

2008

Paoloni A. Pelleri B.

TRIBUNALE DI PERUGIA ALLEGATO 1

Il presente allegato contiene alcune semplici nozioni sulla telefonia mobile, anche detta cellulare, per fornire le conoscenze necessarie a meglio comprendere quanto contenuto nella relazione di cui il presente documento costituisce allegato.

Allegato 1

LA RETE TELEFONICA ED IL SISTEMA RADIOTELEFONICO CELLULARE

1. LA TELEFONIA MOBILE

Il collegamento tra due telefoni posti in una qualsiasi città del mondo o in due diverse città, avviene attraverso una "rete telefonica" basata su centrali di commutazione di varia tipologia tra loro connesse con modalità diverse. Schematizzando il collegamento tra due postazioni telefoniche, si può dire che il terminale d'utente (ossia di norma il telefono) viene connesso via filo (doppino) alla sua centrale di zona, la quale è a sua volta collegata ad altre centrali fino a raggiungere la centrale alla quale è collegato il telefono chiamato.

Opportuni cavi o ponti radio, utilizzando in alcuni casi anche tratte satellitari, consentono di collegare tra loro le centrali, anche se collocate su isole o su continenti diversi. Si veda la figura 1 che riguarda la rete TLC italiana; un sistema analogo è adottato dagli altri paesi del mondo.

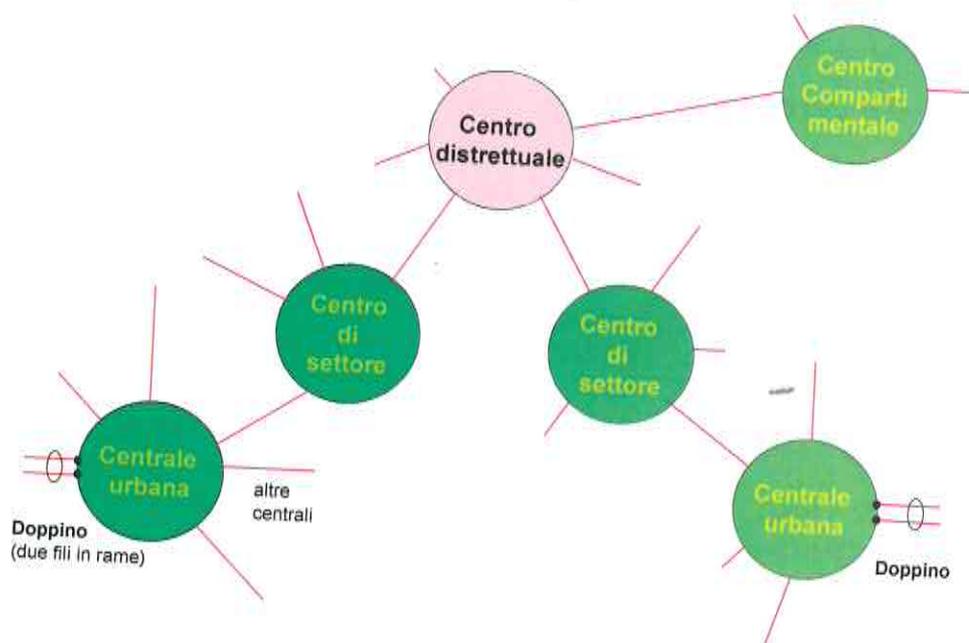


Fig. 1 – Rete TLC

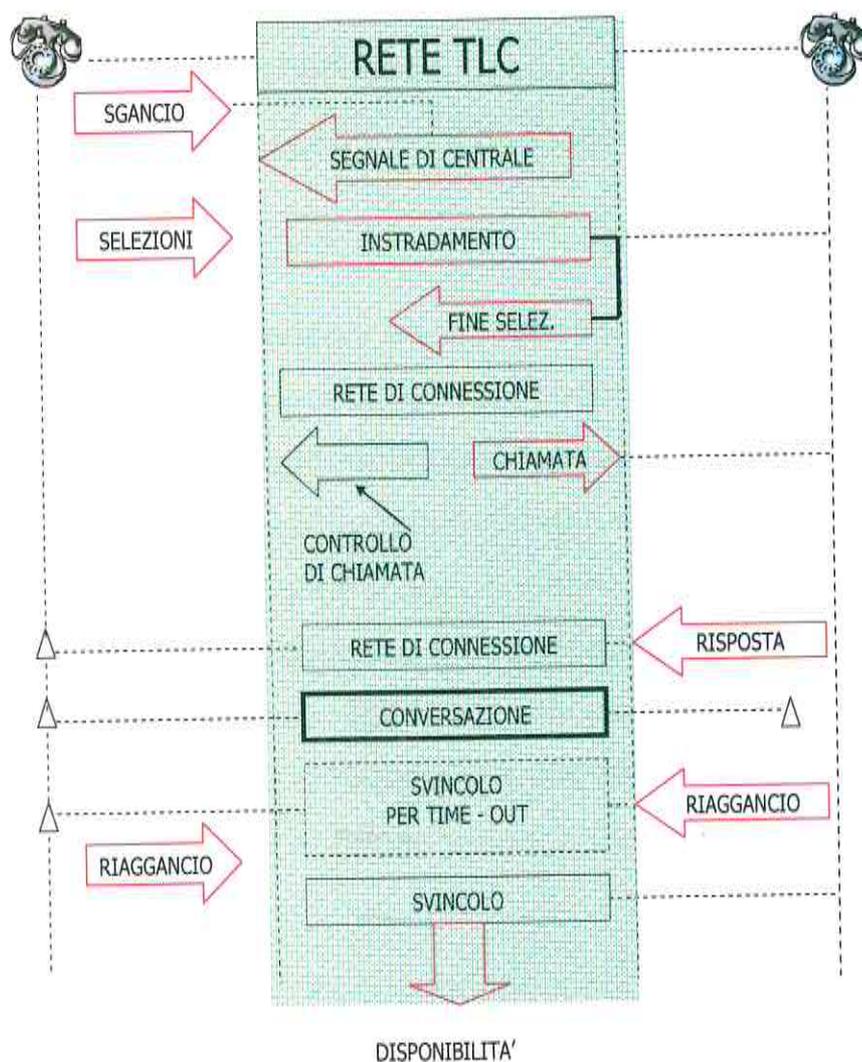


Fig. 2 – Instradamento di una comunicazione

1.1 Instradamento di una comunicazione

Passiamo ad illustrare come avviene l'instradamento di una telefonata, ovvero la selezione del telefono chiamato a partire dal numero telefonico. Facciamo riferimento allo schema a blocchi della fig. 2. Allo sgancio del microtelefono, si ha l'impegno della linea e si sente il segnale di centrale; a questo punto si compone il numero, il che consente l'instradamento della chiamata attraverso le altre centrali fino ad ottenere la comunicazione con l'utente (terminale chiamato) desiderato. Naturalmente, a secondo che la chiamata sia urbana, distrettuale, interdistrettuale o internazionale si raggiungeranno centrali di livello gerarchico via via più alto, in grado di connettersi

tra loro e di trasferire, ripercorrendo in senso inverso la scala gerarchica, la chiamata all'utente lontano. Al termine della conversazione, con l'aggancio del microtelefono si rendono libere le linee (o canali) impegnate per permetterne l'uso ad altri utenti.

Naturalmente, poiché per la comunicazione tra due centrali, quale che sia il livello che si prende in considerazione, è disponibile un numero limitato di linee, è possibile che al momento della chiamata nessuna linea sia disponibile; in tal caso, il collegamento non sarà possibile e all'utente chiamante verrà inviato il segnale di occupato.

1.2. La rete cellulare

Facendo riferimento alla rete descritta nel precedente paragrafo soffermiamoci sul collegamento tra telefono (terminale d'utente) e la centrale d'utente; tale collegamento avviene tramite il cosiddetto doppino, ossia una coppia di fili elettrici isolati tra loro, sui quali passano sia l'alimentazione del telefono (60V) sia la comunicazione bidirezionale.

Sostituendo il collegamento con la centrale con un "ponte radio", si può sostituire il telefono fisso con un apparato mobile: il telefono "portatile" o "cellulare".

Il cellulare è in pratica un ricetrasmittitore operante, nel nostro paese, sulle bande dei 900 MHz - 1800 MHz (ed altre per l'UMTS) che si connette, tramite opportune stazioni di terra denominate BSS ("stazione di base") alle centrali fisse d'utente.

Una volta impegnata la centrale, tramite la rete telefonica tradizionale si raggiunge il numero desiderato (anche al di fuori del territorio nazionale), stabilendo così il collegamento. Se il numero chiamato corrisponde a un altro cellulare, anche il tratto terminale d'utente della ricezione avverrà con il sistema di ricetrasmmissione.

Per permettere ad un dispositivo ricetrasmittitore di piccola potenza (dell'ordine del Watt) di collegarsi alla frequenza di 900 MHz con la stazione di terra, è necessario che detta stazione sia relativamente vicina. La distanza utile varia a seconda delle condizioni locali, minore in città o comunque in luoghi in cui sono presenti ostacoli, maggiore in campagna o comunque in luoghi aperti (es. mare); in ogni caso, si tratta di distanze che vanno da un chilometro fino a 10÷20 Km. Conseguentemente, per coprire convenientemente il territorio è necessario

suddividerlo in zone (celle, fig. 3) ciascuna delle quali contenga una stazione di terra (BSS). Nella telefonia cellulare a 900 MHz, vengono messe a disposizione del servizio bande di frequenza di dimensioni limitate. Poichè la banda base del segnale non può essere inferiore alla banda del segnale telefonico (poco meno di 4000 Hz) e poichè il servizio deve essere duplex, occorre cioè dividere la disponibilità di frequenza tra le due funzioni, ricezione e trasmissione, il numero delle conversazioni simultaneamente allocabili nella banda non può superare le poche migliaia. Occorre poi considerare che l'intero territorio coperto dal servizio deve essere diviso in zone (celle) in modo che segnali della stessa frequenza vengano emessi soltanto da celle lontane abbastanza da non disturbarsi tra loro. Tutto ciò implica un sistema molto complesso di selezioni dei canali e di accredito dei terminali gestito per mezzo di grandi sistemi automatici computerizzati. Si è detto che, per problemi di interferenza, le celle contigue non possono utilizzare la stessa frequenza di trasmissione (canale), inoltre due apparecchi non possono usare gli stessi canali quando operano nella stessa cella.

2. ARCHITETTURA DELLE RETE CELLULARE

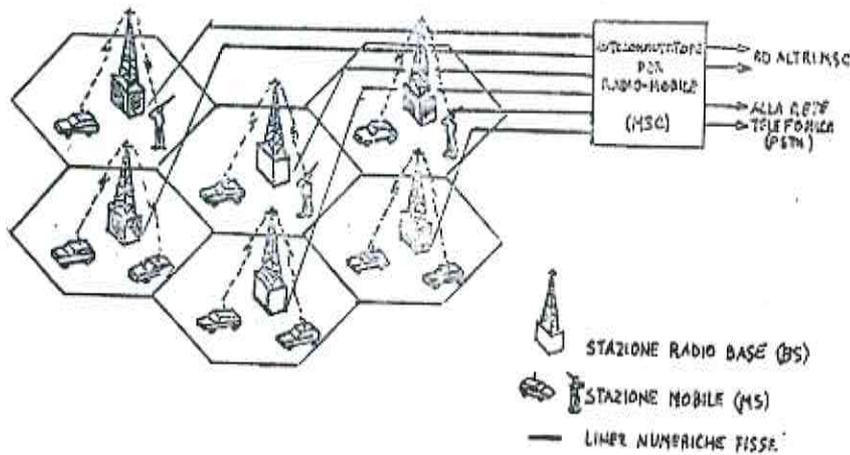


Fig. 3 – copertura "cellulare" del territorio

Quando un cellulare effettua una chiamata, deve dapprima trovare una frequenza libera (canale) che gli consenta di connettersi alla BSS della cella in cui opera; effettuato questo collegamento, può operare come un normale utente telefonico connesso "via filo"; durante la comunicazione, tuttavia, può accadere che, per ragioni di opportunità (segnale migliore), il sistema commuti la conversazione su un altro canale (altra frequenza), operazione automatica di cui peraltro gli utenti non si accorgono. Questa commutazione è d'obbligo quando il cellulare transita da una cella ad un'altra contigua.

L'utente mobile deve selezionare il numero telefonico dell'utente fisso facendolo sempre precedere dal relativo prefisso teleselettivo. La procedura di chiamata internazionale ed intercontinentale è identica a quella da utilizzare con un apparecchio telefonico fisso.

Per chiamare l'utente radiomobile si deve selezionare prefisso teleselettivo assegnato alla Rete Radiomobile valido per tutto il territorio nazionale (328; 329; 339;340;348), facendolo seguire dal numero di radiomobile assegnato.

La comunicazione può avvenire purchè il cellulare chiamato sia acceso e si trovi nell'ambito dell'area coperta dal servizio.

2.1 la stazione mobile (MS)

La MS è il terminale che connette l'utente con la rete, cioè il telefono cellulare. Nel sistema GSM è stato introdotto un nuovo concetto, viene fatta una distinzione tra il cliente e il terminale in uso. Per consentire questa distinzione la stazione mobile è composta da due componenti: il telefono cellulare e la SIM Card. Sulla SIM vengono memorizzati tutti i dati relativi al cliente e al suo abbonamento, senza la SIM il terminale non può essere usato. Grazie a questo nuovo concetto l'utente può usare la sua SIM Card in tutti i telefoni GSM.

2.1.1 Il terminale, Mobile Equipment

Ogni telefono cellulare GSM contiene nel suo hardware un codice indelebile che serve a identificarlo, cioè l'International Mobile Equipment Identity, **IMEI**. L'IMEI viene memorizzato nel telefono direttamente dal costruttore. Durante la procedura di autenticazione il cellulare trasmette alla rete anche l'IMEI. L'IMEI ha una lunghezza di 15 cifre ed è composto da:

IMEI = TAC / FAC / SNR / sp

TAC = Type Approval Code, codice che identifica il modello (6 cifre);

FAC = Final assembly Code, che identifica il paese di costruzione (2 cifre);

SNR = Serial number (6 cifre);

sp = è una cifra di riserva.

2.1.2 La SIM (Subscriber Identity Module)

Come già detto un telefono cellulare non può essere usato senza una SIM Card. Sulla SIM Card sono memorizzati tutti i dati relativi al cliente. La SIM Card dispone di una memoria seriale e di un microprocessore in grado di eseguire alcuni algoritmi (Encryption algorithms). I dati tecnici della SIM dipendono dalla data di produzione, esistono le SIM di Phase1, di Phase2 e le nuovissime SIM Card con 16Kb di memoria.

La SIM contiene le seguenti informazioni:

- **IMSI**, International Mobile Subscriber Identity
- **TMSI**, Temporary Mobile Subscriber Identity
- **Ki**, Individual Subscriber Authentication Key
- **A8**, Ciphering Key Generation Algorithm
- **A3**, Authentication Algorithm
- **PIN und PIN2**, Personal Identity Number
- **PUK und PUK2**, PIN Unblocking Key
- **Rubrica telefonica** dell' utente (la memoria dipende dal tipo di SIM Card)
- **SMS** Messaggi del utente (la memoria dipende dal tipo di SIM Card)

- **Lista** delle reti preferenziali
- **Spazio** per memorizzare informazioni previste dalla specificazione della GSM Phase2

Dopo aver inserito la SIM nel apposito alloggiamento l'utente deve digitare il suo codice identificativo per poter accedere alle funzioni del telefono. Questo codice viene chiamato PIN, Personal Identification Number. Se questo codice viene digitato erroneamente per tre volte la SIM si blocca e per ripristinare le funzioni del telefono è necessario digitare il codice di sblocco, cioè il PUK, PIN Unblocking Key. Se anche questo codice di sicurezza viene digitato erroneamente per dieci volte la SIM non può più essere sbloccata ed è quindi necessario sostituire la SIM.

L'IMSI contiene dati molto importanti che riguardano la stazione mobile ed è memorizzata sulla SIM. L'IMSI è composta dal codice identificativo del paese (Mobile Country Code, **MCC**), della rete (Mobile Network Code, **MNC**) e dal numero identificativo che è stato assegnato al cliente all'interno della propria rete (Mobile Subscriber Identification number, **MSIN**). Così ad esempio l'IMSI 222 01 4728563085 (*) contiene le seguenti informazioni:

- l'abbonato è italiano (MCC=222)
- è abbonato alla rete TIM (MNC= 01 = TIM)
- all'interno della rete TIM l'abbonato è identificato dal numero 4728563085

Inoltre la SIM contiene anche una chiave di autenticazione (Individual Subscribers Authentication Key, **Ki**) e gli algoritmi **A3** (Authentication Algorithm) e **A8** (Encryption Algorithm). Gli ultimi due algoritmi possono essere raggruppati nell'algoritmo **a38**.

Strutturalmente la SIM Card può assumere due diversi formati:

- Tipo carta di credito, detto anche formato ISO (ISO o ID-1). Questo tipo di formato oggi non viene più utilizzato, salvo nei telefoni veicolari, perchè non permette la realizzazione di telefoni di dimensioni ridotte.
- Formato Plug-in (25*15mm). Questo formato è stato introdotto da Ericsson e Nokia e permette la realizzazione di telefoni cellulari di dimensioni ridotte. Oggi viene praticamente usato in tutti i modelli di telefoni cellulari GSM

È da notare che tuttavia esistono degli adattori che permettono di usare SIM Card di formato Plug-in in telefoni che hanno un alloggiamento per SIM Card di formato ISO.



Fig. 4 - Esempio di una SIM Card di formato ISO (carta di credito)

Le SIM Card di fase1 dispongono di una memoria di 3Kb EEPROM, le SIM di fase2 invece di 8Kb. 6Kb sono perfettamente sufficienti per memorizzare tutte le informazioni necessarie per i servizi di GSM Phase2, gli altri 2Kb possono essere utilizzati dall'utente. Le celle di memoria utilizzate nella SIM Card possono supportare al massimo 10.000 cicli di lettura/scrittura.

Un'ulteriore funzione (che però non è a vantaggio dell'utente) disponibile sulla maggior parte dei telefoni cellulari attualmente in commercio è il SIM Locking. Questa funzione viene sfruttata da alcuni gestori di rete, perché grazie al SIM Locking il telefono cellulare può funzionare solo con una SIM. Spesso operatori di rete offrono telefoni cellulari economici, però l'utente è obbligato a restare cliente di questo operatore per un certo periodo di tempo. Grazie al SIM Locking l'operatore è certo che l'utente resta un suo cliente, perché il telefono in suo possesso funziona solo con la sua SIM Card. Normalmente quando il periodo di tempo per cui l'utente del cellulare era obbligato a restare cliente dell'operatore è passato, l'operatore fornisce al cliente un codice, tramite il quale la funzione SIM Locking può essere disattivata.

2.2 la stazione di base (Base Station Subsystem - BSS)

Il sottosistema BSS è responsabile della trasmissione radio ed è composto da diverse entità. La **BTS** (Base Transceiver Station) mette a disposizione i canali radio all'interno della cella. Per consentire la realizzazione di BTS compatte, il controllo delle BTS è stato trasferito al **BSC** (Base Transceiver Station). Un BSC può controllare anche più di una BTS, alcuni modelli anche 120 o più. BTS e BSC costituiscono il Base Station Subsystem.

2.2.1 Mobile services Switching Center, MSC

Il sistema GSM costituisce una rete di comunicazione autonoma, per questo dispone anche di entità che si occupa dell'instradamento delle chiamate. L'entità più importante della rete è sicuramente il **Mobile services Switching Center, MSC**. Ogni MSC controlla una certa area geografica con tutte le BSC e BTS contenute, e deve instradare tutte le chiamate originate dalla sua area di competenza. La differenza tra un MSC e una centrale ISDN è che l'MSC deve anche tenere conto della mobilità dell'utente e delle risorse radio. L'MSC è in contatto con una banca dati, il **Visitor Location Register, VLR**.

2.2.2 Visitor Location Register, VLR

Il VLR memorizza tutti i dati relativi alle MS che momentaneamente si trovano nell'area di competenza del MSC. Un VLR può però anche essere responsabile di più MSC. Il VLR aiuta l'MSC nelle procedure di autenticazione e chiamata, perchè fornisce le informazioni memorizzate nel **HLR**.

Il VLR memorizza i seguenti dati:

- **IMSI, MSISDN, MSRN** e parametri di sicurezza
- **Temporary Mobile Subscriber Identity, TMSI** la TMSI cambia ogni volta che il cliente radiomobile cambia Location Area (LA)
- **HLR Number** per poter identificare l'HLR responsabile
- **Stato della MS** (spenta, non raggiungibile....)
- **servizi supplementari sottoscritti**
- **Location Area Identity, LAI** controllata dal MSC/VLR nella quale area di competenza la MS si trova momentaneamente

2.2.3 Home Location Register, HLR

L'HLR memorizza costantemente i dati relativi alle MS che si trovano nella rete. Principalmente l'HLR memorizza la posizione attuale di ogni MS e i servizi supplementari sottoscritti. Ogni HLR è identificato dalla **HLR Number**. La HLR Number viene inviata ai VLR interessati e permette ad ogni VLR di identificare l'HLR di ogni MS che si trova momentaneamente nella sua area. Normalmente la rete dispone di un HLR centrale e di un VLR per ogni MSC.

L'HLR memorizza i seguenti dati:

- **International Mobile Subscriber Identity, IMSI** L'IMSI è memorizzata sulla SIM e identifica un cliente radiomobile in tutte le reti
- **Mobile Station ISDN Number, MSISDN** il numero telefonico del cliente

- **Servizi supplementari sottoscritti**
- **VLR Number** per identificare il VLR responsabile

Le funzioni principali di un HLR sono:

- localizzazione della MS, per questo dialoga con il VLR responsabile
- sicurezza, dialoga con l`AuC e con il VLR
- instradamento delle chiamate, dialoga con il GMSC
- tariffazione
- gestione dei servizi supplementari

2.2.4 Gateway Mobile Switching Center, GMSC

Tutte le chiamate dirette a utenti di rete fissa oppure di rete mobile di altro operatore passano attraverso un MSC speciale, detto **Gateway Mobile Switching Center, GMSC**. Il GMSC è il punto di collegamento della rete GSM con altre reti. Quando ad esempio un cliente di rete fissa chiama un cellulare GSM, la chiamata viene subito inoltrata al GMSC. Il GMSC entra in contatto col HLR che identifica la posizione attuale della MS e quindi il MSC responsabile. La chiamata viene poi passata dal GMSC al MSC responsabile.

2.2.5 Authentication Center, AuC

L`AuC memorizza gli algoritmi di autenticazione che sono stati assegnati alle MS. L`AuC controlla anche se il servizio è stato richiesto da una MS autorizzata. L`AuC produce parametri che vengono poi inviati al HLR e VLR per l`autenticazione. Il meccanismo di autenticazione verifica la legittimità della SIM senza trasmettere i dati personali come l`IMSI sul canale radio. L`autenticazione avviene quando la MS effettua o riceve una chiamata, quando fa un Location Update o quando attiva o disattiva servizi supplementari.

L`AuC memorizza le seguenti informazioni:

- **IMSI**
- **Ki** Individual Subscriber Authentication Key
- **TMSI** Temporary Mobile Subscriber Identity
- **LAI** Location Area Identity
- **RAND generatore**
- **algoritmi A3 e A8**

2.2.6 Equipment Identity Register, EIR

Questo registro è opzionale e quindi non deve essere disponibile in tutte le reti.

Come già detto ogni telefono cellulare GSM contiene nel suo hardware un codice indelebile memorizzato direttamente dal costruttore, l' **IMEI International Mobile Equipment Identity**. Quando una MS si registra invia alla rete anche l'IMEI che viene memorizzata nel registro EIR. Il registro EIR associa ogni IMEI ad una delle seguenti tre liste:

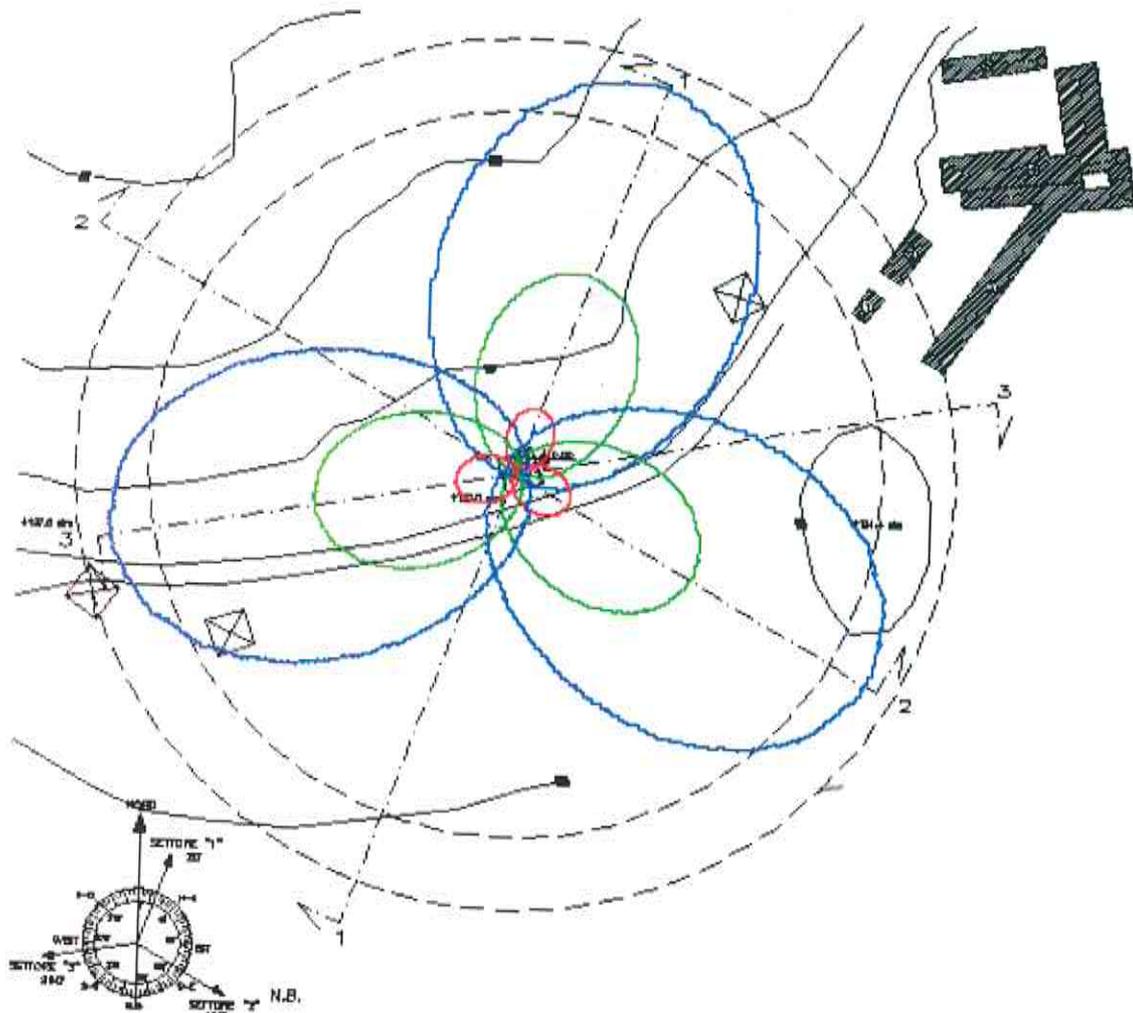
- **White List** Questa lista contiene le IMEI di tutti i terminali autorizzati
- **Black List** Questa lista contiene le IMEI di tutti i terminali non autorizzati. Questi telefoni troveranno sbarramenti in tutte le reti. In questa lista sono ad esempio contenuti i terminali rubati
- **Grey List** Questa lista contiene le IMEI di tutti i terminali momentaneamente non autorizzati perchè si trovano in fase di riparazione o perchè la versione software è troppo vecchia.

Quando una MS prova ad accedere alla rete l'MSC verifica con l'aiuto del EIR se l'IMEI della MS che richiede l'accesso è contenuta nella Black- o Grey List. Un EIR è sufficiente per controllare tutte le MS attive nella rete. In futuro è prevista l'interconnessione di tutti gli EIR per evitare l'utilizzo di terminali rubati in tutte le reti GSM. Quando un cellulare rubato prova a registrarsi in una rete GSM, l'operatore può identificare la SIM card e l'area di chiamata da dove avviene la richiesta anche senza lasciar accedere la MS nella rete.

3. LOCALIZZAZIONE STORICA DEGLI UTENTI

La documentazione del traffico mobile (cellulare) consente di conoscere quale sia la cella (appartenente ad una ben precisa stazione radio base) che per prima ha fornito un canale di traffico all'utente. Nel caso dell'operatore WIND è possibile anche conoscere quale sia la cella (appartenente ad una ben precisa stazione radio base) che per ultima ha fornito un canale di traffico all'utente.

Ciascuna stazione radio base può essere composta da una o più "celle" (tipicamente tre).



La disposizione delle "celle": ciascuna cella copre una zona geografica che è delimitata dalle caratteristiche e dalla disposizione dell'antenna, dalla capacità di ricetrasmisione, dall'orografia del territorio (es. dagli ostacoli) e dalla presenza in zona di altre "celle".

L'orientamento della direzione di massima irradiazione di ciascuna antenna è funzione dell'area che si vuole servire, scelta in base alla densità di utenti presenti. Per questo motivo l'orientamento delle antenne varia da una stazione radio base all'altra, così come varia la distribuzione degli utenti sul territorio. *(Nell'esempio qui sopra rappresentato il settore "1" è orientato a circa 20° rispetto al Nord geografico, il settore "2" è orientato a circa 120° e il settore "3" a circa 260°).*

Le celle adiacenti sono contigue e parzialmente sovrapposte: le celle adiacenti sono, salvo aree scarsamente coperte (non è questo il caso), parzialmente sovrapposte. Ciò consente di garantire il servizio anche ai confini di ciascuna cella. Ciascuna cella conosce quali sono le sue celle adiacenti e questa informazione è nota ai telefoni mobili in ascolto e/o in comunicazione e da questi mantenuta costantemente aggiornata.

Il telefono cellulare effettua misure di qualità sul segnale di ciascuna cella: A questo scopo ciascun telefono, dopo aver ricercato il canale che si riceve meglio, inizia l'ascolto di detto canale e costantemente individua i canali delle celle adiacenti di cui misura la qualità di ricezione. Nel corso della comunicazione il telefono effettua un ciclo di misure ogni 480ms e ne comunica i risultati alla rete (ciò che in buona sostanza potremmo definire: *"la qualità percepita"* dal telefono).

3.1 Il criterio di scelta della cella

Il criterio di scelta della cella all'instaurazione della comunicazione: quando un telefono decide di collegarsi ad una determinata cella per l'instaurazione della chiamata è perché sa che il canale di quella cella è quello che riceve meglio e ciò equivale a dire che, tenendo conto degli ostacoli, in termini di segnale radio quella è la cella a lui più vicina.

3.1.1 Il criterio di scelta della cella in caso di "handover"

Quando la qualità di ricezione degrada aldisotto di una soglia minima, la rete radiomobile (che conosce la qualità percepita dal telefono) decide di effettuare un cambio cella. La nuova cella viene scelta come quella che il telefono riceve meglio e ciò equivale a dire che, tenendo conto degli ostacoli, in termini di segnale radio quella è la cella a lui più vicina.

3.1.2 Limitazioni dovute al carico di lavoro della cella

Può talvolta avvenire che la cella scelta si trovi impossibilitata a fornire al telefono mobile un canale di traffico libero. In questo caso la rete, che conosce quali sono le celle adiacenti e

viene continuamente informata dal mobile di come il mobile riceve ciascuna delle celle adiacenti, può richiedere l'assegnazione di un canale di traffico libero da parte di una cella adiacente che risulta ben ricevibile dal telefono mobile. In ogni caso la stazione radio base rilevata ai fini della documentazione del traffico è quella che ha fornito il canale di traffico, la più vicina o comunque adiacente alla più vicina. L'evento che venga utilizzata una cella adiacente è piuttosto raro in quanto costituisce il sintomo che la rete ha raggiunto la saturazione nella cella più vicina e l'operatore ha tutto l'interesse di evitare che a causa di ciò si perda traffico e, conseguentemente, fatturato. In condizioni normale perciò questo non avviene. Può avvenire solo in condizioni di elevato traffico tipiche delle ore di punta nelle zone densamente popolate o in occasione di eventi locali particolari (coda su grandi arterie di comunicazione veloce, aree fieristiche con alta affluenza). L'unico modo per verificare a posteriori se sussistano cause oggettive tali da giustificare una scelta della cella diversa dalla vicinanza geografica (in realtà "dalla migliore ricezione") è l'analisi del traffico delle celle presenti nella zona di interesse. Tale analisi evidenzia se l'impianto era funzionante (presenza di traffico) e se vi era elevato carico/sovraccarico nel momento di interesse delle indagini.

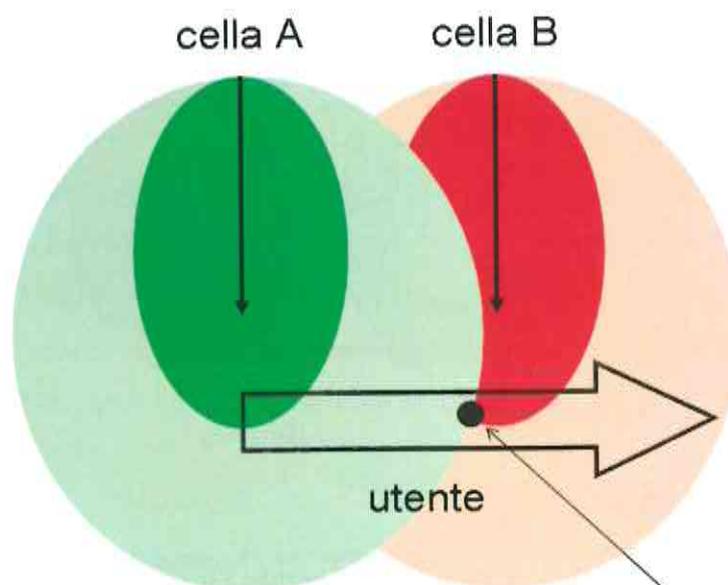
Dei cambiamenti di cella (intermedi) dovuti ad handover non rimane traccia nei tabulati: dei cambiamenti di cella successivi all'assegnazione del primo canale di traffico non rimane alcuna traccia nella documentazione del traffico (salvo quanto detto nel caso di WIND che conserva comunque l'ultima cella impegnata).

3.1.3 Criterio di scelta della cella nel corso della comunicazione

Una volta che la comunicazione è iniziata, il terminale telefonico, per definizione "*mobile*", continua ad utilizzare la cella che gli è stata assegnata anche oltre l'area in cui detta cella risulta essere quella ottimale (per questo detta: "*best serving cell*"), fintanto che la qualità di ricezione ovvero il segnale radio non degradano aldisotto della soglia di qualità minima. In questo caso la rete, che riceve continuamente le misure effettuate dal mobile sulla cella servente e sulle celle circostanti mentre l'utente si trova in conversazione, sceglie la cella ottimale per continuare la comunicazione ed effettua un cambio cella, il cosiddetto "handover".

Ne consegue che l'area di copertura che decide la scelta di una determinata cella per l'instaurazione di una comunicazione ovvero il cambio cella è molto più piccola dell'area all'interno della quale la comunicazione continua una volta iniziata.

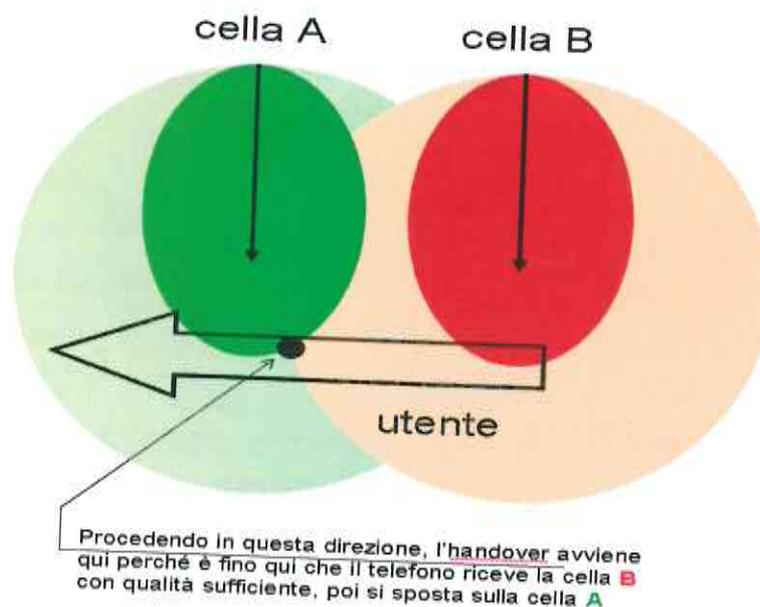
L'utente si muove da Ovest verso Est



Procedendo in questa direzione, l'handover avviene
Qui perché è fino qui che il telefono riceve la cella **A**
con qualità sufficiente, poi si sposta sulla cella **B**

Nell'esempio la comunicazione inizia con la cella A mentre il telefono si trova nell'area verde intenso, in quanto quella che assicura la migliore qualità, continua nell'area verde chiaro, in quanto assicura qualità sufficiente e si sposta sulla cella B solo entrando nell'area rosso intenso. E' quindi facile intuire che, a parità di utente e di area geografica, la posizione in cui avviene l'handover è diversa a seconda se la comunicazione inizia con la cella A ovvero con la cella B:

L'utente si muove da Est verso Ovest

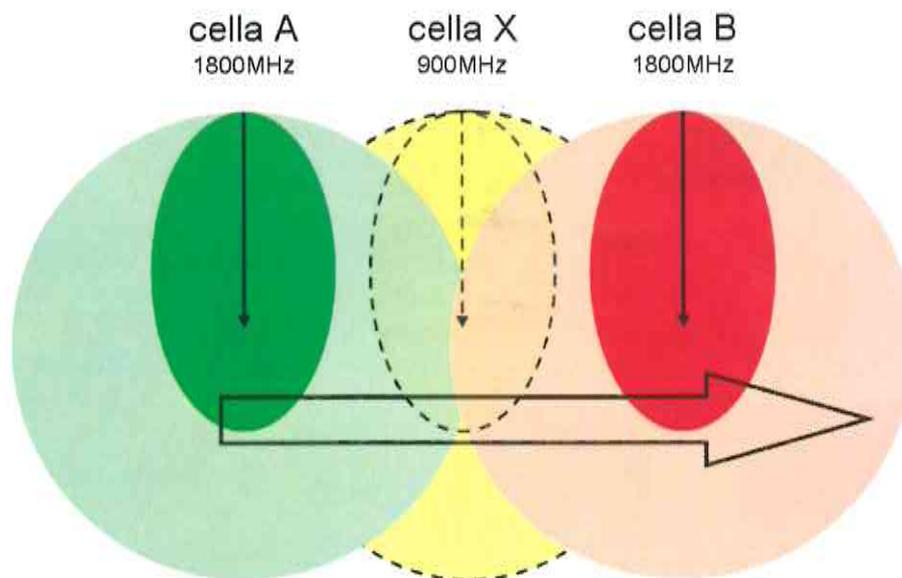


La durata della "comunicazione" e la durata della "conversazione": al fine di poter correlare correttamente i dati del traffico storico con le posizioni assunte dal telefono ed eventualmente con ipotesi sul suo spostamento, occorre chiarire la differenza tra "comunicazione" e "conversazione". Nel corso di una telefonata il telefono inizia a comunicare con gli impianti di accesso radio (*celle*) della rete radiomobile nel momento in cui l'utente, avendo composto il numero, preme il tasto INVIO ovvero quando il telefono risponde al segnale di PAGING (l'equivalente radio del segnale di chiamata entrante). La scelta della cella per l'instaurazione della chiamata avviene in quel momento e da quel momento decorre la durata della comunicazione, anche nel caso in cui non segua conversazione tra l'utente chiamante e quello chiamato. Nel caso in cui l'utente chiamato risponda, è in quel momento che inizia la conversazione ed il conteggio della sua durata ai fini della documentazione del traffico e dell'addebito. Conversazione e comunicazioni terminano pressoché contemporaneamente.

Ne consegue che la durata della comunicazione è sicuramente maggiore della durata della conversazione documentata sui tabulati, fino ad un massimo di 45 sec oltre i quali la rete libera il canale. Nel caso di un utente in movimento ad una velocità costante V ciò significa che la distanza percorsa dall'inizio della comunicazione è superiore al prodotto della velocità V per la durata della conversazione così come risulta dai tabulati.

3.3 Criteri di scelta selettiva della cella

Ai fini dell'efficace esercizio della rete radiomobile, l'operatore impone alcuni criteri aggiuntivi di cui la rete tiene conto nella scelta di una cella piuttosto che un'altra. Il più importante di questi è la preferenza accordata alle celle che emettono portanti DCS a 1800MHz rispetto a quelle che emettono portanti GSM a 900MHz. Ciò consente di riservare le celle GSM 900MHz al traffico a più ampio raggio ed a quei vecchi terminali telefonici non ancora Dual-Band. Il criterio selettivo in questo caso corrisponde a penalizzare le misure del segnale radio GSM 900MHz di 6-10dB rispetto alle misure del segnale radio DCS 1800MHz. Ciò fa sì che un telefono in cerca di una nuova cella su cui fare handover preferirà una cella DCS 1800MHz più lontana ad una cella GSM 900MHz più vicina (in realtà la scelta viene operata dalla rete...).

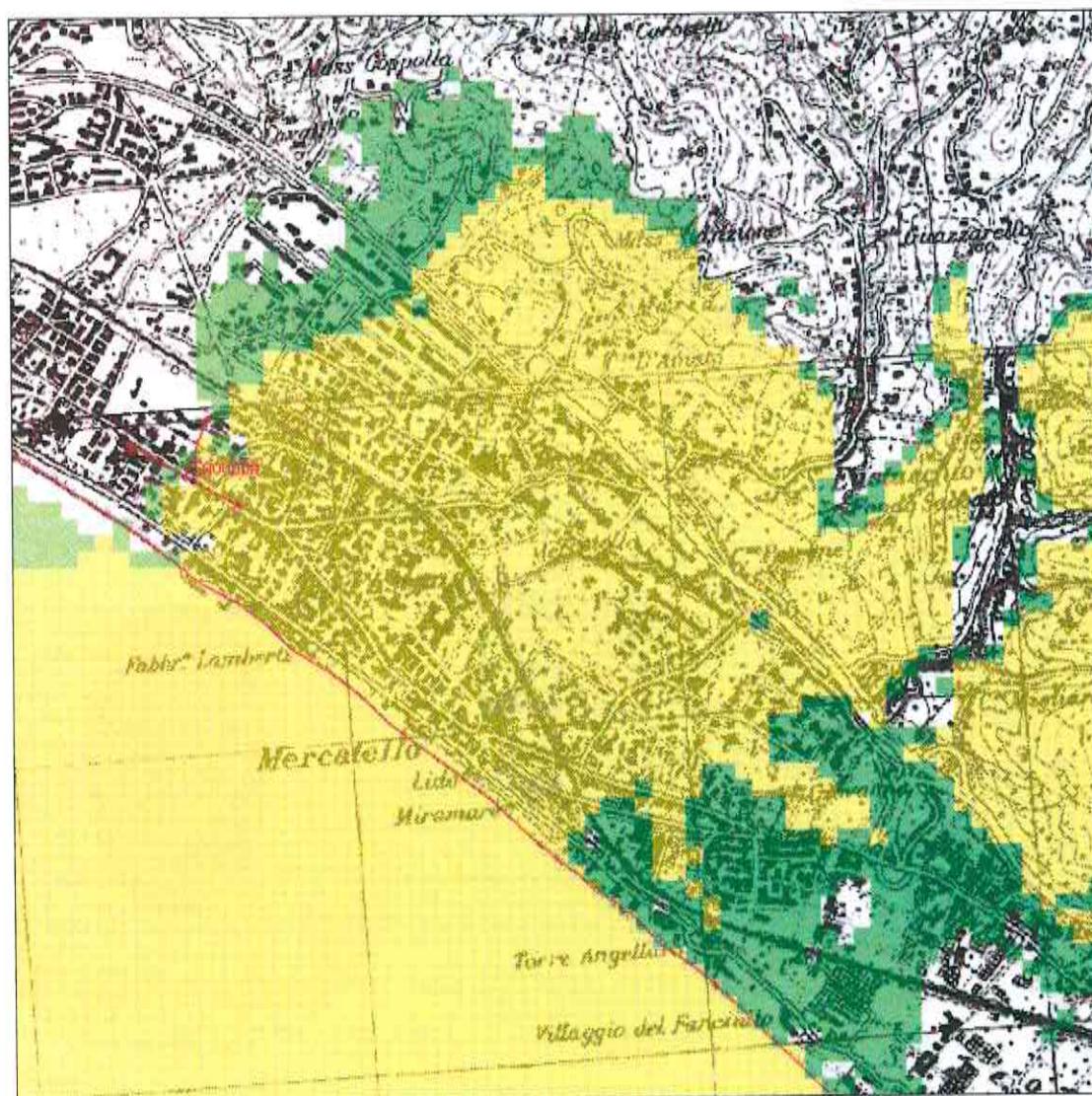


Quando è disponibile capacità su celle a 1800 MHz entro il raggio di copertura, nella scelta dei candidati per il cambio cella (*handover*) queste sono preferite.
In questo caso l'utente impegna solo le celle A e B

Nella nomenclatura WIND le celle GSM sono indicate dal prefisso G prima del numero del settore (ad es. PG008-G1) mentre quelle DCS sono indicate dal prefisso D prima del numero del settore (ad es. PG008-D2).

La copertura radioelettrica nello scenario macroscopico: la rappresentazione schematica fornita dagli esempio sopra riportati potrebbe indurre in errore ritenendo che l'area di copertura di ciascuna cella sia rigorosamente circolare o ellittica. In realtà, l'area di copertura di ciascuna cella e stazione radio base, nello scenario macroscopico, ovvero su vasta scala, è

influenzata dall'orografia del territorio in rapporto all'altezza sul livello del suolo dell'antenna oltre che dal lobo di radiazione dell'antenna/e.



Questa è, ad esempio, la simulazione al computer dell'area di copertura (ottimale in giallo e marginale in verde) relativa ad un settore di una cella operante in tecnica DCS 1800MHz.

La simulazione, realizzata in collaborazione con l'operatore radiomobile, tiene conto di un modello del territorio (DEM = Digital Earth Model) piuttosto accurato che consente di stimare l'intensità di campo ogni 25-50 metri circa.

Le simulazioni di copertura devono essere effettuate per tutte le celle serventi l'area di interesse e quelle circumvicine permettendo di correlare l'intensità di campo presente in ciascun punto (o meglio, quadrato di 25-50 metri circa di lato) relativa al segnale di ciascuna cella e, quindi, di pervenire a quale sia la migliore cella servente ciascun punto (o meglio, quadrato di 25-50 metri circa di lato) del territorio preso in esame. Il risultato ottenuto è una

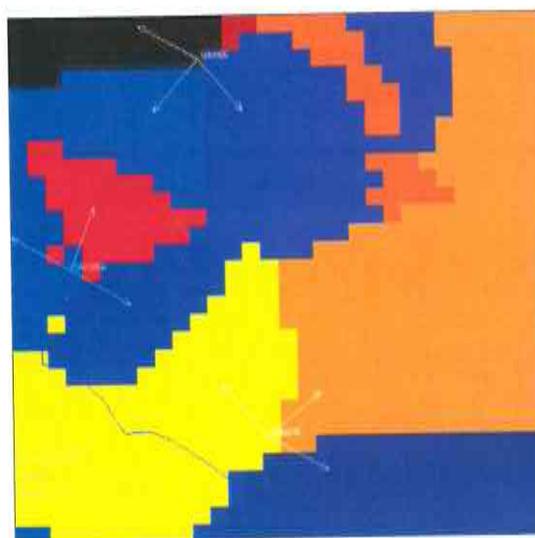
mappa in cui il territorio è suddiviso in aree colorate diversamente in funzione della cella che fornisce la migliore copertura ovvero la "best serving cell".

Ecco un esempio del risultato ottenuto nel caso di zona servita da tre diverse stazioni radio base:

Topografia



Copertura "Best Server"

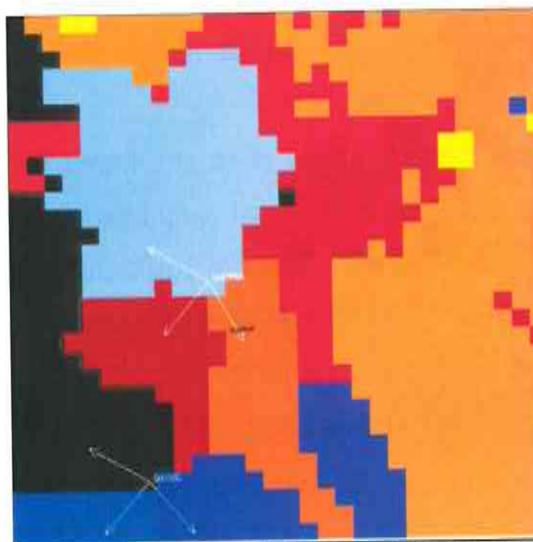


Ecco un esempio del risultato ottenuto nel caso della zona servita da altre due stazioni radio base:

Topografia

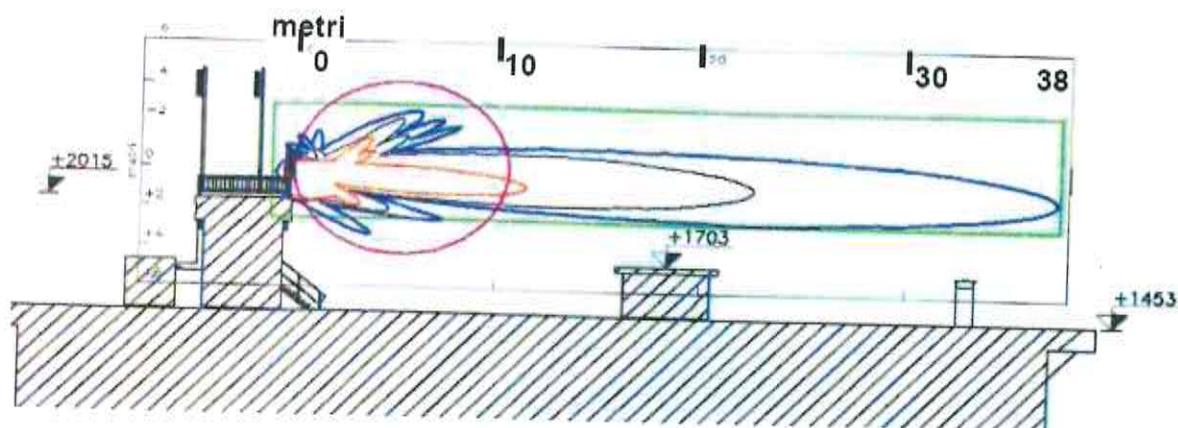


Copertura "Best Server"



La copertura radioelettrica nello scenario microscopico: se quanto sopra vale nello scenario macroscopico, ovvero su vasta scala, quando si prende in esame lo scenario microscopico, su piccola scala entrano in gioco fattori di più minuto dettaglio ma non per questo meno importanti laddove si debba esprimere un parere di tale precisione

quale quello richiesto. L'altezza, la forma, la consistenza e la distanza degli edifici influenzano i molteplici percorsi delle onde radio causando fenomeni di schermatura, riflessione e rifrazione che modificano, per quanto localmente, la copertura effettiva. Per visualizzare il fenomeno è sufficiente immaginare che l'antenna emetta onde radio come fosse un fascio di luce (anch'esso fenomeno ondulatorio...).



Quanto sopra rappresentato è il diagramma di radiazione di una antenna GSM/DCS sul piano verticale ove si vede come nel campo vicino assumano rilevanza lobi laterali parassiti mentre già oltre 10 metri dall'antenna il fascio assume i contorni di uno stretto "pennello".

Il modo più efficace di tenere conto di tutti i fattori che influiscono sulla copertura locale a piccola scala è quello di effettuare specifiche misure di intensità di campo e, eventualmente, di BER (Bit-Error-Rate).

Circa la scelta dello strumento ideale per effettuare tali misure si ritiene che lo strumento ideale è lo stesso impiegato dalla rete radiomobile per raccogliere le informazioni che utilizzerà ai fini della scelta della cella da impegnare. Tale strumento è il telefono cellulare in unione alla rete stessa mentre in condizioni di conversazione la rete raccoglie le misure effettuate dal telefono le correda da tutti gli altri elementi in suo possesso e fornisce così un quadro dettagliato ed esaustivo.

Va da sé che le misure effettuate nel corso di un eventuale esperimento su scala microscopica successivo ai fatti giudiziariamente rilevanti devono essere riferite alla situazione delle stazioni radio base nel periodo relativo ai fatti giudiziariamente rilevanti. Ciò al fine di portare informazioni utili nel caso di specie mediante analisi comparativa.

4. RIEPILOGO DELLE NOZIONI FONDAMENTALI IN TEMA DI COPERTURA GSM

In buona sostanza i principali fattori che influenzano la l'impegno di una cella piuttosto che un'altra sono i seguenti:

1. caratteristiche dell'impianto (banda di funzionamento GSM oppure DCS-1800, potenza del trasmettitore, criteri costruttivi dell'impianto di antenna, posizione, altezza rispetto al suolo, direzione di irradiazione, ampiezza del lobo di radiazione, "tilt" ovvero inclinazione dell'antenna verso il basso);
2. caratteristiche degli impianti vicini senza limitarsi solo al più vicini ma estendendosi fin dove non si ha riutilizzo delle stesse frequenze radio;
3. orografia del territorio;
4. ostacoli che potrebbero modificare la copertura radioelettrica in ciascun punto dell'area in esame;
5. condizioni di funzionamento (funzionante/non funzionante) e quantità di traffico di ciascun impianto in ciascuno dei momenti storici di interesse per l'esame.