

Reti Avanzate: Reti cellulari

*Un primo passo verso la comunicazione
anywhere anytime*

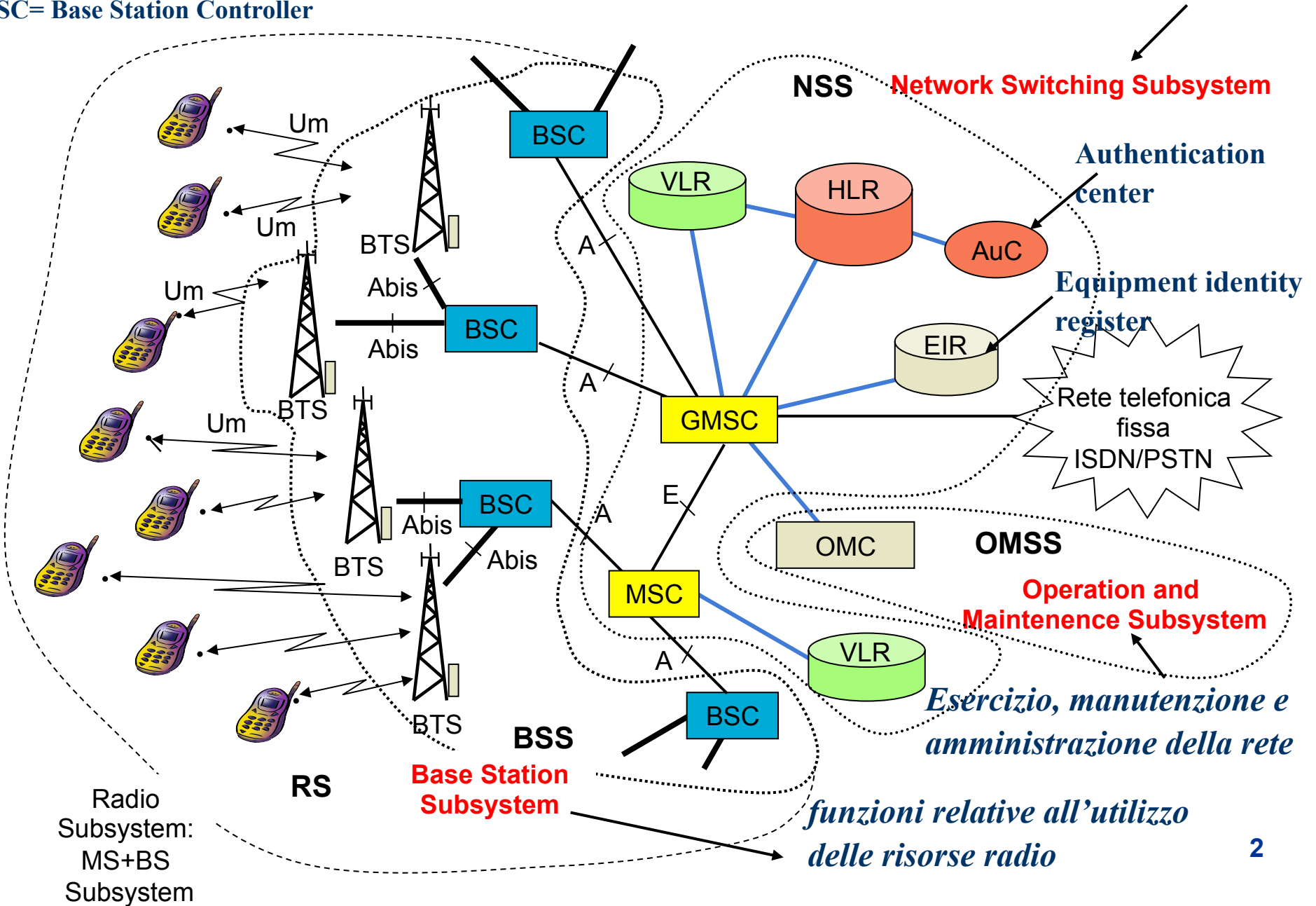
Dott.ssa Chiara Petrioli

Si ringraziano per il materiale fornito, da cui sono state tratte molte di queste slide il Prof. Antonio Capone, Politecnico di Milano (corso di retiradiomobili) e il Prof. Giuseppe Bianchi, Universita' di Tor Vergata)

BTS=Base transceiver Station
 BSC= Base Station Controller

Architettura della rete

gestione della mobilita' e controllo delle chiamate



Aree definite in GSM

- ***PLMN (Public Land Mobile Network) Area:***
 - area di servizio di una rete
- ***MSC/VLR Area:***
 - area gestita da un MSC. I dati degli utenti presenti nell'area sono immagazzinati nel VLR associato al MSC
- ***Location Area:***
 - una MSC/VLR area viene logicamente divisa in una o più Location Area (LA). Se un utente cambia LA deve effettuare un location update. Le LA sono identificate da un *LAI (Location Area Identifier)*, trasmesso da ogni BTS dell'area sul canale di controllo broadcast
- ***Cella:***
 - area coperta da una BTS. Viene identificata da un *BSIC (Base Station Identity Code)*, anch'esso trasmesso dalla BTS sul canale di controllo broadcast



Terminale mobile (Mobile Station - MS)

- **È il terminale di proprietà dell'utente**
- **Tre categorie a seconda della potenza nominale:**
 - **veicolari: possono emettere fino a 20 W all'antenna**
 - **portatili: fino a 8 W all'antenna, sono trasportabili, ma hanno bisogno di una notevole fonte di alimentazione per il funzionamento (es. PC portatili, fax, etc.)**
 - **personali (hand-terminal): fino a 2 W all'antenna, è il “telefonino”**

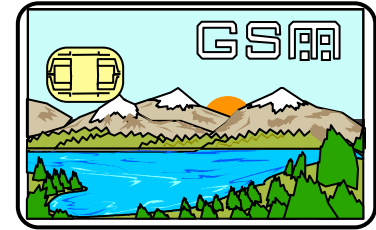


Terminale mobile (Mobile Station - MS)

| Classe | Potenza massima nominale [W] | | Potenza media nominale [mW] | |
|--------|------------------------------|--------------|-----------------------------|--------------|
| | GSM 900 MHz | DCS 1800 MHz | GSM 900 MHz | DCS 1800 MHz |
| 1 | . | 1 | . | 120 |
| 2 | 8 | 0,25 | 960 | 30 |
| 3 | 5 | 4 | 600 | 480 |
| 4 | 2 | . | 240 | . |
| 5 | 0,8 | . | 96 | . |

- **Caratteristiche**
 - **MS multi-band:** può operare su più bande di frequenze (900, 1800, 1900, ...)
 - **MS multi-slot:** può operare attivando contemporaneamente canali su più slot (solo per GPRS)
- **MS è composto da un ME (Mobile Equipment) e una SIM (Subscriber Identity Module)**
 - **ME è il terminale vero e proprio (HW, hw/sw per interfaccia radio, interfaccia con l'utente finale). Identificato dal *IMEI (International Mobile Equipment Identifier)***
 - **SIM è la parte che attiva il terminale per un utente con tutte le informazioni necessarie: identifica l'utente, permette la personalizzazione del terminale**

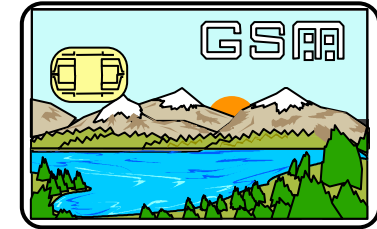
Modulo di identificazione utente (Subscriber Identity Module - SIM)



- È una scheda intelligente (con processore e memoria) di tipo smart card che rende “operativo” un qualunque terminale ME
- Deve essere inserita nell’apposito lettore di ME
- Sono ammessi 2 possibili formati: tipo carta di credito e un formato ridotto (plug-in SIM)

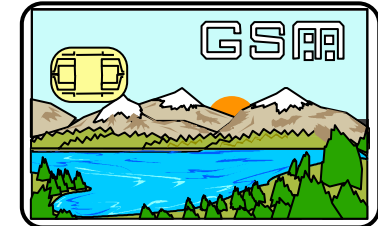
Informazioni memorizzate nella SIM card

- ***Serial number***
 - identifica univocamente la SIM card (e anche il card holder)
- ***International Mobile Subscriber Identity (IMSI)***
 - identifica l'utente in modo univoco nella rete
- **Security authentication and cyphering information**
 - *A3* and *A8* algorithm (sono le procedure per effettuare l'autenticazione e la cifratura)
 - K_i , K_c (sono le chiavi per l'autenticazione e la cifratura)
- **Temporary Network information**
 - *LAI (Location Area Identifier)*, identificativo dell'ultima location area visitata
 - *TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity)*, identificativo assegnato dalla rete ed usato invece del IMSI



Informazioni memorizzate nella SIM card

- Lista di servizi a cui l'utente è abbonato
- Personal Identification Number (PIN)
- Personal Unblocking Number (PUK)
- Access rights
- Prohibited networks
- Call messages
- Phone numbers

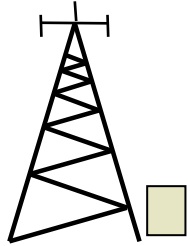


Un Mobile Equipment senza SIM abilitato solo a fare chiamate di emergenza

Mobile Equipment identificato da un identificativo unico IMEI (International Mobile Equipment Identity) che puo' essere utilizzato per identificare cellulari rubati

Base Station System (BSS)

- il BSS raggruppa le unità funzionali che si occupano degli aspetti radio del sistema
 - copertura radio e comunicazione mediante interfaccia radio con le MS
 - gestione delle risorse radio
- il BSS comprende:
 - **Base Transceiver Station (BTS)**
 - insieme degli apparati che consentono la trasmissione e ricezione di informazione attraverso l'interfaccia radio. Ha compiti meramente esecutivi (esempio cifratura, modulazione, codifica): la gestione delle risorse gli viene gestita dal BSC
 - **Base Station Controller (BSC)**
 - controlla e gestisce le risorse di un gruppo di BTS. Dalle BTS riceve le informazioni sullo stato dell'interfaccia radio e alle BTS invia i comandi di configurazione e gestione. Esempi di funzionalità svolte dal BSC: reservation/release of radio channels, handover (intraBSC) etc...



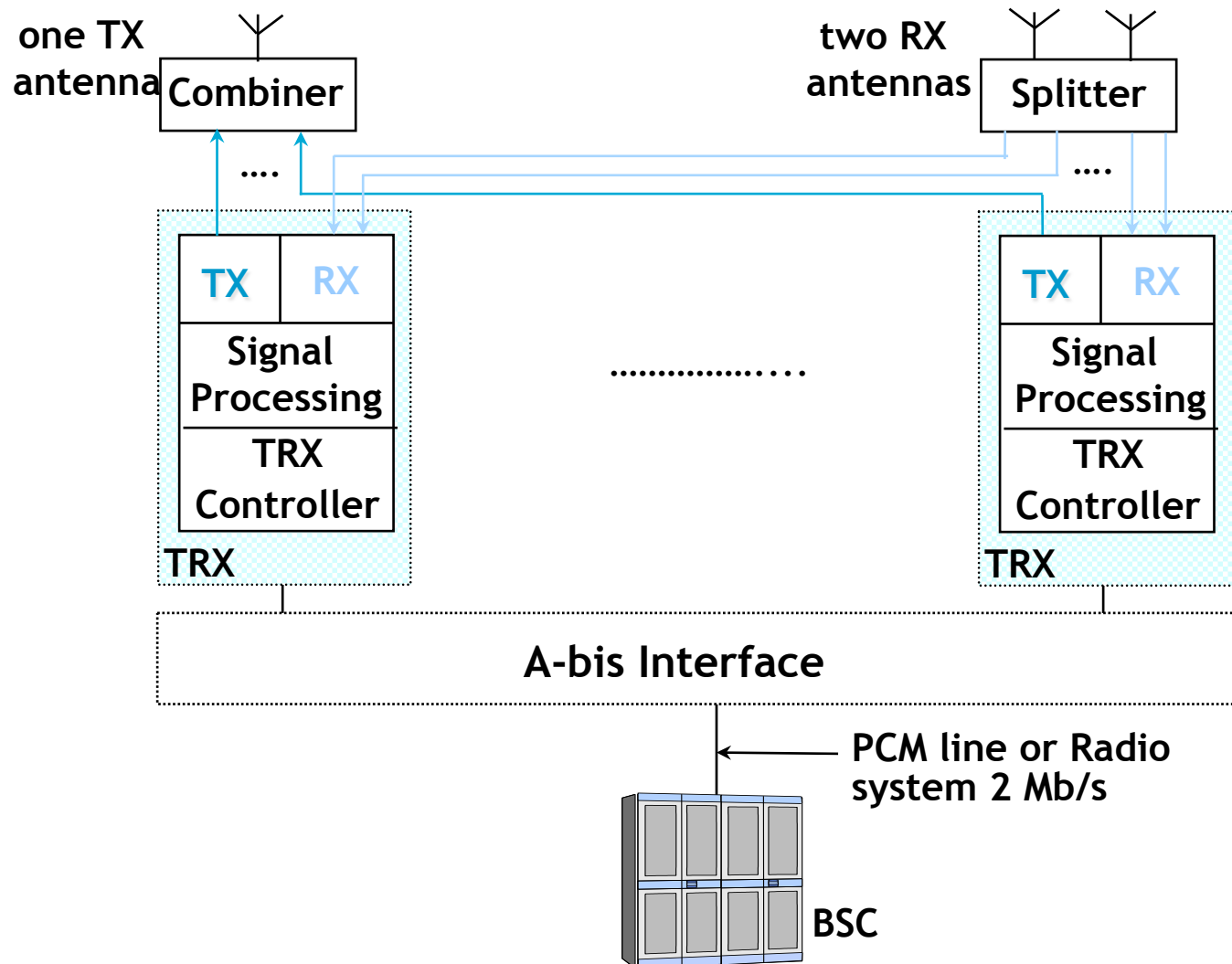
Base Transceiver Station (BTS)

- **La BTS è l'elemento che ha il compito di implementare i protocolli di basso livello dell'interfaccia radio**
- **E quindi di trasmettere e ricevere i segnali dalle MS implementando le funzionalità di modulazione, codifica e multiplazione dei canali fisici**
- **Ha il compito anche di effettuare misure di qualità sui canali fisici e di ricevere quelle fatte dalle MS (tutte le misure vengono poi riportate al BSC che prende le decisioni)**
- **Deve irradiare nella cella in broadcast su un canale di controllo il messaggio di System Information con dati di sistema e parametri che servono all'MS nell'accesso alla rete (identità della cella, identità della Location Area, minimo livello di segnale ricevuto richiesto per poter accedere alla rete etc.); il BTS deve anche inviare messaggi di paging per individuare la posizione attuale di un utente.**
- **Si interfaccia al BSC (solo servizi a circuito) mediante canali PCM a 64 kbit/s**
- **Connette i canali PCM con quelli dell'interfaccia radio (traffico e segnalazione)**

Struttura BTS

- **La BTS (Base transceiver Station) è di solito funzionalmente divisa in**
 - **TRX (Transceiver)**
 - **elementi radio preposti alla ricezione e trasmissione di una singola portante radio**
 - **BCF (Base Common Function)**
 - **elemento di controllo del TRX che svolge le funzionalità comuni e di interfacciamento con il BSC**

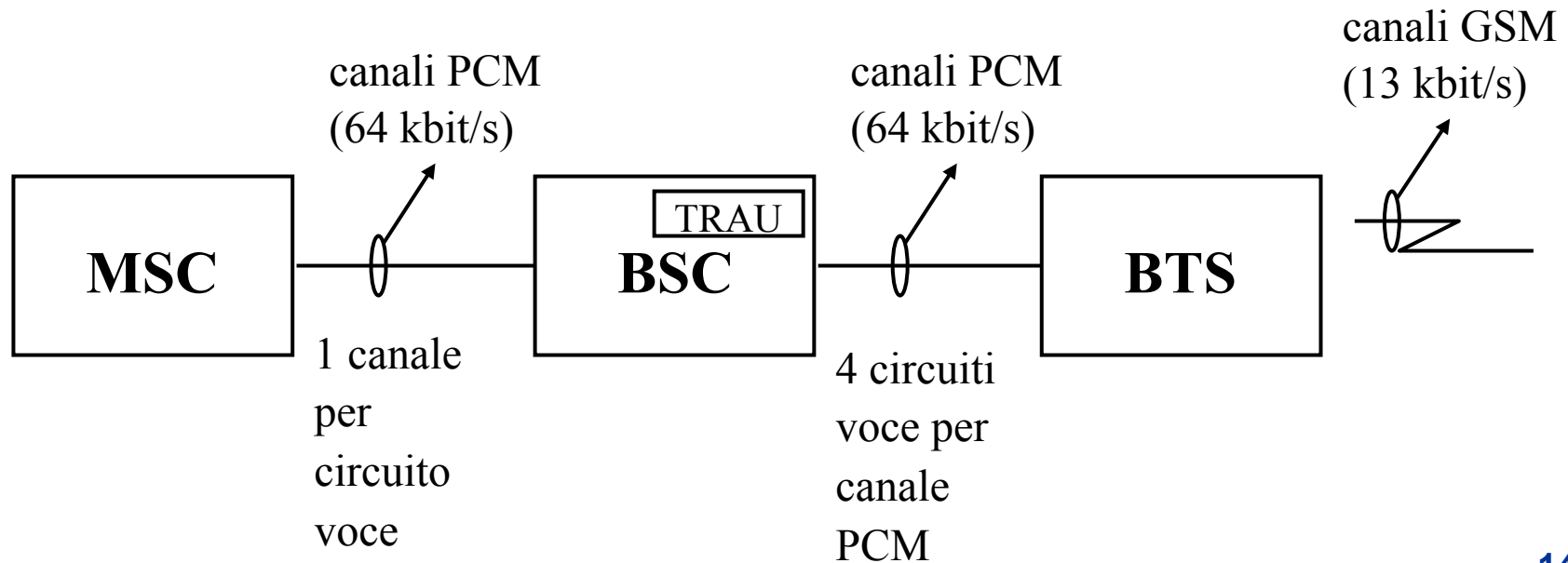
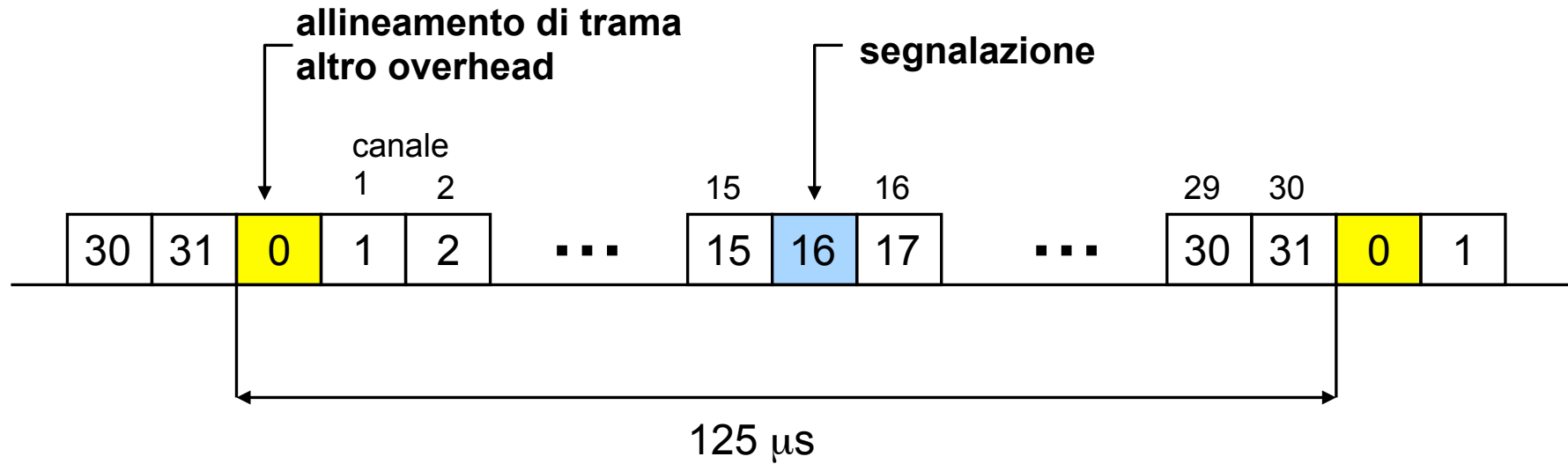
Schema BTS



Transcoder Rate Adaptation Unit (TRAU)

- **La codifica della voce è a 13 kbit/s mentre il PCM prevede 64 kbit**
- **La conversione di codifica viene effettuata dal TRAU**
- **Il TRAU può essere nella BTS, ma molto più spesso è nel BSC**
- **In questo caso i flussi a 13 kbit/s devono essere trasportati senza codifica nei canali a 64 kbit/s**
- **Su ogni canale a 64 kbit/s sono multiplati 4 flussi a 13 (previa trasformazione in flussi da 16 con l'aggiunta di ridondanza)**
- **Per ogni portante GSM (8 canali a 13 kbit/s) occorrono 3 canali PCM a 64 kbit/s**
 - **uno per la segnalazione trasportata mediante protocollo di linea LAPD**
 - **2 per gli 8 canali di traffico telefonico**

Transcoder Rate Adaptation Unit (TRAU)



Base Station Controller (BSC)

- Una BSC controlla un numero elevato di BTS: da alcune decine ad alcune centinaia
- I compiti principali della BSC sono:
 - la configurazione di ogni cella tramite assegnazione dei canali di traffico e di controllo
 - Instaurazione e rilascio delle connessioni tra i canali dell'interfaccia A e Abis
 - la gestione degli handover tra BTS controllate
 - gestione dei messaggi di Paging che vengono distribuiti alle BTS della location area relativa all'utente cercato
 - analisi delle misure relative alla qualità e ai livelli di potenza di BTS e MS e decisione sulla necessità di handover

Base Station Controller (BSC)

- Il BSC si occupa fundamentalmente della gestione delle risorse radio (Radio Resource management)
- Dal punto di vista funzionale è un nodo di commutazione,
 - ma non ha il compito di instradare le chiamate (lo fa il MSC)
 - invece collega i circuiti con il BTS con quelli con il MSC effettuando eventualmente la trans-codifica (TRAU)
 - e commuta i circuiti per gli handover (intra-BSC)
- Le BSC possono essere collocate nel sito di un MSC o essere autonome, o ancora essere posizionate vicino (o insieme) ad alcune BTS

Network Switching Subsystem (NSS)

- Si tratta del sottosistema che si occupa della commutazione dei circuiti verso gli utenti mobili, gestendone anche la mobilità'. Include:
 - **Mobile Switching Center (MSC):**
 - è una centrale di commutazione telefonica per utenti radiomobili
 - **Visitor Location Register (VLR):**
 - è un database (normalmente implementato nella centrale MSC) che contiene le informazioni relative agli utenti presenti nell'area gestita da un MSC
 - **Home Location Register (HLR):**
 - è il database principale che si occupa della memorizzazione delle informazioni degli utenti mobili. Contiene tra le altre le informazioni necessarie ad individuare il VLR che ha in carico in un certo istante ogni utente mobile.
 - **Authentication Center (AuC):**
 - normalmente associato al HLR il quale contiene le chiavi e le procedure per l'autenticazione di un utente mobile. L'AuC calcola le chiavi.
 - **Equipment Identity Register (EIR):**
 - contiene gli IMEI di tutti gli apparati autorizzati al servizio

Mobile Switching Centre (MSC)

- **Il MSC è una centrale di commutazione con funzionalità aggiuntive di gestione della mobilità**
- **E' normalmente associato ad un VLR per la memorizzazione dei dati degli utenti presenti nell'area controllata**
- **Il MSC oltre ad essere connesso con i BSC della sua area è connesso ad altri MSC**
 - **la connessione avviene tramite canali PCM**
 - **parte delle risorse di collegamento sono parte della rete di segnalazione a canale comune SS7**
- **Uno o più MSC (Gateway MSC) per rete PLMN sono interfacciati alla rete telefonica fissa per l'instradamento da e verso gli utenti fissi**

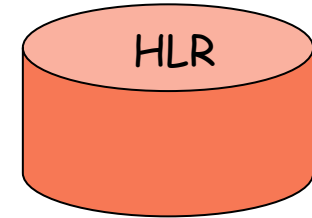
Mobile Switching Centre (MSC)

- Una MS può essere raggiunta da utenti fissi mediante il numero di telefono (MSISDN)
- La chiamata viene instradata fino al GMSC che individua l'HLR in cui sono contenute le informazioni dell'utente associato al MSISDN e lo interroga
- l'HLR restituisce, tra l'altro, il MSRN (Mobile Station Roaming Number)
 - MSRN numero temporaneo (stessa strutt. MSISDN) assegnato dal VLR visitato
 - MSRN consente al GMSC di instradare la chiamata fino all'MSC dell'area dove si trova l'utente

Mobile Switching Centre (MSC)

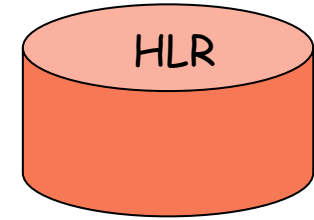
- **Il MSC è dunque il nodo principale responsabile delle funzioni di segnalazione (che vedremo più in dettaglio in seguito)**
- **Il MSC gestisce le funzioni di**
 - **CM (Connection Management)**
 - **originating call, terminating call, gateway**
 - **MM (Mobility Management)**
 - **location updating, periodic registration, authentication, ecc.**
- **implementa protocolli di colloquio con altri elementi di rete:**
 - **DTAP (Direct Transfer Application Part) per il colloquio diretto con le MS**
 - **BSSMAP (BSS Management Application Part) per il colloquio con i BSC**
 - **MAP (Mobile Application Part) per il colloquio con gli altri elementi di rete (MSC, VLR, HLR, EIR, AuC)**

Home Location Register (HLR)



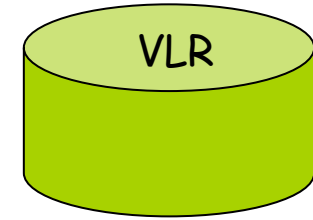
- È un data base permanente associato in modo univoco a un GMSC
- Memorizza le informazioni relative a tutti gli MS la cui localizzazione di default è presso il GMSC considerato
- HLR memorizza informazioni permanenti come l'IMSI (International Mobile Subscriber Identity), il numero di telefono della SIM associata e la sua chiave di autenticazione, i servizi supplementari a cui l'utente è abilitato, ecc.
- HLR memorizza anche informazioni temporanee come l'indirizzo del VLR presso cui può essere reperito l'utente, parametri transitori per identificazione e crittografia, un eventuale numero di telefono per l'inoltro delle chiamate, ecc.

Home Location Register (HLR)



- **Compiti principali:**
 - **Gestione della localizzazione, ovvero memorizzare il *VLR number* di ogni utente registrato**
 - **invio delle informazioni di routing (MSRN) al GMSC**
 - **Registrazione, cancellazione e attivazione/disattivazione servizi supplementari**
 - **memorizzazione e fornitura ai VLR dei parametri di autenticazione e cifratura**
 - **gestione dei dati d'utente**

Visitor Location Register (VLR)



- È un data base temporaneo che contiene i dati importanti per il servizio degli MS attualmente sotto la giurisdizione del (G)MSC cui il VLR è associato.
- In VLR vengono duplicati tutti i dati permanenti di un utente, con la differenza che l'IMSI viene “mappato” su un TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity) per evitare di trasmettere l'IMSI via radio e proteggere l'utente da “intrusioni”. Il TMSI viene modificato frequentemente ed è legato anche alla posizione del mobile (identificativo di cella)
- VLR gioca un ruolo fondamentale nella gestione delle chiamate che provengono dagli MS

Procedure di sicurezza

- **Autenticazione:**
 - ha il compito di verificare l'identità dell'utente e proteggere da utilizzi fraudolenti degli identificativi
- **Cifratura:**
 - ha il compito di rendere non facilmente decodificabile il flusso dati da e verso la MS da parte di intrusi
- **In GSM le procedure di autenticazione e cifratura sono strettamente collegate nella prima fase di gestione delle chiavi segrete**

Procedure di sicurezza

■ Elementi delle procedure:

■ K_i

- chiave di autenticazione dell'utente di 128 bit memorizzata nell'AuC e nella SIM

■ $RAND$

- numero casuale di 128 bit generato dall'AuC e poi inviato all'MSC

■ $A3$

- algoritmo di autenticazione memorizzato nell'AuC e nella SIM

■ $A8$

- algoritmo che determina la chiave di cifratura K_c , memorizzato nell'AuC e nella SIM

■ Risultati delle procedure:

■ K_c

- chiave di cifratura

■ $SRES$

- risultato dell'algoritmo di autenticazione

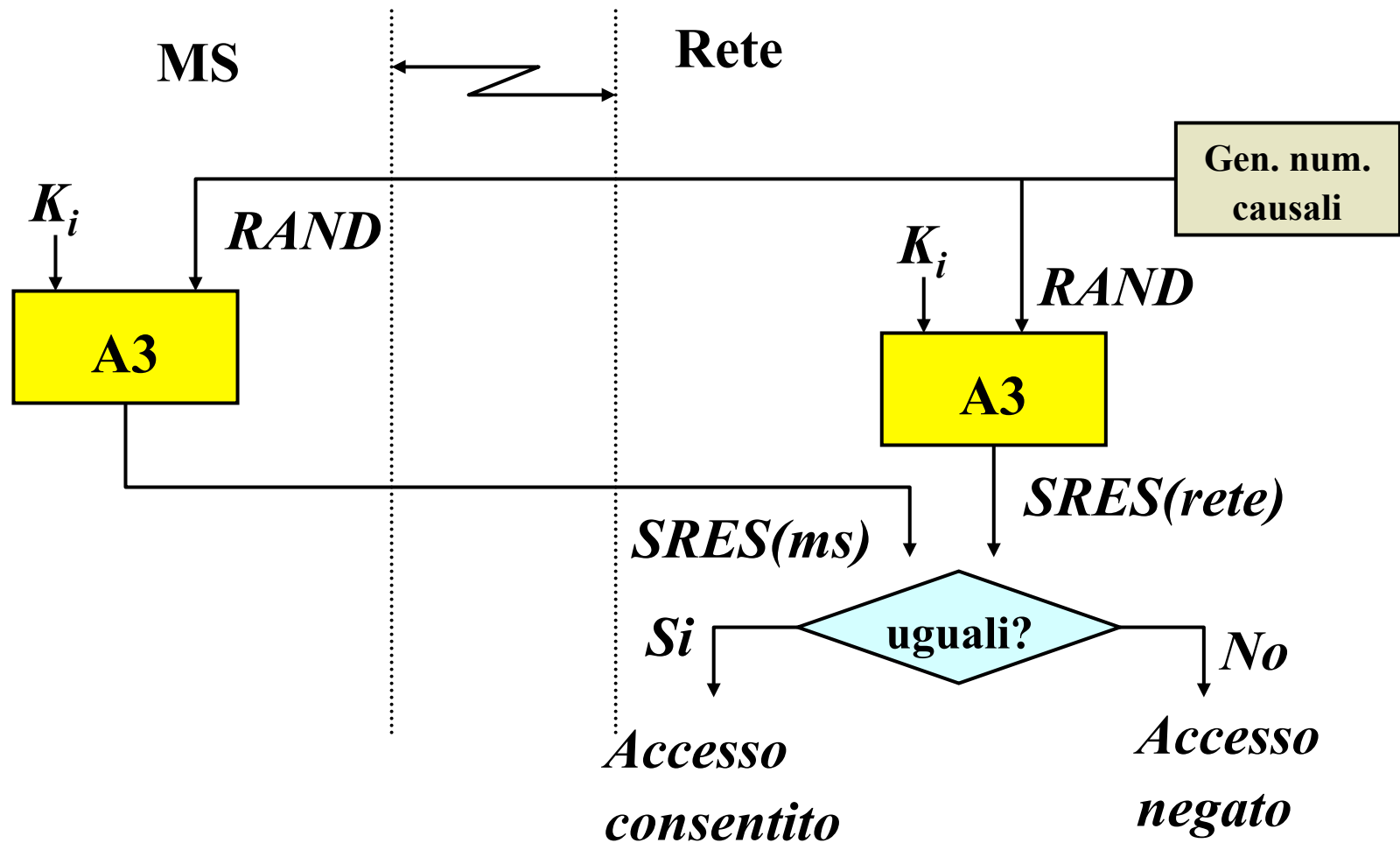
Triplette

$(RAND, SRES, K_c)$

sono generate in sequenza per ogni IMSI e memorizzate nell'HLR

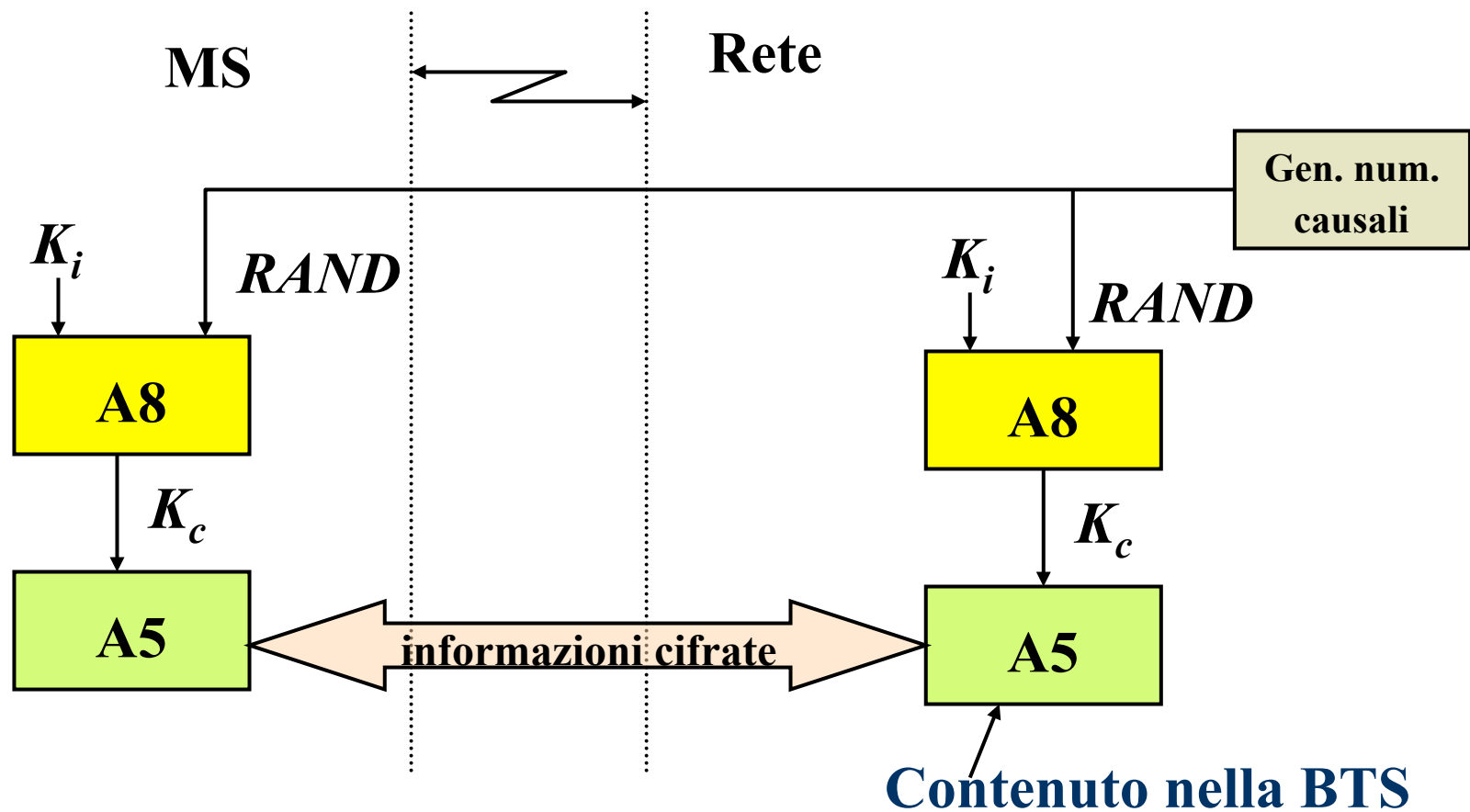
Procedure di sicurezza

■ Autenticazione:



Procedure di sicurezza

■ Cifratura:

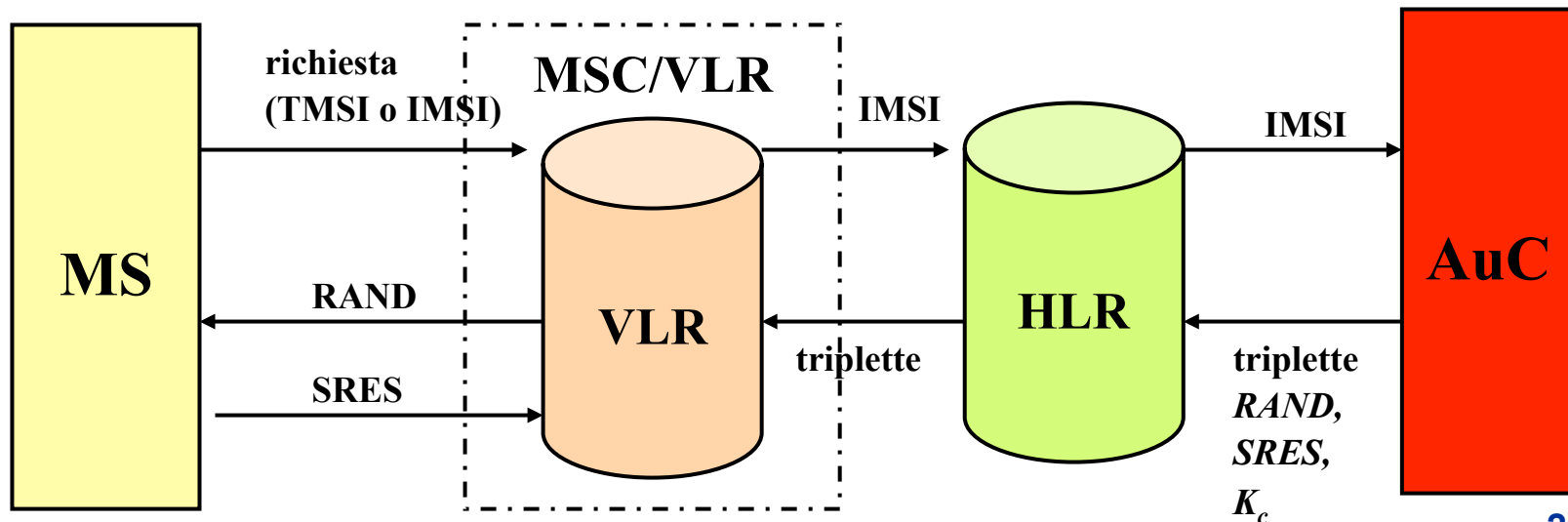


Procedure di sicurezza: ruolo degli elementi di rete

■ Autentication Centre (AuC)

AuC

- memorizza in modo sicuro le chiavi segrete K_i di ciascun utente
- genera i numeri casuali e calcola gli $SRES$ e la chiave di crittazione K_c
- Fornisce le triplette agli altri elementi di rete



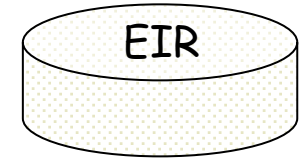
Procedure di sicurezza: allocazione del TMSI

- Ogni comunicazione è iniziata dalla MS che invia il proprio identificativo (IMSI) per farsi riconoscere prima che venga attivata la procedura di autenticazione
- Per evitare che il IMSI venga intercettato sull'interfaccia radio e ne possa essere fatto un uso fraudolento il VLR alloca ad ogni MS un TMSI (**Temporary Mobile Subscriber Identity**)
- L'IMSI viene usato dalla MS solo quando non ha ancora un TMSI
- Ad ogni location update il VLR può allocare un nuovo TMSI al mobile che nelle comunicazioni successive adotterà il TMSI invece del IMSI

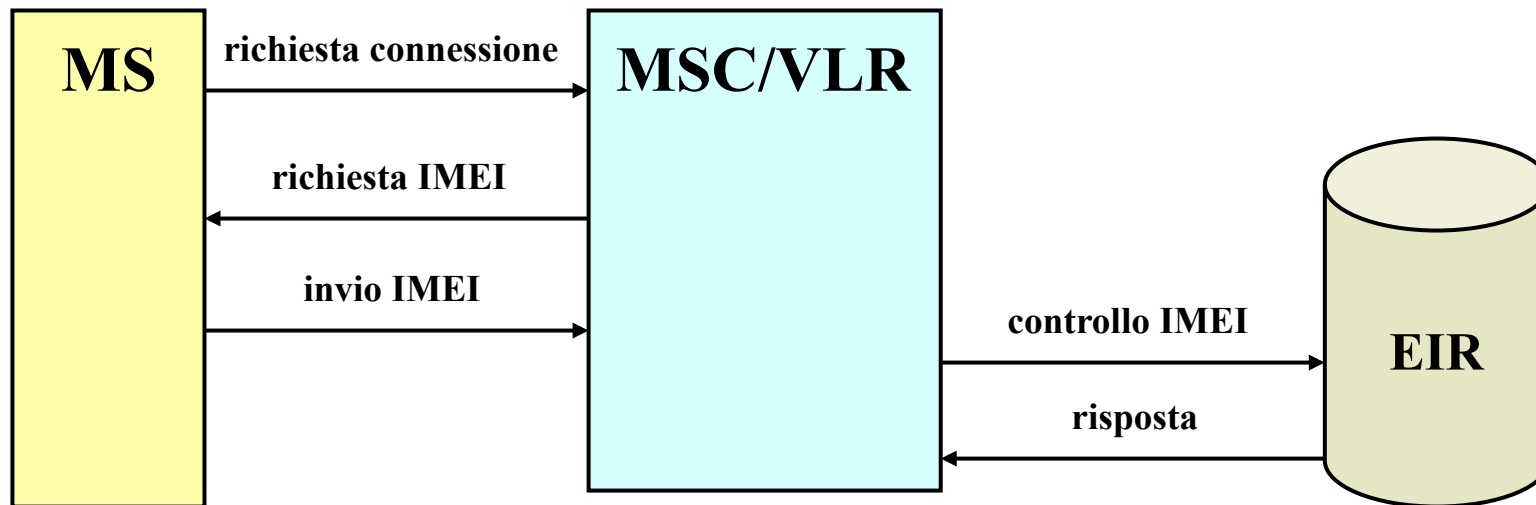
IMSI

- È il numero di identificazione di uso interno alla rete
- È composto da 3 campi:
 - *MCC: Mobile Country Code* (3 cifre)
 - *MNC: Mobile Network Code*, che identifica l'operatore che fornisce il servizio (2 cifre)
 - *MSIC: Mobile Subscriber Identification Number*, che identifica la SIM (fino a 10 cifre)
- Ad esempio il numero 222 01 4572228769, identifica una SIM italiana (222) del gestore TIM (01)
- Il numero di telefono dell'apparato in questione (MSISDN) è completamente indipendente dall'IMSI; le cifre corrispondenti al prefisso (ad es. 0330 o 0347) identificano l'HLR e quindi il GMSC cui l'apparato è legato

Equipment Identity Register (EIR)



- È una base dati il cui uso è a discrezione dell'operatore
- Contiene l'identificativo e le caratteristiche degli apparati GSM, insieme al produttore, al paese di fabbricazione, etc.
- Può essere usato per proteggere la rete dall'uso di apparecchiature rubate o non a norma



IMEI management

- **Protection against stolen and malfunctioning terminals**
- **Equipment Identity Register (EIR): 1 DataBase for each operator; keeps:**
 - **WHITE LIST:**
 - **valid IMEIs**
 - **Corresponding MEs may be used in the GSM network**
 - **BLACK LIST:**
 - **IMEIs of all MEs that must be barred from using the GSM network**
 - **Exception: emergency calls (to a set of emergency numbers)**
 - **Black list periodically exchanged among different operators**
 - **GRAY LIST:**
 - **IMEIs that correspond to MEs that can be used, but that, for some reason (malfunctioning, obsolete SW, evaluation terminals, etc), need to be tracked by the operator**
 - **A call from a “gray” IMEI is reported to the operator personnel**

Operation and Maintenance Subsystem (OMSS)

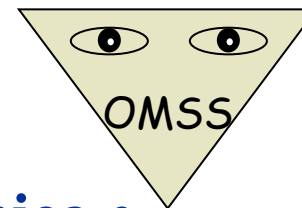
- **Include le unità preposte al controllo da parte di operatori della rete, alla sua manutenzione e gestione da remoto**
- **Vengono**
 - **configurate le funzionalità di tutti gli apparati di rete**
 - **visualizzati gli allarmi di cattivo funzionamento**
 - **visualizzati i dati statistici di traffico**
 - **ecc.**

Operation & Maintenance Sub-system (OSS)

- **Network measurement and control functions**
- **Monitored and initiated from the OMC (Operation and Maintenance Center)**
- **Basic functions**
 - **Network Administration**
 - configuration, operation, performance management, statistics collection and analysis, network maintenance
 - **Commercial operation & charging**
 - Accounting & billing
 - **Security Management**
 - E.g. Equipment Identity Register (EIR) management

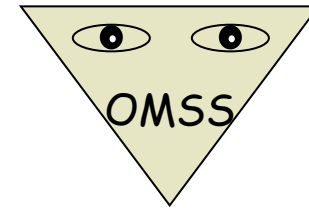
O&M functions based on ITU-T TMN standards (Telecommunication Network Management) - complex topic out of the scopes of this course

Operation and Maintenance Subsystem (OMSS)



- È la sede di tutte le operazioni di gestione (tecnica e amministrativa) della rete
- Effettua la tariffazione, controlla il traffico in rete, gestisce i messaggi di errore provenienti dalla rete, controlla e memorizza il carico delle singole BTS e BSC per operazioni di pianificazione (eventualmente dinamica)
- Consente di configurare le singole BTS tramite le BSC e di controllare il funzionamento (corretto o meno) di tutte le apparecchiature periferiche della rete (cioè in pratica di tutti gli elementi descritti fino ad ora)

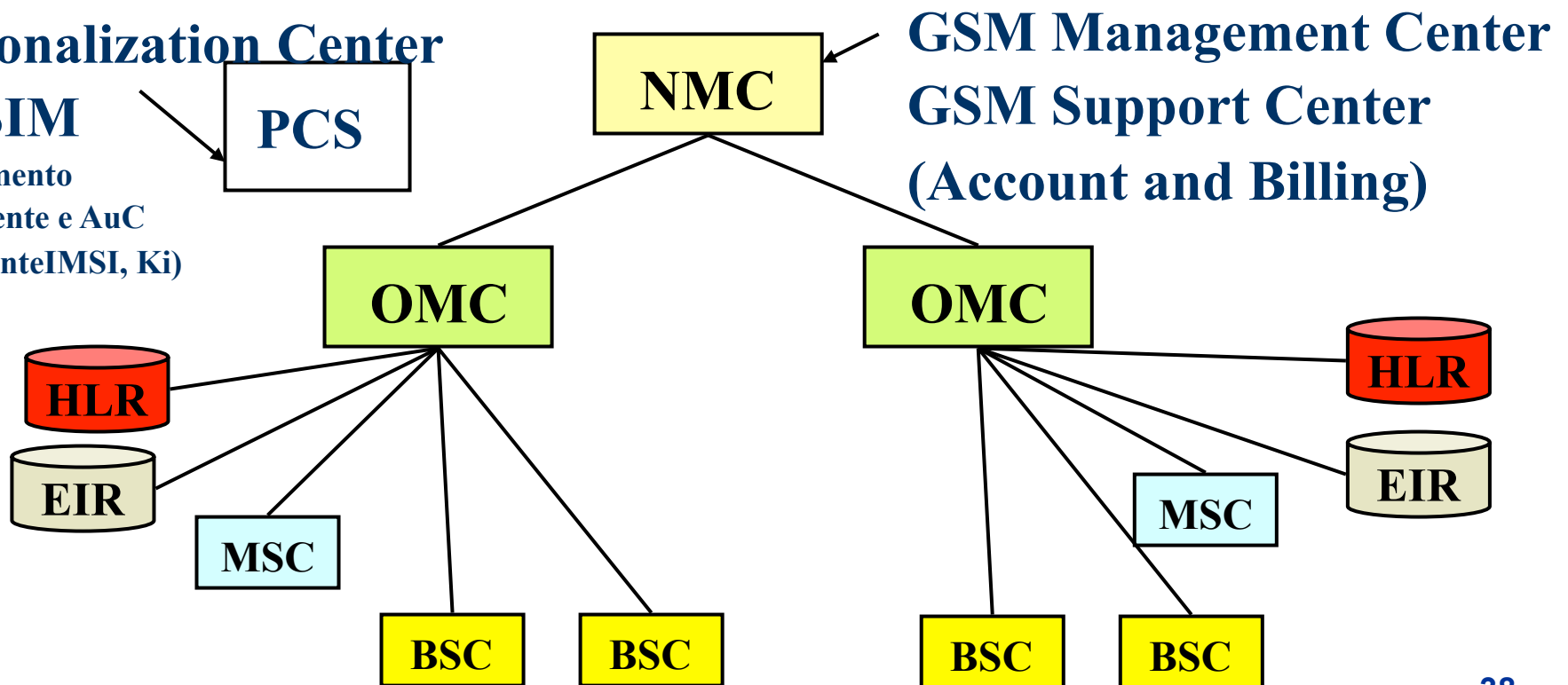
Operation and Maintenance Subsystem (OMSS)



- È basato su una struttura gerarchica
 - OMC (Operation & Maintenance Centre) regionali
 - NMC (Network Management Centre)

Personalization Center for SIM

(caricamento Lato utente e AuC Dati utente IMSI, Ki)



Billing nella rete GSM (cenni)

- **Regole di Billing: il chiamante paga. Chi riceve nel caso di roaming puo' pagare per la tratta internazionale.**
- **Originating call component: dall'MSC chiamante a entita' di rete collegata a numero destinatario (paga il chiamante)**
- **Roaming o call forwarding: entrambi possono pagare per la tratta da home PLMN del chiamato a network entity puntato da servizio di forwarding chiamata o da home PLMN fino a MSC/VLR puntato dall'HLR nel caso di roaming**

Numeri e ID in GSM

■ Mobile Station ISDN Number (MSISDN)

E' il numero telefonico dell'utente (<=15 cifre)

Country Code - National Destination Code -Subscriber Number

Identifica HLR

■ Mobile Station Roaming Number (MSRN)

Assegnato dal VLR corrente;comunicato su richiesta all'HLR;
permette all'HLR di far sapere al GMSC come prolungare
la connessione fino alla posizione corrente dell'MS

■ **Handover Number** (comunicato dall'MSC target all'MSC initial in
caso di inter-MSC handover, consente di completare il collegamento
verso l'MSC target)

utilizzati scopo istradamento

Numeri e ID in GSM

Identita' associate ad una mobile station

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

Memorizzato permanentemente nella SIM e HLR, temporaneamente nel VLR; identifica l'utente che ha sottoscritto l'abbonamento

Mobile Country Code (3 cifre)--Mobile Network Code(2)—Mobile Subscriber Identification Number

- **Temporary Mobile Subscriber Identity (TMSI)**

Identita' temporanea assegnata da un VLR ad una MS per evitare di trasmettere l'IMSI sulla tratta radio; 4 ottetti, struttura non standardizzata

- **International Mobile Equipment Identity (IMEI)**

Identifica in modo univoco un apparato mobile (HW), memorizzato in HW dal costruttore. Contiene:

TAC =Type Approval Code (6 cifre); FAC (Final Assembly Code), 2 cifre (luogo di costruzione/assemblaggio), SNR(Serial Number), 6 cifre

Numeri e ID in GSM

Correlate mobilità' utenti

■ Location Area Identity (LAI)

Identifica la location area all'interno della quale si trova correntemente l'MS. Memorizzato nel VLR. Contiene Mobile Country Code, Mobile Network Code (operatore), Location Area Code

■ Cell Global Identity (CGI), identifica la cella (LAI+Cell Identity che identifica una cella all'interno di una location area)

■ Regional Subscription Zone Identity (RSZI)

Serve nel caso di abbonamenti con accesso solo su base regionale in cui serve quindi poter identificare le regioni all'interno delle quali e' permesso all'utente di fare roaming.

■ Base Station Identity Code (BSIC)

E' un 'codice colore' che permette all'MS di distinguere tra BTS adiacenti. Ogni BTS invia il proprio BSIC sul canale logico Synchronization channel su una portante predefinita. 42

Informazioni memorizzate nella rete GSM

- IMSI (→HLR,VLR)
- MSISDN (→HLR, VLR)
- TMSI (→VLR)
- categoria della MS (→HLR,VLR)
- RAND,SRES,Kc (→HLR, su richiesta VLR)
- Cyphering Key Sequence Number (→VLR)
- MSRN (→VLR, su richiesta dato all'HLR)
- LAI (→VLR)
- VLR number (→HLR)
- HLR number (→VLR)
- subscription restrictions (→HLR)
- dati correlati con servizi base, supplementari (→HLR,VLR)
- IMSI detached flag (→VLR)
- Sbarramenti da operatore (→HLR, alcuni VLR)

3.3 – Interfaccia Radio

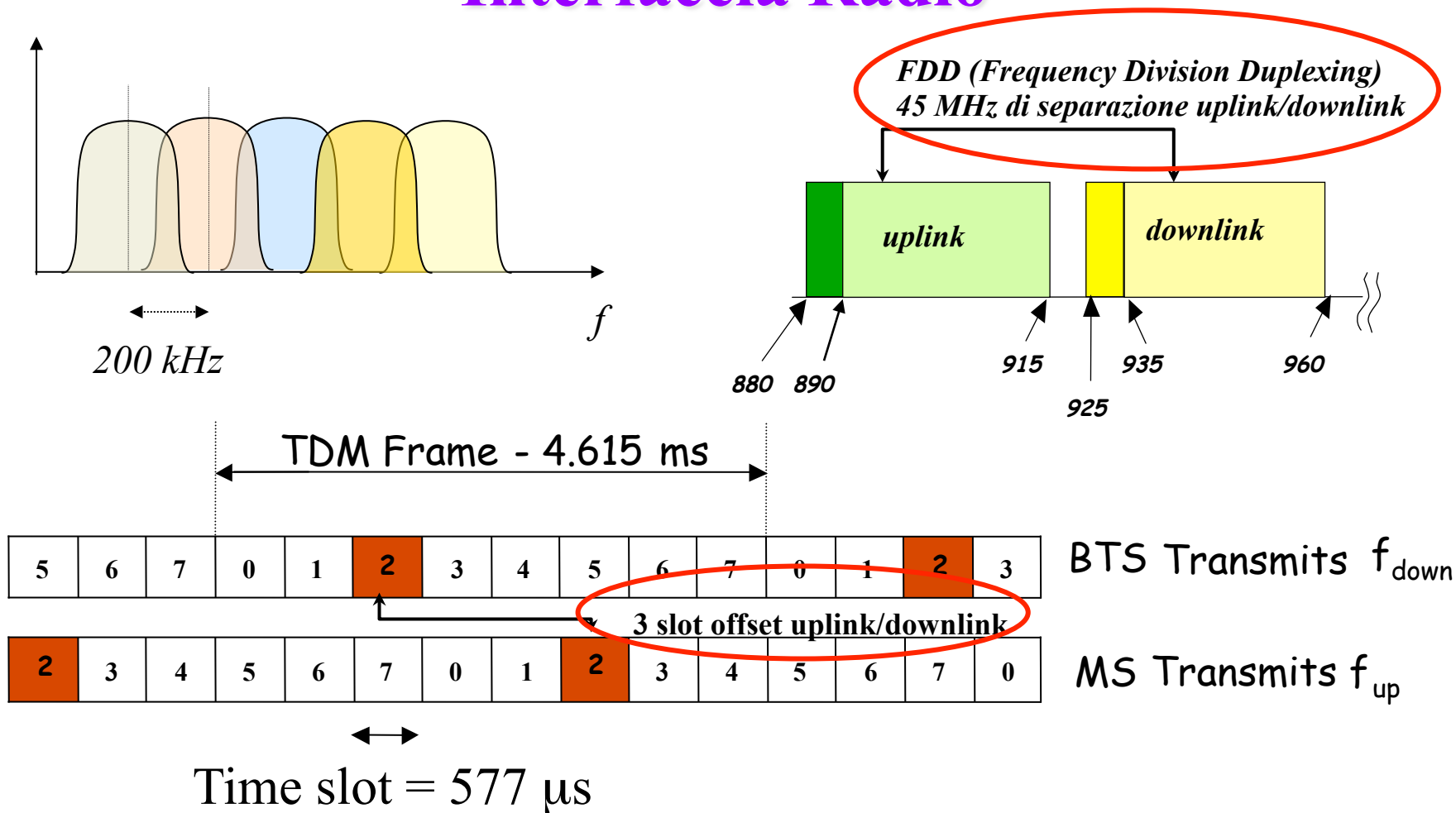
Reti Radiomobili

Interfaccia radio

si veda

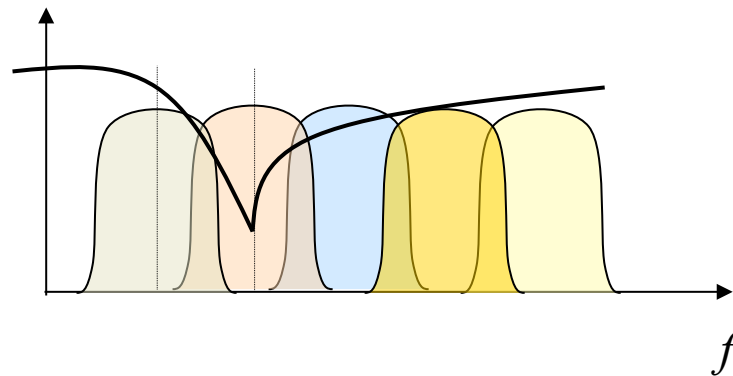
- O. Bertazioli, L. Favalli, *GSM-GPRS*, Hoepli
Informatica 2002
*Capitolo 6***

Interfaccia Radio



Frequency Hopping

- L'effetto del fading da multipath dipende anche dalla frequenza del segnale
- Ci possono essere portanti con bassa attenuazione e portanti con alta attenuazione



- Essendo la trasmissione protetta da codici FEC è meglio che gli errori dovuti a qualche portante fortemente attenuata siano distribuiti su più flussi informativi
- Si adotta un meccanismo di salto di frequenza che cambia la frequenza ogni slot secondo una sequenza fissa

Power Control

- **La potenza di emissione delle MS è controllata dalla BTS**
- **La BTS invia dei comandi di power control che richiedono alla MS di alzare o abbassare la potenza trasmissiva**
- **Lo step di incremento/decremento è di 2 dB**
- **L'obiettivo del controllo è di portare la potenza ricevuta dalla BTS ad un livello prefissato**
- **Il power control riduce l'interferenza media nel sistema riducendo la potenza delle MS con piccola attenuazione di canale (vicine alla BTS)**
- **Il power control riduce anche il consumo di energia delle MS**

Sincronismo nel GSM

- **Sincronismo di portante**
 - ogni MS deve recuperare con precisione la frequenza della portante radio
- **Sincronismo di slot**
 - Ogni MS deve avere informazioni sullo slot corrente
- **Sincronismo di trama**
 - Ogni MS deve conoscere il Frame Number corrente
- **Sincronismo tra stazioni base (opzionale)**
 - Le stazioni base hanno orologi sincroni
 - Le stazioni base hanno lo stesso Frame Number

Sincronismo di portante

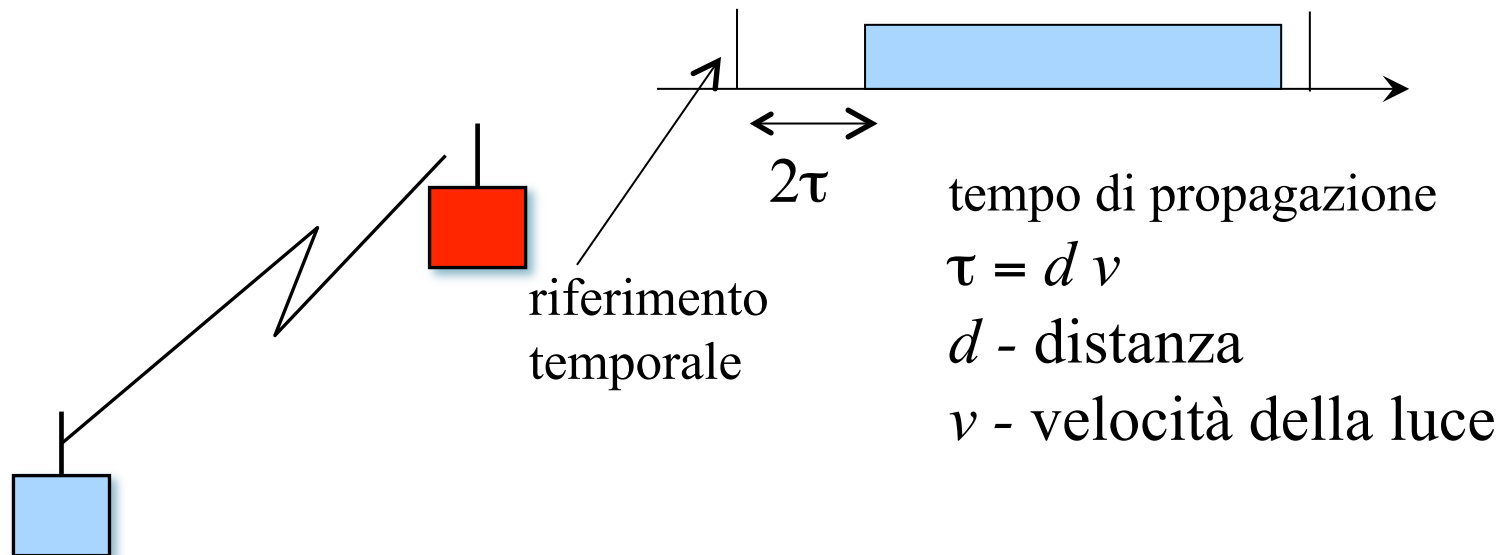
- **La frequenza della portante radio viene recuperata dalla MS ascoltando il canale broadcast comune trasmesso dalla BTS**
- **Su tale canale, ad intervalli regolari, viene trasmesso uno slot speciale con bit fissi che sono usati per recuperare con precisione l'informazione sulla frequenza della portante e quindi aggiustare la frequenza dell'oscillatore locale**

Sincronismo di slot e trama

- **Molti canali nel GSM seguono una struttura a multitrama (ad esempio: il canale di broadcast è trasmesso ogni x trame)**
- **La sequenza di Frequency Hopping dipende dalla multitrama**
- **Ogni MS deve quindi conoscere il numero di trama corrente per interpretare correttamente l'informazione**
- **La stazione base BTS trasmette sul canale di broadcast informazioni che permettono alle MS di ricostruire la scansione temporale di slot e il Frame Number**

Sincronismo di slot

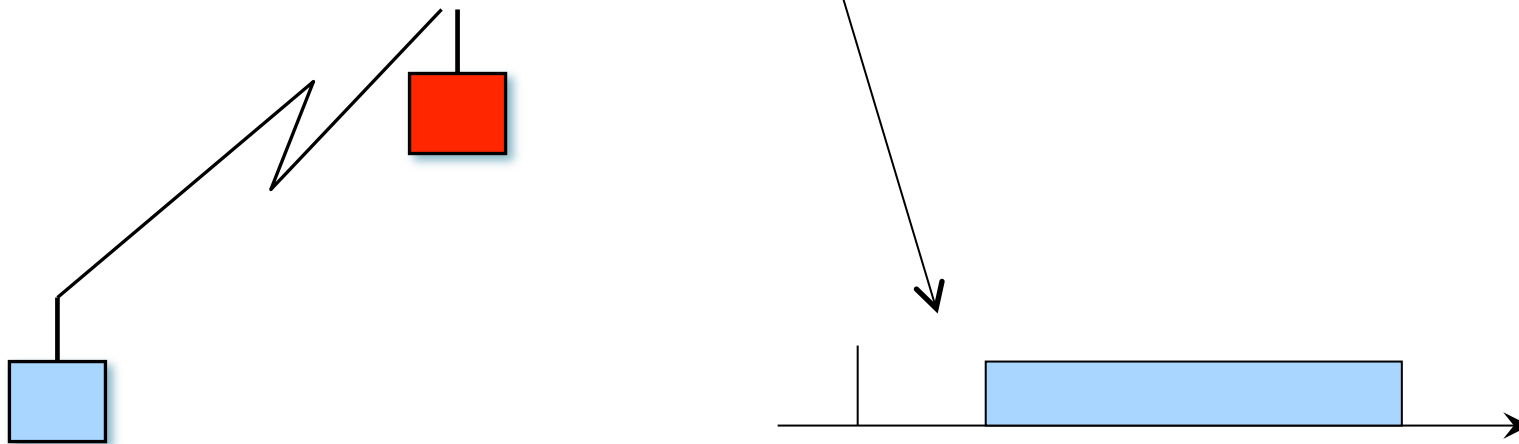
- Le trasmissioni up/down link subiscono ritardi di propagazione dipendenti dalla posizione delle MS
- Necessità di avere in ogni slot una parte di bit non significativi per garantirsi un certo margine sull'errore



Sincronismo di slot

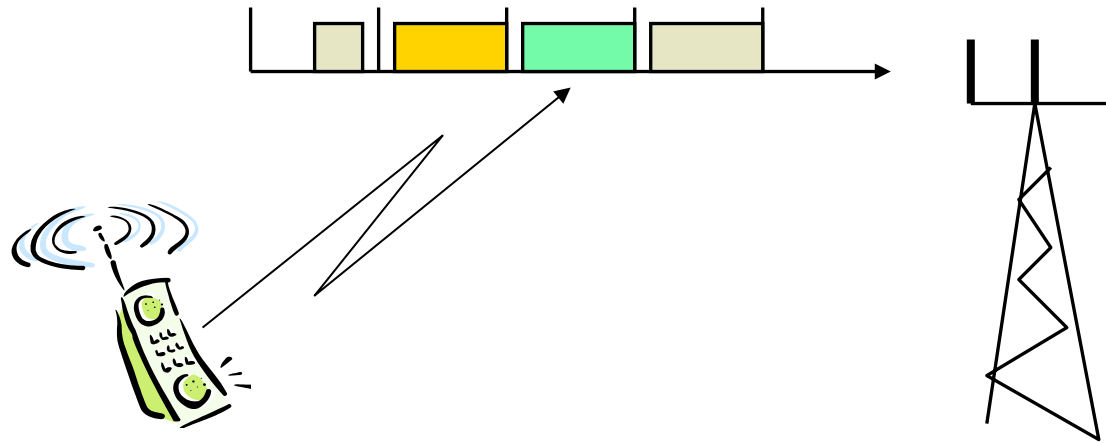
- In genere si effettua una scelta conservativa per cui il tempo di guardia è:

$$T_g = \max_i(2\tau_i)$$



Sincronismo di slot

- La rete GSM è progettata per avere celle con $R_{max}=35$ Km
- Nella situazione peggiore (ai bordi) si ha un tempo di guardia di $2\tau = 2 \times 35 / 3 \times 10^8 = 233 \mu s$
- che corrisponde a **68,25 bit** alla velocità di 270.8 kb/s



Sincronismo di slot: Timing Advance

Per limitare il tempo di guardia:

- la BTS stima il ritardo e invia l'informazione alla MS che può quindi compensare anticipando la trasmissione
- usato nel GSM: si anticipa la trasmissione all'allontanarsi dalla base (timing advance, riduce il tempo di guardia a circa **9 bit**, pari a **33,3 μ sec**)

