

WIRELINE AND WIRELESS NETWORKS

1. INFO PRELIMINARI

1.1. Commutazione di circuito

. Per garantire elevata qualità del servizio (es. sistema telefonico), si può instaurare una connessione, riservare banda, spazio e tempo di CPU, ed ogni pacchetto viene instradato seguendo lo stesso percorso.

1.2. Commutazione di pacchetto

. Ogni pacchetto viene instradato indipendentemente da gli altri. Un esempio di protocollo che usa commutazione di pacchetto è IP.

1.3. Tecniche di accesso al mezzo da parte di utenti

. Un canale di trasmissione può essere rappresentato nei domini tempo/frequenza.

1.3.1. TDMA

. TDMA (accesso multiplo a divisione di tempo), suddivide l'accesso al canale in intervalli temporali che rappresentano le varie opportunità trasmissive.

Viene assegnato un time slot a ciascun utente, per tutta la banda a disposizione.

Svantaggio: il numero di utenti è limitato al numero di time slots.

Non tutto il time slot è a disposizione dell'utente, vengono mantenuti piccoli intervalli vuoti (tempi di guardia), per evitare interferenza e garantire il sincronismo. (Sincronismo serve all'utente per capire quale sia il suo time slot).

1.3.2. FDMA

. **Viene assegnata una porzione di banda a ciascun utente per tutta la durata temporale.**

Con FDMA (accesso multiplo a divisione di frequenza) solo un utente può trasmettere alla **stessa frequenza** alla volta.

Vantaggio: è possibile riservare la comunicazione del canale per tutto il tempo a tutti gli utenti (il numero di utenti non è più limitato dai time slots).

Svantaggio: la comunicazione avviene a banda stretta (basso bit rate).

Gli utenti si devono accordare su N frequenze, si rendono necessari N ricevitori.

1.3.3. GSM

. Tecnica di accesso misto FDMA, TDMA.

Viene assegnata una sottobanda ed un time slot a ciascun utente.

In questo modo il numero di utenti che possono avviare una comunicazione è maggiore. Tuttavia il bit rate è ancora basso.

Caratteristiche di FDMA-TDMA nel 2G:

- La banda viene divisa in 124 portanti (canali di banda 200 KHz).
- 8 slot di tempo su ogni portante.

1.3.4. Da GSM a GPRS

. Si riservano 8 connessioni per un utente.

1.3.5. Da GPRS a UMTS

.

1.3.6. CDMA

. **Viene assegnata tutta la banda per tutta la durata temporale a ciascun utente. Gli utenti si distinguono in base a delle chiavi.**

La chiave si costruisce a partire da un codice, una sequenza di ± 1 nota alla rete e assegnata ad ogni utente, si tratta di codici ortogonali tra loro (prodotto scalare = 0).

WCDMA accesso multiplo a divisione di codice.

GENERAZIONE	TECNICA DI ACCESSO AL MEZZO	STANDARD
1G	FDMA analogico	AMPS (non è uno standard mondiale)
2G	accesso misto FDMA, TDMA digitale	GSM (sistema globale per comunicazioni mobili)
2.5G	oltre voce anche dati	GPRS, EDGE
3G	CDMA, SCDMA, WCDMA	UMTS
3.5G		
3.9G	OFDMA	
4G	OFDMA	LTE, IP based
5G		

TABLE 1. sum up

1.4. Modulazione

. Il segnale che contiene l'informazione da trasmettere viene modulato, ovvero modificato, in modo da adattarlo alle caratteristiche del canale di comunicazione e renderlo idoneo per il trasporto attraverso il canale stesso. La modulazione serve a: aumentare la distanza di trasmissione, ottimizzare l'uso della banda di frequenza, migliorare la qualità di trasmissione

1.4.1. *FSK*. Nella modulazione FSK, i dati da trasmettere sono rappresentati da diversi valori di frequenza, dove ogni frequenza corrisponde a un diverso simbolo binario (cioè 0 o 1). Per trasmettere i dati digitali, un modulatore FSK cambia la frequenza di un segnale portante tra le frequenze f_1 e f_2 (che corrispondono ai due simboli binari 0 e 1).

Ad esempio, se i dati binari sono "10101100", il modulatore emette una sequenza di frequenze che corrisponde alle frequenze f_1 e f_2 per ogni bit della sequenza. Al ricevitore, un demodulatore FSK rileva le variazioni di frequenza del segnale portante e le ritraduce in dati binari.

L'FSK è relativamente immune al rumore e alle interferenze, ha un'ampiezza di banda ridotta rispetto ad altre tecniche di modulazione, il che consente un uso più efficiente dello spettro disponibile

Part 1. From 1G to 5G: le diverse generazioni di tecnologie di telecomunicazione mobile

2. 1G

Con 1G si intendono i primi standard di trasmissione dati attraverso la rete di telefonia mobile. Le reti 1G trasmettevano i dati secondo uno standard **analogico**.

- (1) La **Mobile Station** è il dispositivo mobile che consente agli utenti di comunicare con la rete PSTN.
- (2) La **PSTN** (Public Switched Telephone Network) è una rete a commutazione di circuito che consente di connettere telefoni fissi in tutto il mondo.

La rete PSTN è composta da una serie di commutatori telefonici (switch) interconnessi che consentono alle chiamate di essere instradate tra i telefoni collegati alla rete.

Questi switch sono in grado di instradare le chiamate a destinazioni diverse, sia all'interno della rete PSTN che in altre reti di telecomunicazioni, come la rete cellulare o Internet.

La PSTN sta gradualmente diventando obsoleta e sta venendo sostituita da sistemi di telecomunicazioni più avanzati come la Voice over IP (VoIP).

- (3) La **Base Station** è l'infrastruttura che consente ai vari MS di comunicare tra loro e con la rete PSTN. La Base Station è costituita da una serie di antenne e di apparati di trasmissione e ricezione, ed è situata in posizioni strategiche per garantire una copertura adeguata dell'area geografica in cui si trova. Quando un telefono cellulare si connette alla rete, viene identificato dalla Base Station più vicina, che funge da "porta d'ingresso" alla rete PSTN.
- (4) Una **cella** è un'area geografica definita all'interno della quale gli MS possono comunicare con una BS, che a sua volta trasmette i segnali alla rete PSTN.

Riassumendo: Una Base Station (BS) fa da intermediario, tramite una serie di apparati di controllo, tra l'utente mobile (MS) e la rete telefonica pubblica (PSTN).

Altri concetti interessanti:

- **Traffico di segnalazione indipendente dall'informazione:** le informazioni di controllo (segnalazione) e quelle di contenuto (informazione utente) venivano trasmesse separatamente sulla PSTN.

- **Indipendenza dalla posizione dell'utente:** si consente ai telefoni cellulari di comunicare ovunque senza essere limitati dalla posizione dell'utente. Questo anche grazie alla comunicazione tra database che contengono informazioni sugli abbonati (info sulle configurazioni, sullo stato della rete).

2.1. Standard AMPS

. AMPS (Advanced Mobile Phone Systems) è uno standard di comunicazione wireless utilizzati per fornire servizi di telefonia mobile.

AMPS utilizzava una combinazione di tecnologie FDMA e FDD.

- **FDMA** (Frequency Division Multiple Access) è una tecnologia di accesso multiplo al canale a divisione di frequenza. **Viene assegnata una porzione di banda a ciascun utente per tutta la durata temporale.** Con FDMA solo un utente può trasmettere alla stessa frequenza alla volta.
Vantaggio: è possibile riservare la comunicazione del canale per tutto il tempo a tutti gli utenti (il numero di utenti non è più limitato dai time slots).
Svantaggio: la comunicazione avviene a banda stretta (basso bit rate). Inoltre gli utenti si devono accordare su N frequenze, si rendono necessari N ricevitori.
- **FDD** (Frequency Division Duplex) è una tecnologia che consente la trasmissione simultanea di dati in entrambe le direzioni (doppio flusso) su un canale radio. Questa tecnologia divide la banda disponibile in due bande separate: una per la trasmissione e una per la ricezione.

2.2. Funzionamento di un sistema AMPS

. Il sistema AMPS assegna in maniera flessibile:

- Un canale dei 416 canali disponibili ad una MS per le trasmissioni da MS a BS (uplink). Il canale è nella banda 824-849 MHz.
- Un canale per le trasmissioni dalle BS alle MS (downlink) nella banda 869-894 MHz
- Ogni canale ha una larghezza di banda di 30 KHz, la larghezza di banda rappresenta la quantità di spazio nella banda utilizzata per trasmettere un segnale specifico. Questa larghezza di banda è sufficiente per trasmettere la voce umana con una buona qualità di trasmissione, ma è relativamente limitata rispetto ai sistemi di telecomunicazioni mobili di generazioni successive

L'assegnazione dei canali avviene in funzione della potenza del segnale, in modo da garantire una buona qualità di trasmissione.

Inoltre, la stessa banda viene assegnata a diverse celle, ma le celle adiacenti utilizzano sottobande diverse per minimizzare le interferenze. Questo fenomeno si chiama “**riuso delle frequenze**”, e permette di utilizzare in modo più efficiente la banda disponibile e di aumentare la capacità del sistema.

3. 2G

Il 2G è stato un passo in avanti rispetto a 1G, poiché ha introdotto la trasmissione **digitale** del segnale audio, migliorando la qualità delle chiamate e consentendo una maggiore efficienza nella gestione delle risorse di rete.

3.1. Standard GSM

. GSM (Global System for Mobile Communications) è uno standard di comunicazione wireless utilizzato per fornire servizi di telefonia mobile a livello mondiale.

Il sistema GSM utilizza una tecnica di accesso misto **FDMA, TDMA.**

Viene assegnata una sottobanda ed un time slot a ciascun utente.

In questo modo il numero di utenti che possono avviare una comunicazione è maggiore. Tuttavia il bit rate è ancora basso.

- La banda viene divisa in 124 portanti (canali di banda 200 KHz).
- 8 slot di tempo su ogni portante (vuol dire che 8 utenti dividono una sottobanda tra le 124 disponibili).

GSM ha consentito ai telefoni cellulari di diventare dispositivi di comunicazione globali, offrendo servizi di roaming (commutazione automatica fra diverse reti grazie all'interoperabilità). Ha anche reso possibili molti altri servizi, come gli SMS (Short Message Service), l'invio di immagini e la navigazione su Internet.

3.1.1. FH: Frequency Hopping

. FH è una tecnica utilizzata per migliorare la sicurezza e la resistenza alle interferenze delle comunicazioni. In pratica, il sistema trasmette il segnale su diverse frequenze in rapida successione (in questo caso 217 cambi di frequenza al secondo), FH può ridurre il rumore e migliorare la qualità della trasmissione.

Che calcolo si può fare?

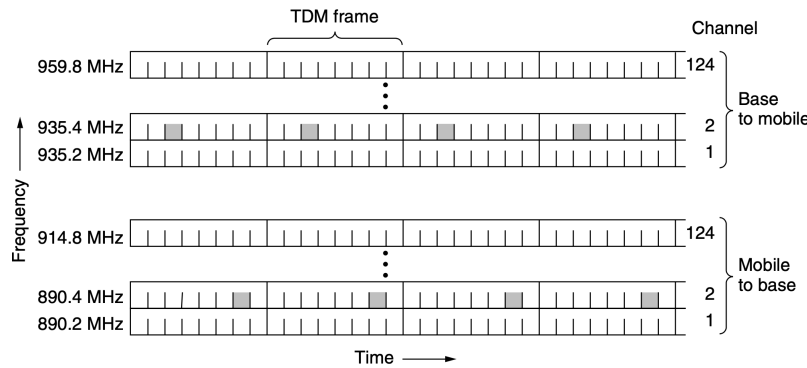


FIGURE 1. GSM usa 124 sottobande (canali), ciascuno usa 8 time slot. L'uplink per GSM-900 è nella banda tra 890-915MHz, mentre il downlink è nella banda tra 935-960 MHz. (Con GSM-1800 le frequenze sono diverse).

3.1.2. FEC: Forward Error Correction

. FEC è una tecnica utilizzata per correggere gli errori di trasmissione. In pratica, il sistema aggiunge informazioni ridondanti ai dati trasmessi in modo da poter correggere gli eventuali errori che si verificano durante la trasmissione. In questo modo, il destinatario può ricevere i dati in modo corretto anche se alcuni bit sono stati persi o danneggiati durante la trasmissione.

3.1.3. Interleaving

. L'interleaving è una tecnica utilizzata per ridurre gli effetti della perdita di frame. In pratica, il sistema divide i dati in pacchetti più piccoli, che vengono trasmessi in sequenza su canali diversi. In questo modo, se un canale è soggetto a interferenze o perdita di dati, solo una piccola parte dei dati verrà persa, invece di un intero pacchetto. Inoltre, i pacchetti vengono trasmessi in modo non sequenziale, in modo da ridurre la possibilità che si perda un gran numero di bit in rapida successione.

3.1.4. GMSK

. Il 2G utilizza come tecnica di modulazione GMSK. In GMSK la forma d'onda FSK viene fatta passare attraverso un filtro gaussiano prima della trasmissione. Il motivo per cui la forma d'onda FSK viene filtrata attraverso un filtro gaussiano è quello di ridurre l'interferenza intersimbolica (ISI).

3.1.5. Sincronizzazione

. Il sincronismo (di trama) consente di individuare in modo preciso l'istante di inizio del time slot relativo a ciascun canale. Affinché le diverse MS trasmettano correttamente nei propri time slots è necessario che condividano un qualche riferimento temporale. A tale scopo le BS trasmettono un segnale di sincronizzazione periodico, che viene ricevuto dai MS.

BS invia segnale di sincronizzazione → MS lo riceve → MS sa che è il suo turno quindi trasmette il proprio segnale.

Se l'MS trasmettesse il proprio segnale in ritardo (rispetto al segnale di sincronizzazione della BS), la BS riceverebbe un segnale debole o fuori sincronia (peggiorando la qualità della connessione.). Al contrario, se l'MS trasmettesse in anticipo, il segnale potrebbe generare interferenza.

La BS può ordinare a MS di anticipare l'inizio della sua trasmissione in modo da compensare il ritardo di propagazione tra MS e BS.

I canali TDMA consentono una tolleranza di temporizzazione di poco più di 100ms oltre il quale il segnale tra BS e MS non può propagarsi. Poiché le onde elettromagnetiche percorrono un km in circa 3.2 ms, la massima distanza è $\frac{100}{3.2} = \text{circa } 31 \text{ km}$.

3.2. 2G Dataframe

. Ogni TDM (Multiplexing a divisione di tempo, time slot) occupa il canale per $577 \mu s$ (incluso il guardband di $30 \mu s$). Il canale è occupato per la trasmissione di un dataframe di 148 bit.

Il frame:

- Inizia e termina con tre bit 0, per la delineazione (indicano il limite tra una slot e il successivo per aiutare il ricevitore a identificare il punto in cui inizia e finisce ogni slot).

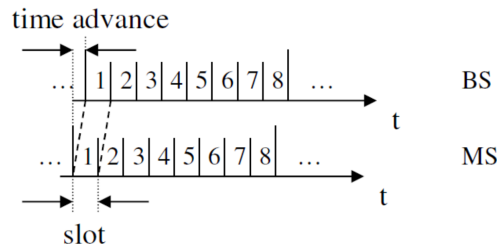


FIGURE 2. MS inizia a trasmettere il segnale in anticipo

- Contiene due campi di informazioni da 57 bit + un bit di controllo, che specifica se l'informazione trasmessa è voce o dati.
- Contiene un campo Sync (o campo di training) di 26 bit, utilizzato dal ricevitore per sincronizzarsi con il trasmettitore (e per regolare la propria frequenza di campionamento in modo da acquisire i dati in modo corretto).

Il data frame occupa il canale per $577 \mu s$, ma viene inviato ogni 4,615 msec, perché il trasmettitore condivide il canale con altre sette stazioni (8 slot di tempo su ogni portante).

La velocità lorda di ogni canale è di 270 kbps, suddivisa tra otto utenti. Tuttavia, l'overhead consuma un'ampia frazione della larghezza di banda, lasciando in definitiva 24,7 kbps di carico utile per utente prima della correzione degli errori. Dopo la correzione degli errori, rimangono 13 kbps.

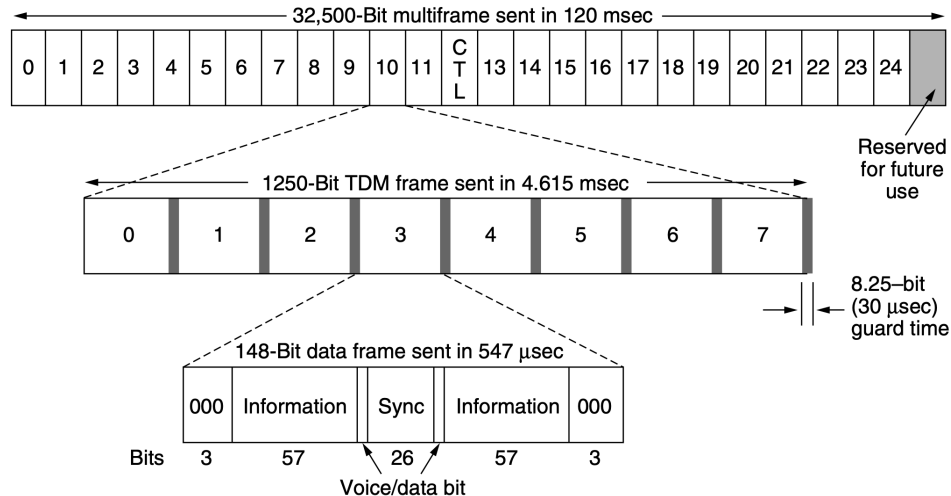


FIGURE 3. **Livello più in basso:** ogni slot TDM permette la trasmissione di 148 bit (un data frame). **Livello intermedio:** in un canale vengono trasmessi in sequenza 8 data frame di 8 utenti distinti (8 data frame compongono un frame TDM). **Livello alto:** 26 frame TDM compongono un multiframe. Esiste anche un canale per i dati di controllo dalla BS verso MS (Broadcast Control Channel).

3.3. Classificazione delle celle

La classificazione delle celle è un modo per descrivere la dimensione e la portata di una BS in una rete di telecomunicazioni cellulari.

- (1) Le **macrocelle** sono le celle più grandi e hanno una portata che può raggiungere i 31 km. Sono utilizzate in zone con traffico scarso e hanno potenze di trasmissione dell'ordine di 10 W. Le macrocelle possono essere utilizzate anche come copertura overlay, che consiste nell'aggiungere ulteriori BS per migliorare la copertura in aree con scarsa ricezione del segnale.
- (2) Le **microcelle** sono celle più piccole rispetto alle macrocelle e hanno una portata che può arrivare fino a 2 km. Sono utilizzate in aree con traffico elevato, come centri urbani o grandi complessi commerciali. Le

microcelle utilizzano potenze di trasmissione inferiori rispetto alle macrocelle, in genere nell'ordine di pochi watt.

- (3) Le **small cells** sono celle che hanno una copertura locale e sono suddivise in picocelle e femtocelle.

Le **picocelle** sono utilizzate per coprire singoli edifici o aree limitate come un campus universitario o aeroporto (alta densità di utenti). Hanno una portata di poche centinaia di metri.

Le **femtocelle** sono utilizzate per la copertura indoor di case o piccoli edifici, come uffici o negozi. Hanno una portata ancora più limitata rispetto alle picocelle, ma possono fornire una copertura di segnale più stabile.

La portata diminuisce sempre di più, ma ci sono diversi vantaggi per adottare una rispetto ad un'altra soluzione. Ad esempio le femtocelle che sono adatte in un contesto domestico, riducono il carico sulla rete cellulare esterna (il traffico viene instradato attraverso la femtocella e non attraverso la BS esterna), riducono i costi (le femtocelle sono relativamente economiche da produrre e installare, rispetto alle BS esterne) etc...

3.4. Architettura di una rete 2G

. Appunti presi a lezione:

BS riceve/ trasmette segnale e si collega con il "cervello della rete" MTSO anche chiamato Mobile Switching Center, MTSO gestisce handover (handoff), ossia il fatto che l'utente si sposti da una BS ad un'altra. BS ha un controller che decide quali segnali vanno trasmessi.

Handover nell'1G veniva gestito in modo centralizzato (poco efficiente, può capitare che un canale non venga utilizzato e venga ancora associato ad una MS), questo viene superato con il 2G.

Appunti successivi:

La rete viene divisa in: Mobile Stations, Access Network, Core Network.

- **Access Network:** L'MS parla con la **BTS** usando un collegamento wireless che prende il nome di air interface (interfaccia aerea). Le BTS sono collegate a un **BSC** (base station controller, controllore di BS) che gestisce le risorse radio delle celle e handover dei dispositivi.
- **Core Network:** Il BSC è a sua volta collegato a un **MSC** (anche in AMPS) che instrada le chiamate e si connette alla rete telefonica fissa, PSTN (public switched telephone network). Per essere in grado di instradare le telefonate, l'MSC ha bisogno di sapere dove trovare i dispositivi mobili, per cui mantiene un database dei telefoni associati con le celle che gestisce. Questo database prende il nome di **VLR** (visitor location register). Esiste inoltre un database nella rete che fornisce l'ultima posizione nota di ogni terminale ed è chiamato **HLR** (home location register); tale database viene usato per instradare le chiamate in arrivo verso le giuste posizioni. Entrambi i database devono essere tenuti aggiornati mano a mano che i terminali mobili si spostano da una cella all'altra.

Chiarimenti: fino ad ora si è parlato genericamente di BS, tuttavia bisogna fare una distinzione tra:

La **BTS** (Base Transceiver Station) è una stazione che trasmette e riceve segnali radio da e verso gli MS. La BTS fornisce la copertura radio all'interno di una particolare area geografica, chiamata cella. La BTS trasmette le informazioni di controllo e le informazioni vocali o dati tra MS e il resto della rete.

Il **BSC** (Base Station Controller) gestisce le attività delle BTS. Il BSC gestisce l'accesso al sistema, (l'autenticazione degli utenti e l'autorizzazione all'accesso alla rete mobile), gestisce l'allocazione delle risorse radio alle MS e dell'handover dei dispositivi.

Altri chiarimenti:

L'MS è ora diviso in un dispositivo e un chip rimovibile chiamato SIM (modulo di identificazione dell'abbonato). È la SIM che permette al telefono di funzionare e contiene dati segreti che consentono all'apparecchio e alla rete di identificarsi vicendevolmente e di cifrare le telefonate.

L'MSC si occupa della commutazione di circuito. Quando un utente effettua una chiamata o invia un messaggio di testo, l'MSC instrada la chiamata o il messaggio attraverso i nodi della rete. L'MSC si occupa dell'autenticazione degli abbonati, mantenimento di una posizione aggiornata per ciascun abbonato e avvio delle procedure di handover. (Durante l'handover, il BSC e il MSC lavorano insieme per garantire che la connessione del telefono cellulare

non venga interrotta)

L'**SGSN**, gestisce la commutazione di pacchetto.

VLR (Visitor Location Register) memorizza stato e locazione dell'utente. È un database temporaneo che memorizza le informazioni relative all'utente che si trova in una cella della rete mobile. In pratica, ogni volta che un utente entra in un'area di copertura di una nuova cella della rete, il VLR registra temporaneamente le informazioni dell'utente, come ad esempio il numero di telefono dell'utente e la sua posizione geografica. In questo modo, l'utente è raggiungibile per dagli altri utenti della rete.

HLR (Home Location Register) memorizza il numero di telefono dell'utente, la posizione geografica dell'utente, il tipo di servizio a cui l'utente è abbonato e altre informazioni relative all'account dell'utente. L'HLR è un database permanente che conserva i dati dell'utente per tutta la durata dell'abbonamento.

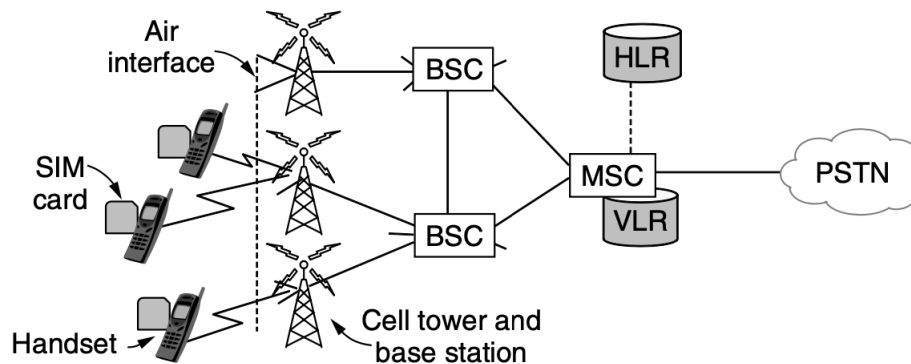


FIGURE 4. Quando una chiamata viene effettuata dall'MS il segnale radio viene ricevuto dalla BTS, la BTS instrada la chiamata al BSC. Il BSC invia la chiamata all'MSC, che consulta HLR e VLR e instrada la chiamata.

3.5. Registrazione all'interno di una rete mobile

. Appunti presi a lezione

Utente accende il cellulare e si aggancia ad una cella. La MS ascolta un segnale broadcast che si chiama **Broadcast Control Channel**. Sceglie quale cella in base alla potenza del segnale maggiore. Dopo aver scelto la BS, la MS invia segnale di richiesta di accesso (**Random Access Channel**) MS trasmette informazioni sulla sua identità. **Visitor Location Register** e **Home Location Register** acquisiscono informazioni sul fatto che MS voglia registrarsi. Una collisione si verifica se due MS usano lo stesso Random Access Channel. La BS manda le informazioni a MSTO, ora la MS è identificata. Un segnale dedicato dentro **Access Grant Channel** viene mandato a MS per garantire che la registrazione è avvenuta.

Chiamata MS → BS

MS manda segnale a Random Access Channel contenente ID del destinatario dei dati. BS riceve segnale e chiama MSTO. MSTO sceglie canale Idle (canale dati che non sta lavorando) BS lo comunica a MS che avvia la comunicazione.

Chiamata BS → MS

Esiste canale Paging Channel (cerca-persone) tutti gli MS ascoltano sul quel canale. Quando viene richiesta la connessione di un MS (MS se ne accorge grazie a Paging Channel), MS richiede Random Access Channel.

Appunti successivi:

Structure of a GSM network

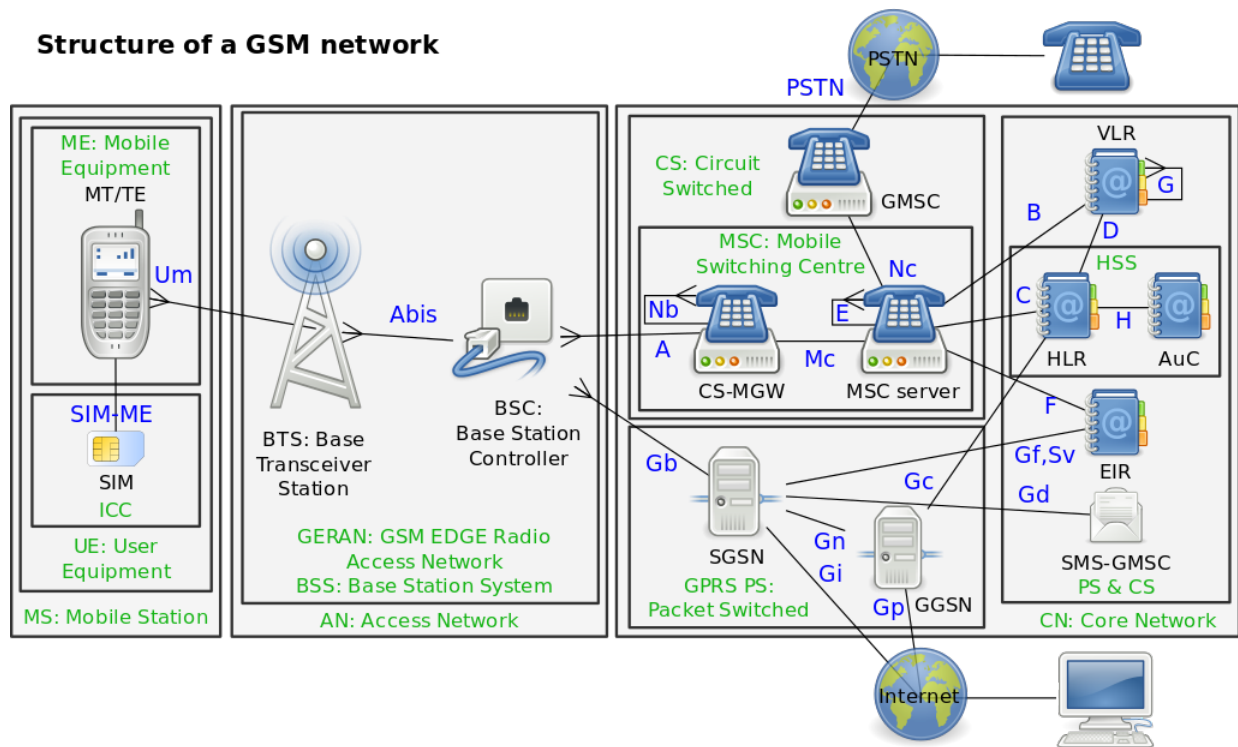


FIGURE 5. Architettura GSM da 2.5G

- Ogni telefono ha un numero seriale (IMEI) e un numero di telefono. Quando viene acceso, il telefono ascolta il segnale broadcast trasmesso dalle BS per trovare il segnale più potente. Il segnale inviato dalle BS viene trasmesso sul **Broadcast Control Channel** e contiene 1. il codice identificativo della BS 2. le informazioni sui canali attualmente in uso.
- L'MS stima la potenza ricevuta da tutte le BS vicine e sceglie la migliore. L'MS invia il segnale di richiesta di accesso sul **Random Access Channel** in cui comunica il numero seriale e il numero di telefono alla BS. Il Random Access Channel viene utilizzato per la registrazione quando si entra in una cella, e quando l'MS deve effettuare una chiamata. La MS esegue una procedura di accesso casuale inviando la richiesta. Se ci sono più richieste contemporanee c'è collisione e le MS che hanno colliso ritentano dopo un ritardo casuale. La registrazione va comunque ripetuta ogni mezz'ora, una BS memorizza l'MS temporaneamente.
- Quando la BS riceve il segnale, aggiorna l'MSC che registra la presenza del nuovo cliente. Se la registrazione è avvenuta con successo la BS invia la risposta di conferma di registrazione all'MS sull'**Access Grant Channel**.
- Per fare una telefonata, il telefono trasmette il numero da chiamare e la propria identità attraverso il **Random Access Channel**. La BS quando riceve la richiesta informa l'MSC.
- L'MSC cerca un **idle channel** da assegnare alla chiamata. Se ne trova uno, comunica il numero del canale all'MS (su quale canale?). L'MS allora passa automaticamente al canale che gli è stato assegnato e attende che la persona chiamata risponda.
- Le chiamate in arrivo funzionano in modo diverso. Intanto, tutti gli MS anche se inattivi rimangono in ascolto sul **Paging Channel** per rilevare eventuali messaggi inviati loro. L'MSC principale del *destinatario* riceve un pacchetto che ha la funzione di individuare il *destinatario*. Poi viene trasmesso un pacchetto verso la BS della cella dove si trova il *destinatario*, la BS successivamente trasmette in broadcast attraverso il **Paging Channel** un messaggio la cui forma è: "Unità 14, ci sei?". Il *destinatario della chiamata* per notificare la sua presenza e richiedere il canale utilizza il **Random Access Channel**. La BS invia quindi un messaggio del tipo: "Unità 14, c'è una chiamata per te sul canale 3". A questo punto, il *destinatario della chiamata* passa al canale 3 e inizia a squillare.

3.6. Autenticazione e Cifratura

- Appunti presi a lezione:

Codifica e decodifica tra i vari vantaggi hanno la riduzione delle interferenze.
 Una chiave contenuta nella SIM (K_i) e la chiave di cifratura che si chiama K_c .
 La MS genera una sequenza random di bit (in chiaro) e la invia alla BS.
 BS cifra la sequenza random e ottiene la chiave
 BS invia un responso (non la chiave)

Appunti successivi:

L'obiettivo dell'Autenticazione e Cifratura è evitare usi non consentiti ed intercettazioni (mediante procedure di certificazione ed autenticazione) e ridurre gli effetti delle interferenze (jamming).

La cifratura si basa su due chiavi:

- la chiave segreta K_i (contenuta nella SIM e nell'AuC del MSC)
- la chiave di cifratura K_c .
- La K_c vale solo per una conversazione. La K_i non viene mai trasmessa

L'AuC è un componente di sicurezza fondamentale (si trova anche nel disegno dell'architettura di una rete 2G) e si occupa dell'autenticazione dell'utente e della cifratura delle comunicazioni tra il telefono e la rete. L'AuC utilizza l'algoritmo di autenticazione A3 e la chiave di autenticazione K_i per **verificare l'identità** dell'utente e l'algoritmo di cifratura A5 e la chiave di cifratura K_c **per cifrare le comunicazioni** tra il telefono e la rete.

- (1) L' AuC invia un numero casuale (Random Number, RN) alla MS.
- (2) Ambedue (AuC e MS) eseguono un algoritmo che fornisce la chiave di cifratura K_c ed un responso che viene trasmesso dalla MS all'AuC.
- (3) L'AuC verifica che il responso ricevuto dalla MS sia identico a quella da lui generato (autenticazione).

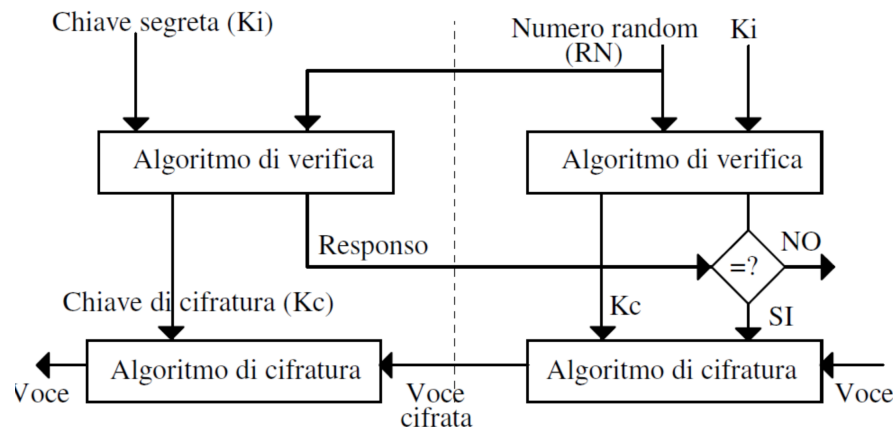


FIGURE 6. Warning: questo è quello che ho capito io, ma ci sono delle contraddizioni con quanto detto in classe. Sia l'MS che la BS eseguono un algoritmo di verifica che prende in input K_i e RN. Il Random Number viene generato dalla BS e inviato a MS. L'esito dell'algoritmo di verifica è la chiave K_c . MS invia un responso (non la chiave) alla BS. Se i due responsi coincidono, allora l'autenticazione ha avuto successo e si può procedere con la cifratura.

4. 2.5G

Caratteristiche:

- Da GSM lo standard diventa GPRS (General Packet Radio Service). GPRS ha introdotto l'utilizzo di commutazione a pacchetto, che ha reso la trasmissione dati più efficiente (usando i canali TDMA della rete GSM).
- L'uplink e il downlink vengono gestiti su due canali distinti. (È FDD o no?)
- L'Allocazione delle risorse radio viene fatta on demand.
- Vengono offerti servizi Point-to-Point (interconnessione fra reti internet), Point-to-Multipoint (chiamate di gruppo e chiamate multicast), Messaggistica MMS

Quindi per la voce viene utilizzata la rete GSM, per i dati la rete GPRS / EDGE / EGPRS.

Componenti della commutazione di pacchetto,

- **SGSN** (Serving GPRS Support Node). Riceve i pacchetti IP destinati alla MS. Connesso al registro HLR, per acquisire informazioni su QoS dell'utente gestito.
- **GGSN** (Gateway GPRS Support Nodes). Connette la rete cellulare a Internet. Ha una tabella con l'indirizzo IP dell'SGSN associato al MS con un dato indirizzo IP.

Il pacchetto diretto al MS viene incapsulato in un pacchetto con l'indirizzo dell' SGSN (tunneling o encapsulated IP). Il pacchetto comprende due coppie di indirizzi IP: mobile-nodo IP con cui dialoga, coppia SGSN-GGSN tramite i quali ha luogo lo scambio.

5. 2.9G

EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution) è un'evoluzione di GPRS che ha introdotto ulteriori miglioramenti nella velocità di trasmissione dei dati. Con EDGE, la velocità di trasmissione dei dati che può essere raggiunta è di 384 kbps, circa tre volte più veloce rispetto alla velocità massima di GPRS.

L'efficienza può essere migliorata attraverso il controllo della qualità del segnale, noto come "Link Quality Control". Questo controllo prevede l'adattamento della codifica del segnale in base alla qualità del canale, che può variare a seconda di fattori come la distanza tra il trasmettitore e il ricevitore o le interferenze presenti nell'ambiente.

Il sistema utilizza la "Link Adaptation" per stimare il rapporto segnale/rumore SIR (Signal to Interference Ratio) e selezionare la modulazione e lo schema di codifica più adatti a garantire una trasmissione affidabile e con la massima efficienza. In particolare, il sistema utilizza la modulazione 8-PSK, che consente di trasmettere 3 bit per simbolo, garantendo quindi una maggiore efficienza spettrale rispetto alla modulazione GMSK.

Dopo EDGE lo standard diventa UMTS.

5.1. Handover

. Nella rete GSM la modalità di gestione dell'handover è di tipo hard, ovvero prima dell'assegnazione della nuova risorsa, è necessario rilasciare quella in uso.

Nelle reti UMTS, invece, è possibile di ricevere segnali da più celle contemporaneamente (il che produce il vantaggio di poter usare minore potenza in emissione e conseguentemente avere minori problemi di interferenza)

Sfruttando questa funzionalità di macrodiversità, si opera il soft handover, in cui la riallocazione di risorse, avviene senza la necessità di rilascio della risorsa precedente.

6. 3G

Come anticipato lo standard utilizzato è UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) che si basa su WCDMA (Accesso multiplo a divisione di codice).

Adotta la commutazione di pacchetto per i servizi dati, mantenendo la commutazione di circuito per la voce, come nel GSM.

Il traffico dati (Internet, videochiamate, video) supera di molto il traffico voce, per soddisfare queste usigenze si usa WCDMA che usa banda variabile (questo non era possibile con 2G, 2.5G e varianti). Per gestire in modo efficiente questo traffico dati, vengono utilizzate tecnologie intelligenti come le antenne direzionali, che possono essere orientate in modo da coprire diversi settori (celle) e fornire una copertura migliore (invece di irradiarlo uniformemente in tutte le direzioni). Un'altra tecnica è la Multi User Detection (MUD), che consente al sistema di distinguere e separare diversi segnali provenienti da più utenti simultaneamente, riducendo le interferenze e migliorando la qualità del segnale.

Sopra è stato citato il concetto di banda variabile. Si riferisce alla capacità di adattare la larghezza di banda di un canale di comunicazione in base alle esigenze effettive del traffico che viaggia su quel canale. Quando un utente richiede una maggiore capacità di trasmissione dati, la rete può allocare dinamicamente una maggiore banda per soddisfare le sue esigenze. Viceversa, se l'utente ha bisogno di meno banda, la rete può assegnare meno banda, liberando così la banda per altri utenti. Questo si traduce in una maggiore efficienza e capacità della rete.

6.1. UMTS

. RNC (Radio Network Controller) controlla i node B connessi ad esso. Il fatto che RNC controlli più BS (Node B) si chiama macrodiversità. In questo modo posso fare un **soft handover**, senza avere interruzione di servizio. Un utente si può interfacciare con due node B diversi.

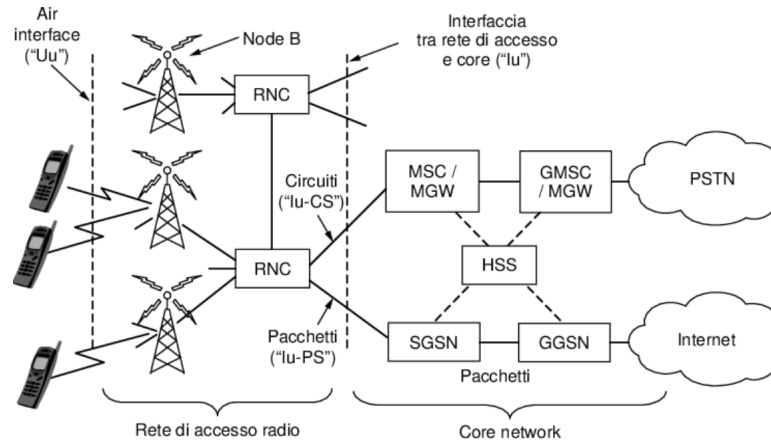


FIGURE 7. Architettura di una rete UMTS. Si divide (anche se nel disegno i nomi sono leggermente diversi) in **UE** (User Equipment), rete di accesso **UTRAN** (Universal Terrestrial Radio Access Network) e **CN** (Core Network). Le entità appartenenti alla Core Network e all'UTRAN comunicano mediante collegamenti dedicati (interfaccia Iu). UTRAN e UE comunicano via radio (interfaccia Uu). **Node B** è la BS che può servire più celle, **RNC** (Radio Network Controller) controlla i node B connessi ad esso. La Core Network supporta sia commutazione di circuito che di pacchetto.

6.2. Premessa

. FDMA e TDMA dividono tempo e frequenza. Assegno ad un utente 1 delle 124 frequenze e 8 time slot (clock BS agganciato al clock del MS).

6.3. CDMA (Accesso multiplo a divisione di codice)

. **Viene assegnata tutta la banda per tutta la durata temporale a ciascun utente. Gli utenti si distinguono in base a delle chiavi.**

La chiave si costruisce a partire da un codice, una sequenza di ± 1 nota alla rete e assegnata ad ogni utente, i codici sono ortogonali tra loro (se moltiplico due chip uno ad uno, la somma deve venire zero).

I codici 1. devono essere ortogonali tra loro e 2. hanno lunghezza variabile. La lunghezza del codice influenza quanta banda viene assegnata ad un utente. Se il codice è più corto, viene assegnata più banda (?) .

Il punto centrale di CDMA è essere in grado di estrarre il segnale e rifiutare tutto il resto come rumore.

6.3.1. Funzionamento di CDMA

- Ad ogni stazione viene assegnata una sequenza di chip, un codice univoco di m bit. Per trasmettere un bit con valore 1 una stazione invia la sua sequenza di chip, mentre per trasmettere uno 0 ne invia la negazione.
- Aumentare l'informazione che deve essere spedita (avere un altro numero di chip/s) comporta una necessità di banda per il CDMA maggiore.
- Quando due stazioni trasmettono contemporaneamente le loro sequenze bipolari si sommano linearmente. Ad esempio, se in un dato istante 3 stazioni trasmettono $+1$ e una trasmette -1 , sarà ricevuto un segnale di $+2$ (è possibile fare un ragionamento analogo in termine di livelli di tensione, ragionando in Volt).
- Il recupero si effettua calcolando il prodotto tra il segnale ricevuto e la sequenza di chip nota.
- In questo modo CDMA consente di assegnare banda a tutti gli utenti (anche la stessa no frequency planning e time scheduling), il limite del numero di utenti in una cella non è rigido come nel GSM, e si guadagna una forte immunità all'interferenza (perché il rumore e le interferenze nell'operazione di despreading vengono appiattite).

Sopra è stato scritto: "Per trasmettere un bit con valore 1 una stazione invia la sua sequenza di chip, mentre per trasmettere uno 0 ne invia la negazione." Questa frase descrive il prodotto tra il segnale originale e il codice assegnato. Questo prodotto ha come risultato lo spreading (allargamento) della banda. Questa tecnica di codifica si chiama DSSS: Direct Sequence Spread Spectrum.

Tecnica dello Spread Spectrum = spettro del segnale * codice.

6.3.2. *Direct Sequence (codifica diretta) Spread Spectrum (spettro del segnale * codice)*

. Il segnale viene moltiplicato per una sequenza di spreading (sequenza di chip) determinando così un'espansione dello spettro. In ricezione il segnale viene rimoltiplicato per la stessa sequenza in modo da ricostruire il segnale trasmesso.

Prendere un segnale e moltiplicarlo per un codice ha come conseguenza \rightarrow allargare la banda.

L'occupazione in Hz nel dominio della frequenza del segnale modulato è più o meno equivalente al bit rate.

Tutti i segnali condividono la stessa banda (2100 MHz), gli utenti vengono distinti in base al codice.

Questa tecnica ha dei vantaggi (già citati):

- (1) permette agli utenti di utilizzare tutta la banda per tutta la durata temporale e contemporaneamente di distinguere i diversi utenti (poiché corrisponderanno a codice diversi)
- (2) fornisce forte immunità all'interferenza (perché il rumore e le interferenze nell'operazione di despreading vengono appiattite).

6.3.3. *Vantaggi CDMA.*

- In generale un canale è occupato solo il 40% del tempo. Nei sistemi TDM o FDM non è possibile riassegnare i time slot o le frequenze quando il canale non è occupato. Nei sistemi CDMA, quando l'utente non trasmette, si riduce l'interferenza per gli altri utenti.
- Permette i soft handover, cambiando il codice.
- Nell'Uplink non è possibile utilizzare segnali ortogonali utilizzati nel Downlink per problemi di sincronizzazione, bensì vengono usate **Sequenze Pseudorandom Noise** non sincrone.
- Le celle adiacenti non possono utilizzare gli stessi codici.
- Le dimensioni di una cella si restringono al crescere del bit rate del servizio offerto o del numero di utenti presenti. Si cerca un tradeoff tra capacità e copertura.

Poche celle di grandi dimensioni e bit rate ridotti. Se la cella è grande \rightarrow assegno \ll banda.

Molte celle di piccole dimensioni e bit rate elevati. Se restringo cella \rightarrow assegno \gg banda.

6.4. SCDMA (Synchronous CDMA)

.

6.5. WCDMA (Accesso multiplo a divisione di codice a banda larga)

. CDMA viene studiato anche nella sua versione Wideband, ossia a banda larga. CDMA utilizza una larghezza di banda di 1,25 MHz, mentre WCDMA utilizza una larghezza di banda di 5 MHz o superiore.

Sia le BS che le MS sono asincrone (non è necessario il planning dei time slot e delle frequenze)

WCDMA supera il problema di **multipath fading**, che consiste nel fatto che alla BS arrivano più copie dello stesso segnale inviato da MS (rimbalzato e ritardato). Il multipath fading può essere ridotto utilizzando la tecnica MIMO (Multiple Input Multiple Output), che permette di utilizzare due o più antenne al ricevitore per migliorare la qualità del segnale ricevuto.

6.5.1. MIMO

. Un'antenna riceve più copie dello stesso segnale (multipath fading).

Si può risolvere avendo 2 antenne che trasmettono e 2 che ricevono (confronto i segnali ricevuti tra di loro).

È una delle possibili tipologie di antenna intelligente: una schiera di singole antenne che elabora il segnale.

I nostri cellulari hanno solo un'antenna, però they behave come se avessero più antenne.

6.5.2. *Analisi del bit rate in WCDMA, come la tecnica DSSS influenza il bit rate in WCDMA.*

. Se il numero di chip è maggiore allora il bit rate è minore. Se il numero di chip è maggiore allora la larghezza di banda è minore

- L'intervallo di tempo tra due chip consecutivi è fisso e di conseguenza il chip-rate è fisso 3.84 Mchip/s.
- 5 MHz è la banda assegnata a tutti gli utenti.
- Se voglio dare più banda ad un utente, gli do un codice più corto (?).
- Nel dominio del tempo:

Un codice corto di 4 chip fa sì che la durata del codice nel tempo è:

durata = 260 (intervallo di tempo tra due chip consecutivi) * 4 chip

Il bit rate che sto assegnando ad un utente (che è il reciproco di 260*4) è (3.84 Mchip/s / 4 chip)

Bit rate varia tra 15 Kbps (se codice 256 chip) e 960 Kbps (se codice 4 chip).'

Coesistono più aspetti:

- (1) Se uso spreading factor basso (SF) la codifica non è robusta rispetto all'interferenza, al contrario se lo spreading factor è alto si riduce l'interferenza.

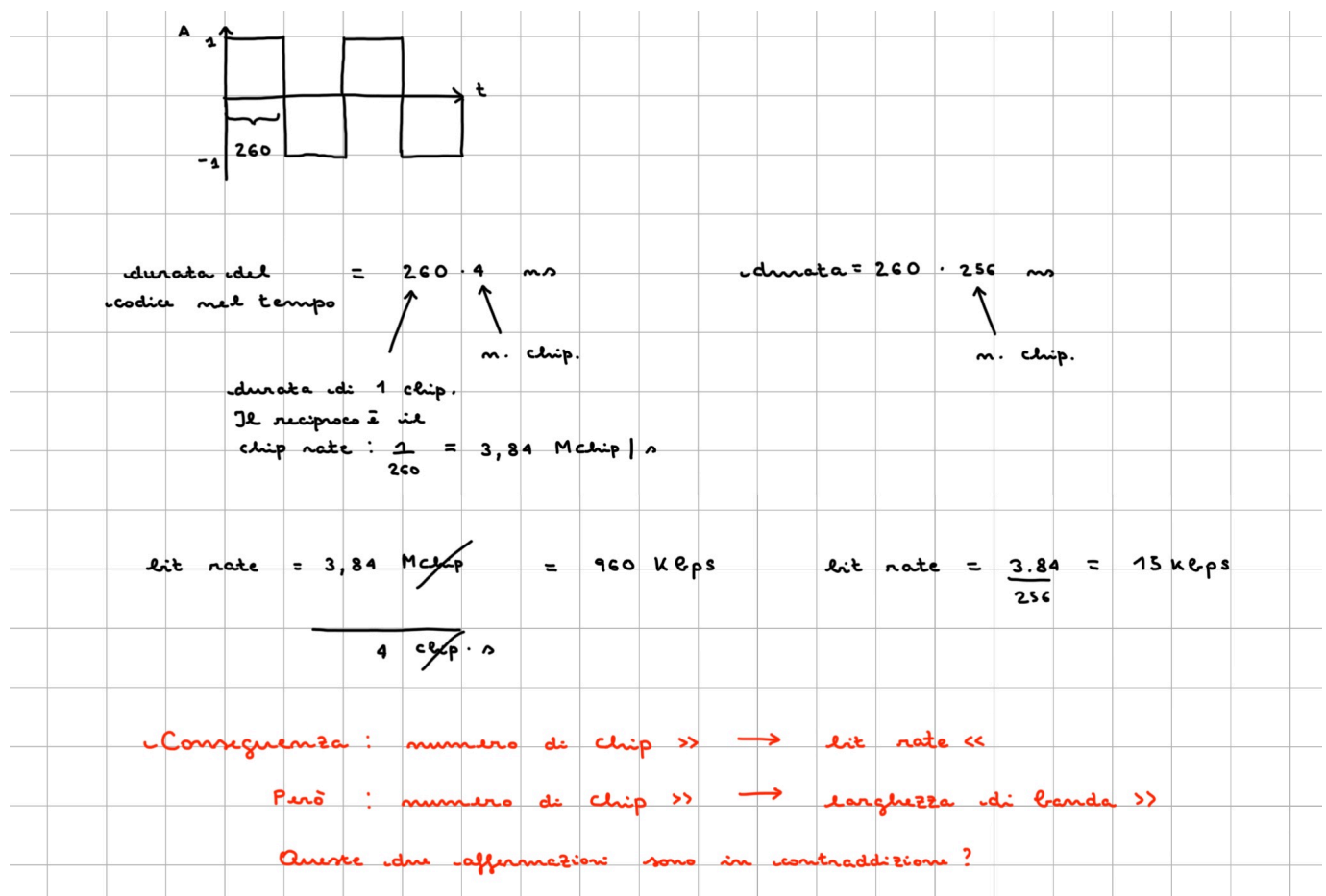


FIGURE 8. In genere, maggiore è il valore dello spreading factor (numero di chip del codice), maggiore è la larghezza di banda utilizzata per la trasmissione del segnale e maggiore è la distanza di copertura del segnale, ma minore è la velocità di trasmissione dati (bit rate). Utilizzando una maggiore potenza del segnale in trasmissione aumenta la copertura del segnale, si riducono gli effetti del rumore e delle interferenze, quindi potrebbe “compensare” un numero di chip uno SF un po’ grandino.

- (2) Se uso spreading factor basso (SF) avrò bit rate elevati. È necessario trasmettere a potenze elevate.

7. 3.5G

Include la tecnologia Multiple Input/Multiple Output (MIMO) già accennata.
(TDMA, FDMA superato da CDMA), WCDMA viene superato da OFDM.

7.1. OFDM (divisione di sottoportante ortogonale). Quando vengono inviati dati digitali è possibile dividere lo spettro in maniera efficiente anche senza usare le bande di guardia. OFDM (orthogonal frequency division multiplexing, multiplexing a divisione di frequenze ortogonali) divide la banda del canale in molte sottoportanti che inviano dati in maniera indipendente.

Queste sottoportanti sono stipate una a ridosso dell'altra nel dominio delle frequenze, per cui ogni sottoportante si estende in quelle adiacenti.

Tuttavia la risposta in frequenza di ogni sottoportante è progettata in maniera tale da essere zero in corrispondenza del centro delle sottoportanti a essa adiacenti. Può quindi essere campionata nella frequenza centrale senza interferenza da parte dei vicini.

Per far funzionare tutto questo è richiesto un tempo di guardia per ripetere un sottoinsieme dei simboli trasmessi, in maniera tale da ottenere la risposta in frequenza richiesta. Tuttavia, questa aggiunta spreca meno risorse di quelle richieste da molte bande di guardia.

Rect nel tempo → Sinc in frequenza

Si utilizzano sottoportanti vicine, sovrapposte, per sfruttare meglio la banda.

Il concetto è: divisione della banda.

In che modo: Sinc sovrapposte che si annullano nel punto massimo delle altre (Bande ortogonali).

Vantaggio rispetto alla divisione di frequenza FDMA: efficienza, non bisogna utilizzare guard band.

Come viene gestita la sovrapposizione delle Sinc? Non vengono usati filtri, bensì:

1. prendo segnale da trasmettere.
2. lo parallelizzo (divido segnale in 40 flussi diversi)
3. moltiplico per la sottoportante
4. lo modulo
5. lo sommo insieme
6. Si usa trasformata di Fourier discreta FFT
7. In ricezione invece di usare filtri si riconosce il segnale del singolo utente facendo l'inversa della FFT.

Standard IMT2000 per 3G

IMTAdvanced per 4G = solo commutazione a pacchetto, solo OFDM ...

IMT2020 per 5G