

IL SISTEMA RADIOMOBILE GSM

1.1 STORIA DEL GSM

La storia del GSM inizia nel 1982 quando, in ambito CEPT (*Conférence Européenne des Postes et des Télécommunications*), fu proposta la definizione di un sistema radiomobile cellulare comune a tutti i paesi dell'Europa occidentale.

Infatti, durante i primi anni '80 vi fu una rapida crescita dei sistemi di telefonia cellulare in Europa, particolarmente in Scandinavia e nel Regno Unito, che già contava la presenza di due gestori della telefonia mobile, ma anche in Francia e Germania. Ciascun Paese però sviluppò un proprio sistema che era incompatibile con ogni altro. Il terminale mobile era così limitato ad operare entro i confini nazionali. Questa era una situazione insostenibile, non solo perché gli apparati mobili erano limitati ad operare entro i confini nazionali, perdendo così sempre più di importanza in un'Europa unificata, ma anche perché il mercato di ogni apparato era tale, impedendo così sia la possibilità di operare in regime di concorrenza¹ che la realizzazione di economie di scala e quindi, in ultima analisi, impedendo una diminuzione dei costi sia degli apparati che delle tariffe.

Nel 1982 la CEPT decise di istituire un apposito gruppo di studio, il *Groupe Spécial Mobile* (GSM), il cui compito era quello di studiare e realizzare un sistema di comunicazione radiomobile che fosse pan-europeo. Ben tre anni, dal 1982 al 1985, furono dedicati alla scelta tra la tecnica analogica e quella digitale. La decisione

¹ Effettivamente la standardizzazione del sistema GSM ha agito da propulsore anche per la nascita di più gestori in un medesimo Paese favorendo quindi anche la concorrenza nei singoli ambiti nazionali [1].

finale fu quella di adottare la seconda. A favore di questa giocarono diversi fattori, tra i quali la rapida evoluzione tecnologica nei settori dell'elaborazione numerica dei segnali; in particolare i progressi nel campo degli algoritmi di compressione e dei DSP (*Digital Signal Processors*) facevano sperare non solo di poter soddisfare i requisiti al tempo richiesti ma anche di consentire un continuo miglioramento del sistema in termini di qualità e costi. Inoltre, determinanti furono anche i vantaggi intrinseci di un sistema di trasmissione numerico, e cioè la maggiore immunità rispetto al rumore, la maggiore efficienza spettrale e la possibilità di usare algoritmi di autenticazione e cifratura con conseguente maggiore sicurezza sia per quanto riguarda l'apparato che le informazioni¹. Infine, la prospettiva di poter offrire all'utenza una vasta gamma di servizi analoghi a quelli che sarebbero stati man mano resi disponibili dalla attuanda rete ISDN (*Integrated Services Digital Network*) nonché la compatibilità fra quest'ultima e la rete di supporto al sistema radiomobile cellulare, è stato un altro degli elementi a favore del sistema digitale nel confronto con gli allora standard sistemi cellulari analogici, come AMPS negli Stati Uniti e TACS in Europa.

Il complesso lavoro di uniformazione si concluse nel 1987 con la stesura e la firma di un accordo, il *Memorandum of Understanding* (MoU), per l'introduzione coordinata del sistema GSM. Fu indicata come data di apertura del servizio il primo Luglio 1991, data che fu poi posticipata al primo Ottobre del 1992 [1].

Nel 1989 il comitato GSM assume la denominazione di Comitato Tecnico di ETSI (*European Telecommunications Standard Institute*).

Sebbene sia stato standardizzato in Europa, il GSM ha travalicato i suoi confini diventando uno standard non solo europeo. Esso, infatti, grazie alla sua intrinseca potenzialità integrativa, sta diventando lo standard della comunicazione mobile più diffuso nel mondo. Oltre 200 reti GSM (includendo anche il DCS 1800 e il PCS 1900) sono operative in 110 Paesi, in tutto il mondo. All'inizio del 1994 c'erano 1.3 milioni di abbonati in tutto il mondo, che erano diventati oltre 55 milioni nell'Ottobre del 1997 [10P]. Da quando il Nord America, con un certo ritardo, si è

¹ Infatti, nel sistema digitale l'onda viaggia codificata secondo una chiave nota solo all'utente (vedi SIM) e alla rete (vedi AuC), impedendo così la possibilità di intercettazione della conversazione e un uso fraudolento dell'apparecchio mobile (la cosiddetta "clonazione" del telefonino).

dotato di un suo sistema GSM (il PCS 1900), sistemi GSM esistono in ogni continente.

1.2 ARCHITETTURA DELLA RETE GSM

In una rete GSM, per la realizzazione della copertura radio del territorio vi sono vari “sistemi” che a livelli diversi e con aree geografiche di competenza diverse si occupano di ciò. Una “porzione” dell’architettura di una rete GSM è indicata nella figura seguente.

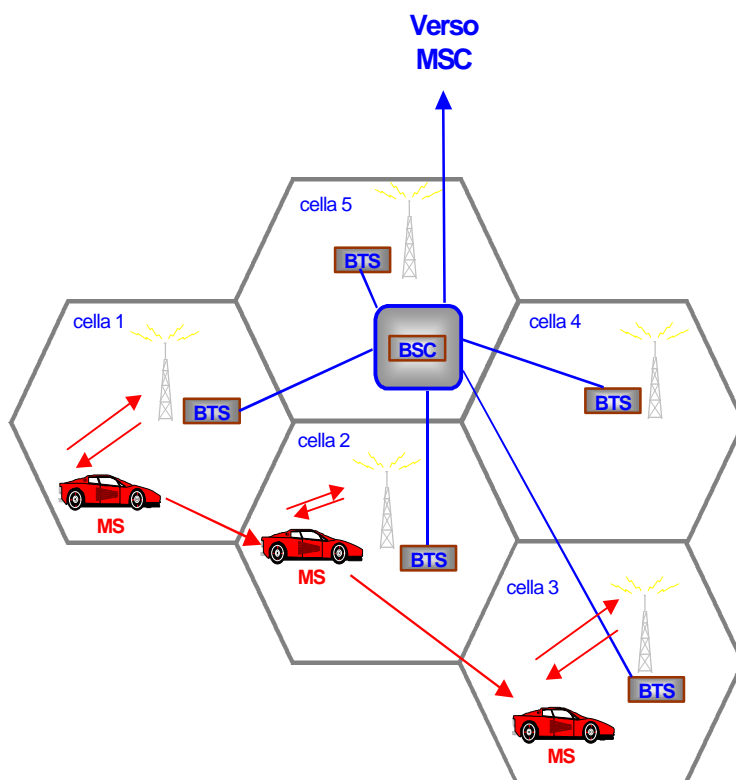


Figura 1: Architettura-tecnica di copertura del territorio, della rete GSM

Ogni cella è equipaggiata con un insieme di ricetrasmittitori operanti sul gruppo di canali assegnato che è diverso da quello delle celle adiacenti.

Una rappresentazione più globale dell’architettura di una rete GSM è fornita dalla prossima figura.

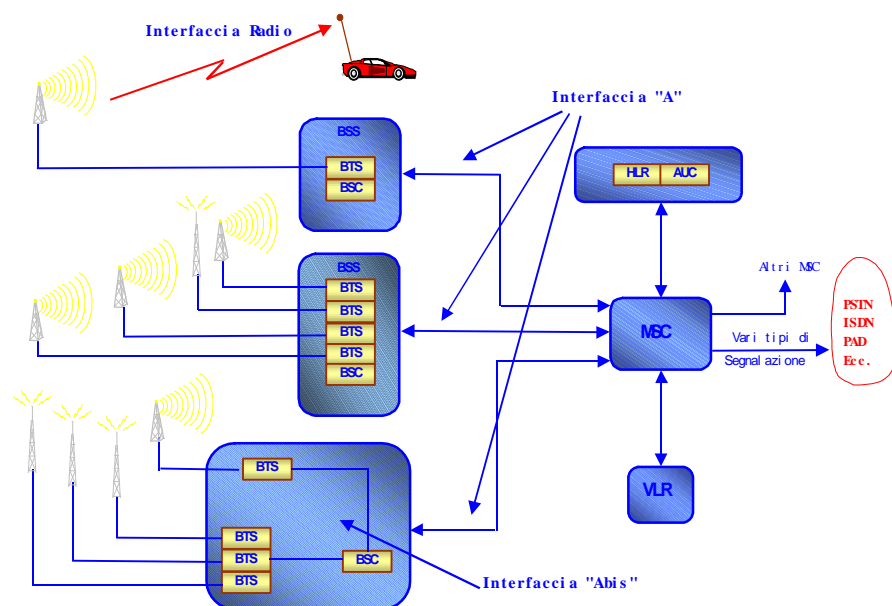
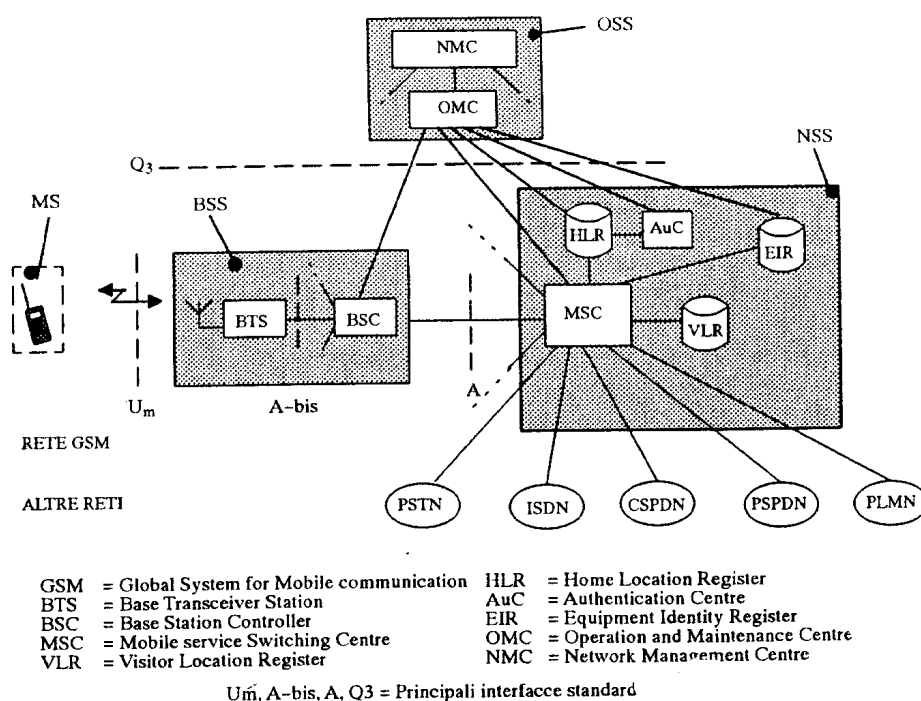


Figura 2: Architettura di una rete GSM

La figura che segue invece fornisce una rappresentazione più dettagliata dell'architettura della rete.



In una rete GSM, infatti, raggruppando le unità funzionali secondo i loro compiti, possono essere individuati i seguenti sottosistemi: il *terminale mobile* (*Mobile Station*, MS) che è l'apparato con il quale un utente può usufruire dei servizi

offerti dalla rete; il *Base Station Subsystem* (BSS), che si occupa del collegamento radio con un insieme di terminali mobili; il *Network Switching Subsystem* (NSS), che inoltra le chiamate fra utenti della rete mobile, e fra utenti della rete mobile e della rete fissa; infine, l'*Operation and Support Subsystem*, che consente la gestione, l'esercizio e la manutenzione della rete GSM di un gestore.

1.2.1 La Mobile Station

La *Mobile Station* (MS) è formata dal terminale mobile (*Mobile Equipment*, ME) e dalla SIM. La SIM permette ad un utente di caratterizzare come “proprio” un qualsiasi terminale mobile GSM, assicurando così la cosiddetta *personal mobility*. Infatti ogni utente può accedere ai servizi che ha sottoscritto indipendentemente dallo specifico terminale: inserendo la SIM in un altro terminale egli avrà accesso da tale terminale ai servizi che ha sottoscritto.

Il terminale mobile è identificato univocamente dall'*International Mobile Equipment Identity* (IMEI), mentre la SIM ovvero l'utente dall'*International Mobile Subscriber Identity* (IMSI). La SIM contiene anche la chiave segreta di autenticazione e gli algoritmi per accedere alla rete.

Le MS sono classificabili in base alla "portabilità" e/o alla potenza di picco.

1.2.2 Il Base Station Subsystem

Il *Base Station System* è l'insieme delle unità funzionali che si occupano degli aspetti radio del sistema, cioè della copertura radio di un'area costituita da una o più celle e della comunicazione con le MS che si trovano entro di esse. Esso è composto da due unità funzionali, la ***Base Transceiver Station*** (BTS) ed il ***Base Station Controller*** (BSC).

La **BTS** ospita le antenne che coprono una cella e svolge tutte quelle funzioni esecutive che permettono lo scambio di informazioni via radio con le MS. A seconda delle esigenze della copertura radio ovvero del traffico, gli apparati radio costituenti i BTS possono essere connessi ad antenne omnidirezionali o direttive.

Il **BSC** gestisce le risorse radio per una o più BTS. In particolare, sono di sua competenza l'assegnazione dei canali, il *frequency hopping*, e l'*handover*, che saranno descritti in seguito. Il colloquio tra BSC e BTS avviene tramite l'interfaccia standard A-bis, consentendo così a componenti di diverse Case costruttrici di operare tra loro.

La suddivisione funzionale tra i due sistemi, e cioè la separazione della parte più specificatamente esecutiva ovvero ricetrasmittiva (BTS) da quella di controllo, consente la possibilità di condivisione di quest'ultima da parte di più ricetrasmittitori con conseguente risparmio nella distribuzione delle risorse di controllo.

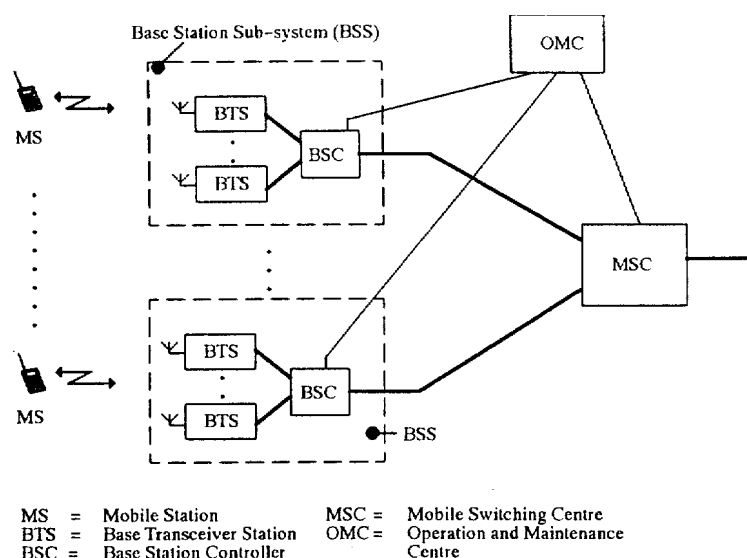


Figura 4: Elementi che compongono la BSS

1.2.3 Il Network Subsystem

Esso è costituito da un insieme di unità funzionali, centrali di commutazione e database, che consentono di gestire la mobilità degli utenti e di effettuare il controllo delle chiamate, nonché di supportare i servizi offerti dalla rete. Le unità che lo compongono sono le seguenti:

- MSC (*Mobile services Switching Centre*)

E' una centrale di commutazione, specifica per il servizio radiomobile, che ha in carico una certa area del territorio. Rappresenta il "cuore" del sistema radiomobile. Essa si occupa di tutti gli aspetti inerenti il controllo e l'instradamento delle chiamate, e della gestione della mobilità ad alto livello (per esempio, il coordinamento degli handover tra celle appartenenti a BSC diversi). L'MSC è quindi, in particolare, l'entità che realizza le connessioni fra utenti della rete GSM e fra questi e le reti di telecomunicazione fisse, nazionali ed internazionali.

Poiché gli utenti della rete GSM sono "utenti mobili", cioè non sono vincolati alla rete da un collegamento fisso ma appunto mobile, l'MSC si differenzia da una normale centrale di commutazione per la telefonia fissa. Infatti, al contrario di quanto avviene nella telefonia fissa, l'analisi del numero di telefono di una Mobile Station, che nel GSM viene denominato MSISDN (*Mobile Station ISDN Number*), non consente di determinare direttamente la posizione dell'apparecchio mobile e nemmeno la centrale di commutazione che, in un certo momento, è in grado di raggiungerlo. Per poter individuare tale posizione, c'è bisogno di interagire con altre due entità (il VLR e l'HLR) qui di seguito descritte. Infatti, le informazioni che un MSC può ricavare dal numero di telefono chiamato non è la localizzazione del MS bensì qual è l'HLR a cui vanno richieste le informazioni relative all'utente (identità o IMSI, servizi sottoscritti, VLR su cui è registrato, ecc.).

- VLR (*Visitor Location Register*)

E' un database, in genere integrato nell'MSC¹, che contiene temporaneamente le informazioni inerenti la localizzazione e una copia dei dati di utente di ogni Mobile Station che si trova nell'area da esso servita. Infatti, un MSC ha in carico una certa area del territorio e deve servire tutte le MS che transitano in quell'area. Qualora una MS entra nell'area servita da un altro VLR essa sarà

¹ Sebbene da un punto di vista logico il VLR è un'entità distinta rispetto all'MSC e quindi esso potrebbe essere di tipo *stand alone* o comunque condiviso da più MSC (in quest'ultimo caso l'area geografica servita dall'MSC risulterebbe diversa da quella servita dal VLR), poiché però questi due elementi hanno un notevolissimo scambio di informazioni, allora allo scopo di semplificare lo scambio di segnalazioni necessario, in genere il VLR viene integrato nell'MSC ed il tutto viene usualmente definito MSC/VLR. In tal caso l'area servita dall'MSC coincide con quella servita dal VLR.

cancellata dal precedente VLR e registrata nel nuovo, sicché sia sempre possibile poter sapere dove si trova una certa MS.

- HLR (*Home Location Register*)

E' un database che contiene, memorizzati permanentemente, sia i dati di abbonamento di ogni utente (facente capo ad un determinato gestore) sia le informazioni necessarie per poter individuare il VLR che, in un certo momento, ha in carico la MS e quindi permetterne la localizzazione. Esso è quindi in comunicazione sia con il VLR (gli fornisce i dati di utente e acquisisce la posizione dell'utente) che con l'MSC.

Inoltre contiene memorizzati anche i parametri di sicurezza di un utente, e cioè quei parametri che consentono di autenticare un utente e di cifrarne le informazioni da inviare sulla tratta radio.

- AuC (*Authentication Centre*)

E' un'unità che serve per la sicurezza di utente, cioè a generare tutti quei parametri che servono per l'autenticazione dell'utente e il criptaggio delle informazioni trasmesse sul canale radio. A tal uopo essa possiede una copia della chiave segreta memorizzata in ogni SIM. E' pertanto evidente che essa costituisce un'unità molto protetta.

Essa si distingue dall'HLR poiché quest'ultimo è semplicemente un data base e quindi esso memorizza i parametri di sicurezza ma non provvede alla loro generazione, compito che è assolto dall'AuC.

- EIR (*Equipment Identity Register*)

E' un database che memorizza l'identificativo della parte hardware di una MS (IMEI, *International Mobile Equipment Identity*). E' stato introdotto per prevenire l'utilizzo di MS non autorizzate (rubate, difettose, non omologate).

1.2.4 L'Operation and Support Sub-system

Con il termine OSS si intende l'insieme delle unità funzionali che consentono la gestione, l'esercizio e la manutenzione dell'intera rete GSM di un gestore.

Essa è composta da due tipi di unità funzionali:

- *l'Operation and Maintenance Centre (OMC)*

E' un Centro di Esercizio e Manutenzione che controlla uno o più MSC, con i BSS ad esso associati, nonché alcuni database.

- *Il Network Management Centre (NMC)*

E' un centro di gestione di rete che fornisce una visione complessiva di tutte le attività di esercizio e manutenzione di una rete GSM.

1.3 ASPETTI DEL COLLEGAMENTO RADIO

L'ITU (*International Telecommunications Union*), che fra le altre sue funzioni ha quella di gestire, a livello internazionale, l'allocazione delle frequenze, ha destinato al GSM, in Europa, le bande 890-915 MHz per il collegamento *uplink* (dal terminale mobile alla stazione base) e 935-960 MHz per il collegamento *downlink* (dalla stazione base al terminale mobile)¹.

¹ La banda effettivamente allocata per il sistema GSM nei vari Paesi europei è minore, in parte perché si preferisce assegnare una banda "iniziale" e poi ampliarla al crescere dell'utenza, in parte per compatibilità con altri sistemi già esistenti (tipico è il caso dell'Italia, dove si è dovuto allocare la banda del GSM tenendo conto dei requisiti di compatibilità con la banda impegnata dal preesistente sistema analogico TACS). In Italia, con Decreto Ministeriale del 20 Marzo 1998, al GSM sono state assegnate le seguenti bande [11]:

- 894,5-913,7 MHz e 939,5-958,7 MHz a partire dal 15 Aprile 1998
- 892,5-913,7 MHz e 937,5-958,7 MHz a partire dal 15 Ottobre 1998

Nella Figura 6 [3] sono indicate le bande riservate al sistema GSM ed ai sistemi DCS1800 e PCS1900, da esso derivati¹.

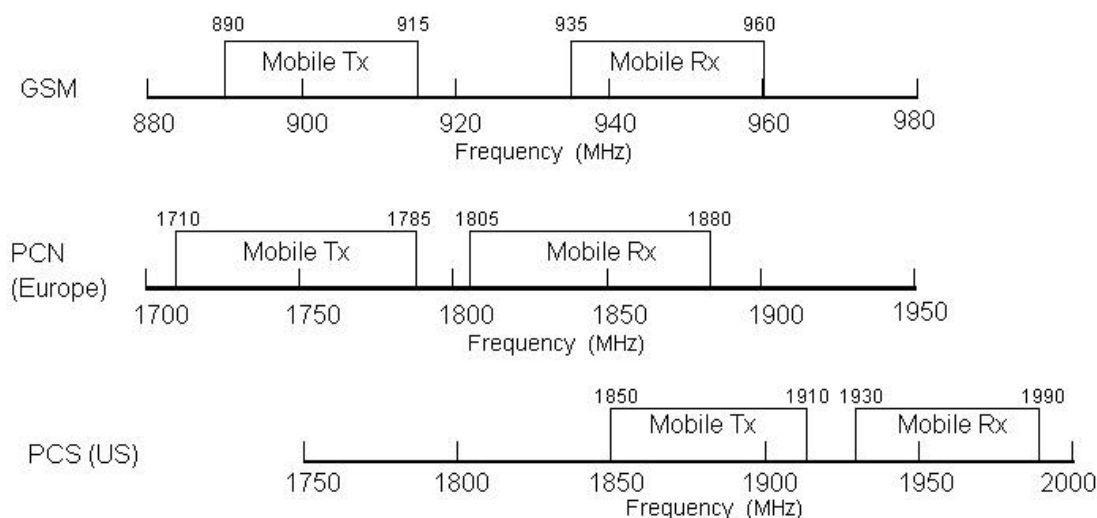


Figura 6: Spettro utilizzato dai sistemi GSM, DCS1800, PCS1900

Nella Figura 7 sono invece riportate anche le bande del TACS e del DECT [1].

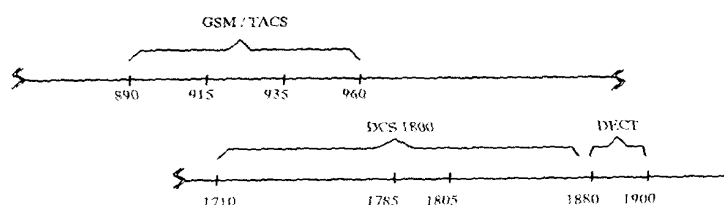


Figura 7: Spettro utilizzato dai sistemi GSM, TACS, DCS, DECT

1.3.1 I canali fisici

Poiché lo spettro radio è una risorsa limitata che deve essere condivisa fra tutti gli utenti, occorre trovare un metodo per suddividere la banda GSM fra quanti più

¹ In effetti, le sole differenze fra questi tre sistemi sono: l'occupazione di banda, la numerazione dei canali, ed i livelli di potenza in trasmissione.

utenti possibile, ovvero un metodo di accesso¹ a tale banda che fosse adatto a tale scopo. Infatti, con il continuo incremento dell'utenza radiomobile, aumenta la necessità di sfruttare in maniera sempre più efficiente le bande di frequenza assegnate.

Nel contesto radiomobile, alla tecnica di accesso si richiede anche di minimizzare i costi di installazione e di gestione, di offrire una notevole resistenza alle condizioni ostili di propagazione e interferenza, ecc.

Ebbene, la tecnica di accesso utilizzata nel GSM è denominata **TDMA/FDMA** (*Time Division Multiple Access / Frequency Division Multiple Access*); essa è indicata in figura.

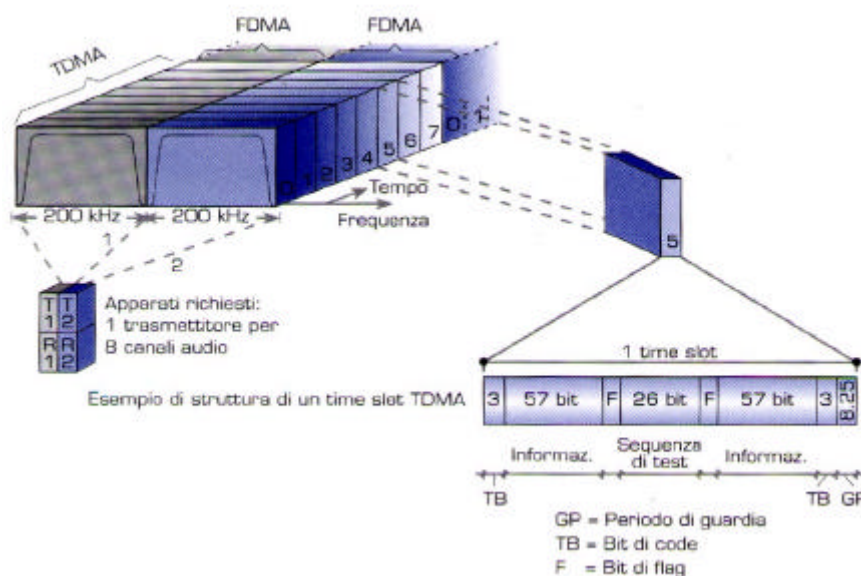


Figura 8: Tecnica di accesso multiplo FDMA/TDMA utilizzata nel GSM

La parte di tecnica FDMA comporta che la banda disponibile per ogni via di comunicazione (attualmente 25 MHz) viene suddivisa in 124 portanti radio spaziate di 200 KHz² l'una dall'altra; la n-esima portante è definita dalla relazione:

¹ Con il termine «accesso» si intende il modo in cui gli utenti accedono alla risorsa radio e la condividono. Si parla poi di accesso *trunked* quando, come capita anche nel caso del sistema GSM, il numero di canali disponibili è minore del numero di utenti.

² Si è tenuto conto della necessità di una banda di guardia ai bordi di ciascuna banda RF; l'ampiezza di tale banda di guardia è di 200 MHz [1,4].

$$F_{up}(n) = 890,2 + (n-1) \times 0,2$$

$$F_{down}(n) = F_{up}(n) + 45$$

Le frequenze assegnate ai canali nelle due direzioni sono accoppiate e la loro “distanza” viene detta *passo di duplice* o *duplex* ed è pari a 45 MHz. Ciascuna coppia viene associata ad una comunicazione (vedi Figura 9).

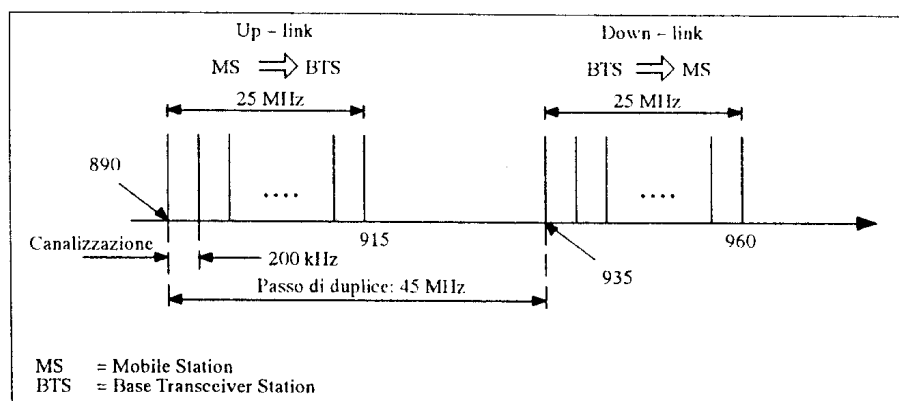


Figura 9: Allocazione e suddivisione delle bande di frequenza del GSM

A sua volta, in virtù della tecnica TDMA, ogni portante radio viene suddivisa in 8 intervalli di tempo (*time slot*) che possono essere assegnati ad altrettante connessioni (vedi Figura10). Tali time slot costituiranno i canali di comunicazione¹ sia per la trasmissione di voce/dati (*canali di traffico*) sia per le segnalazioni (*canali di controllo*).

Questa tecnica ibrida permette di trasmettere sulla stessa portante radio diversi segnali di “utente”, occupando brevi intervalli di tempo con cadenza prestabilita. Ogni canale di “utente” è in corrispondenza biunivoca con uno di questi intervalli di tempo ed è perciò individuato dalla posizione che esso occupa in tale struttura.

¹ In realtà il canale di comunicazione non è identificabile col solo time slot: per identificare un canale occorre fornire il numero di time slot (TN, con $TN = 0 \div 7$ nel GSM), il numero di trama (FN) e la frequenza della portante assegnata.

Il vantaggio principale dell'utilizzo di questa tecnica di accesso è che nella stazione radio base si possono gestire più canali logici attraverso un'unica catena di ricetrasmittitori¹ e quindi sfruttare al meglio la potenza erogabile dagli amplificatori a radiofrequenza, poiché, quando in esso transita una sola portante, non si hanno le distorsioni dovute ai prodotti di intermodulazione; inoltre la selettività richiesta ai filtri di ricezione è più blanda rispetto al caso SCPC/FDMA (Single Channel Per Carrier/FDMA), essendo più larga la banda associata ad ogni portante radio.

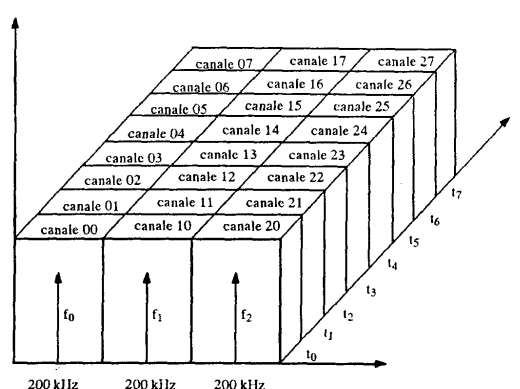


Figura 10: Struttura di multiplexing ibrido a divisione di tempo e frequenza

Ogni “time slot” ha una durata di circa 0,577 ms e l'insieme di time slot viene definito *trama* o *frame* e risulta avere una durata di 4,616 ms. Ciascuna trama è numerata con una numerazione ciclica e tale numero rappresenta la base per gli algoritmi di autenticazione e cifratura.

Al fine di evitare che una stazione debba trasmettere e ricevere allo stesso tempo nelle due direzioni, è stato implementato un *offset* temporale di 3 time slot; pertanto, una stazione mobile che riceva nel time slot TS_k della portante C_i , ritrasmetterà sulla frequenza $(C_i - 45 \text{ MHz})$ nel time slot TS_{k+3} .

I due “offset”, in frequenza e in tempo, sono riassunti schematicamente nella Figura 11.

¹ Infatti, dal punto di vista della capacità di traffico, la tecnica FDMA/TDMA consente di avere lo stesso fattore di utilizzo dei sistemi analogici già in uso. Anche se, considerando effetti sistemici che consentono l'introduzione di “microcellule”, l'intensità del traffico può essere elevata dagli attuali 500 Erlang/km² fino a circa 5000 Erlang/km² [1]. Con il passaggio a canali di traffico a velocità dimezzata, tale capacità è destinata a raddoppiare.

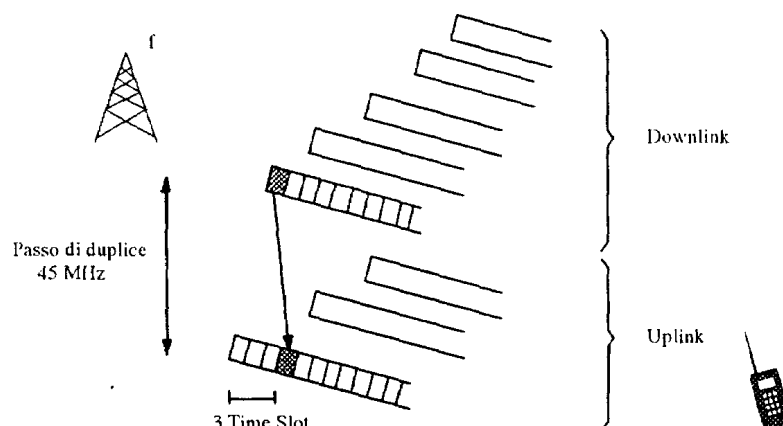


Figura 11: Offset di frequenza e di tempo tra i canali up-link e down-link

- *La sincronizzazione*

Quello della sincronizzazione rappresenta un problema centrale in un sistema a divisione di tempo. Il non corretto confinamento della trasmissione all'interno del timeslot assegnato genera infatti immediatamente delle interferenze con il canale "inserito" nel timeslot successivo. Dobbiamo quindi evitare il verificarsi di possibili fenomeni di "collisione" tra i messaggi trasmessi dai mobili sui diversi time slot di una medesima portante radio.

Il problema della sincronizzazione, richiesta dalla tecnica TDMA, si complica in un sistema radiomobile. Infatti in un sistema radiomobile la disposizione geografica della stazioni radiomobili è del tutto casuale e pertanto saranno anche del tutto casuali sia i (differenti)¹ ritardi di propagazione che si hanno nella tratta up-link e down-link, sia i ritardi di propagazione di una MS rispetto a quello di un'altra MS come indicato schematicamente in Figura 12.

¹ Osserviamo che, in realtà, siccome l'utente si muove ad una velocità bassa rispetto a quella di propagazione dell'onda modulata, i ritardi sulle due tratte sono pressoché uguali [1]. Possiamo pertanto affermare che alla stazione radio base le comunicazioni con gli utenti radiomobili saranno ricevute con ritardi paria due volte il tempo di percorrenza di una singola tratta.

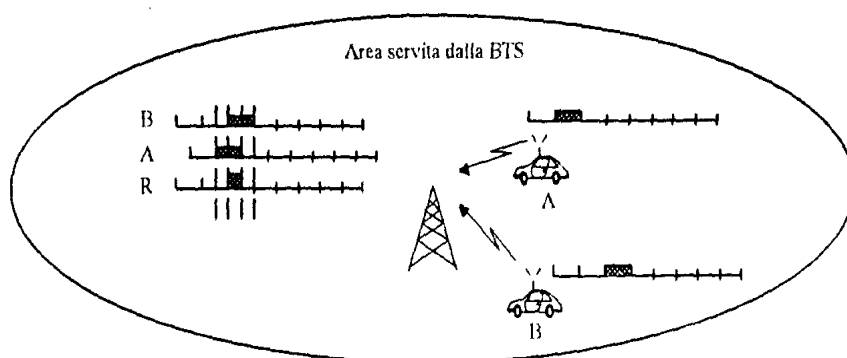


Figura 12: Distribuzione degli utenti sul territorio e diversità nei tempi di propagazione

Occorre allora fare in modo che, indipendentemente dalla posizione del mobile nella cella, il “burst”¹ trasmesso sia sempre ricevuto dalla BTS [MS] nella corretta finestra temporale assegnata.

Per raggiungere tale obiettivo sono utilizzate sofisticate tecniche di sincronizzazione che permettono alla BTS di comandare al terminale mobile l’esatto istante in cui iniziare la trasmissione del burst. Ogni volta che è discriminato un ritardo eccessivo, cioè il burst è ricevuto al di fuori della finestra temporale assegnatagli, è trasmesso al mobile un messaggio contenente la correzione temporale da apportare. La tecnica che consente tutto ciò è una tecnica di *avanzamento temporale* (*timing advance*) in base alla quale la stazione fissa ordina alla stazione mobile di anticipare l’inizio della sua trasmissione di un ammontare di tempo tale da compensare il ritardo di propagazione.

In questo modo diventa possibile gestire in modo efficiente² anche delle celle di dimensioni fino a 35 Km.

¹ L’informazione da trasmettere, in virtù della tecnica a divisione di tempo, viaggia sotto forma di “pacchetti” (intesi come elementi discreti di trasporto) che la terminologia ufficiale chiama burst.

² La dimensione delle celle nel GSM è tale che una MS può trovarsi al massimo ad una distanza di 35 Km da una BS. Il tempo impiegato dal segnale radio per andare e tornare indietro è di 0.23 ms, sicché un tempo di guardia di questa lunghezza dovrebbe essere previsto per ciascun timeslot. Essendo la lunghezza di un timeslot pari a 0.577 ms, si tratta chiaramente di una soluzione non efficiente. Il GSM rimedia a questa inefficienza trasmettendo l’informazione di *timing advance*, ossia quale deve essere il ritardo del segnale trasmesso dalla MS rispetto al segnale di riferimento ricevuto dalla BS affinché si abbia una corretta sincronizzazione. Ciò consente di ridurre il tempo di guardia a 0.03 ms (8.25 bit).

1.3.2 Il frequency hopping

Nel sistema GSM, a scapito di una maggiore complessità, alla tecnica FDMA/TDMA viene aggiunta una procedura che modifica, con una nota cadenza temporale e con una nota legge, la frequenza della portante mantenendo però invariate le associazioni temporali prima descritte. Tale tecnica va sotto il nome di *frequency hopping* che, nella sua versione lenta¹, rappresenta uno tra i modi utilizzati per combattere gli effetti del fading alla Rayleigh tipico dei canali radiomobili. Essa infatti consiste nel trasmettere messaggi successivi (pacchetti discreti, *burst*) di una stessa comunicazione su frequenze diverse: poiché la fase del segnale ricevuto dipende anche dalla frequenza è chiaro che se una frequenza ovvero un burst è sottoposta a fading un'altra frequenza ovvero un altro burst molto probabilmente non lo sarà (cambiano le fasi). Tale tecnica è indicata in figura.

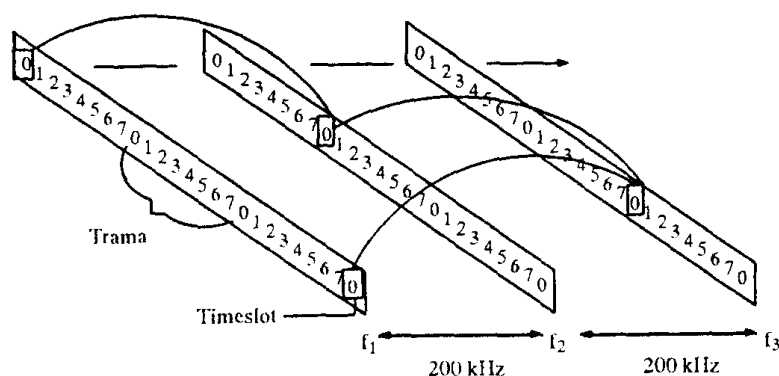


Figura 13: Esempificazione di un sistema con salto di frequenza

Inoltre, la tecnica del frequency hopping ha anche un effetto benefico sull'interferenza, e precisamente sull'interferenza co-canale: il frequency hopping infatti fa parte della famiglia delle tecniche cosiddette *a spettro diffuso* (spread spectrum), nelle quali la potenza viene “spalmata” (spreaded) su un range di frequenze abbastanza ampio, rendendo la potenza per unità di ampiezza di banda

¹ Infatti, esiste anche un versione veloce che è stata utilizzata nelle trasmissioni militari per diminuire la probabilità di intercettazione delle comunicazioni.

(Watt per Hertz) sufficientemente piccola, tale da minimizzare la possibilità di interferenza con altri segnali¹.

L'algoritmo di frequency hopping [1,5] è trasmesso sul Broadcast Control Channel (BCCH).

Le figure che seguono forniscono una visione più completa di ciò che accade in presenza e in assenza di frequency hopping.

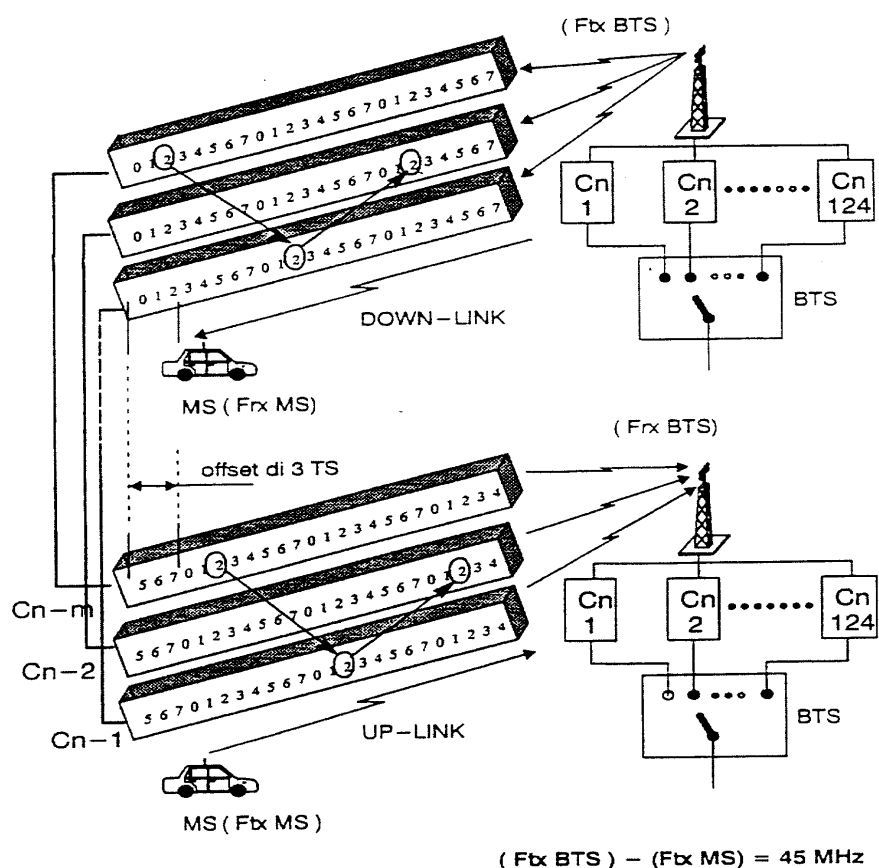


Figura 14: FDMA/TDMA/FH

¹ Infatti, mentre i “vecchi” sistemi cellulari analogici hanno bisogno di un rapporto segnale/interferenza co-canale (C/I) pari almeno a 18 dB mentre il GSM garantisce già prestazioni più elevate senza il FH in quanto richiede un rapporto C/I minimo di 12 dB, il valore di tale soglia si abbassa a 9 dB in presenza di frequency hopping.

E la minimizzazione dell'interferenza co-canale è un obiettivo da perseguire in ogni sistema di telefonia cellulare, poiché essa consente un servizio migliore per una data estensione di cella. Infatti diminuendo tale interferenza, per la legge di Sharley-Hannon si può avere la possibilità di trasmissioni più veloci [6].

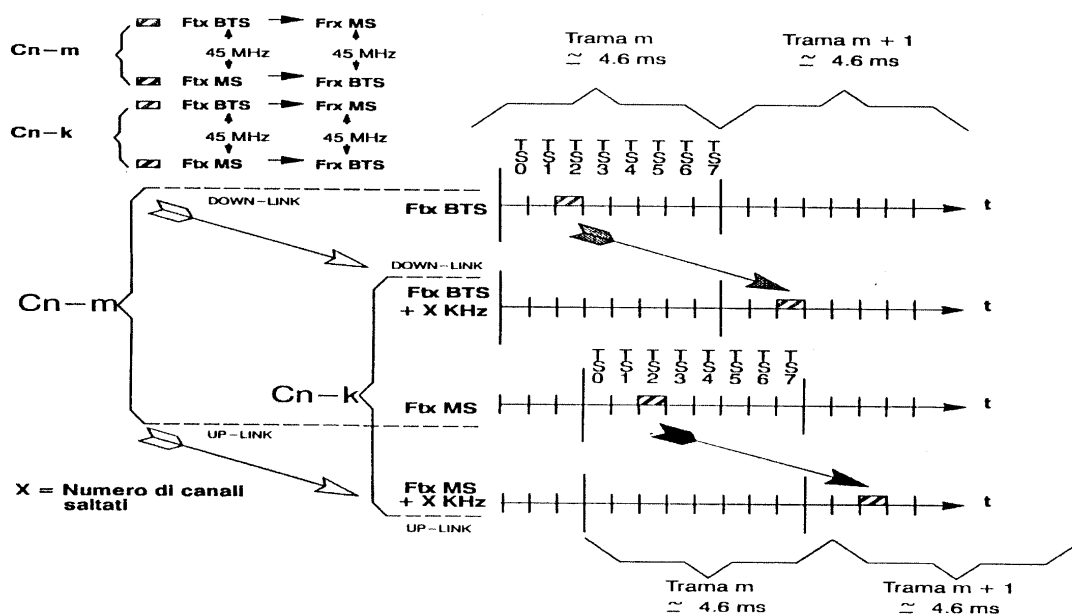


Figura 15: Distribuzione temporale dei time slot del canale m -esimo in assenza di FH

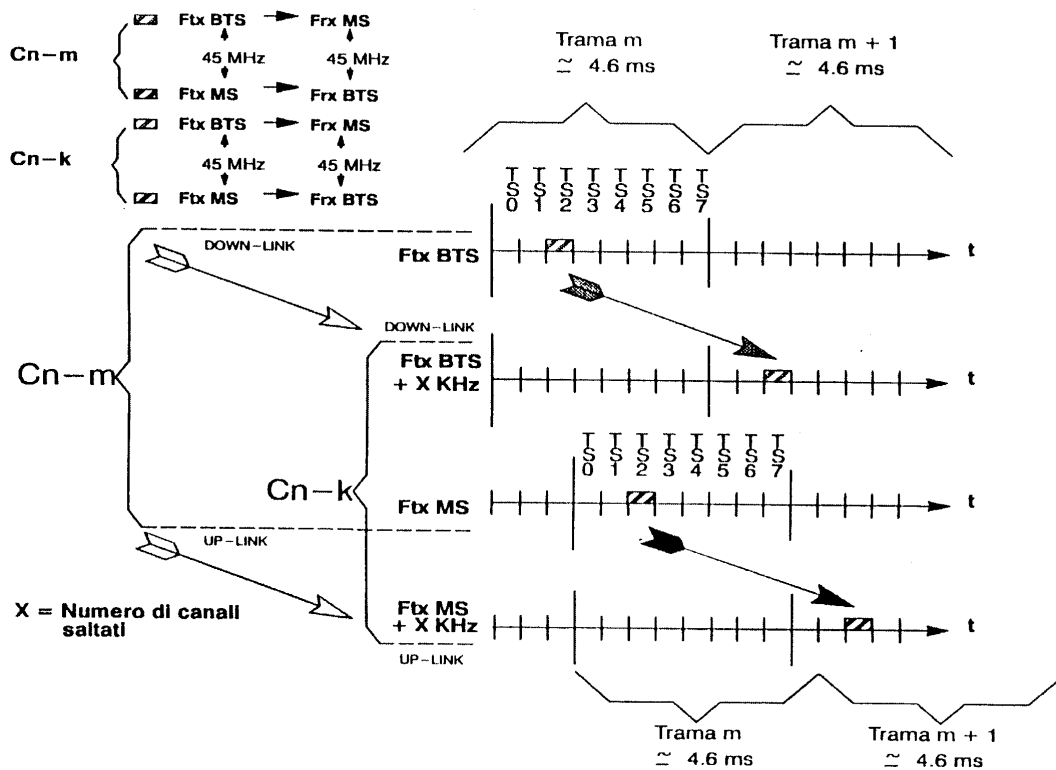


Figura 16: Distribuzione temporale dei time slot del canale m -esimo in presenza di FH

1.3.3 La struttura dei canali logici

I canali logici del sistema GSM possono essere distinti in due principali categorie:

1. *Canali di traffico (TCH, Traffic CHannel)*: sono utilizzati per trasmettere informazioni di utente: la voce (codificata) e/o dati di utente;
2. *Canali di controllo (CCH, Control CHannel)*: sono impiegati per le segnalazioni necessarie al controllo delle chiamate e alla gestione del sistema;

I canali di traffico si suddividono in base al tipo di informazione essere trasmessa e alla velocità di trasmissione; esistono sette tipi di canali di traffico:

- Canale fonico a velocità piena (**TCH/FS**);
- Canale fonico a velocità dimezzata (**TCH/HS**);
- Canale dati a 9,6 Kbit/s a velocità piena (**TCH/F9.6**);
- Canale dati a 4,8 Kbit/s a velocità piena (**TCH/F4.8**);
- Canale dati a 4,8 Kbit/s a velocità dimezzata (**TCH/H4.8**);
- Canale dati 300-2400 bit/s a velocità piena (**TCH/F2.4**);
- Canale dati 300-2400 bit/s a velocità dimezzata (**TCH/H2.4**);

I canali di controllo sono suddivisi in:

- Canali di diffusione (**BCH**);
- Canali di controllo comune (**CCCH**);
- Canali di controllo dedicato “Autonomo” (**SDCCH**);
- Canali di controllo associato (**ACCH**);

I canali di diffusione BCH (*Broadcast CHannel*) sono dei canali unidirezionali, con verso di trasmissione unicamente nella direzione fisso → mobile. Sono utilizzati sia per diffondere informazioni di interesse generale (**BCCH, Broadcast Control Channel**), cioè non relative ad una specifica connessione ma a tutti gli utenti serviti da una determinata cella (identificazione della cella, identificazione della rete ecc.), sia le informazioni di sincronizzazione (**SCH**) che di correzione di frequenza (**FCCH**).

I canali di controllo comune CCCH (*Common Control CHannel*) sono anch'essi monodirezionali ma non tutti unicamente *down-link*. Nella direzione fisso→mobile, essi consentono di inviare ai mobili sia i messaggi di chiamata (*Paging Channel*, PCH) sia i messaggi di assegnazione della risorsa dedicata (*Access Grant Channel*, AGCH). Nella direzione opposta, mobile→fisso, consente di inviare le richieste di accesso alla rete (*Random Access Channel*, RACH).

Il canale di controllo dedicato “Autonomo” SDCCH (*Stand-alone Dedicated Control Channel*) è un canale bidirezionale che viene utilizzato nella fase iniziale del collegamento¹ per la trasmissione dei dati di utente necessari all'autenticazione, sia per servizi particolari quali quelli di “messaggistica breve” (Short Message Service: SMS).

Il canale di controllo associato ACCH è sempre utilizzato “in connessione” con un canale di traffico (TCH)². Esistono due tipi di canale ACCH:

1. Canale di controllo associato lento (*Slow Associated Control Channel*, SACCH): nella direzione *uplink*, è utilizzato per la trasmissione al BTS delle misure effettuate dalla MS sull'ambiente circostante, cioè sulle celle adiacenti, necessarie all'MSC per l'handover; nella direzione *downlink*, per la trasmissione ai mobili dei comandi necessari per l'attuazione del controllo di potenza, per la gestione della trama ecc.

2. Canale di controllo associato veloce (*Fast Associated Control Channel*, FACCH) il quale è utilizzato per trasmettere al mobile i comandi che non possono attendere di essere inseriti nel canale SACCH; un esempio tipico è la necessità di effettuare un handover immediato a seguito dell'eccessivo degrado delle caratteristiche di ricezione del canale attuale.

A seconda dello stato operativo, il mobile può accedere solo ad una parte dei canali sopra descritti.

Le figura 17 riporta lo schema riassuntivo dei canali logici definiti nel sistema GSM. La figura 18 riporta invece una “rappresentazione visiva” di un canale fisico.

¹ Cioè prima che, a seguito della richiesta di accesso alla rete, alla MS venga assegnato definitivamente un canale.

² Nel senso che essi sono inseriti periodicamente nella sequenza di time slot di traffico di ciascuna connessione.

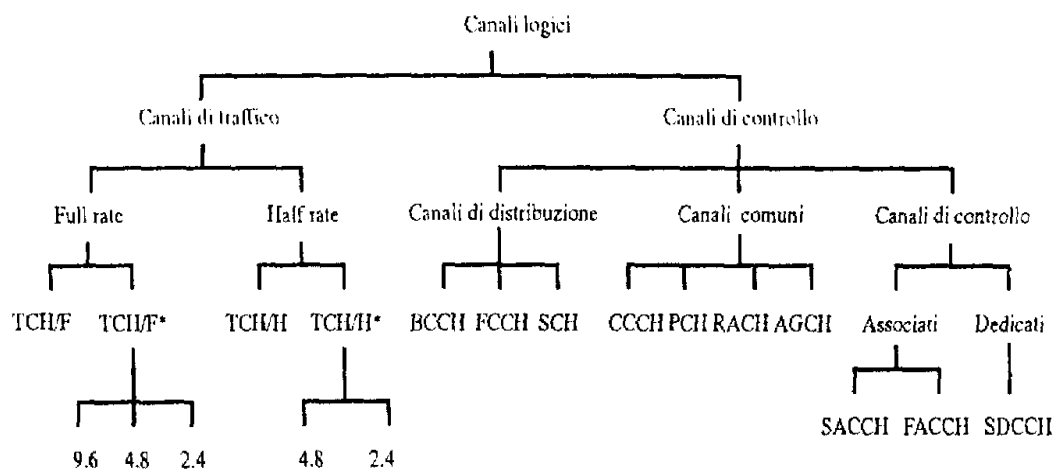


Figura 17: Schema riassuntivo dei canali logici GSM

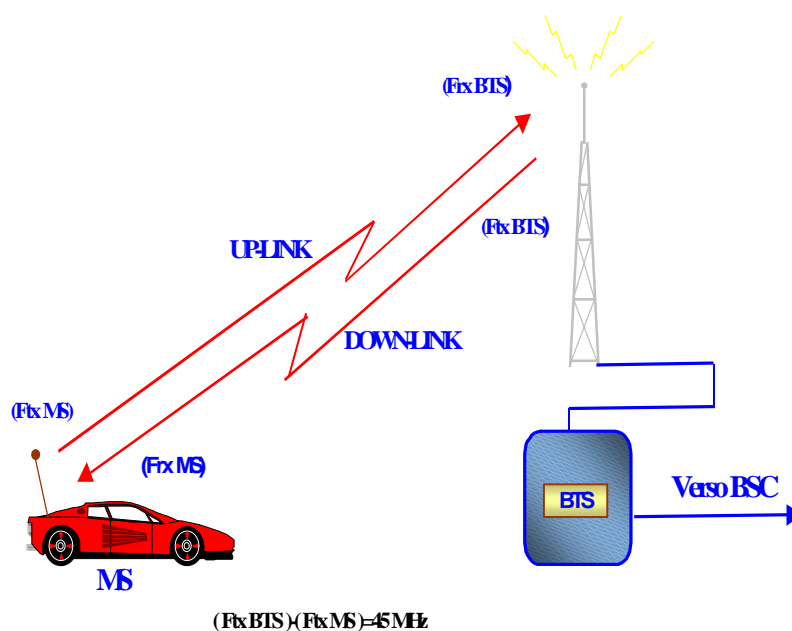


Figura 18: Canale fisico di collegamento tra MS e BTS

1.3.4 La struttura dei burst

Nel sistema GSM per la trasmissione dei vari tipi di informazione sono utilizzati diversi tipi di “burst”. Il primo, rappresentato in Figura 19, è il *normal burst*: viene usato per trasportare dati e la maggior parte delle segnalazioni.

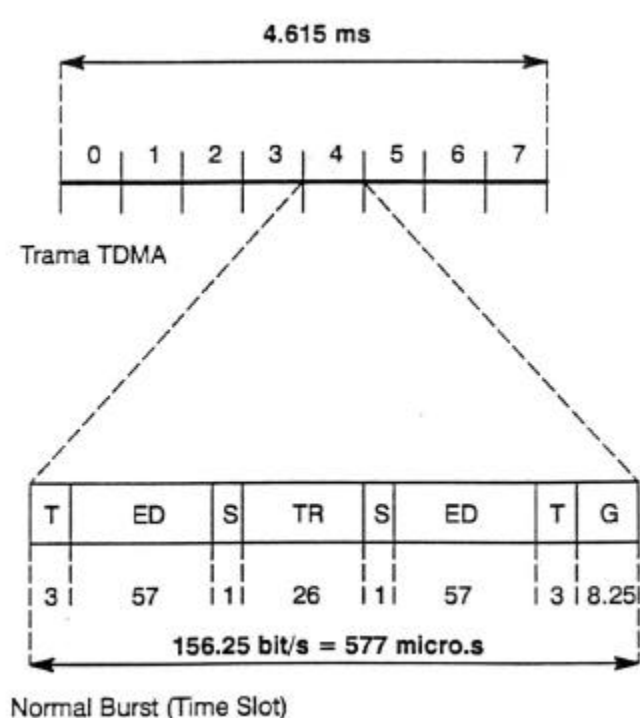


Figura 19: Struttura di un Normal Burst

I simboli della figura hanno i significati specificati nella sottostante tabella:

DENOMINAZIONE	FUNZIONE
T= Tail Bits	Bit di riempimento del burst (3+3 bits). Evidenzia la fine e l'inizio del burst trasmesso consentendo, unitamente al periodo di guardia G , di variare la potenza trasmessa per ogni singolo burst costituente la trama TDMA
ED=Encrypted Data Bits	Bits di codifica dell'informazione trasmessa (dati d'utente : segnalazione e fonia; 57+57 bits
S= Stealing Flag	Identifica il tipo di semi burst a cui è associato; segnala se il burst trasmette segnalazione (s = 1) o fonia (s = 0)
TR= Training Sequence	Ha la funzione di sincronismo del burst trasmesso (26 bits)
G=Guard period	Viene utilizzato come tempo di guardia durante la fase di accensione e spegnimento del trasmettitore Tx in funzionamento dinamico (8.25 bits)

Gli altri tipi di burst hanno una struttura interna differente, caratteristica del tipo di informazione trasmessa [5,7,8,9]. La loro struttura e il loro funzionamento sono illustrati schematicamente nelle figure sottostanti:

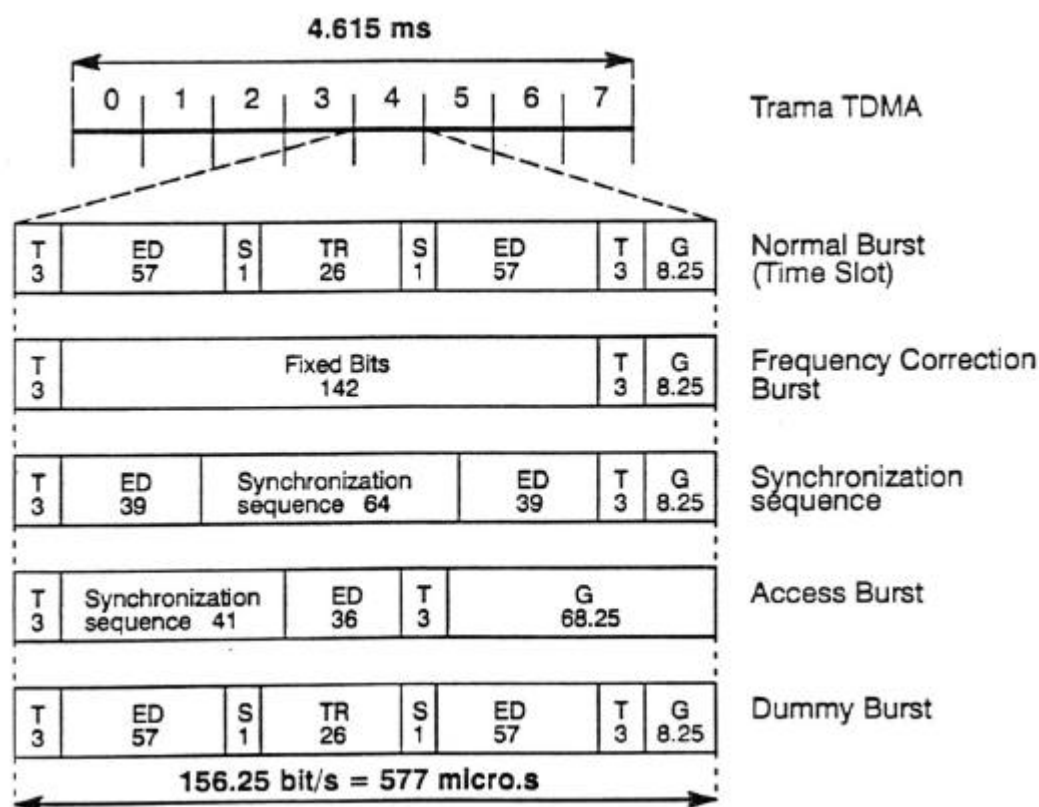


Figura 20: Struttura dei burst usati per la trasmissione GSM

DENOMINAZIONE	UTILIZZAZIONE
Normal Burst	Usato per i canali TCH, BCCH, PCH, AGCH, SDCCH, FACCH e SACCH
Frequency Correction Burst	Usato per FCCH (i bits trasmessi sono 0)
Synchronisation Burst	Usato per SCH
Access Burst	Usato per RACH
Dummy Burst	E' sostituito sulla portante che è usata per il canale di broadcast quando i time slots non sono usati dal CCCH e TCH

Tabella: Singoli Burst con specifiche funzionali

1.3.5 La tecnica di copertura radio del territorio

Poiché le risorse radio sono limitate, gli organismi internazionali possono mettere a disposizione dei sistemi radiomobili solo una banda relativamente ristretta di frequenze. Pertanto i canali radio disponibili sono in numero limitato. Se con le poche risorse radio disponibili si vuole servire un numero elevato di utenti è allora indispensabile riutilizzare più volte la stessa frequenza in luoghi diversi¹ (*tecnica di riutilizzo delle frequenze*). E' questa l'idea base della strategia di copertura radio del territorio utilizzata nei sistemi cellulari [1]. Così facendo si consente l'utilizzo contemporaneo di frequenze uguali. Ciò comporta un notevole passo in avanti rispetto al sistema analogico, in cui ad ogni cliente veniva assegnata una frequenza che non poteva essere utilizzata da altri finché il cliente era in conversazione.

Per ottenere quanto detto, l'area da coprire viene suddivisa in tante regioni dette «celle»², ed il servizio telefonico radiomobile è fornito all'utente dalla cella nella quale egli si trova al momento della prestazione del servizio stesso. Ciascuna cella è servita da una *stazione radio base* la quale dispone di un certo numero di canali radio i quali sono supportati da un certo numero di frequenze, le *portanti*³. Tali frequenze non possono essere le stesse di quelle utilizzate anche nelle celle vicine perché si creerebbero interferenze eccessive. L'insieme delle frequenze ovvero dei canali disponibili per la rete GSM viene perciò suddiviso in *gruppi*, ciascuno dei quali può essere utilizzato in un'infinità di celle diverse, purché queste si trovino ad una distanza sufficiente a rendere accettabili le interferenze reciproche⁴. Celle vicine usano gruppi diversi. Un esempio di struttura cellulare è riportato in figura 21.

¹ Infatti, in ogni cella non è possibile utilizzare l'intera banda a disposizione del sistema a causa dell'interferenza isocanale. Ne deriva che, per limitare tale interferenza, due celle contigue non possono utilizzare le stesse frequenze.

² La cella è l'area di copertura radio di un'antenna. Per convenzione si usa rappresentare tale area con una figura geometrica regolare (esagono) ma in realtà la forma risulta essere irregolare a causa della presenza di ostacoli.

La genesi del termine «cellulare» deriva dal fatto di suddividere l'area da coprire in «celle».

³ Nel sistema GSM per ogni portante si hanno 8 canali, cioè 8 conversazioni contemporanee.

⁴ In questo modo limitiamo l'interferenza co-canale. Per limitare anche l'interferenza da canale adiacente dobbiamo formare dei gruppi che non sono costituiti da frequenze adiacenti. In altri termini, tale interferenza limita la possibilità di usare frequenze adiacenti in una stessa cella [pg 18F].

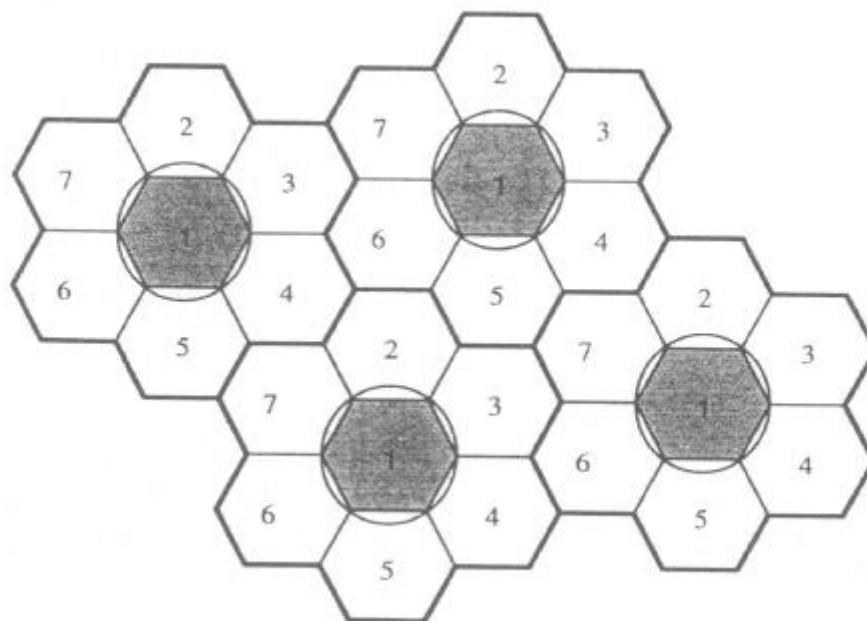


Figura 21: Esempio di struttura cellulare (cluster composto da sette celle)

In questo modo è possibile servire un'area illimitata con un numero di canali relativamente piccolo; nel caso del GSM ne sono $124 \times 8 = 992$ canali *full-rate*¹.

In realtà la suddivisione omogenea del territorio riportata nella figura soprastante è puramente teorica. Infatti le aree delle celle sono dimensionate in modo che i canali in esse disponibili siano sufficienti per servire gli utenti che vi si trovano, perciò esse sono grandi nelle zone poco popolate (*zone rurali*), mentre sono piccole nelle zone con elevata densità di utenza (*zone urbane*). Infatti, nelle aree rurali i raggi delle celle raggiungono qualche decina di chilometri, mentre nelle zone centrali delle grandi città si riducono a poche centinaia di metri. Inoltre, quando il numero di utenti aumenta, si può aumentare la capacità della rete suddividendo le celle originarie in celle di dimensioni minori (*tecnica del cell-splitting*). Ciò è illustrato nelle figura di pagina seguente.

¹ In futuro, con la codifica *half-rate*, si avranno $124 \times 16 = 1984$ canali [F].

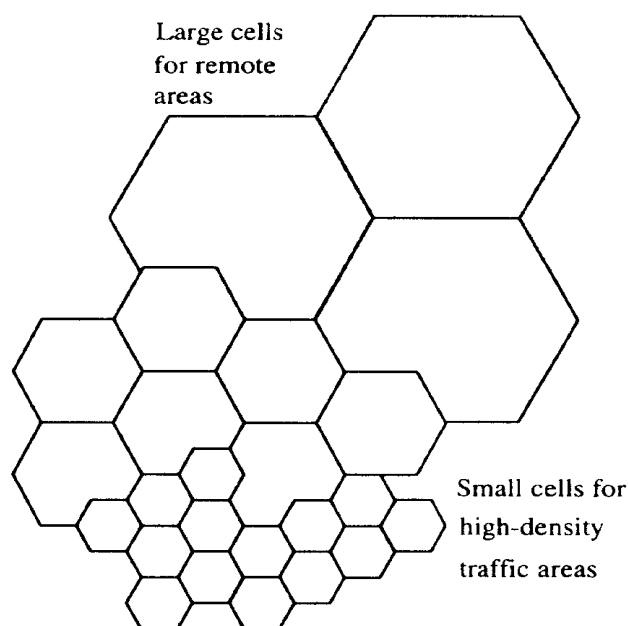


Figura 22: Tecnica del cell-splitting

La tecnica dello *splitting* delle celle richiede ovviamente l'installazione di nuove stazioni radio base e questo, se si continuano ad utilizzare antenne omnidirezionali, causa un aumento dell'interferenza co-canale. Per attenuare questo problema si suddivide la cella in un certo numero di settori, ognuno dei quali è illuminato da una antenna direttiva che confina la potenza solo nella zona da essa illuminata (*selective cells*). Ogni settore può essere considerato una nuova cella. Tipicamente, per coprire un'area di 360° si utilizzano tre antenne (*sito tricellulare*); ciò è illustrato nella figura sottostante.

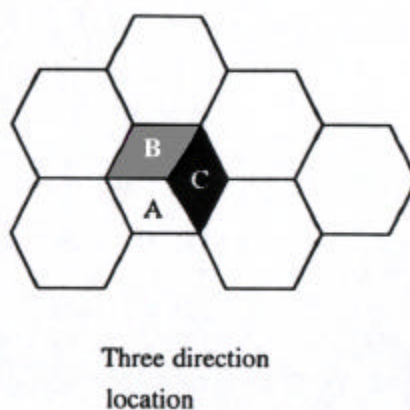


Figura 23: Tecnica del selective-cells

Siccome ciascuna antenna irradia su un diverso gruppo di frequenze ovvero di canali, utilizzando tre antenne per coprire i 360° si avrà il triplo della capacità di conversazione¹ che avremmo avuto se avessimo una sola antenna. Inoltre, siccome esse irradiano in un cono, l'interferenza co-canale non si verifica più lungo tutti i 360° ma solo nel cono di radiazione.

In realtà, è vero che l'utilizzo di antenne direttive limita le interferenze in certe direzioni, ma le aumenta nella direzione di massimo irraggiamento. Un metodo per ridurre le interferenze anche in questa direzione è quello di introdurre un *tilt* sulle antenne, cioè di inclinare verso il basso, di qualche grado, la direzione di puntamento (*tecnica di tilting*).

Con il criterio di copertura detto, nell'ipotesi che la copertura dell'area di utenza sia completa, ogni utente si trova sempre all'interno di almeno una cella e può muoversi liberamente: egli può sia restare sempre nella medesima cella sia muoversi tra le celle passando dall'una all'altra senza discontinuità del servizio. Sarà compito del sistema garantire la continuità del servizio effettuando una procedura per il cambio di cella che viene denominata *hand-over*.

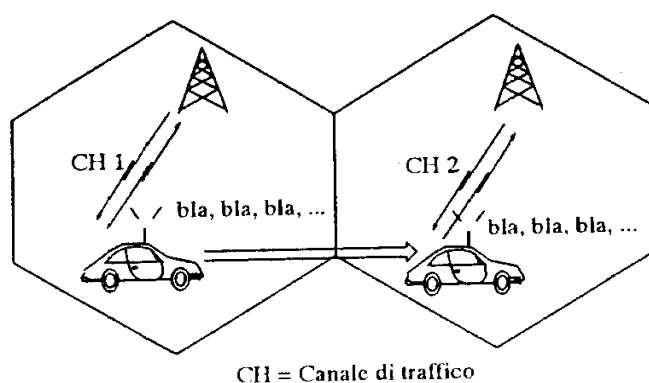


Figura 24: Hand-over

¹ Per capacità si intende la quantità di traffico smaltito dal sistema telefonico per unità di area: essa si misura in Erlang/m² (1 Erlang = 1 telefonata × 1 ora).

1.3.6 Il problema del multi-path

La propagazione delle onde radio avviene in un ambiente in cui vi sono degli ostacoli e pertanto esse sono soggette ai fenomeni di *riflessione*¹, *rifrazione* e *diffrazione*. Nella banda attorno ai 900 MHz il fenomeno più sentito è il primo; in tale banda infatti le onde radio rimbalzano contro una moltitudine di ostacoli: edifici, colline, macchine, aeroplani, etc. In questo modo, il segnale captato da un'antenna GSM è la somma di varie versioni, attenuate e ritardate, dello stesso segnale, come mostra la Figura 25 [3]; questo fenomeno provoca degli affievolimenti momentanei, talvolta anche molto profondi, del segnale ricevuto (*fading*), ed anche una sovrapposizione dei bit trasmessi (*interferenza intersimbolica*). Il problema è inoltre aggravato dall'effetto Doppler dovuto al fatto che le MS non sono terminali fissi, ma mobili.

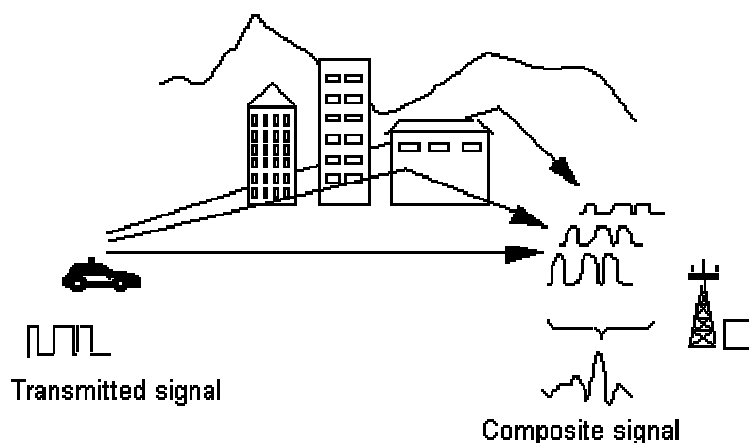


Figura 25: Propagazione da cammino multiplo

Le Norme ETSI specificano le caratteristiche dei canali di propagazione in vari ambienti: aree urbane, rurali, collinari [10].

L'equalizzazione adattativa è usata per estrarre il segnale desiderato dalla somma delle sue versioni ritardate ed attenuate. L'equalizzatore lavora “vedendo” come una parte, nota, del segnale trasmesso è modificata dalla propagazione da cammino multiplo, e costruendo un filtro inverso per estrarre il resto del segnale desiderato. Questa parte nota del segnale trasmesso è la “sequenza di apprendimento” (*training sequence*) di 26 bit trasmessa nella parte mediana di ogni burst.

Il tipo di equalizzatore da utilizzare non è specificato nelle Norme: per quanto una soluzione abbastanza “affermata” sia l'equalizzatore di Viterbi [7], questo affascinante e complesso problema è oggi una delle “punte di diamante” della ricerca sul GSM [11-16].

1.3.7 Interferenze tra le frequenze utilizzate

Un problema tipico dei sistemi radiomobili cellulari è quello delle interferenze tra le frequenze utilizzate dal sistema stesso; esso è proprio intrinseco alla struttura di questi sistemi.

Possiamo distinguere due tipi fondamentali di interferenze:

- . *Interferenza co-canale* (o *isocanale*);
- . *Interferenza da canale adiacente*.

La prima è un'interferenza dovuta a frequenze uguali: ad una MS arrivano i segnali provenienti da due (o più) stazioni radio base che operano alla stessa frequenza. Essa viene valutata attraverso il parametro (espresso in dB):

$$C/I = 10 \log_{10} \text{Carrier/Interference}$$

dove

C = *Carrier*: potenza del segnale desiderato

I = *Interference*: potenza del segnale interferente.

La capacità di traffico è limitata dal rapporto C/I tollerato dal sistema [1].

Il secondo tipo è invece dovuto a frequenze diverse: al ricevitore della MS giungono, dopo il filtro della medesima, anche delle frequenze che sono esterne alla

¹ Il fenomeno della riflessione si verifica quando un'onda che si propaga incontra un ostacolo avente

banda del segnale desiderato; essa è dovuta alla non idealità dei filtri impiegati negli apparati per “tagliare” appunto le frequenze che cadono al di fuori del canale desiderato. Essa viene valutata attraverso il parametro

$$C/A = 10 \log_{10} \text{Carrier/Adjacent}$$

dove

C = Carrier: potenza del segnale desiderato

A = Adjacent: potenza del segnale interferente

Questa interferenza limita la possibilità di usare frequenze adiacenti in una stessa cella.

1.3.8 Il segnale GMSK

Il processo di modulazione assolve la funzione di far corrispondere alla sequenza numerica da trasmettere forme d'onda che si adattino alle caratteristiche fisiche del mezzo trasmissivo. Le principali caratteristiche richieste ad una tecnica di modulazione da utilizzare in un sistema radiomobile sono:

- Elevata efficienza spettrale al fine di poter servire un elevato numero di utenti con bande di frequenza contenute;
- Robustezza nei confronti del rumore termico e degli altri tipi di disturbo (in particolare le interferenze), al fine di garantire un'elevata qualità del servizio;
- Buona insensibilità alle distorsioni introdotte da elementi non lineari, in modo da consentire agli stadi finali degli amplificatori in trasmissione di lavorare in prossimità della saturazione (zona non lineare) dove più alta è l'efficienza (ovvero più basso è il consumo).

Modulazioni che offrono un buon compromesso nei confronti dei vari parametri sopra indicati sono quelli appartenenti alla classe di modulazione “fase continua a spettro compatto ed inviluppo di ampiezza costante “ note anche sotto l'acronimo *12 PM3* (12 state Phase Modulation with correlation over 3 consecutive bits).

dimensioni molto maggiori della sua lunghezza d'onda.

All'interno di questa classe di modulazione, per il sistema GSM è stata scelta la tecnica di modulazione **GMSK** (*Gaussian Minimum Shift Keying*). La modulazione GMSK è stata scelta fra i vari tipi di modulazione candidati come compromesso fra efficienza spettrale, complessità del trasmettitore e limitate emissioni spurie.

La complessità del trasmettitore è relata al consumo di potenza, che deve essere minimizzato per le MS. Le emissioni radio spurie, esterne alla banda GSM, devono essere minimizzate onde evitare l'interferenza da canale adiacente e permettere così la coesistenza del GSM e di altri sistemi analoghi.

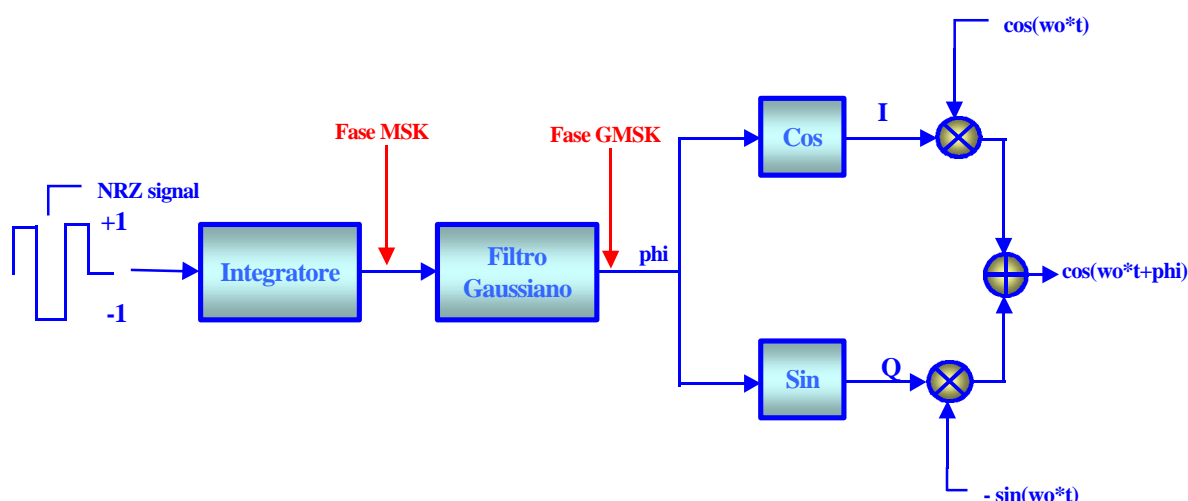


Figura 26: Schema a blocchi del modulatore GMSK

Il modulatore GMSK (vedi figura 26) è uno speciale tipo di modulatore FM digitale. Essendo infatti il criterio di modulazione quello di incrementare la fase della portante di 90° se il bit trasmesso ha valore “uno” e di decrementarla della stessa quantità se il bit trasmesso ha “zero”, questo fa sì che la frequenza della portante oscilli rispetto al suo valore nominale di ± 67.708 kHz. La traiettoria di fase così costruita risponde ai canoni di una modulazione MSK.

La fase MSK viene poi filtrata col filtro Gaussiano per esigenze di compattezza spettrale ottenendo così la fase GMSK del segnale gsm. Si sceglie un valore di B (banda a 3 dB del filtro gaussiano) in modo che il prodotto per T_b (periodo di un bit) sia pari a 0.3: in questo modo si ottengono lobi laterali dello spettro del segnale modulato molto piccoli, minimizzando così l'interferenza da canale adiacente.

Le figure che seguono mettono ben in evidenza quanto sopra detto.

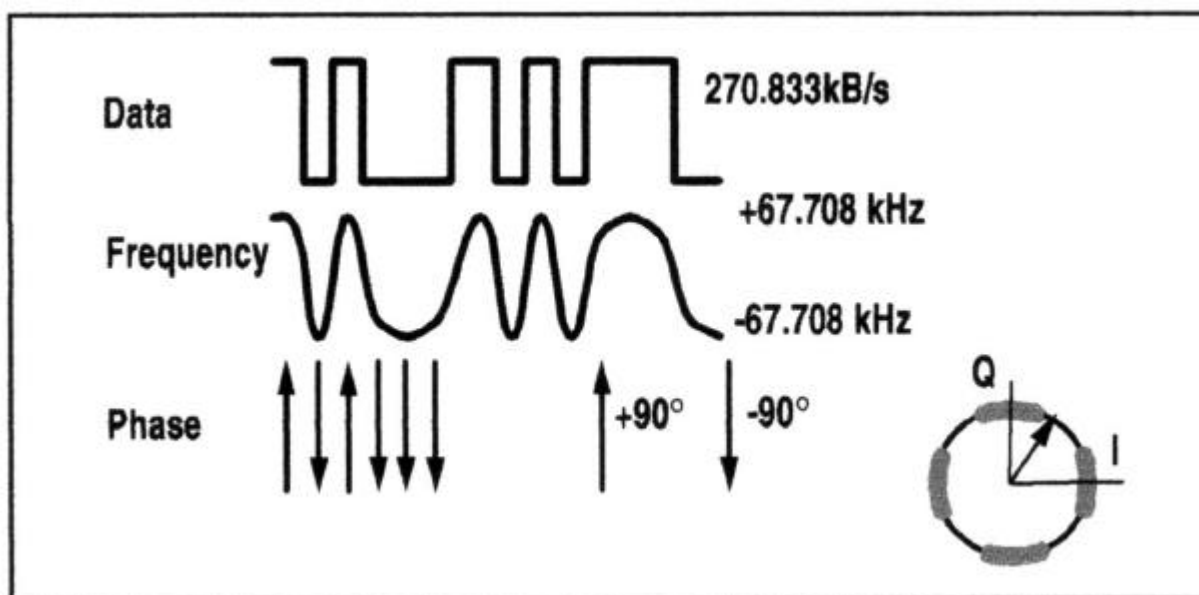


Figura 27: Segnale 0.3 GMSK

“L’addolcimento” della traiettoria di fase causato dal filtro Gaussiano fa sì che in realtà l’incremento/decremento della fase sia minore di 90°.

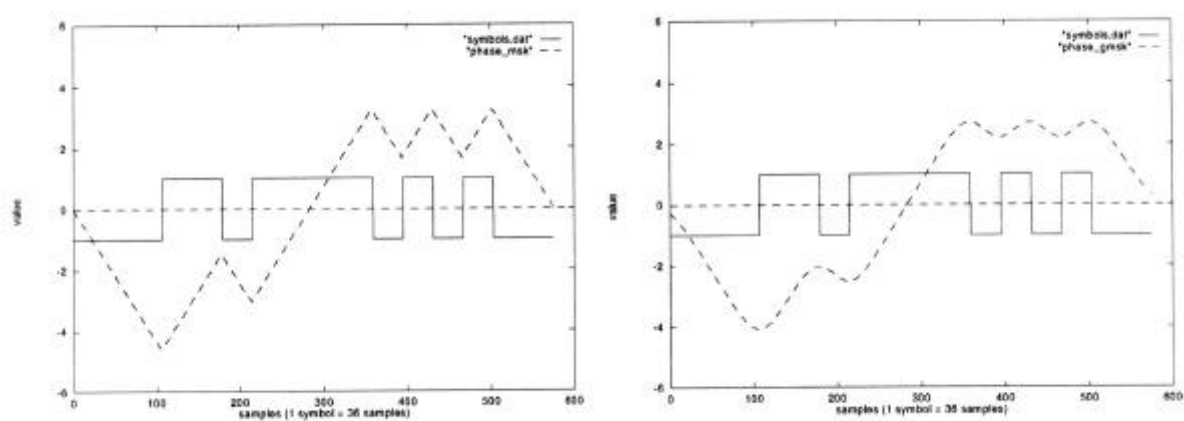


Figura 28: Traiettoria di fase GMSK (a destra) ottenuta filtrando col Gaussiano la fase MSK (a sinistra).

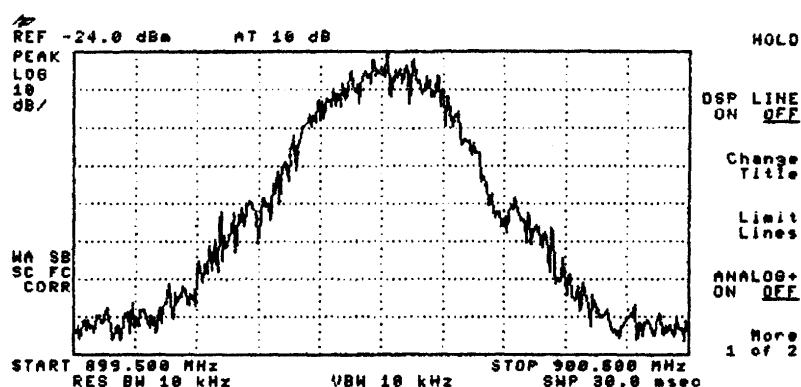


Figura 29: Spettro di un segnale modulato GMSK

I passi per la costruzione del segnale GMSK sono facilmente ricavabili dallo schema del demodulatore in figura 26.

Il segnale GMSK si ottiene applicando il flusso di bit di informazione, costituito da una sequenza NRZ (*Non Return to Zero*) di ampiezza unitaria precedentemente integrata, ad un filtro Gaussiano avente risposta all'impulso nel

$$h_t(t) = \sqrt{\frac{2p}{\ln 2}} B_b \exp\left(-\frac{2p^2 B_b^2 t^2}{\ln 2}\right) \quad (1)$$

dominio del tempo

ove B_b è la banda a 3 dB del filtro di Figura 26.

Per quanto riguarda le caratteristiche della modulazione GMSK nel sistema GSM, esse sono le seguenti:

- Indice di modulazione pari a 0.5;
- Il prodotto $B \cdot T$ (Ampiezza di banda del filtro Gaussiano * Periodo del bit) è pari a 0.3;

Essendo il periodo del bit pari a circa 3.692 μs , la banda B è pari ad 81,3 kHz.

L'utilizzo del filtro Gaussiano permette la compattezza spettrale, che come visto in precedenza, è una caratteristica fondamentale delle modulazioni usate in un sistema radiomobile. Il prezzo da pagare per l'utilizzo di tale filtro è che esso è un filtro che non soddisfa il criterio di Nyquist e che introduce perciò ISI (*Inter Symbol Interference*), rendendo necessaria un'equalizzazione del segnale.

1.4 GESTIONE DELLA MOBILITA'

Gli utenti di un sistema cellulare sono utenti mobili, nel senso che essi possono chiamare, essere chiamati, conversare anche durante i loro spostamenti. Il sistema deve ovviamente essere in grado di supportare tutto ciò.

Facendo riferimento al sistema GSM, le procedure che devono essere messe in atto per supportare la mobilità degli utenti sono essenzialmente quelle di: *roaming*, *location updating*, *paging*, *handover*.

Per poter effettuare tali procedure il territorio viene suddiviso in modo opportuno. Tale suddivisione è qui di seguito illustrata.

1.4.1 Aree definite nel GSM

In ambito GSM vi è una suddivisione gerarchica dell'area geografica in cui è garantito il servizio agli utenti. Infatti, con riferimento alla figura riportata nella prossima pagina, vengono definite le seguenti aree:

- *GSM Service Area*; è l'area servita da tutte le reti di tutte le nazioni che aderiscono al sistema GSM.
- *PLMN Service Area*; è l'area servita dalla rete radiomobile GSM di un singolo gestore.
- *MSC/VLR Area*; è l'area servita da un MSC e dal VLR in esso integrato¹.
- *Location Area*; una MSC/VLR Service Area è suddivisa in un certo numero di aree dette Location Area. Si definisce come Location Area (LA) l'area geografica in cui una MS si può muovere a piacimento senza che sia necessario variarne la localizzazione nel VLR².
- *Cella*; una Location Area è divisa in un certo numero di celle. Si definisce cella l'area geografica servita da una BTS, la quale ne garantisce la copertura radio.

¹ Abbiamo già detto che sebbene possibile implementare queste due unità in modo separato, si preferisce integrarle.

² Le LA vengono identificate assegnando ad ognuna di esse una Location Area Identity (LAI). E' questa l'informazione che viene memorizzata nel VLR per poter rintracciare un utente.

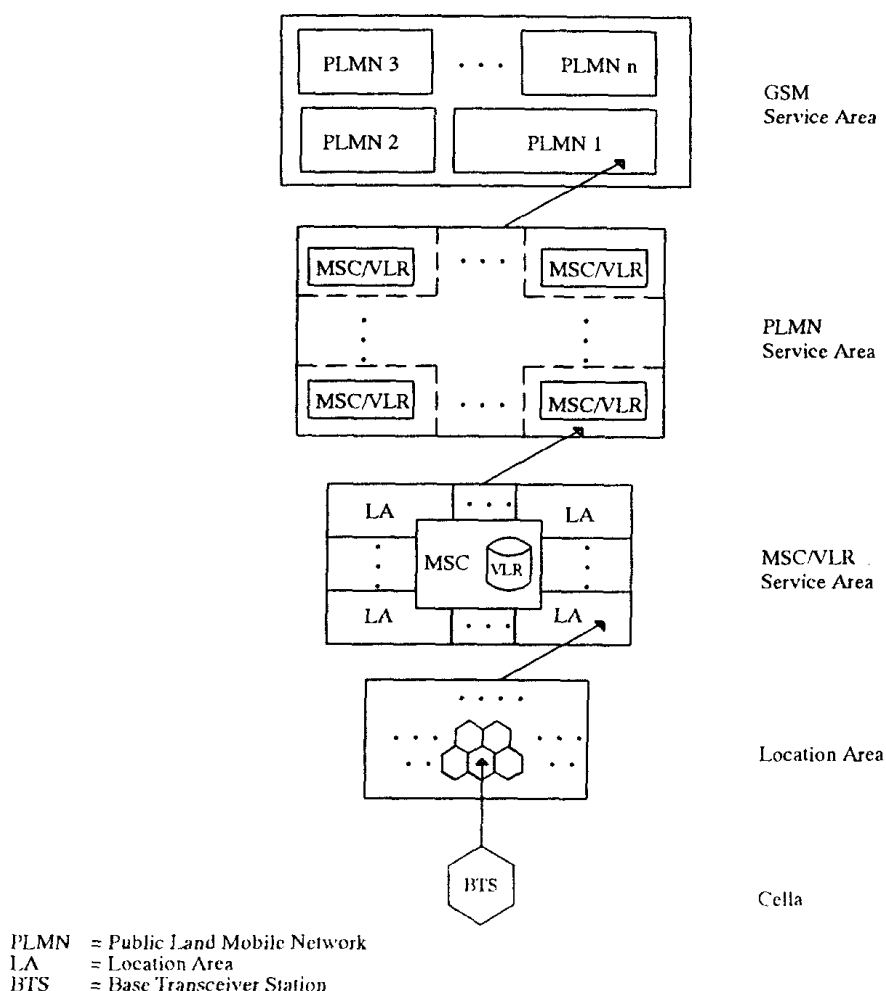


Figura 30: Aree definite nel GSM

1.4.2 Il Roaming

Con il termine *Roaming* si intende il fatto che una Mobile Station che sia accesa ed a riposo (*idle*), può spostarsi a piacimento entro l'area servita dal sistema GSM (o la porzione di essa per la quale l'utente ha sottoscritto l'abbonamento), potendo comunque usufruire dei servizi sottoscritti e quindi sia ricevere che effettuare chiamate.

Il roaming è possibile grazie alla procedura di *Location Updating* (aggiornamento della localizzazione), la quale consente al sistema GSM di sapere in ogni momento qual è la Location Area in cui si trova una MS attiva.

1.4.6 Il Location Updating

Con questo termine si intende la procedura con la quale avviene l'aggiornamento della localizzazione di un utente quando egli, spostandosi, passa da una Location Area ad un'altra¹.

Per consentire questo, in ogni LA viene diffusa, su un canale di controllo, anche l'identità della LA stessa (LAI), la quale viene memorizzata dalla MS. Quando la MS riceve una LAI diversa da quella memorizzata invia un messaggio al sistema per attivare la procedura di Location Updating. Il sistema può così aggiornare la localizzazione dell'utente nei propri database.

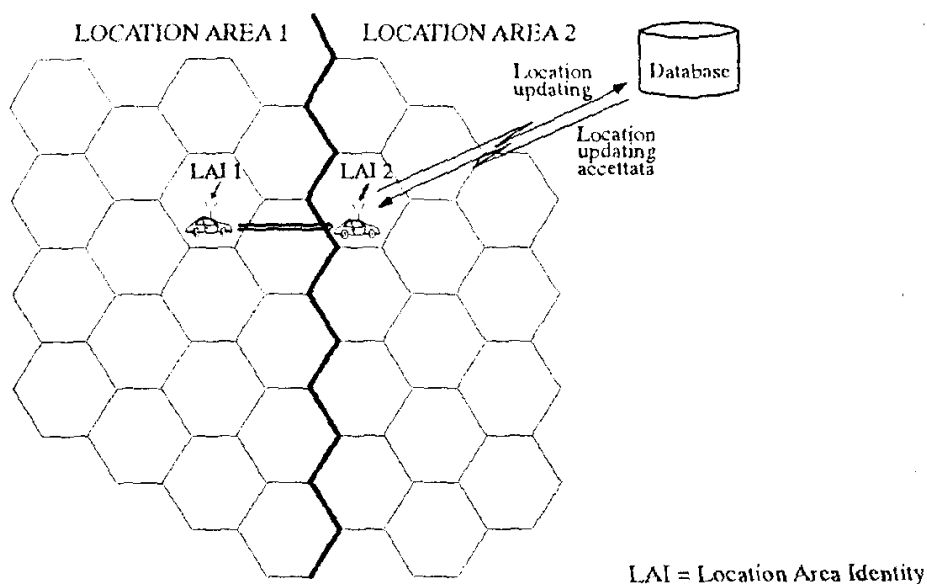


Figura 31: Roaming e Location Updating

1.4.7 Il Paging

E' la procedura attivata dal sistema per inviare il *messaggio di paging* con il quale il sistema avvisa una MS che c'è una chiamata in arrivo (il telefonino squilla).

¹ Tale procedura quindi non viene lanciata qualora la MS passa da una cella ad un'altra appartenenti alla stessa LA.

Il messaggio di paging non viene diffuso su tutto il territorio servito dal sistema ma soltanto nella location area in cui è localizzato l'utente. Ciò è possibile in quanto l'identità della location area (LAI) interessata è memorizzata nei database del sistema.

1.4.5 Handover

La procedura che, durante una conversazione, consente il cambio di frequenza nel passare da una cella all'altra viene denominata *handover* (o *handoff*)¹.

Nelle specifiche tecniche del GSM, grande cura è stata posta nel definire i parametri e le modalità operative connesse con la *gestione della mobilità* ovvero con le procedure di *hand-over* e di *localizzazione*.

A differenza di quanto avviene nelle reti cellulari analogiche², nel sistema GSM la procedura di hand-over vede il coinvolgimento dell'apparecchio mobile; essa infatti si basa su una stretta collaborazione tra stazione radio base, BSC e terminale mobile.

I parametri utilizzati nella procedura sono i seguenti:

1. Livello di potenza (RXLEV) misurato sul canale utilizzato per la connessione. Questo parametro è misurato sia dalla stazione radio base (tratto *up-link*), sia dal terminale mobile (tratto *down-link*).
2. Qualità, valutata in termini di BER, sul canale utilizzato per la connessione. Anche questo parametro è valutato sia dalla stazione radio base (tratto *up-link*), sia dal terminale mobile (tratto *down-link*).
3. Distanza tra la stazione radio-base ed il terminale mobile. Questo parametro è stimato dalla sola stazione radio-base³.
4. Livello di potenza relativo alle "n" celle adiacenti. Questo parametro è valutato dal terminale mobile misurando la potenza sui canali BCCH appartenenti alle celle adiacenti.

¹ In realtà, questo è l'*handover intercella*. Esiste anche un altro tipo di handover, detto *intracella*, che viene effettuato quando il canale utilizzato non garantisce più una buona qualità del collegamento; si ha un cambiamento di canale pur restando nella stessa cella.

² Nel sistema analogico TACS la funzione di hand-over è gestita interamente dalla rete.

³ Tale distanza viene ricavata dal valore del *timing advance*.

Queste misure effettuate dal mobile sono possibili poiché nel sistema GSM si utilizza una tecnica TDMA, e pertanto il terminale mobile impegnato in una conversazione non deve trasmettere e/o ricevere costantemente ma soltanto negli intervalli di tempo relativi ai *time-slot* di trasmissione o di ricezione. Più precisamente, grazie al fatto che c'è un offset temporale di 3 *time-slot*: tra la fase di trasmissione relativa ad una trama TDMA e quella di ricezione della trama successiva, il terminale mobile ha a disposizione un intervallo di tempo per effettuare le misure.

Durante il *time-slot* di ricezione, il terminale mobile, sintonizzato su una certa frequenza, misura sia il livello di potenza sia la qualità (BER) associata al segnale (tratto *down-link*). I risultati di queste misure sono inviati ad intervalli di tempo regolari (ogni 480 ms) al BTS, utilizzando il canale di segnalazione associato al canale di traffico (SACCH). La BTS, poi, invia al BSC tutte queste misure, assieme alle condizioni operative correnti della MS (livello di potenza ecc.).

Terminata la fase di ricezione, la stazione mobile si sintonizza sulla *frequenza di up-link*, per operare in trasmissione. Durante questa fase il ricevitore del BTS valuta il livello di potenza e la qualità (BER) del segnale.

Come conseguenza di questa modalità operativa, per ogni singola connessione, pressoché in tempo reale, nella stazione *radio-base* sono disponibili le misure relative ai seguenti parametri :

- Livello di potenza ricevuto nel terminale mobile
- Qualità del collegamento
- Livello di potenza ricevuto nel BTS
- Distanza tra la stazione *radio-base* e terminale mobile
- Livello di potenza relativo alle celle adiacenti

Tutte le misure suddette sono poi ricevute ed elaborate dal BSC che, da un lato forma una “lista di preferenza” (*rank list*), e dall'altro le confronta con le relative soglie di *hand-over*.

Nel processo di confronto, qualora si evidenzia la necessita di un *hand-over*, il BSC è in grado di individuare, grazie alla suddetta lista, quali sono le BTS che possono servire al meglio la MS: ordina la procedura di commutazione di canale radio verso la BTS che risulta essere prima nella lista.

Per effettuare questa scelta il sottosistema radio utilizza particolari algoritmi di decisione che tengono conto dei parametri di sistema quali ad esempio la potenza irradiata nelle varie celle, il tipo di cella ecc.

L'insieme delle celle di copertura è quindi organizzato secondo una "lista di preferenza", la quale viene utilizzata assieme ad altre informazioni quali ad esempio la situazione statistica del traffico smaltito dalle varie celle, per completare la procedura.

L'elemento fortemente innovativo della procedura di *hand-over* attuata dai sistemi GSM è la disponibilità nel sottosistema radio BSS delle informazioni relative ai livelli di potenza ricevuti dal terminale sulle frequenze dei BCCH delle celle adiacenti. Grazie a queste informazioni nel sistema GSM è ridotto il carico elaborativo connesso al processo di interrogazione ed allo stesso tempo è velocizzato il processo di scelta e decisione. Questo fa in modo da poter utilizzare nelle reti GSM celle di dimensioni ridotte rispetto a quelle utilizzate nei sistemi analogici.

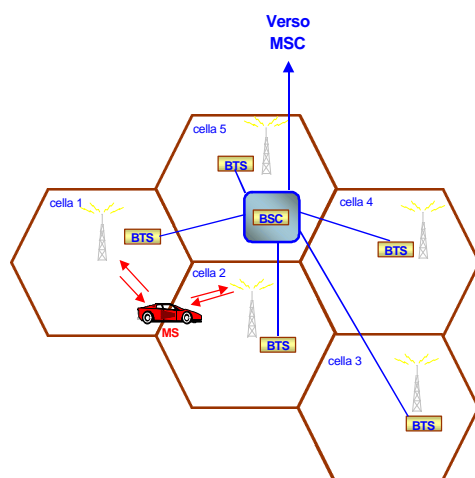


Figura 32: Handover tra due celle adiacenti

1.5 PROCEDURE DI SICUREZZA NEL GSM

Nel GSM sono state introdotte diverse procedure per proteggere rete ed utenti contro i tentativi di accesso fraudolento al sistema e le possibili intercettazioni delle informazioni inviate sulla tratta radio.

Le procedure di sicurezza implementate sono essenzialmente le seguenti: *autenticazione, cifratura, riallocazione del TMSI, identificazione dell'apparato.*

1.5.1 Autenticazione

Con tale procedura si verifica se una MS ha diritto o meno all'accesso alla rete; in questo modo si protegge sia la rete sia l'utente di una MS da accessi fraudolenti.

Durante la procedura di autenticazione viene anche determinata la chiave di cifratura (K_C), che viene utilizzata per cifrare le informazioni da trasmettere sulla tratta radio ivi compresa l'IMSI.

1.5.2 Cifratura (cipherring)

Lo scopo di questa procedura è quello di proteggere contro possibili intercettazioni le informazioni che transitano sulla tratta radio. Tutte le informazioni che transitano sulla tratta vengono infatti cifrate, secondo un algoritmo noto sia alla MS che alla BTS, con una chiave di codifica (K_C) che viene cambiata ogni volta che si esegue la procedura di autenticazione.

1.5.3 Riallocazione della TMSI

Questa procedura ha lo scopo di limitare al massimo il rischio che possa essere intercettata sulla tratta radio l'identità segreta di un utente (IMSI). Infatti, poiché la chiave di cifratura (K_C) normalmente cambia ogni volta che si esegue l'autenticazione, è necessario che la MS comunichi alla rete, in chiaro, qual è l'identità dell'utente che richiede l'accesso alla rete in modo da consentire alla rete di rintracciarne i dati nei data base di rete. Ciò però comporta il rischio che l'IMSI possa venire intercettato. Per minimizzare questo rischio, è stata introdotta l'identità temporanea TMSI (*Temporary Mobile Subscriber Identity*): la MS effettua la richiesta di accesso alla rete presentandosi con il TMSI. La richiesta di accesso con l'IMSI viene fatta solo in casi eccezionali.

1.5.4 Identificazione dell'apparato

Nel GSM ogni apparato mobile possiede un proprio identificativo denominato IMEI (*International Mobile Equipment Identity*), che è distinto dall'identificativo della persona che ha sottoscritto l'abbonamento al GSM (IMSI). Pertanto, nasce l'esigenza di proteggere la rete e gli utenti stessi contro l'utilizzo di ME non autorizzate, cioè rubate o difettose.

Ebbene, con questa procedura la rete, in un qualsiasi momento, chiede alla MS di inviarle il suo IMEI e poi lo va a confrontare con quelli memorizzati nell'EIR per stabilire se il ME è autorizzato o meno.

1.6 LA CODIFICA VOCALE

Per la trasmissione della voce il sistema GSM adotta una tecnica di codifica della voce, denominata RPE-LTP (*Regular Pulse Excitation - Long Term Prediction*), che rende possibile una codifica a basso *bit-rate*: 13 kbit/s.

Questa codifica a bassa velocità viene conseguita riducendo le “ridondanze” presenti nel segnale vocale, in modo da ridurre la quantità di informazioni da trasmettere. Infatti, i mezzi con i quali si produce la voce (laringe, bocca) sono universali, così come lo è l'orecchio. Questo fatto, sebbene non consenta di affermare che la voce sia un segnale stazionario, introduce delle invarianti statistiche che rendono possibile la codifica a bassa velocità: si può ritenere che in brevi intervalli di tempo (dell'ordine delle decine di millisecondi) le caratteristiche di un segnale vocale non varino.

Il codificatore vocale GSM¹ si basa sul principio che nella generazione dei fonemi, l'apparato vocale umano può essere modellato tramite un “filtro” eccitato da opportuni ingressi: da impulsi se per esempio si pronuncia una vocale, da rumore se si pronuncia una consonante. In particolare, l'eccitazione è data dalle corde vocali, il

¹ Il codificatore vocale utilizzato nel sistema GSM viene definito codificatore «ibrido», in quanto utilizza sia i principi dei codificatori di forme d'onda (PCM) sia quelli dei codificatori vocali.

filtro è costituito dalla bocca, gola e lingua. Il segnale informativo all'uscita del codificatore è quindi funzione dei "parametri del filtro" e dalle "caratteristiche dell'eccitazione". Tali parametri sono stimati dal codificatore analizzando il segnale vocale di ingresso in intervalli di tempo consecutivi di durata opportuna. La durata dell'intervallo di analisi è dettata da due esigenze contrastanti:

1. La durata dell'intervallo di analisi deve essere sufficientemente lunga per permettere l'acquisizione del maggior numero di informazioni utili;
2. La durata dell'intervallo di analisi deve essere tale da poter considerare costanti i parametri stimati ;

un buon compromesso si ottiene considerando per gli intervalli una durata di 20 ms.¹

1.7 CODIFICA DI CANALE DEL SEGNALE VOCALE

Il canale di trasmissione per i sistemi radiomobili è quanto di più ostico si possa trovare per le trasmissioni, ed è pertanto assai improbabile che l'informazione trasmessa venga ricevuta in modo corretto. Per cercare di ovviare a questo inconveniente, il sistema GSM prevede diversi tipi di contromisure. Una di queste è la codifica delle informazioni da trasmettere. Esistono diversi processi di codifica: il tipo di codifica differisce a seconda che si tratti di "pacchetti" vocali, di dati o di segnalazione; inoltre essa si articola su due livelli: mediante il ricorso a *codici*, per la correzione degli errori, e mediante il ricorso a tecniche di *interallacciamento* (*interleaving*), per distribuire uniformemente gli errori. Sarà illustrata la codifica di canale dei "pacchetti" di fonia.

Come visto nel paragrafo precedente, il codificatore vocale opera a 13 kbit/s; ciò significa che esso genera 260 bit ogni 20 ms. I 260 bit di ciascun blocco prodotto dal codificatore sono divisi in due classi: la classe *1*, che comprende i 182 bit più importanti e la classe *2* che comprende i 78 meno significativi. La classe *1* è ulteriormente suddivisa in due sottoclassi, chiamate classe *1a* ed *1b*, rispettivamente

¹ Nel sistema GSM, per minimizzare la potenza irradiata dai trasmettitori, è anche previsto un sofisticato processo di "trasmissione discontinua" (Discontinuous Transmission: DTX) che, nel corso della conversazione, spegne automaticamente il trasmettitore nei periodi di "silenzio vocale". La riduzione della potenza media irradiata consente di ridurre il valor medio della potenza interferente.

di 50 e di 132 bit come mostrato in figura 33. La classe *1a* contiene i bit più importanti in assoluto.

Sui 50 bit della prima classe viene effettuata una *codifica ciclica* (i bit di classe 1 sono opportunamente “riordinati”: essendo la probabilità di errore non uniforme si tenta di salvaguardare i bit più importanti) e l’aggiunta di 3 bit di parità. Questa codifica permette però, in ricezione, solo una debole capacità di riconoscimento degli errori, su quelli che sono i 50 bit più importanti. Pertanto, a questa codifica segue una *codifica convoluzionale* che consente una notevole capacità di correzione degli errori. Prima di effettuare tale codifica però, i 53 bit così ottenuti vengono uniti con i 132 bit della classe *1b* e a questi 185 bit ne vengono aggiunti 4 in coda all’intero blocco; il valore logico di questi 4 bit è pari a zero, in modo da costituire un punto di arrivo noto al decodificatore.

Il blocco di 189 bit così ottenuto viene inviato ad un *codificatore convoluzionale* con rapporto fra numero di bit in ingresso e in uscita (*rapporto di codifica*) pari ad $\frac{1}{2}$. Ai 378 bit in uscita al codificatore vengono poi aggiunti, senza codifica, i 78 bit della rimanente classe 2 formando così un blocco di 456 bit, da trasmettere sul canale radio. Quindi, in definitiva, ogni 20 ms si ottengono 456 bit; ciò equivale ad una velocità di trasmissione (*bit-rate*) di 22,8 kbit/s.

Questo processo di codifica è schematizzato nella prossima figura.

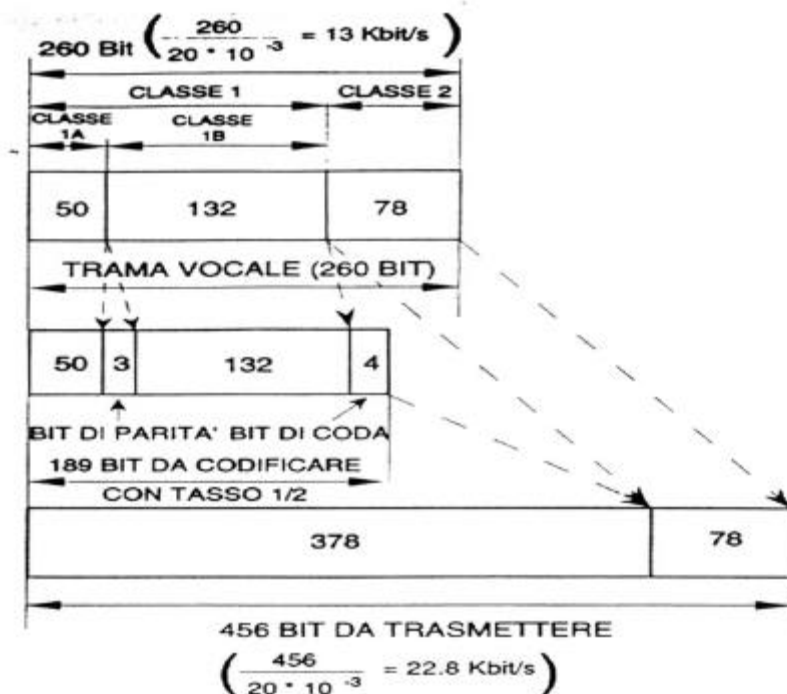


Figura 33: Struttura della codifica di canale per il segnale vocale GSM a velocità piena TCH/FS

A questo punto, i 456 bit codificati vengono riordinati con una tecnica di *interleaving* a due livelli. Al primo passo, i 456 bit del blocco vengono “mischiati” tra di loro (*bit interleaving*) e vengono formati 8 sottoblocchi di 57 bit ciascuno; al secondo, questi sottoblocchi sono ulteriormente dispersi mischiandoli con i sottoblocchi ottenuti da nuovi 20 ms di parlato (*diagonal block interleaving*). Questo secondo interleaving è illustrato in figura 34. Esso viene fatto per aumentare ancora di più le proprietà di dispersione degli errori. Infatti, se la durata di un time slot è pari a 156,25 bit, risulta chiaro che solo due sottoblocchi per complessivi 114 bit possono essere inseriti in un time slot (la restante parte dell’intervallo di tempo verrà presa dal sistema), ne segue allora che i due sottoblocchi di ciascun time slot risultano derivare da due processi di codifica diversi. Questo passo della codifica è illustrato nella figura 34.

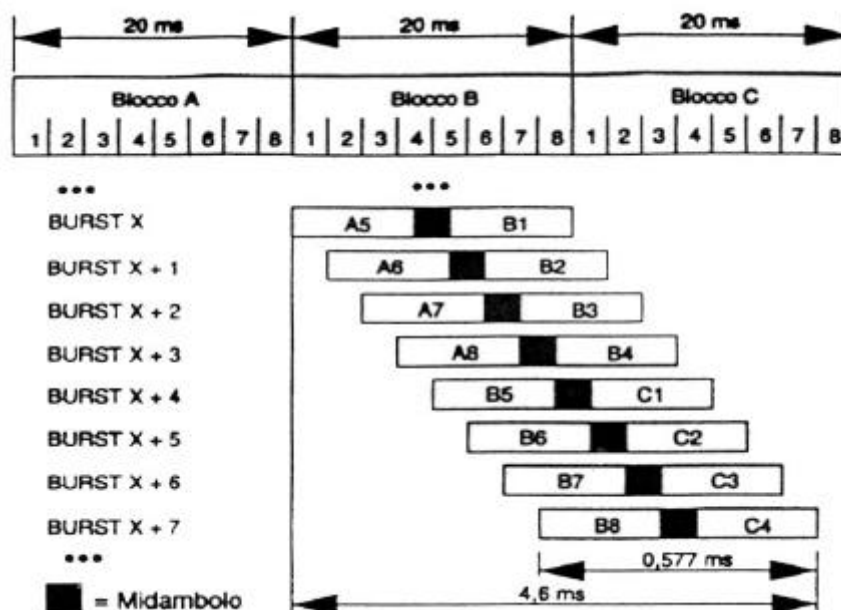


Figura 34: Schema di formazione del “burst di fonìa” partendo dagli spezzoni di segnale vocale emessi dal codificatore vocale

Gli errori che si verificano sul canale radio tendono infatti ad essere concentrati in certi blocchi (quelli coincidenti con le condizioni di propagazione e/o interferenza peggiori), ed è per tale motivo i bit relativi alle “parole” codificate non sono trasmesse su di un unico time slot ma sono distribuiti su un insieme di time slot appartenenti a trame diverse (interallacciamento¹). Così facendo i bit colpiti da errori risultano essere sparsi in blocchi diversi e sufficientemente distanti cosicché il codice di correzione trova, in generale, nel suo blocco di competenza un numero di errori che non esula da quello per cui è stato progettato, abbassando così la probabilità di errore del decodificatore.

¹ È inoltre importante evidenziare che la codifica di sorgente, quella di canale e l'interleaving, nonché la successiva modulazione e le rispettive operazioni inverse in ricezione, introducono un ritardo sul segnale in transito che rende particolarmente degradanti i fenomeni di eco, pertanto si ha la necessità di introdurre un cancellatore di eco nei collegamenti GSM con la rete fissa.

Il notevole miglioramento delle prestazioni che si ottiene con le operazioni di codifica ed interallacciamento esaminate e le corrispondenti operazioni in ricezione è testimoniato dalla figura 35. In essa è evidenziato il tasso di errore residuo, per le diversi classi di bit, in funzione del rapporto segnale rumore, per un canale di propagazione con affievolimento alla Rayleigh e per diverse velocità del terminale mobile; si può vedere il notevole guadagno di affidabilità valutando il tasso di errore dei bit di classe 2 che sono senza codifica con quelli di classe 1a e 1b che sono invece codificati.

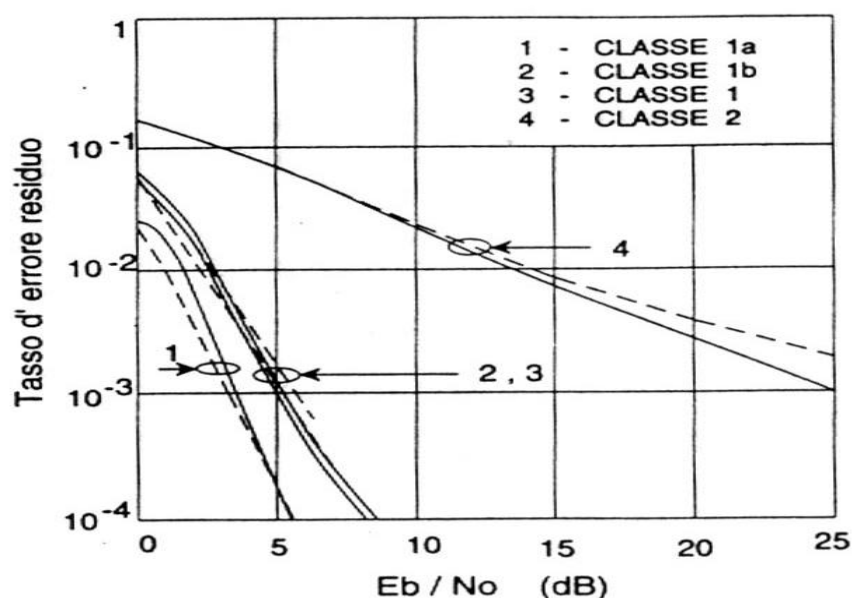


Figura 35: Tasso di errore residuo in un canale con affievolimento costante in frequenza e variabile nel tempo con statistica alla Rayleigh, in presenza di rumore termico.
(velocità del mobile: 3 Km/h (-); 100 Km/h (---))

1.8 SERVIZI GSM

La mobilità del cliente impone l'uso di sofisticate soluzioni che garantiscono la corretta operatività di tutti i servizi offerti in ogni punto di accesso sul territorio.

I servizi GSM sono di tre tipi:

- *Teleservizi*;
- *Servizi di trasporto*¹;
- *Servizi supplementari*;

Un teleservizio è completamente gestito dal terminale mobile e comprende la telefonia ordinaria, le chiamate di emergenza e lo *short message*.

I servizi di trasporto garantiscono la capacità di trasferire segnali appropriati tra un mobile ed un punto di accesso, quali ad esempio la trasmissione di dati e fax.

I servizi supplementari allargano la gamma dei teleservizi. Tra essi troviamo ad esempio la chiamata trasferita, lo sbarramento di chiamata, l'identificazione del chiamante ecc.

1.7.1 Short Message

Tale servizio permette lo scambio di messaggi alfanumerici, attualmente con lunghezza max di 160 caratteri. Esistono tre tipi di *short message*:

- Radiomobile terminated / point to point
- Radiomobile originated / point to point
- Cell Broadcast / point to multipoint

I messaggi *Mobile Terminated* vengono generati dallo SMS-C verso una postazione radiomobile, e possono pervenire sia da un'altra MS che da una postazione di rete fissa;

I messaggi *Mobile Originated* vengono generati dalla MS e inviati allo SMS-C che provvede a distribuirli verso altra MS o verso una postazione fissa.

I servizi di *Cell Broadcast* possono produrre diversi messaggi (pubblicità, notizie brevi ecc.), vengono generati dallo SMS-C ed indirizzati ad una pluralità di terminali

¹ Gli utenti GSM possono mandare e ricevere dati ad una velocità compresa fra 300 e 9600 bps (bit per secondo); un significativo aumento della velocità di trasmissione si avrà con i servizi di Fase 2+.

radiomobili all'interno di una specifica zona di utenza. I terminali radiomobili possono selezionare i tipi di messaggi Broadcast da ricevere. L'utilizzo di un evoluto pacchetto software da parte dello SMS-C consente la possibilità di un dialogo continuo tra lo stesso e il terminale mobile, garantendo particolari funzioni quali ad esempio la notifica della consegna di un messaggio precedentemente trasmesso.

1.7.2 Dati e fax

La *trasmissione dati* consente di trasferire informazioni fra elaboratori per mezzo di una rete di telecomunicazioni. Tali informazioni possono essere files di dati, immagini o qualunque altro dato in forma digitale.

La *trasmissione fax* invece permette di inviare copia di un qualsiasi documento da una postazione fax ad un'altra postazione fax.

La rete GSM essendo interconnessa con tutte le altre reti (rete fissa, ISDN, rete TACS ecc.) si configura pertanto come un facile punto di accesso per il collegamento con altri computer, banche dati ecc. Essendo essa digitale ha l'ulteriore vantaggio di non richiedere il processo di conversione analogico/digitale che è necessario nel caso di uso della rete fissa analogica. Il dispositivo esterno necessario al mobile per la trasmissione dati funge esclusivamente da DSA (Data Service Adapter) cioè per sincronizzare e segmentare il flusso dati da trasmettere.

È necessario inoltre conoscere , per il corretto trasferimento dell'informazione se la modalità di trasmissione è di tipo sincrono o asincrono, la velocità di trasmissione, il formato dati.

Al momento della sottoscrizione del contratto , il cliente GSM dovrà definire tutti i suddetti parametri di funzionamento scegliendo le *bearer capability*, cioè le caratteristiche della trasmissione che verranno associate ad una o più numerazioni.

1.7.3 SERVIZI SUPPLEMENTARI

1.7.3.1- Avviso di tassazione

Con tale servizio il terminale radiomobile è in grado di calcolare ed evidenziare su display gli scatti accumulati in una connessione, sulla scorta dei dati radiodiffusi dalla rete.

1.7.3.2- Chiamata trasferita

Il servizio supplementare di chiamata trasferita permette appunto di trasferire, a scelta del cliente, una chiamata ricevuta con le seguenti modalità: sempre, quando non risponde, quando è occupato, quando il terminale mobile non è raggiungibile. Il trasferimento può essere effettuato verso un altro apparecchio telefonico o verso un servizio di segreteria telefonica centralizzata.

1.7.3.3- Chiamata in arrivo e attesa

Questo servizio permette di essere informati mediante segnale acustico dell'arrivo di una chiamata mentre il telefonino è impegnato in un'altra conversazione.

1.7.3.4- Sbarramento di chiamata

- Questo servizio può a scelta:
- Non consentire alcuna chiamata
- Non permettere chiamate internazionali
- Non permettere la ricezione di nessuna chiamata

1.7.3.5- Identificazione chiamante

L'identificazione di chi chiama è un servizio supplementare che permette di leggere sul display del proprio radiomobile il numero ISDN di chi chiama. Tale funzione può però essere limitata da vincoli operativi predisposti dal gestore per assicurare la privacy del chiamante, o da vincoli imposti dalle leggi.

1.8 IL FUTURO DEL GSM

Il successo legato all'adozione del GSM, è stato determinato principalmente dall'inadeguatezza degli standard analogici nel supportare un progetto internazionale, che coniugasse le economie di scala, auspiccate dalle aziende manifatturiere e le esigenze di elevata capacità di utenza, desiderate dagli operatori del servizio.

Il GSM ha sostanzialmente risolto per ora entrambi gli obiettivi. Infatti i cellulari GSM hanno un costo che decresce rapidamente nel tempo e la capacità offerta soddisfa ancora la domanda. Per incrementare la capacità oggi viene utilizzata anche la banda dei 1800 MHz. Il sistema DCS 1800 che opera in tale banda differisce dal sistema GSM a 900 MHz solo per la frequenza operativa e l'uso di terminali *dual band*. La funzionalità integrata di roaming fra le due reti permette di far fronte alla possibile saturazione delle aree urbane con maggior traffico.

L'esigenza innovativa di maggior rilievo per il settore radiomobile potrà essere individuata nella capacità di offrire servizi ad elevato *bit-rate* indispensabile per le applicazioni multimediali che potrebbero rappresentare in prospettiva il “collo di bottiglia” del sistema GSM. Tali necessità non saranno infatti completamente sostenibili neanche dal GSM di fase 2+, denominato HSCSD (High Speed Circuit Switched Data) che consentirà prossimamente, attraverso l'aggregazione dei time slot, di aumentare la velocità di trasmissione dei dati.

Onde garantire la più capillare copertura del territorio al minore costo possibile e con la maggiore efficienza spettrale possibile, i terminali per le telecomunicazioni mobili del prossimo futuro saranno, oltre che *multibanda*, anche *multimode*, integrando in un unico terminale la telefonia cellulare “convenzionale”, quella satellitare, e la nuova generazione dei cordless (*Digital Enhanced Cordless Telephony*, DECT): ciò permetterà, ad esempio, di usare il terminale come *cordless* in aree urbane densamente popolate, col terminale fermo o in moto a bassa velocità (fino a 40 Km/h), come cellulare “convenzionale” in aree meno densamente popolate o in moto ad alta velocità (fino a 500 Km/h), e come terminale satellitare in aree non raggiunte dalla telefonia mobile convenzionale.

La Figura 36 mostra questo processo di convergenza fra telefonia cellulare e cordless.

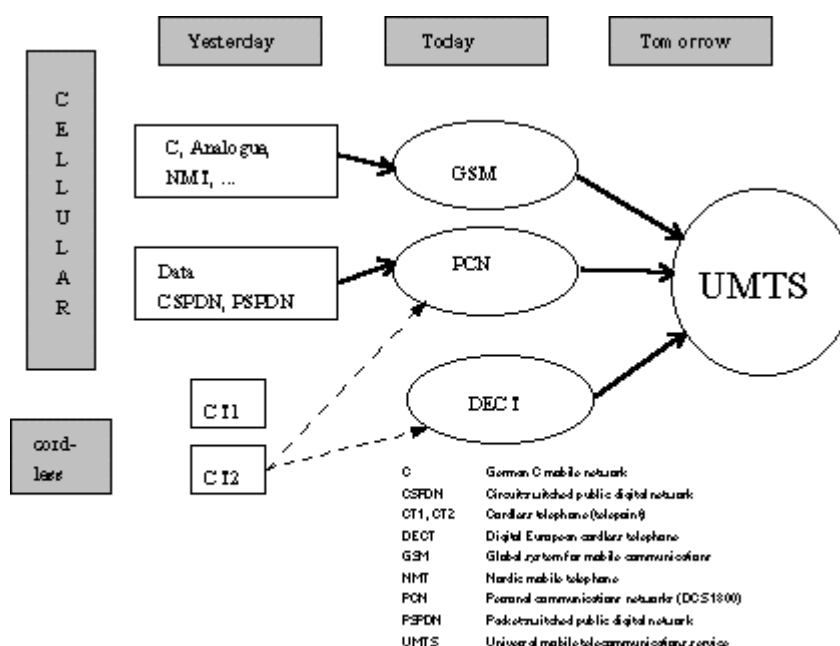


Figura 36: Processo di convergenza nell'UMTS

Il sistema di multiploazione dell'utenza passerà dall'attuale TDMA/FDMA al già normato W-CDMA (*Wideband - Code Division Multiple Access*), in cui ad ogni utente verrà assegnata l'intera banda a disposizione, sulla base di un codice d'accesso, ortogonale a quello degli altri utenti. Poiché tale sistema è fisiologicamente soggetto a problemi di interferenza, assumerà importanza capitale il controllo della potenza.

La velocità di trasmissione dei dati crescerà fino a 2 Mbit/s, per soddisfare le esigenze di trasmissione video .

Tutte queste considerazioni ci aiutano a credere che in futuro non assisteremo ad un brusco cambiamento verso sistemi di nuova generazione, ma più probabilmente ad un passaggio evolutivo graduale, con disponibilità sempre di nuovi servizi, fino al raggiungimento della *comunicazione personale* che rappresenta il grande punto di arrivo oggi all'orizzonte.

1.9 GLOSSARIO

A-Interface	Interfaccia tra BSC e MSC
A-bis Interface	Interfaccia tra BTS e BSC
AGCH	Access Grant Channel (sull'interfaccia radio): canale logico di segnalazione attraverso il quale la rete attribuisce ad un radiomobile una risorsa radio (frequenza portante e time slot).
AUC	Authentication Centre: sistema che genera le chiavi per le procedure di autenticazione e di crittazione espletate sull'interfaccia radio.
BCCH	Broadcast Control Channel: canale logico di segnalazione diffusivo con cui la rete comunica ai radiomobili informazioni di tipo generale
BFI	Bad Frame Indicator: è un indicatore della qualità della comunicazione, dopo un prefissato numero di trame ricevute errate la connessione viene abbattuta.
Bm	Canale di traffico a velocità piena
BSC	Base Station Controller: controlla gruppi di BTS interconnettendole con l'MSC; gestisce l'Hand-Over fra le stazioni del suo gruppo.

BSS	Base Station Sub-System: BSC + varie BTS
BSSAP	BSS Application Part: BSSMAP + DTAP: procedura di segnalazione
BSSMAP	BSS Management Application sub Part: procedura di segnalazione
BTS	Base Transceiver Station: stazione radiobase che svolge le funzioni di collegamento radio con i terminali mobili da un lato, e con le centrali di commutazione MSC, attraverso il controllore BSC, dall'altro.
CCCH	Common Control Channel: raggruppa i canali logici di segnalazione che non sono utilizzati per connessioni specifiche.
CCITT	Comité Consultatif International Telegraphique et Telefonique: organismo mondiale di standardizzazione.
CM	Call Management: insieme delle procedure e delle regole per la gestione della chiamata.
DSA	Data Service Adapter: adattatore per trasmissione dati.
DCCH	Dedicated Control Channel : canale logico di segnalazione assegnato in forma esclusiva ad una comunicazione.
DCS 1800	Digital Cellular System (GSM a 1800 MHz)

DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications: standard digitali per comunicazioni cordless.
DOWNLINK	Senso di trasmissione entrante nel mobile (da BTS a MS).
EIR	Equipment Identity Register : archivio che contiene le identità dei terminali mobili (MT) con opportune caratteristiche, p.e. quelli rubati a cui si deve proibire l'accesso alla rete.
ETSI	European Telecommunications Standard Institute
FACCH	Fast Associated Control Channel : canale logico di segnalazione ad elevata velocità dedicato ad una particolare connessione, viene ottenuto sottraendo trame al traffico in atto sulla connessione in oggetto.
FDMA	Frequency Division Multiple Access: tecnica di accesso in cui la trasmissione contemporanea di molteplici informazioni viene ottenuta con l'utilizzo di frequenze portanti diverse; nel GSM è combinata con il TDMA per cui ognuna delle 124 portanti possibili è utilizzata per il trasporto di 8 canali di traffico.
FRAME	Trama: successione di intervalli di tempo (time slot) riservati alla trasmissione su una portante e la ricezione su una portante diversa da parte di un particolare

mobile; nel GSM la trama è costituita da 8 time slot nel caso di canali full rate ed eventualmente da 16 nel caso dell'half rate.

FH

Frequency Hopping: cambiamento periodico del time slot/frequenza durante una chiamata per evitare l'occorrenza di zone morte per il segnale radio che si hanno quando molteplici segnali radio hanno seguito percorsi di propagaione diversi e si eliminano fra di loro.

GPRS

General Packed Radio Service

: servizio di trasmissione dati sulla rete GSM con modalità a pacchetto.

GSM

Global System for Mobile Communication.

HAND HOVER

Trasferimento di una chiamata in corso da un canale radio ad un altro, dovuto tipicamente al movimento della stazione radiomobile (MS) dell'area di copertura di una stazione radiobase (BTS) a quella di un'altra.

HLR

Home Location Register: archivio che contiene i dati anagrafici ed il profilo di servizio degli utenti residenti (caratterizzati dalla SIM) ed inoltre l'informazione sul VLR in cui tali utenti sono attualmente registrati.

HSCSD	High Speed Circuit Switched Data: servizio per trasmissione dati a velocità maggiore di 9,6 kbits/s con modalità di trasmissione a circuito.
IMEI	International Mobile Station Equipment Identity: codice identificativo unico a livello mondiale del terminale mobile.
IMSI	International Mobile Subscriber Identity: codice identificativo unico a livello mondiale dell'utente (SIM).
ISDN	Integrated Services Digital Network.
ISUP	ISDN User Part : procedura di segnalazione ISDN.
LAI	Location Area Identity: codice identificativo dell'area di localizzazione.
LM	Canale di traffico a velocità dimezzata sull'interfaccia radio
LOCATION AREA	Area di localizzazione: insieme di stazioni radiobase in cui la stazione radiomobile si può muoversi senza dover aggiornare il registro di localizzazione; può costituire una frazione o la totalità dell'area di competenza di un VLR.
LOCATION UPDATING	Aggiornamento della localizzazione : procedura attraverso la quale il terminale mobile comunica alla rete la sua LAI.
MAP	Mobile Application Part: procedura di

	segnalazione.
MM	Mobility Management: procedure di segnalazione per la gestione della mobilità dei radiomobili.
MS	Mobile Station: entità costituita dal terminale mobile e dalla SIM.
MSC	Mobile Switching Centre: centrale di commutazione radiomobile; è interconnessa con le proprie BSS da un lato e con altri MSC ed altre reti di telecomunicazioni dall'altro.
MTP	Message Transfer Part: procedura di segnalazione.
NSS	Network Sub-System : sottosistema di rete radiomobile.
OSS	Operation and Support Sub-System: sistema per la supervisione di rete.
PCH	Paging Channel: canale logico di segnalazione usato sull'interfaccia radio per le chiamate rivolte verso i mobili e diffuso a livello di area di localizzazione.
PCN	Personal Communication Network (nel contesto GSM si applica spesso al DCS 1800)
PCMCIA	Personal Computer Memory Card International Association: standard di schede per PC.

PLMN	Public Land Mobile Network: la rete pubblica radiomobile.
PSTN	Public Switched Telephone Network: la rete telefonica pubblica fissa.
RACH	Random Access Channel: canale logico di segnalazione attraverso il quale i mobili inviano richieste di accesso alla rete con tecnica casuale.
ROAMING	Procedura con la quale un radiomobile si affilia automaticamente ad una rete GSM diversa dalla propria rete di residenza conservando le stesse possibilità di generare e ricevere chiamate.
RPE-LTP	Regular Pulse Excitation–Long Term Prediction: codifica della fonia a 13 kbit/s usata nel GSM.
RR	Radio Resource management: procedura di segnalazione usata per la gestione della risorsa radio.
RTMS	Radio Telephone Mobile System: sistema cellulare analogico.
SACCH	Slow associated Control Channel : canale logico di segnalazione a bassa velocità associato ad un canale di traffico o ad un canale dedicato di segnalazione SDCCH.
SDCCH	Stand-alone Dedicated Control Channel: canale logico di segnalazione dedicato.

SIM	Subscriber Identity Module: circuito integrato che contiene l'identità dell'utente.
SMS	Short Message Service: servizio di trasmissione di brevi messaggi alfanumerici da e verso i radiomobili GSM.
SS7	Segnalazione a canale comune No.7.
TACS	Total Access Communication System: sistema radiomobile analogico.
TDMA	Time Division Multiple Access: tecnica di accesso ad una risorsa condivisa (la portante radio) da utenti diversi in tempi diversi (time slot) con una ciclicità predefinita (frame); nel sistema GSM è combinata con l'FDMA.
TS	Time Slot: frazione di tempo di una trama in cui il canale è assegnato ad un particolare utente.
TMSI	Temporary Mobile Subscriber Identity: identità temporanea sostitutiva dell'IMSI, utilizzata per l'autenticazione e variabile ad ogni chiamata.
TRAU	Transcoder/Rate Adaptation Unit: entità di trascodifica dal formato di trasmissione e di segnalazione usato sull'interfaccia radio e quello utilizzato nella rete terrestre .

TRX	Transceiver: ricetrasmittitore della BTS.
TUP	Telephone User Part: procedura di segnalazioe.
UM INTERFACE	Interfaccia radio tra MS e BTS.
UP LINK	Senso di trasmissione uscente dal mobile (da MS a BTS)
VLR	Visitor Location Register: archivio che contiene i dati degli utenti attualmente presenti nell'area MSC a cui il VLR è associato: Il VLR può contenere più di un area di localizzazione.