

Appunti di Reti di Telecomunicazioni

Cenni alla rete GSM

Introduzione alla comunicazione mobile.....	1
I sistemi cellulari	2
I sistemi cellulari analogici.....	4
Il sistema GSM.....	5
<i>Pregi fondamentali</i>	6
L'evoluzione successiva: standard DCS1800 e PCS1900	7
Telefoni Mobili Multi-Standard.....	7
Caratteristiche tecniche del sistema GSM	9
Suddivisione del territorio in celle.....	9
<i>Cenni alla tecnica di accesso</i>	11
Riepilogo generale dei parametri tecnici del sistema GSM	11
Assegnazione delle frequenze in Italia.....	12
Cenni al “funzionamento” del sistema	16
Mobile services Switching Center (MSC).....	20
Home Location Register (HLR)	20
Visitor Location Register (VLR)	21
Massima distanza tra BTS e MS	22
Handover.....	22

INTRODUZIONE ALLA COMUNICAZIONE MOBILE

Da diversi anni si sta assistendo alla grande diffusione della cosiddetta **mobile communication**, ovvero di tutti quei servizi che rendono possibile il mantenimento di una connessione, tra due utenti in una rete di telecomunicazione, anche in una situazione in cui uno o entrambi gli utenti sono in movimento.

Una importante svolta (forse la più importante) per le comunicazioni mobili avvenne con l'invenzione delle tecniche di **modulazione di frequenza**¹ (**FM** - *Frequency Modulation*), avvenuta nel 1935 da parte *E.H. Armstrong*. Durante la 2° guerra mondiale, si ebbe un notevole sviluppo dei sistemi FM, ma fu subito evidente una cosa: dato che ciascun servizio richiede una propria banda, ci si rese conto che non vi sarebbe stata, in futuro, la disponibilità di un numero tale di canali radio da poter soddisfare la richiesta dei vari settori (militare, polizia, vigili del fuoco, servizi di trasporto pubblici e privati, etc).

Alla fine degli anni '40 vennero introdotti i primi sistemi di telefonia mobile, ovviamente analogici: questi sistemi usavano un singolo trasmettitore FM, il quale perciò garantiva la copertura solo di una certa area circostante (tipicamente una città), consentendo ad un ristretto numero di

¹ Trasmettere un segnale con modulazione FM significa far variare, proporzionalmente al segnale da trasmettere (*segnale modulante*), la frequenza di un segnale sinusoidale (*portante*), producendo il *segnale modulato* effettivamente trasmesso sul mezzo trasmissivo.

utenti di effettuare chiamate telefoniche da una automobile durante spostamenti all'interno dell'area stessa. Nella stazione radio, la commutazione delle chiamate avveniva manualmente, tramite operatori. A ciascuna conversazione veniva riservato un **canale radio** FM di ampiezza 120 kHz⁽²⁾.

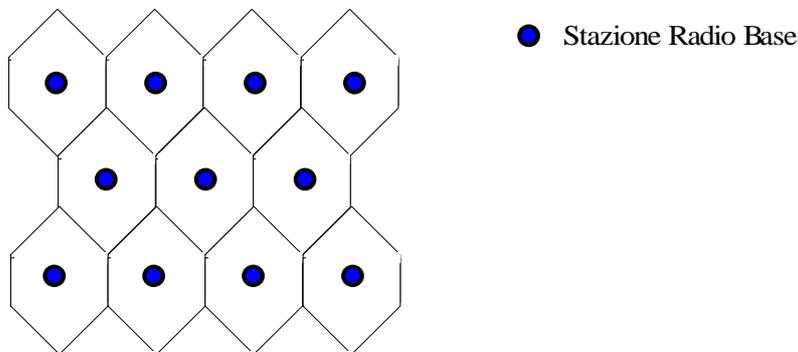
Un'altra caratteristica fondamentale dei primi sistemi radiomobili era quella per cui ogni terminale di utente operava a una propria frequenza prefissata; c'erano allora un certo numero di trasmettitori indipendenti, ognuno avente in carico un certo numero di utenti (cioè di canali radio). In un secondo tempo, si introdussero sistemi di tipo **trunked**: tutti i canali erano a disposizione di tutti gli utenti e, all'occorrenza, veniva selezionato un canale libero per l'utente che ne faceva richiesta. Inizialmente la selezione del canale avveniva manualmente, poi fu automatizzata.

I SISTEMI CELLULARI

La svolta nelle comunicazioni mobili si ebbe con l'introduzione dei cosiddetti **sistemi cellulari**. L'idea base fu concepita negli anni '40 e divenne operativa nei sistemi commerciali negli anni '80.

Si è detto nel precedente paragrafo che i sistemi non cellulari effettuano sostanzialmente delle trasmissioni di tipo **broadcast** (come radio e TV): utilizzano cioè trasmettitori di potenza elevata per coprire una vasta area; all'interno di questa area, gli utenti presenti usufruiscono ciascuno di un proprio canale, allocato di volta in volta. Se il numero degli utenti è elevato, diventa difficile se non impossibile fornire il servizio contemporaneamente a tutti.

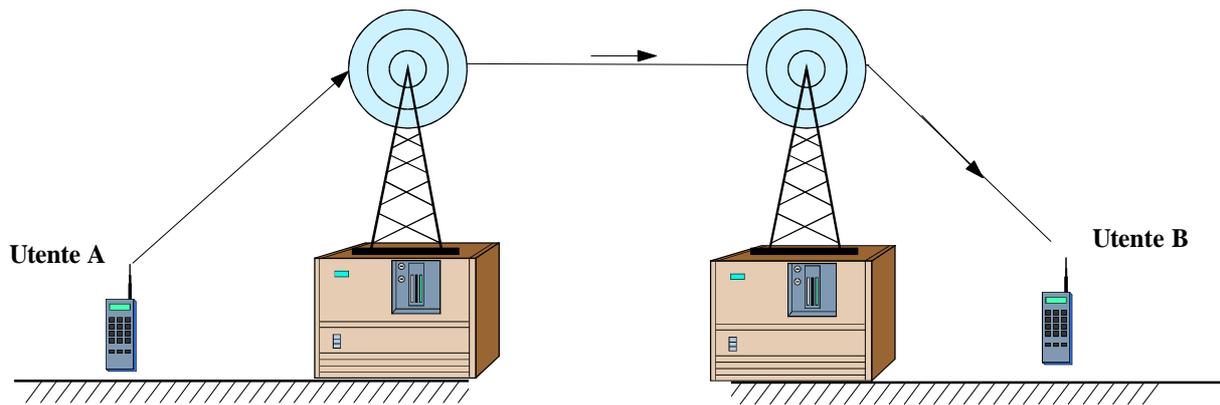
I sistemi cellulari che realizzano le **reti radiomobili**, applicano invece la tecnica del riutilizzo delle frequenze: una frequenza³ viene utilizzata più volte, in luoghi diversi sufficientemente lontani tra loro. Questo è consentito da un principio di fondo, che consiste nel suddividere il territorio (l'area di servizio) in sottoaree, di dimensioni limitate, denominate **celle**:



Ogni cella è servita da una **stazione radio base**. Questa ha a disposizione un certo numero di frequenze (cioè di canali) con i quali instaurare una comunicazione con gli utenti presenti nella cella. Infatti, come si vedrà, quando un utente A vuol comunicare con un utente B, non comunica direttamente con esso, ma con la stazione base della cella in cui si trova:

² Si trattava evidentemente di un enorme spreco di banda, se si considera che il singolo segnale telefonico analogico ha notoriamente una banda (lorda) di 4 kHz. Si cercò allora di ridurre la larghezza di banda del singolo canale: negli anni '60 la banda del canale si ridusse a 60 kHz e negli anni '70 si arrivò a 25 kHz.

³ Si intende ovviamente una frequenza centrale, rappresentativa cioè del canale radio (di banda opportuna) centrato su di essa



La stazione radio base, con cui A si mette in contatto, si occupa, coadiuvata da una serie di altri *componenti di rete*, di instaurare una comunicazione con la stazione radio base della cella in cui si trova l'utente B.

Il concetto del **riuso delle frequenze** si può allora sintetizzare in due punti essenziali:

- intanto, i canali a disposizione della generica stazione base sono sempre diversi da quelli utilizzati nelle celle adiacenti, in modo da evitare *interferenze*;
- in secondo luogo, dato che ciascuna stazione radio base opera con potenza ridotta, i segnali da essa trasmessi diventano trascurabili a sufficiente distanza; questo significa che è possibile *riutilizzare* le stesse frequenze in celle non adiacenti.

Questo meccanismo consente un uso estremamente efficiente dello spettro di frequenze a disposizione. Bisogna infatti considerare che lo spettro di frequenze è suddiviso in tanti intervalli, di ampiezza variabile, ognuno assegnato ad un determinato *servizio*. Tra questi *servizi* rientra anche la **rete GSM**, la quale quindi ha a disposizione una propria banda (che vedremo essere centrata attorno ai **900 MHz** per la prima versione della rete). Si tratta perciò di sfruttare al meglio questa banda di ampiezza inevitabilmente finita, al fine essenzialmente di poter connettere alla rete quanti più utenti possibile in contemporanea.

Tornando alle celle, generalmente vengono utilizzate forme regolari di celle per coprire un'area di servizio. Teoricamente, si possono immaginare celle di forma esagonale (come nell'ultima figura), anche se, in realtà, la loro forma risulta sempre inevitabilmente irregolare a causa della *non omogenea propagazione del segnale radio*, dovuta principalmente alla presenza di ostacoli (si pensi per esempio alle mura degli edifici all'interno di una città).

Un altro aspetto fondamentale, in una rete radiomobile, riguarda appunto la **mobilità** degli utenti: se, durante gli spostamenti, l'utente passa da una cella ad un'altra, è necessario che il terminale mobile si sintonizzi su una nuova frequenza (tipicamente quella ricevuta meglio tra le frequenze disponibili della nuova cella) in modo che la conversazione possa continuare e senza che l'utente si accorga del cambio di frequenza. La procedura con la quale si effettua il cambio di frequenza nel passare da una cella all'altra viene detta **handover**.

Nei sistemi cellulari, aumentando il numero delle celle che coprono una certa area (e perciò riducendo la loro dimensione), aumenta la **capacità** del sistema, cioè il numero di utenti gestibili contemporaneamente, ma diminuisce la *distanza di riuso delle frequenze* (cioè la distanza tra due celle che usano lo stesso canale), per cui aumenta l'interferenza tra canali che utilizzano la stessa frequenza (*interferenza cocanale*) ed aumenta il numero di *handover* che il sistema deve effettuare durante una conversazione. D'altra parte, diminuendo la dimensione di una cella, si può anche pensare di ridurre la potenza trasmessa, visto che il segnale deve percorrere distanze minori, in modo da ridurre l'interferenza e conservare intatta la distanza di riuso delle frequenze. Questa possibilità,

però, trova un ostacolo nel fatto che bisogna sempre garantire una minima qualità prestabilita alla comunicazioni (la cosiddetta **QOS**, *Quality of Service*): ciò significa che la riduzione della potenza da trasmettere in ciascuna cella non può comunque andare oltre un minimo limite tollerabile. Come in quasi tutte le applicazioni, quindi, si tratta di trovare un compromesso tra le varie esigenze: qualità del servizio, dimensione delle celle, distanza di riutilizzo delle frequenze e così via. A questo si aggiunge anche la difficoltà di reperire i siti in cui fisicamente installare le stazioni rice-trasmittenti.

I SISTEMI CELLULARI ANALOGICI

I primi **sistemi cellulari**, basati sulle considerazioni di cui al precedente paragrafo, furono introdotti intorno ai primi anni '80 ed erano tutti di tipo **analogico**. Essi utilizzavano tecniche di modulazione di frequenza e presentavano sostanzialmente le seguenti limitazioni:

- ad ogni utente che effettuava una richiesta di connessione veniva assegnata una frequenza, che rimaneva impegnata per tutta la durata della conversazione, non potendo così essere utilizzata da altri terminali ⁽⁴⁾;
- la capacità (cioè il numero di utenti connessi contemporaneamente) era limitata sia dal numero delle frequenze disponibili sia dal limite imposto alle dimensioni delle celle dalla interferenza co-canale;
- non si potevano applicare direttamente *algoritmi di crittografia* se non utilizzando apparati ad hoc (i cosiddetti **scrambler**, che però erano molto costosi);
- la sicurezza dell'accesso alla rete era minima, in quanto si basava solo sul riconoscimento di un numero di serie che identificava il *terminale mobile* (il telefonino), per cui non era impossibile clonare il terminale;
- non erano assolutamente adatti alla trasmissione di dati.

Il primo sistema introdotto, detto **AMPS** (*Advanced Mobile Phone Standard*), fu sviluppato negli USA e introdotto nel mercato nel 1979 a Chicago.

La soluzione nord-europea fu il sistema **NMT** (*Nordic Mobile Telephone*), avviato per la prima volta in Svezia nel 1981 e subito dopo in Norvegia, Danimarca e Finlandia.

Successivamente è stato sviluppato, nel Regno Unito, lo standard **TACS** (*Total Access Communications System*), che era una versione modificata del sistema AMPS. La prima rete TACS ha iniziato la sua attività commerciale nel 1985 nel Regno Unito.

Le specifiche iniziali del sistema TACS assegnavano al sistema una banda complessiva di ampiezza **70 MHz**, (compresa precisamente tra 890 e 960 MHz), nella quale allocare 1000 canali. Successivamente, le specifiche sono state evolute nello standard **ETACS** (*Extended TACS*), che assegna 1320 canali nella banda 872-950 MHz (quindi di ampiezza **78 MHz**).

⁴ Si trattava, sostanzialmente, di uno schema del tipo **a commutazione di circuito** per la rete telefonica fissa tradizionale: alla generica conversazione vengono a priori assegnate tutte le risorse necessarie e queste rimangono assegnate per tutta la durata della conversazione.

IL SISTEMA GSM

Quando i sistemi telefonici cellulari analogici, durante i primi anni '80, hanno avuto un rapido sviluppo in Europa, ogni nazione sviluppò un proprio sistema, che però era incompatibile con quelli degli altri paesi: il terminale mobile era perciò limitato ad operare entro i confini nazionali. Questa situazione non era gradita, sia per questioni economiche (legate all'impossibilità di realizzare economie di larga scala) sia appunto perché i sistemi mobili dovevano limitare la loro operatività all'interno dei confini nazionali.

Al contrario, la definizione di uno **standard paneuropeo** (per il quale fossero standardizzate funzioni ed interfacce) avrebbe consentito di operare in regime di concorrenza, che consentisse quindi ai *gestori* di utilizzare impianti forniti da diversi *costruttori*. Si sarebbe potuto aprire un vasto mercato, in grado di permettere significative economie di scala nella produzione di terminali e apparati, con conseguente diminuzione dei loro costi, e creare un servizio internazionale privo di confini.

Nel **1982**, un gestore pubblico di servizi di telefonia mobile dei paesi nordici (*Nordic PTT*) inviò una proposta al **CEPT** (*Conference Européenne de Postal et Télécommunications*) per l'implementazione di un servizio comune di telefonia mobile europeo sulla frequenza dei **900 MHz**. Fu così creato un gruppo di studio *Groupe Spécial Mobile* (GSM) con lo scopo di studiare e sviluppare un sistema radiomobile cellulare paneuropeo comune a tutti i paesi dell'Europa occidentale. Il sistema proposto dal gruppo di studio doveva garantire dei precisi requisiti:

- assicurare una buona qualità audio della conversazione;
- bassi costi per i terminali e per la gestione del servizio;
- supporto per il *roaming* internazionale;
- supporto per terminali palmari;
- supporto per un ampio ventaglio di nuovi servizi;
- compatibilità con il sistema digitale **ISDN**;
- garantire un eccellente grado di sicurezza e riservatezza nelle comunicazioni.

Tre anni, dal 1982 al 1985, furono dedicati alla scelta tra la tecnica analogica e quella digitale. Nel 1985, dopo numerose discussioni, il gruppo ha deciso di implementare un sistema basato su tecnologia digitale.

A favore della tecnologia digitale c'erano la rapida evoluzione tecnologica dei settori dell'elaborazione numerica dei segnali e l'integrazione dei componenti elettronici per effetto della disponibilità dei circuiti integrati VLSI.

Un sistema cellulare basato su sistema numerico offre numerosi vantaggi:

- consente di utilizzare un'unica frequenza per servire più utenti, tramite l'utilizzo di tecniche **TDM** (*Time Division Multiplexing*);
- ha una capacità maggiore sia per quanto sopra detto, sia perché i sistemi digitali sono meno sensibili a rumore ed interferenze e quindi consentono di ridurre le dimensioni delle celle, aumentando il numero di utenti che possono essere serviti contemporaneamente;
- consente alto grado di riservatezza, in quanto le informazioni trasmesse via radio possono essere cifrate direttamente dall'apparato utente;
- consente elevato grado di sicurezza: l'identità dell'apparato che chiede l'accesso alla rete può essere controllata tramite l'applicazione di un opportuno algoritmo e di una *chiave di autenticazione* segreta;
- consente di effettuare trasmissioni dati (il segnale vocale stesso viene digitalizzato e poi

trasmesso).

Vi era poi la prospettiva di garantire la compatibilità fra la rete ISDN e la rete di supporto al sistema radiomobile (cioè la rete per lo scambio delle informazioni di controllo tra i vari componenti del sistema).

Un accordo tra i paesi aderenti portò alla decisione di riservare per questo sistema due bande di frequenza: 890-915 MHz e 935-960 MHz. Entrambe queste bande sono ampie **25 MHz** e, come si vedrà, servono l'una (*uplink*) alla comunicazione dai terminali mobili alle stazioni base e l'altra (*downlink*) per la comunicazione in senso contrario

Nel 1987, superati i problemi tecnici e politici affrontati per uniformare i diversi punti di vista dei paesi coinvolti e dei numerosi studiosi che portavano avanti progetti e sperimentazioni, le prime 13 nazioni (nel Regno Unito c'erano già due operatori) firmarono il **MoU** (*Memorandum of Understanding*) per l'introduzione coordinata del **sistema GSM**: esse si impegnarono a rispettare le specifiche, promettendo di avere il primo sistema basato sullo standard GSM operativo entro il 1° luglio 1991.

Nel 1989, la responsabilità del progetto GSM venne trasferita all' *European Telecommunication Standards Institute* (**ETSI**), ossia l'ente avente il mandato CEE per l'unificazione normativa in Europa nel settore delle telecomunicazioni. In quella sede venne ridefinito l'acronimo **GSM** come **Global System for Mobile Communications**. Il Comitato Tecnico dell'ETSI ha elaborato normative, standard e specifiche tecniche descritte in 12 serie di raccomandazioni. La prima parte delle specifiche del sistema GSM venne pubblicata nel 1990 (*GSM PHASE 1*).

Il corpo dello standard era costituito inizialmente da poco più di cento raccomandazioni alla cui stesura hanno collaborato PTT, centri di ricerca ed aziende manifatturiere di tutta Europa e rappresenta uno dei progetti più ambiziosi degli ultimi dieci anni dell'ETSI.

I primi servizi commerciali furono lanciati a metà del 1991, e nel 1993 erano già operativi 36 network GSM in 22 paesi.

Dopo la fase iniziale (**PHASE 1**) terminata nel 1991, in cui si è provveduto alla definizione delle specifiche relative ai servizi base essenziali e ad alcuni servizi supplementari, si è passati ad una seconda fase (**PHASE 2**) conclusasi nel 1993, durante la quale si sono integrati servizi base e supplementari e si sono corretti gran parte degli errori della *PHASE 1*.

Le specifiche sono state estese in seguito, assegnando una nuova banda, intorno a 1800-1900 MHz (**DCS1800 - PCS1900**). In particolare, negli USA è stata concessa la banda dei 1900 MHz ed in Europa e negli altri paesi extraeuropei quella dei 1800 MHz.

Nonostante sia stato standardizzato in Europa, il sistema GSM non è uno standard solo europeo: infatti reti GSM sono operative o pianificate nel 1996 in oltre 100 paesi di tutto il mondo. La crescita degli abbonati è stata vertiginosa : 1,3 milioni all'inizio del 1994, 5 milioni all'inizio del 1995, per raggiungere i 10 milioni alla fine del 1995 solo in Europa.

Pregi fondamentali

In generale, possiamo dunque dire che lo standard GSM definisce una serie di miglioramenti e innovazioni rispetto alle reti radio cellulari preesistenti, mirando ad un uso efficiente dello spettro delle radio frequenze, alla sicurezza della trasmissione, al miglioramento della qualità delle conversazioni, alla riduzione dei costi dei terminali, delle infrastrutture e della gestione, alla capacità di supportare nuovi servizi e alla piena compatibilità con la rete **ISDN** (*Integrated Services Digital Network*) e con altre reti di trasmissione dati.

Inoltre, *la rete radiomobile GSM costituisce il primo sistema standardizzato ad usare una tecnica di trasmissione numerica su canale radio*: questo punto rappresenta una caratteristica peculiare della rete, in quanto tutti i

sistemi radio cellulari antecedenti utilizzavano tecniche di trasmissione analogiche.

Altra caratteristica di base del sistema é il **roaming** (*mobilità*), ossia la possibilità offerta all'utente mobile di accedere ai servizi GSM anche quando si trova fisicamente al di fuori dell'area di copertura della propria rete di sottoscrizione. Il roaming è completamente automatico all'interno di tutte le nazioni coperte dal sistema GSM ed è regolato da precisi (ma non sempre chiari) accordi commerciali tra i vari operatori.

Oltre alla possibilità di effettuare il Roaming, il GSM fornisce nuovi servizi per l'utente, quali ad esempio la trasmissione dati, il servizio fax ed il servizio trasmissione brevi messaggi di testo (**SMS**).

L'EVOLUZIONE SUCCESSIVA: STANDARD DCS1800 E PCS1900

La naturale evoluzione del sistema GSM è il cosiddetto protocollo *Personal Communications Network* (**PCN**). Ad esso, l'ETSI ha assegnato una banda di **75 MHz** nell'intorno dei 1800 MHz. Un nuovo standard, chiamato **DCS1800** (*Digital Cellular System*), è stato sviluppato appositamente per queste frequenze. Virtualmente il DCS1800 utilizza le stesse specifiche del GSM, il che significa che i componenti di una rete GSM possono essere usati in reti DCS1800. Solo i trasmettitori radio e i telefoni palmari necessitano di apposite specifiche, date le diverse frequenze di funzionamento.

Le proprietà che differenziano il DCS1800 dal GSM sono:

- frequenze di lavoro più alte, che comportano caratteristiche di propagazione diverse: generalmente hanno un raggio d'azione più corto e penetrano meglio all'interno degli edifici (il che lo rende un sistema ideale per le zone ad alta densità abitativa come le città).
- l'ampiezza di banda di **75 MHz**, triplicata rispetto ai **25 MHz** del GSM iniziale, che permette sostanzialmente di raddoppiare gli 800 utenti (teorici) massimi per cella.
- una minore potenza di trasmissione, che garantisce meno interferenze e un migliore sfruttamento delle batterie del telefono palmare.

E' stata ormai completata la standardizzazione delle procedure che permetteranno una integrazione (*inter-working*) tra le reti GSM e DCS1800 così che una **SIM card GSM** potrà essere usata su un telefono DCS1800 e viceversa.

La prima rete DCS1800 (la rete Mercury One-2-One) è entrata in servizio nel 1993 nel Regno Unito.

Negli Stati Uniti, dove non esiste una rete GSM, sono stati riservati 140 MHz nella banda 1900 MHz (1850-1990 MHz) per il sistema PCN. Questa ulteriore variante del GSM, chiamata **PCS1900** (*Personal Communications Service*), continua ad essere GSM compatibile se non per la frequenza di lavoro e la potenza di trasmissione.

TELEFONI MOBILI MULTI-STANDARD

A causa della crescente domanda di capacità dei sistemi radiomobili attuali, che spesso crea saturazioni dei singoli network, specialmente nelle zone densamente popolate, si è resa necessaria l'implementazione di **terminali multi-standard**, capaci cioè di commutare tra sistemi con frequenze e tecnologie digitali diverse, permettendo all'abbonato di muoversi più liberamente all'interno di aree coperte da più networks.

Un terminale che può funzionare su due network differenti, può essere classificato come:

- * **dual band**, quando utilizza la stessa tecnologia, ma frequenze differenti; ad esempio, un terminale capace di funzionare sulla rete GSM 900 e sulla rete DCS 1800 (chiamata anche GSM1800 o PCN) è di tipo *dual mode*, perché in questo caso entrambe le reti utilizzano lo stesso standard di trasmissione e l'unica differenza tra i due sistemi è solo la banda utilizzata;
- * **dual mode**, quando è capace di connettersi con reti tecnologicamente diverse (standard di trasmissione e/o banda di frequenza utilizzata); un esempio in questo caso sono i telefoni che funzionano sia sulle reti terrestri che su quelle satellitari.

Interessante è il terminale che combina le tecnologie GSM e **DECT**, consentendo all'abbonato di usare il roaming e l'estesa copertura del servizio GSM quando si allontana dall'ambito cittadino e di sfruttare invece il servizio DECT e tutti i suoi vantaggi (stesso numero di casa o ufficio, caratteristiche PABX, ottima qualità del segnale anche all'interno di edifici, tariffe inferiori a quelle delle reti radiomobili).

La commercializzazione dei primi telefoni GSM *dual-band* è iniziata dopo il Cebit '97, con alcuni telefoni in grado di operare sia nei networks GSM 900, che in quelli DCS 1800/PCS1900. Il PCS1900 è lo standard adottato dagli USA che sfrutta la stessa tecnologia del GSM, ma sulla banda dei 1900 MHz.

Chi è in possesso del GSM dual-band GSM-PCS1900 può effettuare roaming anche negli Stati Uniti, mantenendo la propria SIM card ed il proprio numero.

Interessante la caratteristica del **dual band handover**, che, ad esempio, consente all'abbonato, che si trova in un'area coperta sia dal sistema GSM 900 che da quello DCS 1800, di poter commutare automaticamente tra un sistema e l'altro anche quando si trova in conversazione. Naturalmente in questo caso sia il telefono che la rete devono supportare tale modalità di funzionamento.

Nel 1998, con l'apertura delle **reti telefoniche satellitari**, sono stati commercializzati i telefoni mobili *dual mode*, cioè quelli che combinano le tecnologie GSM-satellitare, DCS1800-satellitare, PCS1900-satellitare, AMPS-satellitare, ecc. Questi terminali sono capaci di commutare automaticamente sulla rete satellitare, quando non è più presente copertura radio sulla rete cellulare terrestre. Infatti anche se i sistemi cellulari terrestri continueranno a crescere velocemente, saranno in grado di coprire solo una piccola parte della superficie terrestre; così le nuove potenti reti radiomobili satellitari saranno un utile complemento ad essi, facilitando le comunicazioni in aree remote in qualunque punto del pianeta.

Caratteristiche tecniche del sistema GSM

SUDDIVISIONE DEL TERRITORIO IN CELLE

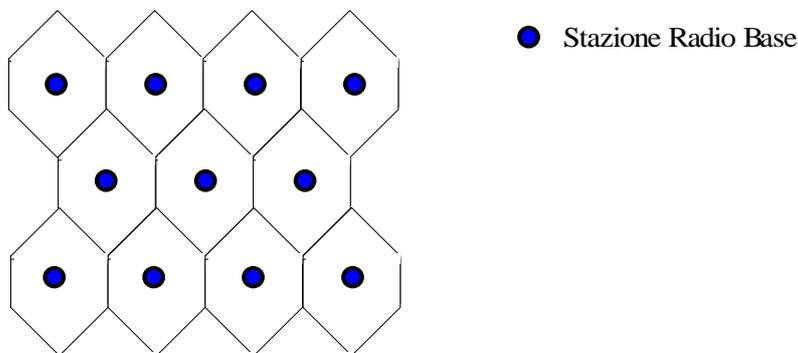
A differenza di quanto avviene nella rete telefonica fissa, in cui il terminale di ogni utente è collegato alla rete attraverso un punto di accesso dedicato e univoco, in una rete radiomobile, l'abbonato è libero di spostarsi in qualsiasi punto della rete⁵.

La caratteristica di base di un sistema radiomobile può essere riassunta in termini di *networking* (interazione) tra le apparecchiature radio, i nodi radiomobili, i database e la rete telefonica pubblica (**PSTN** per la rete analogica e **ISDN** per quella digitale).

In tutti i sistemi di radiocomunicazione, il fattore che ha una primaria importanza è lo spettro di frequenza disponibile (o larghezza di banda): infatti, il numero di frequenze radio assegnato a questi servizi è limitato. Ad esempio, nel caso del GSM, le specifiche iniziali assegnarono le seguenti bande:

Up-Link (da terminale mobile a stazione base): **890-915 MHz**
Down-Link (da stazione base a terminale mobile): **935-960 MHz**

Entrambe queste bande sono ampie **25 MHz**, per cui si pone il problema di sfruttare al massimo questa larghezza di banda disponibile, al fine di connettere quanti più utenti possibile contemporaneamente in uno stesso settore. Per ottenere questo risultato, il sistema è realizzato suddividendo *l'area di servizio (Service Area)* in zone confinanti denominate **celle**.



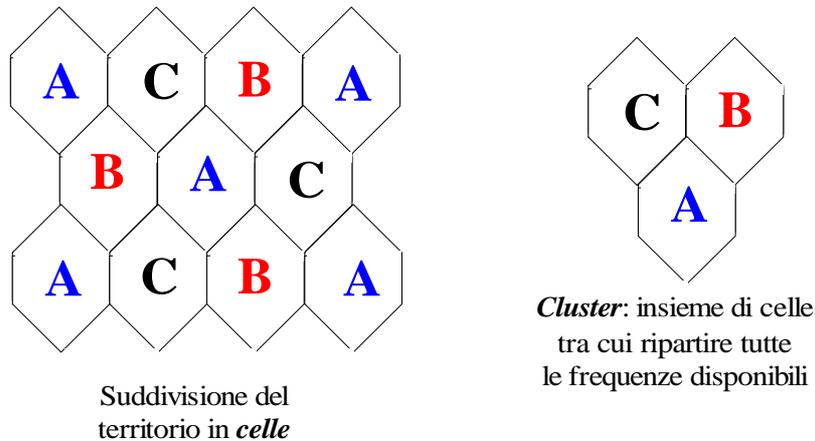
Come già detto, ogni cella fa riferimento ad una *Stazione Radio Base (BTS)* che opera su un **set di canali radio**, diversi da quelli utilizzati nelle celle adiacenti (per evitare interferenze). Questo tipo di suddivisione permette il riutilizzo delle stesse frequenze in celle non adiacenti.

Per fare un esempio concreto, supponiamo che la banda disponibile⁶ venga suddivisa in 3 sottobande, che indichiamo rispettivamente con A, B e C. Se una data cella usa i canali del gruppo A, nessuna delle celle adiacenti potrà usare gli stessi canali. Stesso discorso, ovviamente, per le altre

⁵ Come si vedrà, questo impone che i dati relativi all'abbonato vengano memorizzati in un *database* che sia consultabile e aggiornabile da qualsiasi punto della rete ed in qualunque momento.

⁶ Si tenga presente che quando parliamo di banda disponibile non ci riferiamo a tutti i 25 MHz messi a disposizione delle specifiche. Infatti, questi 25 MHz vengono ripartiti, in ciascuna nazione e a cura del Governo, tra i vari operatori presenti (in Italia, parliamo di Tim, Omnitel, Wind e del prossimo gestore Blutel). Quindi, ciascuna operatore ha solo una frazione della banda messa complessivamente a disposizione della rete GSM. Di questo aspetto, comunque, ci occuperemo anche più avanti.

due sottobande. Di conseguenza, la ripartizione delle sottobande, ad esempio nel caso dell'ultima figura, non potrà che essere il seguente:



*La figura mostra la divisione del territorio in celle, nonché il fatto che lo spettro radio sia stato suddiviso (per esempio) in 3 gruppi di frequenze (indicati rispettivamente con A, B e C). Ogni cella ha a disposizione un solo gruppo di frequenze. L'insieme di 3 celle adiacenti, che quindi utilizzano tutti e 3 i gruppi di frequenze, prende il nome di **cluster**.*

Si nota immediatamente che è possibile individuare un insieme di celle adiacenti che usino, nel complesso, tutte le frequenze disponibili: a tale insieme di celle si dà il nome di **cluster**. Possiamo perciò affermare che l'area totale coperta dal servizio può essere suddivisa in celle oppure, ad un livello superiore, in cluster. E' anche possibile considerare una suddivisione a livello ancora superiore, che quindi metta insieme più cluster.

Generalmente, vengono utilizzate forme regolari di *celle* e quindi di *cluster* per coprire un'area di servizio.

Possiamo fare un banale conto per renderci conto del fatto che il riuso delle frequenze consente di aumentare il numero di canali disponibili, a parità di area coperta. Supponiamo di voler utilizzare la banda a nostra disposizione usando N canali di ampiezza costante. Questo numero N è pari evidentemente al rapporto tra la banda complessiva a disposizione e l'ampiezza di banda che vogliamo riservare a ciascun canale: ad esempio, se la banda complessiva è di 25 MHz e ogni canale deve essere ampio 200 kHz, il numero di canali ottenibili è

$$N = \frac{25(\text{MHz})}{200(\text{kHz})} = 125$$

Quindi, se consideriamo l'area complessiva coperta dal servizio e non volessimo utilizzare il riuso delle frequenze, potremmo connettere non più di 125 utenti contemporaneamente.

Adesso consideriamo la suddivisione dell'area in celle, ad esempio nelle 11 celle dell'ultima figura. Usiamo inoltre la tecnica del riuso delle frequenze, dividendo lo spettro a disposizione nelle tre sottobande A, B e C di cui si diceva prima. E' ovvio che ciascuna sottobanda corrisponde ad un numero di canali inferiore rispetto ad N: precisamente, disponiamo, per ciascuna sottobanda, di $\frac{N}{3} = 41$ canali (dove abbiamo ovviamente arrotondato il risultato della divisione all'intero più piccolo). Visto, però, che usiamo 11 celle, in ciascuna delle quali disponiamo di 41 canali, il numero totale di canali disponibili nell'area considerata è $\frac{N}{3} \cdot 11 = 451$.

Quindi, rispetto ai 125 canali ottenibili, senza il riuso delle frequenze, sull'intera area di copertura del servizio, ci basta considerare un'area di 11 celle per ottenere un numero di canali più che triplicato.

E' ovvio che questo è un conto di massima, perché comunque non tutti i canali disponibili vengono usati per trasmettere le conversazioni.

Essendo limitato il numero di canali in ogni cella, è anche limitato il numero di utenti che possiamo servire contemporaneamente. Come già anticipato in precedenza, possiamo pensare di ridurre la dimensione delle celle, al fine di aumentare il riuso delle frequenze e quindi, a parità di area coperta, di aumentare il numero complessivo di canali. Il problema, però, è nell'interferenza: riducendo la dimensione di una cella, ma mantenendo invariata la potenza trasmessa, il segnale potrebbe non diventare più trascurabile in una cella non adiacente che però usa la stessa frequenza; si avrebbe perciò la sovrapposizione delle comunicazioni, che prende appunto il nome di **interferenza cocanale**. Quanto più diminuisce la dimensione della cella, tanto più il problema dell'interferenza diventa pesante. Si può chiaramente ridurre la potenza⁷, ma anche questa soluzione, come già detto, ha una controindicazione nel fatto che comunque bisogna garantire una qualità minima del servizio.

Si capisce dunque quanto importante sia il problema dell'interferenza ed è per questo che il sistema GSM utilizza delle opportune tecniche tendenti a minimizzarla.

Cenni alla tecnica di accesso

Senza scendere in eccessivi dettagli, possiamo limitarci a dire che lo standard GSM utilizza la tecnologia di accesso a divisione di frequenza (**FDMA**) combinata con quella ad accesso a divisione di tempo (**TDMA**): in poche parole, questo significa che, dopo aver diviso la banda disponibile in un certo numero di canali radio (FDM), ogni canale viene utilizzato da 8 (*Full Rate*) oppure 16 (*Half Rate*) utenti secondo una tecnica a divisione di tempo (TDM). In altre parole, dato il singolo canale radio (da **200 kHz**), esso è utilizzato da 8 o 16 utenti contemporaneamente, a ciascuno dei quali è assegnato uno slot temporale di durata prefissata. Gli slot temporali sono talmente brevi e ravvicinati, che l'utente non si accorge minimamente della temporizzazione, avendo cioè la "sensazione" di essere l'unico ad usare quel dato canale.

RIEPILOGO GENERALE DEI PARAMETRI TECNICI DEL SISTEMA GSM

Sono adesso riassunti i principali parametri tecnici del network GSM, alcuni dei quali sono stati già descritti, mentre gli altri saranno descritti in seguito:

- **Banda operativa:**

- * GSM: *Up-Link* (Mobile→Base) **890-915** MHz e *Down-Link* (Base→Mobile) **935-960** MHz .
- * Extended GSM: *Up-Link* **880-915** MHz e *Down-Link* **925-960** MHz. Recentemente la banda operativa è stata estesa (**Extended GSM**) per aumentare la capacità del sistema.
- * DCS: *Up-Link* (Mobile-Base) **1710-1785** MHz e *Down-Link* (Base-Mobile) **1805-1880** MHz
- * GSM Italia: *Up-Link* **905-914** MHz e *Down-Link* **950-959** MHz. In Italia la banda operativa è meno estesa a causa dell'utilizzo di parte della stessa da parte della rete analogica ETACS.

⁷ La riduzione della potenza va anche a vantaggio della soluzione dei problemi di inquinamento elettromagnetico.

- **Portanti radio per singola banda**
 - * GSM: **124** portanti
 - * Extended GSM: **174** portanti
- Spaziatura di canale: **200 kHz**
- Modulazione **GMSK** (*Gaussian Minimum Shift Keying*) digitale, a inviluppo costante con prefiltraggio gaussiano B.T.= 0,3
- Algoritmo di *Frequency Hopping* (Frequenza di Hopping = 217 hops/s)
- Accesso alla rete di tipo **TDMA** (*Time Division Multiple Access*) combinato con **FDMA** (*Frequency Division Multiple Access*) con 8 intervalli per portante radio (*Time Slot*)
- **Numero totale canali vocali con 124 portanti radio:**
 - * **992** con campionamento di ogni portante a 16 kbit/s (*Full Rate*)
 - * **1984** con campionamento di ogni portante a 8 kbit/s (*Half Rate*)
- Codifica voce con algoritmo **RPE - LTP - LPC** (*Regular Pulse Excitation - Long Term Prediction - Linear Predictive Coding*) con campionamento a 13 kbit/s
- Procedura di compensazione del ritardo di propagazione della tratta radio fino a 233 microsecondi (che consente un raggio massimo della cella di 35 Km)
- Recupero di dispersione (equalizzazione del canale radio) tipicamente fino a 20 microsecondi
- Controllo dinamico di potenza dell'apparato mobile (**MS**) e opzionalmente della *Stazione Radio Base* (**BTS**) durante il collegamento radio
- Trasmissione e ricezione di tipo discontinuo (**DTX**). I burst vengono trasmessi solo durante l'effettiva attività fonica.

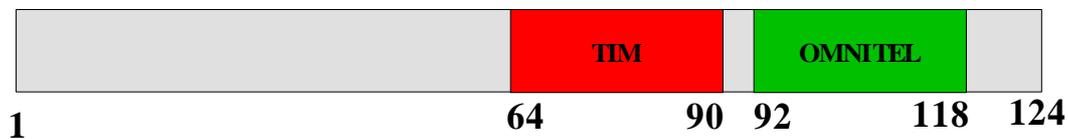
ASSEGNAZIONE DELLE FREQUENZE IN ITALIA

Come detto in precedenza, solo una porzione dello **spettro radio** è stata assegnata alla *rete cellulare GSM*. Ogni nazione ha il completo arbitrio di ripartire tale porzione tra i vari operatori che ne fanno richiesta. Vediamo allora alcune tappe dell'assegnazione delle frequenze in Italia.

Inizialmente, l'unico operatore di telefonia mobile GSM presente in Italia era **TIM** (Telecom Italia Mobile). Nel **dicembre 1994** è subentrato il nuovo operatore **Omnitel**. Al momento della concessione al nuovo operatore, il piano delle frequenze fu il seguente:

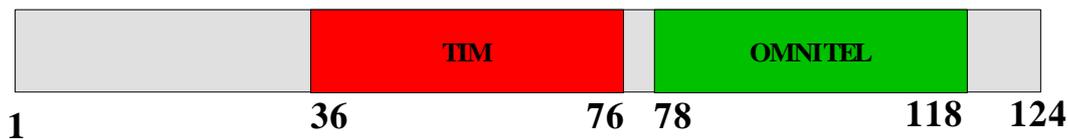
GSM TIM	<i>uplink</i>	902.7 - 908.1 MHz	5.4 MHz canali da 64 a 90
	<i>downlink</i>	947.7 - 953.1 MHz	
GSM OMNITEL	<i>uplink</i>	908.3 - 913.7 MHz	5.4 MHz canali da 92 a 118
	<i>downlink</i>	953.3 - 958.7 MHz	

Come si vede, entrambi gli operatori hanno avuto a disposizione una banda di **5.4 MHz** (per un totale di **27 canali**⁸) sia per l'uplink sia per il downlink:



Il **16 settembre 1997**, quando ancora gli unici operatori presenti erano Tim e Omnitel, la banda assegnata a ciascuno di essi fu ampliata ad **8.2 MHz** (per cui il numero di canali passò a **41 canali**):

GSM TIM	<i>uplink</i>	897.1 - 905.3 MHz	8.2 MHz canali da 36 a 76
	<i>downlink</i>	942.1 - 950.3 MHz	
GSM OMNITEL	<i>uplink</i>	905.5 - 913.7 MHz	8.2 MHz canali da 78 a 118
	<i>downlink</i>	950.5 - 958.7 MHz	

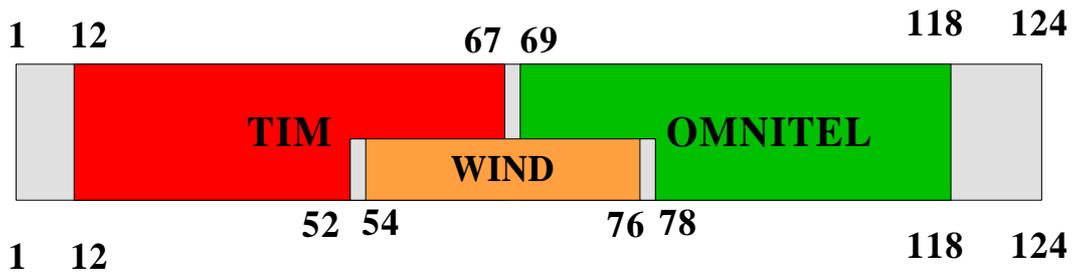


A partire dal **1 Novembre 1998** è subentrato il nuovo operatore **WIND** e venne fatta una assegnazione delle frequenze un po' "particolare", nel senso che WIND ottenne frequenze solo al di fuori delle 16 più grandi città, mentre OMNITEL e TIM conservarono lo stesso numero di canali, però spostati in frequenza rispetto al piano precedente. La tabella completa è la seguente:

GSM TIM	<i>uplink</i>	892.3-900.5 (903.5*) MHz	8.2 (11.2*) MHz Canali da 12 a 50 (67*)
	<i>downlink</i>	937.1-945.5 (948.5*) MHz	
GSM WIND	<i>uplink</i>	900.7-905.3 MHz	4.6 MHz Canali da 54 a 76
	<i>downlink</i>	945.7-950.3 MHz	
GSM OMNITEL	<i>uplink</i>	905.5 (903.7*)-913.7 MHz	8.2 (10) MHz Canali da 78 (69*) a 118
	<i>downlink</i>	950.5 (948.7*)-958.7 MHz	

Gli *asterischi* che compaiono in questa e nelle prossime tabelle indicano la sovrapposizione di alcune frequenze tra i vari operatori, come indicato nel seguente prospetto:

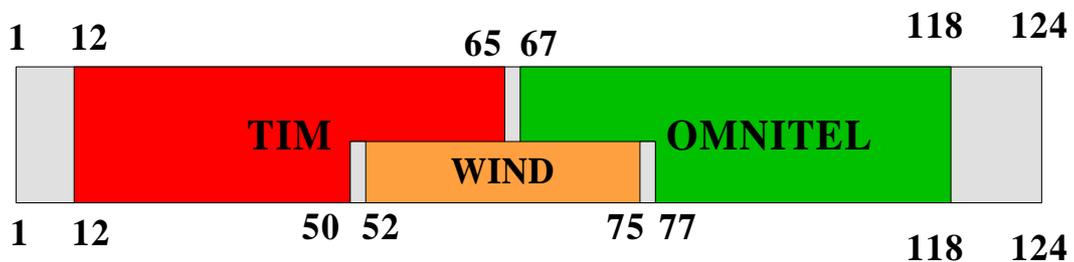
⁸ Basta dividere l'ampiezza totale (5.4 MHz) per l'ampiezza del singolo canale (200 kHz).



Il 1° Luglio 1999 è stato varato un nuovo piano di assegnazione delle frequenze, che incrementò di 200 kHz (cioè 1 canale radio) la banda di tutti e tre gli operatori:

GSM TIM	<i>uplink</i>	891.7 - 900.1 (903.1*) MHz	8.4 (11.4*) MHz Canali da 9 a 50 (65*)
	<i>downlink</i>	933.7 - 945.1 (948.1*) MHz	
GSM WIND	<i>uplink</i>	900.3 - 905.1 MHz	4.8 MHz Canali da 52 a 75
	<i>downlink</i>	945.3 - 950.1 MHz	
GSM OMNITEL	<i>uplink</i>	905.3 (903.3*)-913.7 MHz	8.4 (10.4) MHz Canali da 77 (67*) a 118
	<i>downlink</i>	950.3 (948.3*)-958.7 MHz	

Secondo questa tabella, TIM e OMNITEL disponevano di 42 canali ciascuno al di fuori delle 16 più grandi città e di 57 canali all'interno di tali città), mentre invece WIND aveva 24 canali, tutti al di fuori delle 16 più grandi città:



Tuttavia, sempre nella data del 1° Luglio 1999 è stato anche varato il piano di assegnazione delle frequenze del nuovo **sistema DCS** (nelle bande 1710-1785 MHz, 1805-1880 MHz). Tale piano ha assegnato **4.8 MHz (24 canali)** ciascuno ai gestori Tim e Omnitel, mentre ha assegnato **10 MHz (50 canali)** ciascuno agli operatori Wind e **Blutel** (ultimo nato), secondo la seguente tabella::

TIM	<i>uplink</i>	1755 - 1759.8 MHz	4.8 MHz
	<i>downlink</i>	1850 - 1854.8 MHz	
WIND	<i>uplink</i>	1760 - 1770 MHz	10 MHz
	<i>downlink</i>	1855 - 1865 MHz	
BLUTEL	<i>uplink</i>	1770 - 1780 MHz	10 MHz
	<i>downlink</i>	1865 - 1875 MHz	
OMNITEL	<i>uplink</i>	1780.2 - 1785 MHz	4.8 MHz
	<i>downlink</i>	1875.2 - 1880 MHz	

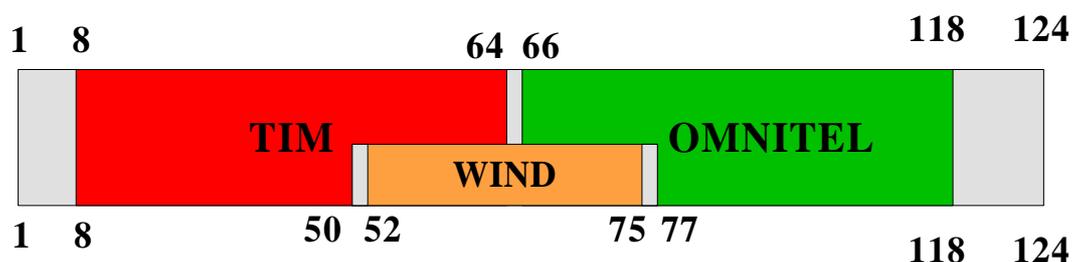
TIM	WIND	BLUTEL	OMNITEL
1755 1850	1760 1855	1770 1865	1780 1875 1785 1880

Infine, il **15 Settembre 1999** è stato varato il piano delle frequenze del nuovo sistema **Extended GSM** (880-915 MHz, 925-960 MHz), con il quale la banda intorno ai 900 MHz è stata ampliata dai 25 MHz iniziali a **35 MHz**:

- al gestore **Tim** sono assegnati **11,4 MHz** (57 portanti) con l'obbligo di utilizzare le portanti da 51 a 64 solo per il territorio all'interno dell'area urbana delle grandi città;
- al gestore **Omnitel** sono assegnati **10.6 MHz** (53 portanti), in virtù del suo minore carico d'utenza, con l'obbligo di utilizzare le portanti da 66 a 76 solo per il territorio all'interno dell'area urbana delle grandi città;
- al gestore **Wind** sono assegnati **4.8 MHz** (24 canali) solo per il territorio all'esterno dell'area urbana delle grandi città;

GSM TIM	<i>uplink</i>	891.7-900.1 (903.1*) MHz	8.6(11.4*) MHz Canali da 8 a 50 (64*)
	<i>downlink</i>	933.7-945.1 (948.1*) MHz	
GSM WIND	<i>uplink</i>	900.3 - 905.1 MHz	4.8 MHz Canali da 52 a 75
	<i>downlink</i>	945.3 - 950.1 MHz	
GSM OMNITEL	<i>uplink</i>	905.3 (903.3*)-913.7 MHz	8.4(10.6) MHz Canali da 77 (66*) a 118
	<i>downlink</i>	950.3 (948.3*)-958.7 MHz	

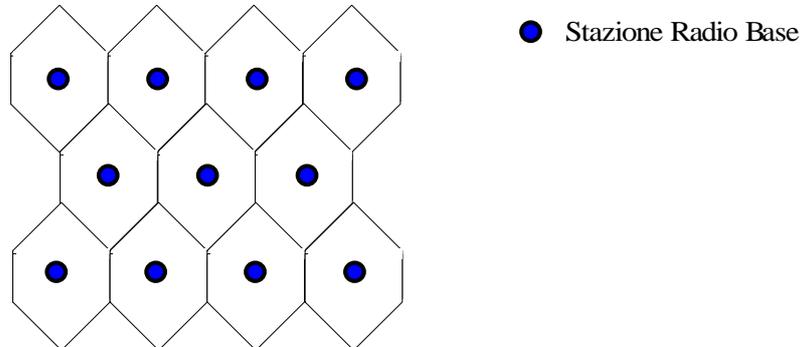
Rispetto al precedente piano di assegnazione, Tim e Omnitel hanno avuto 3 canali in più all'interno delle 16 più grandi città:



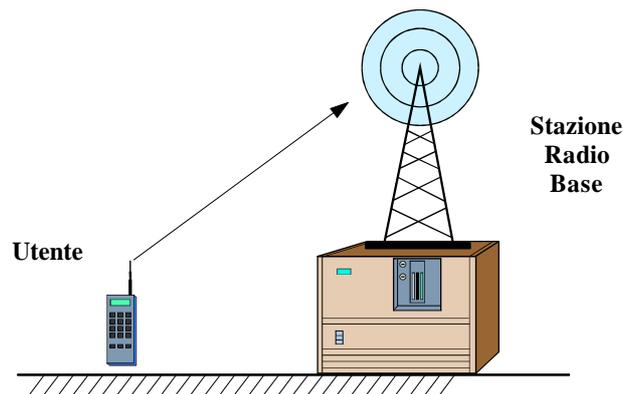
Come si evince da questi prospetti, i gestori WIND e BLUTEL non hanno avuto alcun canale all'interno delle grandi città. Questo, ovviamente, non preclude la copertura su tali città, in quanto viene utilizzato il già citato **roaming**: un utente WIND o BLUTEL che si trovi in un'area non coperta dal proprio gestore, può comunque effettuare le proprie comunicazioni appoggiandosi ai ripetitori degli altri operatori (OMNITEL e TIM) presenti in quella stessa area. Laddove ci fosse una zona non coperta da alcun operatore, l'utente non potrebbe effettuare alcuna comunicazione.

CENNI AL "FUNZIONAMENTO" DEL SISTEMA

Abbiamo detto che l'area di copertura della rete GSM è divisa in un numero elevato di **celle**, ciascuna servita da una **stazione radio base (BTS, Base Transceiver Station)**:



Quando un utente vuole effettuare una conversazione, il suo "telefonino" (a rigore si parla di **terminale mobile**) si mette in comunicazione con la BTS che *serve* la cella in cui l'utente stesso si trova:



La comunicazione avviene via radio⁹ ed è importante sottolineare che si tratta dell'unico caso di collegamento via radio. In altre parole, *nella rete GSM l'unico collegamento radio è quello che avviene tra i terminali mobili e le stazioni radio base, mentre ogni altro collegamento avviene via cavo*.

Il motivo di questo fatto è duplice:

- in primo luogo, tranne la comunicazione terminale-BTS tutte le altre comunicazioni avvengono tra unità funzionali della rete che non devono quindi avere il requisito della mobilità, il che permette di effettuare il collegamento tra queste unità in modo cablato (tipicamente tramite rete in fibra ottica);
- in secondo luogo, la banda trasmissiva offerta dai collegamenti via cavo può essere scelta a proprio piacimento (basta scegliere il tipo di cavo) e quindi risulterà senz'altro maggiore della banda radio che viene messa a disposizione per il sistema GSM.

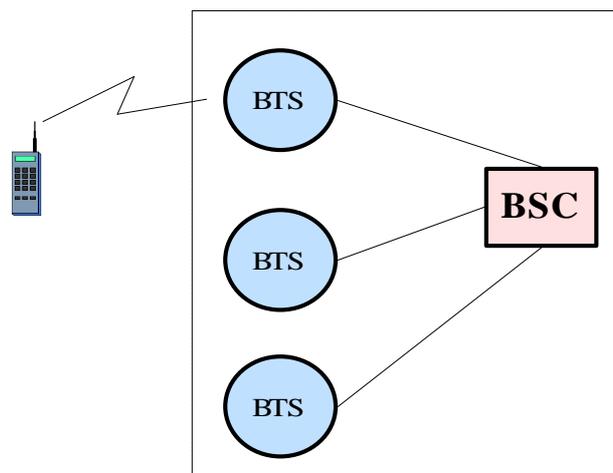
In aggiunta a queste osservazioni, si deve considerare che la maggior parte delle reti di telecomunicazioni, inclusa la rete GSM, hanno bisogno di scambiare, tra le proprie unità funzionali, non solo i dati veri e propri

⁹ tramite una interfaccia denominata **UM**

(nel caso del GSM, le conversazioni telefoniche), ma anche le cosiddette **informazioni di segnalazione**, necessarie per la cooperazione tra le varie unità. Per lo scambio di queste informazioni, la soluzione più efficiente è quella di usare dei canali appositi (**canali di segnalazione**): ad esempio, se un dato canale fisico di comunicazione (via radio o cablata) è gestito con la tecnica FDM (multiplicazione a divisione di frequenza), uno o più canali logici saranno destinati alla segnalazione e gli altri canali logici ai dati veri e propri. In particolare, la rete GSM (insieme ad altre reti) usa una rete dedicata per la segnalazione, che cioè trasmetta solo le informazioni di segnalazione. Tale rete è nota con la sigla **SS7**.

Ogni BTS comunica con la propria *Base Station Controller* (**BSC**), secondo lo schema della prossima figura.

Il sistema è composto da un certo numero di BSC, ciascuna delle quali controlla a sua volta un certo numero di BTS:

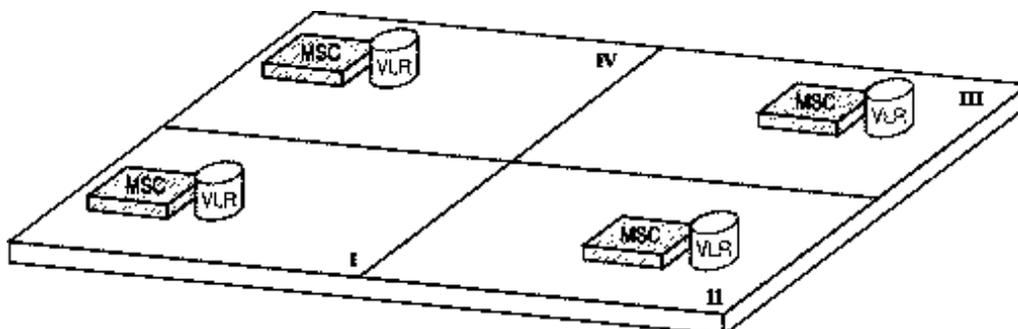


L'insieme di una BTS e della BSC da cui è controllata prende il nome di **stazione base** (BS, *Base Station*).

Ogni BSC è a sua volta collegata ad una delle unità principali della rete, il cosiddetto **Mobile Services Switching Center** (MSC). Ogni operatore mobile (Tim, Omnitel,..) dispone di un certo numero di MSC sparsi sul territorio.

L'MSC ha diverse funzioni. Prime tra tutte, quella di individuare la posizione di un utente che sia destinatario di una chiamata e quella di instradare le chiamate provenienti dagli utenti¹⁰.

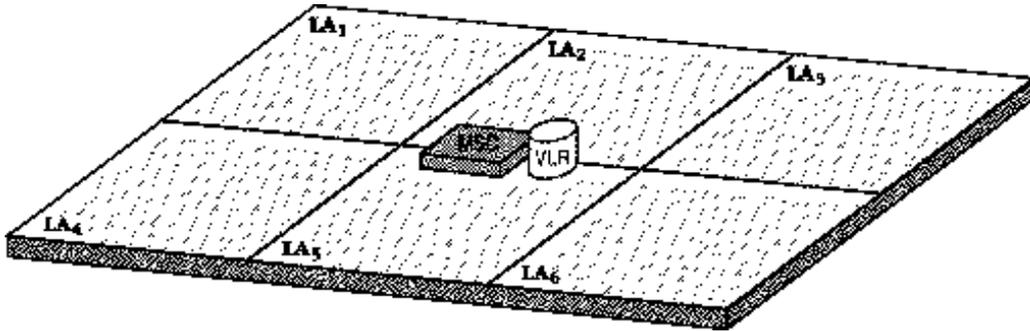
Come detto poco fa, un MSC ha in carico una certa area del territorio, detta **MSC/VLR service area**:



Suddivisione del territorio in **MSC/VLR service area**

¹⁰ In generale, essendo il sistema radiomobile GSM una rete pubblica di telecomunicazioni, che quindi deve comprendere delle centrali di commutazione che si occupino dell'*instradamento* delle chiamate, è proprio l'MSC a comportarsi da centro di commutazione.

Ogni *MSC/VLR service area* è a sua volta suddivisa in un certo numero di **location area**:



Suddivisione di una *MSC/VLR service area* in diverse **location area**

A sua volta, ogni location area è divisa in un certo numero di celle.

Il compito dell'MSC è quello di sovrintendere al funzionamento di tutte le BSC della sua *MSC/VLR service area*, ossia quindi di servire tutte le MS che transitano in quell'area.

Immaginiamo allora che un utente voglia effettuare una comunicazione. La sua richiesta arriva (via radio) alla BTS della cella in cui l'utente stesso si trova; la BTS trasmette la richiesta alla propria BSC e questa, a sua volta, la trasmette al proprio MSC. L'MSC ha adesso il compito di individuare la posizione dell'*utente chiamato*.

Per fare questo, cioè in generale per gestire la **mobilità** degli utenti, l'MSC deve scambiare delle informazioni con dei **database** che gli consentano di individuare la posizione dell'utente chiamato.

La prima comunicazione avviene tra l'MSC e uno dei database centrali posseduti da ciascun operatore e denominati **Home Location Register (HLR)**. Ognuno di questi database ha in carico un certo numero (abbastanza elevato) di utenti e per ciascuno di questi utenti memorizza, in modo permanente, le seguenti informazioni:

- i dati di abbonamento (noti come *statici*);
- i dati (detti *dinamici*) che possono variare a seguito di azioni degli utenti stessi (attivazione servizi supplementari, ecc.);
- l'identità del **VLR (Visitor Location Register)** presso cui la MS dell'utente è registrata come "visitor".

Andiamo con ordine.

In primo luogo, l'MSC è in grado di individuare l'HLR di appartenenza dell'utente che chiede di effettuare la chiamata: l'associazione tra l'utente ed il corrispondente HLR avviene semplicemente in base alle prime cifre del numero telefonico dell'utente stesso (per prime cifre intendiamo quelle successive alla combinazione iniziale **03** che è comune a tutti gli utenti: **0338-...**, **0347-....**, **0329-...**).

Una volta individuato l'HLR dell'utente che vuol chiamare, l'MSC verifica che l'utente stesso sia autorizzato a richiedere il servizio¹¹. In caso affermativo, l'MSC passa alla fase di individuazione dell'utente che si vuol chiamare.

¹¹ L'HLR è semplicemente un database e quindi memorizza i parametri di sicurezza, ma non provvede alla loro generazione. Il compito di calcolare, tramite degli appositi algoritmi, questi parametri è demandato ad una unità funzionale denominata **Authentication Center (AuC)**.

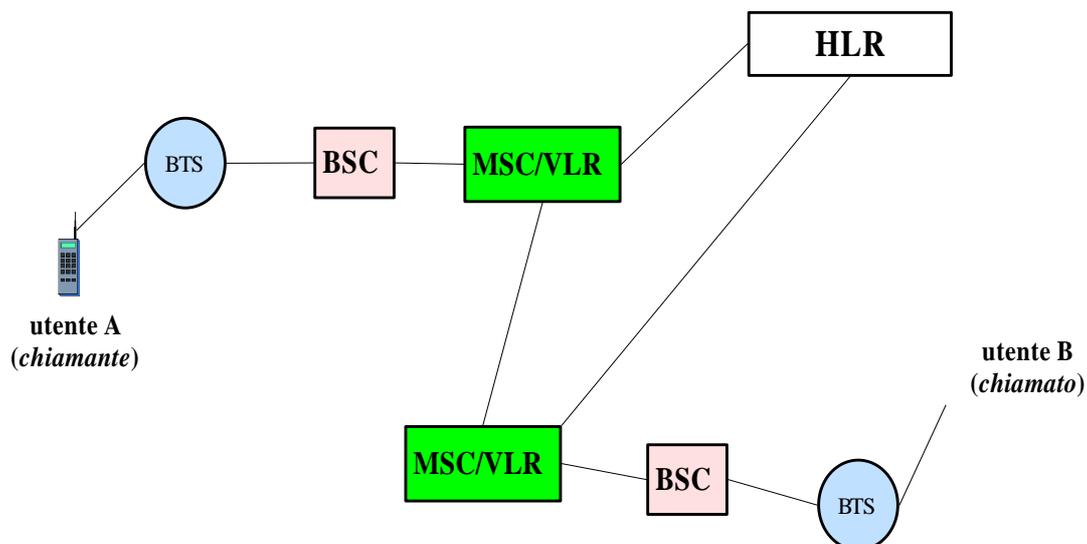
Anche in questo caso, in base al numero telefonico di tale utente, l'MSC risale all'HLR di appartenenza dell'utente chiamato ed entra in comunicazione con esso. Tra le varie informazioni che l'MSC chiede all'HLR c'è l'identità del **VLR** in cui l'utente risulta temporaneamente registrato.

Il problema da considerare è il seguente: quando un utente acquista una SIM card, esso viene registrato come appartenente ad una data regione geografica, servita da un preciso HLR; l'utente, però, può spostarsi in qualunque regione, che può non essere quella coperta dal suo HLR. Di conseguenza, è necessario predisporre un certo numero di *database secondari* (rispetto agli HLR), ciascuno dei quali controlla una determinata area e conserva tutte le informazioni degli utenti che, in ogni istante, si trovano in tale area. La suddivisione che si considera è quella rispetto alle già citate **MSC/VLR service area**: in pratica, ognuna di queste aree è servita da un MSC e da un VLR.

In generale, è possibile che un VLR controlli più *MSC/VLR service area*, ma una serie di motivi tecnologici spingono ad integrare fisicamente, nello stesso sito, l'MSC ed il corrispondente VLR, il che significa che c'è un VLR per ciascuna *MSC/VLR service area*, da cui appunto questa denominazione.

Quando un utente entra in una *MSC/VLR service area*, il VLR di quell'area individua l'HLR di appartenenza dell'utente e preleva da esso le informazioni dell'utente stesso, registrando quest'ultimo come **visitor** (*visitatore*). Contemporaneamente, l'HLR di appartenenza dell'utente registra su quale VLR sono state inviate le informazioni, il che evidentemente consente l'individuazione dell'utente stesso.

Possiamo quindi tornare al problema di partenza: avevamo un utente A che aveva chiesto di comunicare con un altro utente B ed avevamo un MSC (quello cui fa riferimento A) che aveva interpellato l'HLR di B per conoscere la posizione di B:



L'MSC legge, nell'HLR di B, su quale VLR l'utente B risulta attualmente registrato. Entra quindi in comunicazione con tale VLR e con il corrispondente MSC. Quest'ultimo ha adesso il compito di individuare l'utente B all'interno della propria *MSC/VLR service area*. Ci sono allora due possibilità:

- la prima è quella in cui l'utente B sta "parlando" in quel momento: in questo caso, l'MSC sta inevitabilmente già comunicando con esso, per cui ne conosce la posizione esatta, ossia sostanzialmente la BTS che lo sta servendo;
- la seconda è quella invece in cui l'utente B non è in comunicazione: in questo caso, l'MSC trasmette, in **broadcast**, le informazioni a tutte le BTS da esso controllate, fin quando non riceve risposta da parte della BTS che individua l'utente B all'interno della propria cella. Quando questa individuazione avviene, la comunicazione può partire.

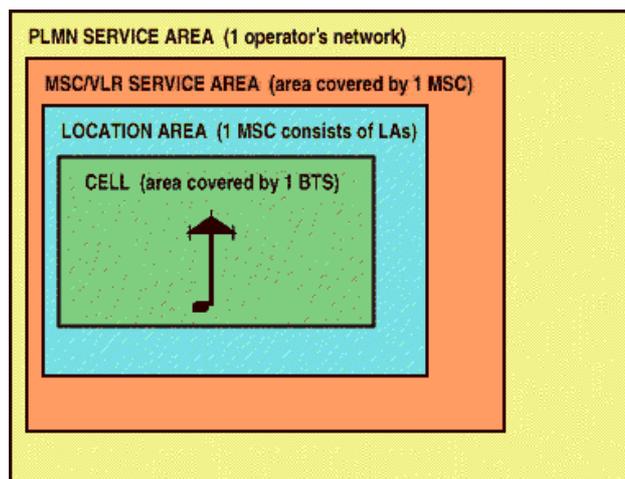
MOBILE SERVICES SWITCHING CENTER (MSC)

Abbiamo dunque capito che il componente centrale del sottosistema di rete é il centro di commutazione **MSC** (*Mobile services Switching Center*). Esso svolge le funzionalità di un normale *nodo di commutazione* di una rete, vale a dire essenzialmente instaurare, instradare, controllare e tassare le chiamate da/verso le MS presenti nell'area geografica da esso servita. In più, esegue tutti quei compiti essenziali per gestire la mobilità degli utenti. Come si è visto, queste funzioni sono eseguite in collaborazione con le altre entità del network subsystem.

L'MSC fornisce anche la connessione con le reti fisse, che possono essere così classificate:

- *Public State Telephone Network (PSTN)*: rete pubblica (generalmente analogica) per la telefonia fissa;
- *Integrated Services Digital Network (ISDN)*: rete digitale di servizi vari (inclusa la telefonia);
- rete dati a commutazione di pacchetto (**PSPDN**, *Packet Switched Public Data Network*) o di circuito (**CSPDN**, *Circuit Switched Public Data Network*).

L'insieme degli MSC costituisce essenzialmente la **rete pubblica mobile terrestre (PLMN, Public Land Mobile Network)**:



HOME LOCATION REGISTER (HLR)

Come già detto in precedenza, l'**HLR** costituisce il database su cui un gestore di rete GSM memorizza, in modo permanente, i dati relativi agli utenti che hanno sottoscritto un abbonamento presso di lui. Ogni azione di tipo amministrativo che il gestore di rete effettua sui dati di utente viene svolta attraverso l'HLR.

Ad ogni HLR viene associato un identificativo (**HLR number**): questo serve affinché tutti i VLR, ricevendo in carico una nuova MS (cioè una MS che sia entrata nella MSC/VLR Service Area di competenza), possano sempre sapere quale sia l'HLR di appartenenza di tale utente. A sua volta, ogni VLR è identificato da un **VLR number**, in modo tale che l'HLR sappia presso quale VLR è registrata correntemente ogni sua MS.

Poiché una rete GSM è interconnessa con altre reti (PSTN, ISDN, altri PLMN), essa deve prevedere un piano di numerazione con esse compatibile. Ad ogni MS è assegnato un **numero di telefono (MSISDN)**, che identifica univocamente un abbonato nel piano di numerazione della rete

telefonica commutata pubblica internazionale, in conformità con le **specifiche E.164** sulla numerazione per reti **ISDN** (naturali sostituite delle tradizionali PSTN).

L'**MSISDN** ha una lunghezza massima di 15 cifre con la seguente struttura:

$$\text{MSISDN} = \text{CC} / \text{NDC} / \text{SN}$$

dove

- **CC** (*Country Code*) è il prefisso internazionale secondo le specifiche E.163 (per Italia: 39);
- **NDC** (*Nation Destination Code*) è l'identificativo di una PLMN GSM in ambito nazionale; in Italia, abbiamo ad esempio TIM (alla quale sono attribuiti gli NDC 335, 338, 399) oppure OMNITEL (347,348,349) e così via per gli altri operatori (cioè attualmente Wind e Blutel);
- **SN** (*Subscriber Number*) è il numero che identifica l'abbonato nella PLMN del proprio operatore.

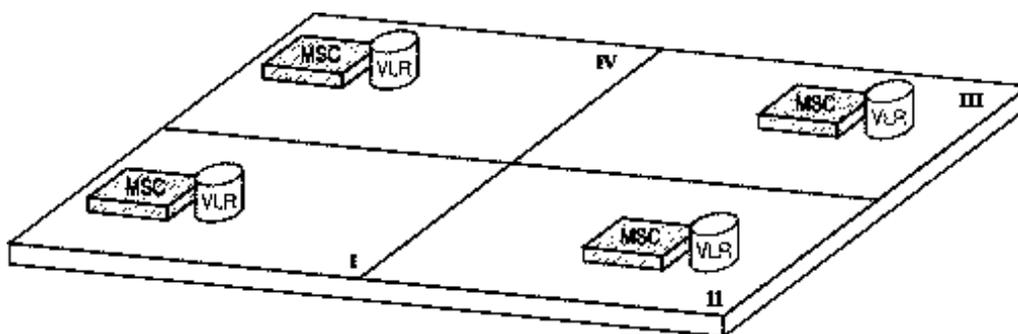
I codici CC e NDC permettono di identificare l'operatore GSM cui appartiene l'utente, mentre le prime cifre di SN permettono di risalire all'HLR presso cui è registrata la MS.

I principali dati d'utente memorizzati nell'HLR sono i seguenti:

- *International Mobile Subscriber Identity* (IMSI), contenuto anche all'interno della SIM card, identifica univocamente l'abbonato all'interno di una qualunque rete GSM;
- *Mobile Station ISDN Number* (MSISDN), identifica univocamente un abbonato nel piano di numerazione della rete telefonica commutata pubblica internazionale. Possono essere più d'uno in funzione dei servizi sottoscritti (ad esempio si possono avere numeri distinti per voce, dati e fax);
- tipo e stato dei servizi supplementari e dei servizi sottoscritti dall'abbonato a cui gli è consentito accedere (voce, servizio dati, SMS);
- VLR number, per conoscere il VLR in cui è correntemente registrata la MS.

VISITOR LOCATION REGISTER (VLR)

Il registro VLR contiene e mantiene aggiornate le informazioni relative alle MS che sono presenti, temporaneamente, nell'area da esso servita, secondo uno schema già considerato in precedenza e riproposto nella figura seguente



Suddivisione del territorio in **MSC/VLR service area**

Si tratta di informazioni selezionate dal registro HLR e necessarie per il controllo delle chiamate e la gestione dei servizi supplementari.

MASSIMA DISTANZA TRA BTS E MS

Affinché ci possa essere una comunicazione, la distanza tra stazione trasmittente (BTS) e terminale mobile (MS) non può superare i **35 km** anche quando le condizioni morfologiche del terreno lo permetterebbero (ad esempio in una vasta zona pianeggiante). Vediamo di capire perché.

Quando la stazione base invia un messaggio ad un terminale, può aspettare da questo una risposta solo per un breve periodo di tempo, dopo il quale dovrà passare ad analizzare le altre MS sullo stesso canale, in base alla tecnica TDMA. Se il terminale si trova a più di 35 Km dalla stazione base, la sua risposta arriva troppo tardi e l'utente risulta quindi non raggiungibile.

Per ottenere questo valore di 35 km, basta ragionare nel modo seguente: il sistema GSM riesce a compensare fino ad un ritardo massimo di **233 microsecondi** tra l'invio di un messaggio e la ricezione della risposta; questi 233 μsec corrispondono ad un viaggio BTS \rightarrow MS \rightarrow BTS di circa 70 km, in quanto, considerando che la velocità della luce è di 300000 km/sec, si ha

$$233(\mu\text{sec}) \cdot 300000 \left(\frac{\text{km}}{\text{sec}} \right) = 233 \cdot 10^{-6} (\text{sec}) \cdot 300000 \left(\frac{\text{km}}{\text{sec}} \right) \cong 70(\text{km})$$

Quindi, la distanza massima tra BTS e MS dovrà essere la metà di 70 km, ossia appunto 35 km.

HANDOVER

Una delle caratteristiche peculiari dei sistemi cellulari è la possibilità di mantenere attiva una comunicazione nonostante l'utente continui a spostarsi liberamente nel territorio. Questa **mobilità** degli utenti può causare la necessità di cambiare frequentemente cella di servizio oppure canale di trasmissione, per continuare a garantire una buona qualità del segnale. Questa commutazione automatica, che avviene senza interruzione nel collegamento, è chiamata **handover**.

Esistono quattro tipi differenti di handover nel sistema GSM, che coinvolgono il trasferimento di una comunicazione tra:

- canali (detti anche *TDMA time-slot*) diversi di una stessa cella, cioè di una stessa BTS;
- celle diverse ma controllate da una stessa BSC;
- celle di diverse BSC, ma controllate da uno stesso MSC;
- celle controllate da diversi MSC.

I primi due tipi, chiamati **handover interni**, coinvolgono solo una stazione BSC. Sono quindi gestiti direttamente dalla BSC, senza coinvolgere l'MSC, eccetto che per notificargli il completamento dell' handover.

Gli ultimi due tipi, chiamati **handover esterni**, sono invece trattati dagli MSC direttamente coinvolti (uno o due). Nel primo caso, c'è un solo MSC coinvolto; nel secondo caso, invece, gli MSC coinvolti sono due: l'MSC originale, detto **anchor MSC**, continua a rimanere responsabile della maggior parte delle funzioni relative alla chiamata in corso; contemporaneamente, gli handover interni (inter-BSC) che dovessero eventualmente verificarsi saranno gestiti dal nuovo MSC, detto **relay MSC**.

Gli handover possono venire richiesti sia da un MSC (per bilanciare il carico del traffico) sia direttamente dal terminale. Concentriamoci su questo secondo caso: nei periodi di tempo di inattività (impercettibili da parte dell'utente ma comunque presenti), la stazione mobile *sonda* i cosiddetti **canali di broadcast** delle celle geograficamente adiacenti che riesce a ricevere e compie delle misure sulla potenza che da essi riceve; queste informazioni sono passate, almeno una volta al secondo, alla BSC, la quale prepara una lista delle 6 migliori candidate per un eventuale handover, in base appunto alla potenza del segnale ricevuto. Può capitare, ad esempio, che la MS misuri, dalla BTS che in quel momento la sta servendo, una potenza ricevuta inferiore a quella ricevuta da una o più altre BTS vicine. Questa è una tipica situazione in cui la MS invia una segnalazione alla BSC, richiedendo l'handover.

Si tratta poi di decidere se effettuare l'handover oppure no, usando appositi algoritmi, strettamente vincolati al **controllo della potenza**. I problemi fondamentali vengono dal fatto che, spesso, la BSC non sa quando una bassa qualità del segnale sia imputabile alle eccessive riflessioni raccolte lungo il percorso oppure al terminale mobile che si è avvicinato ai confini di copertura della cella (questo è tanto più vero quando le celle sono molte e geograficamente vicine, ad esempio nelle zone urbane).

Esistono due algoritmi di base utilizzati per decidere quando effettuare un handover:

- l'algoritmo cosiddetto **Minimum Acceptable Performance** dà la precedenza al controllo della potenza sugli handover: quando la qualità del segnale degrada oltre un certo valore, il livello di potenza del terminale viene aumentato; se questo aumento non produce nessun beneficio, allora si prende in considerazione la possibilità di effettuare un handover. Questo metodo è il più semplice e il più comunemente adottato. Il problema è, però, che continuare ad incrementare la potenza può portare ad avere un terminale che trasmette con elevata potenza, producendo una elevata interferenza di co-canale, fuori dai naturali confini della cella a cui è agganciato (e quindi dentro ad una cella adiacente);
- un'altra possibilità è quella dell'algoritmo **Power Budget**: esso usa gli handover per mantenere o migliorare la qualità del segnale senza aumentare, o addirittura cercando di diminuire, il livello di potenza. Così facendo, non si hanno problemi di "sconfinamenti" e viene anche ridotta l'interferenza tra canali. Lo svantaggio è che si tratta di un metodo molto più complicato da implementare.

Facciamo infine osservare che, *quando c'è da effettuare un handover, le informazioni di segnalazione che la MS scambia con la BTS sono in quantità maggiore o minore a seconda di quante unità funzionali sono coinvolte nell'handover stesso*: in altre parole, le informazioni di segnalazione sono poche se bisogna semplicemente passare da una BTS ad un'altra, ma diventano di più quando il passaggio tra due BTS corrisponde anche a cambiare BSC o addirittura MSC; in quest'ultimo caso, le informazioni da scambiare diventano molte, ma il tempo a disposizione è sempre lo stesso (quello massimo affinché l'utente non si accorga del cambio): è necessario perciò usare un canale di segnalazione particolarmente veloce e vedremo che esso corrisponde al cosiddetto **canale FACCH** (*Fast Association Control Channel*).

Autore: **SANDRO PETRIZZELLI**

e-mail: sandry@iol.it

sito personale: <http://users.iol.it/sandry>

succursale: <http://digilander.iol.it/sandry1>