

(da materiale preparato da Antonio Capone-
Politecnico di Milano)

Corso di Reti

Canali e Multiplazione

1

Canali punto-punto

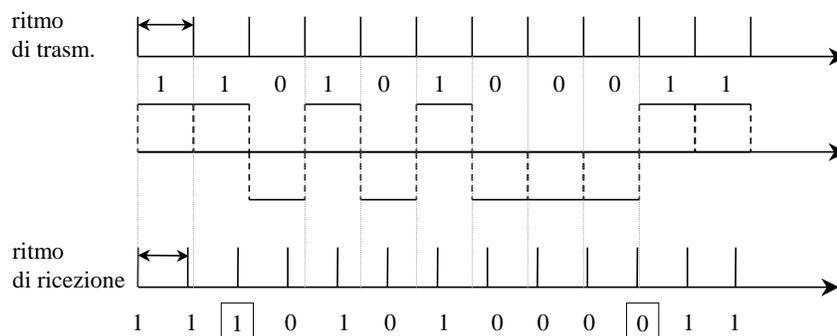
- collegamenti permanenti tra un trasmettitore ed un ricevitore
- il ricevitore può essere ottimizzato sulla base dell'unico segnale da ricevere
- trasmissione continua o in trame (può cambiare il sincronismo)



2

Cenno sul sincronismo

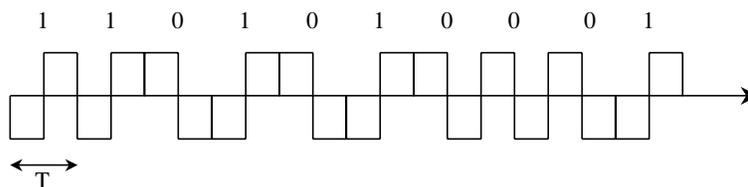
- se gli orologi non sono allineati:



3

Metodi per garantire il sincronismo

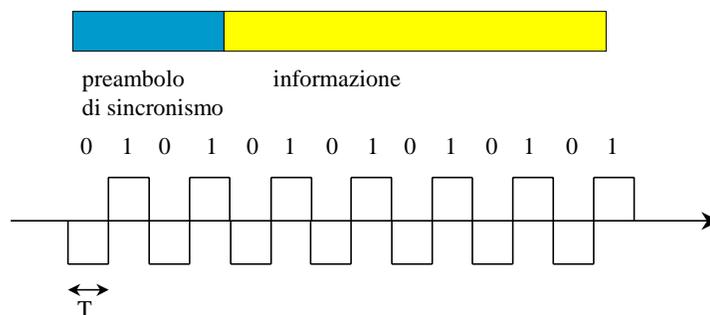
- sincronismo continuo:
 - grazie a della ridondanza della codifica è possibile derivare direttamente l'informazione di sincronismo:



4

Sincronismo mediante preambolo

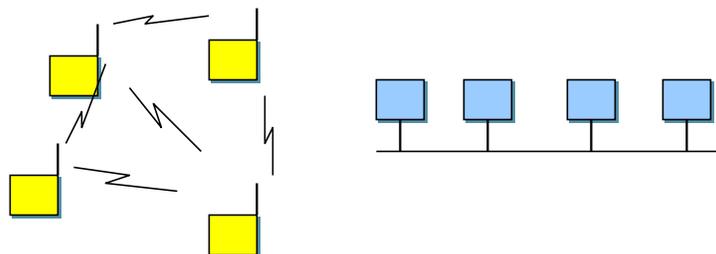
- prima della trasmissione vera e propria si trasmette un preambolo di sincronismo che consente al ricevitore di agganciarsi



5

Canali broadcast

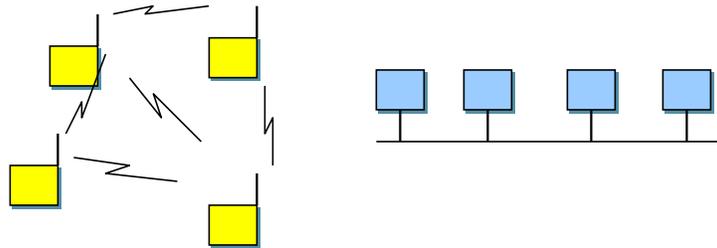
- sono canali nei quali più stazioni possono accedere in parallelo
- il segnale emesso da una stazione raggiunge tutte le altre



6

Canali broadcast

- Il ricevitore può ricevere molti segnali diversi in livello e sincronismo e deve essere in grado di adattarsi
- le trasmissioni sono sempre precedute da un preambolo di sincronismo
- esempi: reti locali ethernet, sistemi cellulari



7

La moltiplicazione

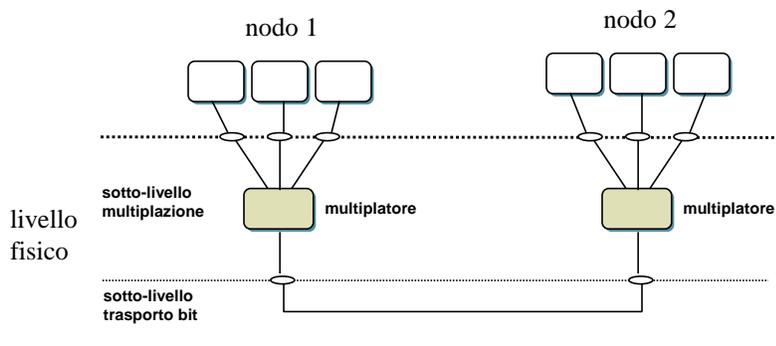
- la capacità dei mezzi trasmissivi fisici può essere divisa per ottenere più canali di velocità più bassa



8

La multiplazione fisica

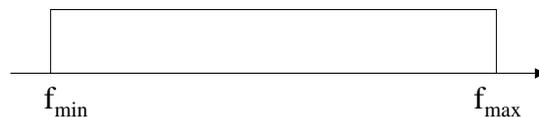
- la distinzione tra i flussi avviene solo sulla base di parametri del livello fisico come frequenza, tempo, codice, lunghezza d'onda, ecc.



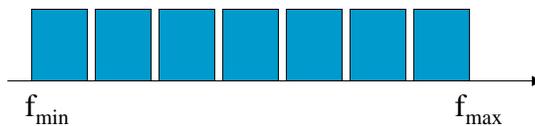
9

Multiplazione a divisione di frequenza FDM (Frequency Division Multiplexing)

- Il mezzo trasmissivo può essere caratterizzato da una banda di frequenze utilizzabili



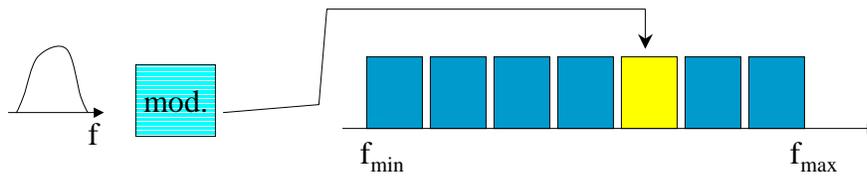
- la banda complessiva può essere divisa in sotto-bande cui associare un canale



10

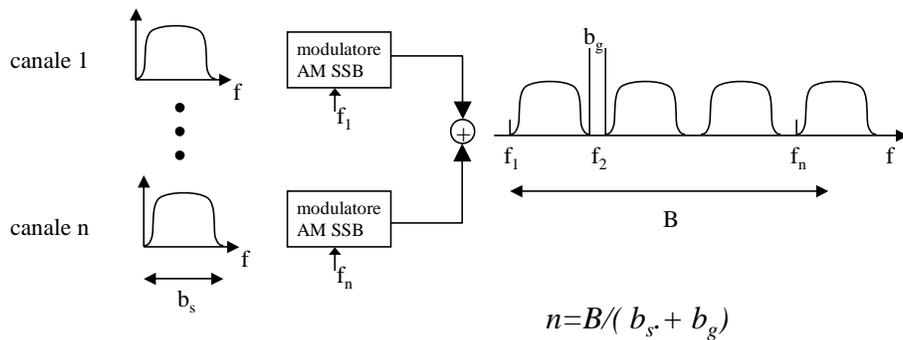
Moltiplicazione a divisione di frequenza FDM (Frequency Division Multiplexing)

- il segnale relativo ad un canale viene trattato mediante tecniche di modulazione in modo da associarlo a ciascuna sotto banda



11

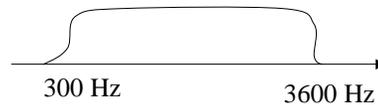
Moltiplicazione a divisione di frequenza FDM (Frequency Division Multiplexing)



12

FDM telefonico

- in passato l'FDM veniva come tecnica di moltiplicazione dei canali vocali tra centrali telefoniche
- banda segnale vocale: circa 4 kHz

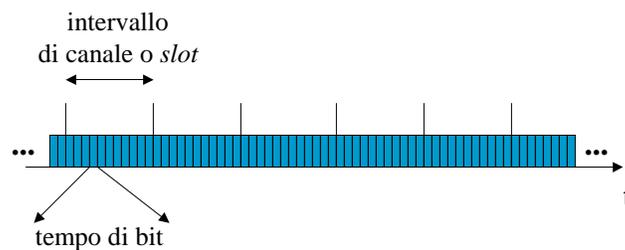


- moltiplicazione di 12 canali da 4 kHz su una banda di 48 kHz
- moltiplicazione successiva del segnale multiplo di 48 kHz con altri segnali multipli (moltiplicazione a livelli gerarchici)

13

Moltiplicazione a divisione di tempo TDM (Time Division Multiplexing)

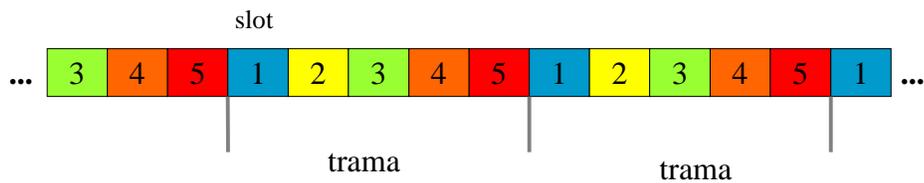
- E' una tecnica usata per segnali digitali (...)
- Dato un canale numerico a velocità C (bit/s) si costruiscono intervalli di tempo di canale costituiti da multipli del tempo di bit $t_b=1/C$



14

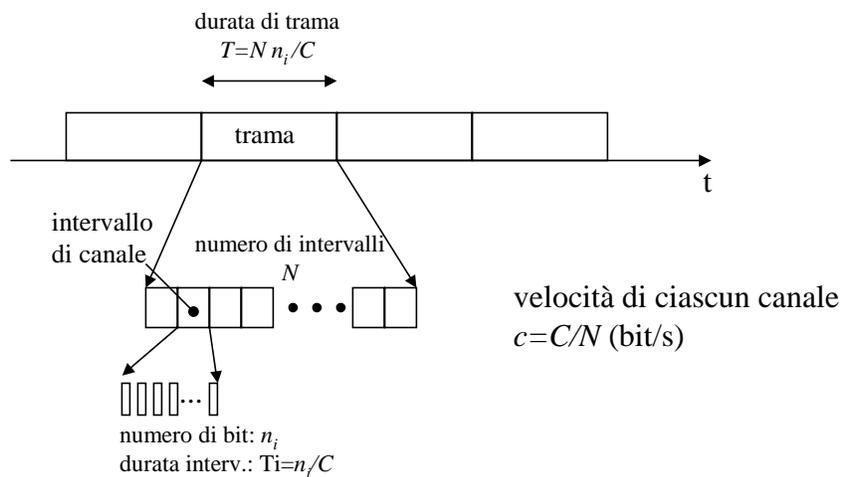
TDM (Time Division Multiplexing)

- Un canale può usare un intervallo di canale (*slot*) ogni N
- si definisce una struttura a *trame* consecutive costituite da N slot consecutivi
- se si numerano ciclicamente gli slot delle trame, un canale è associato a un numero di slot



15

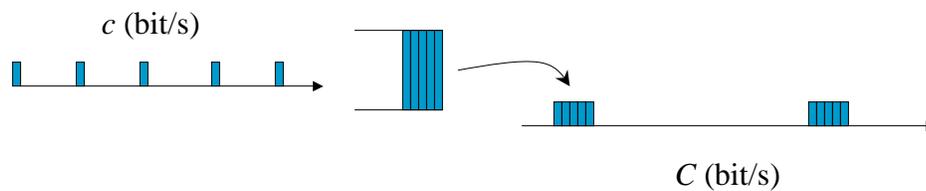
TDM (Time Division Multiplexing)



16

TDM (Time Division Multiplexing)

- Scelta della durata di slot:
 - n_i numero di bit per slot
 - T_i durata di uno slot ($T_i = n_i / C$)
- la velocità del canale c non dipende da T_i ma solo da N ($c = C/N$)
- tempo di adattamento: $T_a = n_i / c$



17

Esercizio

- Si consideri un canale di velocità $C = 2,048$ Mbit/s
- si vogliono ricavare canali di velocità $c = 64$ kbit/s con un ritardo di adattamento massimo di 10 ms
- si calcoli:
 - il numero di canali ottenibili
 - la durata massima di slot
 - il numero di bit per slot
 - $N = C/c = 2048/64 = 32$
 - $T_a = n_i / c = 10$ ms;
 - $n_i = T_a c = 0,01 \cdot 64000 = 640$;
 - $T_i = n_i / C = 0,3125$ ms

18

Esercizio

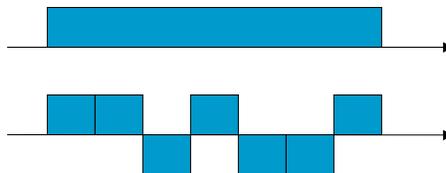
- Si consideri un canale di velocità $C=900$ kbit/s
- si vogliono ricavare 4 canali di velocità $c=200$ kbit/s e un canale di velocità 100 kbit/s
- si definisca allo scopo una struttura di trama TDM

da fare a casa

19

Multiplicazione a divisione di codice CDM (Code Division Multiplexing)

- La tecnica CDM consiste nel miscelare N flussi di bit previa moltiplicazione di ciascuno di questi con una parola di codice C_i scelta fra le N parole di un codice ortogonale
- le parole del codice sono costituite da N simboli binari, chiamati chip per distinguerli dai bit di informazione, di durata N volte inferiore al bit di informazione

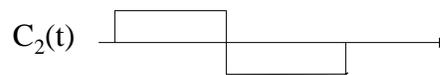
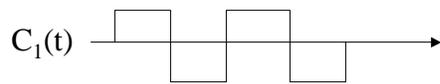


20

Codici ortogonali

■ **segnali ortogonali:** $\int s_1(t) \cdot s_2(t) = 0$

■ **sequenze ortogonali:**



$$\int_0^T C_1(t) \cdot C_2(t) = 0$$

$$\sum_{i=1}^N c_{1i} \cdot c_{2i} = 0$$

21

Codici ortogonali

matrici di Hadamart:

$$H_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$$

$$H_{2n} = \begin{bmatrix} H_n & H_n \\ H_n & -H_n \end{bmatrix}$$

Esempio N=4

$$C_0 = \{1, 1, 1, 1\}$$

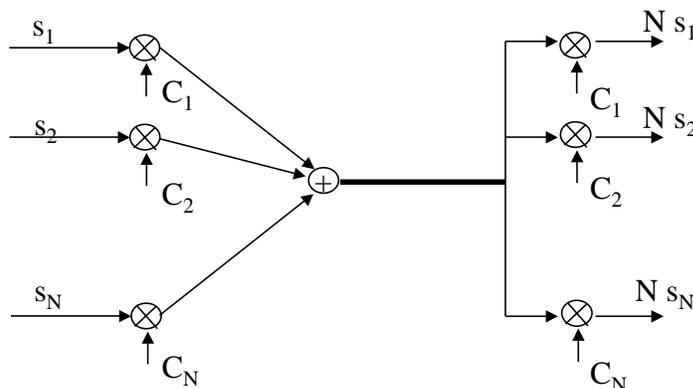
$$C_1 = \{1, -1, 1, -1\}$$

$$C_2 = \{1, 1, -1, -1\}$$

$$C_3 = \{1, -1, -1, 1\}$$

22

CDM (Code Division Multiplexing)



$$\left(\sum_{i=0}^{N-1} s_i C_i \right) \cdot C_k = N \cdot s_k$$

23

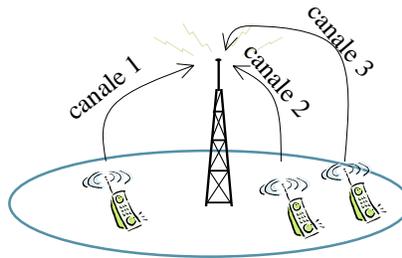
Multiplazione a divisione di lunghezza d'onda WDM (Wavelength Division Multiplexing)

- è la stessa cosa che FDM, si chiama WDM per ragioni storiche legate allo sviluppo della fibra ottica
- le diverse portanti ottiche alle diverse lunghezze d'onda sono gestite con dispositivi ottici
- ciascuna portante ottica viene modulata ai limiti delle velocità elettroniche (5-10 Gbit/s)
- il limite tecnologico è dovuto alla stabilità dei laser in frequenza e alla scarsa risoluzione dei filtri ottici
- dispositivi commerciali con 16 lunghezze d'onda, ma presto avremo 128 lunghezze d'onda
- ad esempio la capacità dei cavi trasoceanici viene moltiplicata dal numero di lunghezze d'onda

24

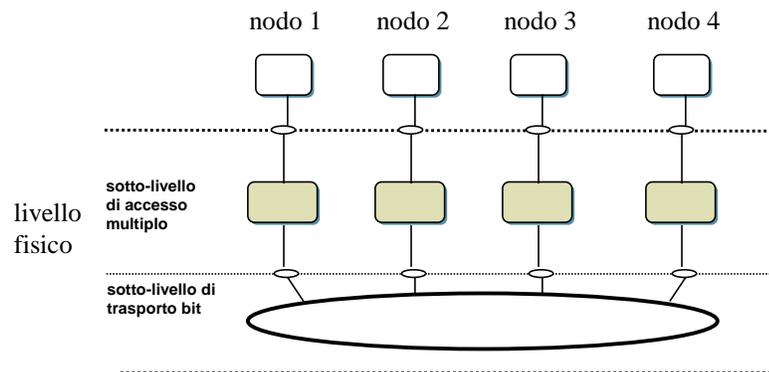
Accesso Multiplo

- E' l'analogo della multiplazione ma per canali broadcast
- le stazioni che accedono sono distanti e devono coordinarsi per accedere al canale broadcast



25

Accesso multiplo fisico



26

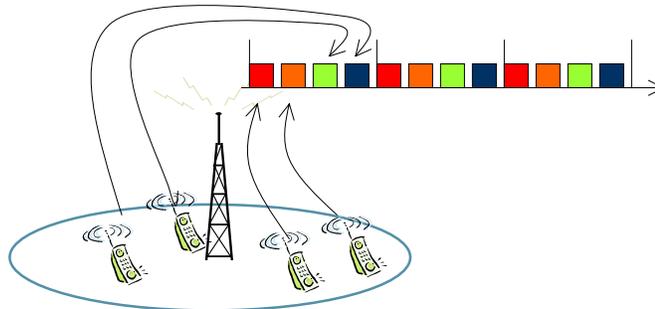
FDMA Frequency Division Multiple Access

- E' analogo a FDM
- la necessità del coordinamento delle stazioni non crea problemi nel caso di divisione di frequenza
- esempi:
 - trasmissioni radiofoniche e televisive
 - sistema cellulare TACS (Total Access Cellular System) utilizza una portante modulata FM con banda 25 kHz per ciascun canale

27

TDMA Time Division Multiple Access

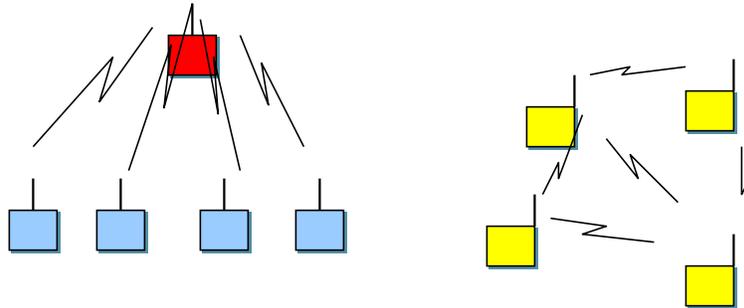
- è l'analogo del TDM
- è necessario un coordinamento per trovare una base temporale comune alle stazioni (sincronismo di trama)
- il sincronismo non può essere perfetto: tempi di guardia



28

Sincronismo di trama

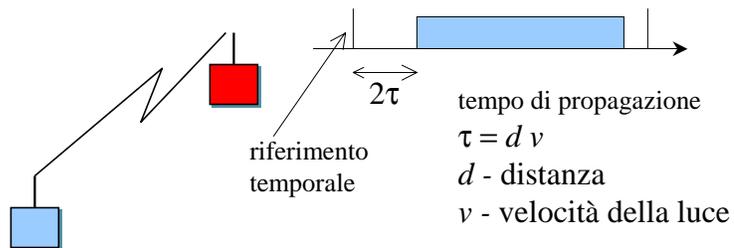
↪ canali broadcast centrali
↪ canali broadcast non-centrali



29

Canali broadcast centrali

- il punto centrale può essere di riferimento per il sincronismo
- le sue trasmissioni regolari possono sincronizzare le trasmissioni delle altre (ad es. una trasm. ogni trama, o ad intervalli multipli)

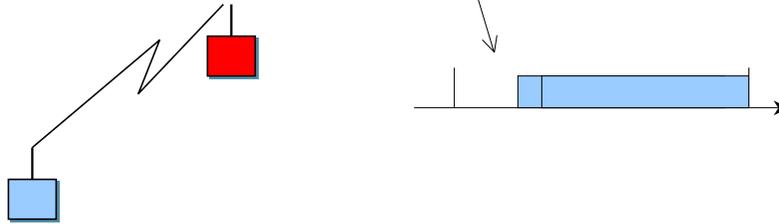


30

Canali broadcast centrali

- tempo di guardia:

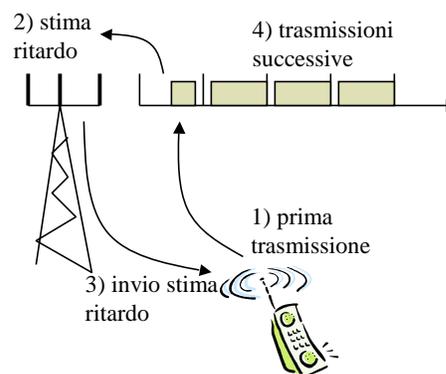
$$T_g = \max_i(2\tau_i)$$



31

Canali broadcast centrali

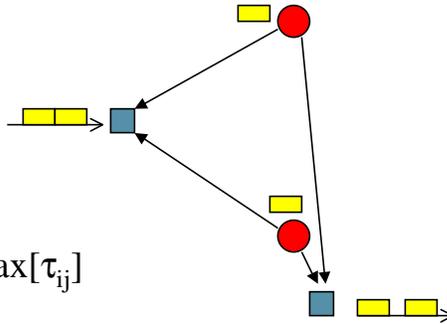
- **Timing Advance:**
 - noti i tempi di propagazione le stazioni possono compensarli con una trasmissione anticipata
 - necessità di stimare i τ (possono essere variabili)
 - errore di stima: tempi di guardia
 - tecnica usata in GSM



32

Canali broadcast non centrali

- non c'è il riferimento
- trasmissioni diverse possono combaciare in un punto ed essere distanti in un altro



- $T_g = 2 \max[\tau_{ij}]$

33

Efficienza

$$\eta = \frac{T_i}{T_i + T_g} = \frac{1}{1 + \frac{T_g}{T_i}} = \frac{1}{1 + T_g \frac{C}{n_i}}$$

- dipende dal rapporto T_g/T_i
- l'efficienza scende:
 - all'aumentare delle distanze (aumenta T_g)
 - all'aumentare della velocità del canale
 - al diminuire della durata dello slot

34

CDMA Code Division Multiple Access

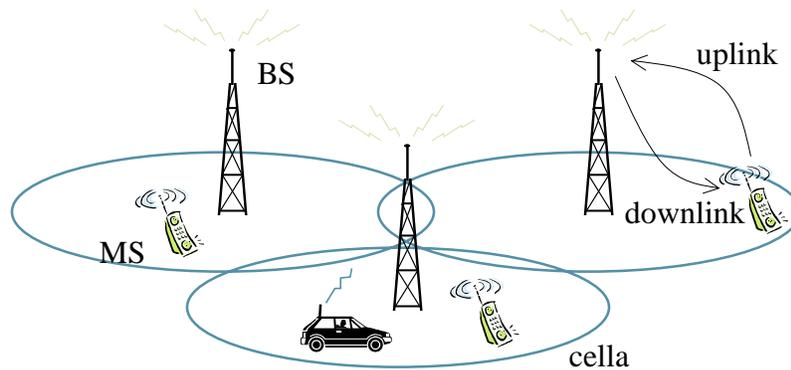
- non è possibile avere trasmissioni sincrone e quindi non si riesce a conservare l'ortogonalità dei codici
- si usano codici a bassa correlazione per qualunque sfasamento temporale
- usato nel sistema UMTS (telefonini di 3a generazione)

$$\int_0^T C_1(t) \cdot C_2(t) \neq 0$$

$$\int_0^T C_1(t) \cdot C_2(t+\Delta)$$

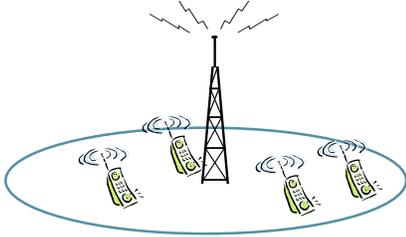
35

Sistemi radiomobili



36

Accesso radio



- Il problema dell'accesso radio è relativo al modo con il quale gli utenti della stessa cella condividono le risorse radio

- **downlink:**

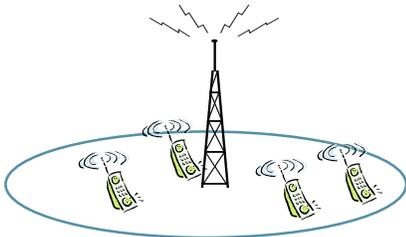
- **multiplazione dei canali verso gli utenti**

- **uplink:**

- **accesso multiplo delle stazioni mobili**

37

Accesso radio



- **Sistemi di prima generazione:**
TACS (Europa)
AMPS (Stati Uniti)

- **FDM/FDMA**
(downlink/uplink)

- **Sistemi di seconda gen.:**

- **GSM (Europa)**
- **D-AMPS (Stati Uniti)**
- **multi-carrier TDM/TDMA**

- **Sistemi di terza gen.:**
UMTS (Europa e ???)

- **CDM/CDMA**

38

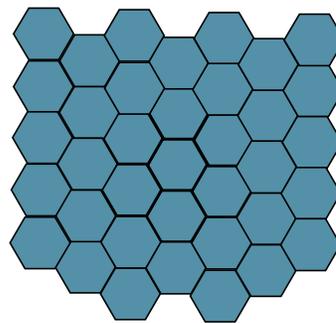
Riuso di frequenza

- I canali disponibili non bastano per tutti gli utenti
- soluzione: usare più volte gli stessi canali in celle diverse
- il riuso degli stessi canali genera *interferenza co-canale*
- il riuso è possibile in celle sufficientemente distanti da far sì che l'interferenza sia tollerabile (buona qualità del collegamento)

39

Riuso di frequenza

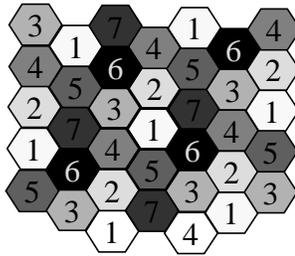
- l'interferenza è la caratteristica fondamentale dei sistemi cellulari
- Di solito si assume che la qualità sia buona se il rapporto tra potenza del segnale e potenza dell'interferenza SIR (Signal-to-Noise Ratio) sia maggiore di una soglia SIR_{\min}



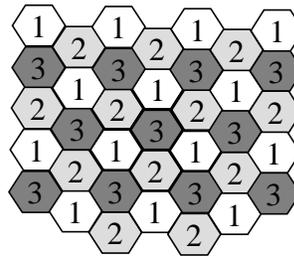
40

Cluster

- L'insieme delle portanti disponibili viene diviso in K gruppi
- ad ogni cella viene assegnato un gruppo in modo tale da massimizzare la distanza tra celle che usano lo stesso gruppo
- efficienza di riuso = $1/K$
- $K=1,3,4,7,9,12,13, \dots$



$K = 7$



$K = 3$

41

Cluster

- dato il valore di SIR_{\min} è possibile stimare l'efficienza massima del sistema, ovvero il K minimo
- potenza ricevuta:

$$P_r = P_t \cdot G \cdot d^{-\eta}$$

42

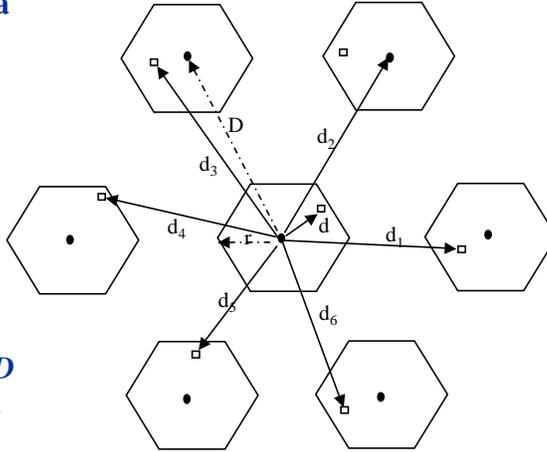
Cluster

- stesse antenne e stessa potenza

$$SIR = \frac{P_t \cdot G \cdot d^{-\eta}}{\sum_{i=1}^6 P_t \cdot G \cdot d_i^{-\eta}} = \frac{d^{-\eta}}{\sum_{i=1}^6 d_i^{-\eta}}$$

- caso peggiore $d = r$
- approssimazione $d_i = D$

$$SIR \cong \frac{r^{-\eta}}{6D^{-\eta}} = \frac{1}{6} \left(\frac{1}{R} \right)^{-\eta}$$



43

Cluster

- Il SIR dipende solo dal rapporto di riuso $R=D/r$ e non dalla potenza assoluta trasmessa e dal raggio della cella
- fissato SIR_{\min} si può calcolare R_{\min}
- noto R_{\min} si può ottenere K osservando che:

$$K = \frac{R^2}{3}$$

- quindi:

$$K_{\min} = \frac{(6SIR)^{2/\eta}}{3}$$

44

Esercizio

- Si dimensioni il cluster di un sistema che tollera $SIR_{\min} = 18$ dB nel caso i cui l'esponente di attenuazione della distanza η sia pari a 3.9

$$K_{\min} = \frac{(6 SIR)^{2/\eta}}{3} = \frac{(6 \cdot 63.1)^{2/3.9}}{3} = 6.99$$

45

Ripasso

- dB
 - scala logaritmica
 - potenze

$$P_{dB} = 10 \log_{10} P$$

$$P = 10^{P_{dB}/10}$$

46

Ripasso

- al prodotto in scala lineare corrisponde la somma in dB
- al rapporto la differenza

$$G \cdot P \rightarrow A_{dB} + P_{dB}$$

$$P / A \rightarrow P_{dB} - A_{dB}$$

47

Ripasso

- valori notevoli

$$2 \rightarrow 3dB$$

$$3 \rightarrow 4.77dB$$

$$4 = 2 \cdot 2 \rightarrow 3 + 3 = dB$$

$$5 \rightarrow 7dB$$

$$6 \rightarrow 7.77dB$$

$$8 \rightarrow 9dB$$

$$9 \rightarrow 9.54dB$$

$$10 \rightarrow 10dB$$

$$100 \rightarrow 20dB$$

$$1000 \rightarrow 30dB$$

48