

RETI CELLULARI

Principi generali

Copyright Gruppo Reti di Telecomunicazioni – Politecnico di Torino

Definizioni

- **Rete wireless**
 - (sotto)rete in cui l'accesso da un terminale avviene attraverso un canale radio, "senza filo"
- **Rete cellulare**
 - 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

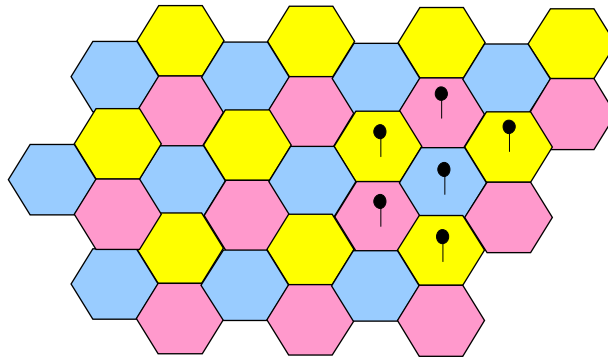
RETI RADIOMOBILI 3

Copyright Gruppo Reti di Telecomunicazioni – Politecnico di Torino

La copertura cellulare

Copyright Gruppo Reti di Telecomunicazioni – Politecnico di Torino

La copertura cellulare teorica

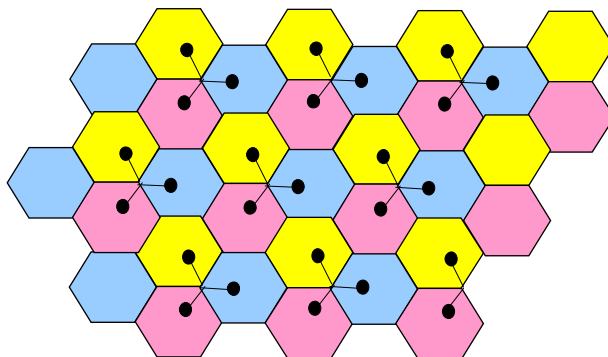


- Stazione base a centro cella con antenna isotropica
- Celle: aree esagonali regolari

RETI RADIOMOBILI 5

Copyright Gruppo Reti di Telecomunicazioni – Politecnico di Torino

La copertura cellulare teorica

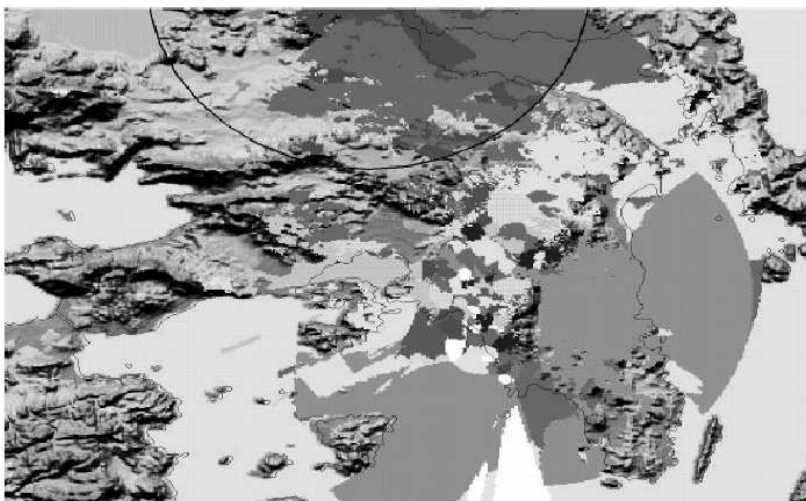


- 3 antenne direzionali a 120° ad un'estremità delle celle
- 3 antenne nello stesso sito

RETI RADIOMOBILI 6

Copyright Gruppo Reti di Telecomunicazioni – Politecnico di Torino

La copertura cellulare reale



Costituita da aree esagonali regolari

RETI RADIOMOBILI 7

Copyright Gruppo Reti di Telecomunicazioni – Politecnico di Torino

Le celle

- Le celle non sono regolari (esagoni) e delle stesse dimensioni
- Forma e dimensione della cella determinate da
 - Potenza delle antenne
 - Guadagno di antenna
 - Morfologia del territorio (in aree urbane dalla forma degli edifici)
 - Condizioni di propagazione

Le celle

- Modelli di propagazione: occorre distinguere tra macrocelle e microcelle
- Per una copertura macrocellulare (come quella rappresentata in figura), le caratteristiche del territorio sono normalmente rilevate da satellite:
 - L'estensione delle aree urbane
 - Le porzioni seminative
 - Le aree di bosco fitto o a macchie
 - Le aree rocciose e montane.....

Tecniche di accesso multiplo

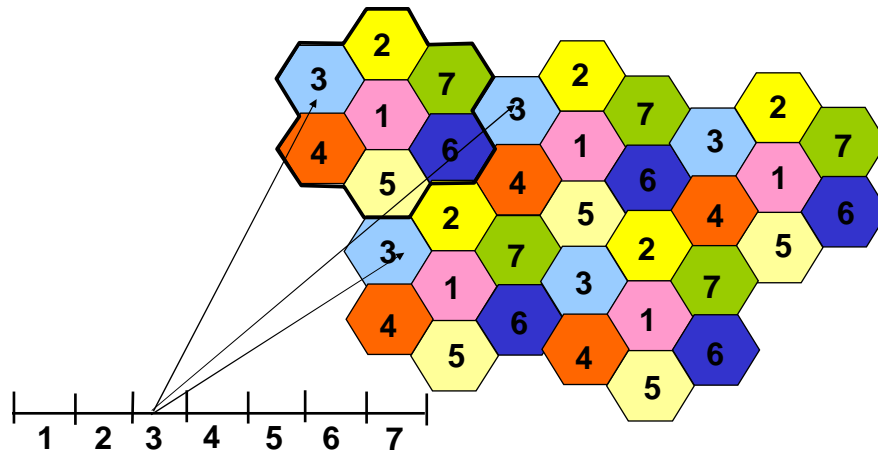
- Accesso multiplo: I canali radio sono risorse comuni a molti utenti
- Tecniche di accesso multiplo
 - FDMA (Frequency Division Multiple Access)
 - TDMA (Time Division Multiple Access)
 - CDMA (Code Division Multiple Access)
 - SDMA (Space Division Multiple Access)

FDMA: riutilizzo delle frequenze

- Con un limitato numero di risorse radio si vogliono conseguire i seguenti obiettivi:
 - Assicurare la copertura del territorio
 - Servire un elevato numero di utenti

**Usare le stesse frequenze
in punti geografici diversi**

Riutilizzo delle frequenze



“riuso di frequenza” equivale a SDMA

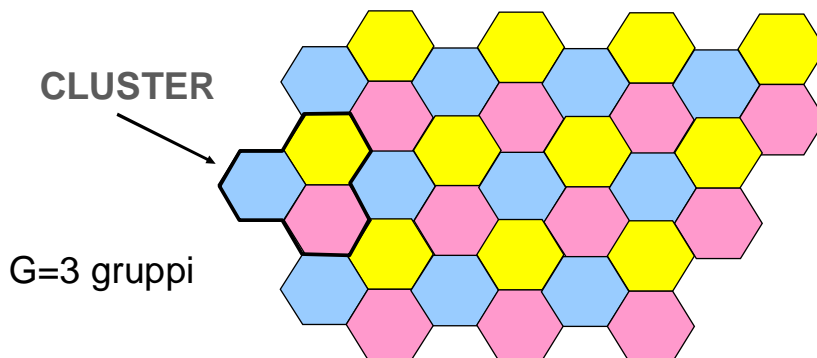
FDMA: riutilizzo delle frequenze

- Si definisce la larghezza di banda di un canale:
 - 25 kHz per TACS
 - 200 kHz per GSM
- Si divide lo spettro a disposizione, S , in N canali di quella larghezza di banda (S/N) e si definiscono le frequenze associate (portanti)

FDMA: riutilizzo delle frequenze

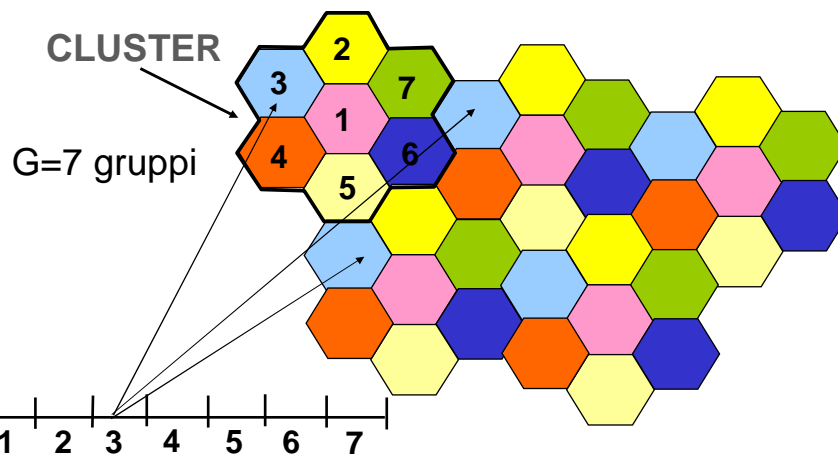
- Si partizionano gli N canali in G gruppi di $k=N/G$ canali ognuno (k canali / cella)
- Si definisce cluster l'insieme delle G celle adiacenti che usano tutti gli N canali *una volta sola*
- Si divide il territorio in cluster di celle
- Fattore di riuso: $1/G$

Cluster con 3 celle



- L'insieme dei canali nel gruppo blu, giallo e rosa sono disgiunti
- Celle dello stesso colore sono dette "co-canale"

Cluster con 7 celle

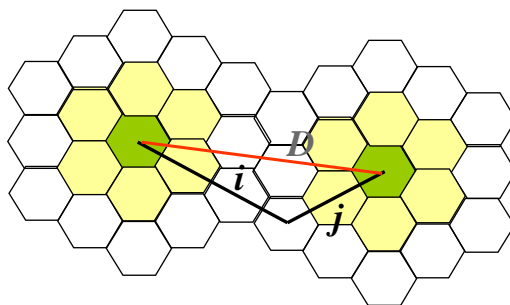


RETI RADIOMOBILI 16

Copyright Gruppo Reti di Telecomunicazioni – Politecnico di Torino

Dimensione del cluster

- No. celle/cluster: $G = i^2 + j^2 + ij$



i e j interi

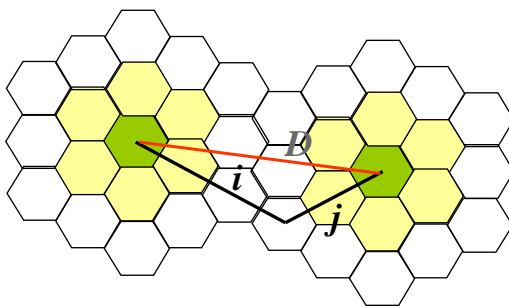
- Possibili valori di G : 1, 3, 4, 7, 9, 12, 13, 16, 19, 21, ...

RETI RADIOMOBILI 17

Copyright Gruppo Reti di Telecomunicazioni – Politecnico di Torino

Dimensione del cluster

- No. celle/cluster: $G = i^2 + j^2 + ij$



Regola: una cella cocanale può trovarsi solo a distanza calcolata come i celle lontano e poi altre j celle in direzione a 60 gradi in senso antiorario, con i e j interi.

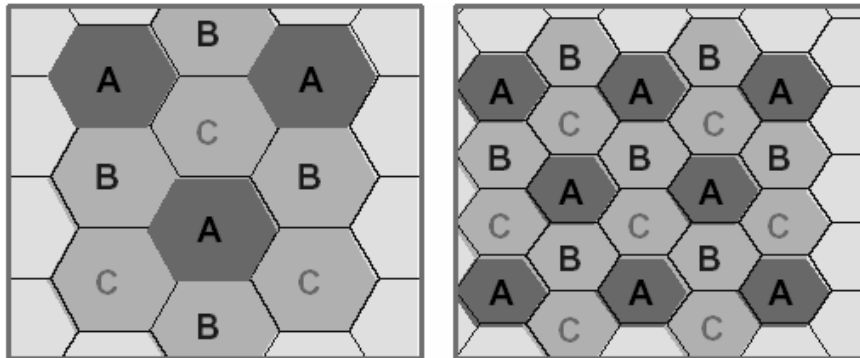
- rispettando G per ogni cella determina una tassellazione dell'area senza gap.

Capacità della rete cellulare

- M : numero di volte che devo ripetere il cluster per coprire l'intera area

$$\text{Capacità} = M \cdot G \cdot k \cdot \frac{S}{N} = M \cdot S$$

La dimensione della cella

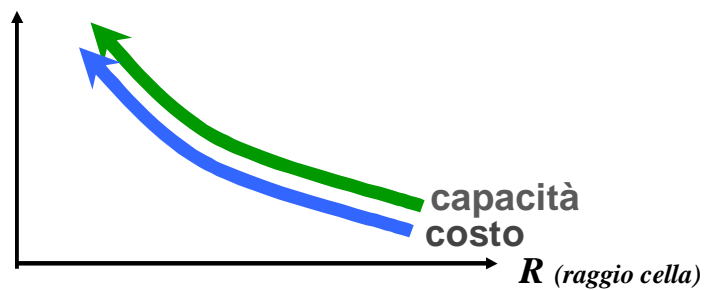


Al crescere di M (celle più piccole), aumenta la capacità del sistema

RETI RADIOMOBILI 20

Copyright Gruppo Reti di Telecomunicazioni – Politecnico di Torino

La dimensione della cella



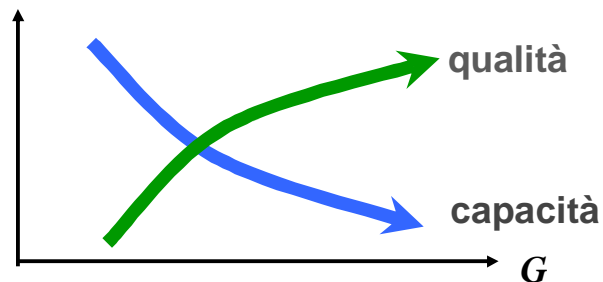
A pari G :

- Minore R , maggiore M , maggiore capacità
- Minore R , maggiore numero di antenne per avere la stessa copertura

RETI RADIOMOBILI 21

Copyright Gruppo Reti di Telecomunicazioni – Politecnico di Torino

La dimensione del cluster

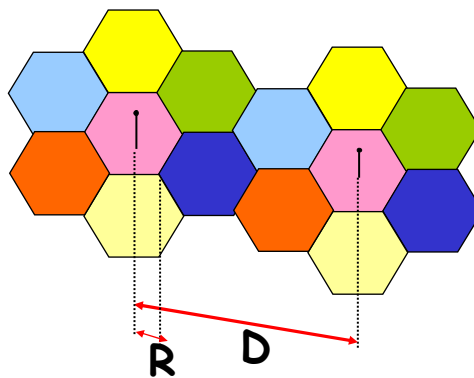


A pari R (= a parità di copertura di una cella):

- Minore G , maggiore num di canali per cella (k) e maggiore $M \rightarrow$ maggiore capacità
- Maggiore G , maggiore D , minore interferenza, migliore qualità

I parametri D ed R

- Per celle con stessa dimensione e stazioni base con la stessa potenza, l'interferenza co-canale diventa funzione solo di R e D



Riutilizzo delle frequenze

- SIR (I=interferenza co-canale) valutato con C/I (potenza portante / potenza interferente)
- Maggiore è la distanza D tra i trasmettitori, minore è l'interferenza
- Maggiore è il raggio R di una cella, maggiore la potenza usata e quindi l'interferenza

$$\mathbf{E' fondamentale Q = D/R}$$

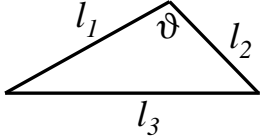
Riutilizzo delle frequenze

- Considerando che celle co-canale si trovano in linea retta e poi ad angolo di 60°, vale la relazione:

$$Q = D / R = \sqrt{3G}$$

- Più grande è G, maggiore è Q, maggiore C/I, migliore la qualità del servizio fornito all'utente

Dimostrazione



$$l_3 = \sqrt{(l_1^2 + l_2^2 - 2 \cos(\vartheta) l_1 l_2)}$$

$$l_1 = i \cdot 2R \cdot \sin(60) \quad l_2 = j \cdot 2R \cdot \sin(60)$$

$$D = l_3$$

$$D = 2R \sin(60) \sqrt{(i^2 + j^2 - 2 \cos(120)ij)} = R \sqrt{3(i^2 + j^2 + ij)}$$

$$D = R \sqrt{3G}$$

Esempio: calcolo di C/I

Ipotesi:

- Interferenti co-canale del primo tier (6)
- Celle della stessa dimensione (raggio R)
- Trasmettitori usano la stessa potenza P_t
- La potenza ricevuta alla distanza d è proporzionale a $1/d^n$

$$\frac{C}{I} = \frac{P_t R^{-n}}{6 P_t D^{-n}} = \frac{(D/R)^n}{6} = \frac{(\sqrt{3G})^n}{6}$$

Riutilizzo delle frequenze: criteri di progetto

- Maggiore D/R , maggiore C/I , migliore la qualità del servizio fornito all'utente
- Minore D/R , minore G , meno celle nel cluster. A pari numero di canali N , più canali nella cella e maggiore M → maggiore la capacità del sistema

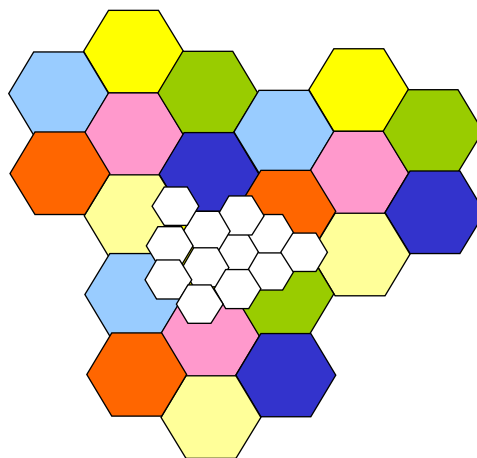
Riutilizzo delle frequenze: criteri di progetto

- Alcune tecniche consentono di aumentare la capacità di traffico e diminuire l'interferenza
 - Splitting
 - Sectoring
 - Tilting

Splitting

- Consente di suddividere celle di dimensioni grandi in celle più piccole
- Coesistono
 - Microcelle: celle di dimensioni piccole in zone ad alta densità di traffico (aree metropolitane altamente popolate). Potenza alla stazione base ≈ 3 W
 - Macrocelle: celle di dimensioni grandi in zone a bassa densità di traffico (zone rurali)

Splitting

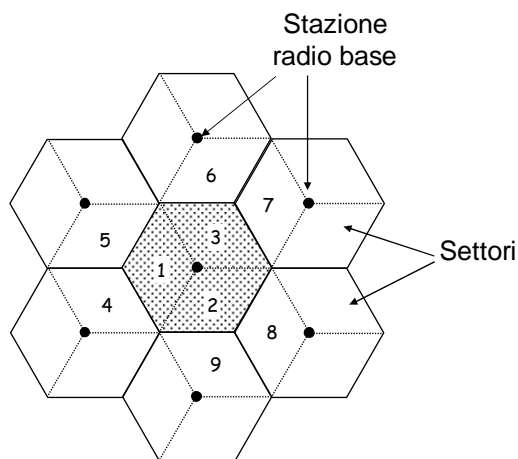


- Ciascuna cella grande può essere sostituita con un certo numero di celle piccole

Sectoring

- La cella è divisa in settori che usano frequenze diverse con antenne direttive (a 60° o 120°)
- Le antenne direttive riducono l'interferenza
- Creo nuove "celle" senza aumentare i costi dei siti radio
- Configurazione tipica è la tri-cellulare con 3 settori per cella (3 celle per sito) e antenne direttive separate di 120°

Copertura cellulare con cluster di 9 celle e antenne settoriali a 120°



Tilting

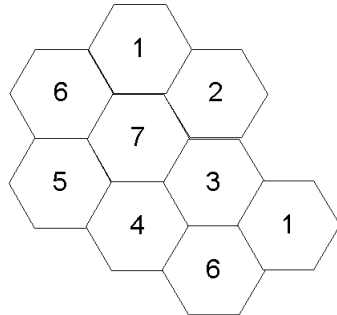
- Le antenne direttive causano interferenza sostanzialmente solo lungo la direzione privilegiata
- L'interferenza in questa direzione può però essere elevata
- Le antenne vengono inclinate verso il basso di qualche grado (tilt)
 - Antenne FET (Fixed Electrical Tilt) hanno inclinazione "fisica"
 - Antenne VET (Variable Electrical Tilt) realizzano il tilt mediante controllo di fase sul dipolo

Dimensione tipica del cluster

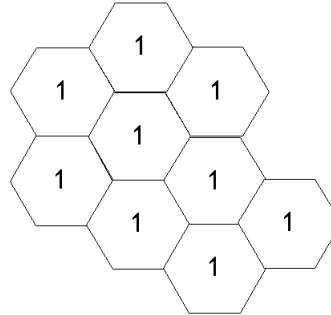
- Sistemi analogici con accesso FDMA (AMPS, TACS):
 - cluster di 19 o 21 celle
- Sistemi numerici con accesso di tipo TDMA o misto FDMA/TDMA (GSM, D-AMPS):
 - cluster di 7 o 9 celle
- Sistemi numerici con accesso CDMA (IS-95):
 - cluster di una cella (almeno in linea di principio)

Riuso delle frequenze

FDMA/TDMA



CDMA



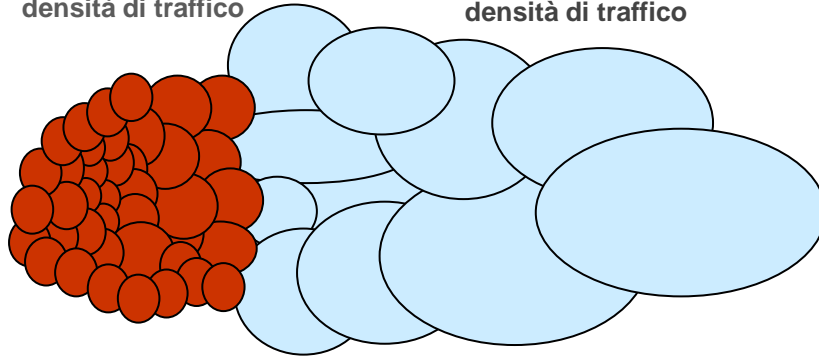
Tecniche di copertura cellulare

- È possibile usare antenne direzionali per avere celle di forma e dimensione particolare
- Celle di dimensione (e forma) diversa
- Celle “stratificate” (celle a ombrello)
- Sono allo studio tecniche per ottenere celle “puntiformi” che “inseguono” il terminale mobile

Adattare la dimensione delle celle alle aree con diversa intensità di traffico

Zona ad alta densità di traffico

Zona a bassa densità di traffico



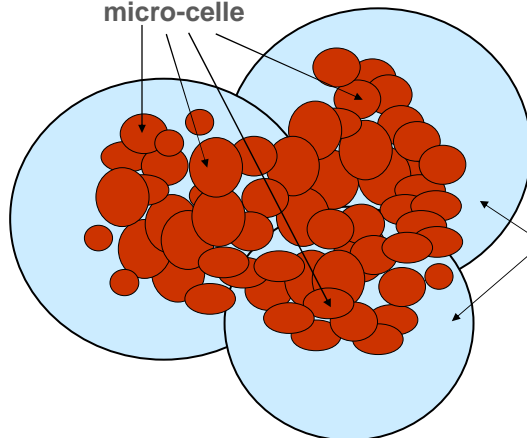
RETI RADIOMOBILI 38

Copyright Gruppo Reti di Telecomunicazioni – Politecnico di Torino

Copertura cellulare stratificata

micro-celle

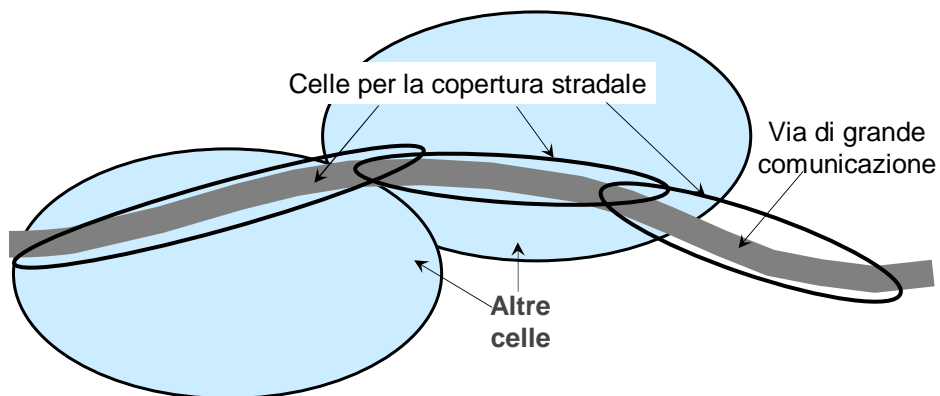
Celle a "ombrello"



RETI RADIOMOBILI 39

Copyright Gruppo Reti di Telecomunicazioni – Politecnico di Torino

Copertura cellulare di tipo autostradale

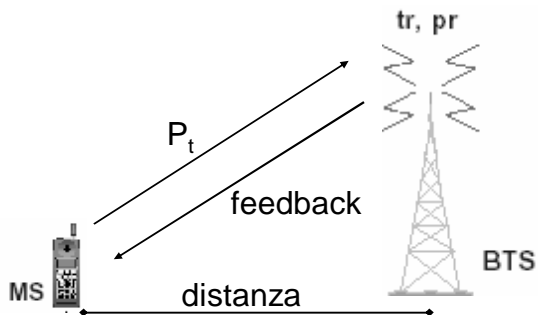


RETI RADIOMOBILI 40

Copyright Gruppo Reti di Telecomunicazioni – Politecnico di Torino

Controllo di potenza

- Necessario per ridurre:
 - Interferenza
 - Consumo energetico
- Controllo ad anello aperto / chiuso



RETI RADIOMOBILI 41

Copyright Gruppo Reti di Telecomunicazioni – Politecnico di Torino

Pianificazione della copertura

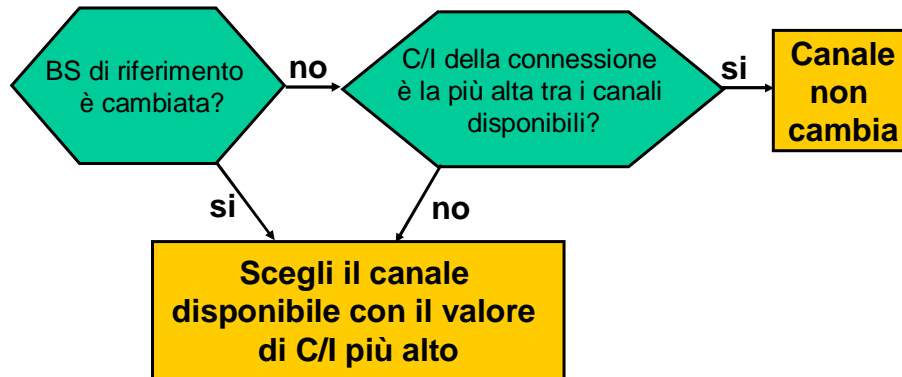
- **Allocazione statica dei canali (Fixed Channel Allocation, FCA)**
 - Basata sul concetto di cluster
 - Le frequenze sono associate in modo statico e permanente
 - Il piano frequenziale è cambiato solo di tanto in tanto per migliorare le prestazioni di rete o per seguire le variazioni lente del numero di utenti

Pianificazione della copertura

- **Allocazione dinamica dei canali (Dynamic Channel Allocation, DCA)**
 - Risorse assegnate alle celle da un controllore centrale, quando servono
 - Il controllore tiene in conto i livelli di interferenza nel gruppo di celle controllato
 - L'allocazione cambia nel tempo in base a
 - numero di connessioni attive
 - livello di interferenza
 - Il piano frequenziale evolve nel tempo adattandosi allo stato del sistema

Allocazione automatica dei canali

Utilizzata nel caso di una chiamata in corso:

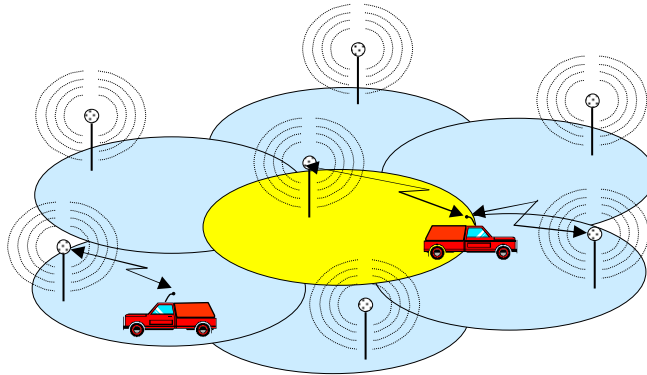


Pianificazione della copertura

- Schemi ibridi (Hybrid Channel allocation Scheme, HCS)
 - Una porzione dei canali è allocata in maniera statica (FCA)
 - Una porzione è allocata in maniera dinamica (DCA)

Rete Cellulare

- La copertura radio del territorio è realizzata con tante celle
- Supporto della mobilità degli utenti

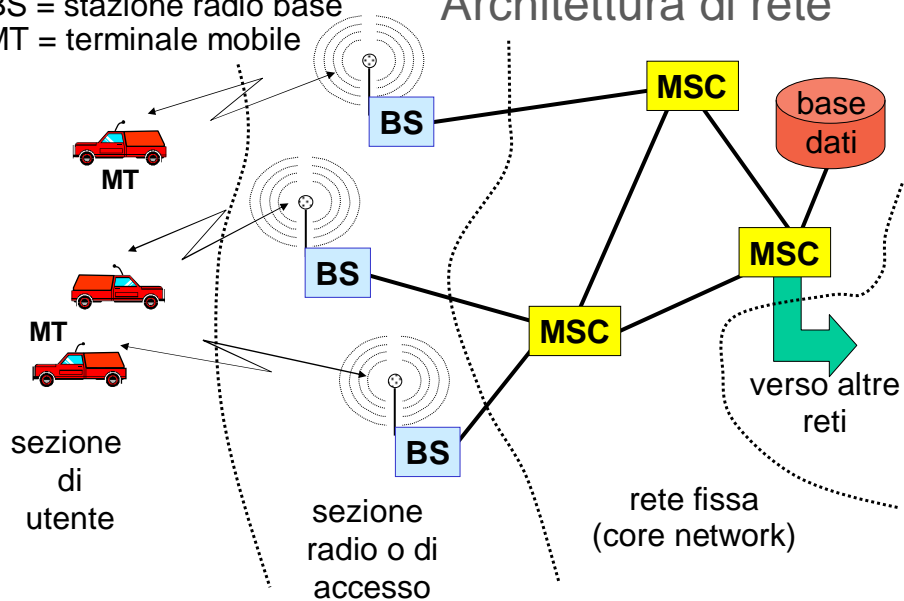


RETI RADIOMOBILI 46

Copyright Gruppo Reti di Telecomunicazioni – Politecnico di Torino

MSC = commutatore
BS = stazione radio base
MT = terminale mobile

Architettura di rete



RETI RADIOMOBILI 47

Copyright Gruppo Reti di Telecomunicazioni – Politecnico di Torino

Gestione della mobilità

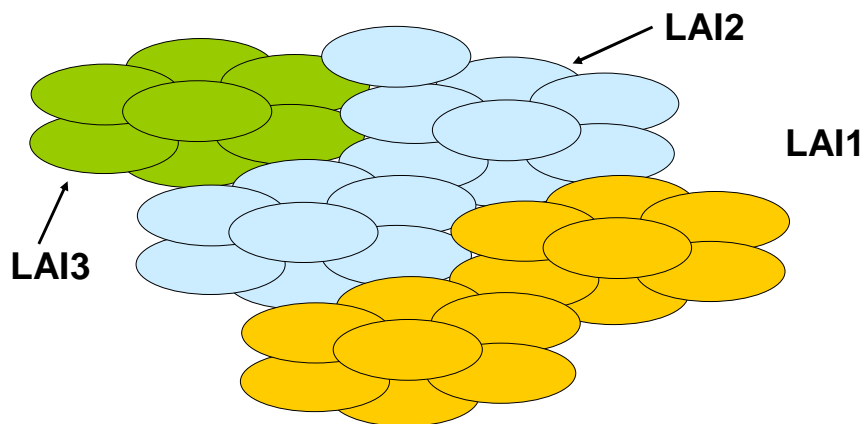
- Il supporto dell'elevata mobilità è di fatto l'elemento distintivo tra le reti cellulari ed ogni altro tipo di rete TLC
- Sono necessarie alcune procedure
 - Roaming
 - Location updating
 - Paging
 - Handover

Roaming

- È la possibilità data all'utente di essere rintracciabile anche se si sposta all'interno della rete
- Il sistema deve memorizzare in una base di dati la posizione degli utenti per poterli rintracciare
- Per memorizzare la posizione dell'utente si divide il territorio in aree dette location area (LA) che sono insiemi di celle

Roaming

- Ogni location area ha un identificativo, il location area identifier (LAI)



Location Updating

- È la procedura con cui avviene l'aggiornamento della posizione dell'utente
- In ogni cella di una LA viene diffuso periodicamente il LAI su un canale di controllo
- Il terminale mobile che riceve un LAI diverso da quello precedentemente memorizzato richiede al sistema una procedura di location updating (aggiornamento della base di dati)

Paging

- È la procedura con cui il sistema avvisa un terminale mobile di una chiamata in arrivo
- Il sistema invia un messaggio di paging all'interno della LA in cui è localizzato l'utente

Handover

- È la procedura che consente il trasferimento di una chiamata *attiva* da una cella alla successiva, mentre il terminale mobile si sposta all'interno della rete
- 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

Classificazione handover

- **Intra <-> Inter Cell**
 - Indica se l'handover avviene tra frequenze all'interno della stessa cella o tra celle diverse
- **Soft <-> Hard**
 - indica se durante l'handover sono attivi entrambi i canali radio (soft) o solamente uno per volta (hard)
- **Forward <-> Backward**
 - indica se la segnalazione avviene tramite la BS di origine (backward) oppure la BS destinazione (forward)

Classificazione handover

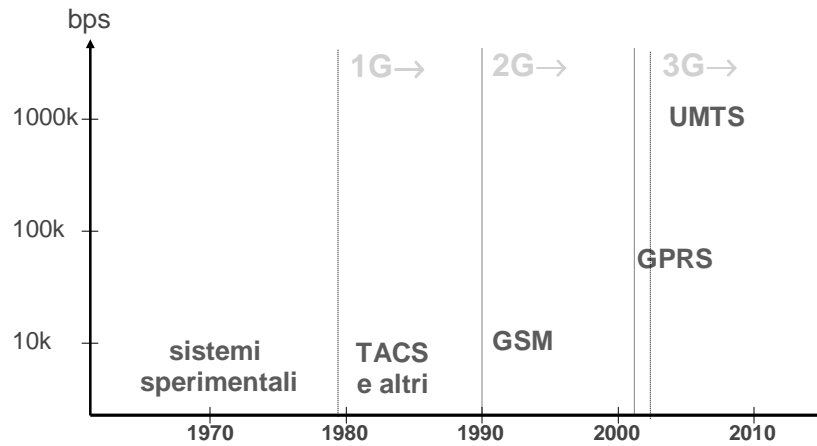
- **MT <-> BS initiated**
 - indica se il primo messaggio di segnalazione per l'inizio di h.o. viene inviato dal terminale utente come richiesta (MT initiated) oppure da BS come comando (BS initiated)
- inoltre bisogna anche stabilire chi e come effettua le misure necessarie per stabilire il momento opportuno per effettuare un handover

Altre funzioni: la registrazione

- E' la funzione di
 - collegamento del terminale alla rete
 - identificazione, autenticazione
- Procedura da eseguire:
 - all'accensione del terminale
 - tutte le volte che si desidera accedere ad un nuovo servizio (es. fare una nuova chiamata)
 - serve ad associare il terminale alla rete

Evoluzione della telefonia cellulare

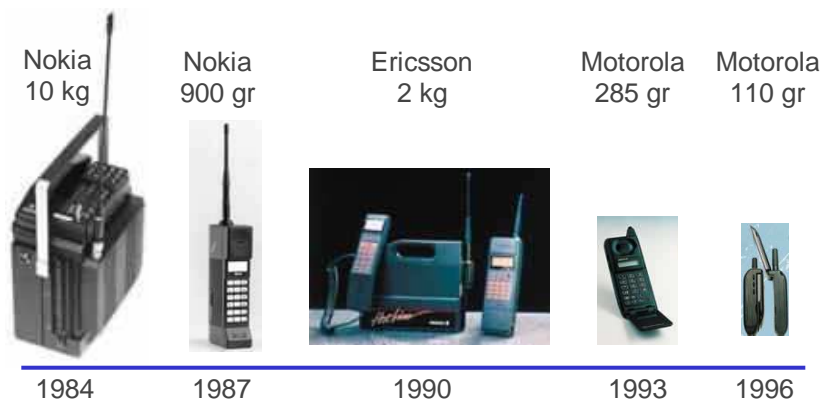
Evoluzione della telefonia cellulare



RETI RADIOMOBILI 58

Copyright Gruppo Reti di Telecomunicazioni – Politecnico di Torino

Miniaturizzazione



RETI RADIOMOBILI 59

Copyright Gruppo Reti di Telecomunicazioni – Politecnico di Torino

Reti commerciali di prima generazione

- Tecnologia analogica
- Tecnica di accesso FDMA
- Solo servizio di telefonia
- 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 commerciali di prima generazione

- TACS:
 - Opera a 900 MHz
 - Banda di canale pari a 25 kHz
 - Totale di 1320 canali bidirezionali, con distanza tra up- e down-link di 45 MHz
 - Uplink: 872 - 905 MHz
 - Downlink: 917 - 950 MHz
 - Una parte dei canali non usati per la presenza del GSM
 - In Italia, servizio sospeso (TIM) il 31/12/05

Reti commerciali di seconda generazione

Differenza fondamentale è il passaggio da trasmissione analogica a **digitale**. Vantaggi:

- Integrazione di servizi diversi
- Crittografia sul canale radio (riservatezza)
- Dimensione tempo per sfruttare risorse radio
- Tecniche di codifica vocale per ridurre banda richiesta
- Tecniche di segnalazione per servizi avanzati

Reti commerciali di seconda generazione

- Trasmissione digitale
- Tecnica di accesso FDMA/TDMA
- Tre bande di frequenza (900, 1800, 1900 MHz)
- Celle di dimensioni più contenute (raggio delle celle da alcune centinaia di metri ad alcune decine di km)
- Efficienza complessiva abbastanza buona, riuso delle frequenze da buono ad accettabile
- Alto grado di riservatezza e di sicurezza (PIN, trasmissione criptata)

Reti commerciali di seconda generazione

- Per la trasmissione dati velocità molto basse (9600 bps per GSM)
- Invio e ricezione di SMS (*Short Message Service*) di max 160 caratteri (dal 1992)
- Il servizio inizia nel 1991; ora è adottato da più di 160 Paesi
- Reti in esercizio: D-AMPS (o ADC) e IS-95 in USA, GSM in Europa, PDC in Giappone
- In Italia le licenze sono state assegnate a 4 operatori:
TIM, Omnitel, Wind, (Blu)

Reti di seconda generazione "estese"

- Sfruttano la stessa architettura e la stessa tecnologia delle attuali reti di seconda generazione
- Sono una prima fase commerciale: GPRS in Europa, IS-95B in USA
- Servizi dati
 - A pacchetto
 - A velocità elevata (fino a 170 kbps in GPRS)
 - Tariffazione in base al volume di traffico

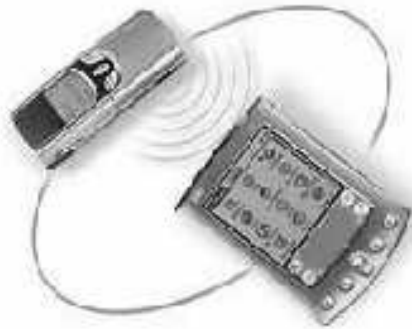
Reti di seconda generazione "estese"

- L'architettura è di tipo "multirete", cioè la rete è formata da diverse sottoreti specializzate (es. DECT e DCS in ambiente urbano, GSM in ambiente rurale, etc.)
- È previsto l'uso di terminali "multistandard" in grado di collegarsi alla rete più opportuna in funzione del servizio richiesto
- Non sempre è possibile mantenere la comunicazione se è necessario cambiare sottorete (es. DCS→GSM SI, GSM→DECT NO)

Terminali GPRS: esempi



Convergenza PDA / cellulare



Accoppiamento
PDA - cellulare



RETI RADIOMOBILI 68

Copyright Gruppo Reti di Telecomunicazioni – Politecnico di Torino

Reti di terza generazione

- Progettate per fornire servizi "multimediali"
- Tecnica di accesso CDMA, W-CDMA o A-TDMA (Advanced-TDMA, una evoluzione della tecnica FDMA/TDMA del GSM)
- Copertura cellulare "stratificata", con celle di piccole dimensioni per avere elevata capacità e celle a ombrello sovrapposte per consentire elevata mobilità
- Uso della diversità spaziale (comunicazione contemporanea con più stazioni fisse) per maggiore qualità/affidabilità
- Elevata velocità (fino a 2Mbps)

RETI RADIOMOBILI 69

Copyright Gruppo Reti di Telecomunicazioni – Politecnico di Torino

Reti di terza generazione

- Elevata integrazione di molte sottoreti specializzate per fornire migliore qualità di servizio
- Richiede grandi investimenti
- Possibilità di handover tra sottoreti differenti
- Reti "previste":
 - UMTS (Universal Mobile Telecommunication System)
- ETSI in Europa e Giappone
 - CDMA2000 (IS-95C) in USA

Reti di quarta generazione

- Ancora da standardizzare
- Obiettivi
 - Impiego di frequenze elevate (40 o 60 GHz)
- Velocità fino a 150 Mbps
- Interazione di reti eterogenee anche nell'interfaccia radio
- Terminali e reti autoconfiguranti
- Garantisce livelli di QoS
- Basata su IP