



Università degli Studi di Cagliari

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria delle Tecnologie per
Internet

INTRODUZIONE ALLE RETI RADIOMOBILI



Cenni Storici

- ✓ La propagazione nello spazio libero è utilizzata da più di 120 anni per le telecomunicazioni
 - Londra, 2 luglio 1897 – brevetto n. 12039 - "Perfezionamenti nella trasmissione degli impulsi e dei segnali elettrici e negli apparecchi relativi« (G. Marconi)

- ✓ La telecomunicazione a scopo diffusiva era già ben nota e utilizzata sia sul vecchio continente che oltre oceano

- ✓ I primi rudimentali sistemi di telecomunicazione non diffusiva con mezzi mobili appaiono prima della seconda guerra mondiale negli USA



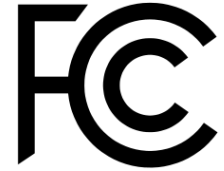
Cenni Storici

- ✓ L'idea del sistema cellulare risale ai sistemi radio utilizzati dai servizi di polizia degli USA
- ✓ Si era capito che restringendo l'area di copertura delle stazioni radio e utilizzando più slot di frequenze era possibile garantire più comunicazioni contemporanee
- ✓ Nel 1933 la polizia di Bayonne (New Jersey) utilizzò un sistema radio bidirezionale funzionante nella banda VHF



Cenni Storici

- ✓ Nel 1940 la FCC (Federal Communication Committee) concede una banda da 40 MHz per comunicazioni private
- ✓ Mancava però la capacità elaborativa:
 - I computer dell'epoca erano lenti e costosi, perciò i sistemi di TLC mobile vennero adottati solo dalle strutture militari
- ✓ Inoltre l'Authority responsabile della concessione delle frequenze fu «*miope*» e concesse una banda che permetteva soltanto 23 chiamate contemporanee





Bande di Frequenze

- ✓ Una banda può essere definita in base a vari criteri e vi sono due accezioni del termine comunemente usate nell'ambito delle telecomunicazioni:
 - porzione di spettro, parte di una suddivisione convenzionale originata da esigenze scientifiche e tecniche
 - porzione di spettro nella quale i canali hanno la stessa destinazione d'uso: la designazione di questo tipo di bande viene effettuata con l'allocazione delle frequenze che porta a stilare un piano delle frequenze elaborato su accordi internazionali o, al più, nazionali
- ✓ La banda del canale radio, così come quella di sistemi cablati, è una risorsa limitata e va quindi gestita cercando di massimizzarne l'efficienza nell'utilizzo



Bande di Frequenze

✓ Designazione ITU

- Nell'ambito scientifico-tecnico è molto utilizzata la designazione ITU-R, definita dalla raccomandazione V.431. (1993)
- In base a questa designazione, la parte di spettro elettromagnetico compresa tra frequenze da **3 Hz a 300 GHz** viene separata in 11 bande, in base alla frequenza.
- Le bande sono separate da frequenze di 3×10^n Hz che corrispondono a **lunghezze d'onda** approssimativamente uguali a multipli o sottomultipli del metro.

$$\diamond \lambda_{[300 \text{ MHz}]} = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8 [\text{m/s}]}{3 \times 10^2 \times 10^6} = 1 \text{ m}$$



Bande di Frequenze

✓ Designazione IEEE

- La suddivisione dello spettro radio effettuata dall'IEEE è principalmente incentrata sulle bande radar (microonde).
- non contempla le frequenze < 3 MHz

banda	frequenze
HF	3 - 30 MHz
VHF	30 - 300 MHz
UHF	300 - 1000 MHz
L	1 - 2 GHz
S	2 - 4 GHz
C	4 - 8 GHz
X	8 - 12 GHz
K _u	12 - 18 GHz
K	18 - 26 GHz
K _a	26 - 40 GHz
V	40 - 75 GHz
W	75 - 111 GHz



Cenni Storici

- ✓ Nei primi anni '80 vengono installate le prime reti cellulari nel senso “moderno” del termine (1983 Chicago, 1980-82 prototipazione in Giappone)
 - reti specializzate (es. private o di una organizzazione)
 - piuttosto costose
 - bassa capacità e versatilità
 - terminali di dimensioni e peso elevati

- ✓ Nella seconda metà degli anni '80 vengono installate le reti analogiche “avanzate” (AMPS, NMT, TACS) con immediato ed enorme successo commerciale





Cenni Storici



- ✓ **AMPS: Advanced Mobile Phone Service**
 - è uno standard U.S.A. (EIA-553); lavora nella banda intorno a 800 MHz
 - **diffusione:** Stati Uniti, Canada, Messico, Australia, Nuova Zelanda Taiwan, Corea del Sud, Singapore, Hong Kong, Thailandia, Brasile, ...

- ✓ **TACS: Total Access Communication System**
 - è uno standard sviluppato nel Regno Unito; lavora nella banda intorno ai 900 MHz, di fatto è un adattamento dello standard AMPS
 - **diffusione:** U.K., Italia, Irlanda, Spagna, Austria, Penisola Arabica, ...

- ✓ **NMT: Northern Mobile Telephone System**
 - uno standard scandinavo, sviluppato indipendentemente da AMPS e TACS; lavora nelle bande intorno ai 450 e ai 900 MHz, ci sono notevoli differenze nel funzionamento tra le due bande
 - **diffusione:** Scandinavia, BeNeLux, Austria, Francia, Ungheria, Spagna, Svizzera, ...



Cenni Storici

- ✓ Alla fine degli anni '80 è diventato chiaro che le reti cellulari esistenti non erano in grado di sopportare la domanda di traffico e qualità a meno di:
 - risolvere i problemi di bassa capacità a causa dell'indisponibilità dello spettro
 - migliorare in modo significativo la qualità del servizio e la gamma dei servizi disponibili
 - diminuire drasticamente i costi delle apparecchiature
 - risolvere i problemi di interoperabilità tra sistemi diversi
- ✓ I quattro problemi da risolvere hanno spinto verso soluzioni di tipo concentrato (standard internazionali) con tecnologia numerica (GSM, D-AMPS, IS-95)



Cenni Storici

- ✓ Il sistema GSM è stato introdotto in Europa nel 1992 e subito ha ottenuto un successo enorme ed inaspettato
- ✓ D-AMPS e IS-95 (CDMA) sono introdotte in U.S.A. nella metà degli anni '90 anch'esse con grande successo ma non paragonabile al GSM
- ✓ Alla fine degli anni '90: reti con accesso a pacchetto, GPRS, EDGE, I-MODE etc.
- ✓ Nel 2000 si è partiti con la terza generazione, utilizzando CDMA e UMTS
- ✓ Attualmente siamo arrivati alla quarta generazione, 4G, con standard come LTE e LTE-A
- ✓ 5G - 2020



Distinzioni

RETE WIRELESS

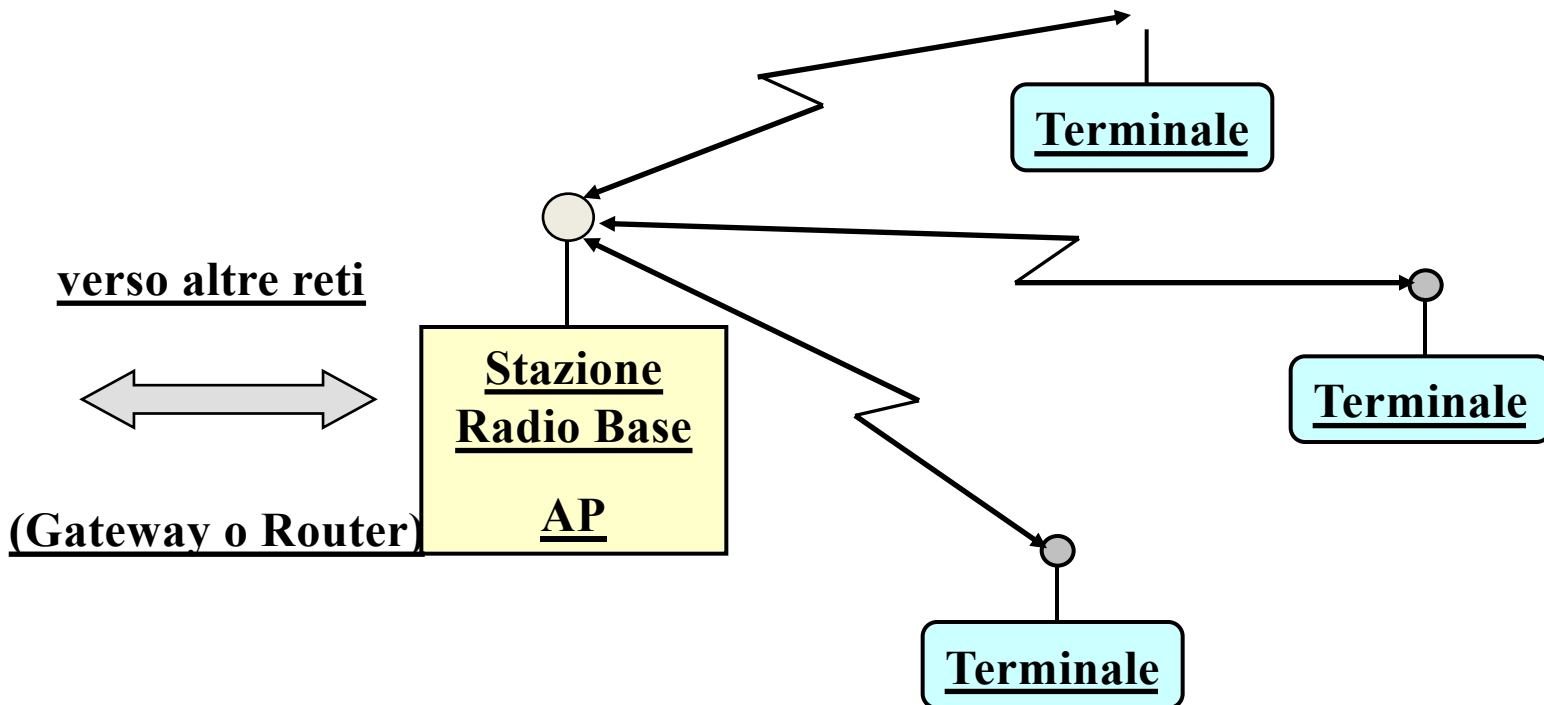
È una (sotto) rete in cui l'accesso da un terminale avviene attraverso un **canale senza filo**

RETE CELLULARE

È una rete la cui copertura geografica è ottenuta con una tassellatura di aree adiacenti e/o sovrapposte dette **celle**.
L'utente (terminale mobile) si può muovere attraverso la rete passando da una cella all'altra senza interrompere la comunicazione



Rete wireless con punto di accesso fisso





Rete Cellulare





Rete Cellulare

- ✓ I primi sistemi radiomobili per la telefonia avevano come principio l'utilizzo di tecniche di tipo FM:
 - Un'unica stazione ad alta potenza per coprire l'intera area di interesse
 - Suddivisione dei canali mediante frequenze diverse, assegnate **staticamente** agli utenti

- ✓ La scarsa disponibilità perciò di canali di comunicazione ha dettato il cambio di filosofia
 - Molte stazioni a bassa potenza
 - Riutilizzo delle frequenze in celle diverse assegnate dinamicamente



Rete Cellulare

- ✓ L'utilizzo di frequenze allocate dinamicamente e l'esistenza di più celle attraverso le quali si muove l'utente sollevano il problema del mantenimento della comunicazione durante la transizione da una cella a quella adiacente:

HANDOVER



Funzioni chiave per la mobilità

- ✓ Registrazione:
 - collegamento del terminale alla rete
 - identificazione, autenticazione
- ✓ Localizzazione:
 - posizione e reperimento del terminale
 - paging
- ✓ Handover:
 - (ri)localizzazione + (ri)registrazione + trasferimento della chiamata in corso

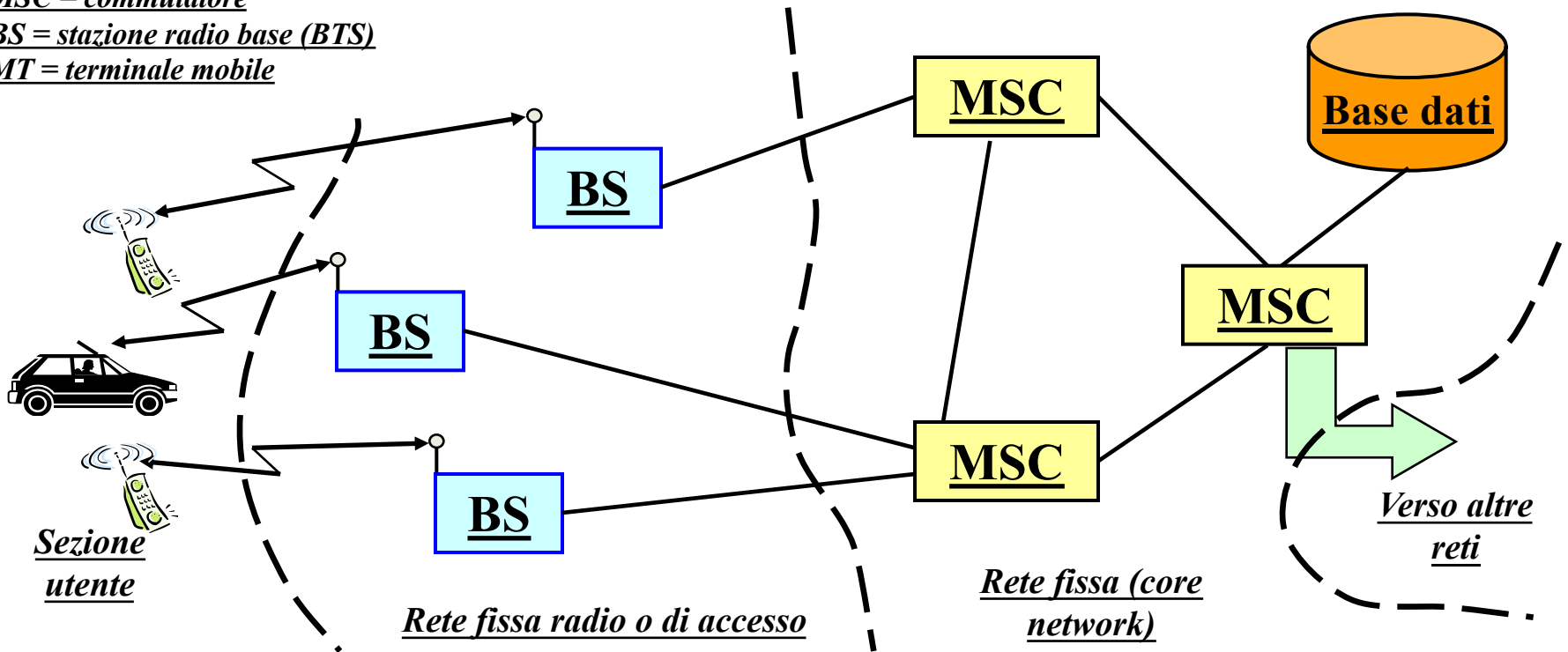


Architettura di rete

MSC = commutatore

BS = stazione radio base (BTS)

MT = terminale mobile





Identificazione dei link

- ✓ Viene indicato come “forward” link (o canale) il collegamento
BTS → Mobile
 - FC – forward channel

- ✓ Il collegamento Mobile → BTS prende il nome di
“reverse” link (o canale):
 - RC – reverse channel

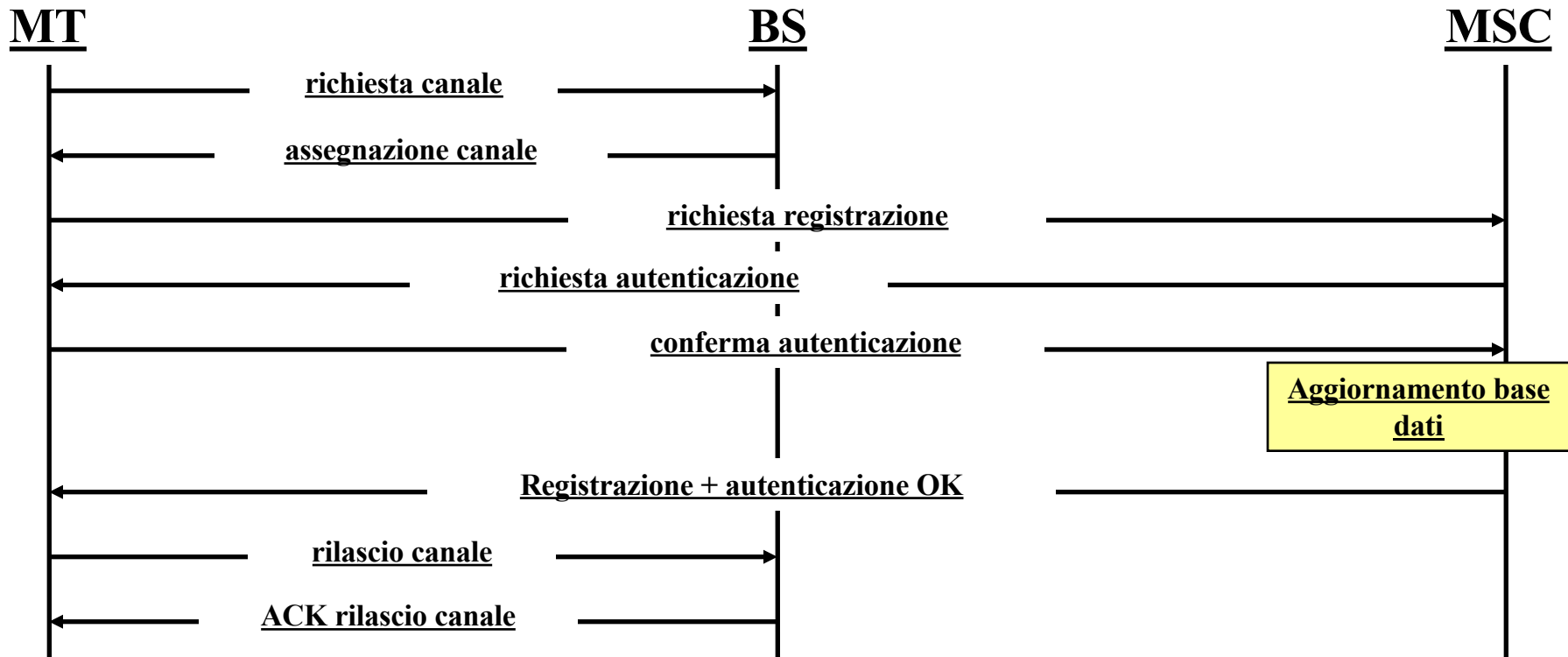


Funzione 1: Registrazione

- ✓ Procedura da eseguire:
 - all'accensione del terminale
 - tutte le volte che si desidera accedere ad un nuovo servizio (es. fare una nuova chiamata) con fini di autenticazione
 - serve ad associare il Mobile Terminal (MT) alla rete
 - coinvolge **l'intera rete**



Funzione 1: Registrazione



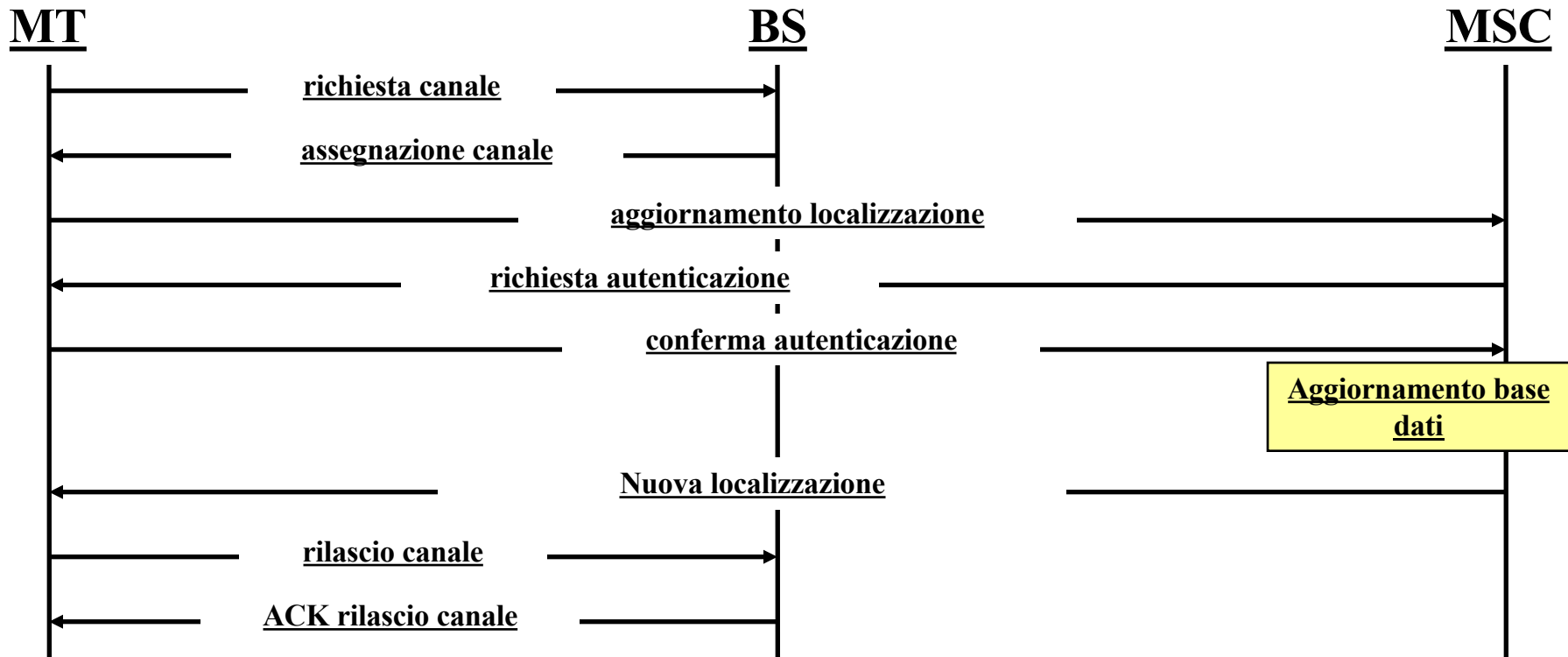


Funzione 2: Localizzazione

- ✓ Procedura da eseguire:
 - all'accensione del terminale
 - tutte le volte che si cambia zona di localizzazione o Location Area (LA = gruppo di celle correlate tra loro)
 - serve ad associare un terminale ad una specifica zona della rete
 - coinvolge **l'intera rete**



Funzione 2: Localizzazione





Paging

- ✓ Procedura di localizzazione “fine”
- ✓ Viene eseguita in caso di chiamata **verso** MT per stabilire esattamente in quale cella MT si trovi
- ✓ Viene trasmesso in broadcast su tutte le celle un messaggio con l'id. di MT
- ✓ Se la Location Area (LA) è composta da una sola cella non è necessario

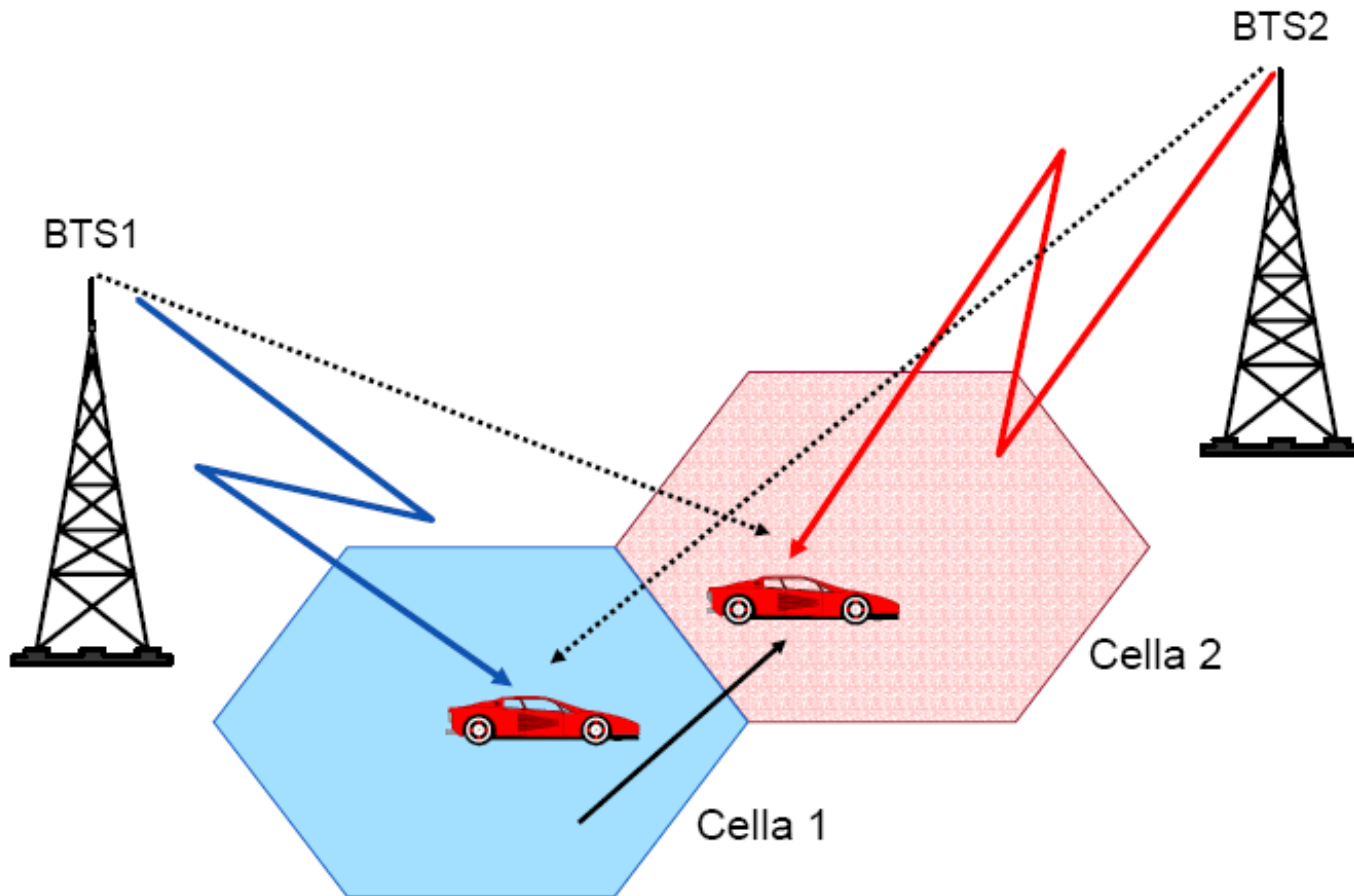


Handover

- ✓ È una procedura **automatica** che consente il trasferimento di una chiamata da una cella alla successiva, mentre il terminale mobile si sposta all'interno della rete
- ✓ Di fatto è **l'elemento distintivo** tra le reti cellulari ed ogni altro tipo di rete di telecomunicazione
- ✓ È un'operazione complessa che pone alla rete notevoli requisiti in termini di **architettura di rete**, di **protocolli** e di **segnalazione** per la gestione delle procedure connesse agli handover

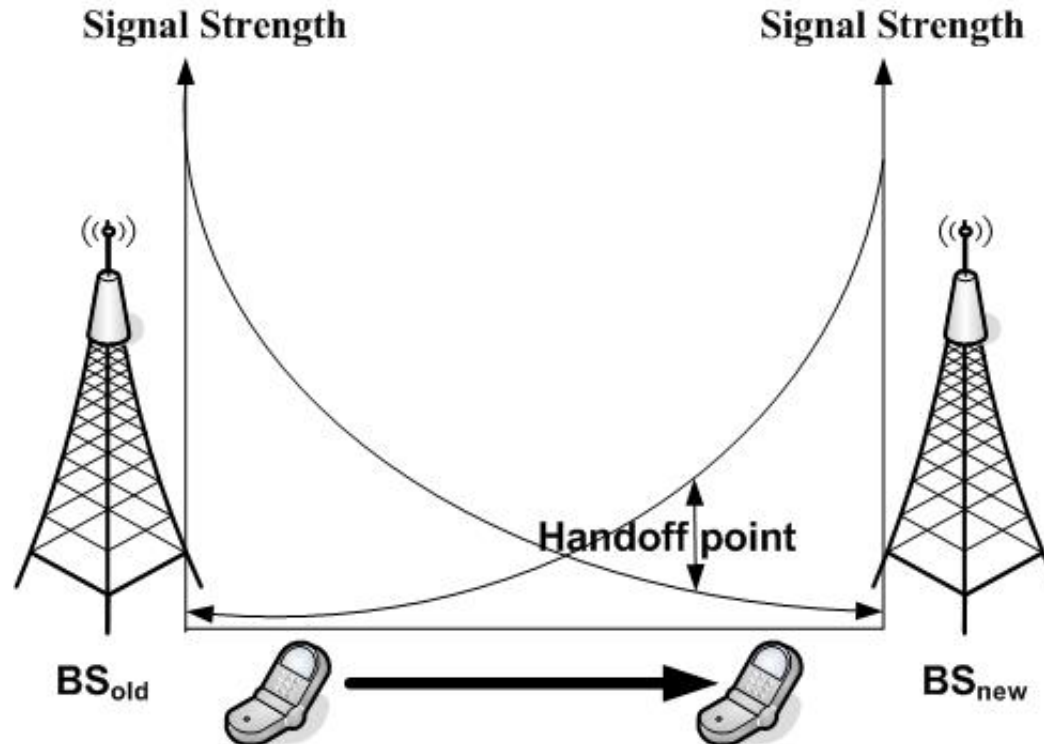


Handover



Handover

- ✓ Secondo la motivazione dell'Handover
 - **Rescue handover**: dovuto alla cattiva qualità del segnale nel canale iniziale





Tipi di handover

- ✓ Secondo la motivazione dell'Handover
 - **Handover da confinamento**: fare in modo che ogni dispositivo mobile utilizzi un punto di accesso più vicino, cercando di ridurre la potenza in trasmissione
 - **Handover da congestione (traffico)**: impedisce a un punto di accesso di occupare tutti i canali mentre i punti di accesso circostanti dispongono di canali vuoti. Ridurre la probabilità di blocco.



Tipi di handover

- ✓ Secondo chi partecipa al processo decisionale nella realizzazione dell'handover
 - Handover controllato dalla rete (Network Controlled Handover)
 - ❖ Handover basato sulle misurazioni della potenza del segnale ricevuto dal cellulare rispetto a diversi punti di accesso.
 - ❖ Pratica impiegata nei sistemi cellulari analogici
 - Handover controllato dalla rete e assistito dal dispositivo mobile (Mobile Assisted Handover)
 - ❖ Handover effettuato dalla rete in base alle misurazioni della potenza del segnale ricevuto dal dispositivo mobile congiuntamente ai livelli di potenza misurati lato dispositivo mobile
 - ❖ Es.: GSM, GPRS



Tipi di handover

- Handover controllato dal dispositivo mobile (Mobile Controlled Handover)
 - ❖ Il dispositivo mobile prende la decisione sull'handover in funzione della qualità del segnale che riceve dai punti di accesso attorno ad esso
 - ❖ Es.: WiFi (Wireless Fidelity), DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunication)



Tipi di handover

A seconda del fatto che sia stata fatta una prenotazione delle risorse

✓ Break-before-make

- il terminale si disconnette dal canale iniziale senza aver effettuato nessuna prenotazione delle risorse nei confronti del nuovo punto di accesso.
- Potrebbe esserci una mancata riconnessione perché potrebbero non esistere sufficienti risorse nel nuovo punto di accesso. In aggiunta, potrebbe esserci un tempo rilevante fra disconnessione e riconnessione (ritardo di handover) in cui non si ha connettività.

✓ Make-before-break

- Prima dell'handover, la rete riserva le risorse necessarie per trasferire la comunicazione al nuovo punto di accesso. Una volta allocate le risorse, la rete permette al terminale di eseguire il passaggio.
- Il tempo di interruzione è ridotto al minimo (durante l'allocazione delle risorse, il terminale rimane collegato al vecchio punto di accesso).

Tipi di handover

✓ Secondo l'ordine di disconnessione dal vecchio canale e riconnessione al nuovo canale

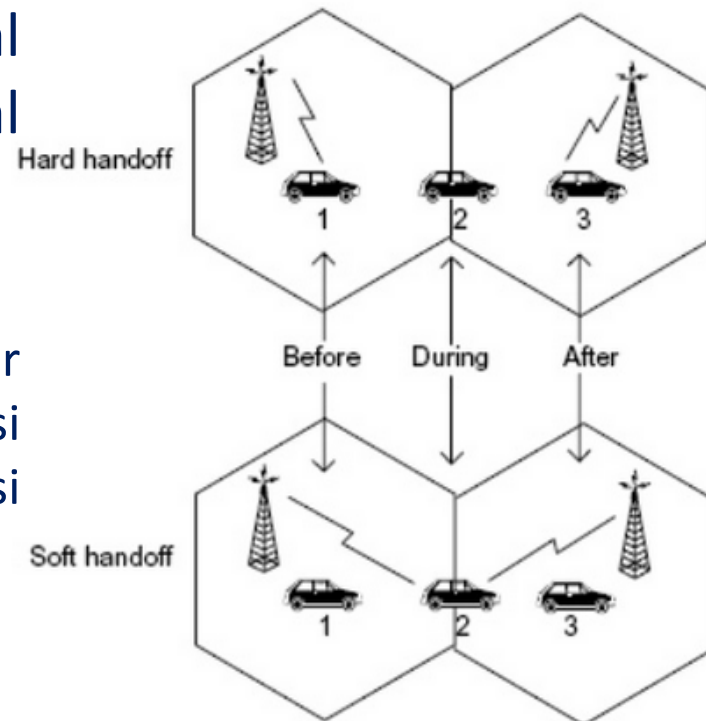
➤ **Hard handover**

❖ Quando si decide di effettuare l'handover verso un nuovo canale, prima ci si disconnette dal canale iniziale e poi ci si connette al nuovo canale.

➤ **Soft Handover**

❖ Quando si effettua l'handover verso un nuovo canale, per un certo periodo temporale si mantiene la connessione anche col precedente canale (uso in parallelo dei canali).

❖ Maggiore complessità: è necessaria la gestione di più canali in parallelo



Tipi di handover

✓ A seconda della posizione relativa dei punti di accesso all'interno della rete e dello standard del canale vecchio rispetto al nuovo.

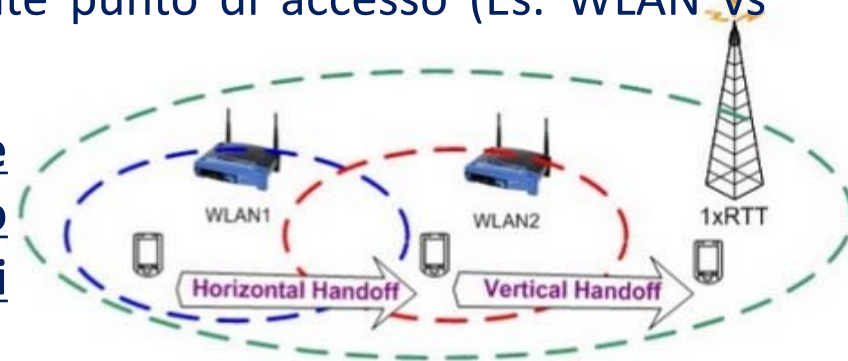
➤ **Handover intra-sistema (handover orizzontale)**

❖ Il nuovo punto di accesso appartiene allo stesso standard del vecchio punto di accesso

➤ **Handover inter-sistema (handover verticale)**

❖ Il nuovo punto di accesso appartiene ad uno standard/tecnologia differente rispetto al precedente punto di accesso (Es. WLAN vs UMTS, LTE vs UMTS, ...)

❖ Il dispositivo mobile deve disporre di interfacce radio appartenenti a differenti standard/tecnologie





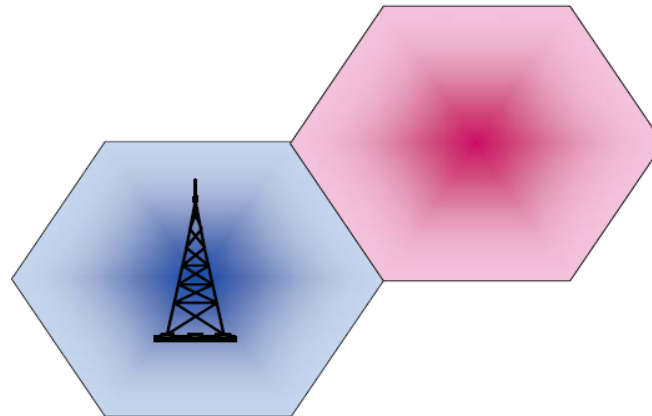
Ping Pong Effect e Isteresi

- ✓ Se il terminale si trova in condizione di ricevere i segnali di due BTS con qualità di link simile può verificarsi che si effettui un continuo handover tra le due: ping-pong effect
- ✓ Per evitare il ping pong effect viene utilizzato un ciclo di isteresi
 - L'handover non avviene se la potenza della cella non servente non ha un margine di potenza superiore ad un Δ dB prefissato alla cella servente



Efficienza delle reti

- ✓ Il segnale generato da un rice-trasmittitore in una cella non rimane confinato a quella cella ma si propaga anche alle celle adiacenti
- ✓ Questo significa che è necessario prevedere un piano di attribuzione delle frequenze che preveda la possibilità di riusare una frequenza in una cella sufficientemente distante per evitare l'interferenza tra due comunicazioni diverse





Efficienza delle reti cellulari

- ✓ Viene misurata essenzialmente in base al ri-uso dei canali radio disponibili in celle adiacenti: la **banda** è una risorsa molto preziosa (sul canale radio) e va usata al meglio
- ✓ Se si potessero usare tutti i canali in ciascuna cella si avrebbe efficienza 1
- ✓ Le celle vengono organizzate in “**cluster**” di N celle: all’interno di un cluster, ciascuna cella utilizza un sottoinsieme unico di canali
- ✓ La dimensione del cluster è una misura dell’efficienza del sistema: più sono grossi i cluster meno efficiente è il sistema

Copertura cellulare con cluster di 7 celle

✓ Frequency Assignment Problem (FAP)



Cluster teorico

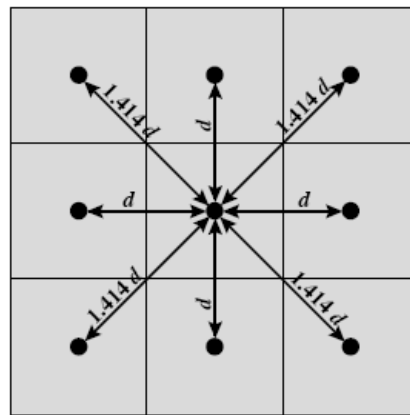


Copertura modellizzata esagonale

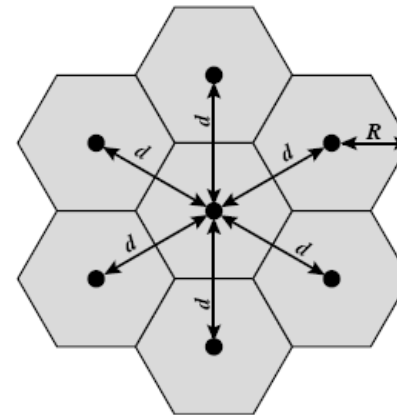
- ✓ Generalmente la copertura viene modellizzata come esagonale
- ✓ l'esagono è scelto come figura geometrica più vicina al cerchio in grado al contempo di ricoprire il piano con completezza
- ✓ Grazie alla regolarità introdotta dagli *esagoni*, il riuso può essere rappresentato secondo una chiara topologia



Copertura modellizzata esagonale



(a) Square pattern

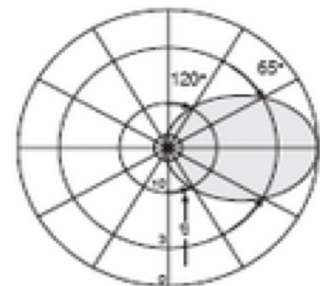


(b) Hexagonal pattern

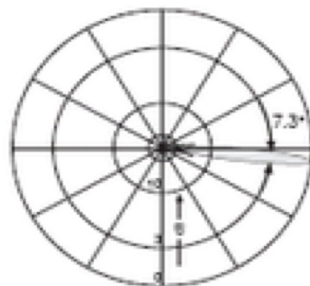
Figure 10.1 Cellular Geometries

Posizionamento delle antenne

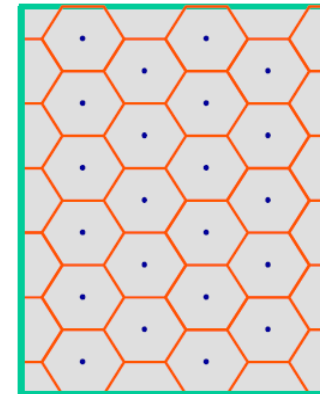
- ✓ Le antenne possono essere piazzate al centro della cella (a), oppure nel centro congiungente più celle, utilizzando antenne settoriali (b)



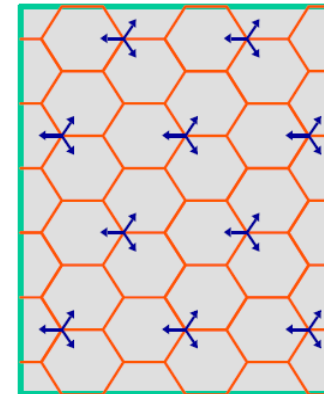
Horizontal Pattern



Vertical Pattern



a)

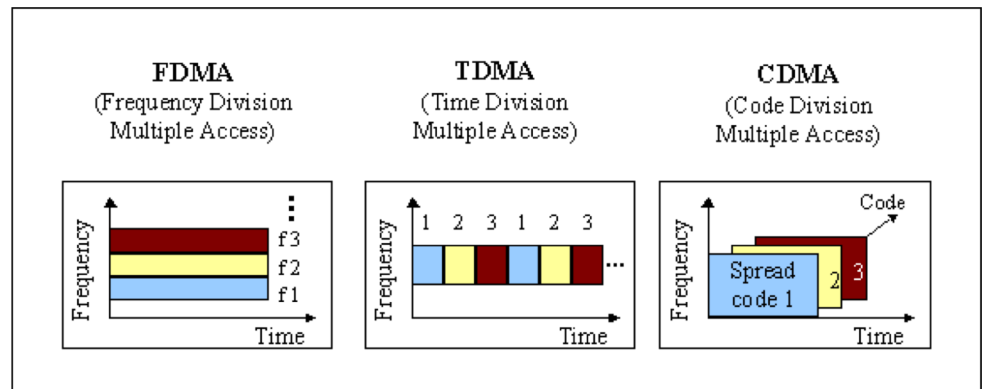
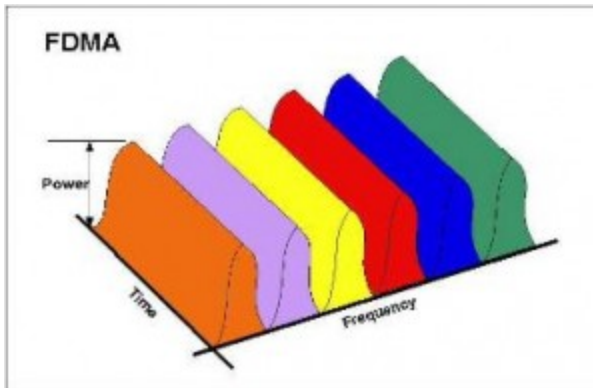


b)



Reti commerciali di prima generazione

- ✓ Trasmissione analogica, solo servizio di telefonia
- ✓ Tecnica d'accesso Frequency Division Multiple Access (FDMA)
 - Channel access method





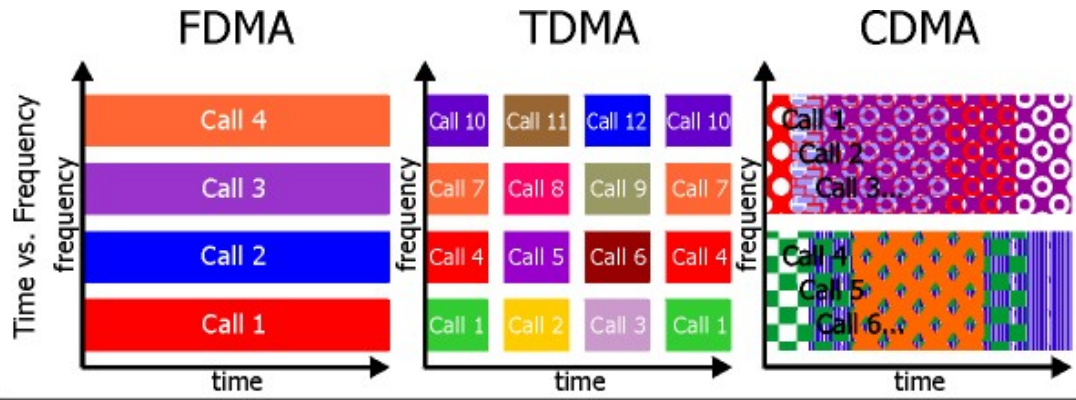
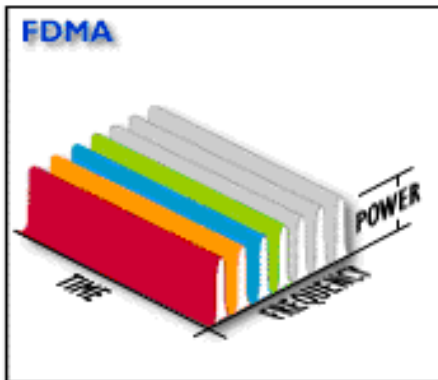
Reti commerciali di prima generazione

- ✓ Copertura del territorio con celle di grandi dimensioni
- ✓ Bassa qualità del servizio offerto
- ✓ Bassa efficienza nel riuso delle frequenze, e bassa capacità complessiva della rete
- ✓ Reti (dismesse): AMPS, NMT, TACS



Reti commerciali di seconda generazione

- ✓ Trasmissione numerica
- ✓ Tecnica d'accesso FDMA/TDMA oppure CDMA



Conversation Analogy

Everyone talks in a different room to prevent interference. Since the conversation can't be heard from another room, it can be filtered from the other by going to the other room.

Within each room, everyone takes turns talking to prevent interference. Within each room, one person is talking at once, so they must talk fast to say everything.

Everyone speaks a different language at the same time in the same room. Since each language is unique, one may be filtered from another.



Reti commerciali di seconda generazione

- ✓ Celle di dimensioni più contenute (raggio delle celle da alcune centinaia di metri ad alcune decine di Km)
- ✓ Bassa velocità di trasmissione
- ✓ Efficienza complessiva abbastanza buona, riuso delle frequenze da buono ad accettabile
- ✓ Reti in esercizio: D-AMPS (o ADC), GSM, DCS1800, DECT1900, JDC



GLOBAL SYSTEM FOR
MOBILE COMMUNICATIONS



Reti di seconda generazione “estese”

- ✓ Sono una prima fase commerciale (Es. GSM2/2+)
- ✓ Sfruttano la stessa architettura e la stessa tecnologia di seconda generazione
- ✓ Servizi a velocità più elevata o ad accesso a pacchetto (Es. GPRS), ma **soprattutto** mirano ad accrescere la capacità complessiva della rete
 - General Packet Radio Service (GPRS) – 2.5 G
 - Trasferimento dati a commutazione di pacchetto
 - Uso dei canali TDM della rete GSM
 - 30-70 kbps



Reti di terza generazione

- ✓ Trasmissione numerica, servizi “multimediali”, elevata velocità di trasmissione, accesso a pacchetto
- ✓ Tecnica d’accesso CDMA, W-CDMA (Wideband CDMA) o A-TDMA (Advanced-TDMA, un’evoluzione della tecnica FDMA/TDMA del GSM)
- ✓ Copertura cellulare “stratificata”, con celle di piccole dimensioni per avere elevata capacità e celle ad ombrello sovrapposte per consentire elevata mobilità
- ✓ Uso della diversità spaziale (comunicazione contemporanea con più stazioni fisse) per maggiore qualità/affidabilità



Reti di terza generazione

- ✓ Elevata integrazione di numerose sottoreti specializzate per fornire una miglior qualità di servizio
- ✓ Possibilità di handover tra sottoreti differenti
- ✓ Reti
 - ✓ UMTS (Universal Mobile Telecommunication System)
 - ✓ IMT200-ITU
 - ✓ ...



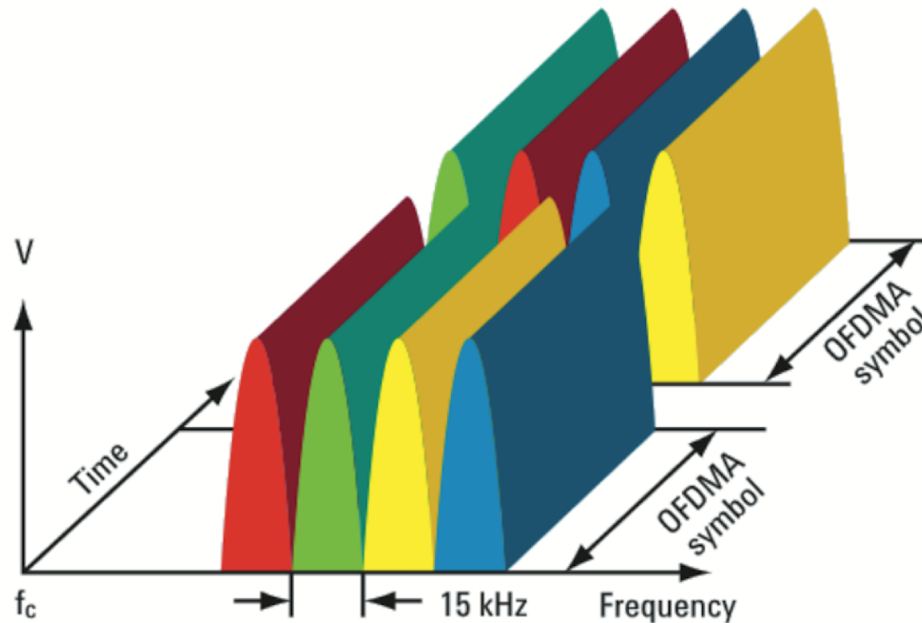
Reti di quarta generazione

- ✓ Passaggio intermedio con HSDPA&HSUPA (3.5 G) e HSPA+ (3.9G)
 - High –Speed Downlink Packet Access
 - High –Speed Uplink Packet Access
 - High –Speed Packet Access
- ✓ 4G: SOLO commutazione a pacchetto, tutto viaggia su IP
- ✓ Alta velocità
- ✓ 800, 1800 e 2600 MHz



Reti di quarta generazione

✓ Accesso OFDMA



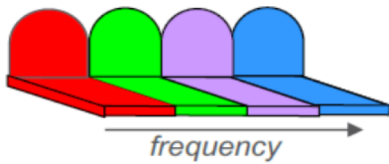
OFDMA

Data symbols occupy 15 kHz for
one OFDMA symbol period



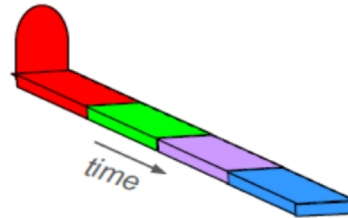
Mobile Access

Frequency Division Multiple Access



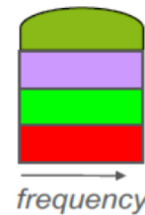
1G (i.e. TACS)

Time Division Multiple Access



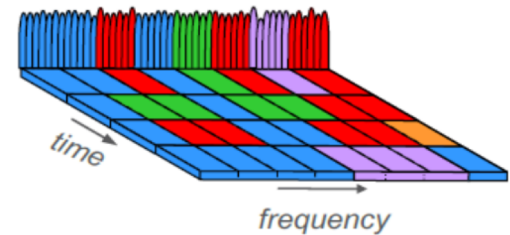
2G (i.e. GSM)

Code Division Multiple Access



3G (i.e. WCDMA)

Orthogonal Frequency Division Multiple Access



4G (i.e. LTE)