

Reti radiomobili cellulari. GSM

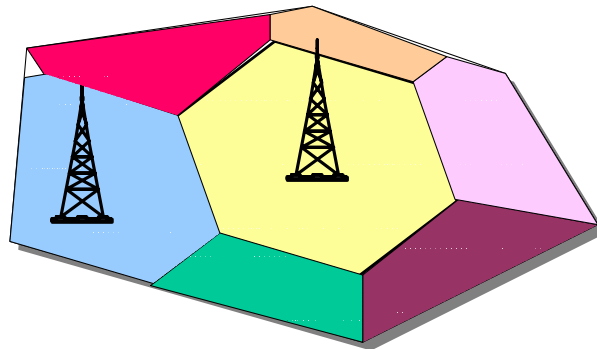
Gruppo Reti TLC

giancarlo.pirani@telecomitalia.it

<http://www.telematica.polito.it/>

Sistemi radiomobili cellulari

- La copertura del territorio è effettuata attraverso una molteplicità di ricetrasmettitori i quali illuminano zone contigue del territorio realizzando una continuità di servizio



GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

GSM - 2

IL GSM (Global System Mobile) è un sistema di comunicazione mobile **cellulare** in quanto la copertura del territorio è effettuata attraverso l'illuminazione frequenziale di zone contigue del territorio dette **celle**.

A una comunicazione il sistema assegna (in modo dinamico) sia una determinata banda di frequenza sia (all'interno di questa banda) uno slot temporale.

Copertura radio di un'area geografica

- A celle differenti la figura assegna differenti colori.
- Ogni cella è *generata* da una specifica antenna.
- La forma della cella dipende dalla potenza emessa dall'antenna, dal suo guadagno e dal suo orientamento rispetto alla morfologia del territorio.
- In merito ai modelli di propagazione, occorre distinguere tra *macrocelle* e *microcelle*.



GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

GSM - 3

Quella indicata in figura è la tipica copertura radio di una data area geografica. La zona è coperta (nel senso che il servizio è garantito in ogni suo punto) attraverso componenti elementari di copertura detti *celle*.

A celle differenti la figura assegna differenti colori. Ogni cella è *generata* da una specifica antenna. In ogni cella, il livello di segnale radio generato dalla relativa antenna è sufficientemente elevato da garantire che il canale diffusivo (*broadcast*) di cella sia ricevuto correttamente da tutti i mobili che in un dato istante si trovano *coperti* dall'antenna stessa (questa è un'affermazione un po' più precisa di quella formulata precedentemente).

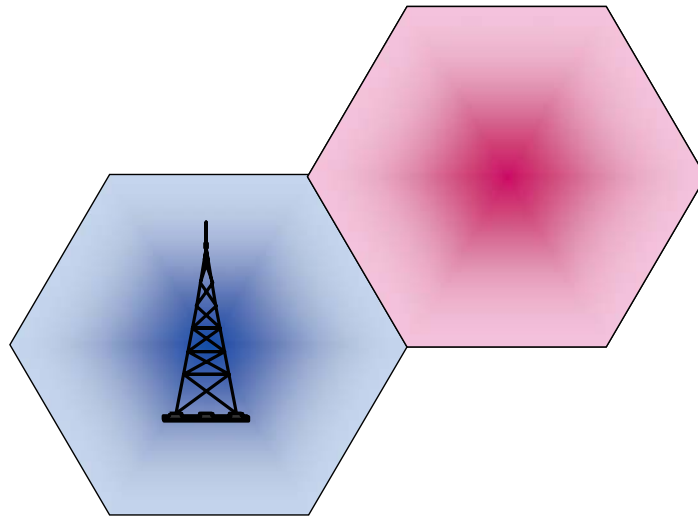
La forma della cella dipende dalla potenza emessa dall'antenna, dal suo guadagno e dal suo orientamento rispetto alla morfologia del territorio (o, nelle zone urbane, dall'altezza degli edifici e dalla loro forma). In funzione di queste caratteristiche è possibile valutare l'intensità del campo elettromagnetico attraverso opportuni modelli empirici.

In merito ai modelli di propagazione, occorre distinguere tra *macrocelle* e *microcelle*. Per una copertura macrocellulare come quella rappresentata in figura, le caratteristiche del territorio sono normalmente rilevate dal satellite o da misurazioni aerofotogrammetriche. Entrambi i metodi forniscono caratteristiche territoriali quali:

- L'estensione delle aree urbane
- Le porzioni seminative
- Le aree di bosco fitto
- Le aree di bosco a macchie
- Le aree rocciose e montane.....

Per una copertura macrocellulare i modelli propagativi poggiano su considerazioni di natura statistica. La condizione di *non sovrapposizione* tra le celle esplicitamente assunta nella figura implica che ogni elemento geografico della stessa sia assegnato alla antenna (colore) che in quel punto genera il valore massimo di campo.

Copertura cellulare

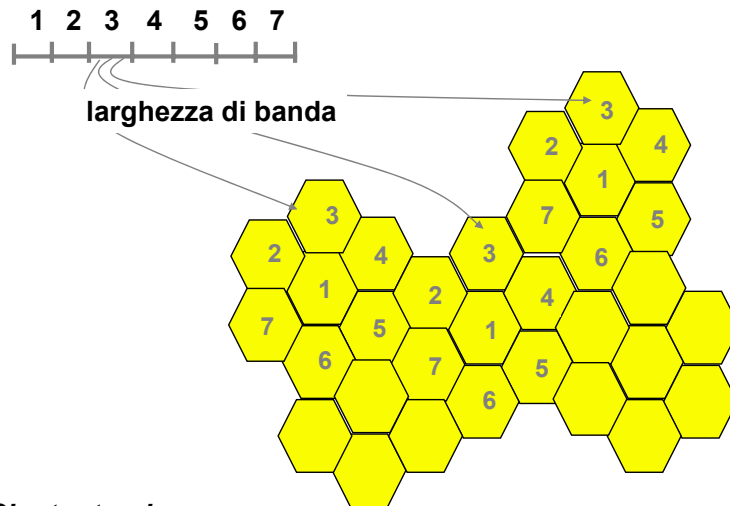


GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

GSM - 4

Il segnale generato da un rice-trasmettitore in una cella non rimane confinato a quella cella ma si propaga anche alle celle adiacenti. Questo significa che è necessario prevedere un piano di attribuzione delle frequenze che preveda la possibilità di riutilizzare una frequenza in una cella sufficientemente distante per evitare l'interferenza tra due comunicazioni diverse.

Sistema cellulare – Riutilizzo delle frequenze



Cluster teorico

GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

GSM - 5

Per descrivere le funzioni radio e di rete, il profilo vero della cella è spesso inessenziale. L'introduzione di alcuni elementi concettuali che hanno a che fare con la banda assegnata e con il suo uso nella rete cellulare può trarre giovamento (in termini di chiarezza e generalità) da una rappresentazione regolare della copertura: quella indicata in figura (l'esagono è normalmente scelto come figura geometrica più vicina al cerchio in grado al contempo di ricoprire il piano con completezza).

I sistemi cellulari sono basati sul concetto di riutilizzo frequenziale. La frequenza (che per ora vediamo come un insieme di canali radio) usata in una cella è *riusata* in un'altra cella, così *distante* dalla prima per cui si possa assumere che il livello di interferenza tra le due celle stia al di sotto di una data soglia. Grazie alla regolarità introdotta dagli *esagoni*, tale riutilizzo può essere rappresentato secondo una chiara topologia.

Il *cluster* (gruppo, grappolo) rappresenta l'insieme delle celle su cui viene *spalmata* la banda disponibile in funzione dei vincoli interferenziali. Più stringenti sono tali vincoli, più *sottile* risulta la *spalmatura* (il numero di frequenze assegnate alla singola cella). Lo schema del *cluster* viene ripetuto inalterato di gruppo in gruppo, indefinitamente.

Gli elementi da cui dipende il riutilizzo frequenziale (con esso la distanza di riutilizzo cioè la distanza tra celle che usano la stessa frequenza) sono:

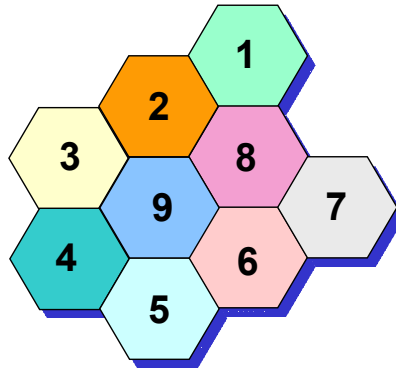
- la robustezza del sistema all'interferenza (rispetto ai vincoli interferenziali)
- la potenza di emissione delle antenne ed il loro orientamento
- la selettività dei filtri in ricezione

Il concetto di *cluster* ha significato prettamente didattico. Si vedrà come nella realtà esso può essere usato soltanto in termini di numero medio dei raggruppamenti di celle che nel loro insieme esauriscono la banda disponibile. D'altronde, l'irregolarità stessa della copertura reale rende arduo l'uso di questa schematizzazione.

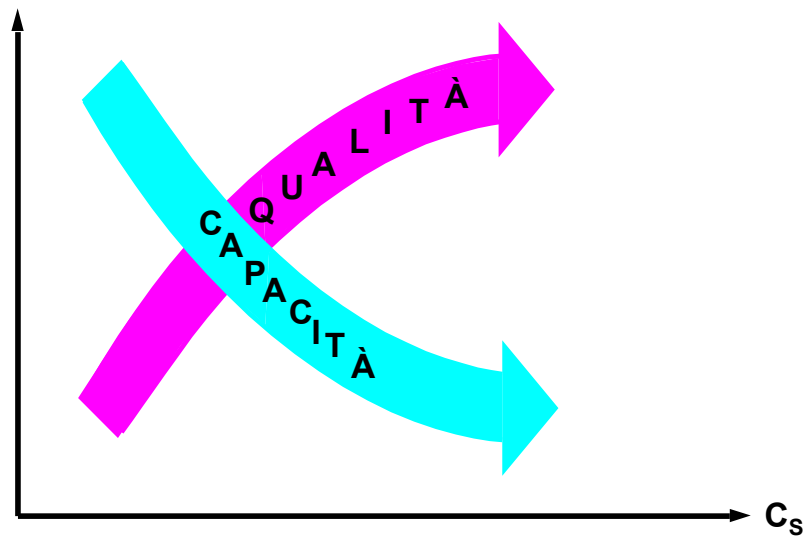
Il cluster

- Le frequenze possono essere riutilizzate a distanza tale da generare interferenze tollerabili
- L'insieme completo di celle che utilizzano tutte le frequenze disponibili è detta *cluster*

*Esempio di cluster
a 9 celle*



Scelta delle dimensioni del cluster



GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

GSM - 7

La possibilità di riusare le frequenze risolve il problema fondamentale della comunicazione mobile: restituisce una disponibilità di canali radio pressoché illimitata sulla zona di servizio, nonostante la scarsità di banda a cui i mobili sono soggetti.

D'altro lato, le stesse potenzialità che il riuso dispiega, devono essere *pagate* in qualche modo. Per ora è sufficiente affermare che la separazione della copertura in celle (condizione necessaria per il meccanismo di riuso) impone di risolvere due classi di problemi sconosciuti alle reti di telecomunicazione fisse:

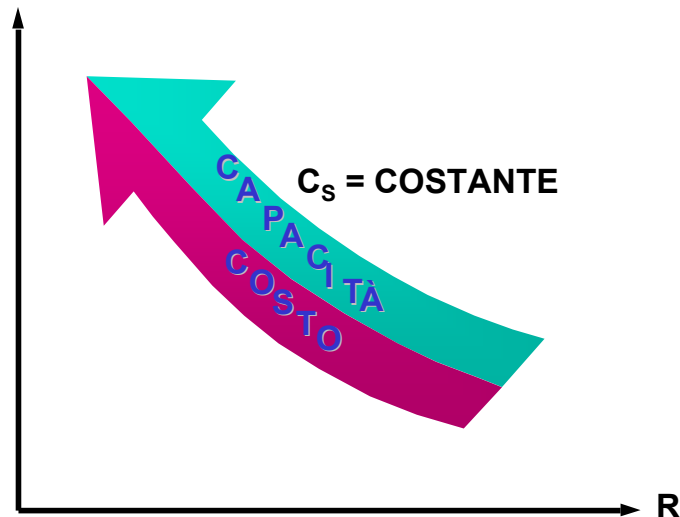
- il mantenimento della continuità di connessione nel momento in cui il mobile tagli il confine tra due celle contigue
- il tracciamento dei movimenti del mobile attraverso la rete.

Ora, tornando al meccanismo di riuso, si può notare che, assegnata una data banda, la dimensione del *cluster* è una misura dell'efficienza con cui le frequenze vengono riusate. Infatti, con dimensioni di cella costanti, la densità di canali radio disponibili (per Km^2) è tanto maggiore quanto minore è la dimensione del *cluster*.

D'altronde, (a parità di tutte le caratteristiche radio) *cluster* di grandi dimensioni implicano una miglior qualità in quanto si riduce il livello di interferenza tra celle.

Come detto, la dimensione del *cluster* dipende della tecnica trasmissiva adottata.

Scelta delle dimensioni della cella



GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

GSM - 8

L'altro elemento chiave che determina il livello di utilizzazione della banda sulla copertura radio è la dimensione di cella, che può essere rappresentata dal raggio (medio) della stessa.

Con una banda assegnata (numero complessivo di canali radio) ed assumendo una data dimensione di *cluster* C_s , la capacità del sistema (numero di canali radio per Km^2) aumenta quando il raggio di cella diminuisce.

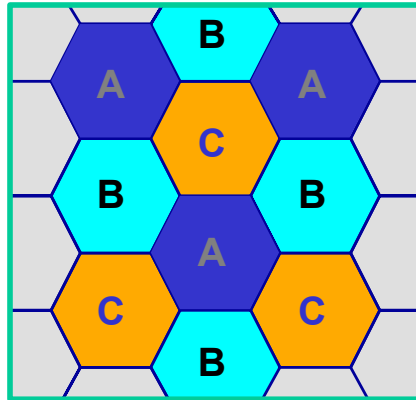
Ridurre il raggio medio di cella significa ridurre la potenza di emissione dell'antenna ed aumentare la densità media delle stesse antenne sul territorio, il che comporta costi crescenti della rete cellulare.

Questo concetto spiega il perché nei contesti urbani sia necessaria un'alta densità di antenne (elevato traffico, elevate densità di canali per Km^2). Al contrario, nelle zone rurali è necessaria una densità di antenne molto minore.

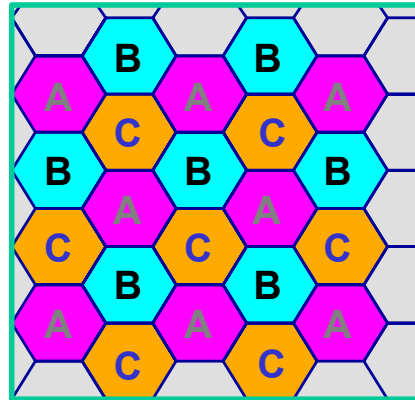
Quindi la dimensione di cella diventa un parametro fondamentale per il dimensionamento delle reti mobili.

Con dimensioni di *cluster* costanti, la riduzione delle dimensioni di cella ed una adeguata riduzione delle potenze di emissione, consentono (entro certi limiti) di utilizzare lo stesso schema topologico spiegato in precedenza.

Dimensione della cella



a)



b)

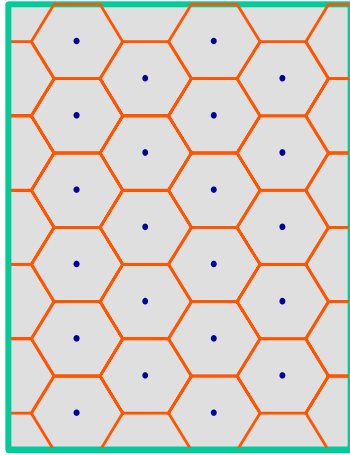
GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

GSM - 9

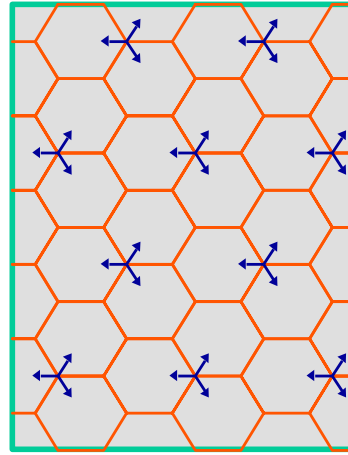
La figura illustra il concetto. I casi a) e b) riflettono due differenti condizioni operative, probabilmente condizionate a due differenti condizioni di traffico. Si noti che i due casi utilizzano la stessa dimensione di *cluster*: sono garantite le stesse condizioni di interferenza e quindi la stessa topologia di riuso frequenziale.

Come detto, questi schemi hanno solamente un significato didattico: la reale situazione di copertura implica che si considerino le reali condizioni di interferenza che rispondono a meccanismi molto più complessi di quelli geometrici.

Soluzioni di antenna per la copertura delle celle



a)



b)

GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

GSM - 10

A proposito dei siti di antenna e della loro configurazione, si possono usare varie soluzioni, anche in funzione della disponibilità fisica di posizioni adeguate e dei requisiti di copertura.

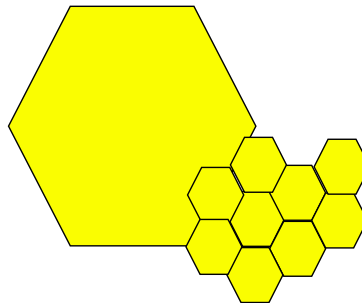
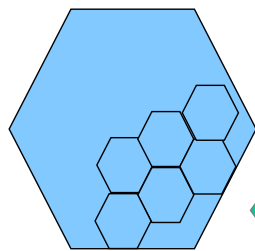
La copertura può essere garantita da antenne omnidirezionali ovvero da antenne settoriali (ad esempio a 120°). L'ultima soluzione riduce il numero di siti necessari portando in generale a minori costi di rete.

La scelta delle soluzioni d'antenna e la relativa allocazione dei siti è una delle variabili da considerare per ottimizzare la rete sotto il vincolo di assegnate condizioni di traffico.

Pianificazione della dimensione e del layout delle celle

una questione di requisiti canali/Km² (restrizioni di traffico)

messa a punto della
dimensione della
cella su un singolo
livello



adozione di soluzioni di copertura
con sovrapposizione (celle ombrello)



GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

GSM - 11

Come abbiamo visto, le dimensioni di cella possono essere regolate in modo da soddisfare (entro certi limiti) le esigenze di traffico.

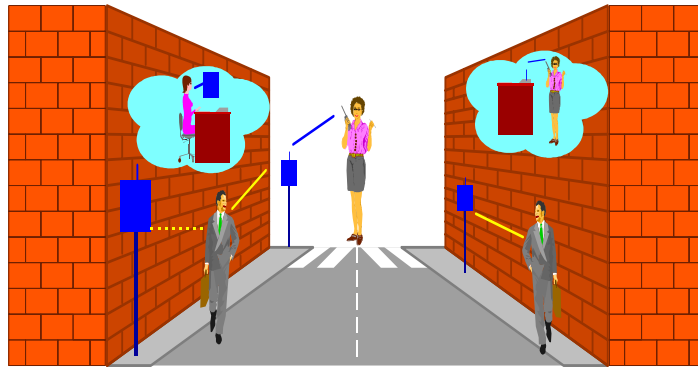
Il numero di terminali mobili presente in una data cella è per sua natura una variabile aleatoria. Di più: si tratta di una variabile aleatoria non stazionaria (il suo valore medio varia nel tempo). Per questa ed altre ragioni di minor importanza, può risultare conveniente adottare una copertura cellulare basata su celle sovrapposte.

La cella di raggio maggiore, detta *ad ombrello*, assorbe il traffico di trabocco derivante dalle celle sottostanti o, addirittura, il traffico generato dai mobili caratterizzati da elevata velocità (si riduce in tal modo la frequenza di cambi di canale - *handover* - generata dai cambi di cella).

Una copertura a più livelli può quindi soddisfare esigenze di natura diversa:

- ottimizzazione della copertura radio
- riduzione della frequenza di *handover*
- completamento della copertura (estensione della stessa in zone non coperte dalle celle di dimensione limitata).

Contesto microcellulare nuove condizioni per la propagazione



GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

GSM - 12

Finora si è considerato il caso di copertura macrocellulare, dove i modelli di propagazione possono considerare l'impatto degli ostacoli radio in termini statistici ed empirici.

Questi modelli si applicano generalmente ad antenne posizionate molto più in alto del livello degli ostacoli radio (ad esempio i tetti delle case).

In molti casi, a causa degli stringenti requisiti di traffico, il raggio di cella deve essere ridotto drasticamente ed il solo modo è introdurre antenne a bassa potenza che sono normalmente posizionate al di sotto degli ostacoli radio (i tetti degli edifici).

Questa viene detta configurazione microcellulare. Ogni cella qui copre una porzione minima di territorio (un segmento di strada, una piazza). La copertura microcellulare è normalmente completata da una copertura macrocellulare.

I modelli di propagazione usati per le coperture microcellulari sono strettamente dipendenti dalla configurazione degli ostacoli radio esistenti nelle immediate vicinanze dell'antenna. Si usano modelli geometrici che considerano i raggi diretti e quelli che derivano da fenomeni di riflessione e diffrazione.

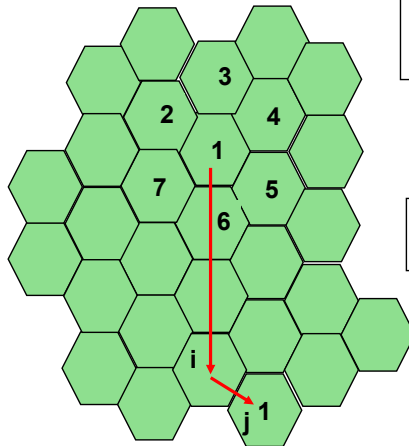
La morfologia urbana deve essere nota a livelli molto spinti di dettaglio (ad esempio con risoluzione ad 1m): ciò implica costi elevati per l'acquisizione e l'immagazzinamento dei dati.

Obiettivi

- **qualità della trasmissione**
(copertura, prestazioni trasmissive...)
- **accessibilità (disponibilità di risorse)**
 - il riuso di frequenza produce un incremento del livello di interferenza
 - per aumentare la capacità occorre incrementare il numero delle BS, riducendo le potenze emesse con copertura più capillare e migliore qualità del collegamento
- **il parametro fondamentale per la caratterizzazione delle prestazioni è il rapporto**

$$\frac{C}{I} = \frac{\text{Potenza del segnale utile}}{\text{Potenza del segnale interferente}}$$

La topologia del cluster



Gli assi possono definire la distanza di riuso (la distanza tra celle "co-coanale")

Numero di celle che appartengono al cluster

$$M = i^2 + j^2 + ij$$

GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

GSM - 14

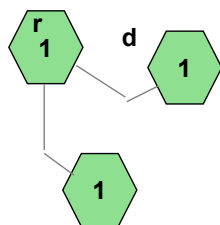
Il comportamento interferenziale che ispira l'assegnazione delle frequenze alle celle è, in effetti, molto più complesso rispetto a quello fin qui descritto. Si vedrà nel capitolo dedicato alla pianificazione, come esso agisce e come debba essere considerato per progettare una rete radiomobile. Tuttavia, anche solo in funzione di quanto elaborato finora è possibile trarre alcune deduzioni utili a comprenderne meglio i meccanismi.

Innanzitutto, l'allocazione frequenziale è fatta sulla base del valore minimo che un parametro di qualità deve assumere. Si tratta del rapporto C/I (*Carrier* – in italiano "portante" - su *Interference* – in italiano "Interferenza") che esprime il livello di qualità del sistema. Quasi sempre il rapporto C/I viene espresso in dB:

$$[C/I](dB) = 10 \log_{10}(C/I)$$

Il $(C/I)_{\min}$ di riferimento dipende dal tipo di modulazione e da altre caratteristiche radio del sistema stesso. Ad esempio per i sistemi analogici, il $(C/I)_{\min}$ deve valere intorno ai 16-18dB mentre per il GSM è sufficiente che assuma un valore intorno ai 9-10dB.

Rapporto tra la potenza della portante e quella dell'interferenza



$$P_R(C) = \frac{P_T(C) \cdot G(m) \cdot G(B_m)}{r^\alpha} \cdot \left(\frac{\lambda}{4\pi}\right)^2$$

$$P_R(I_i) = \frac{P_T(B_i) \cdot G(m) \cdot G(B_i)}{d^\alpha} \cdot \left(\frac{\lambda}{4\pi}\right)^2$$

$$C/I = \frac{P_R(C)}{\sum_i P_R(I_i)} = \frac{1}{6} \cdot \left(\frac{d}{r}\right)^\alpha$$

condizioni uniformi e selezione delle (6) stazioni "co-canale" più vicine

$(C/I)_{\min}$ usato per valutare le dimensioni M del cluster

$$\frac{d}{r} = \sqrt[3]{3M} = \left[6 \cdot \left(\frac{C}{I}\right)_{\min} \right]^{\frac{1}{\alpha}}$$

GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

GSM - 15

Una prima valutazione dell'effetto interferenziale può utilizzare la geometria delle celle come indicato in figura. Si fa riferimento ad un sistema di assi cartesiani che può rappresentare la distanza di riuso intesa come la distanza tra due celle che usano la stessa frequenza (o lo stesso insieme di frequenze). Attraverso tale metodo è possibile descrivere un numero limitato di *cluster*, essendo i e j interi (dimensione del cluster). M può assumere i valori 1, 3, 4, 7, 9, 12, 13,.... Si può dimostrare che la distanza d tra i centri di due celle cocanale, riferita al raggio r di cella (il raggio del cerchio che circonda l'esagono) vale:

$d/r = \sqrt[3]{3M}$
 d/r è quindi legato alle dimensioni del *cluster*.

I parametri indicati nelle formule hanno il significato:

- $P_R(.)$ potenza ricevuta dal terminale mobile m
- $P_T(.)$ potenza trasmessa dalla stazione:
 - di riferimento per m : $P_T(C)$
 - interferente cocanale i : $P_T(I_i)$
- $G(m)$; $G(B_m)$; $G(B_i)$ i guadagni in ricezione dell'antenna di m ; in trasmissione delle antenne della stazione base di m e della stazione cocanale i rispettivamente
- α coefficiente di propagazione

Ne risulta, dato il valore minimo accettabile di C/I , la possibilità di calcolare le dimensioni minime di *cluster* che soddisfano la condizione.

Scelta della dimensione del cluster

- Aumentando la dimensione del cluster la qualità di trasmissione migliora

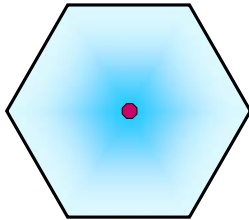
$$Dim_{(cluster)} \uparrow \frac{d}{r} \uparrow \Rightarrow \frac{C}{I} \uparrow$$

- E' richiesto un numero maggiore di BS (maggiore costo), ciascuna con un numero inferiore di canali (peggiore l'effetto di *trunking*)
- La dimensione del cluster deve essere quindi quella minima necessaria per un dato C/I

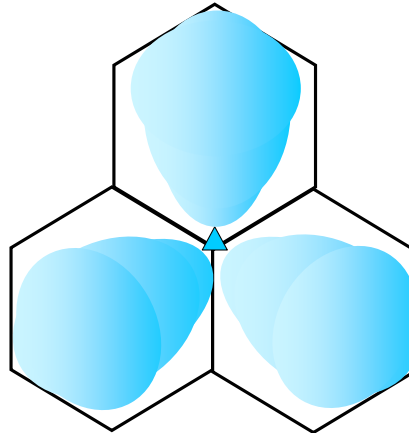
- TACS $(C/I)_{min}$ 18 dB → cluster a 21 celle
- GSM $(C/I)_{min}$ 9 dB → cluster a 9 celle

Strutture di copertura

**Copertura
omnidirezionale**

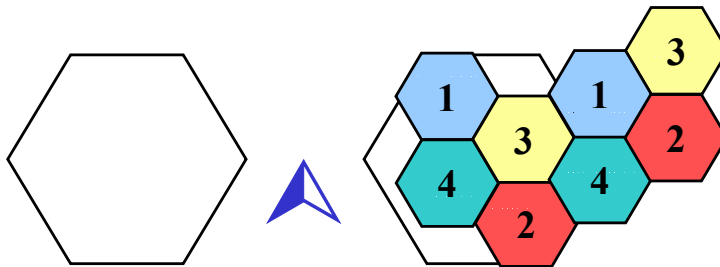


**Copertura direzionale
configurazione *clover***



Splitting delle celle

- Si utilizza quando non si possono aumentare ulteriormente i canali disponibili in una cella
- Se la cella viene divisa in 4 sottocelle, il traffico risulterà quadruplicato
- Dopo n split $T_n = T_0 (4)^n$



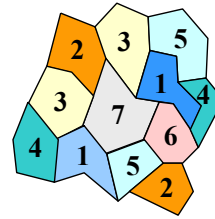
Copertura delle celle radio



(teorica)

Caratteristiche di propagazione diverse per le celle: dipendono dalla tipologia dell'impianto (posizione, altezza delle antenne, ecc.) e dalle caratteristiche del terreno

Distribuzione del traffico e dei clienti non uniforme



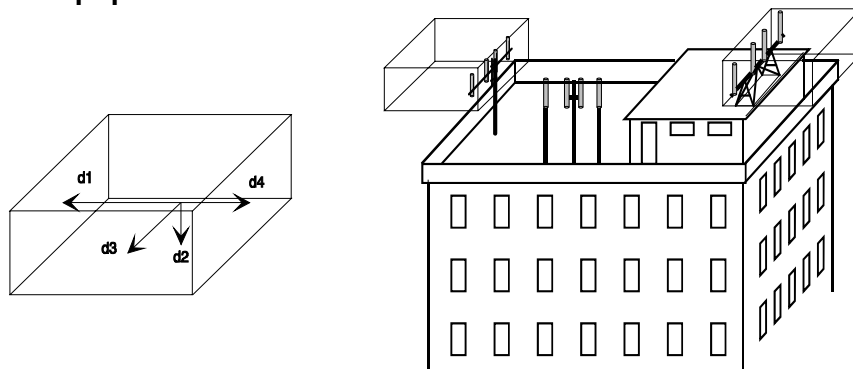
(reale)

Forme e dimensioni delle celle sono differenti

Ciascuna cella necessita di un numero di portanti differente

Volume di rispetto

- Il volume di rispetto è la porzione di spazio al di fuori della quale sono rispettati i limiti di esposizione ai campi elettromagnetici
- Il volume di rispetto non deve pertanto essere accessibile alla popolazione

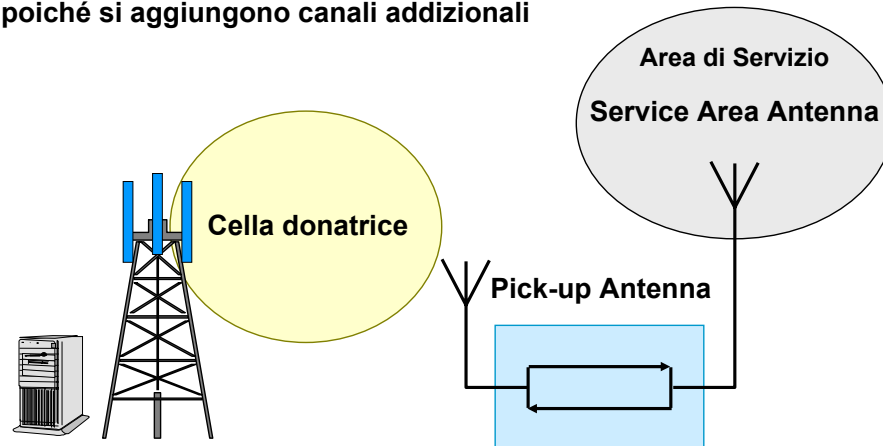


GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

GSM - 20

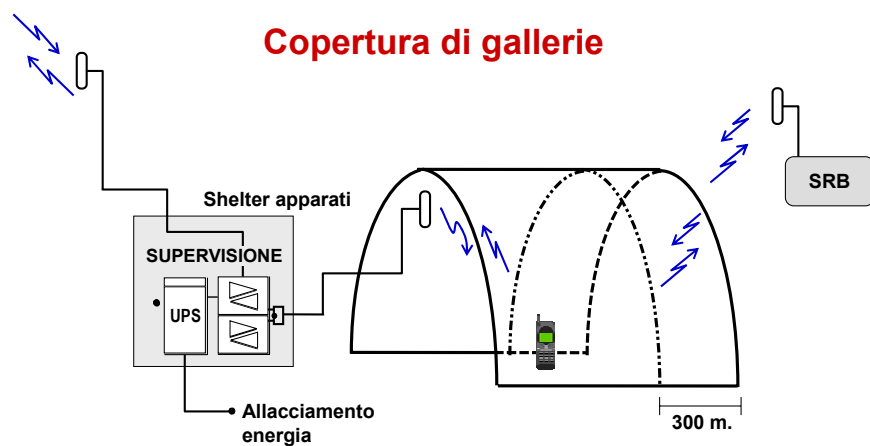
Ripetitori

- Utilizzati per migliorare la copertura in zone d'ombra nelle aree a basso traffico, poiché si aggiungono canali addizionali



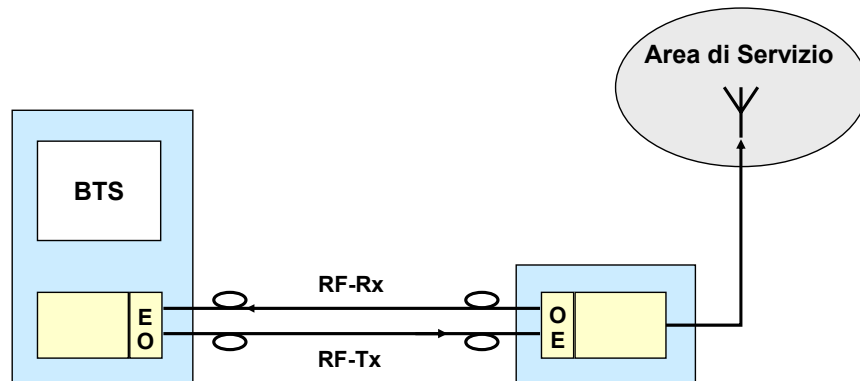
Esempio di applicazione dei ripetitori

Copertura di gallerie



Remotizzatori

- I remotizzatori si differenziano dai ripetitori poiché l'interfacciamento verso la stazione donatrice avviene tramite una connessione fisica (elettro-ottica)



GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

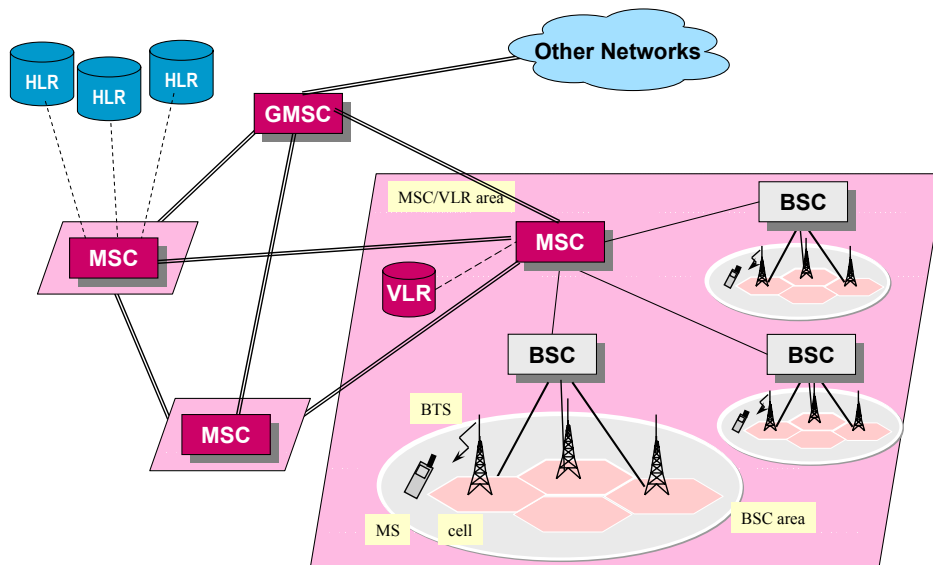
GSM - 23

L'utilizzo della fibra nei remotizzatori è giustificata dalla possibilità di riconfigurare sulle BTS il numero dei canali disponibili, in questo caso la capacità ridondante della fibra può fornire maggiore flessibilità. Inoltre in molti casi si collocano le BTS a livello di BSC, quindi a distanza di qualche km dai sistemi d'antenna, il cavo coassiale presenterebbe una attenuazione elevata anche a causa del tratto in salita e richiederebbe l'uso di amplificatori a basso rumore sotto le antenne (TMA), con problemi di ingombro, alimentazione e manutenzione.

Vincoli per la fornitura del servizio

- **Le potenze devono essere controllate in modo da minimizzare le interferenze, ma assicurare la copertura (anche negli edifici)**
- **Le antenne delle stazioni radio base devono essere installate in modo da non avere ostacoli che ne limitino la copertura**
- **Le antenne devono essere installate in modo che siano rispettati i limiti di esposizione nelle aree accessibili alla popolazione**

Architettura di rete GSM



Hand-over

- **Uscendo dalla cella si ha degradazione e successiva caduta della comunicazione in corso**
- **La procedura di hand-over**
 - **discrimina in maniera rapida ed affidabile l'evento di attraversamento della cella**
 - **commuta la conversazione su un canale della nuova cella (se disponibile)**
 - **garantisce i livelli minimi di C/I specificati in fase di pianificazione delle frequenze**

GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

GSM - 26

La rete cellulare adotta come visto un'architettura ad albero. Ciò implica che il passaggio di un MS (in connessione con la rete) tra celle (stazioni) contigue avvii, oltre all'evidente cambio di frequenza a livello radio, anche una sequenza di azioni e di re-instradamenti che da questo cambio derivano direttamente. La procedura che garantisce la continuità della connessione nel passaggio da una cella all'altra, è detta *handover*. Il GSM prevede tre tipi di *handover*:

- *intra* BSS
- *inter* BSS, *intra* MSC
- *inter* BSS, *inter* MSC.

Questi casi differenti devono essere considerati separatamente in quanto la loro esecuzione coinvolge diverse entità di rete. Alcuni esempi sono riportati nel seguito. L'*handover* induce quindi una serie di azioni a livello radio e di rete:

- la necessità di procedere ad un *handover* è stabilita sulla base di specifiche misure che rappresentano sia la qualità della connessione in atto sia quella potenzialmente disponibile, stimata in merito alle celle contigue a quella che ospita la connessione stessa.
- nel caso in cui l'*handover* sia deciso, (la rete assume questa decisione), la stessa sceglie la nuova cella di riferimento per il mobile
- il nuovo cammino della chiamata è predisposto a livello radio e di rete, il che implica la creazione di un *ponte* nella rete (il punto in cui vecchio e nuovo cammino convergono)
- l'*handover* è eseguito attivando il nuovo cammino, mentre quello vecchio viene abbandonato.

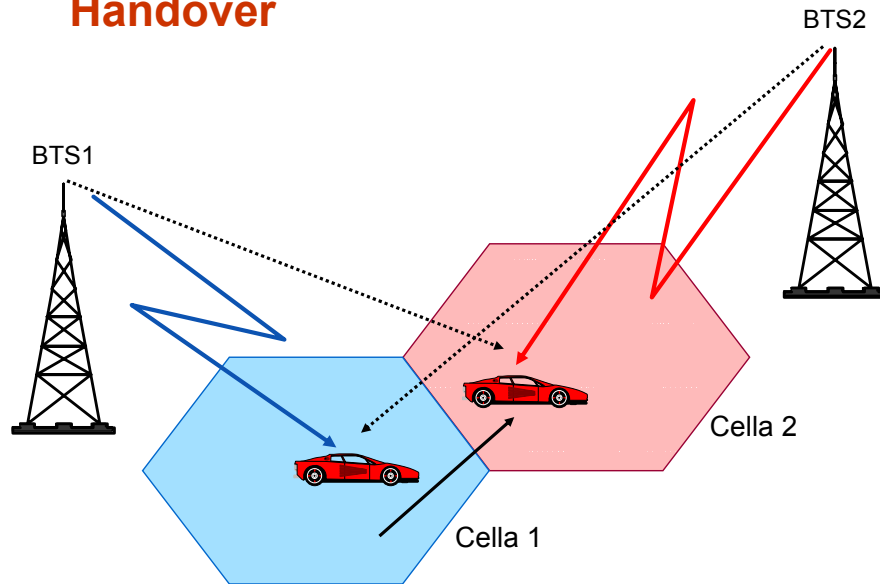
Hand-over: Esempio

- L'evento ha elevata probabilità di accadere con celle piccole

Esempio:

- cella di raggio 2 km
- posizione e direzione di spostamento casuale
- velocità casuale da 10 a 100 km/h
- durata della conversazione 3 min
- ☑ 3-4 attraversamenti nell'arco di una conversazione

Handover



GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

GSM - 28

Parametri utilizzati nell'handover

- Livello di potenza sul canale UL (Up-Link) e DL Down-Link)
- Livello di qualità (BER) sul canale UL e DL
- Distanza base-mobile (stimata da BTS)
- Livello di potenza relativo alle celle adiacenti (valutato dal mobile misurando la potenza ricevuta sui BCCH delle celle adiacenti; i risultati delle misure sono inviati ogni 480 ms alla BTS, sul SACCH)
- Le suddette misure sono elaborate e confrontate con le relative soglie di handover e su tale base viene compilata una lista di preferenza delle celle idonee per HO

GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

GSM - 29

Mentre la connessione è attiva, l'MS valuta continuamente il livello (S) e la qualità (C/I) del segnale ricevuto dalle celle contigue. La misura è effettuata sul loro BCCH, la cui allocazione (frequenza e slot) è fornita all'MS attraverso il canale BCCHs della cella in cui MS si trova.

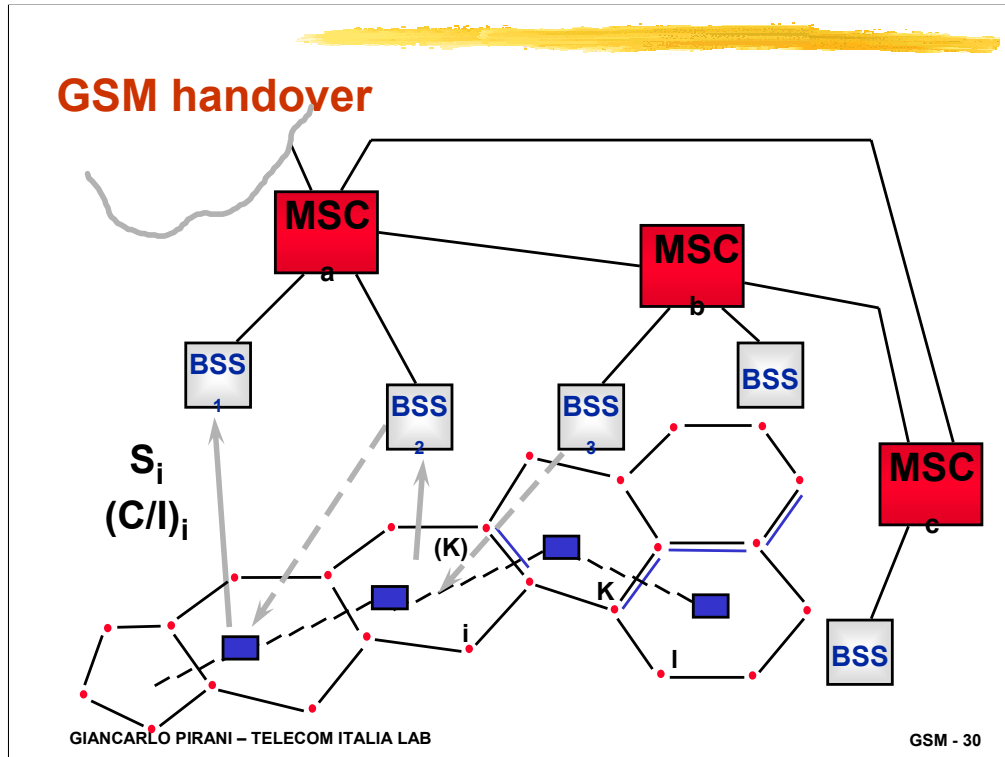
I risultati di questa valutazione vengono inviati alla rete facendo uso del canale associato alla connessione (SACCH).

La rete è in grado di effettuare le stesse valutazioni di livello e di qualità sulla connessione in corso col mobile. Non appena tale valutazione stima che le condizioni di qualità della connessione sono insufficienti, la rete stessa attiva una procedura di *handover* coinvolgendo la cella in grado di fornire la migliore qualità alla connessione stessa (altri criteri possono essere adottati, ad esempio quelli basati sia sulla qualità che sullo stato di occupazione della nuova cella candidata)

La decisione di iniziare un *handover* viene quindi assunta dalla rete e dà luogo ad un cambio in tempo reale del canale radio in modo tale che la connessione possa proseguire senza soluzione di continuità.

La figura mostra come la procedura di *handover* possa generare diverse configurazioni di instradamento. Il passaggio di cella richiede che l'MSC che ha gestito il controllo di chiamata all'inizio della connessione (MSCa) realizzi il *ponte* tra il cammino vecchio e quello nuovo. Un ulteriore passaggio di cella può rendere necessario il coinvolgimento con un nuovo MSC.

Il controllo di chiamata è comunque garantito dall'MSC in cui la chiamata è stata generata.



La figura mostra come l'*handover* è eseguito nella rete GSM. Mentre la connessione è attiva, l'MS valuta continuamente il livello (S) e la qualità (C/I) del segnale ricevuto dalle celle contigue. La misura è effettuata sul loro BCCHs, la cui allocazione (frequenza e slot) è fornita all'MS attraverso il canale BCCH della cella in cui MS si trova.

I risultati di questa valutazione vengono inviati alla rete facendo uso del canale associato alla connessione (SACCH).

La rete è in grado di effettuare le stesse valutazioni di livello e di qualità sulla connessione in corso col mobile. Non appena tale valutazione stima che le condizioni di qualità della connessione sono insufficienti, la rete stessa attiva una procedura di *handover* coinvolgendo la cella in grado di fornire la migliore qualità alla connessione stessa (altri criteri possono essere adottati, ad esempio quelli basati sia sulla qualità che sullo stato di occupazione della nuova cella candidata)

La decisione di iniziare un *handover* viene quindi assunta dalla rete e dà luogo ad un cambio in tempo reale del canale radio in modo tale che la connessione possa proseguire senza soluzione di continuità.

La figura mostra come la procedura di *handover* possa generare diverse configurazioni di instradamento. Il passaggio di cella richiede che l'MSC che ha gestito il controllo di chiamata all'inizio della connessione (MSCa) realizzi il *ponte* tra il cammino vecchio e quello nuovo. Un ulteriore passaggio di cella può rendere necessario il coinvolgimento con un nuovo MSC.

Il controllo di chiamata è comunque garantito dall'MSC in cui la chiamata è stata generata.

Elementi di rete: Mobile Station

- **MS=ME+SIM**
 - MS=Mobile station
 - ME=Mobile Equipment
 - SIM= Subscriber Identity Module
- **Funzioni principali**
 - Trasmissione radio
 - Supervisione dei canali di controllo
 - Selezione della cella
 - Misure dei parametri di downlink (BER, potenza ricevuta anche dalle BTS circostanti) ed inoltro alla BTS
 - Esecuzione delle procedure di accesso, autenticazione, hand-over

Elementi di rete: Mobile Equipment

Classe	Potenza di picco	Potenza media	Impiego
I eliminata	20 W (43 dBm)	2.5 W	veicolare o trasportabile
II	8 W (39 dBm)	1 W	veicolare o trasportabile
III	5 W (37 dBm)	0.625 W	hand held
IV	2 W (33 dBm)	0.25 W	hand-held
V	0.8 W (29 dBm)	0.1W	hand-held

Numerazione ed identità nel GSM (1)

- **MSISDN (Mobile Station ISDN Number)**

- E' il numero dell'abbonato mobile **CC | NDC | SN**
 - **CC** Country Code;
 - **NDC** National Destination Code;
 - **SN** Subscriber Number

- **IMSI (International Mobile Subscriber Identity)**

- Identifica permanentemente la SIM nella rete radiomobile
- Risiede nell'HLR e nella SIM e trasmesso raramente **MCC | MNC | MSIN**
 - **MCC** Mobile Country Code; identifica una nazione
 - **MNC** Mobile Network Code; identifica una PLMN in questa nazione
 - **MSIN** Mobile Subscriber Identification Number identifica l'abbonato

GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

GSM - 33

La separazione tra i concetti di *numbering* e di *identification* permette di separare le funzioni specifiche del mobile da quelle derivanti dalla normale funzionalità della (delle) rete fissa, ad esempio le funzioni di instradamento.

Il disaccoppiamento tra i livelli di *numbering* e di *identification* offre una grande flessibilità in relazione alle modifiche dei piani di numerazione e rende possibile associare più di un numero d'utente (IMSI) allo stesso utente GSM.

Lo schema di numerazione adottato dalle rete mobile è congruente con quello adottato nel contesto PSTN/ISDN:

- il numero ISDN d'utente (composizione, identificazione della parte chiamante e chiamata)
- il *roaming number* consente l'instradamento verso la (sotto)rete dove il mobile si trova.

L'identificazione dell'utente mobile è usata in rapporto alle transazioni che avvengono con le basi dati. L'identificazione è valida solo all'interno della *Public Land Mobile Network* (PLMN).

I principali identificativi usati sono:

- *International Mobile Subscriber Identity* (IMSI) per l'identificazione base dell'utente

Numerazione ed identità nel GSM (2)

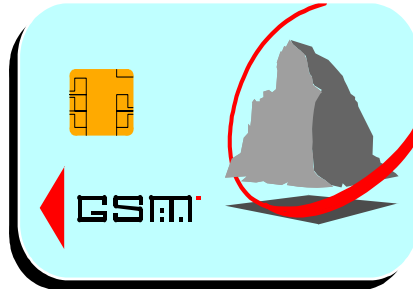
- **TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity)**
 - Identità temporanea fornita su base area di localizzazione, inviata cifrata alla stazione mobile
- **IMEI International Mobile Equipment Identity**
 - Identifica in maniera univoca il terminale con informazioni sul tipo e lo stabilimento di produzione

• *Temporary Mobile Subscriber Identity* (TMSI) per l'identificazione temporanea dell'utente; il suo uso deriva da esigenze di risparmio della risorse radio e da esigenze di sicurezza

• *International Mobile Equipment Identity* (IMEI) per l'identificazione internazionale del terminale mobile (principalmente a scopo di controllo).

SIM Card

Subscriber Identity Module



Contiene:

- numero e identità dell'utente
- chiave di autenticazione
- algoritmo di autenticazione A3 e generazione di Kc (A8)

I dati d'utente (numerazione, sicurezza, profilo, eventuali applicazioni) sono contenuti nel *Subscriber Identity Module* (SIM) che rappresenta il vero elemento di personalizzazione che ha caratterizzato (con successo) il GSM rispetto a tutti gli altri sistemi di seconda generazione. La SIM è un vero e proprio componente autonomo, con una sua capacità di elaborazione e di memorizzazione. La SIM è indipendente dal terminale.

Base Station Subsystem

- Raggruppa le macchine relative agli aspetti cellulari del GSM
- **BSS=1 BSC + 1 o più BTS**
 - BSC: Base Station Controller
 - BTS: Base Transceiver Station
- La BTS copre una cella e comprende uno o più ricetrasmittitori (BTX), ciascuno associato con una portante (8 canali TDMA)

GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

GSM - 36

Base Station Subsystem (BSS) contiene le funzioni di controllo della risorsa radio.

Il BSS è composto da una o più *Base Transceiver Station* BTS, che realizzano il livello fisico radio e dal *Base Station Controller* BSC, che effettua la gestione delle risorse radio. Il BSC controlla un certo numero di BTS. Il numero di BTS controllate dipende dalla *taglia* (capacità) della BSC. Il BSC ha una sua granularità di controllo delle risorse, anche in ragione delle *location area*, che saranno introdotte successivamente. Esso è completamente trasparente a tutte le funzioni legate al controllo di chiamata. Queste ultime funzioni sono affidate al *Mobile Switching Centre* (MSC), al *Visitor Location Register* (VLR) ed all'*Home Location Register* (HLR).



Base Transceiver Station (BTS)

- **Esegue le seguenti funzioni:**
 - **Trasmissione Radio**
 - **Misura delle prestazioni in Up-link e trasmissione al BSC**
 - **Supervisione dei canali liberi**
 - **Calcolo del Timing advance**
 - **Esecuzione di varie procedure (paging, broadcasting dei parametri di cella)**

Classi di BTS

Classe (BTS normali)	Potenza di picco (all'ingresso del combinatore TX)
I	320 - 640W (55-58 dBm)
II	160 - 320 W (52-55 dBm)
III	80 - 160 W (49-52 dBm)
IV	40 - 80 W (46-49 dBm)
V	20 - 40 W (43-46 dBm)
VI	10 - 20 W (40-43 dBm)
VII	5 - 10 W (37-40 dBm)
VIII	2.5 - 5 W (34-37 dBm)
(Micro BTS)	
M1	0.08 - 0.25 W (19-24 dBm)
M2	0.03 - 0.08 W (14-19 dBm)
M3	0.01 - 0.03 W (9-14 dBm)

Radio Base Stations



RBS 2302 - A two transceiver outdoor/indoor micro base station



Maxite™ - A two transceiver macro base station with a micro footprint

GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

GSM - 39

Base Station Controller (BSC)

- Il BSC è connesso a numerose celle e gestisce i canali radio telecomandando le BTS
- Funzioni tipiche
 - Controllo di tutte le BTS incluse nel BSS
 - Connessione dei canali di traffico fra BTS l'MSC
 - Gestione dei canali radio (allocazione e rilascio)
 - Intra BSC (inter BTSs) hand-over
- Funzioni opzionali
 - Controllo di potenza
 - Pre-elaborazione delle misure

Mobile Switching Center (MSC)

- **Centrale numerica per la commutazione, l'instradamento e il controllo delle chiamate da e verso gli utenti GSM**
 - ha interfacce con
 - BSS, MSC, VLR, HLR
 - altre reti (PSTN, ISDN,...).
- **Funzioni principali**
 - Gestione delle chiamate (da e verso utenti GSM)
 - Gestione della mobilità (interlavoro con VLR e HLR)
 - Paging
 - Intra MSC (inter BSSs) Hand-Over
 - Inter MSC Hand-Over
 - Generazione toll-ticket (tassazione)
- **Il VLR è tipicamente associato all' MSC**

GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

GSM - 41

Il *Network Sub System* (NSS) include:

- il *Mobile Switching Centre* (MSC) che contiene le funzioni di commutazione e di controllo di chiamata; controlla le funzioni di mobilità; normalmente l'MSC è associato al *Visitor Location Register* (VLR). L'area controllata dalla coppia di apparati MSC/VLR è detta *MSC/VLR Service Area* ed è costituita da una o più aree di localizzazione
- il *Gateway MSC* (GMSC) collega la rete con altre reti verso altri Operatori
- l'*SMS-InterWorking MSC* (SMS-IW MSC) e l'*SMS-Gateway* (MSC SMS-GMSC) sono dedicati al servizio *Short Message*; sono perciò connessi allo *Short Message Service Centre* (SM-SC)

Le basi dati contenute nel NSS gestiscono la mobilità e funzioni di controllo dei servizi:

- l'*Home Location Register* (HLR) contiene in maniera permanente i profili d'utente e la localizzazione degli stessi (se in stato di *Attach*) in termini di indirizzo SS7 dell'MSC/VLR nella cui *service area* l'utente si trova
- l'*Authentication Centre* (AuC) gestisce parametri di autenticazione d'utente e di cifratura dei dati; (può essere integrato nell'HLR)
- il *Visitors Location Register* (VLR) contiene un sottoinsieme dei dati relativi al profilo d'utente che è interamente contenuto nell'HLR; contiene inoltre i dati di gestione della mobilità degli utenti attivi nelle *Location Area* che esso controlla. È normalmente integrato nell'MSC
- l'*Equipment Identity Register* (EIR) contiene informazioni su ogni singolo terminale (ad esempio, la lista dei terminali rubati con i relativi identificativi di terminale)
- il *Service Control Point* (SCP) ed il *Service Switching Point* (SSP) contengono le funzioni di Rete Intelligente; tali funzioni possono essere integrate negli MSC/VLR.

Visitor Location Register VLR

- **Data base associato all' MSC, con informazioni sugli utenti presenti (visitor) nell'area dell' MSC**
 - **dati semipermanenti (dall' HLR, trasferiti per evitare sovraccarico di segnalazione)**
 - MISDN, IMSI
 - Classe di priorità
 - Profilo di servizio
 - **dati temporanei**
 - TMSI
 - LAI (Location Area Identifier)
 - Parametri per l'autenticazione e la cifratura

Home Location Register HLR

- **Data base per la gestione dei clienti mobili residenti con dati semi-permanenti e temporanei**
 - **dati semi-permanenti**
 - MISDN, IMSI, chiave di autenticazione Ki
 - Classe di priorità
 - Profilo di servizio
 - **dati temporanei**
 - informazione sulla localizzazione dell'utente (indirizzo VLR attuale)
 - parametri per l'autenticazione e la cifratura
 - parametri relativi ai servizi supplementari
- **L'AUC e l'EIR sono normalmente associati con l'HLR**

AUC, EIR & OMC

- **AUC: AUthentication Centre**

- genera i parametri per l'autenticazione dell'utente e la cifratura del traffico, inviati prima all' HLR e poi su richiesta al VLR

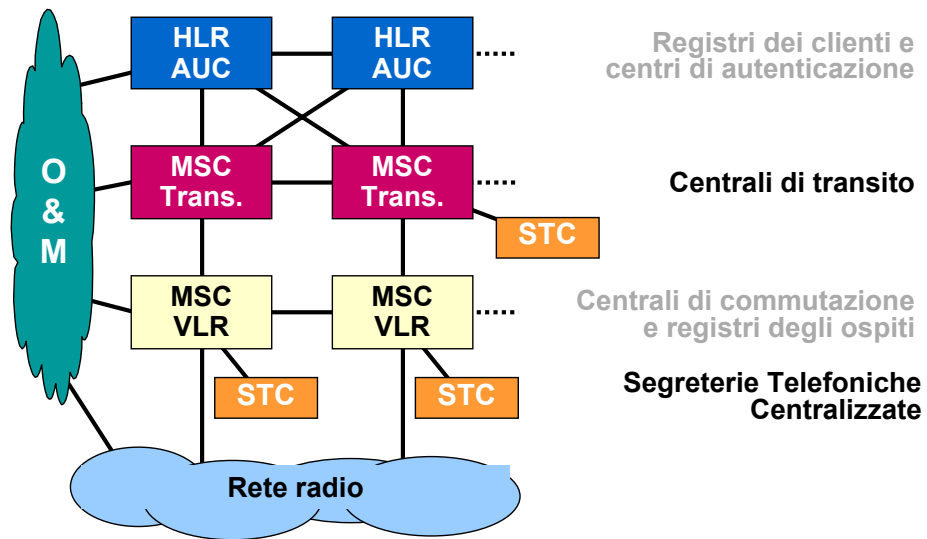
- **EIR: Equipment Identity Register**

- è usato per sbarrare l'accesso ai terminali (codici IMEI) dichiarati rubati (*black list*) o malfunzionanti (*grey list*)

- **Operation & Maintenance Centre OMC**

- permette la supervisione e controllo delle entità MSC, BSS, HLR, VLR

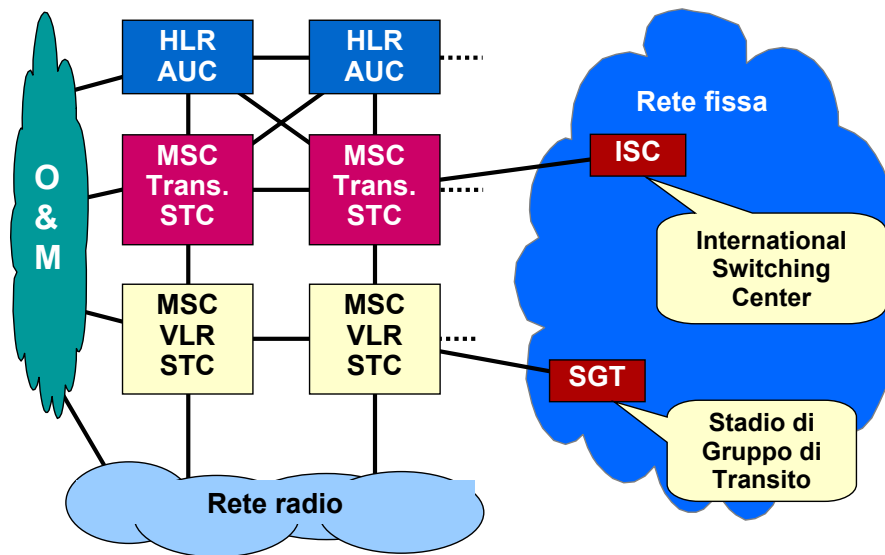
Architettura di rete



GIANCARLO PIRANI - TELECOM ITALIA LAB

GSM - 45

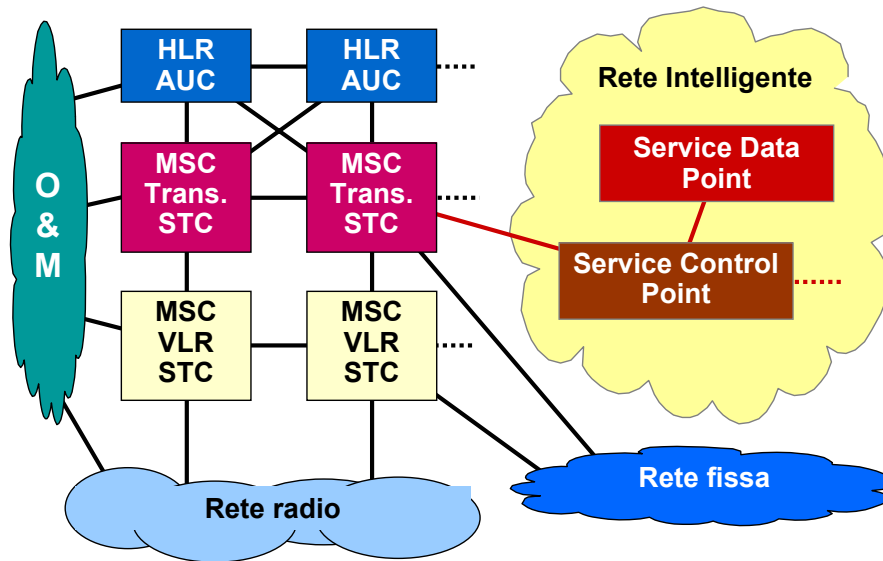
Architettura di rete



GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

GSM - 46

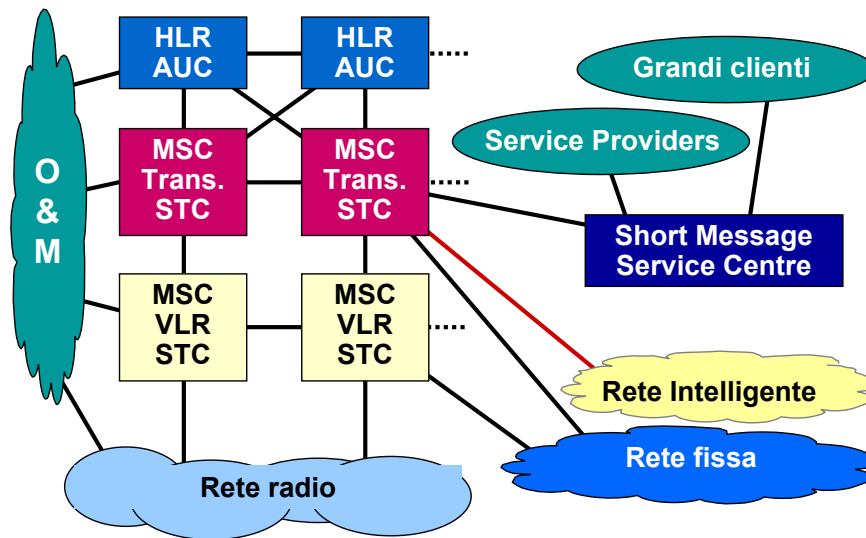
Architettura di rete



GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

GSM - 47

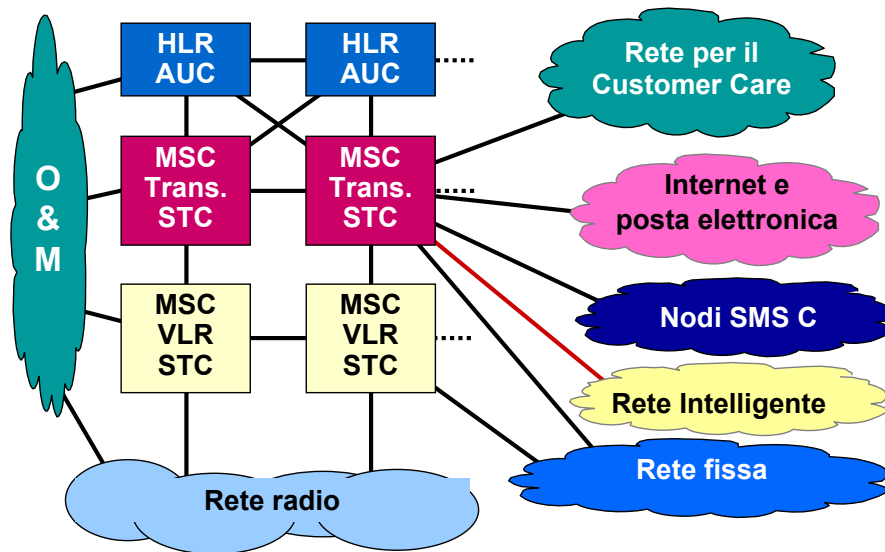
Architettura di rete



GIANCARLO PIRANI - TELECOM ITALIA LAB

GSM - 48

Architettura di rete

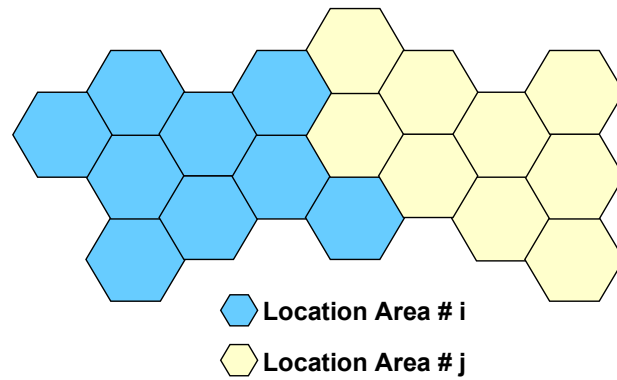


GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

GSM - 49

Location Area

- **Area di localizzazione**
 - insieme delle stazioni radio base in cui il sistema localizza il mobile per le chiamate entranti
- **L'area gestita dallo stesso VLR può comprendere più aree di localizzazione**



Location Area Updating (1)

- **Fasi della procedura:**
 - sul canale *broadcast (BCCH)* in downlink è trasmesso il codice dell'area di localizzazione
 - il mobile riceve tale codice e lo confronta con quello memorizzato in precedenza
 - al variare di tale codice (registrazione forzata) e ad intervalli di tempo periodici (registrazione periodica) il mobile comunica alla SRB l'area di localizzazione attuale (attraverso il canale di controllo)

Location Area Updating (2)

- Se la nuova area di localizzazione appartiene allo stesso VLR non viene inoltrata nessuna comunicazione all'HLR
- Altrimenti, il nuovo VLR che ha in carico la BS che ha ricevuto il messaggio comunica all'HLR dell'utente l'area di localizzazione attuale, l'HLR comanda poi al vecchio VLR di rimuovere dalla lista l'utente

GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

GSM - 52

Le aree di localizzazione sono raggruppamenti di celle contigue. La rete riconosce la presenza del mobile secondo la granularità della *location area* e, in congiunzione con cambi di area di localizzazione, muove i dati d'utente contenuti nel VLR verso il VLR che controlla la nuova area in cui il terminale sta entrando. L'*Home Location Register* (HLR) guida il processo di registrazione/deregistrazione del terminale e, al contempo, mantiene un puntatore al VLR nella cui area di localizzazione MS è residente.

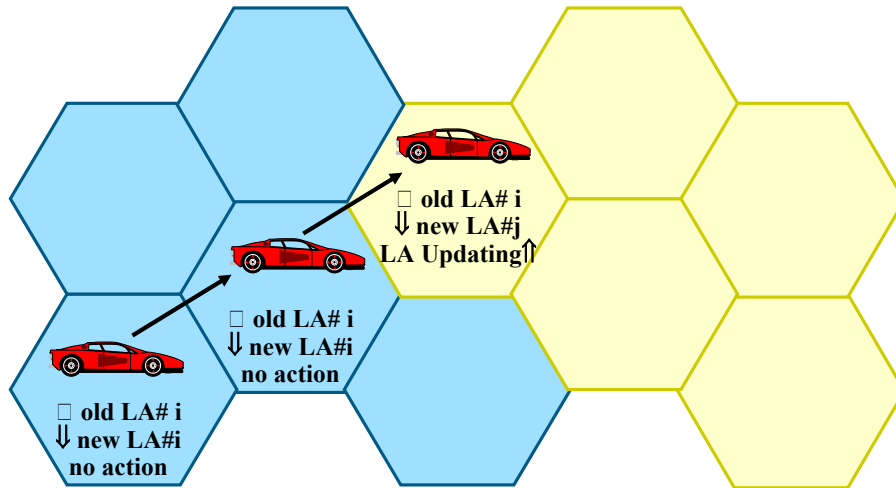
In sistemi come il GSM, l'area di localizzazione identifica anche l'insieme di celle su cui il *paging* corrispondente ad una chiamata entrante viene inviato. La scelta delle dimensioni dell'area di localizzazione è un tipico problema di ottimizzazione della rete mobile. La soluzione ottima deriva da un bilanciamento tra il comportamento di traffico delle *sorgenti* (i mobili) ed il livello di mobilità dei mobili stessi. Infatti la scelta deve portare ad un limitato uso delle risorse radio per gli aggiornamenti di localizzazione e al contempo limitare l'uso delle stesse per la procedura di *paging*.

L'MS è nello stato di *idle*. In queste condizioni, esso legge continuamente il BCCH della cella in cui si trova (*cell selection procedure*). Tra le altre informazioni, il BCCH invia l'identificativo della *location area* cui la cella appartiene. Con il cambio di cella, (e di BCCH) l'MS è quindi capace di verificare se la nuova cella appartiene ancora alla stessa LA della cella precedente o se invece è entrato in una nuova LA.

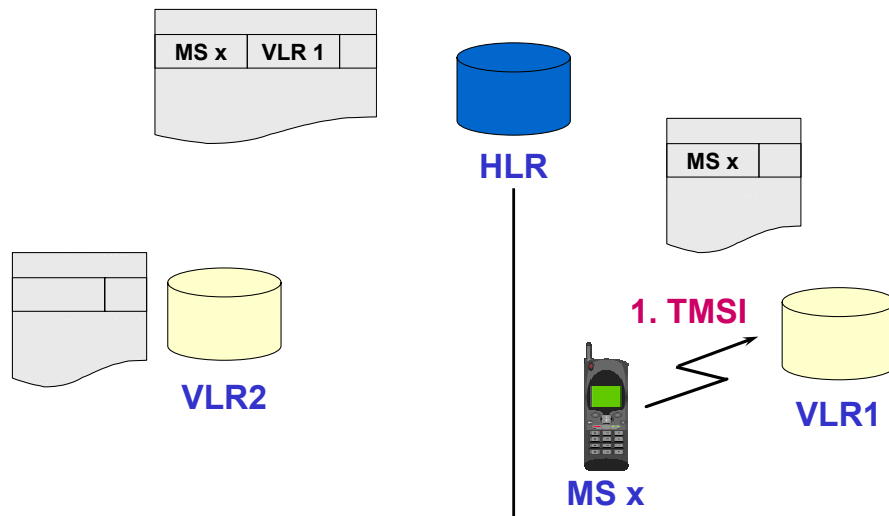
Questo meccanismo assicura che MS sia in grado di attivare la procedura di *location updating* non appena esso attraversa il confine tra due LA.

Come detto, la procedura di localizzazione muove i dati d'utente dal *vecchio* al *nuovo* VLR attraverso l'HLR che scrive/cancella i dati stessi in funzione del cambio di LA appena avvenuto. Un singolo VLR può controllare più di una LA. Ciò non modifica lo schema funzionale sopra introdotto.

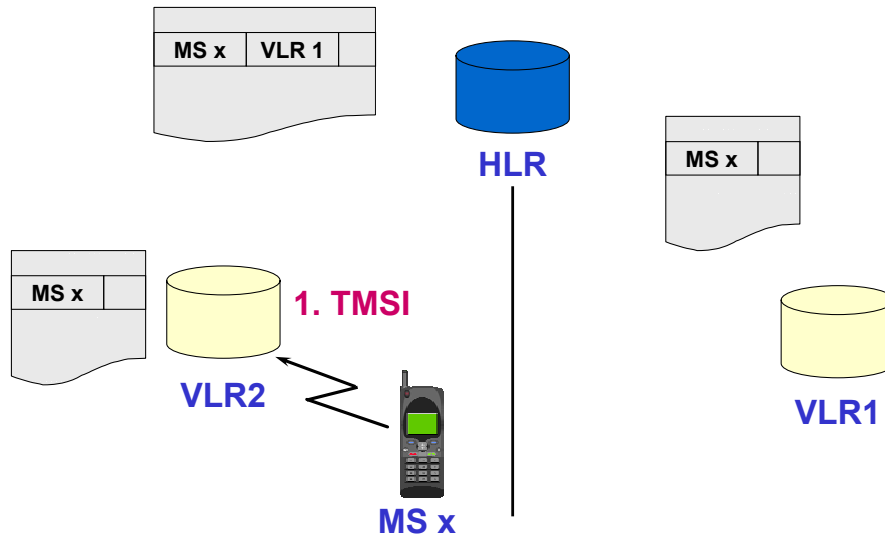
Location Area Updating forzato



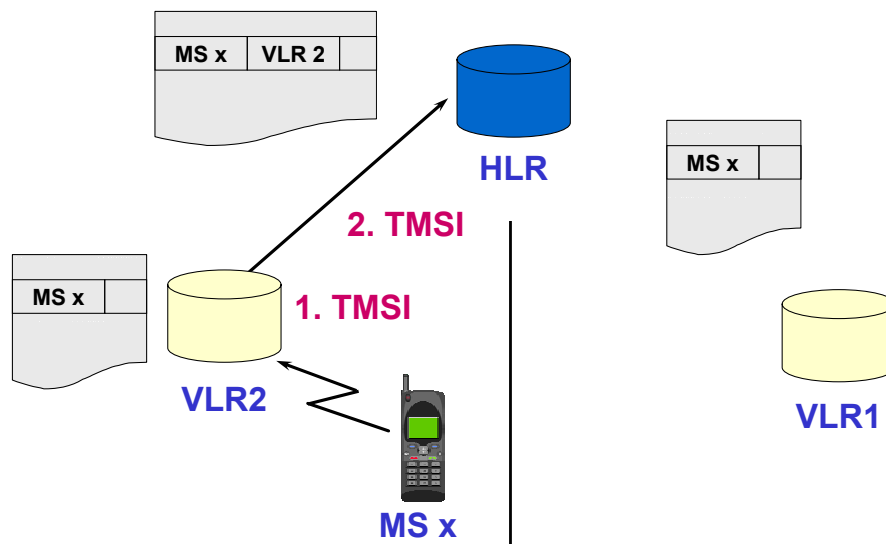
Procedura di localizzazione (1)



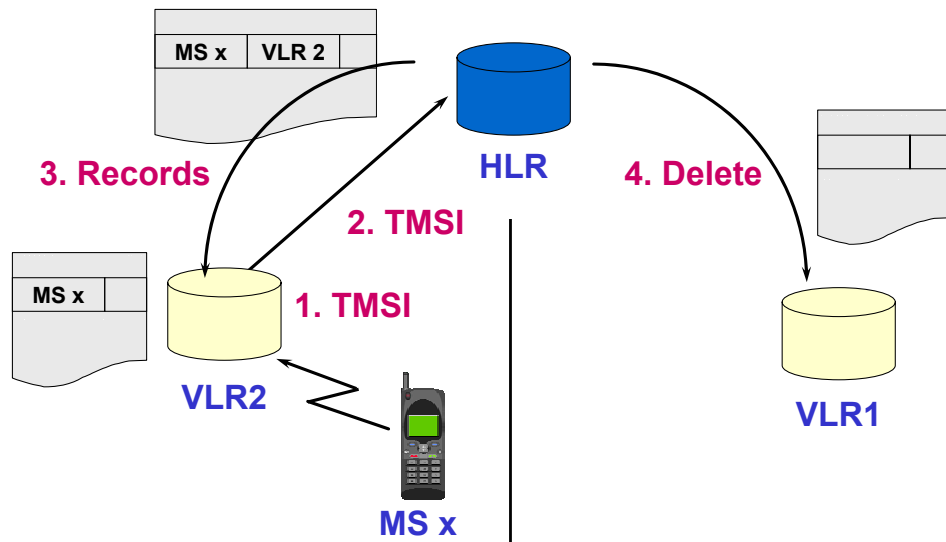
Procedura di localizzazione (2)



Procedura di localizzazione (3)



Procedura di localizzazione



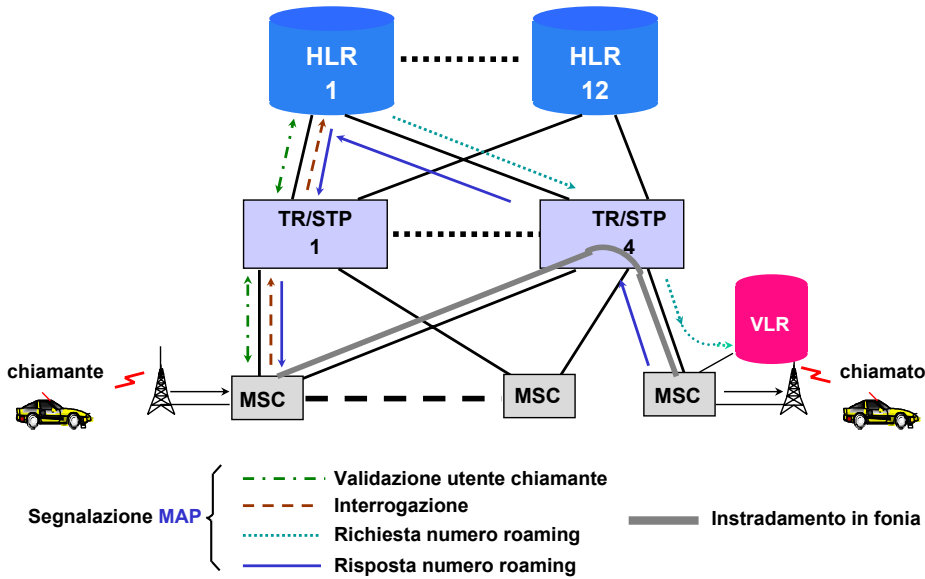
Controllo del canale radio

- **Dal terminale mobile si trasmette:**
 - stima del tasso d'errore della tratta mobile-base
 - livello di potenza ricevuto dalla propria stazione base
 - livello di potenza ricevuto dalle stazioni base circostanti
 - ...
- **Dalla stazione base si trasmette:**
 - regolazione dell'istante di trasmissione
 - regolazione della potenza di trasmissione
 - ...

MSRN Mobile Station Roaming Number

- **Numero appartenente al piano di numerazione dell'MSC visitato e assegnato ad una stazione mobile quando registrata in un certo VLR**
- **L'MSRN è trasmesso indietro all'HLR e poi all'MSC di partenza per instradare la chiamata all'MSC visitato**
- **L'assegnazione può avvenire all'atto dell'aggiornamento dell'area di localizzazione o per una chiamata entrante**

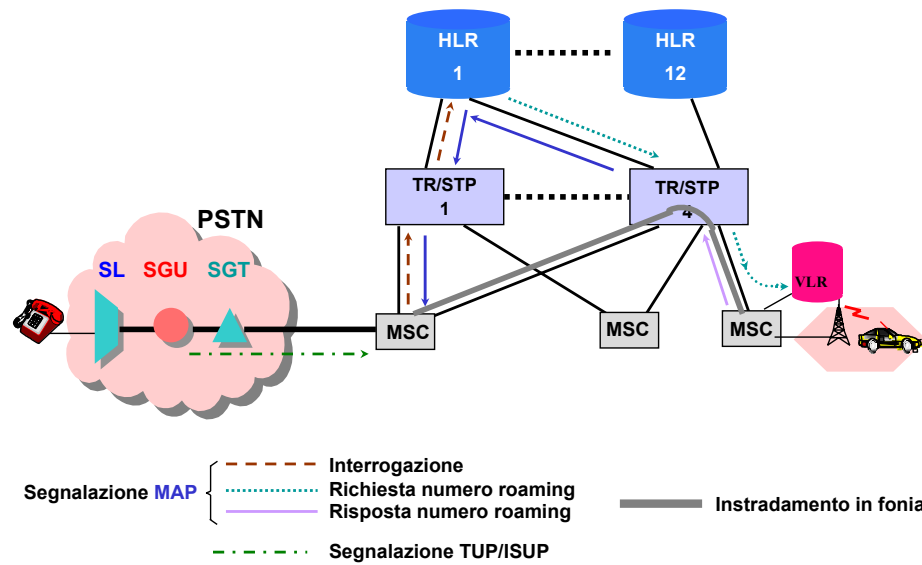
Chiamata mobile-mobile



GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

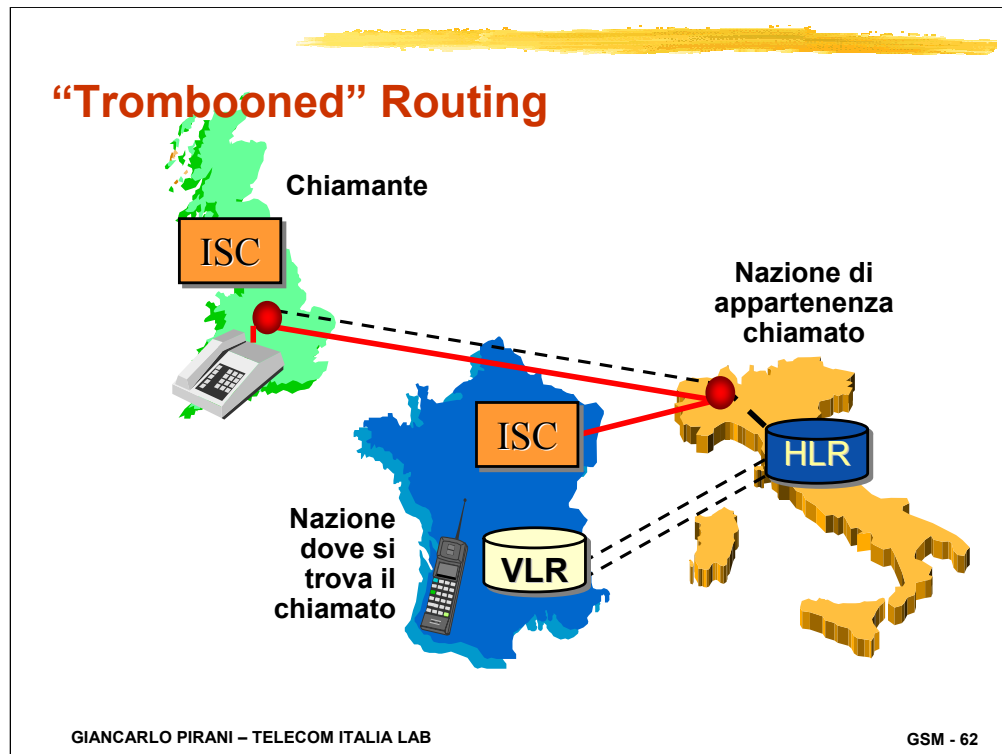
GSM - 60

Chiamata fisso-mobile



GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

GSM - 61

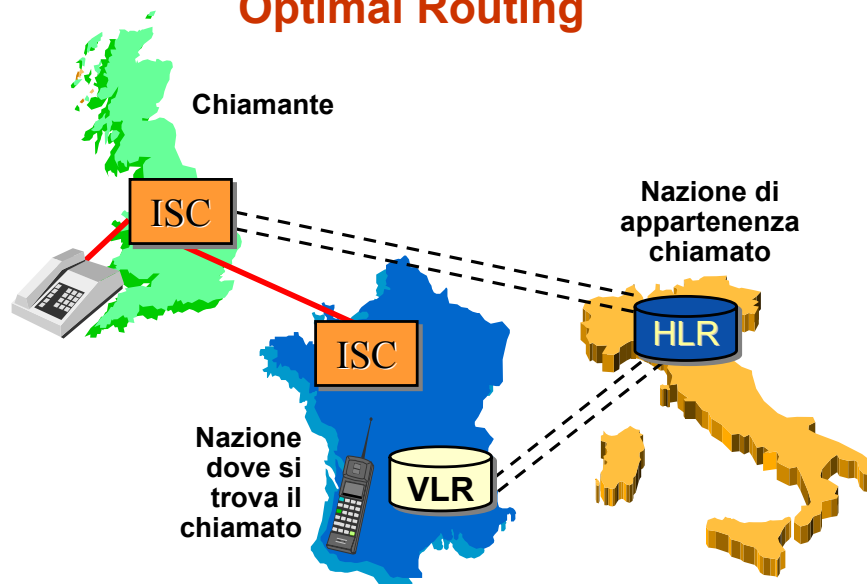


L'instradamento per un utente *roaming* (cioè residente momentaneamente sotto la rete di un operatore diverso da quello *home*), avviene attraverso un'interrogazione del registro di riferimento (*home HLR*) che viene continuamente aggiornato dai VLR della rete visitata in merito alla localizzazione dell'utente. (Il relativo processo di segnalazione è rappresentato dalla linea tratteggiata).

L'instradamento della chiamata è effettuato attraverso il centro di commutazione internazionale (*International Switching Centre-ISC*) attraverso lo stesso cammino, il che porta in generale, ad un instradamento non ottimo e ad uno spreco di risorse.

Una soluzione ottimizzata potrebbe basarsi sull'instradamento diretto della chiamata verso l'ISC della rete ospitante. Ciononostante, la soluzione richiede alcune modifiche al protocollo ISUP. Inoltre, l'ottimizzazione dell'instradamento pone delicate questioni di tariffazione. Ad esempio, la rete *home* non avrebbe alcun ritorno anche se la sua infrastruttura di segnalazione risulta pesantemente coinvolta nel processo complessivo.

Optimal Routing



GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

GSM - 63



Interfaccia radio

GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

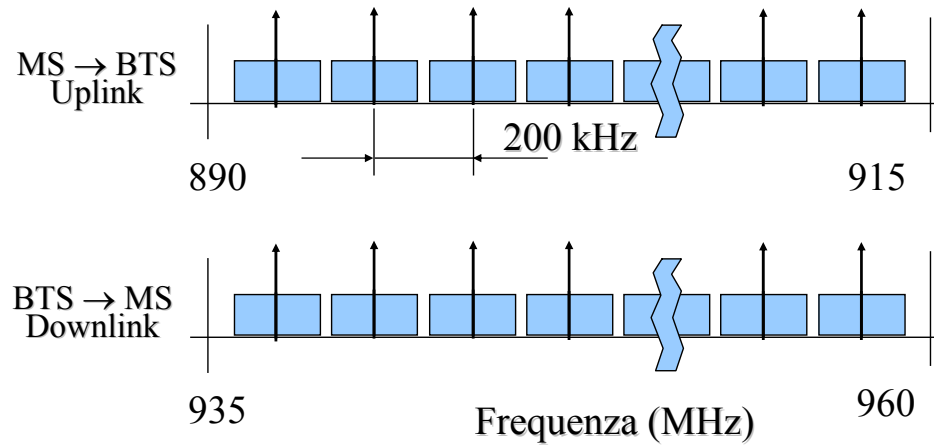
GSM - 64



Definizione dell'interfaccia radio

- **Banda di frequenza a disposizione**
- **Tecnica di accesso (burst, trame e multitrame)**
- **Struttura dei canali (fisici e logici)**
- **Codifica della voce**
- **Tecniche di trasmissione (codifica di canale, interallacciamento, modulazione, equalizzazione adattativa)**
- **Sincronizzazione, accesso alla rete, registrazione del terminale, compensazione dei ritardi**
- **Controllo del canale radio e handover**

I canali radio del GSM 900



Bande di frequenza GSM

P-GSM (Primary GSM) 25+25 MHz	890-915 MHz	935-960 MHz
E-GSM (Extended GSM) 35+35 MHz	880-915 MHz	925-960 MHz
R-GSM (Railway GSM) 4+4 MHz	876-880 MHz	921-925 MHz
GSM 1800 75+75 MHz	1710-1785 MHz	1805-1880 MHz

GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

GSM - 67

La tabella riporta le bande di frequenza assegnate al GSM. Nella versione *Primary-GSM 900*, sono resi disponibili 25 MHz per ogni senso di trasmissione (*up-down link*). La banda è stata divisa in 125 canali di ampiezza pari a 200 kHz ognuno.

Il canale 0 non è usato (separa il sistema GSM da sistemi che usano bande contigue).

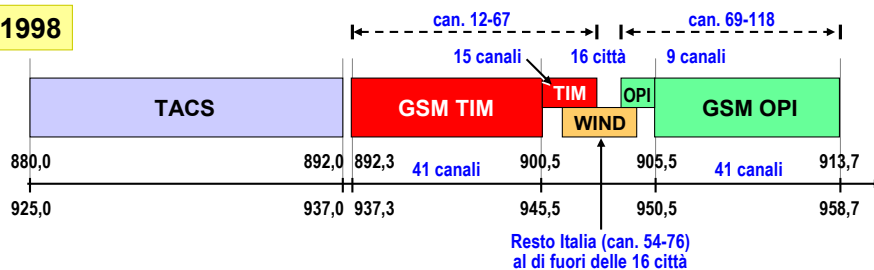
I canali possono essere descritti da un semplice numero $n = 1, \dots, 124$ (*absolute radio frequency channel number*) che consente di identificare la frequenza di ogni singolo canale. Ad esempio, per l'*up-link*, ad un dato n , corrisponde la frequenza:

$$F_{\text{uplink}} = 890 \text{ MHz} + (0.2 \text{ MHz}) \cdot n$$

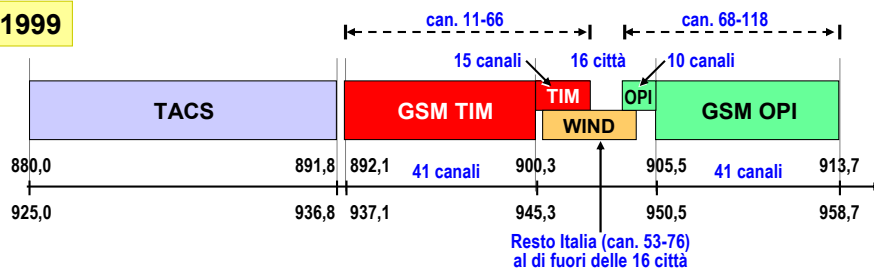
La banda *Extended* – GSM 900 offre 10 MHz in più per ogni senso di trasmissione.

Frequenze a 900 MHz

01.11.1998



01.03.1999

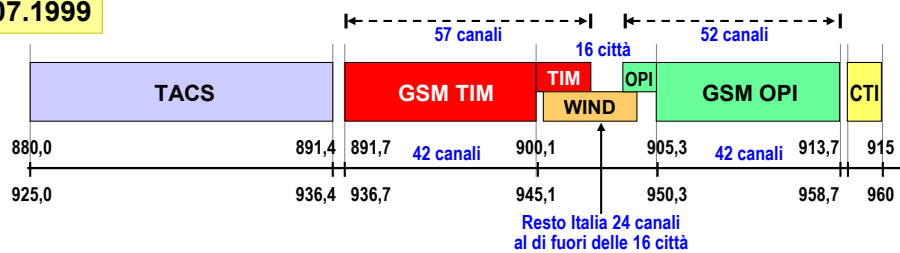


GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

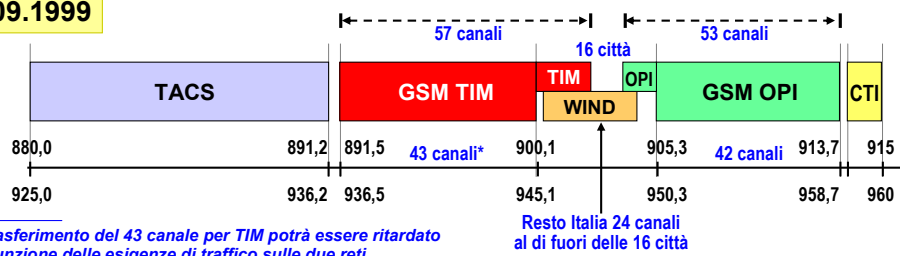
GSM - 68

Frequenze a 900 MHz - Sviluppi

01.07.1999



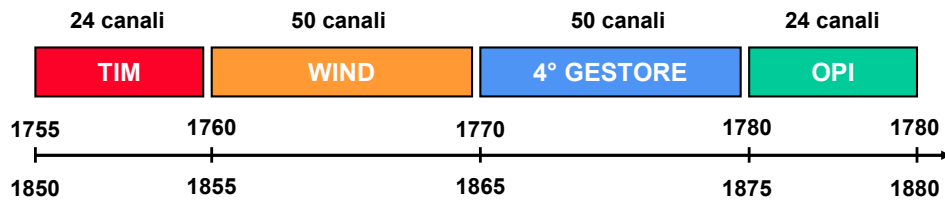
15.09.1999



GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

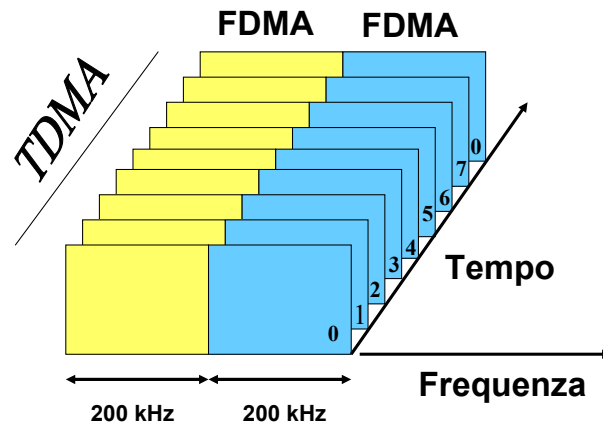
GSM - 69

Frequenze a 1800 MHz



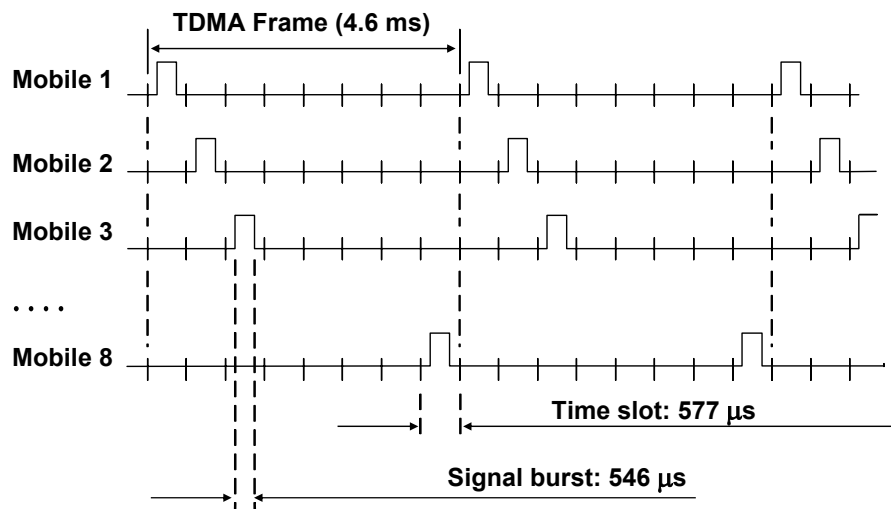
da 01.01.99 in 8 città: RM, MI, NA, TO, BO, PA, FI, GE
da 01.07.99 su tutto il territorio nazionale

Accesso multiplo di tipo FDMA/TDMA



Hardware: 1 transceiver ogni 8 canali vocali

Trama TDMA



GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

GSM - 72

IL GSM ha adottato una soluzione TDMA per l'accesso. La connessione si vede quindi assegnata ad una portante e ad uno *slot* lungo la trama TDMA. Come detto, la banda è condivisa tra tutte le celle (stazioni) secondo uno schema predefinito: il piano di frequenza.

All'interno di ogni cella, un secondo livello di condivisione ha luogo tra tutti i terminali mobili che in un dato istante stazionano (o si muovono) all'interno della cella.

La figura mostra come otto terminali mobili condividano la stessa portante utilizzando gli 8 *slot* definiti sulla trama TDMA.

Si vedrà in seguito come alcuni degli *slot* disponibili debbano essere utilizzati per dare la capacità necessaria ai canali di segnalazione e di controllo comune (impiegati ad esempio per distribuire le informazioni di sistema o per controllare le stesse connessioni).

I canali logici di traffico

- **Voce**

- Full rate (TCH/FS) voce a 13 kbps
- Half rate (TCH/HF) voce compressa 6.5 kbps

- **Dati**

- Full rate (TCH/F) per dati a 9.6, 4.8, 2.4 kbps
- Half rate (TCH/H)

I canali logici di controllo (1)

- **Broadcast channel**

- **Broadcast control (BCCH)**, informa MS sui parametri di sistema necessari per accedere alla rete come Location Area Code, Mobile Network Code, frequenza delle celle adiacenti ...
- **Frequency Correction Channel (FCCH)**, canale che appare solo nel Frequency Correction burst; dà alla MS la frequenza di riferimento del sistema
- **Synchronization Channel**, dà alla MS la “training sequence” di cui ha bisogno per demodulare le informazioni che provengono dalla BS

Per controllare le varie funzioni definite nel sistema, in particolare le funzioni di attivazione/ disattivazione della chiamata e le funzioni di mobilità, uno o più *slot* fisici TDMA vengono dedicati al trasporto dei canali logici.

Il *Broadcast Communication Channel* (BCCH) trasporta con modalità diffusiva le informazioni di sistema necessarie a tutti i mobili che in un dato istante si trovano a risiedere sotto la cella cui il BCCH è assegnato.

I canali logici di controllo (2)

- **Common control channel (CCCH)**
 - Random Access (RACH) usato solo da MS per richiedere alla rete un canale a lei dedicato. “Mappato” sul random access bus
 - Paging Channel (PCH) serve alla BS per comunicare con le stazioni all’interno della propria cella
 - Access Grant Channel (AGCH), usato dalla BS per comunicare alla MS quale canale dedicato dovrà usare da quel momento in poi. Sempre accompagnato dalle info sul timing advance

GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

GSM - 75

Il *Common Control Channel* (CCCH) trasporta una serie di canali che sono multiplati in tempo:

- il canale di accesso casuale (RACH) definito sull’ *up link* (dal terminale mobile alla stazione base) cui tutti i terminali mobili della cella accedono *a contesa*
- il canale di *paging* (PCH) che consente al terminale mobile di identificare sul *down link* una chiamata entrante ad esso indirizzata
- il canale *Access Grant* (AGCH) che trasporta al mobile sul *down link* i riscontri dell’avvenuto accesso alla rete

I canali logici di controllo (3)

- **Dedicated control channel (DCCH) (BS → MS)**
 - **Stand alone (SDCCH)** trasferisce le informazioni di segnalazione fra la MS e la BS
 - **Slow associated (SACCH)**, sempre usato in associazione con un canale di traffico, o con SDCCH
 - **Fast associated (FACCH)**, trasporta le stesse informazioni di SDCCH, ma usa lo spazio dei canali di traffico (**stealing flag!**), e viene acceso solo quando necessiti ulteriore spazio per la segnalazione

GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

GSM - 76

Il *Dedicated Control Channel* (DCCH) trasporta sia in *up* che in *down link* i canali di segnalazione comune e associata. I primi sono dedicati alla segnalazione nelle fasi in cui la chiamata non è ancora stata attivata, i secondi sono attivi in congiunzione fisica e logica con le connessioni in atto, operano cioè a supporto diretto di ogni singola connessione.

- lo *Stand Alone Control Channel* (SDCCH) trasporta i messaggi di segnalazione nelle fasi che precedono l'attivazione della chiamata
- lo *Slow Associated Control Channel* (SACCH) ed il *Fast Associated Control Channel* (FACCH) sono canali associati al canale di traffico (TCH) oppure al canale di segnalazione SDCCH.

Dalla trama alla multi-trama *il caso del traffic channel (TCH)*



- Lo slot TCH slot viene “rubato” (*stolen*) una volta ogni multitrama (nella 12^o trama) per il canale associato SACCH
- Lo slot TCH nella 25^a trama viene lasciato vuoto (o porta il secondo SACCH nel caso di canale “half-rate”)

GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

GSM - 77

Il canale di traffico è accomodato secondo una logica di multitrama composta da 26 trame.

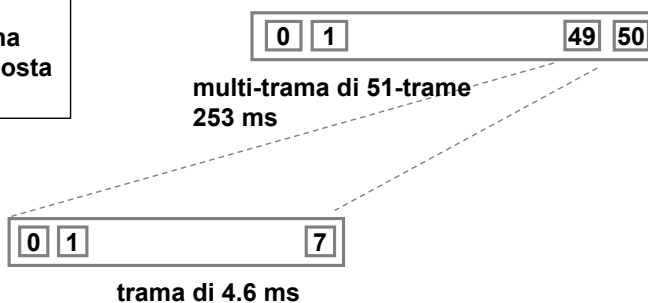
Se il canale è dedicato a traffico vocale *full rate*, il TCH della 12^a trama di multitrama è assegnato al canale di segnalazione associato al TCH: il SACCH. Il TCH della 26^a trama di multitrama rimane libero.

Se il canale è dedicato a traffico vocale *half rate*, è proprio il TCH della 26^a trama di multitrama ad essere assegnato al SACCH associato al secondo canale vocale multiplato sullo stesso *time slot* fisico del primo.

Dalla trama alla multi-trama

il caso del signalling channel

- La multi-trama per il canale di segnalazione è una multi-trama composta da 51 trame



GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

GSM - 78

I canali (logici) di segnalazione sono accomodati secondo una multitrama di 51 trame.

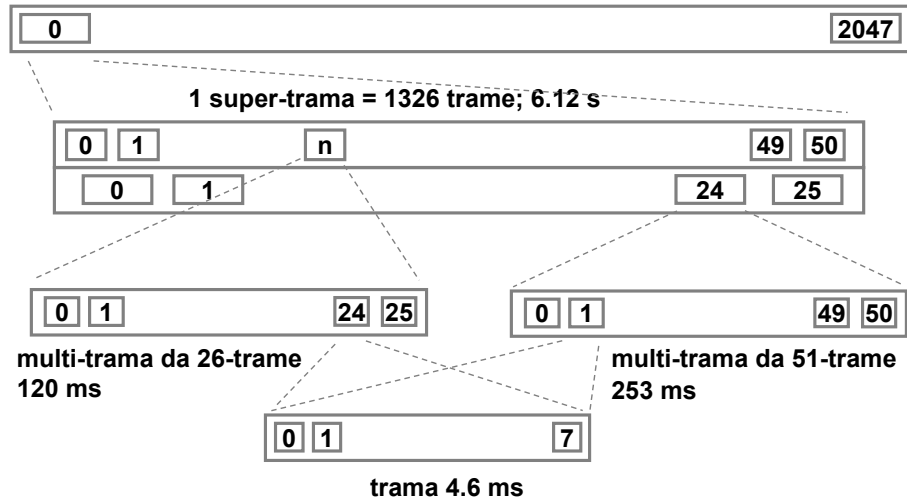
Il canale per la correzione di frequenza FCCH e quello di sincronizzazione SCH sono sempre in sequenza ed occupano, a coppie, gli *slot* di segnalazione delle trame 10-11; 20-21 e 30-31 della multitrama.

Lo *slot* di segnalazione della trama S1 di multitrama è libero.

Dalla trama alla multi-trama

recupero del ciclo tra le super-trame di voce e quelle di segnalazione

1 iper-trama = 2048 super-trame; 3h, 28m



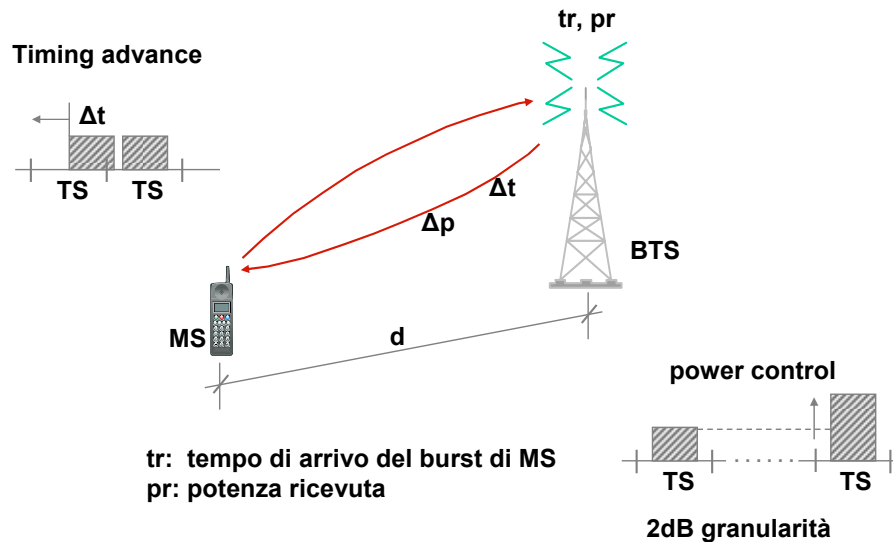
GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

GSM - 79

L'ordine ciclico di ripetizione tra multitrama di "lunghezza" 26 e 51 trame rispettivamente, viene recuperato nell'arco di tempo offerto da una supertrama di 1326 trame ($26 \cdot 51$). L'evolversi delle trame, multitrame, supertrame ed ipertrame è seguito dalla rete con opportuni contatori. I numeri d'ordine di multitrama per i canali di traffico e di segnalazione sono inviati ai mobili della cella sul canale di sincronismo SCH.

Il mobile è così in grado di capire dove sono i canali di segnalazione e, quando necessario, come spostarsi da un canale di segnalazione ad uno di traffico.

Controllo di tempo e di potenza (1)



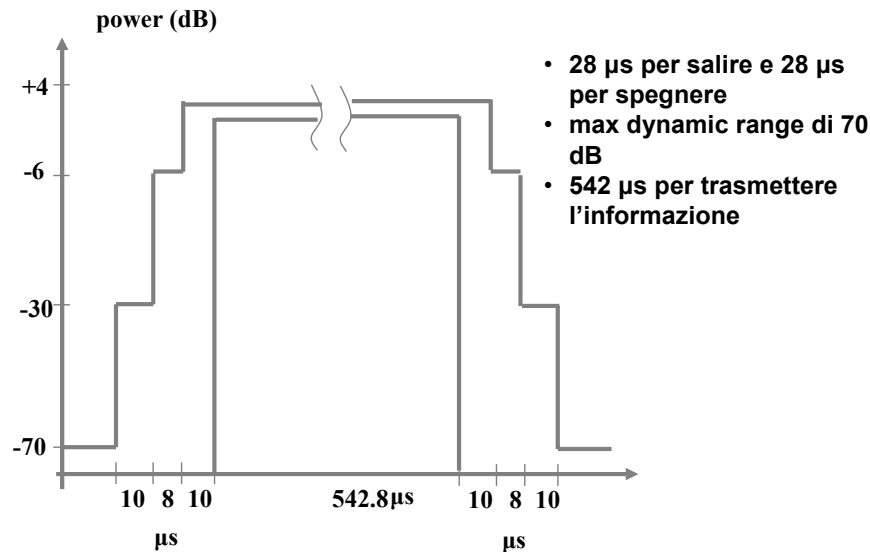
GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

GSM - 80

L'emissione all'interno del *time slot* da parte del terminale mobile risponde a requisiti molto stringenti in termini di dinamica.

La rampa di salita deve essere percorsa in $28 \mu s$ con una dinamica che può essere di 70 dB. Nei $543 \mu s$ centrali della finestra temporale corrispondente al *time slot*, il mobile trasmette un *burst* di 148 bit che (come si vedrà nel seguito) può avere diverse configurazioni.

Controllo di tempo e di potenza (2)



GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

GSM - 81

Il mobile si trova in istanti diversi, a diverse distanze dalla stazione base. Al variare di tale distanza, il sistema deve essere in grado di regolare due fondamentali parametri dell'emissione:

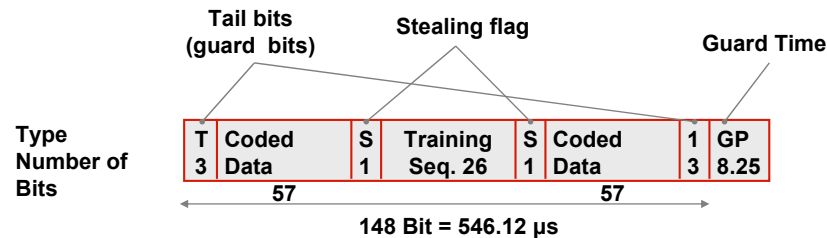
- il tempo di emissione
- la potenza irradiata.

Il primo viene regolato attraverso il meccanismo del *timing advance*. La stazione base effettua con continuità misurazioni del tempo di arrivo del *burst* emesso dal mobile. Dal confronto di tale tempo con il (suo) sincronismo di *slot*, desume il valore dell'anticipo o del ritardo che il mobile deve dare alla propria emissione. La stazione comunica la modifica del tempo di emissione attraverso un canale di segnalazione associato alla comunicazione in corso.

Un meccanismo simile viene usato per regolare la potenza irradiata (anch'essa dipende dalla distanza del mobile dalla stazione base). La potenza è regolata con granularità di 2 dB.

E' possibile attivare un controllo della potenza irradiata dalla stazione (che viene quindi a variare al limite in corrispondenza di ogni *time slot* in cui la stazione deve allocare la propria trasmissione).

Struttura del burst (1) *burst normale*



GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

GSM - 82

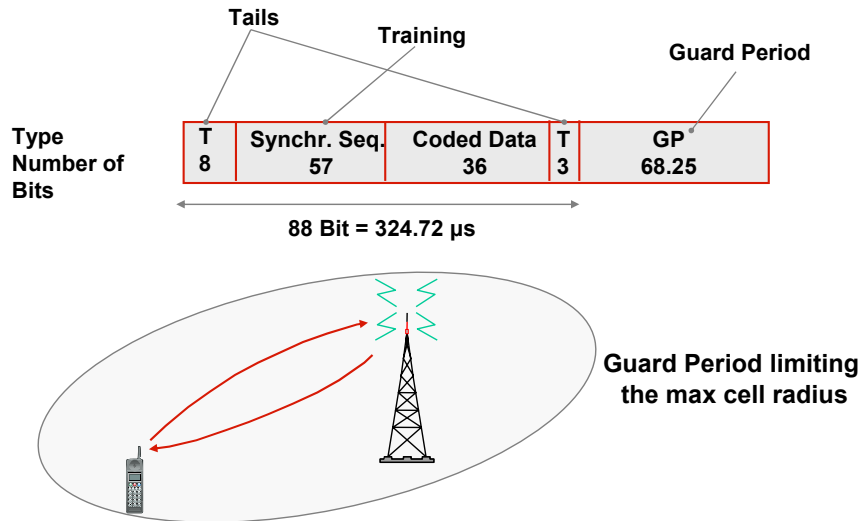
Vi sono tre possibili configurazioni di *burst*, tutte trasmesse all'interno del tempo di *time slot*.

Il *Normal Burst* trasporta sia dati utili sia dati di segnalazione.

- 3 bit sono inseriti all'inizio ed alla fine del *burst* (*Tail bits*); sono tutti posti a 0; coprono le fasi di incertezza durante le rampe di salita e discesa
- 57+57 bit sono dedicati al contenuto informativo che il *Normal Burst* trasporta (*Coded Data*)
- 26 bit (*Timing Sequence*) sono configurati secondo una sequenza nota al mobile ed alla stazione; la sequenza è utilizzata dal ricevitore (equalizzatore) per compensare l'effetto dei cammini multipli (vedi e1.1, *propagation models*)
- 30 μs sono assegnati al tempo di guardia (equivalenti ad 8.25 bit); in questo periodo non viene trasmesso alcun bit
- 2 bit (*stealing flag*) sono usati per specificare a beneficio del *decoder* se i dati che seguono sono dati d'utente o di segnalazione.

Struttura del burst (2)

burst "random access"



GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

GSM - 83

Il *Random Access Burst* trasporta il primo messaggio che il terminale mobile invia alla rete per richiedere l'attivazione di una connessione (d'utente o di segnalazione). La fase iniziale d'accesso è particolarmente delicata per due motivi:

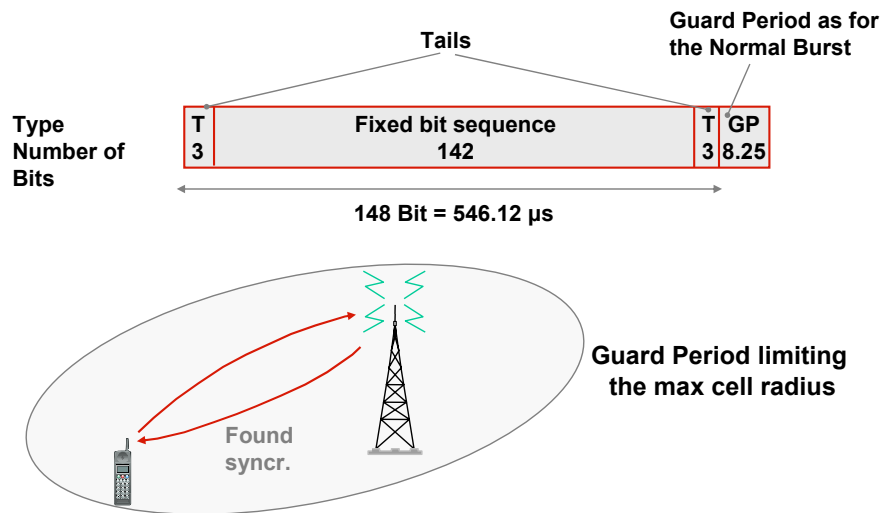
- il messaggio di accesso può essere lanciato da più di un mobile sullo stesso *time slot*
- il mobile non conosce la sua distanza dalla stazione quindi, pur essendo sincrono di *slot*, non conosce la "correzione" che deve effettuare in funzione, appunto, della distanza (in altri termini, non è ancora inserito nel meccanismo di controllo del *timing advance*).

La prima circostanza può essere sanata solo attraverso schemi di ritrasmissione. Per evitare rischi di emissione al di fuori della finestra di *slot*, il *Random Access Burst* dedica larghi spazi ai tempi di guardia.

La sequenza di sincronizzazione ha lo stesso significato della *training sequence* del *Normal Burst*. Il maggior contenuto informativo è dovuto al fatto che l'equalizzatore non ha ancora agganciato la comunicazione e ciò richiede una quantità più consistente di dati.

Struttura del burst (3)

burst di correzione di frequenza e sincronizzazione



GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

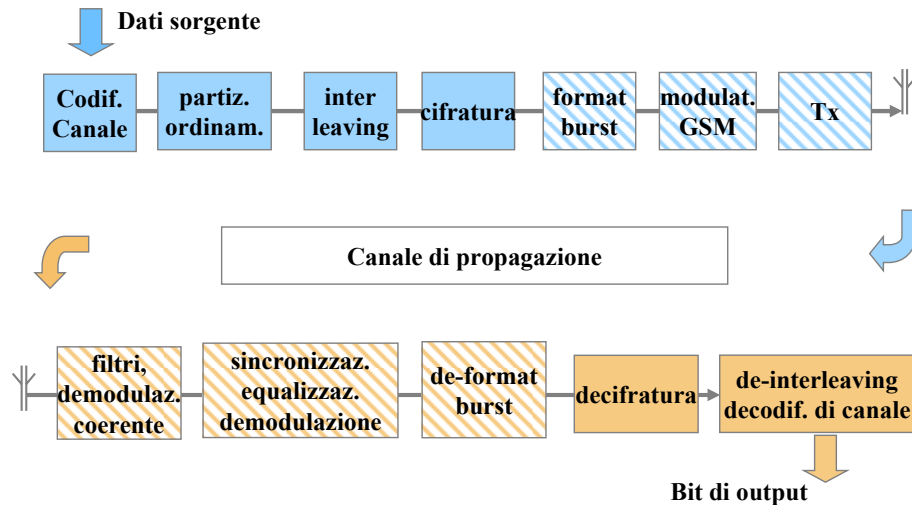
GSM - 84

Il *Frequency-connection burst* dà al terminale mobile la possibilità di sincronizzarsi con la frequenza di riferimento della stazione (la rete GSM). Il messaggio di sincronizzazione viene trasmesso in uno *slot* specifico, in una ben precisa posizione di multitrama. Il mobile quindi sa dove leggerlo. Consiste in una sequenza di zeri (che corrisponde ad una forma sinusoidale perfetta).

Il *burst* di correzione della frequenza deve comunque essere letto utilizzando l'appropriata chiave di lettura. Questa è una delle 8 *training sequence* presenti nel sistema (quella associata alla specifica stazione). Nella struttura del *Synchronisation Burst* trova posto il *Base Station Information Code* (BSIC) che contiene la *training sequence* della stazione (il *Base Station Color Code*) e quella di sistema (*National Color Code*).

Nel *Synchronisation Burst* è anche contenuto il numero di trama, necessario per sincronizzare il mobile all'interno delle sequenze di multitrama che è necessaria per definire i vari canali logici di sistema.

Catena di trasmissione e ricezione radio *uno schema concettuale*



GIANCARLO PIRANI – TELECOM ITALIA LAB

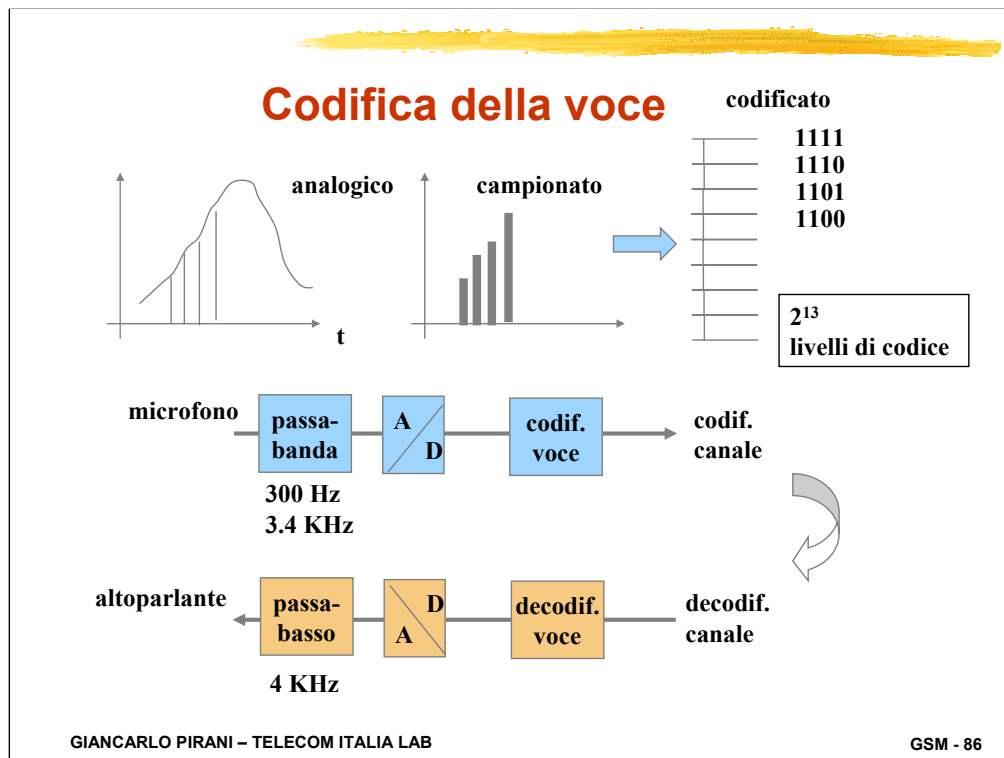
GSM - 85

La catena radio è realizzata attraverso molti passaggi.

Lo Standard GSM specifica la sola parte trasmissiva. La ricezione è lasciata alle soluzioni proprietarie proposte dai costruttori.

Fin d'ora possono essere identificati i blocchi GSM che rimangono inalterati per il GPRS. Essi sono tratteggiati in figura (in entrambi i sensi di trasmissione).

Gli altri blocchi differiscono per i due sistemi (ad esempio, nel GPRS la cifratura avviene a livello 2 (OSI)).



Il segnale analogico viene innanzitutto filtrato per ridurre le sue componenti di frequenza al di sotto dei 4 kHz. Viene poi campionato ad una frequenza di 8 kHz (ogni $125\mu s$) secondo una codifica basata su 13 bit (che significa 2^{13} livelli di quantizzazione). Ciò implicherebbe un requisito trasmissivo di

$$8000 \times 13 \text{ bit/s} = 104 \text{ kbit/s}$$

Il codificatore vocale riduce i requisiti di capacità a 13 kbit/s attraverso complesse operazioni di filtraggio numerico, di sequenzializzazione e di scelta dei bit più rappresentativi effettuata in base all'energia delle sequenze ed alla riduzione di ridondanza.

Queste operazioni vengono fatte su blocchi di 160 campioni del segnale vocale, raccolti in 20 ms (trama vocale). Il codificatore vocale restituisce un blocco di 260 bit ogni 20ms, che corrisponde ad un requisito trasmissivo di 13 kbit/s.