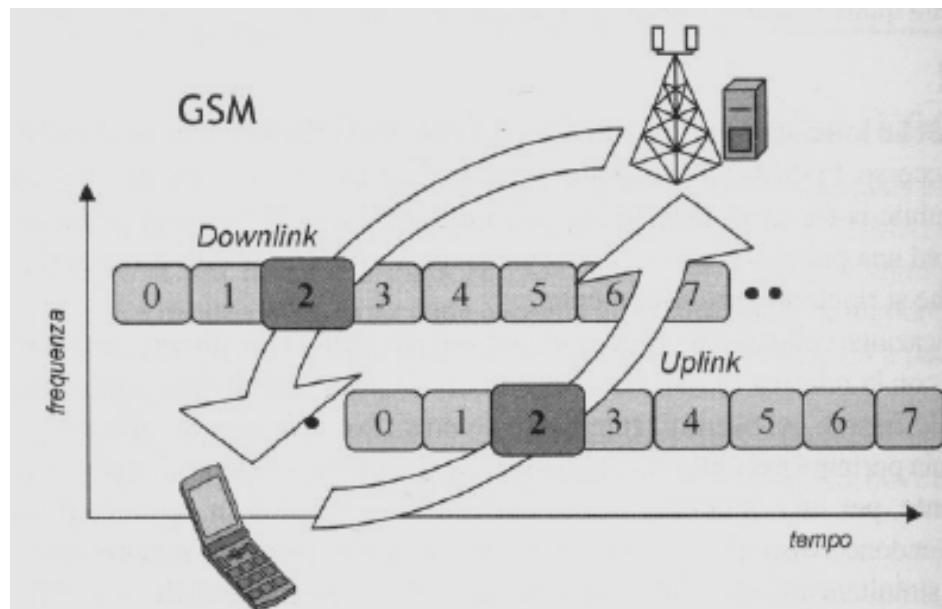
Alcuni aspetti peculiari del TDD rispetto al FDD sono evidenziati di seguito.

- **Power Control:** ha il compito di contenere la potenza dedicata per ogni utente al fine di limitare il consumo di batterie e l'interferenza con altri utenti. La UE conosce la potenza emessa dal Nodo B, misura quella ricevuta dal terminale, determinando così l'attenuazione del segnale sulla tratta. Dato che nel TDD il canale è lo stesso, la UE può determinare la propria potenza da trasmettere sufficiente ad ottenere la potenza desiderata al ricevitore della BS.
- **Timing Advance:** l'allineamento temporale deve avvenire in ricezione. Con il movimento del mobile, può cambiare il ritardo di propagazione. E' perciò necessario anticipare della stessa quantità il segnale emesso in up-link. Il sistema prevede comunque un tempo di guardia (*Guard Period*) per compensare il fenomeno.
- **Handover:** è la procedura che porta il mobile a cambiare cella di connessione mantenendo la continuità del servizio. Mentre l'FDD prevede la possibilità di *soft* e *softer handover* con più celle connesse contemporaneamente, tale eventualità è preclusa nel TDD che prevede solo l'*hard handover*. E' tuttavia possibile eseguire *handover* tra celle con tecnologia differente, es.: FDD od anche GSM.

Il GSM-GPRS: caratteristiche e convergenza verso UMTS (1).

Il Core Network della rete a pacchetto UMTS, costituito da SGSN (Serving GPRS Support Node) e GGSN (Gateway GPRS Support Node), ricalca la struttura della rete GSM a pacchetto nota con l'acronimo GPRS (*General Packet Radio Service*), mentre la rete di accesso si differenzia per la modulazione utilizzata (W-CDMA nell'UMTS, modulazione di frequenza – FSK – ad impulsi gaussiani detta GMSK nel GSM).

La struttura base della trama radio GSM-GPRS è costituita da canali radio (diversi per il downlink e per l'uplink) gestiti con assegnazione a gruppi di utenti (max 8) a diversità di frequenza (FDMA). Ciascun canale radio è poi gestito a diversità di tempo (TDMA) con assegnazione a ciascun utente di uno o più time slot tra gli 8 time slots disponibili per canale.



Il GSM-GPRS: caratteristiche e convergenza verso UMTS (2).

Nel GPRS, l'elemento PCU (Packet Control Unit) situato nel BSC (Base Station Control) si occupa di instradare e gestire il traffico a pacchetto da e verso l'SGSN. Un terminale che deve scambiare dati chiede al Core Network l'instaurazione di una connessione virtuale IP, con la quale può sia accedere ad internet che alla rete desiderata; al termine della procedura, al mobile viene assegnato un indirizzo IP.

Il mobile GSM-GPRS impegna la risorsa radio solo quando scarica o invia dati, con assegnazioni dinamiche dei TBF (Temporary Block Flow) costituiti da uno o più *time slots*. In pratica, il numero massimo di time slots assegnati ad un utente è 4 in DL e 2 in UL. Nel GSM, è inoltre prevista la possibilità di assegnare anche solo $\frac{1}{2}$ time slot ad un utente per supportare traffici dati assai modesti.

Nel GSM la velocità massima è di 12.2 kbit/s per ciascun time slot. La velocità massima del GPRS arriva a 21,4 kbit/s per time slot. Il bit rate massimo si incrementa di conseguenza con l'utilizzo di più *time slots* in contemporanea. Nell'up-link, un meccanismo di risoluzione di contesa è implementato per evitare che più utenti impegnino la stessa risorsa radio.

La mobilità prevede la possibilità di cambiare cella di connessione (*Cell Reselection*) mediante un comando della rete in base alle misure comunicate dal terminale oppure direttamente a richiesta del terminale stesso. Il GPRS è ovviamente pienamente compatibile con UMTS ai fini dell'handover.

L'EDGE: miglioramento del GSM/GPRS.

L'EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution) è un ulteriore miglioramento della tecnica GPRS della rete GSM di 2.5 generazione.

Mentre il Core Network è ancora simile al GPRS, la rete di accesso si differenzia per la più efficiente modulazione utilizzata (modulazione di fase a più livelli – 8-PSK: tre bits per simbolo trasportati invece che 1 bit per simbolo del GPRS). Tuttavia, la modulazione è meno robusta alle condizioni propagative radio e, soprattutto alle loro variazioni dinamiche. Pertanto la rete EDGE dovrà decidere e modificare dinamicamente quale codifica e modulazione utilizzare in funzione delle condizioni istantanee del canale radio per irrobustire opportunamente (e rallentare) il flusso dati.

Il sistema EDGE del sistema GSM/GPRS, oltre ad impiegare il tradizionale meccanismo di ritrasmissione dei pacchetti errati (del tipo ARQ), consente di adottare l'algoritmo più efficiente della *Incremental Redundancy* che si ritrova anche nello standard UMTS: si trasmette dapprima con un certo *coding rate*, per poi inviare ridondanza aggiuntiva qualora i blocchi non siano stati ricevuti correttamente.

La velocità massima dell'EDGE arriva a 59,2 kbit/s per *time slot*. EDGE è pienamente integrata con GPRS. Addirittura, flussi diversamente codificati (es. GPRS ed EDGE) possono coesistere all'interno della stessa trama radio. La rete di accesso è oggi progettata con ottica unitaria ed è denominata GERAN (GSM/EDGE Radio Access Network). Anche l'EDGE è ovviamente compatibile con UMTS ai fini dell'handover (servizi voce+pacchetto, con esclusione della videochiamata a circuito).

Propagazione radio delle onde elettromagnetiche.

Lunghezza d'onda: $\lambda = c / f$

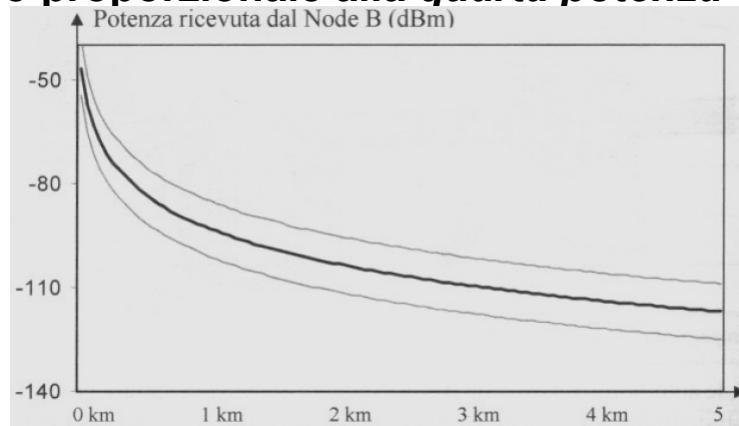
($c = 3 \cdot 10^8$ m/s;

**f: frequenza dell'onda EM,
circa 2 GHz in UMTS)**

Frequenza f (Hz)	Lunghezza d'onda λ
100	3000 km
100.000	3 km
100.000.000	3 m
900.000.000 (freq. del GSM)	33 cm
1.800.000.000 (freq. del GSM)	Circa 17 cm
2.100.000.000 (freq. dell'UMTS)	Circa 14 cm

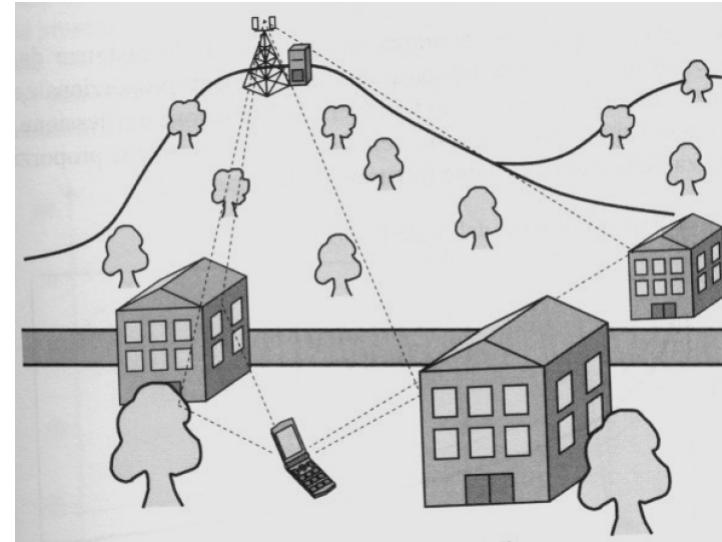
Fenomeno dell'attenuazione dell'onda radio: aumenta con la distanza.

- E' più pronunciato al crescere della frequenza centrale f .
- Nello spazio libero proporzionale al quadrato della distanza.
- In ambiente urbano proporzionale alla quarta potenza della distanza (vedi figura).

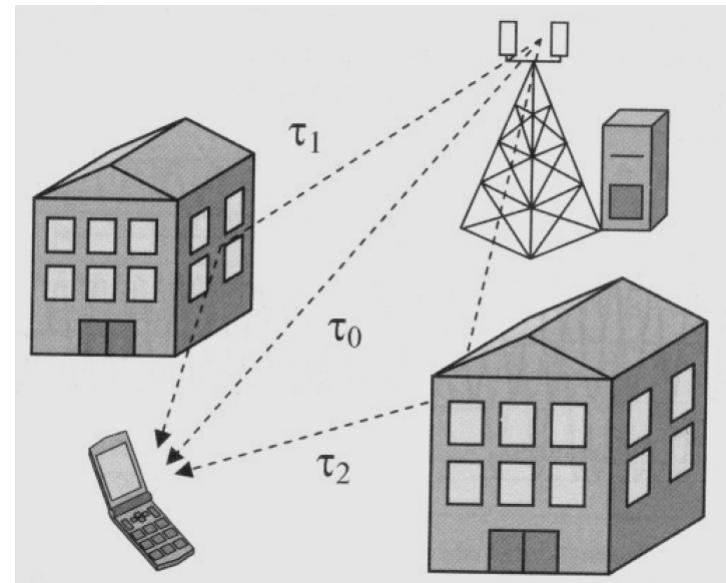


Propagazione radio: il *multi-path*.

Fenomeno del *multi-path*:
percorso diretto (eventuale)
+ percorsi riflessi
(fenomeno rilevante soprattutto
in ambiente urbano).



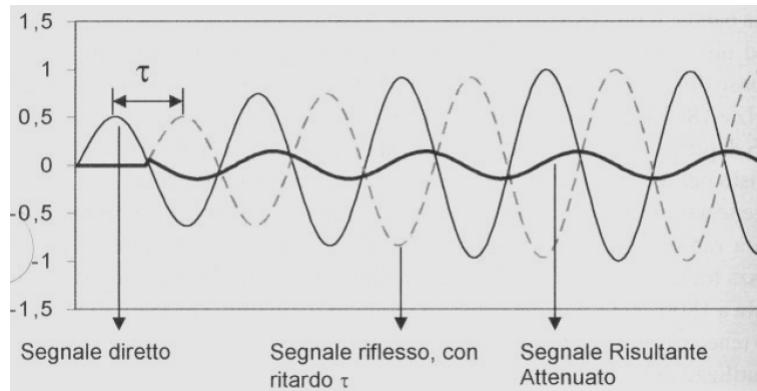
La risposta del canale radio dipende dagli ritardi (sfasamenti dell'onda) e dalle attenuazioni *casuali* dei singoli percorsi.



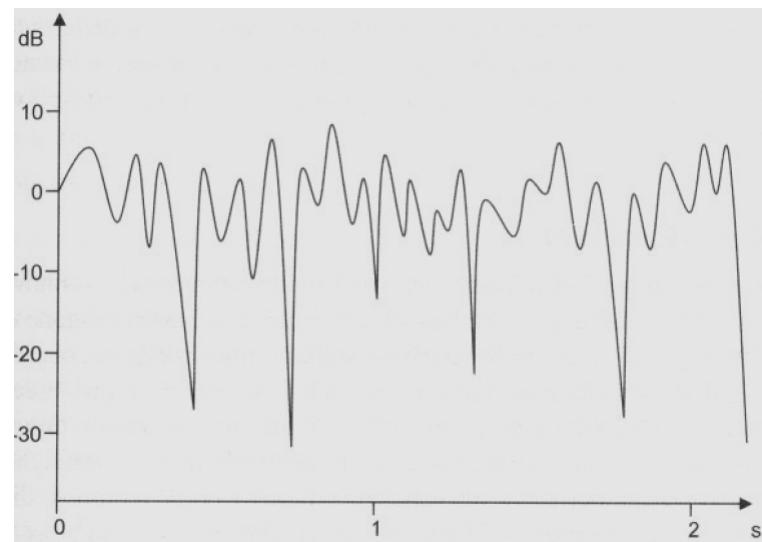
Propagazione radio: il *fading*.

Essendo il terminale *mobile*, ritardi ed attenuazioni dei vari percorsi (e la geometria dei percorsi stessi) variano in modo casuale.

Ciò produce il fenomeno aleatorio del *fading* (affievolimento) dovuto alla somma algebrica di un'onda e di una o più repliche ritardate (echi).

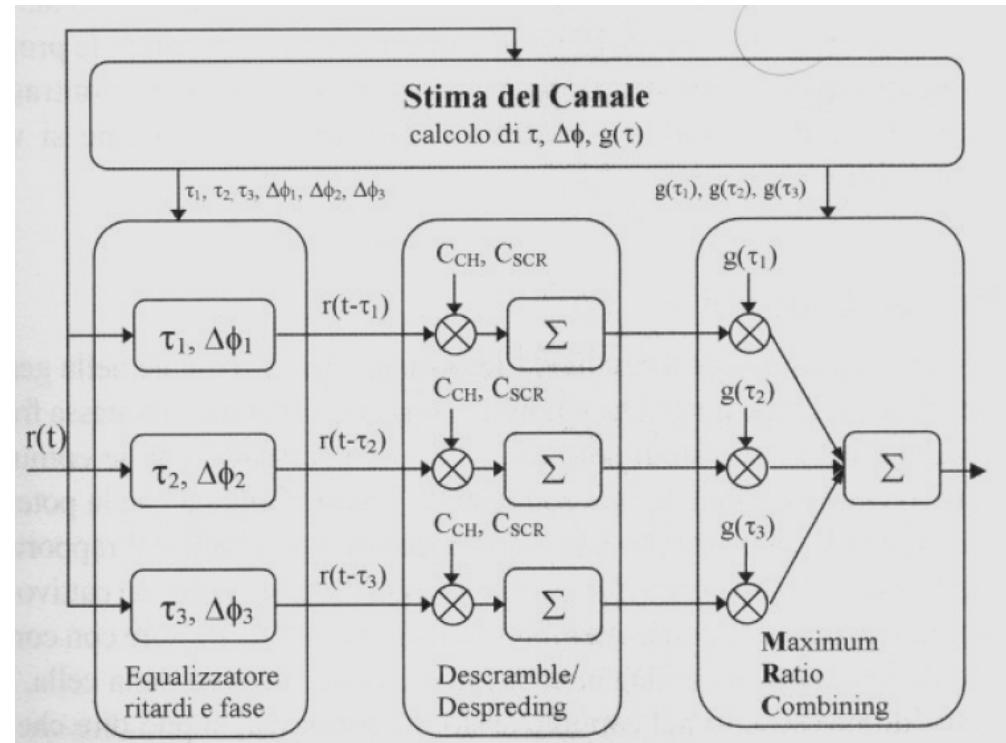
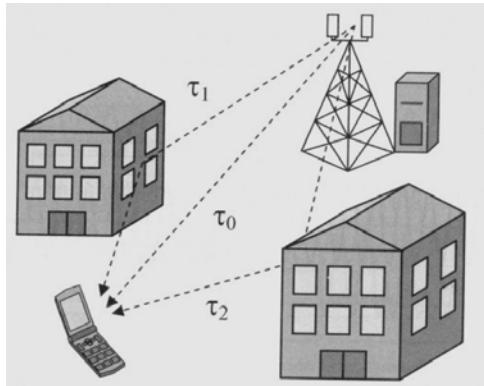


- ***fading lento:*** variazione lenta del segnale dovuta a grossi ostacoli (colline, grossi edifici);
- ***fading veloce:*** variazione rapida del segnale dovuta a superfici riflettenti (fading di Rayleigh).



Il Rake Receiver.

Per contrastare il fenomeno del multi-path in ricezione, è possibile utilizzare un ricevitore a *rastrello* (*Rake Receiver*).



Lo schema combina coerentemente ed in maniera ottimale (in base alla *stima adattativa* del canale radio) gli echi ritardati del segnale per aumentare le prestazioni del ricevitore (minore probabilità di errore). Ogni ramo (*finger*) è un ricevitore W-CDMA, tarato sul ritardo dell'eco stimato, che effettua le operazioni di *de-spreading* e *de-scrambling* utilizzando i relativi codici C_{CH} e C_{SCR} rispettivamente. I pesi dei *fingers* consentono di implementare anche il ricevitore nei casi di *Soft/Softer Handover*, potendo utilizzare i diversi codici dei nodi B collegati.

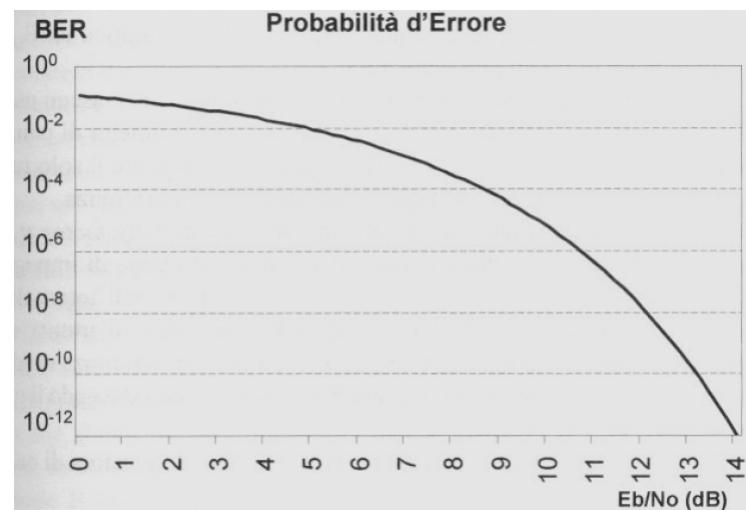
Capacità del sistema cellulare W-CDMA.

La capacità di un sistema cellulare, in termini di *bit rate supportabile*, dipende da:

- banda di frequenza assegnata al servizio, che determina il symbol rate fisico;
- codifica multi-livello utilizzata, funzione delle condizioni del canale radio;
- potenza di segnale utile (dipende dalla distanza MS-BS) rispetto al rumore (SNR);
- bontà del canale radio, che può determinare effetti di riverberazione (multi-path);
- velocità del mobile, che può determinare de-sincronizzazione (effetto Doppler);
- numero delle sorgenti di informazione attive, che possono aumentare l'interferenza;
- numero di codici disponibili, che dipendono dalla occupazione della risorsa radio.

Limiti alla capacità del sistema cellulare W-CDMA.

Le prestazioni in termini di probabilità di errore sui bit ricevuti (Bit Error Rate - BER) dipendono dal rapporto tra l'energia utilizzata per bit informativo ed energia di *rumore+interferenza*. Dovendo fissare la probabilità di errore per garantire qualità al servizio (esempio: $\text{BER}=10^{-3}$), questo determina sia la potenza di segnale utile necessaria al ricevitore che il numero di utenti interferenti sopportabili dal sistema.



Occorre pertanto operare sui mobili con un controllo della potenza emessa:

- ridurre le emissioni in up-link dei terminali vicini alla BS perché possono interferire con quelli lontani (*near-far effect*);
- aumentare le emissioni dei mobili se il canale radio mostra un degradamento; questo porta ad una diminuzione dell'area effettiva di copertura della cella (*cell breathing*) per il maggiore effetto di interferenza tra apparati mobili.

Il controllo della potenza in down-link è assai meno problematico poiché la BS determina la potenza necessaria da spedire ad ogni mobile senza limitazioni (a parte quelle dovute alle Leggi sulle emissioni EM) né di alimentazione elettrica, né di potenza di elaborazione, oltre a poter trasmettere in maniera rigorosamente sincrona e quindi ortogonale i flussi dati ai vari utenti collegati.

Controllo del carico nel sistema cellulare W-CDMA.

I criteri di limitazione e gestione della potenza emessa dai terminali implicano una limitazione del carico di cella.

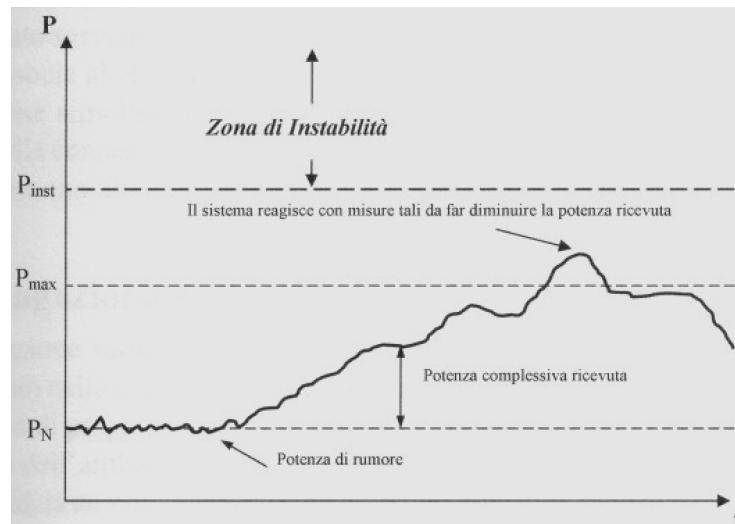
In UMTS, l'RNC (*Radio Network Controller*) effettua una politica di *Controllo della Congestione (Load Control)* basata su controlli periodici sullo stato di carico di ogni cella.

I controlli devono anche tener conto della tipologia di traffico (*real time* oppure *background*), favorendo le più stringenti richieste dei servizi *real time*.

Per i più flessibili servizi *non real time* è possibile prevedere riduzioni dinamiche della velocità di flusso dati, facilmente implementabili nelle connessioni a pacchetto, mentre i servizi *real time* richiederebbero transcodifica del contenuto per ridurre il *bit rate*.

In caso di *overloading*, il sistema può anche intraprendere riduzioni del carico mediante handover verso altre celle UMTS o addirittura verso la rete GSM.

Come ultima evenienza, alcune connessioni (non prioritarie) possono essere abbattute.

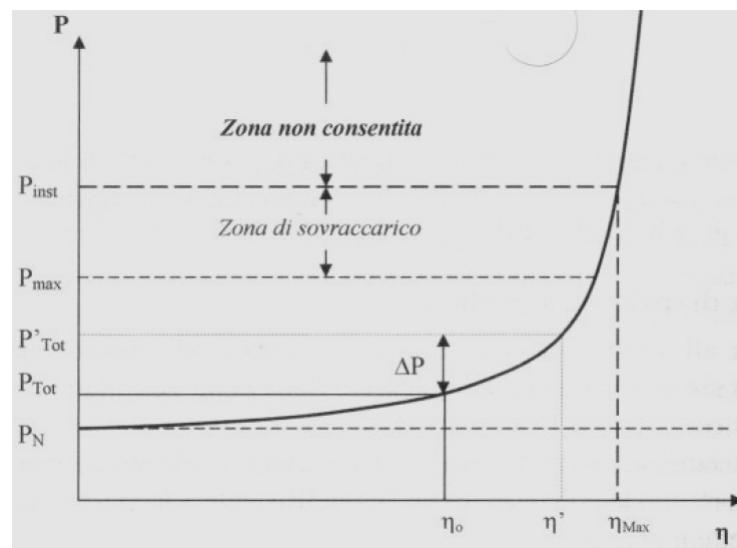


Limiti al carico e Controllo degli Accessi nel sistema cellulare W-CDMA.

In pratica, il *fattore di carico* η , pari al rapporto tra la potenza globale emessa e quella massima sopportabile dal sistema, determina il numero massimo di utenti allocabili dalla risorsa cellulare.

Pertanto, algoritmi di *Admission Control* effettuano una previsione della maggiorazione del carico dovuta all'eventuale accoglimento di una nuova richiesta di connessione. Gli algoritmi verificano che l'allocazione di un canale o la modifica della capacità di un canale esistente non portino la cella oltre il limite fissato in fase di pianificazione (zona di sovraccarico) sia in up-link che in down-link.

In caso di rifiuto dell'*Admission Controller* alla richiesta di connessione, viene inviata una segnalazione di *failure* al *Core Network* che provvederà (se non vi sono altre celle disponibili) a notificarla al terminale affinché possa iniziare una negoziazione di modifica al servizio.

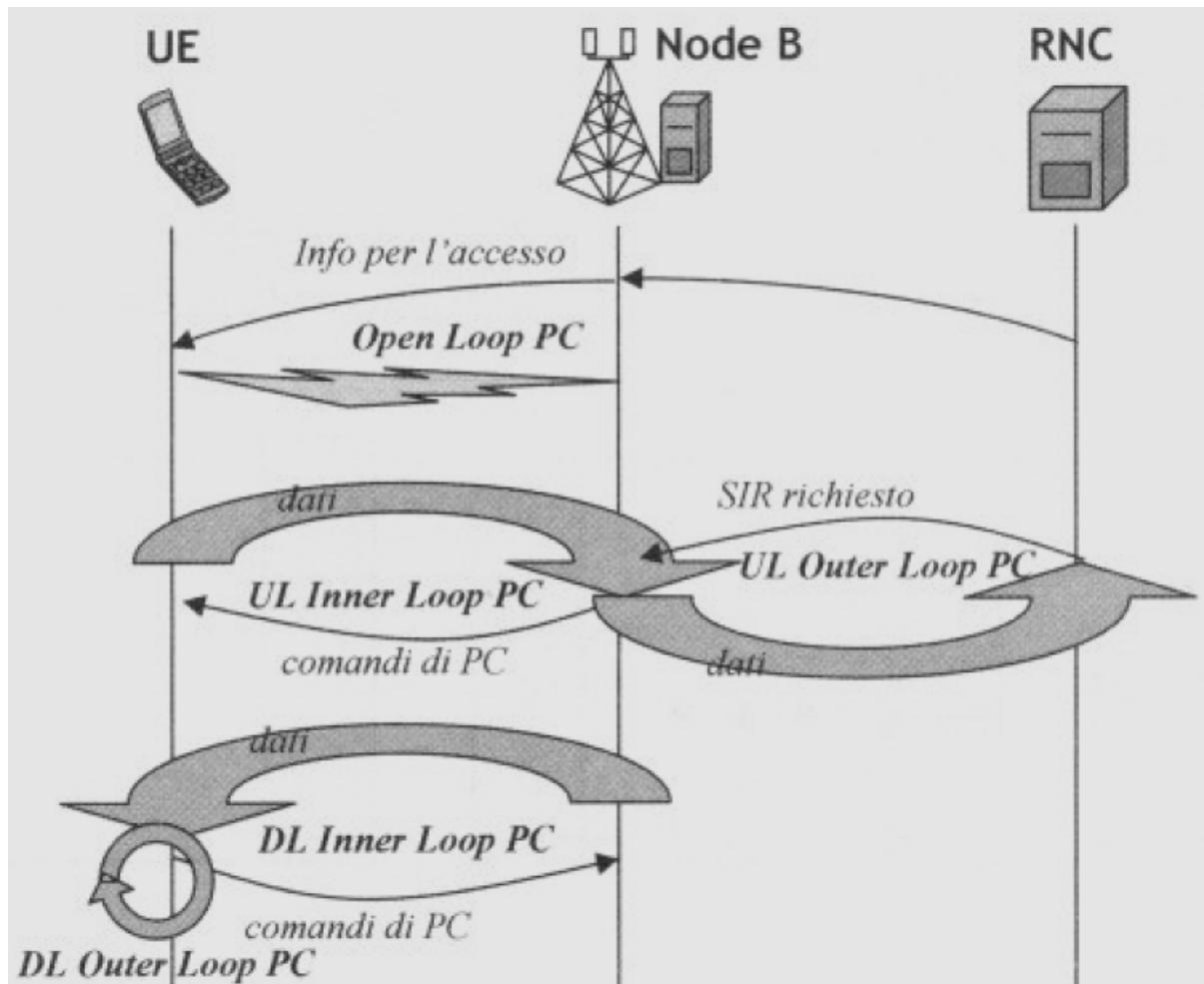


Il Power Control.

Il **controllo di potenza (Power Control)** nel W-CDMA è di fondamentale importanza: occorre infatti che i vari codici siano trasportati da segnali radio con la *minima potenza possibile* da garantire il *rapporto segnale/interferenza (SIR)* richiesto, sia in down-link che in up-link, in modo da interferire il meno possibile tra loro.

Il **Power Control** implementato nell'UMTS è di tre tipi:

- **Open Loop Power Control;**
- **Inner Loop Power Control;**
- **Outer Loop Power Control.**

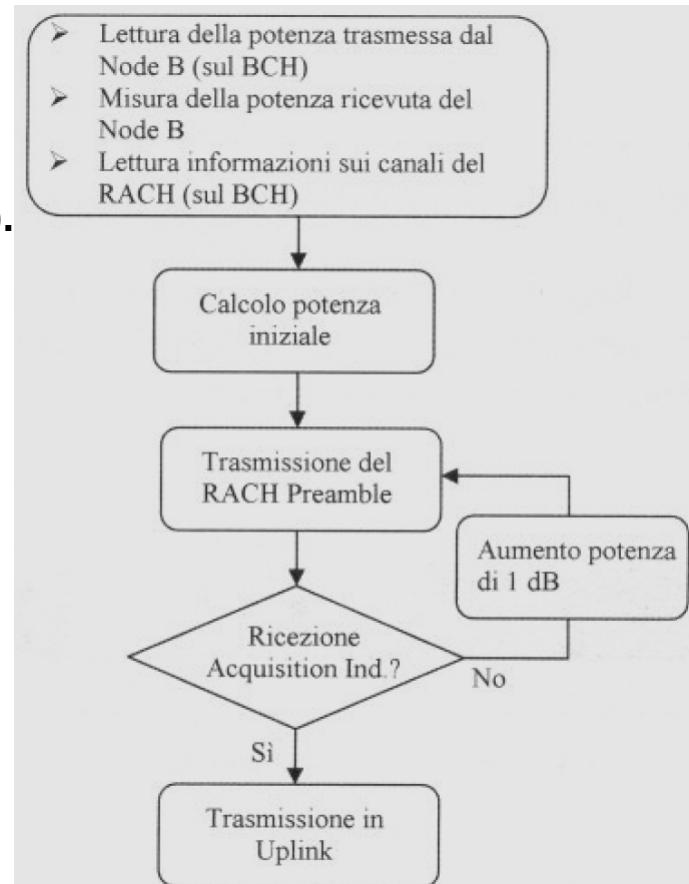
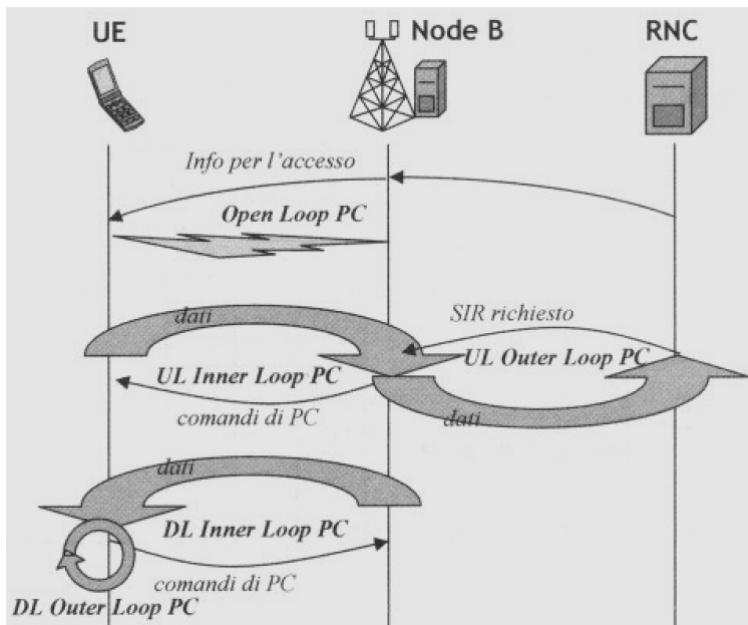


L' Open Loop Power Control.

Il **controllo di potenza ad anello aperto (Open Loop Power Control)** è localizzato nella UE e determina la potenza nella fase iniziale della chiamata.
 La potenza emessa parte da un minimo e si accresce finché non è ricevuto un acknowledge inviato dalla rete sul canale AICH (Acquisition Indication Channel).

Il mobile riceve le **system information** (sincronismo, posizione del RACH - Random Access Channel -, scrambling code per l'accesso, rapporto SIR richiesto in up-link) attraverso il BCH (Broadcast Channel).

Per stimare l'attenuazione del canale, il mobile ascolta il segnale del CPICH (Common Pilot Channel), ne misura la potenza ricevuta e la confronta con la potenza emessa (nota dal BCH).

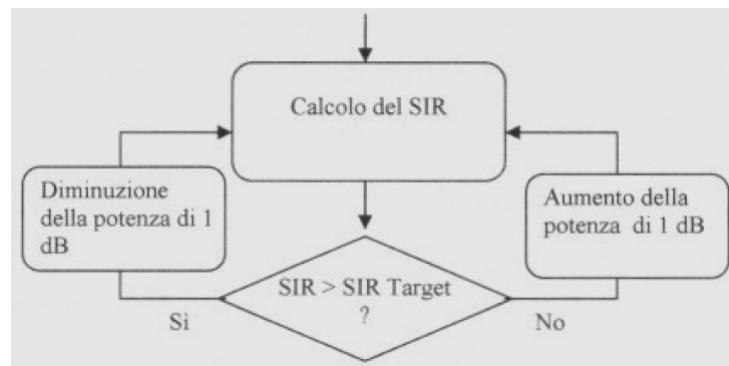
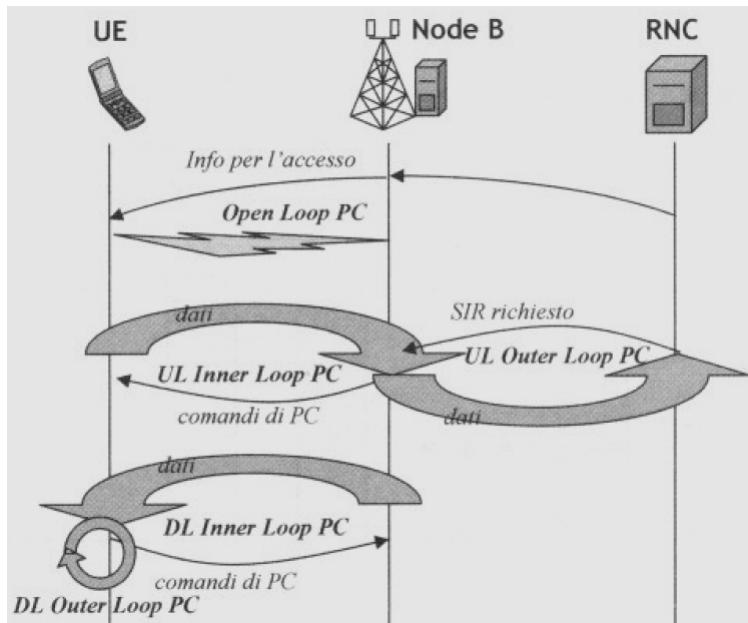


L' Inner Loop Power Control.

Il **controllo di potenza ad anello interno o chiuso (Inner Loop Power Control)** detto anche **Closed Loop Power Control**) è presente sia nella UE che nel Nodo B e viene eseguito durante la comunicazione per ciascun *time slot* (1500 volte al secondo !).

Il valore iniziale di potenza emessa sul DPCCH (Dedicated Physical Control Channel) dall'UE in up-link è determinato dall'uscita dell'Open Loop Power Control. L'algoritmo di *Up-Link Inner Loop Power Control* aumenta o diminuisce la potenza emessa dal mobile al fine di raggiungere il livello desiderato (*SIR target*), riportando il SIR corrente al *SIR target* calcolato dall'*Outer Loop Power Control*.

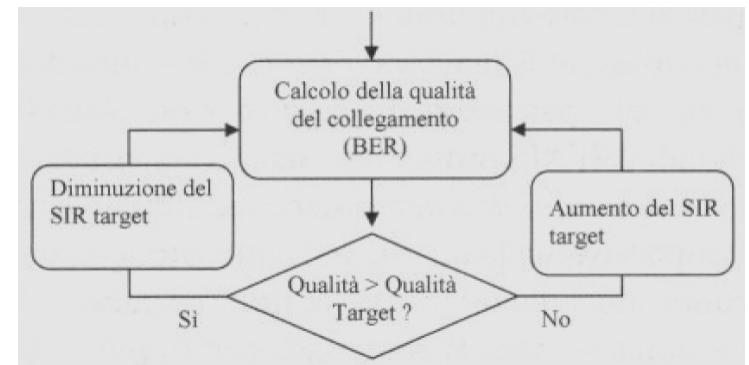
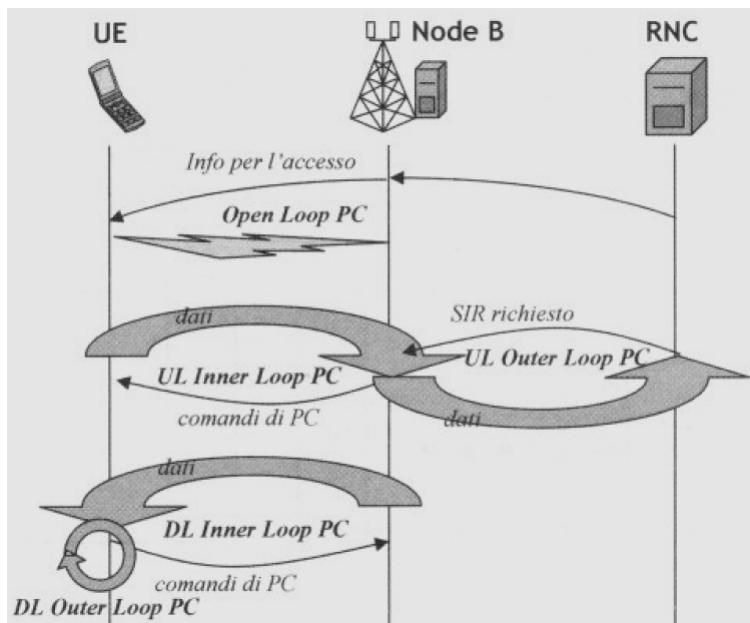
Parallelamente, nel *Down-Link Inner Loop Power Control* è l'UE che trasmette i comandi del controllo di potenza al Nodo B in base alle misurazioni effettuate sulla connessione radio in down-link.



L' Outer Loop Power Control.

Nel **controllo di potenza ad anello esterno (Outer Loop Power Control)** per la tratta in up-link, il Serving RNC (Radio Network Controller) fornisce al Nodo B il SIR target da utilizzare nell'**Up-Link Inner Loop Power Control**, tarato in modo rispettare il BLER (Block Error Ratio) richiesto dalla qualità di servizio della connessione in up-link.

Esiste anche un **Outer Loop Power Control** per la tratta in down-link, situato nella UE, che determina la potenza di target da fornire al **Down-Link Inner Loop Power Control** sulla base di parametri trasmessi dalla rete.



L' Handover.

L'*handover* è la procedura che dà continuità al servizio in mobilità. Infatti, quando l'UE si sposta verso il confine della cella servente entrando in un'area coperta da un'altra cella, la rete deve attivare un nuovo collegamento radio del mobile con la nuova cella di copertura *senza interrompere il servizio*.

Oltre che per spostamento fisico del mobile, la rete (in particolare l'RNC - Radio Network Controller) può trasferire il collegamento del mobile verso celle di diversa frequenza (*inter-frequency handover*) dello stesso sistema (*intra-system handover*) che operano nella stessa zona o zone limitrofe, o addirittura verso celle di differenti sistemi, es. GSM (*inter-system handover*). Ciò avviene anche per motivi di traffico (sovraffollamento), gestione (liberare le risorse in presenza di utenti che richiedono servizi ad alto bit rate).

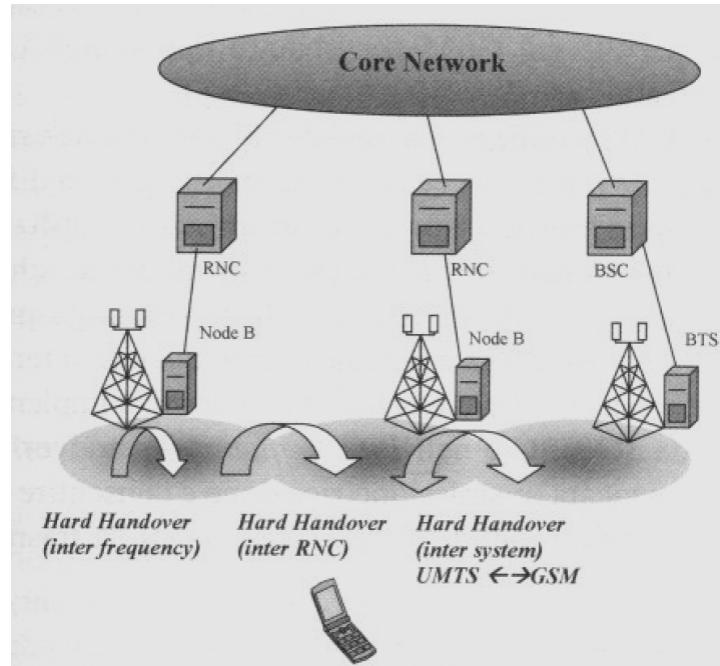
Gli handover possono essere di tipo:

- ***hard handover***: brusca commutazione tra due celle serventi;
- ***soft handover***: acquisizione della nuova cella di connessione appartenente ad un altro Nodo B senza rilascio della cella di provenienza;
- ***softer handover***: acquisizione della nuova cella di connessione appartenente allo stesso Nodo B senza rilascio della cella di provenienza.

L' Hard Handover.

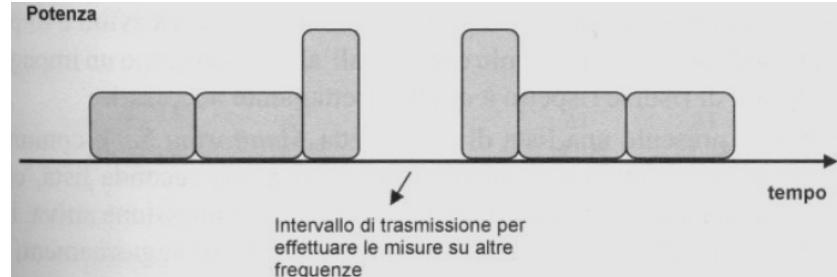
L'*hard handover* consiste nel *brusco* passaggio tra celle della stessa o di diversa tecnologia.

Dal momento che l'UMTS utilizza una modalità di trasmissione continua, il mobile deve interrompere la trasmissione (e la ricezione) del flusso dati per poter effettuare misure su celle candidate all'*handover*.



E' pertanto necessario creare degli intervalli di tempo liberi da trasmissione per tale scopo mediante compressione dei dati (*Compressed Mode*).

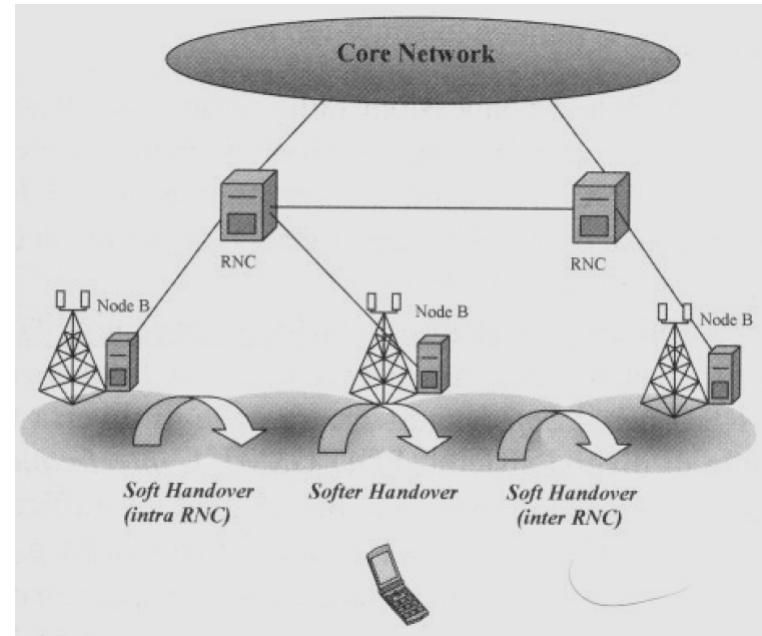
Il *Compressed Mode* si traduce in un aumento del bit rate effettivo e, conseguentemente, della potenza emessa (per garantire il mantenimento delle prestazioni)



Il Soft ed il Softer Handover.

Il soft ed il softer handover consiste nel graduale passaggio tra celle UMTS appartenenti ad un diverso o allo stesso Nodo B, rispettivamente.

In pratica, è sfruttata la *macro-diversità* spaziale per poter meglio combinare il segnale in ricezione tra due diverse stazioni radio base.



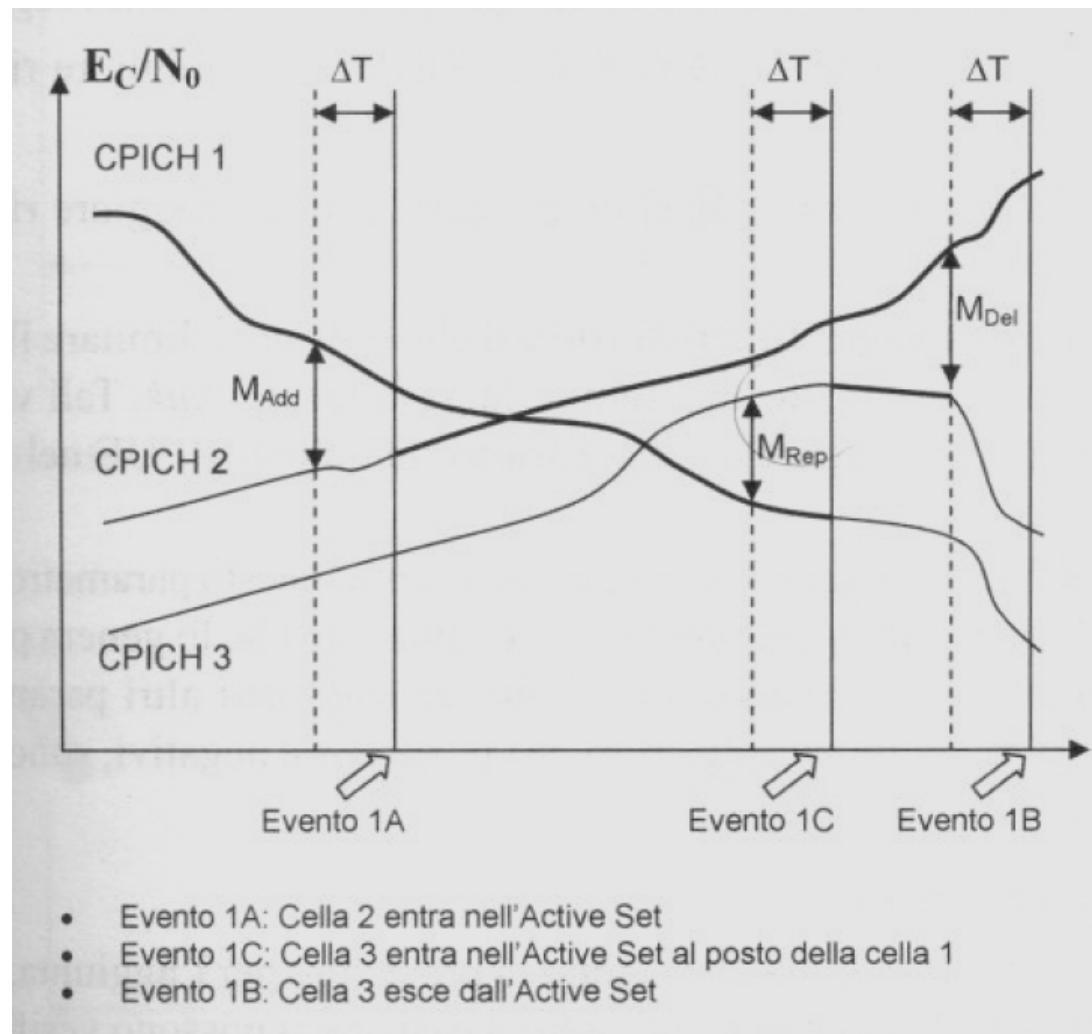
Nel caso **soft**, deve esistere un collegamento (lur) tra gli RNC coinvolti, mentre nel caso **softer**, l'elaborazione è svolta nel Nodo B comune.

Inoltre, nel caso **soft** in *up-link* deve essere implementato un algoritmo logico di combinazione dei dati ricevuti dai due Nodi B, mentre nel caso **soft** in *down-link* e nel caso **softer** (in *up-link* e *down-link*), la ricezione più efficiente del segnale può avvenire già a livello fisico (mediante il *Rake Receiver* con *fingers* spazio-temporali) nel processore del mobile stesso o del Nodo B comune.

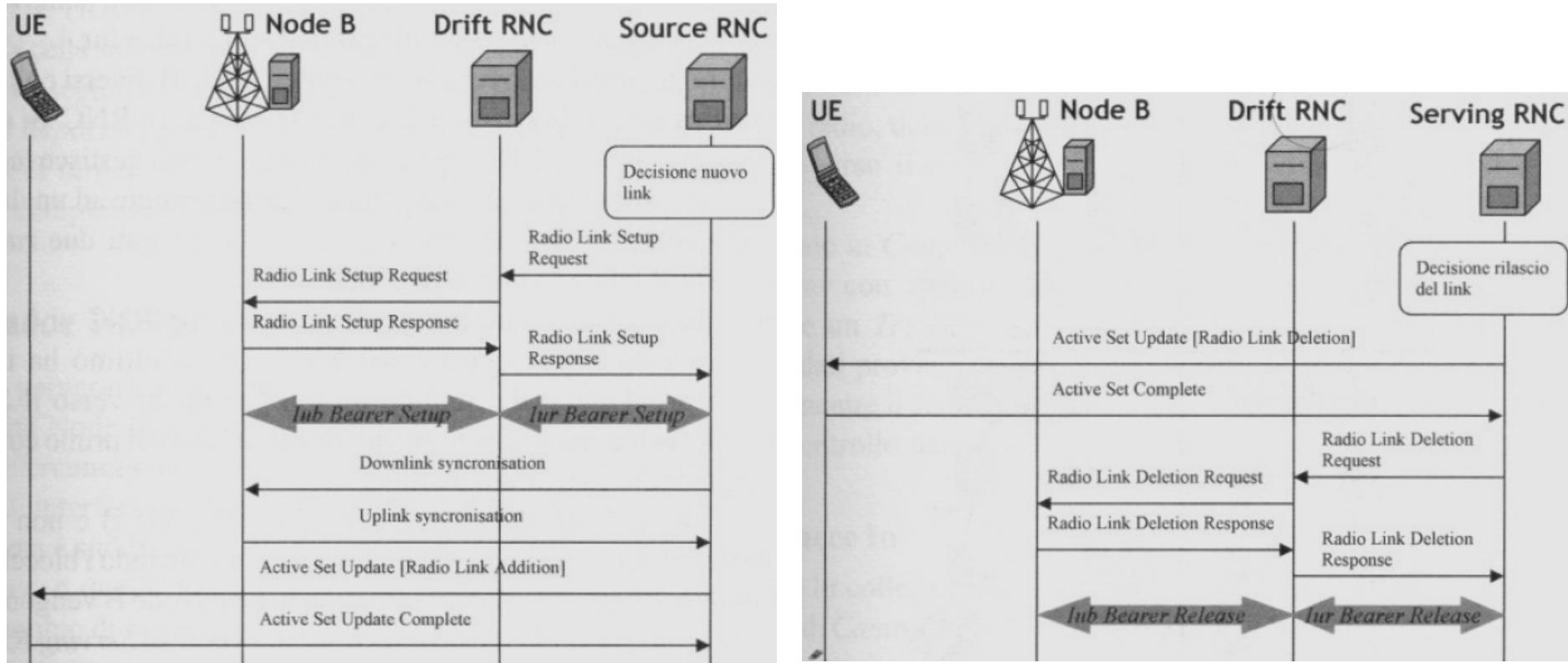
Gestione del Soft e del Softer Handover.

La gestione del *soft* e del *softer handover* prevede il monitoraggio di un certo numero di celle (*Monitoring Set*) candidate all'handover, tra le quali è scelto l'insieme delle celle in collegamento attivo con il mobile (*Active Set*).

Occorre pertanto implementare procedure dinamiche di *Active Set Update*, basate su azioni di *Radio Link Addition*, *Radio Link Removal* e *Radio Link Addition and Removal*, basate sulla qualità della possibile connessione, misurata dal rapporto segnale/rumore+interferenza del CPICH (Common Pilot Channel) e confrontata per un tempo fissato (*time to trigger*) con soglie opportune.



Gestione dei collegamenti radio nel *Soft e Softer Handover.*



Le azioni di **Radio Link Addition**, **Radio Link Removal** e **Radio Link Addition and Removal** sono gestite dai due RNC (Radio Network Controller) nel caso di soft handover con procedure di seguito esplicitate.

Gestione delle interfacce Iu nel Soft e Softer Handover.

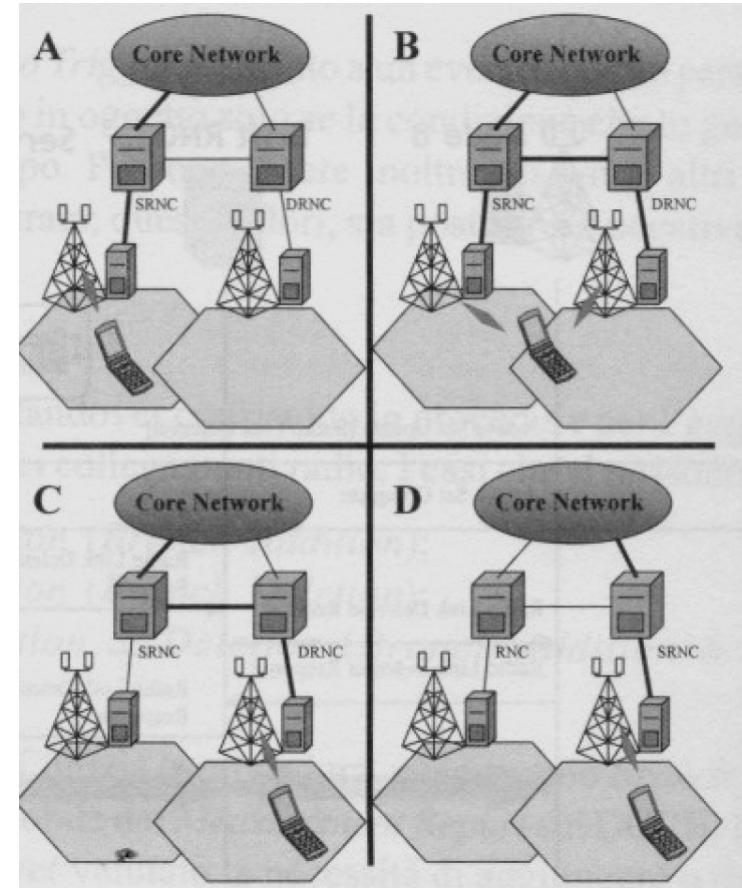
Le interfacce *Iub*, *Iur* ed *Iu* (quest'ultimo suddiviso in *IuCS* a circuito e *IuPS* a pacchetto) collegano rispettivamente Nodo B ed RNC, RNC ed RNC, RNC e Core Network.

L'architettura protocollare è sviluppata per poggiare su ATM o IP (più di recente).

In ogni caso, l'*User Plane* svolge il ruolo di trasferimento dati, mentre il *Control Plane* si occupa della parte di segnalazione e controllo.

Dei due RNC, uno (il *Serving RNC*) svolge la funzione di comando sul secondo (il *Drift RNC*), fino a rilasciarla nel caso la relativa cella esca dall'*Active Set*.

E' infatti il *Serving RNC* a ricombinare i due flussi dati per migliorare le prestazioni di ricezione.

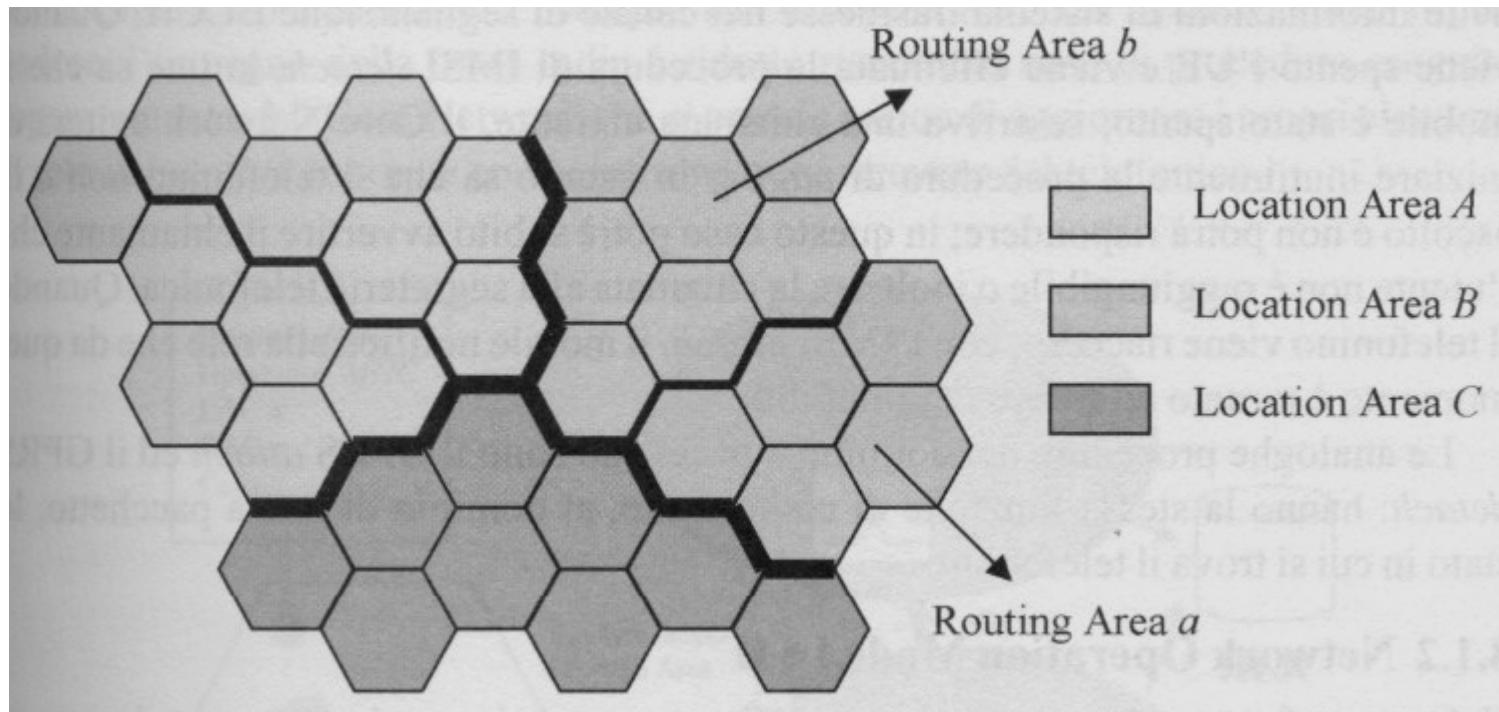


Gestione della mobilità cellulare.

Quando il terminale UMTS è in *idle mode*, è normalmente “accampato” sotto una cella della rete del proprio operatore (*home*), solitamente quella dove il segnale è meglio ricevuto (in termini di maggior potenza e di minor affollamento di utenti).

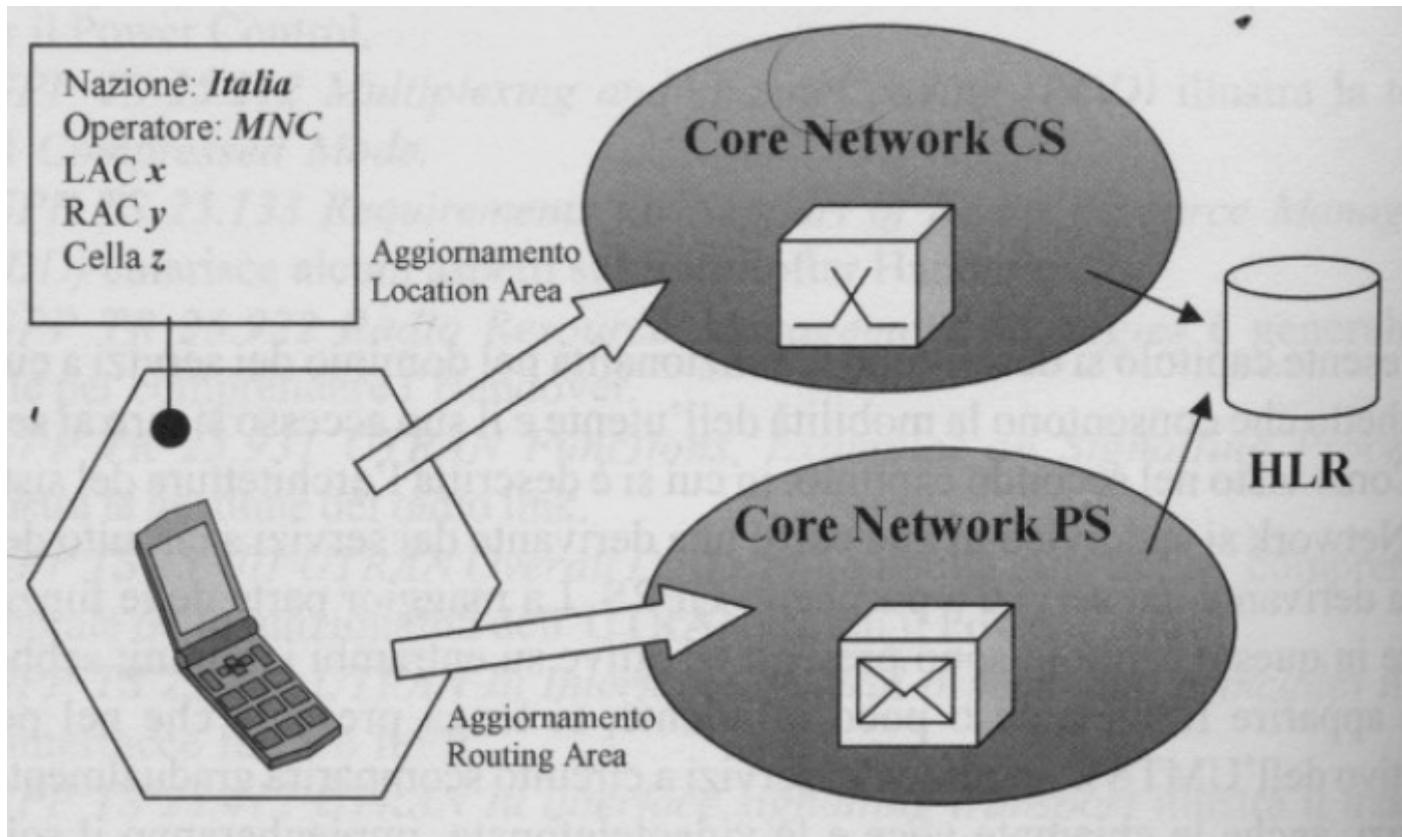
Per garantire la mobilità dell’utente, la rete deve tenere traccia della sua posizione. Pertanto, il terminale deve registrarsi tutte le volte che cambia *routing* e *location area*, note dall’ascolto del canale di segnalazione BCCH (Broadcast Control Channel) di ciascun Nodo B.

In particolare, più celle formano una *routing area* (utilizzata nella *rete a pacchetto*), più *routing areas* formano una *location area* (adoperata dalla *rete a circuito*).



Procedure per la gestione della mobilità.

A tale scopo, il terminale invia all'MSC/VLR (Mobile Switching Centre / Visitor Location Register) la *location area* ed all'SGSN (Serving GPRS Support Node) la *routing area* della propria cella, mediante procedure di *location area update* e *routing area update*, ripetute periodicamente.



Procedure di registrazione iniziale e di paging.

Per segnalare la propria presenza o la cancellazione, il mobile (caratterizzato dal codice IMSI - International Mobile Subscriber Identity) effettua la procedura di *IMSI attach* all'accensione e di *IMSI detach* allo spegnimento per la rete a circuito e, parallelamente, di *GPRS attach* all'accensione e di *GPRS detach* nella rete a pacchetto.

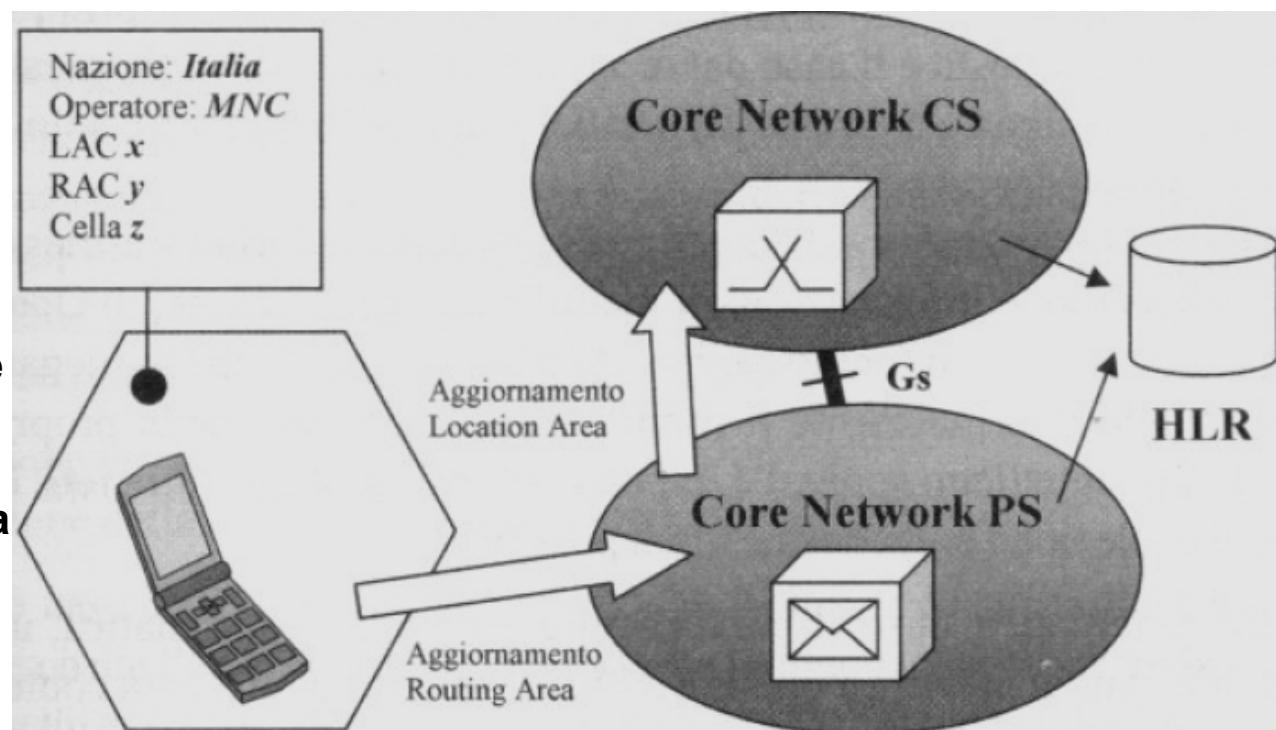
Per localizzare il terminale (in presenza di chiamata o messaggio verso il mobile), la rete effettua una *procedura di paging*, che consiste in un messaggio di ricerca inviato sul canale PCH (Paging Channel) a tutte le celle che compongono la *location* o la *routing area* del mobile che, se presente, risponde con un opportuno messaggio.

Gestione combinata della mobilità di cella.

La doppia registrazione (*Network Operation Mode II*) nel Core Network a pacchetto (mediante la *routing area*) e nel Core Network a circuito (mediante la *location area*) è necessaria in assenza di un collegamento tra i due Core Networks.

Al contrario, essa è certamente superflua in presenza di un collegamento, tramite l'interfaccia Gs, tra i due Core Networks. In tale caso, detto *Network Operation Mode I*, sono effettuate procedure più efficienti di *combined RA/LA update*, *combined GPRS/IMSI attach* e di *GPRS/IMSI detach*.

In pratica, la risoluzione della registrazione di cella è quella della *routing area*, mentre la *location area* è determinata di conseguenza e comunicata alla rete a circuito mediante l'interfaccia Gs.



Mobilità all'interno della rete.

All'interno della rete di un operatore (PLMN – Public Land Mobile Network), intervengono procedure *cell selection* e *cell reselection* per consentire all'utente di accamparsi sulla cella in cui il segnale è ricevuto meglio.

La *cell selection* avviene all'accensione del terminale dopo la selezione della rete, mentre la *cell reselection* serve a cambiare cella servente in mobilità (in *idle mode*, quando l'utente è già allocato in rete, ed in *connected mode*, mediante un *handover*).

Per velocizzare la procedura di selezione è possibile utilizzare le informazioni provenienti da misure già effettuate sulle celle e memorizzate sul terminale mobile, quali frequenza e codice di scrambling.

Selezione di cella in mobilità.

Affinchè una cella sia ritenuta idonea per la selezione, deve avvenire che:

- la qualità del segnale ricevuto (misurato come rapporto segnale/rumore sul CPICH - *Common Pilot Channel*) sia maggiore di una quantità minima definita dall'operatore e trasmessa sulle *system information*;
- il livello assoluto del segnale ricevuto, misurato come potenza del CPICH, sia maggiore di un livello minimo corretto da un fattore di compensazione definito dall'operatore.

La procedura di riselezione può essere del tipo:

- *Intrafrequency cell reselection*: il segnale della cella di partenza e quella finale utilizzano la stessa frequenza (tipicamente è una cella contigua).
- *Interfrequency cell reselection*: il segnale della cella di partenza e quella finale utilizzano frequenze diverse (è il caso di spostamento causato dalla densità di traffico).
- *Inter radio access technology cell reselection* : il segnale della cella di partenza e quella finale appartengono a tecnologie di accesso differenti, quali GSM (è il caso di spostamento di una chiamata vocale verso la rete 2G per risparmio di risorse o assenza di copertura 3G) o TDD (ad esempio, per connessione dati a velocità elevata ma ridotta mobilità).

Mobilità tra operatori.

Il sistema UMTS è costituito dall'interconnessione di operatori diversi. All'accensione il mobile prova a collegarsi con il gestore della propria rete (Home Public Land Mobile Network HPLMN).

In assenza di copertura, sceglie con modalità automatica o manuale una diversa PLMN per il servizio di *roaming* con l'esclusione delle *forbidden PLMN* (con le quali non c'è accordo commerciale di *roaming* tra i relativi gestori). In particolare, si parla di *roaming internazionale* o *roaming nazionale* a seconda che si tratti o meno di reti di nazioni differenti.

Per identificare univocamente le celle, location e routing area, le PLMN si utilizzano codici definiti da accordi internazionali e riportati in tabella.

Codici	Acronimo	Nota
MCC	Mobile Country Code	Codice della Nazione (per l'Italia 222)
MNC	Mobile Network Code	Codice della Rete radiomobile
LAC	Location Area Code	Codice della Location Area
RAC	Routing Area Code	Codice della Routing Area
SAC	Service Area Code	Codice della Service Area
CI	Cell Identity	Identificativo della cella

Identificativi	Acronimo	Nota
PLMN identity	PLMN identity	PLMN-Id = MCC + MNC
LAI	Location Area Identification	LAI = PLMN-Id+LAC
RAI	Routing Area Identification	RAI = LAI+RAC
SAI	Service Area Identification	SAI = PLMN-Id+LAC+SAC

Gestione della sicurezza.

L'UMTS deve essere progettato come un sistema assai robusto rispetto alle problematiche di confidenzialità e sicurezza informatica, supportando servizi su internet assai delicati in materia di privacy, contatti e messaggi, servizi finanziari (home banking).

Scopo principale delle funzioni di sicurezza è rendere inefficaci i tentativi non autorizzati di accesso alla rete, di intercettazione o alterazione delle comunicazioni, di individuazione della posizione dell'utente da parte di terzi.

I requisiti principali dell'architettura radio ed i relativi algoritmi di sicurezza sono:

- **Confidenzialità dell'identità e della localizzazione dell'utente.**
- **Mutua autenticazione tra utente e rete.**
- **Confidenzialità della segnalazione e dei dati di utente.**
- **Integrità dei dati ed autenticazione della sorgente di emissione.**

Confidenzialità dell'identità e della localizzazione dell'utente.

Per garantire la confidenzialità dell'identità e della localizzazione dell'utente l'UMTS utilizza delle *identità temporanee*.

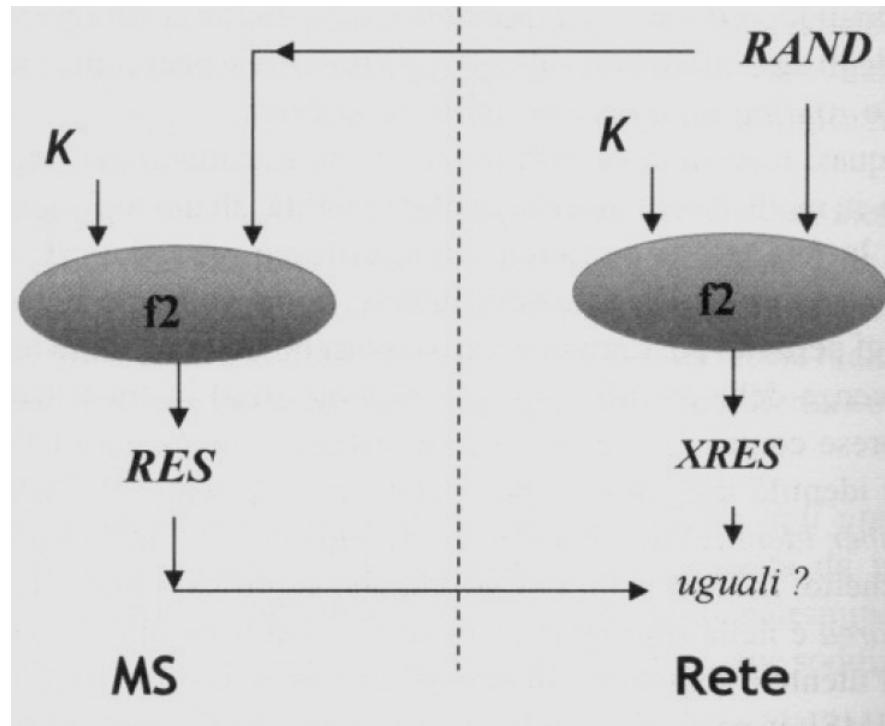
Infatti l'utente invia alla rete il proprio codice IMSI (International Mobile Subscriber Identity), nonché l'identificativo della propria location o routing area, che potrebbe consentire a terzi di conoscere nome e posizione dell'utente.

Pertanto, vengono attribuite all'utente *identità temporanee* (TMSI – *Temporary Mobile Subscriber Identity*) con significato locale.

Il TMSI è registrato in un data base presso il VLR (Visitor Location Register) per la rete a circuito e l'SGSN (Serving GPRS Support Node) per la rete a pacchetto, ed è frequentemente aggiornato dalla rete.

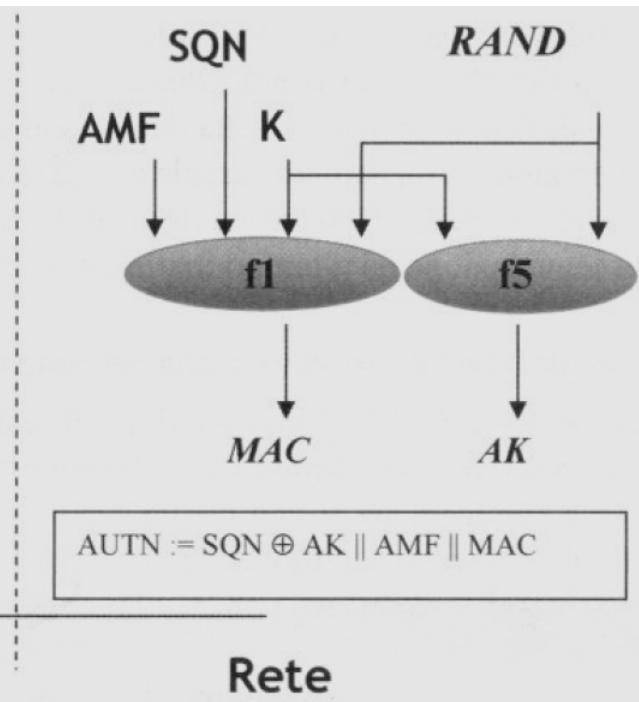
Mutua autenticazione tra utente e rete: autenticazione dell'utente.

- K: chiave segreta protetta nella USIM e nell'AuC (Authentication Centre) del Core Network.
- RAND: numero generato casualmente dalla rete e trasmesso all'utente.
- f2: funzione nota, facile da calcolare, ma computazionalmente complicata da essere invertita.
- RES: numero calcolato dall'utente e trasmesso alla rete.
- XRES: numero calcolato dalla rete e confrontato con quello trasmesso dall'utente.



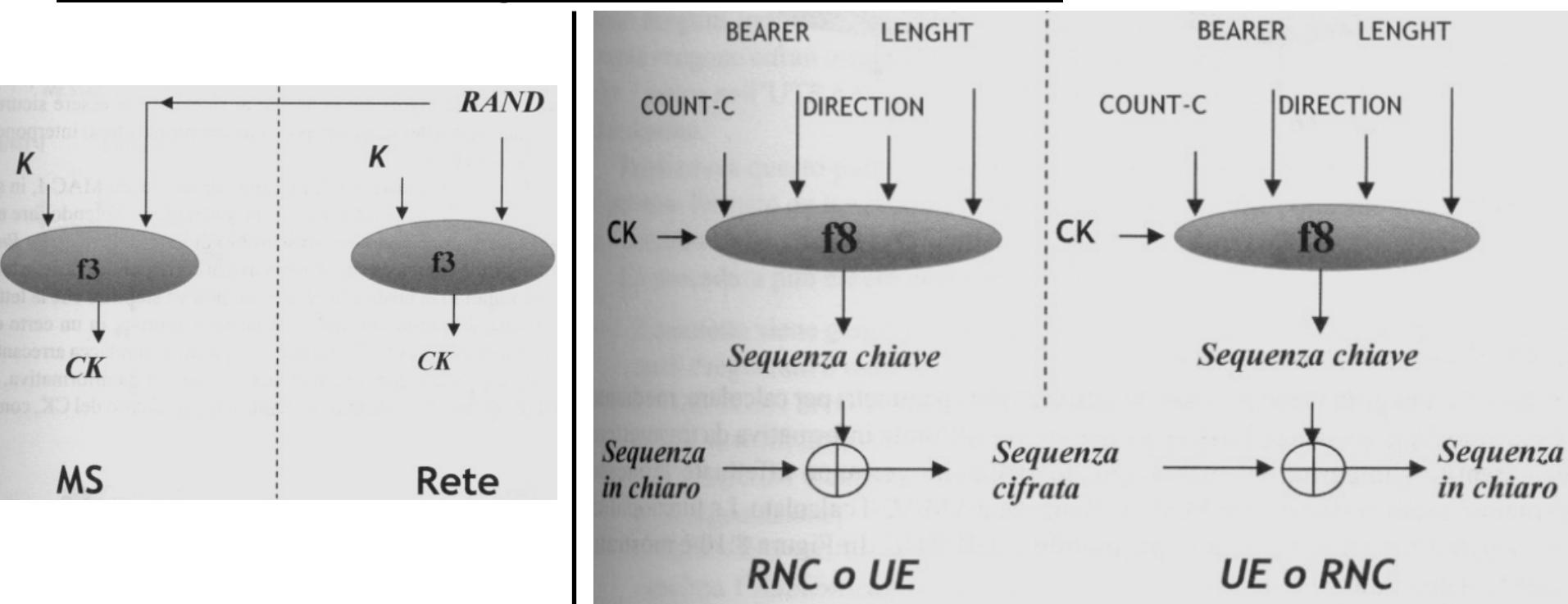
Mutua autenticazione tra utente e rete: autenticazione della rete.

- K: chiave segreta della USIM e dell'AuC (Authentication Centre) del Core Network.
- RAND: numero generato casualmente dalla rete e trasmesso all'utente.
- SQN: numero generato casualmente dalla rete (sempre diverso in ogni sessione).
- AMF: numero generato casualmente dalla rete.
- f5: funzione nota, facile da calcolare, ma computazionalmente complicata da essere invertita.
- f1: funzione nota, facile da calcolare, ma computazionalmente complicata da essere invertita.
- AK: numero calcolato dalla rete mediante la funzione f5.
- MAC: numero calcolato dalla rete e trasmesso all'utente, assieme all'AMF ed al SQN criptato con AK.



Analogamente, l'utente calcolerà $AK=f5(K,RAND)$, decripterà $SQN=SQN\oplus AK\oplus AK$ e calcolerà il MAC. Infine verificherà se il MAC calcolato è uguale a quello inviato dalla rete e se l'SQN ricevuto è diverso dai precedenti e coerente con un criterio di generazione pseudocasuale memorizzato dalla USIM.

Confidenzialità della segnalazione e dei dati di utente.



La chiave CK è calcolata mediante una funzione (difficilmente invertibile) f_3 a partire dal numero casuale RAND generato dalla rete e trasmesso al mobile e dalla chiave segreta K nota solo ad entrambi.

La chiave CK è quindi utilizzata per generare la *sequenza chiave* dalla rete e dal mobile mediante una funzione (difficilmente invertibile) f_8 dipendente da altri parametri noti ad entrambi.

La cifratura dei dati di utente e della segnalazione si basa sul principio che:

sequenza in chiaro = sequenza in chiaro \oplus sequenza chiave \oplus sequenza chiave

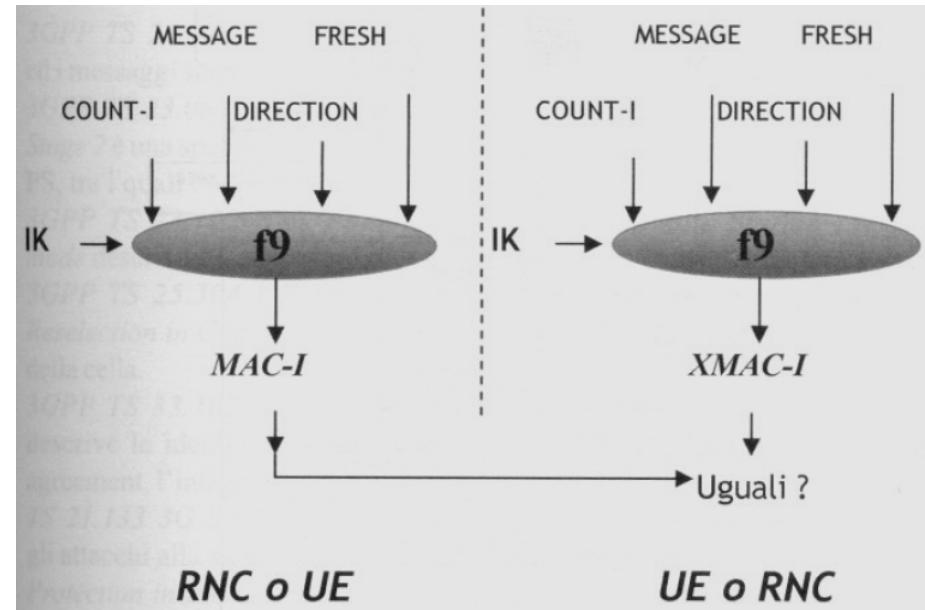
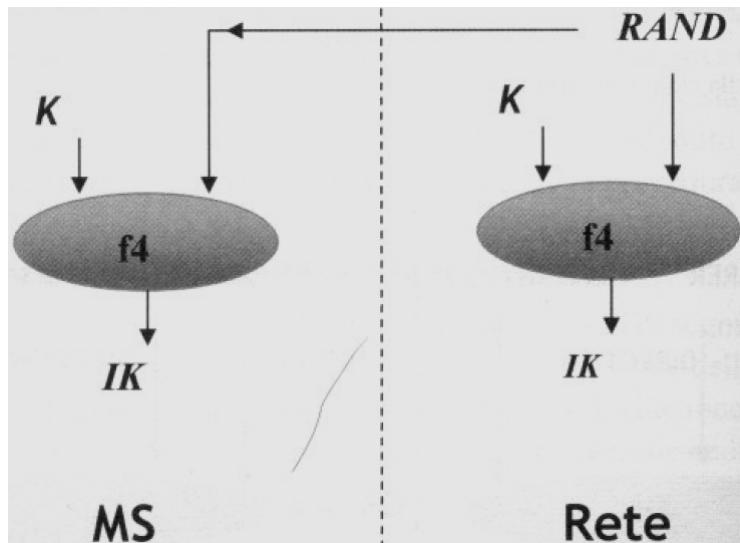
Integrità dei dati ed autenticazione della sorgente di emissione.

L'UMTS introduce l'*Integrity Protection* come ulteriore protezione della segnalazione e dei dati. Lo scopo è garantire al ricevente che i dati trasmessi non siano stati alterati da un intruso che si interpone nella comunicazione tra mobile e rete.

L'*Integrity Protection* consiste nell'aggiunta di un blocco MAC-I (un *integrity checksum*) ai dati da trasmettere, generato in funzione di una chiave unica IK.

Con tale algoritmo, il blocco addizionale garantisce previa verifica in ricezione:

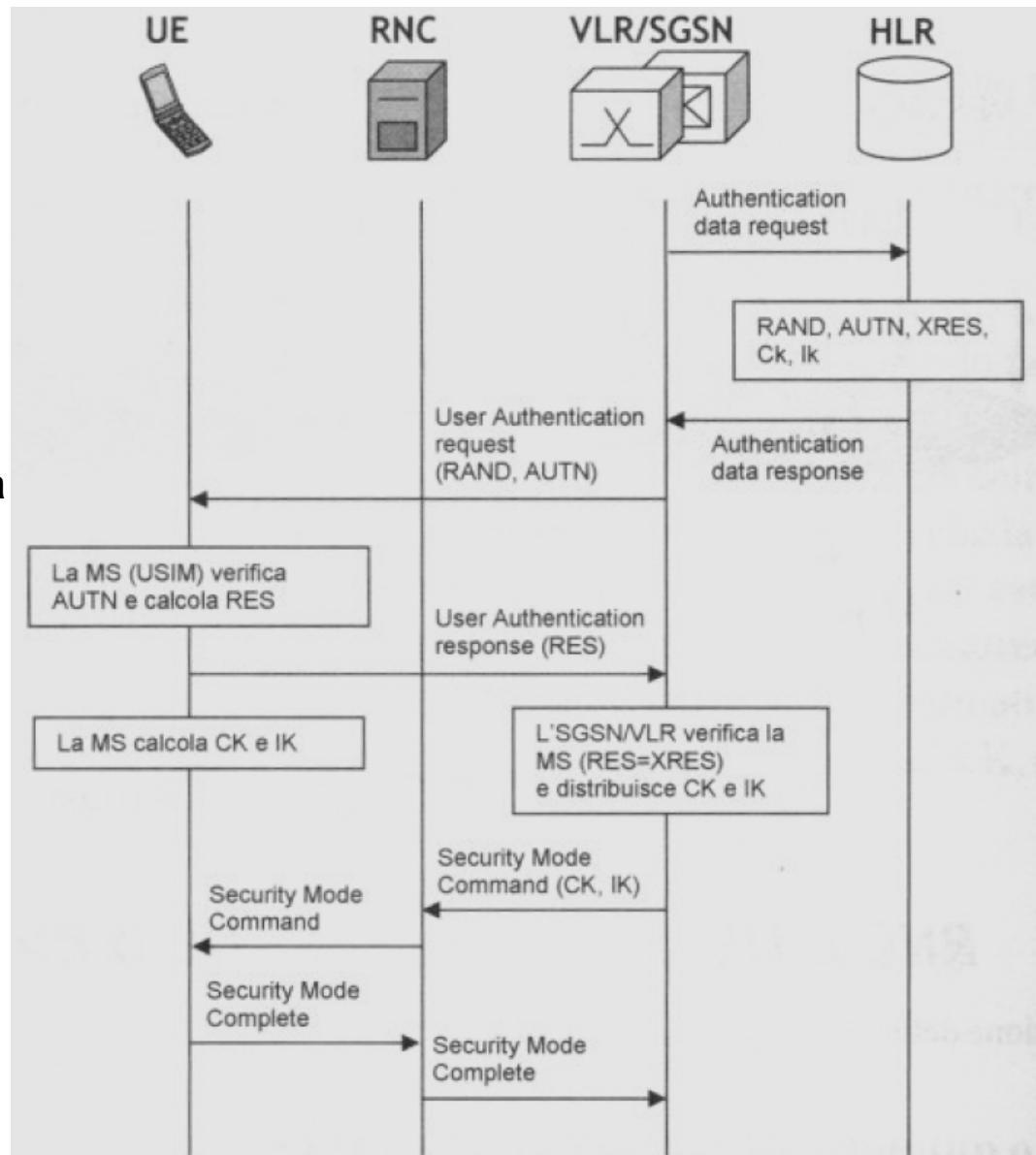
- che il blocco dati non è stato modificato essendo integro “il sigillo” digitale MAC-I;
- l'autenticità dell'identità della sorgente mediante l'unicità del “timbro nascosto” digitale IK (determinato dal “timbro in chiaro” K opportunamente mascherato) apposto dentro il sigillo MAC-I.



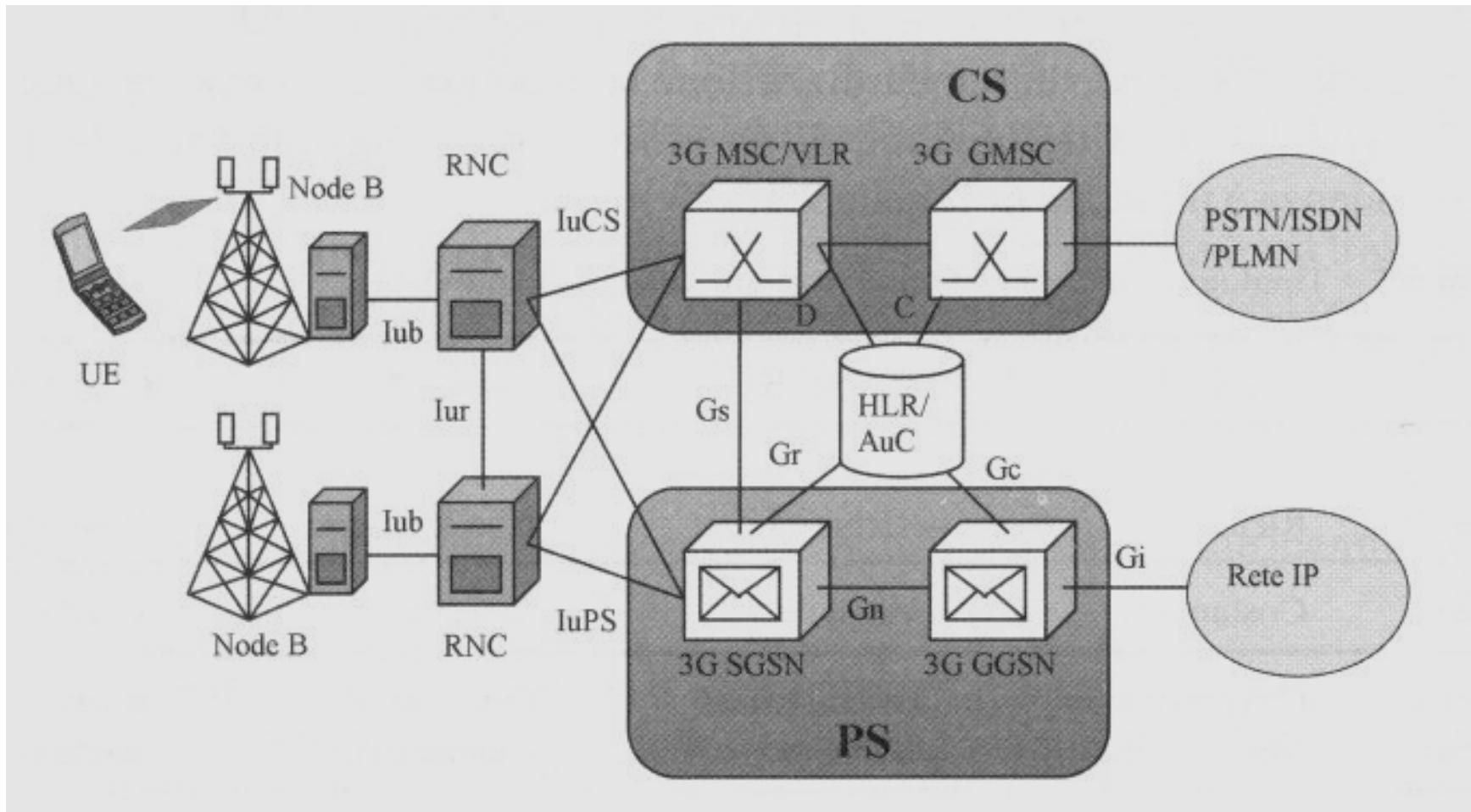
Gestione e trasmissione del vettore di autenticazione e delle chiavi.

Il quintetto di autenticazione UMTS, formato da RAND, XRES, CK, IK ed AUTN, consente l'autenticazione e l'accordo delle chiavi (*Authentication and Key Agreement*).

La procedura, con le relative temporizzazioni, è sintetizzata in figura.

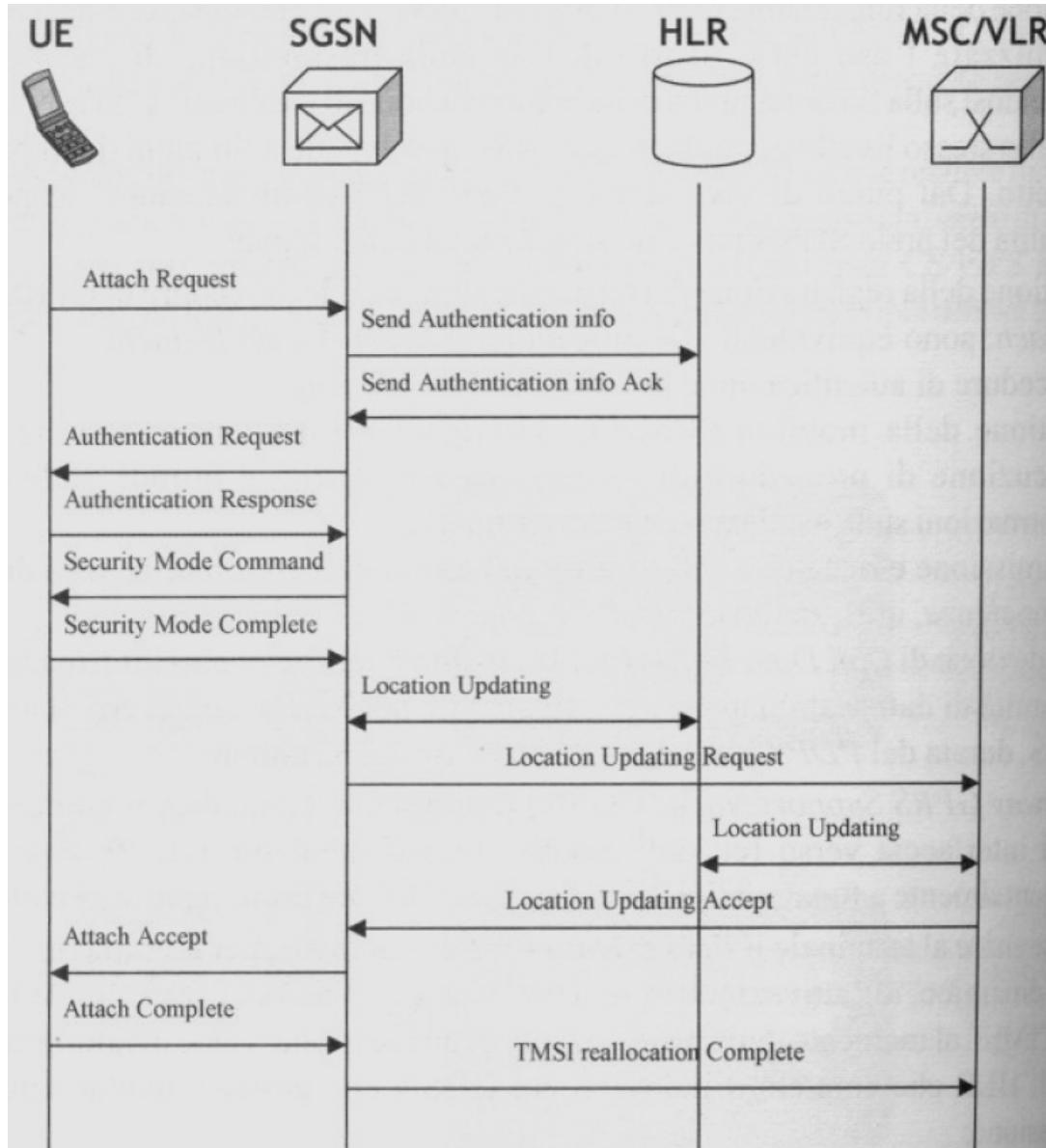


Gestione della comunicazione: schema architetturale.



In attesa di una migrazione verso all-IP, l'architettura di una PLMN (Public Land Mobile Network) prevede procedure di comunicazione a circuito e pacchetto.

Procedura di registrazione combinata.



Procedura di registrazione combinata PS-CS (GPRS/IMSI attach).

Si noti il ruolo fondamentale del SGSN (Serving GPRS Support Node) per la registrazione dell'IMSI (International Mobile Subscriber Identity).

(HLR: Home Location Register) (MSC/VLR: Mobile Switching Centre / Visitor Location Register)

Instaurazione di chiamata a circuito (CS).

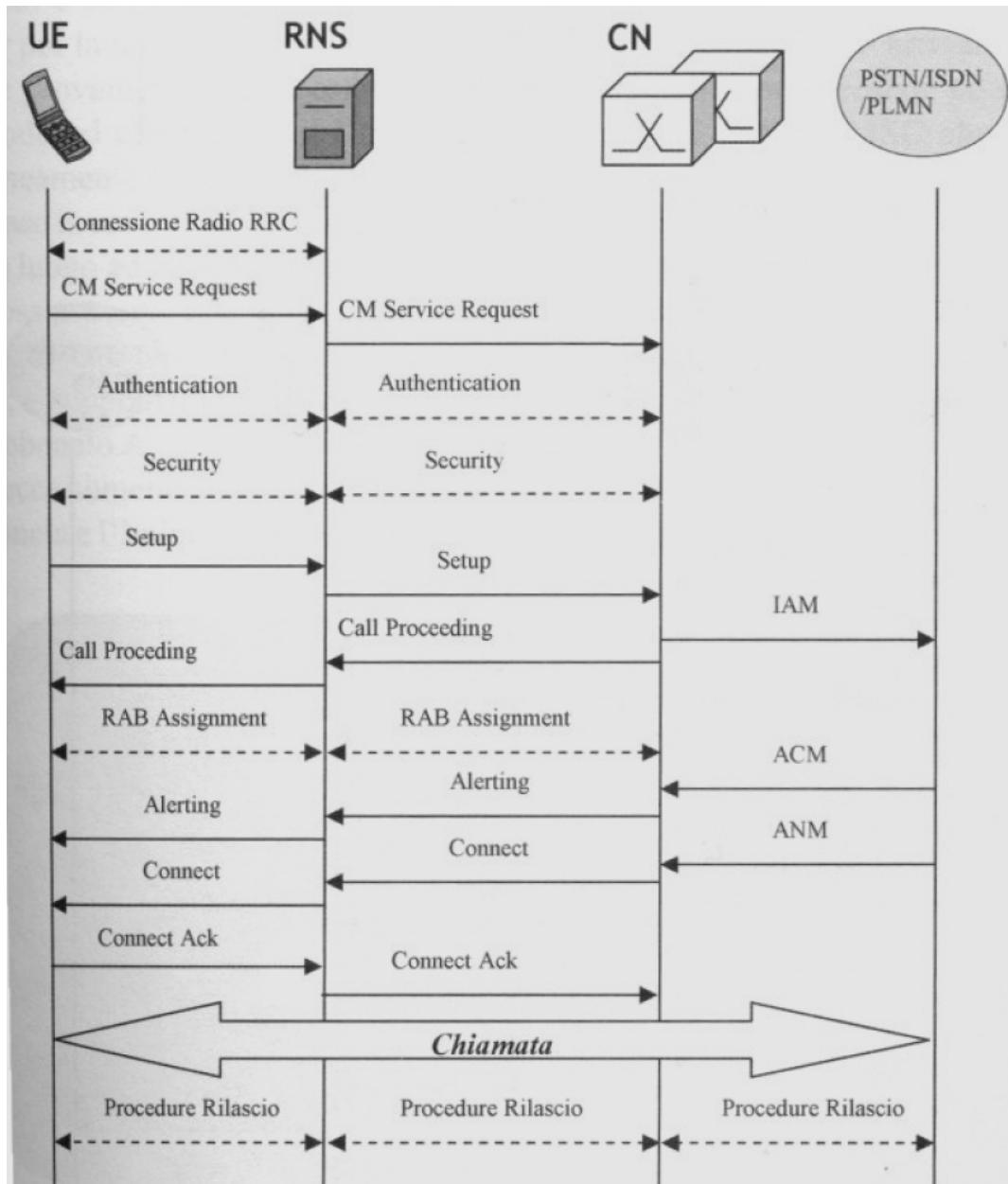
Una **chiamata CS** (Circuit Switched) coinvolge, oltre agli apparati mobili del chiamante e/o del chiamato, anche le relative reti di accesso e le Core Network (CN) a cui fanno capo i due utenti. Si distinguono chiamate CS *iniziate dal mobile e terminate sul mobile* (o *iniziate dalla rete*).

Nel caso di **chiamata iniziata dal mobile**, entra in gioco la rete di accesso del chiamante, identificata con il Radio Network System (RNS); in questo caso la chiamata è gestita direttamente dall'MSC/VLR presso cui è registrato l'utente chiamante.

Nel caso invece di chiamata **terminata sul mobile** (o iniziata dalla rete), la procedura si divide in due parti, a seconda che l'utente chiamato sia registrato presso la rete cui è legato contrattualmente chiamata **Home-PLMN** (H-PLMN), oppure se utilizza un'altra rete in **roaming** (rete visitata o V-PLMN):

- reperimento dell'informazione di instradamento presso l'HLR appartenente alla rete H-PLMN;
- trattamento della chiamata da parte della rete visitata dall'utente chiamato (V-PLMN).

Instaurazione di chiamata CS proveniente dal mobile (1).



Procedura di instaurazione di chiamata a circuito proveniente dal mobile.

Si compone di richiesta di servizio, autenticazione, cifratura e protezione di integrità, prima dell'effettiva connessione.

**(RNS: Radio Network System;
CN: Core Network)**

**(RAB: Radio Access Bearer;
IAM: Initial Address Message;
ACM: Address Complete Message;
ANM: Answer Message)**

Instaurazione di chiamata CS proveniente dal mobile (2).

Nell'ipotesi che sia stata precedentemente instaurata una **connessione RRC**, (Radio Resource Control) la procedura parte con il messaggio “**Connection Management (CM) Service Request**” da UE a RNS, che RNS provvede a rilanciare verso la CN.

Quindi, è proseguita con l'emissione da parte dall'UE e verso il RNS di un messaggio “**Set Up**” (contenente il numero telefonico del chiamato e la potenzialità di trasporto richiesta dalla chiamata) che, trasferito alla CN, determina:

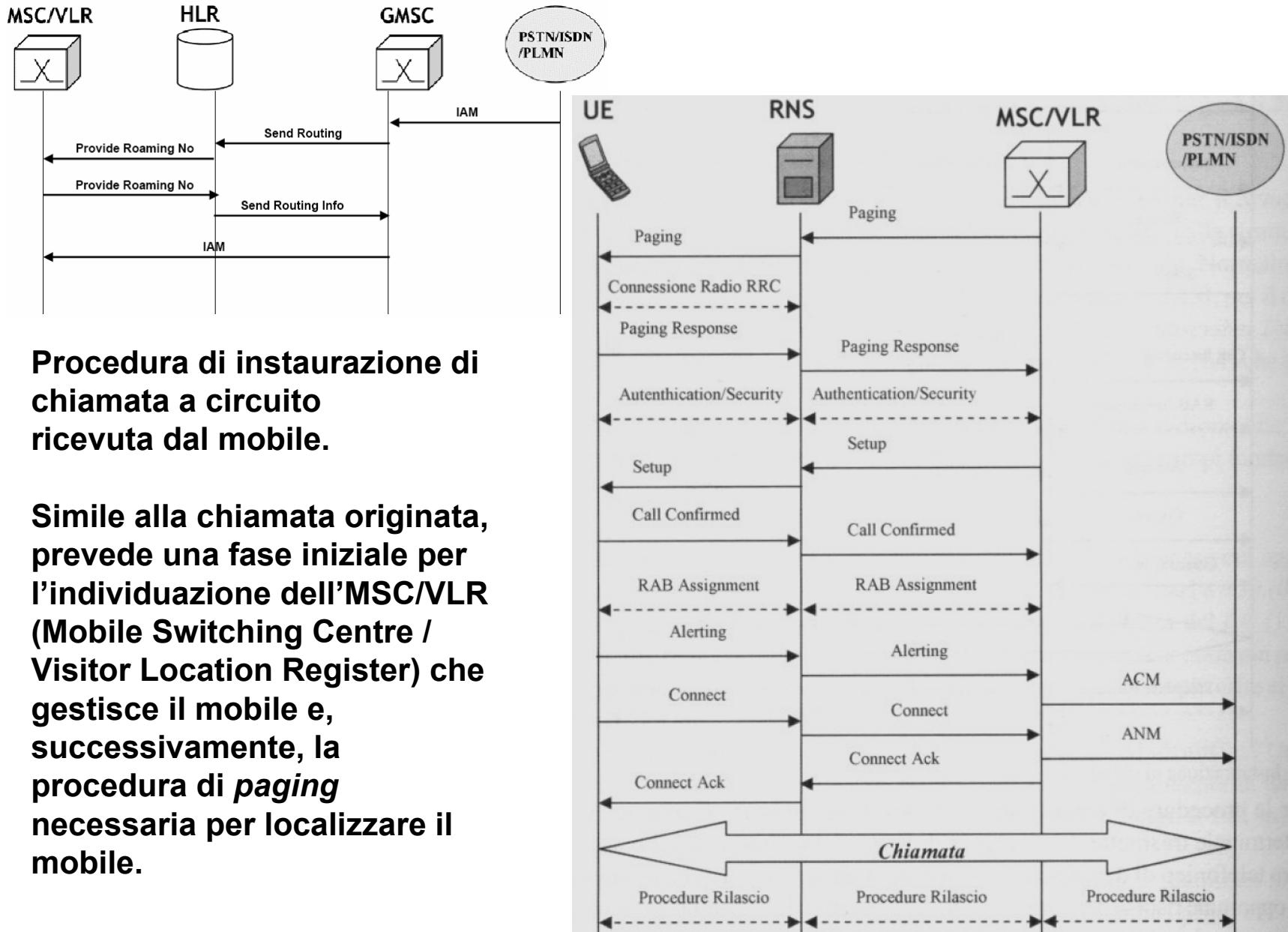
- l'avviso al chiamante che la chiamata sta procedendo (“**Call Proceeding**”);
- l'inoltro di un messaggio “**IAM**” verso la rete fissa o mobile a cui appartiene l'utente chiamato.

Dopo la conferma (messaggio “**ACM**”) che la rete chiamata ha quanto le serve (indirizzo completo del chiamato) per inoltrare la chiamata, la CN inoltra all'UE chiamante l'avviso che l'utente chiamato sta ricevendo il tono di chiamata (“**Alerting**”).

Quando il chiamato risponde (messaggio “**ANM**”), la CN invia all'UE un messaggio (“**Connect**”) per avvertirlo che il chiamato ha accettato la chiamata e ha aperto la connessione fonica.

La procedura si conclude con un messaggio di riscontro (“**Connect Ack**”) da parte del chiamante verso la CN.

Instaurazione di chiamata CS ricevuta dal mobile (1).



Procedura di instaurazione di chiamata a circuito ricevuta dal mobile.

Simile alla chiamata originata, prevede una fase iniziale per l'individuazione dell'MSC/VLR (Mobile Switching Centre / Visitor Location Register) che gestisce il mobile e, successivamente, la procedura di *paging* necessaria per localizzare il mobile.

Instaurazione di chiamata CS ricevuta dal mobile (2).

Nelle ipotesi che la procedura sia iniziata da un apparato appartenente ad altra rete mobile (**rete chiamante**), il GMSC della rete chiamante riceve un messaggio di inizializzazione (IAM) con il numero del chiamato (*Mobile Station ISDN number – MSISDN*).

Il GMSC della rete chiamante si pone in corrispondenza con il GMSC della H-PLMN relativa all'utente chiamato, che interroga il proprio HLR circa l'instradamento per raggiungere il chiamato, ottenendo così la localizzazione dell'UE chiamato.

Alternativamente, in caso di *roaming*, è l'HLR della V-PLMN che, dopo avere estratto dal numero MSISDN l'identificativo IMSI del chiamato, interroga l'MSC/VLR servente (sotto il cui controllo si trova il chiamato e che ne conosce la localizzazione) tramite un messaggio (“*Provide Roaming Number*”) che contiene l'IMSI del chiamato. L'MSC/VLR alloca uno dei numeri temporanei disponibili (TMSI) per la chiamata e restituisce questo numero all'HLR, il quale lo invia al nodo V-GMSC.

Il GMSC della rete chiamante è allora in grado, attraverso una qualunque rete intermedia, di inviare all'MSC/VLR servente un messaggio “IAM” contenente il TMSI del chiamato. Alla ricezione di questo messaggio, l'MSC/VLR servente riconosce il TMSI, lo associa all'IMSI che gli è in corrispondenza e chiede al sotto sistema RNS di avvertire l'utente chiamato secondo la procedura di “*Paging*”.

Instaurazione di chiamata CS ricevuta dal mobile (3).

L'UE chiamato richiede allora una connessione RRC e, dopo che questa è stata instaurata, chiude la procedura di *paging*, informandone l'RNS che a sua volta ne informa l'MSC/VLR servente.

Sono eseguite le procedure di autenticazione e sicurezza, che consentono all'MSC/VLR servente di inoltrare all'UE chiamato (tramite l'RNS) un messaggio “*Set Up*”, a cui l'UE risponde con un messaggio “*Call Confirmed*” per indicare che accetta la chiamata.

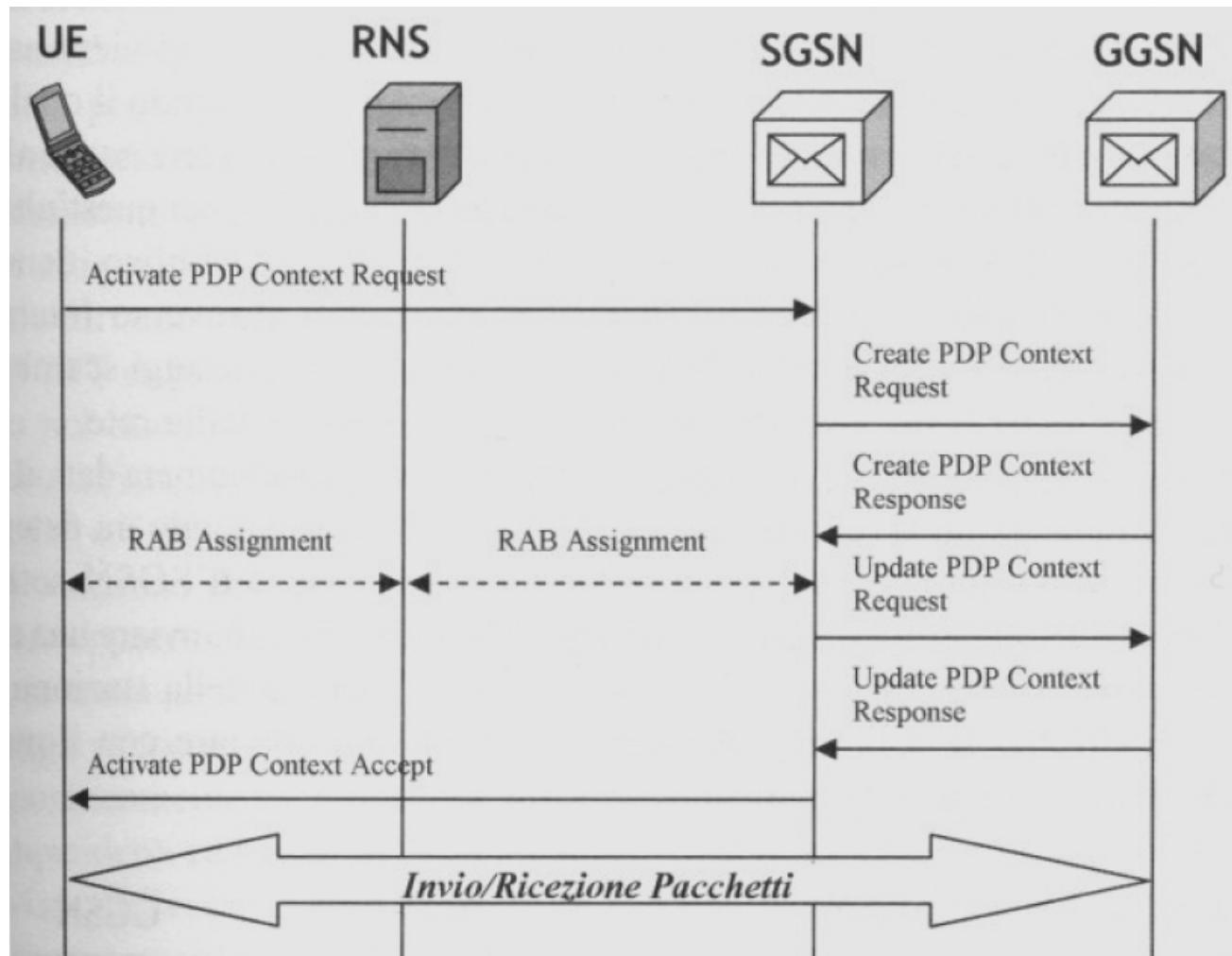
Alla ricezione del messaggio “*Call Confirmed*”, l'MSC/VLR provvede ad instaurare un canale trasmissivo che lo collega alla RNS e all'UE chiamato (“*RAB Assignment*”).

Instaurato il RAB, l'UE chiamato informa la rete inviando il messaggio “*Alerting*” all'MSC/VLR, che a sua volta con un messaggio “*ACM*” segnala a quest'ultimo che il chiamato è libero.

Una volta che il chiamato risponde, l'UE chiamato invia il messaggio “*Connect*” all'MSC/VLR, che provvede (con il messaggio “*ANM*”) ad informarne il nodo di origine a cui fa capo il chiamante. Il risultato è l'instaurazione di una connessione bidirezionale per il trasferimento dell'informazione.

Infine, con il messaggio “*Connect Ack*” l'MSC/VLR informa anche l'UE chiamante circa l'attivazione della connessione: ciò consente di dare inizio alla conversazione.

Attivazione di chiamata PS (*PDP context*) proveniente dal mobile.

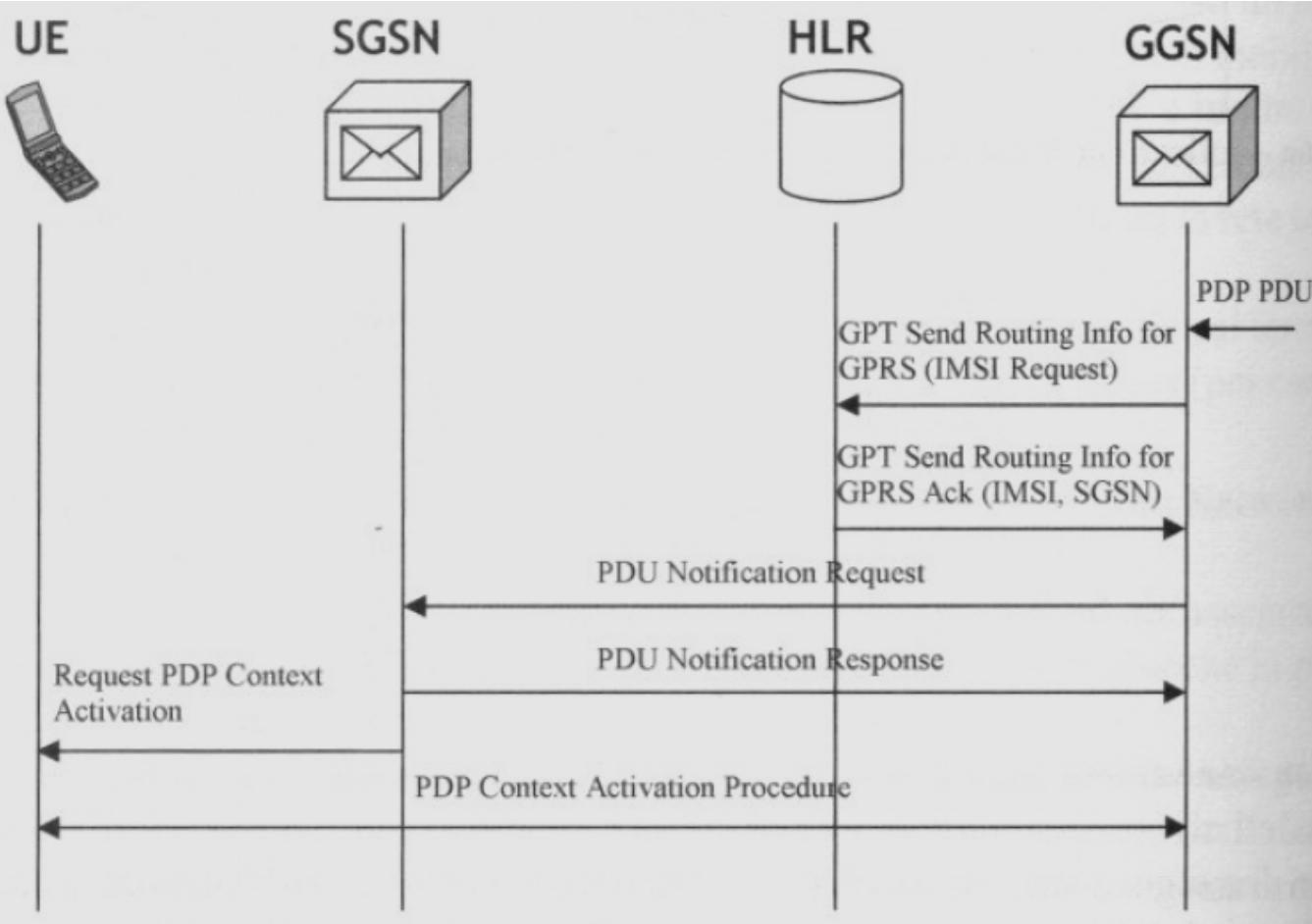


Un *PDP context* è un canale virtuale che connette il mobile alla rete attraverso cui desidera scambiare dati.

Il dominio a pacchetto offre un servizio di trasporto orientato alla connessione, caratterizzato da parametri che lo definiscono quali: bit rate medio, bit rate massimo, ritardo accettabile...

L'indirizzo PDP per il mobile (tipicamente un indirizzo IP dinamico) sarà scelto dal GGSN (Gateway GPRS Support Node) tra gli indirizzi possibili, creando una associazione biunivoca tra IMSI e PDP address, instaurando un *tunnelling GPRS*. 98

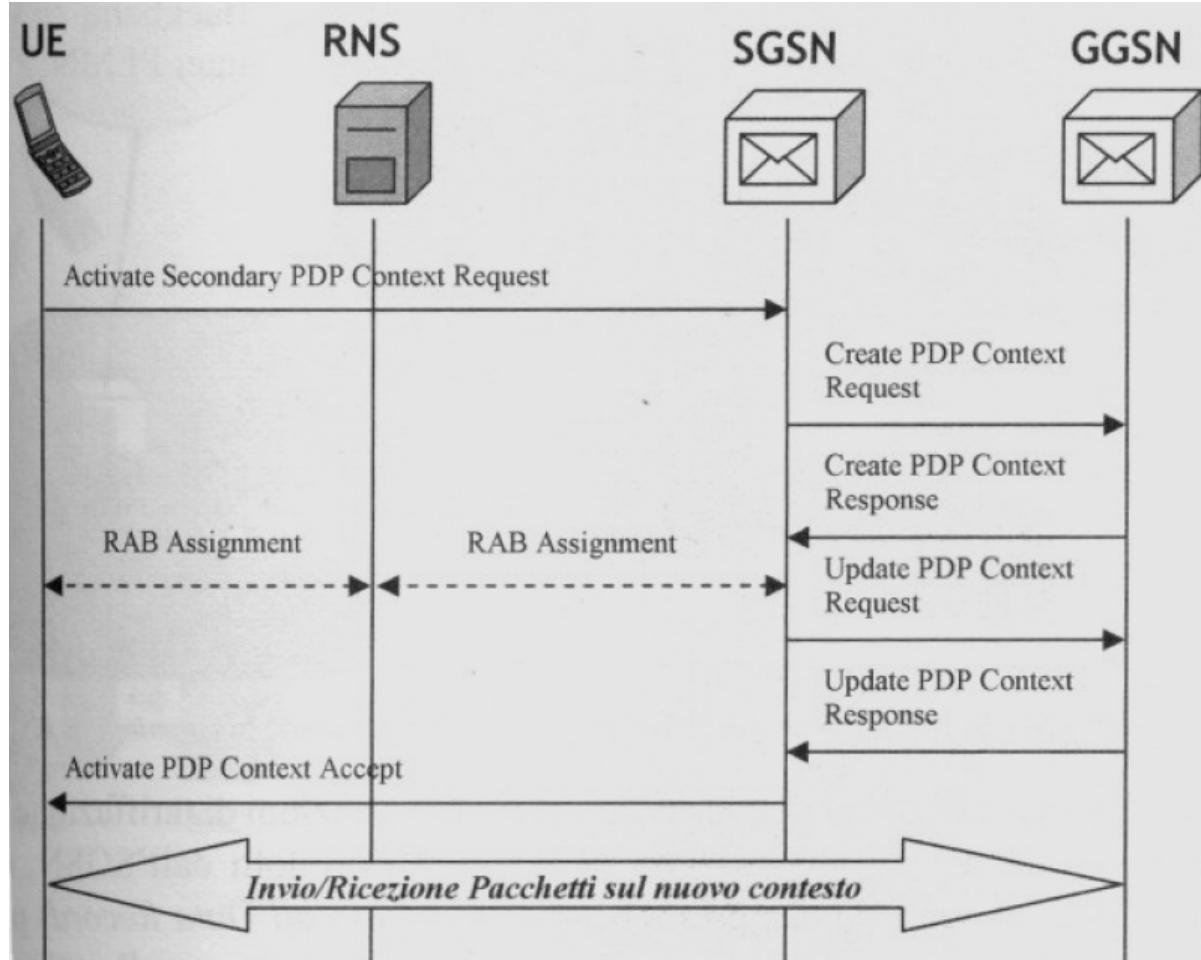
Attivazione di chiamata PS (PDP context) ricevuta dal mobile.



Flusso di messaggi scambiati tra i vari elementi di rete nel caso di chiamata dati attivata dalla rete.

Si noti come il GGSN (Gateway GPRS Support Node), che riceve un pacchetto IP per un determinato indirizzo cui corrisponde l'identità del mobile (IMSI), debba interrogare l'HLR (Home Location Register) per conoscere l'SGSN (Serving GPRS Support Node) di registrazione temporanea dell'utente, instaurando quindi un *tunnelling GPRS*.

Attivazione di chiamata PS di *PDP context* secondari.

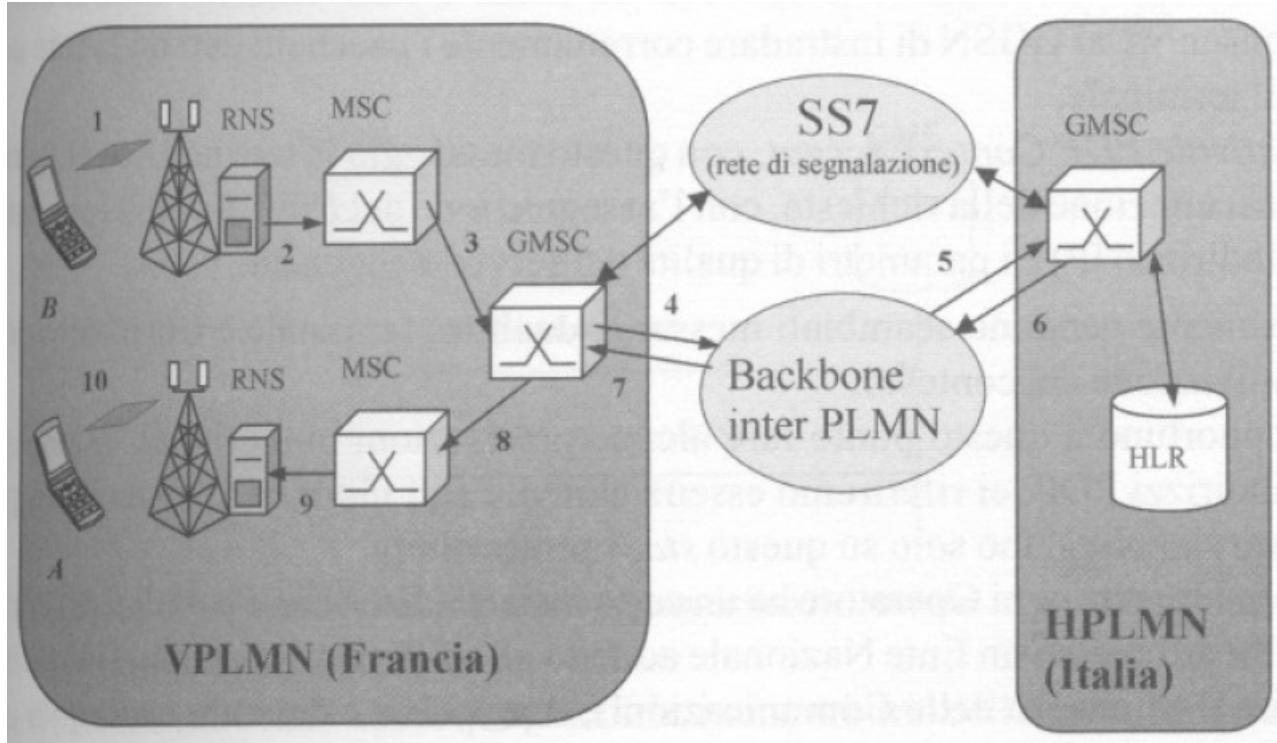


Per alcune applicazioni vi è la necessità di attivare dei contesti secondari (es.: video-streaming selezionato da una ricerca su internet) con specifiche differenti di QoS.

Nell'header del pacchetto è presente il TFT (Traffic Flow Template) che consente tale differenziazione.

Il GGSN (Gateway GPRS Support Node) è in grado di separare ed indirizzare opportunamente i flussi di servizi diversi che utilizzano il medesimo indirizzo IP del dispositivo, utilizzando protocolli superiori (come UDP o TCP) e porte differenti.

Gestione della comunicazione in *roaming*.



Instradamento della chiamata CS in *roaming* e possibile effetto di *tromboning*.

Nel caso di collegamenti a circuito (voce), l'informazione viaggia avanti e indietro in caso di chiamata del mobile in *roaming* internazionale verso un utente della stessa rete estera di appoggio.

Attivazioni di collegamenti a pacchetto mediante *PDP context* sono possibili anche in *roaming*, mediante un meccanismo simile alla chiamata CS.

Tuttavia, può essere anche possibile (e più efficiente) accedere a servizi globali (internet) direttamente dalla rete visitata, data la facilità delle funzioni di tariffazione delle connessioni a pacchetto.

Servizi e Qualità del Servizio (QoS).

Parametri di QoS
Traffic Class
Maximum Bitrate
Guaranteed Bitrate
Residual Bit Error Ratio

Servizio	Bit rate	Delay	Tolleranza errori
Voce	4 - 25 kbit/s	< 150 msec	< 3% FER
Videotelefonia	32-384 kbit/s	< 150 msec	< 1% FER
Streaming Audio e Video	32 -384 kbit/s	< 10 sec	< 1% FER
Giochi interattivi	< 1KByte	< 250 msec	zero
Accesso ad Internet/Intranet veloce	fino a 2 Mbit/s	< 4 sec	zero
Email, MMS	64 kbit/s	< 4 sec	zero
SMS e Messaggi in Broadcast	16 kbit/s	< 4 sec	zero
Informazioni ed Intrattenimento	64-128 kbit/s	< 4 sec	zero

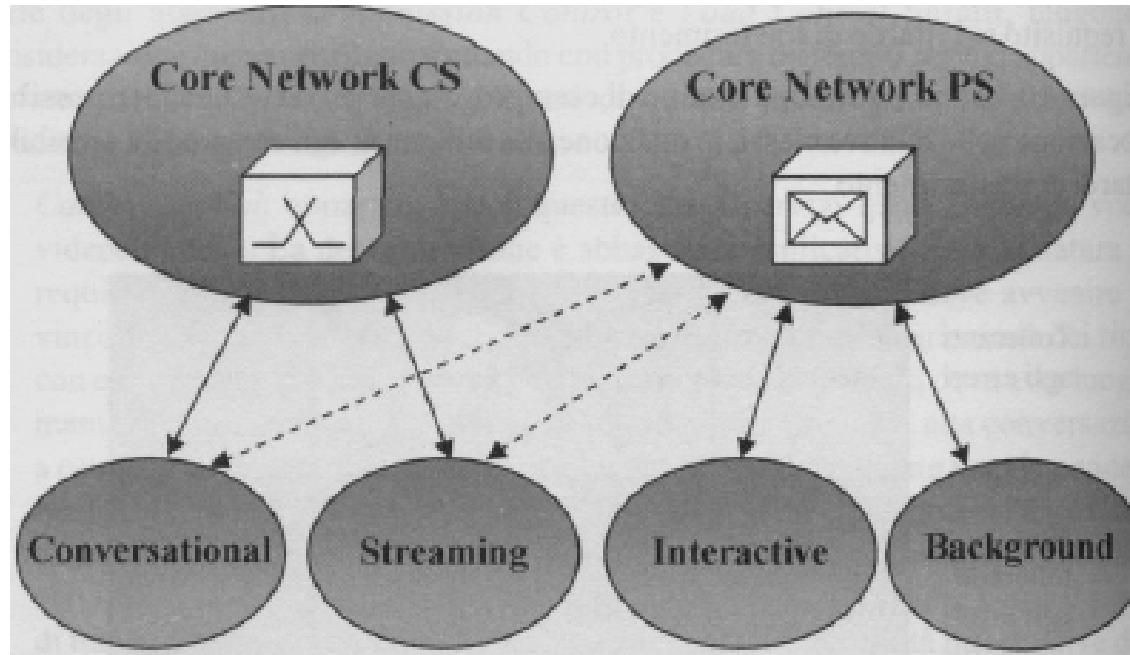
Classi di Qualità del Servizio.

Servizio	Classe di servizio
Voce	Conversational
Transparent Data per videochiamata	Conversational
Transparent Data	Conversational
Non-transparent Data	Streaming

Tolleranti agli errori	Voce e videochiamata	Messaggi vocali	Streaming audio e video	Fax
Non tolleranti agli errori	Telnet, giochi interattivi	E-commerce web browsing	FTP	Messaggi in Background

Conversational Interactive Streaming Background
 (delay << 1 s) (delay ~ 1 s) (delay < 10 s) (delay > 10 s)

Implementazione della Qualità del Servizio nelle reti CS e PS.



Traffic class	Conversational	Streaming	Interactive	Background
Maximum Bitrate	X	X	X	X
Residual Bit Error Ratio	X	X	X	X
Transfer Delay	X	X		
Guaranteed Bitrate	X	X		
Traffic Handling Priority			X	

Il servizio vocale.

E' un servizio *conversational*

analogico: 4 KHz di banda;

digitale: 8 Kcampioni/s, 8 bits/campione \Rightarrow ISDN, ETACS: 64 kbit/s

codifica vocale a predizione (CELP): da 4.75 a 12.2 Kbit/s

comfort noise: 1.8 Kbit/s

PDC giapponese: 6.7 Kbit/s

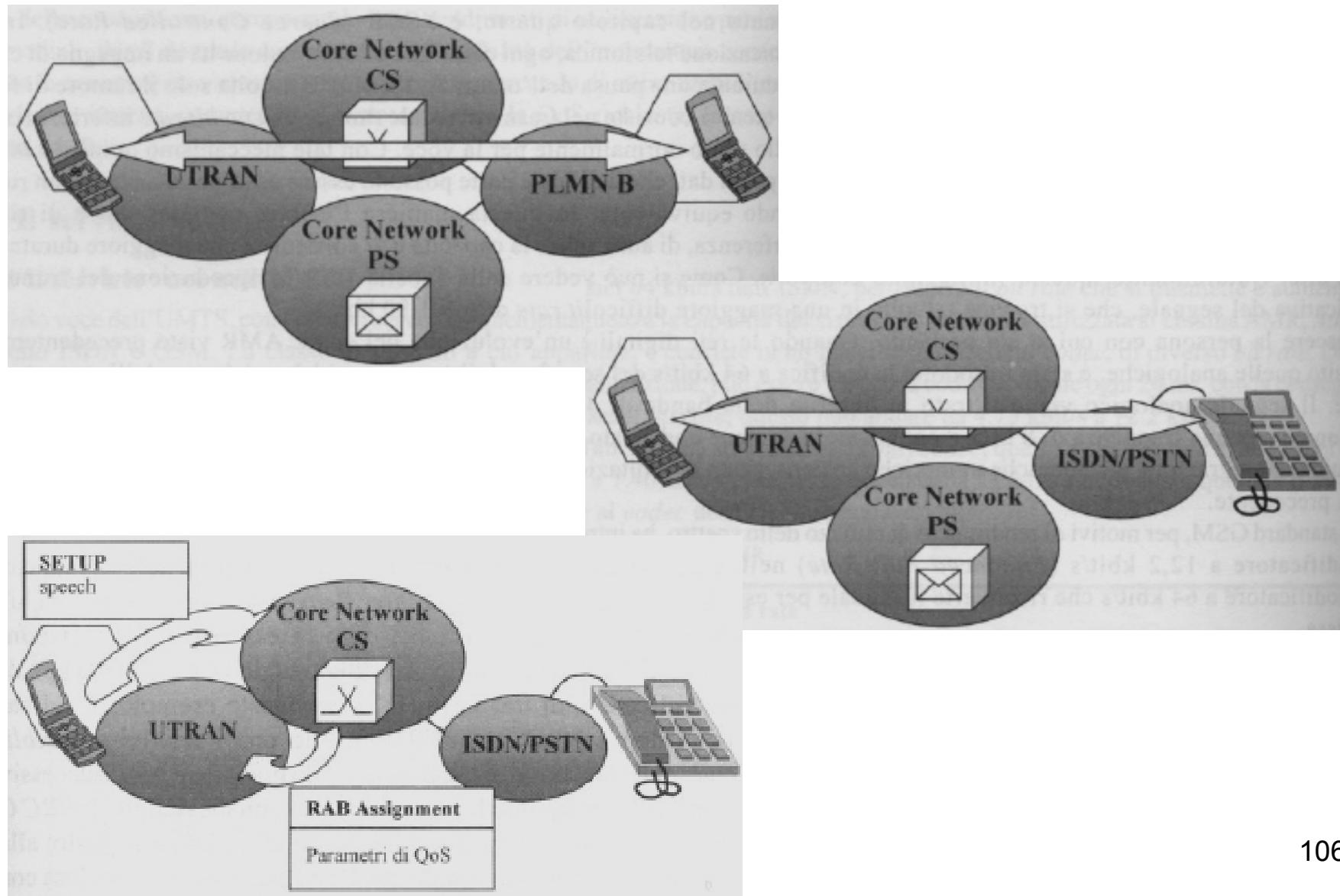
TDMA USA: 7.4 Kbit/s

GSM (codec AMR full rate): 12.2 Kbit/s

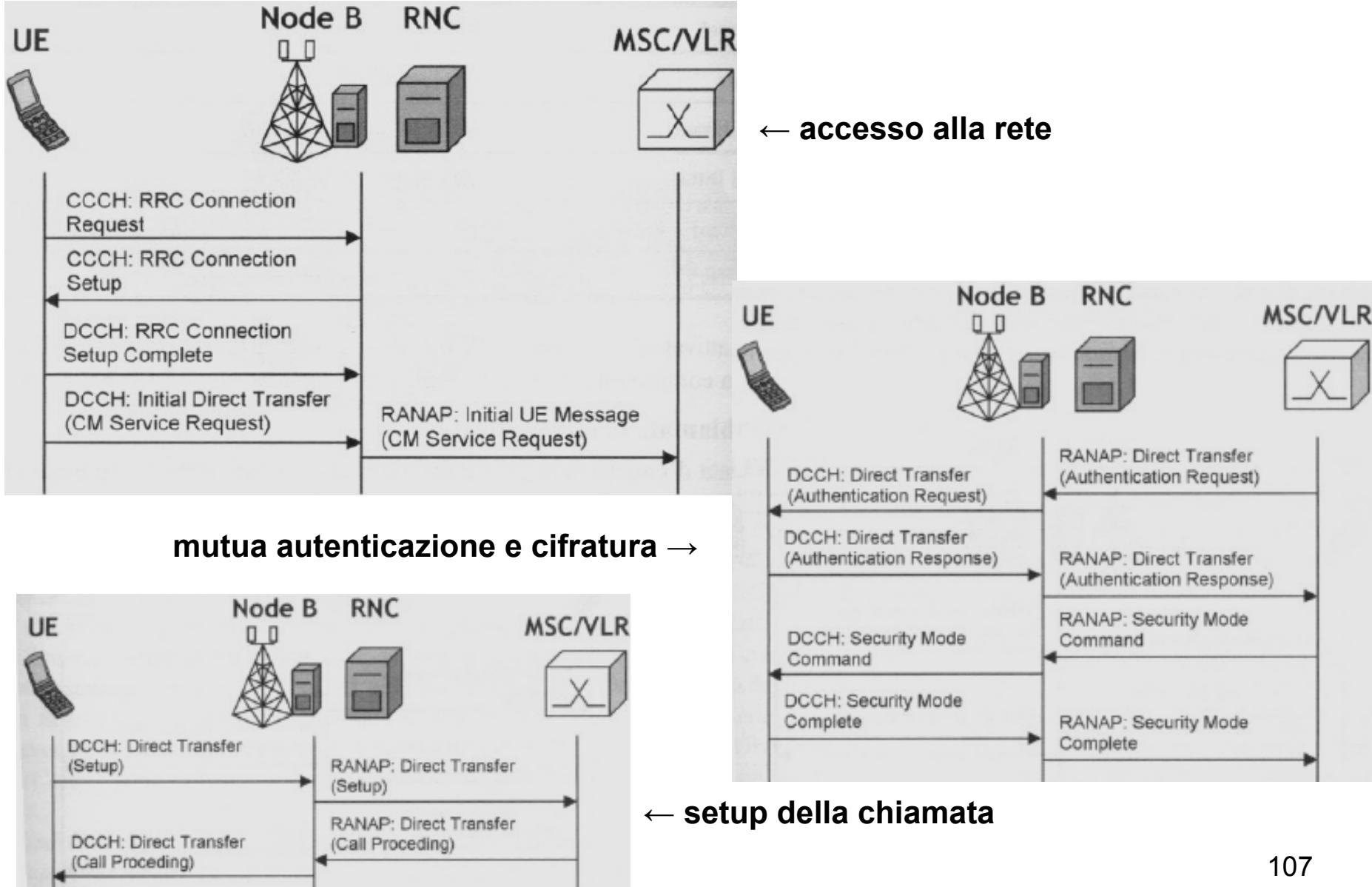
UMTS (codec wideband-AMR): da 6.6 a 23.85 Kbit/s variabile ogni 20 ms.

Attributo QoS	Valore
Traffic Class	Conversational
Maximum Bitrate	12,2 kbit/s (AMR_12.20)
Guaranteed Bitrate	4,75 kbit/s (AMR_4.75)
Residual Bit Error Ratio	10^{-6}
Transfer Delay	80 ms UTRAN (100 ms totali)

Instaurazione della chiamata vocale (architettura).

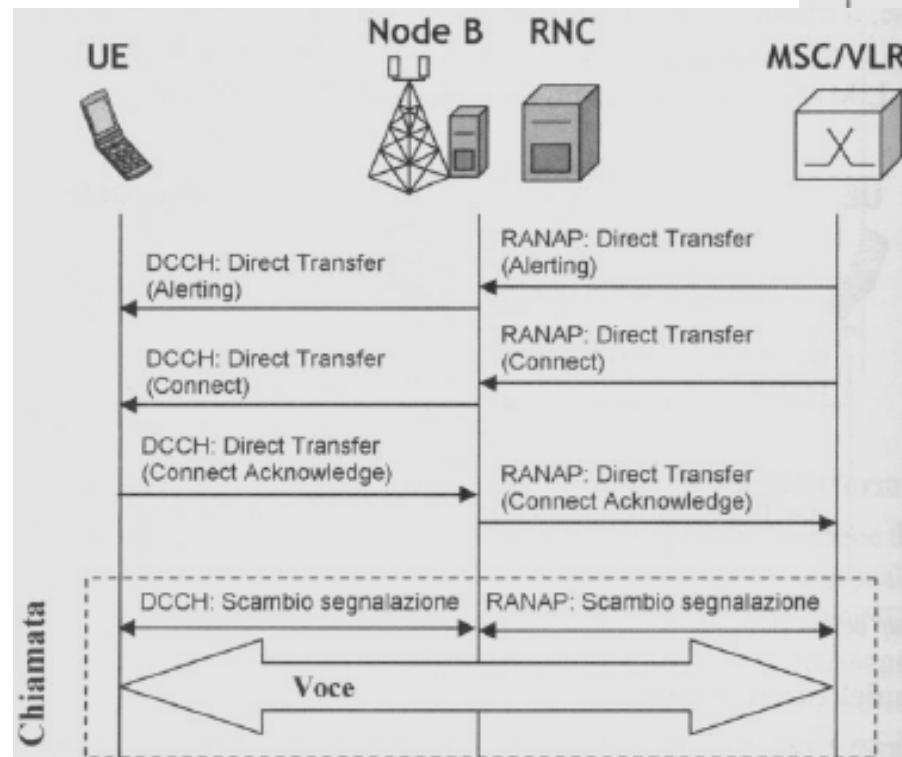
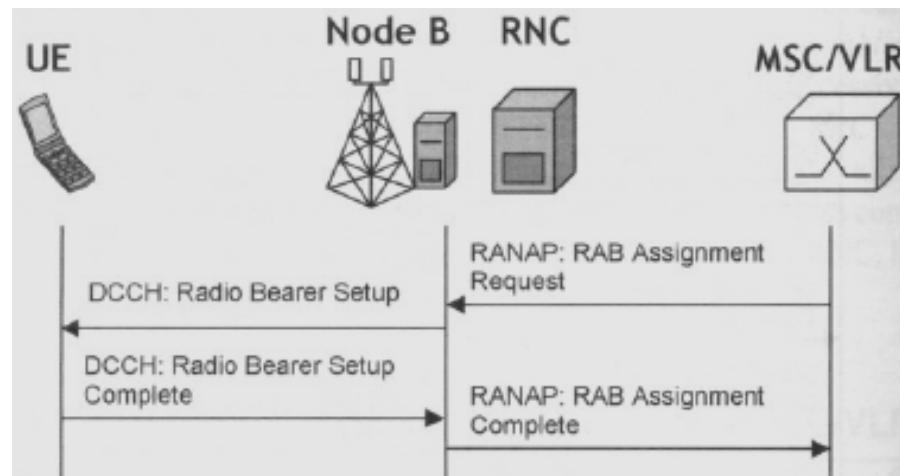


Instaurazione della chiamata vocale (procedure -1).



Instaurazione della chiamata vocale (procedure - 2).

configurazione del canale radio →



← chiamata attiva

Il servizio di videochiamata.

Attributo QoS	Valore
Traffic Class	Conversational
Maximum Bitrate	64 kbit/s
Guaranteed Bitrate	64 kbit/s
Residual Bit Error Ratio	10^{-4}
Transfer Delay	200 ms

H263 (estensione dell'H261)

MPEG-4

CIF: 352x288 pixels

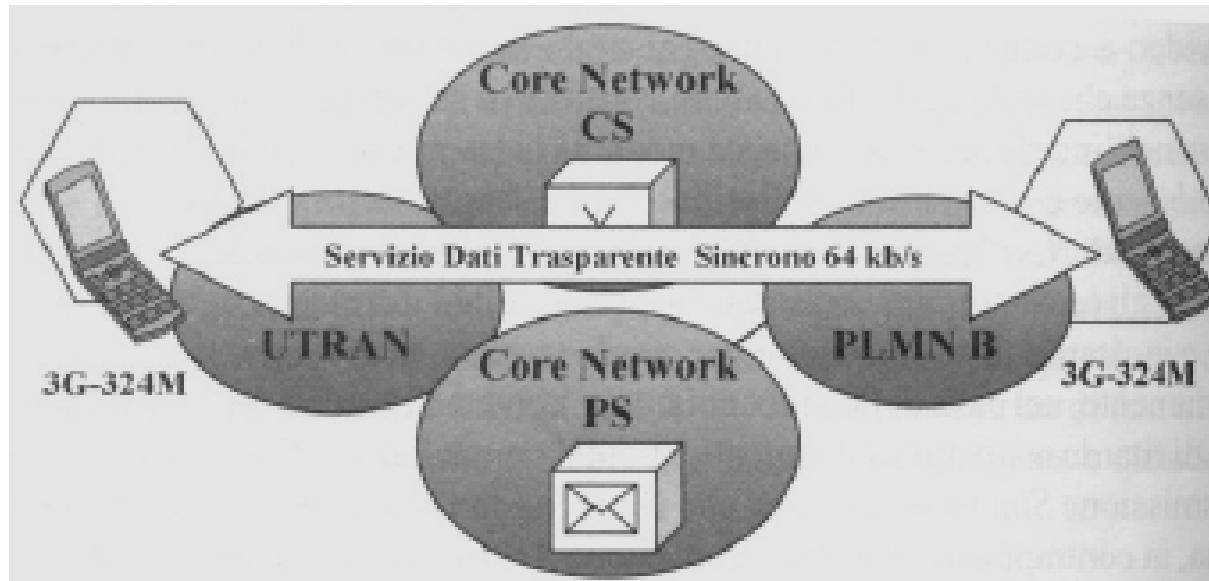
QCIF: 176x144 pixels (default per i videotelefoni)

SQCIF: 128x96 pixels

4CIF: 704x576 pixels

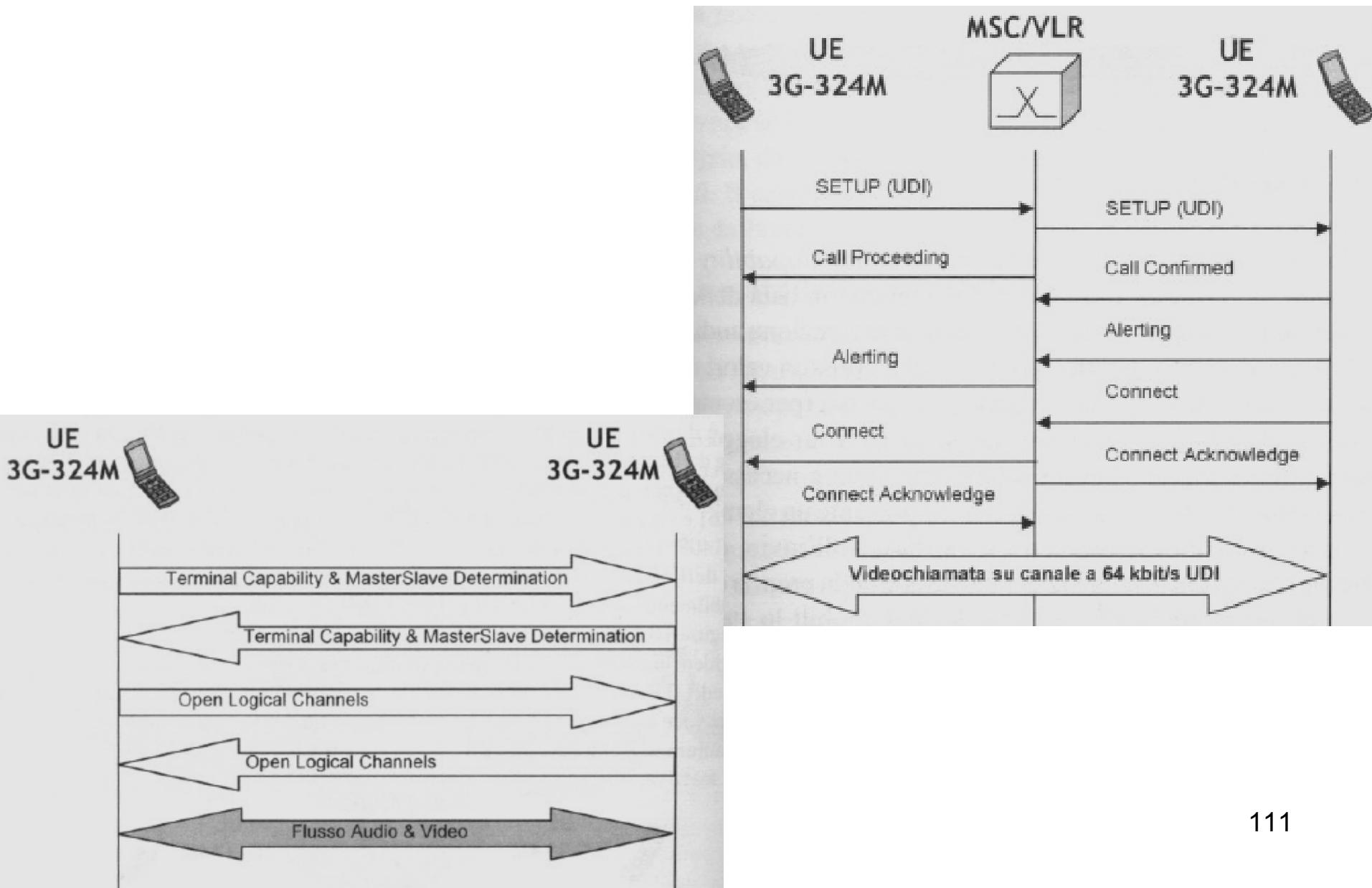
16CIF: 1408x1152 pixels

Instaurazione della videochiamata (architettura).

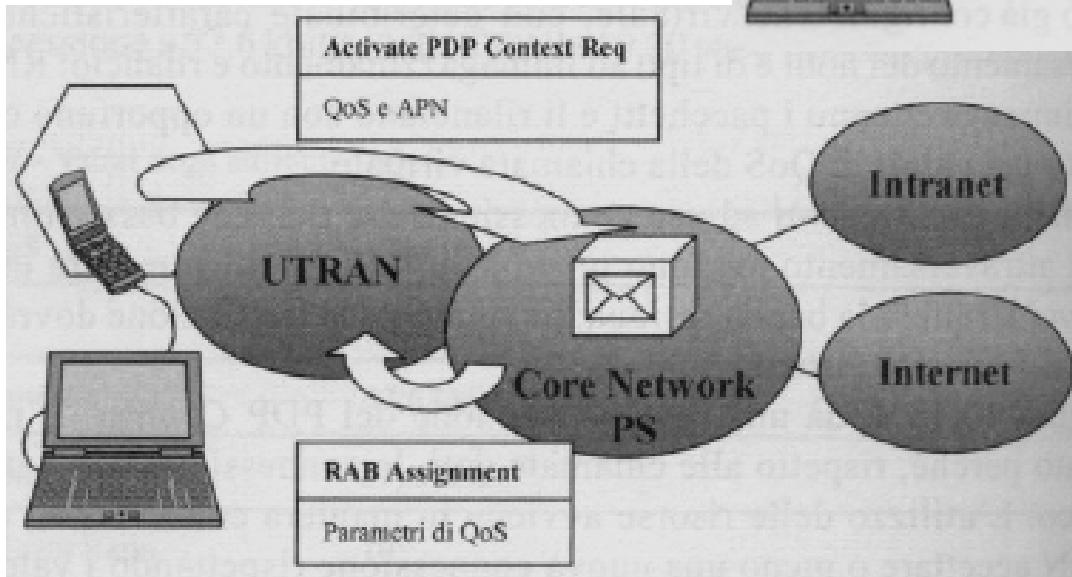
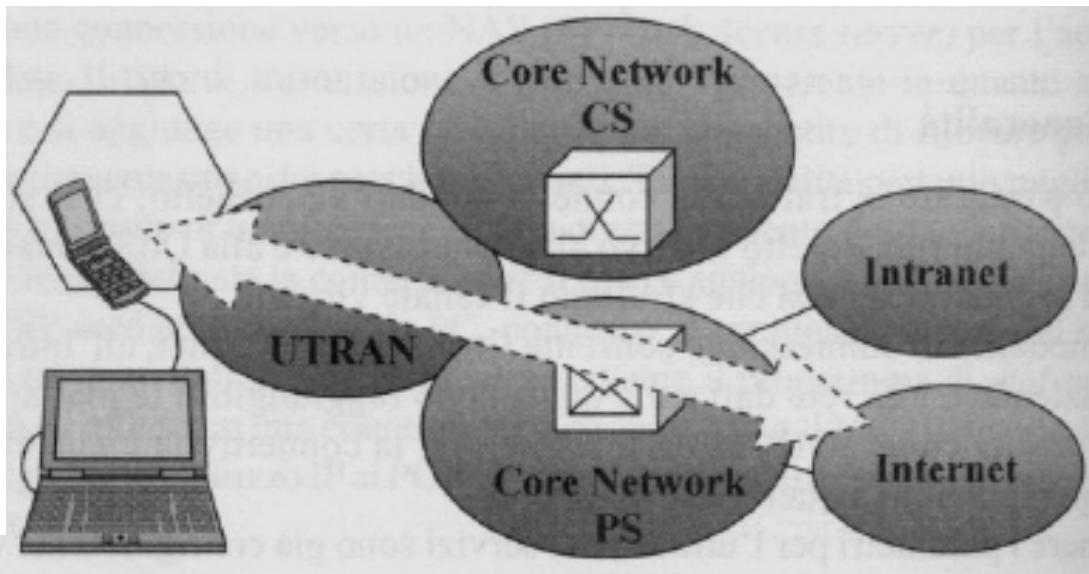


Tipo di Flusso	Codec/Protocolli
Voce	AMR; G.723.1 (Raccomandato)
Video	H.263 video codec; MPEG-4 Simple Profile e H.261 (Opzionali)
Controllo	H.245

Instaurazione della videochiamata (procedure).



La connessione dati a internet.

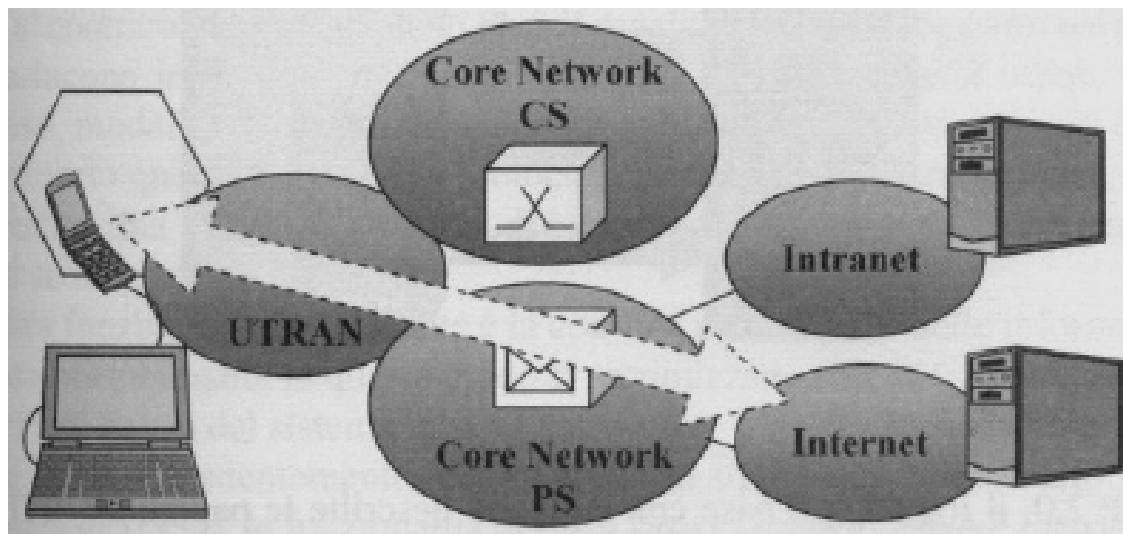
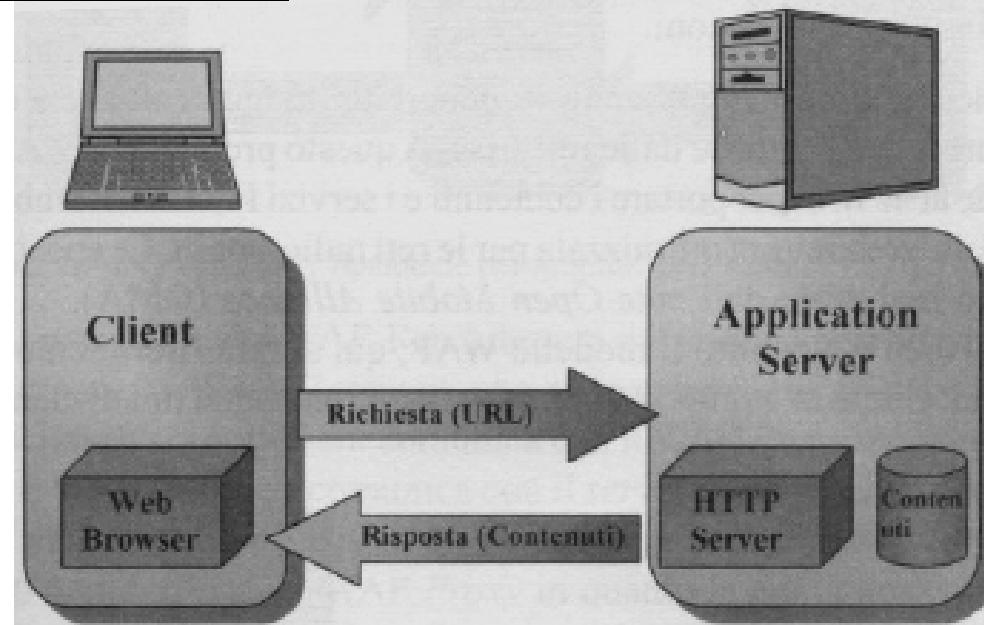


Possibilità di comprimere l'intestazione (header compression) di pacchetti IP per velocizzare la comunicazione a bassi bit rate (es.: VOice Over IP).

La connessione internet World Wide Web (WWW).

Il modello di comunicazione è di tipo *client/server*.

Sussiste la necessità di un adeguato *WEB browser* per videotelefono per visualizzare efficacemente i contenuti delle pagine ipertestuali con il protocollo *http*.

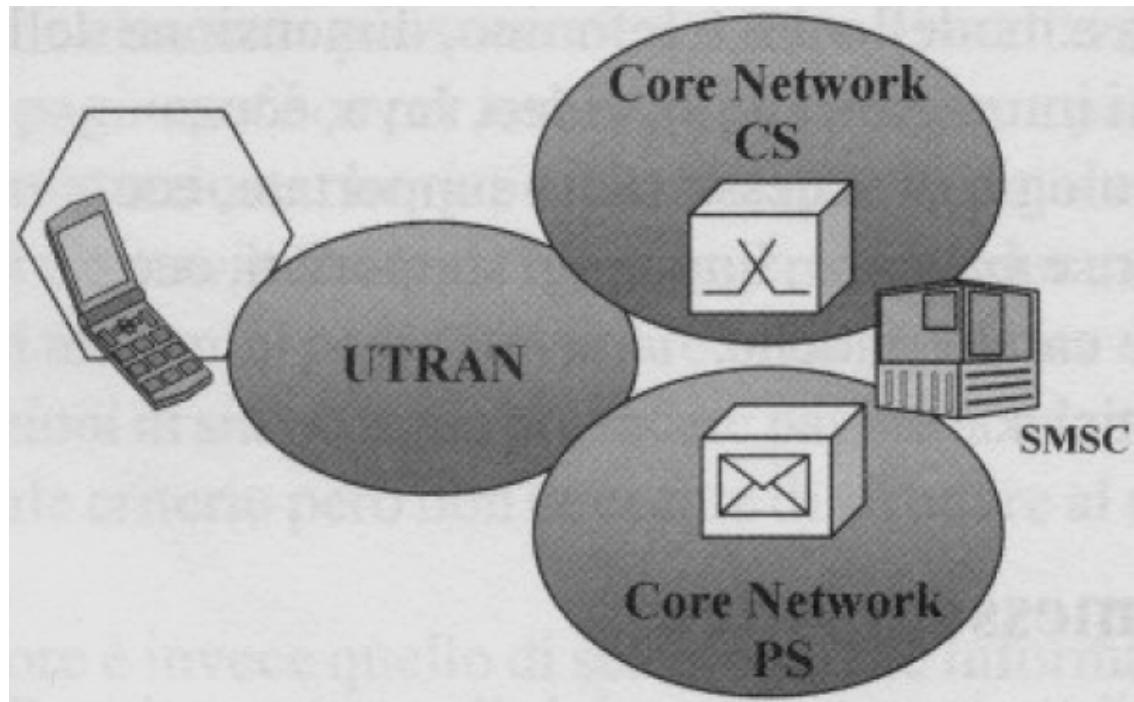


Nelle prime implementazioni era stato previsto un protocollo diverso (WAP) assai più limitato ed essenziale, per processori poco potenti, scarsa memoria locale e piccoli display, oggi superato dai terminali mobili di generazione più recenti.

Servizi di messaggistica (SMS e CBS).

SMS (Short Message Service): stringa di 160 caratteri, eventualmente concatenati, con possibilità di AK di ritorno e periodo di validità per il recapito.

SMSC: SMS center



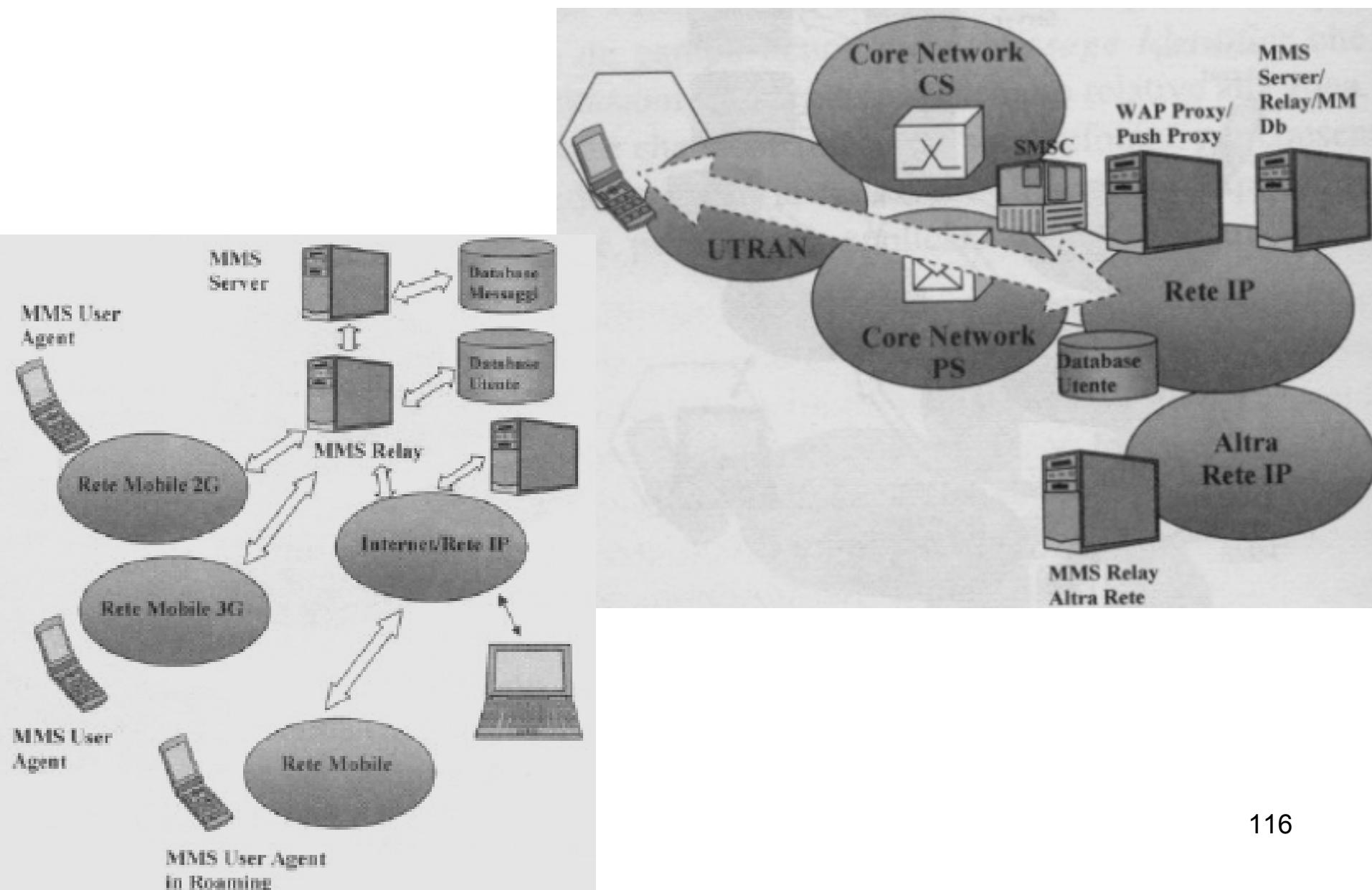
CBS (Cell Broadcast Service): servizio di distribuzione generalizzata di SMS in aree di varia dimensione, dalla cella all'intera rete (es. informazioni di avviso o sicurezza).

Servizio di messaggistica multimediale (MMS): contenuti.

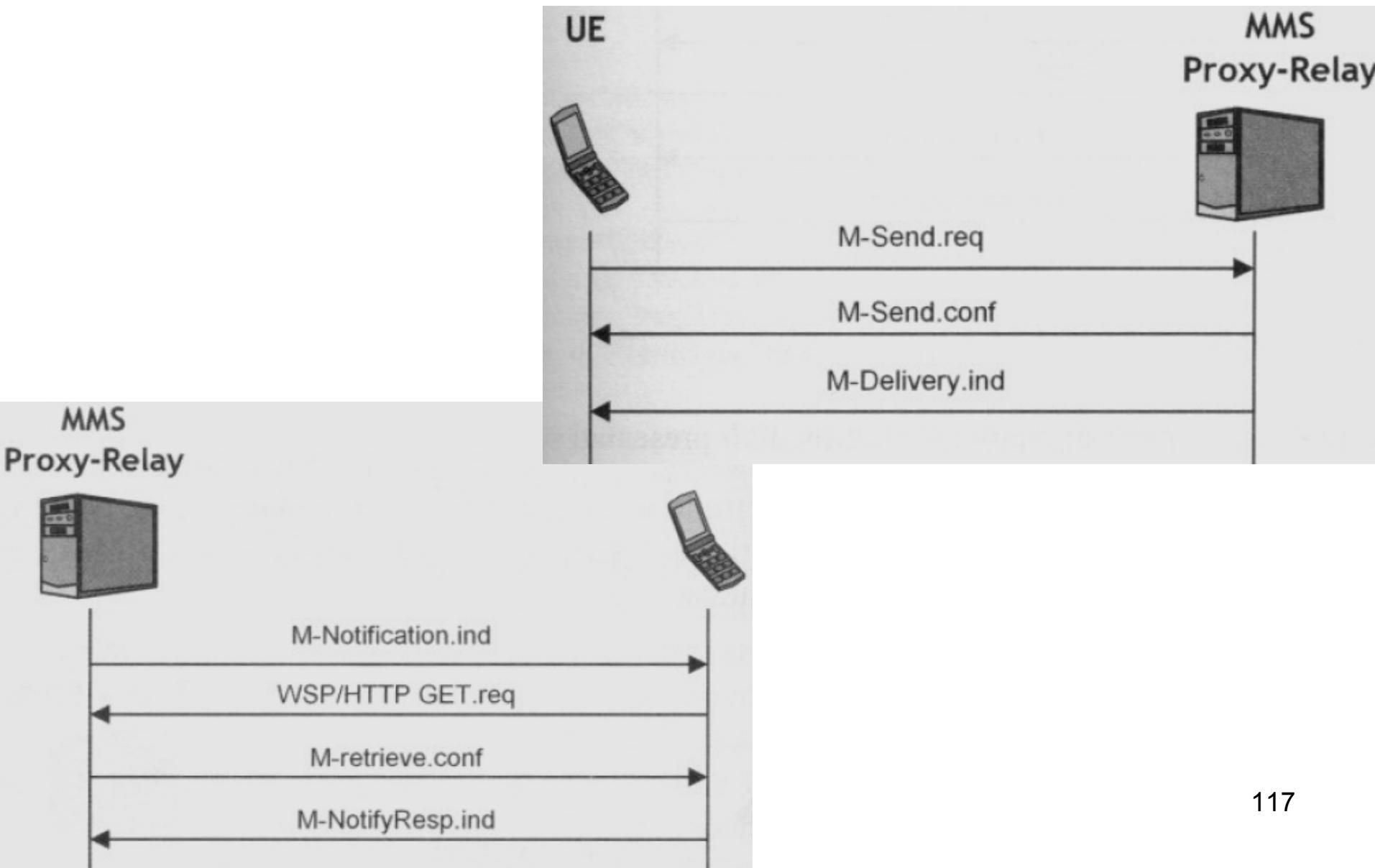
Può essere composto da più files:

- testo (plain text ASCII)
- immagine fotografica JPEG a diversa risoluzione
- immagine sintetica GIF o PNG
- immagine animata sintetica AGIF
- grafica vettoriale scalabile 2D SVG-Basic SVG-Tiny
- video H263 o MPEG-4 a diversa risoluzione
- melodia o suono o voce registrata AMR
- melodia o suono o audio sintetico MIDI
- strumenti di sincronizzazione multimediale SMIL 2.0 Basic Language Profile
- un file di presentazione

Servizio di messaggistica multimediale (MMS): architettura.

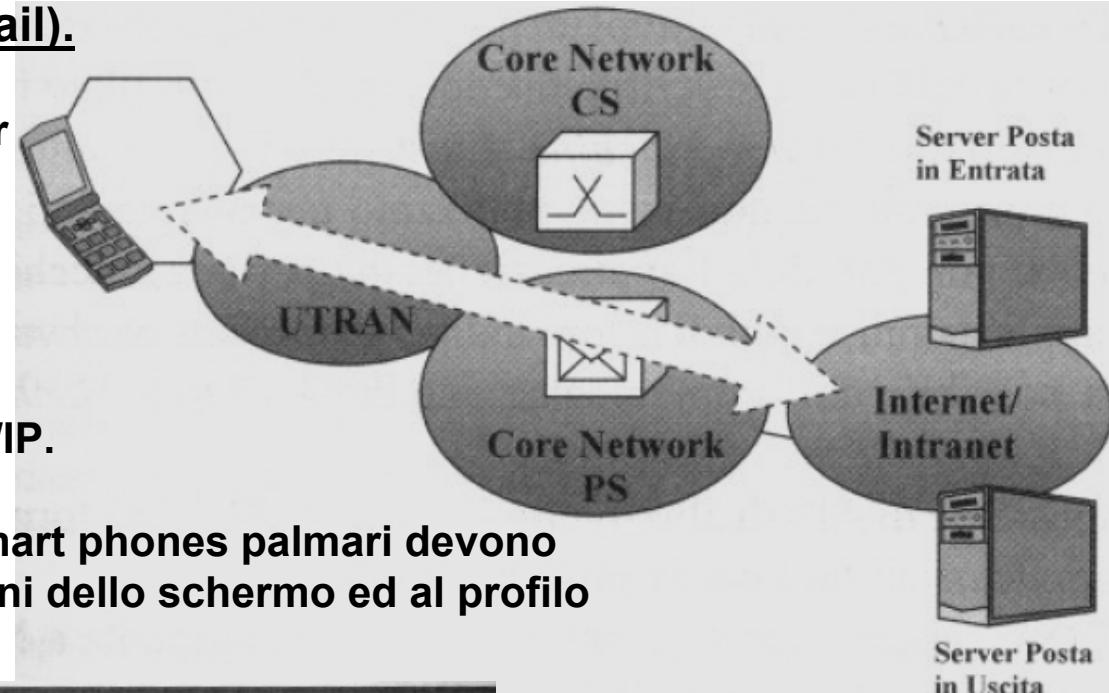


Servizio di messaggistica multimediale (MMS): invio e ricezione.



Servizi di posta elettronica (e-mail).

Oltre a poter utilizzare WEB browser in modalità di navigazione IP, esistono applicativi (e-mail client) che poggiano su protocolli SMTP (per la posta in uscita) e POP3 o IMAP (per la posta in ingresso) che utilizzano lo stack protocollare TCP/IP.

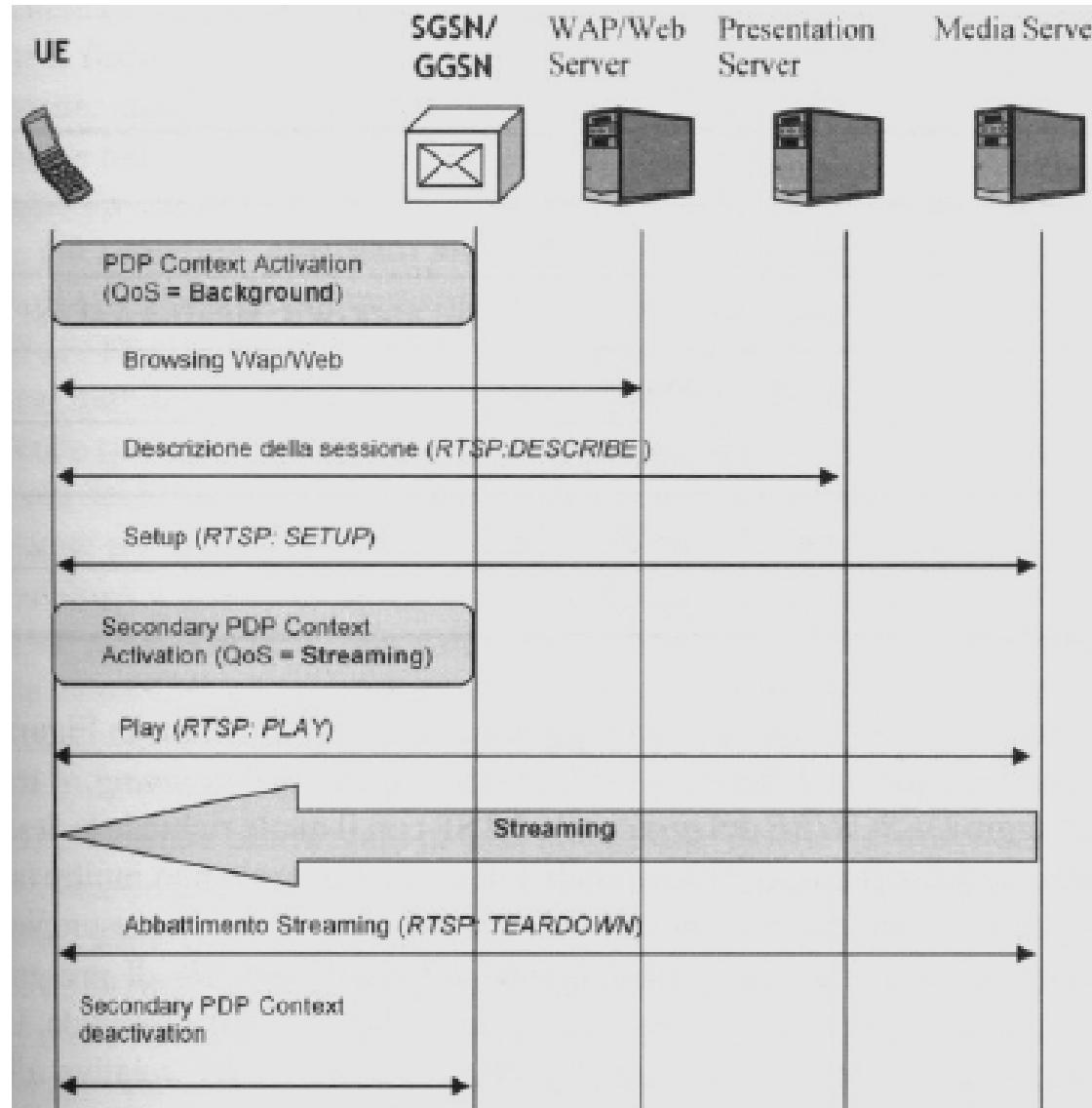


Gli applicativi per videotelefoni e smart phones palmari devono essere adattati alle ridotte dimensioni dello schermo ed al profilo di traffico del cliente.

Parametri	Valore	Applicazione
Server in entrata	server IMAP (porta standard 143)	Email
Username	Nome utente	Email
Password	password	Email
Server in uscita	server SMTP (porta standard 25)	Email
Account	Nome@dominio	Email
Nome utente	Nome che appare come mittente	Email
APN	APN	Connessione IP

Può essere previsto un servizio di push con la possibilità, da parte del mail server, di notifica di arrivo di nuove mails, garantendo una connettività virtualmente continua.

Servizi di streaming multimediale.



**Si utilizza il protocollo RTSP
(Real Time Streaming Protocol).**

Si compone di 5 fasi successive:

- si attiva un **primary PDP context** con limitata QoS e l'utente sceglie via WAP o WEB il filmato da vedere;
- è fornita la descrizione dei files e le operazioni preliminari per l'esecuzione;
- viene attivato un **secondary PDP context** con requisiti di QoS superiori;
- il contenuto multimediale è trasmesso e presentato via IP;
- abbattimento dello **streaming** e chiusura del **secondary PDP context**.

Servizi di multimedia *broadcasting - multicasting (MBMS)*.

Il flusso dati multimediale può essere destinato agli utenti in *broadcast* o *multicast*.

A tale scopo è creato un *Broadcast/Multicast Service Center (BMSC)* che si interfaccia al GGSN ed ai *Content Providers*.

Il servizio è fornito alla *broadcast service area* oppure alla *multicast service area*, in modalità:

- PTP: *point to point*
- PTMP: *point to multipoint* (su ulteriori appositi canali multipunto).

Tipo di flusso	Codec
Voce	AMR e AMR wideband
Audio	Enhanced aacPlus, Extended AMR-WB, MPEG-4 AAC, SP-MIDI
Video	H.263, MPEG-4, H.264
Still Images	ISO/IEC JPEG e JFIF
Bitmap	GIF87a, GIF89a e PNG
Testo	xHTML MP, SMIL

Codecs utilizzati per multimedia streaming and broadcasting/multicasting.

Servizi di localizzazione e posizionamento (1).

Con i location services è possibile ideare ed implementare servizi finalizzati agli utenti sulla base della regione, città, area o addirittura edificio ove il cliente si trova (es.: ricerca del ristorante o della farmacia più vicina, gestione di taxi o mezzi di trasporto collettivi, ecc.).

Il servizio di localizzazione si basa su misure radio sul mobile effettuate dalla *rete di accesso* (UTRAN) e su successive elaborazioni numeriche che forniscono una stima della posizione del mobile (nonché della sua velocità ed, in senso statistico, dei suoi spostamenti tipici).

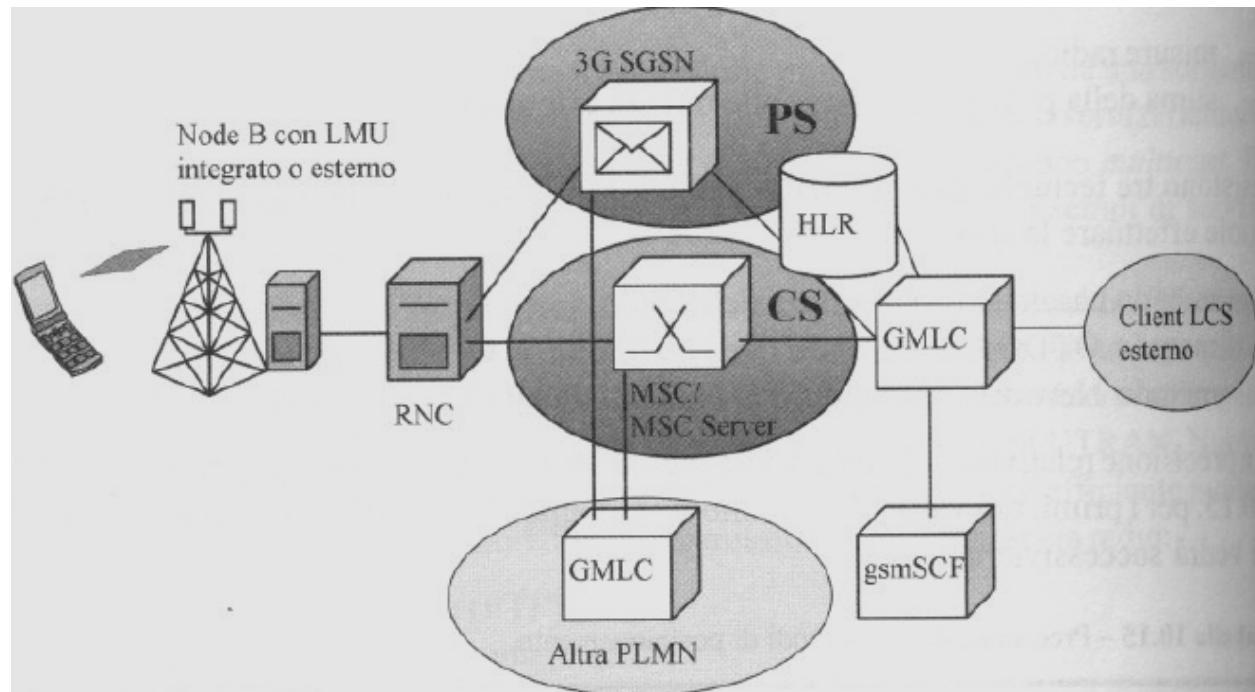
Esistono 3 metodi per effettuare la stima di posizione, in funzione della precisione che si intende raggiungere:

- metodo basato sulla *copertura di cella* (o *celle* nel *soft handover*);
- metodo OTDOA (*Observed Time Difference Of Arrival*);
- metodo *Network Assisted GPS* (*Global Positioning Service*).

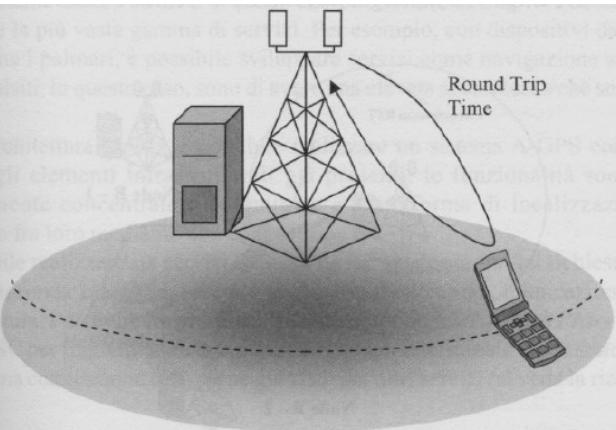
Metodo	Precisione
Copertura della cella	100 m - 5 km
OTDOA	100 m - 500 m
A-GPS	5 m - 50 m (dà anche l'altezza)

Servizi di localizzazione e posizionamento (2).

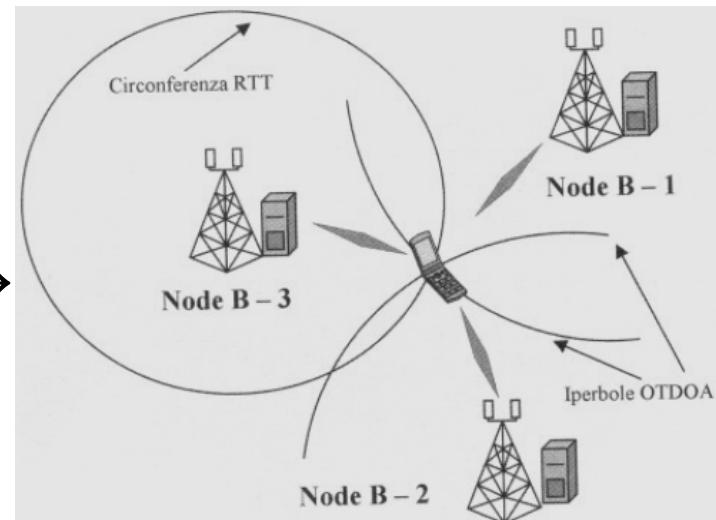
**Architettura del
localization service. →**



**Metodo basato sulla
copertura di cella. ↓**



Metodo OTDOA. →



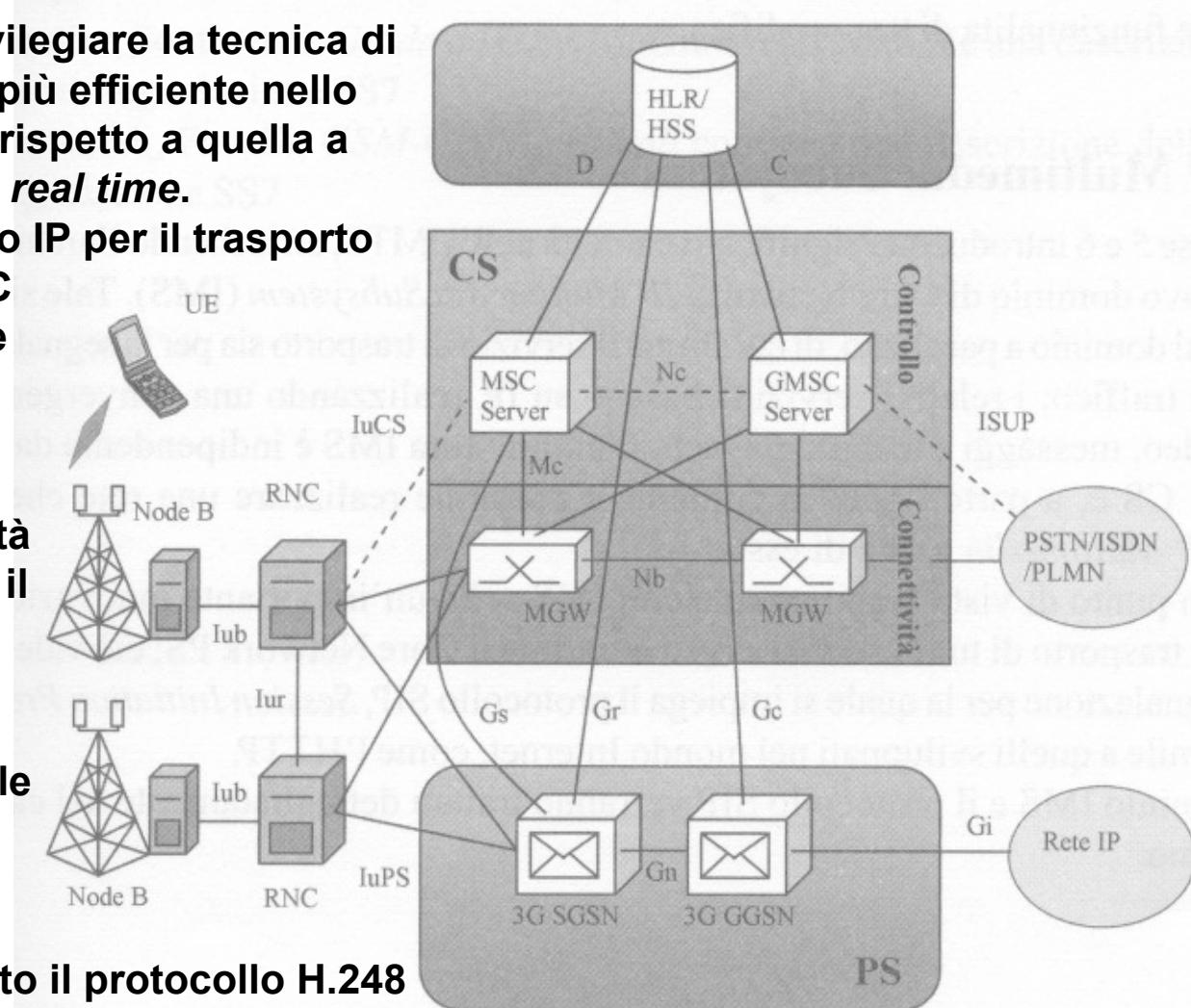
Modifiche all'Architettura UMTS di Release 4.

In Release 4 si cerca di privilegiare la tecnica di trasferimento a pacchetto (più efficiente nello sfruttamento delle risorse) rispetto a quella a circuito, persino nei servizi *real time*.

La Release 4 impiega ATM o IP per il trasporto dei servizi a circuito. L'MSC (Mobile Switching Centre) è suddiviso in due elementi: l'MSC server ed il MGW (Media GateWay).

Il server MSG ha funzionalità di gestione della mobilità e il controllo della chiamata. L'MGW ha funzionalità di connettività e trasporto, implementando anche quelle di transcodifica tra reti mobili e fisse.

Tra server MSC (o server GMSC) ed il MGW è utilizzato il protocollo H.248 (MEGACO), mentre il protocollo BICC (Bearer Independent Call Control) è suggerito tra server MSC e server GMSC.



L' *IP multimedia subsystem (IMS)* nelle Releases 5 e 6.

Le Release 5 e 6 introducono significativi arricchimenti dello standard UMTS, prevedendo un nuovo dominio del Core Network: l' *IP multimedia subsystem (IMS)*.

Il sistema poggia sul dominio a pacchetto ed i servizi relativi viaggiano su IP, realizzando una convergenza tra voce, video, messaggi, streaming e tecnologia WEB.

L'architettura IMS è indipendente dal resto del Core Network a circuito, a parte i nodi in comune, mentre il trasporto di tutti i servizi avviene mediante il Core Network a pacchetto.

Ovviamente, l'architettura IMS coesisterà anche in futuro con l'architettura PS ed, anche, con quella CS. La nuova implementazione è infatti discrezionale per gli operatori che potranno decidere di non avvalersi (o avvalersi solo successivamente) dell'architettura IMS.

Naturalmente, utilizzare infrastrutture uniche comporta per l'operatore un risparmio nei costi di realizzazione e di gestione.

Architettura di base dell'IMS.

RAN: Radio Access Network

SGSN: Serving GPRS Support Node

GGSN: Gateway GPRS Support Node

IM-MGW: IP Multimedia - Media Gateway Function

MRFP: Media Resource Function Processor

HSS: Home Subscriber Service

MRFC: Media Resource Function Controller

MGCF: Media Gateway Control Function

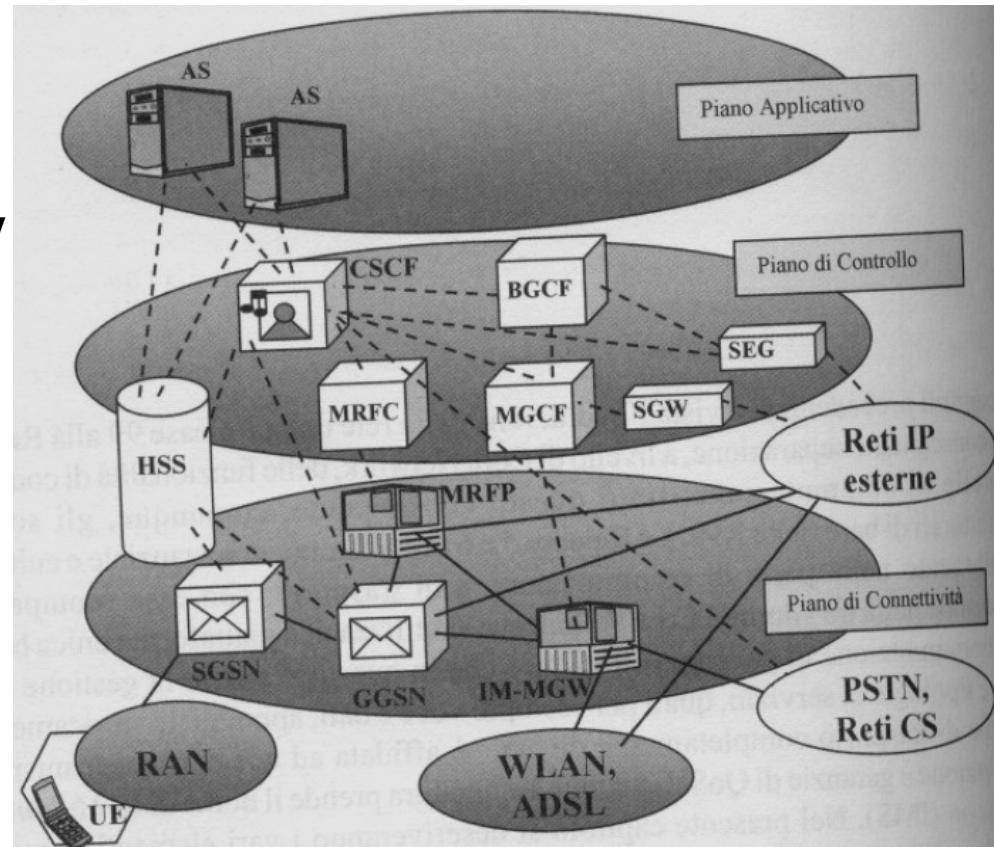
SGW: Signalling Gateway Function

SEG: Security Gateway

BGCF: Breakout Gateway Control Function

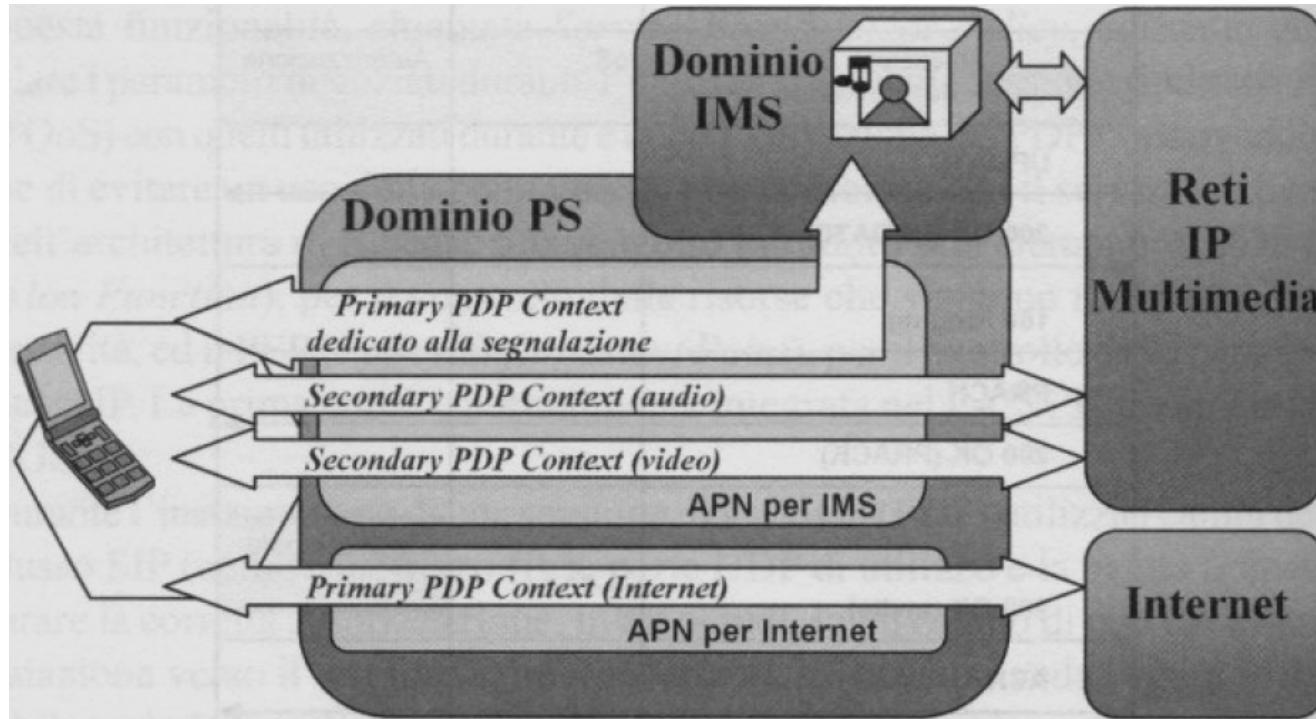
CSCF: Call Session Control Function

AS: Application Server



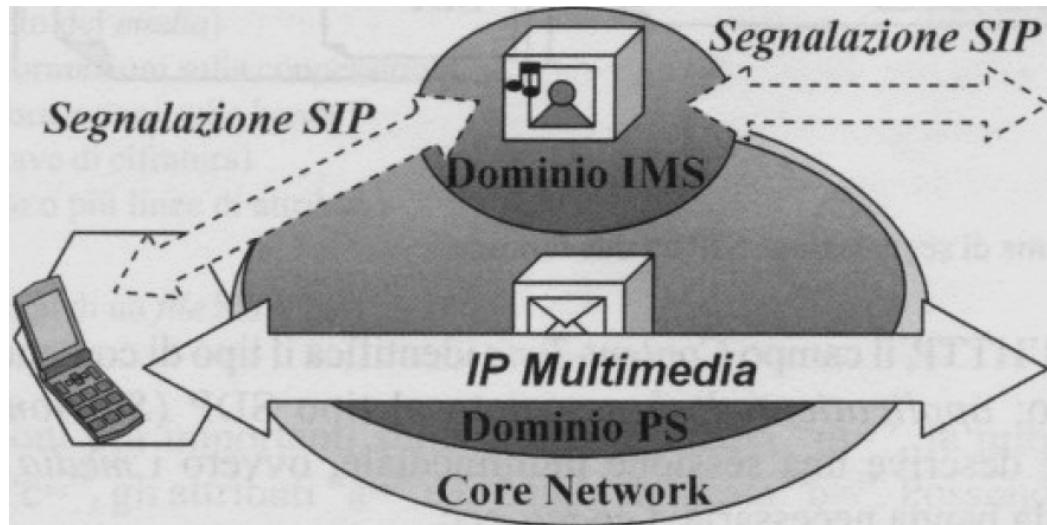
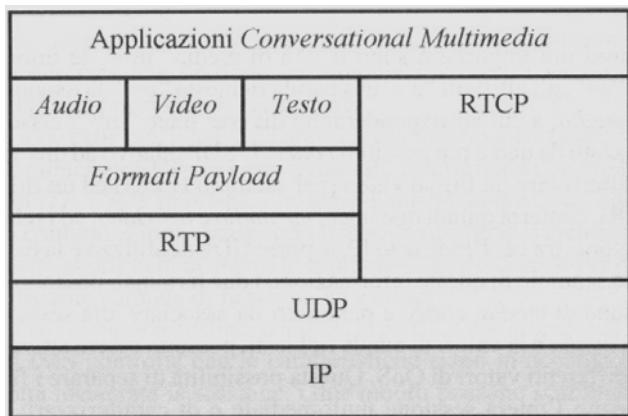
Nella figura sono omesse le interfacce che collegano i moduli operativi tra loro e con le reti "esterne", quali reti PSTN, WLAN, ADSL, altre mobili non IMS (CS e PS), reti IP.

Sessioni IP multimediali.



Il servizio multimediale si può basare su più sessioni parallele di PDP context con contenuti differenti, tutte basate su IMS, oltre ad un accesso diretto ad internet per browsing e navigazione.

Servizi IP multimediali.



In particolare, per la segnalazione è impiegato il protocollo SIP (*Session Initiation Protocol*) assai simile al mondo internet (*http*).

Il trasporto dei pacchetti dati è affidato al protocollo RTP (Real-Time Transport Protocol) che poggia solitamente su UDP (per i diversi requisiti di servizio, quali tempi di consegna end-to-end ridotti ed a bassa variabilità non è adatto l'uso di TCP).

Il protocollo RTCP (Real-Time Transport Control Protocol) fornisce un feedback dal client al server riguardo il numero di pacchetti persi, i ritardi e le variazioni nella velocità di arrivo dei pacchetti.

Nelle applicazioni di *streaming*, il protocollo RTSP (Real-Time Transport Streaming Protocol) controlla invece il flusso dei dati audio o video, trasportati sempre con l'RTP.