

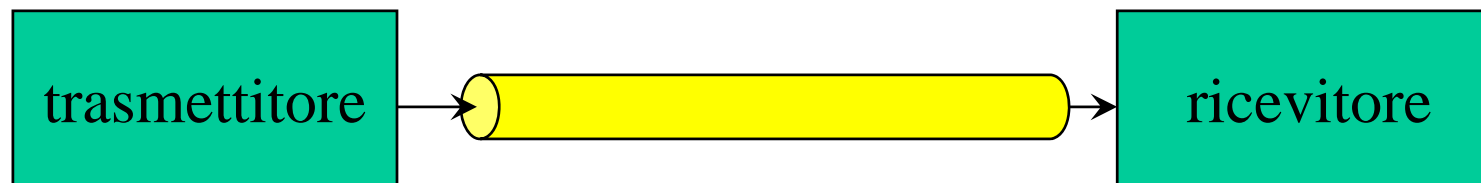


# Canali e Multiplazione



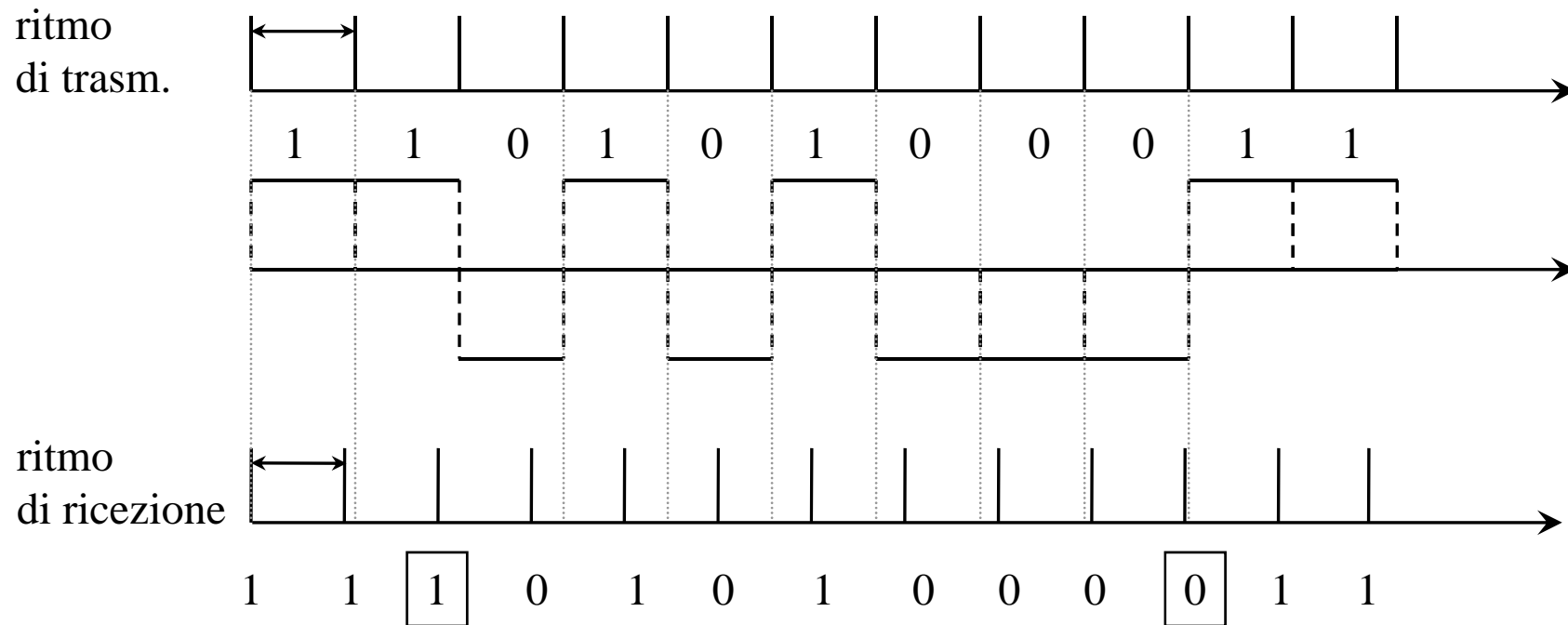
## Canali punto-punto

- ❑ 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)



## Cenno sul sincronismo

□ se gli orologi non sono allineati:



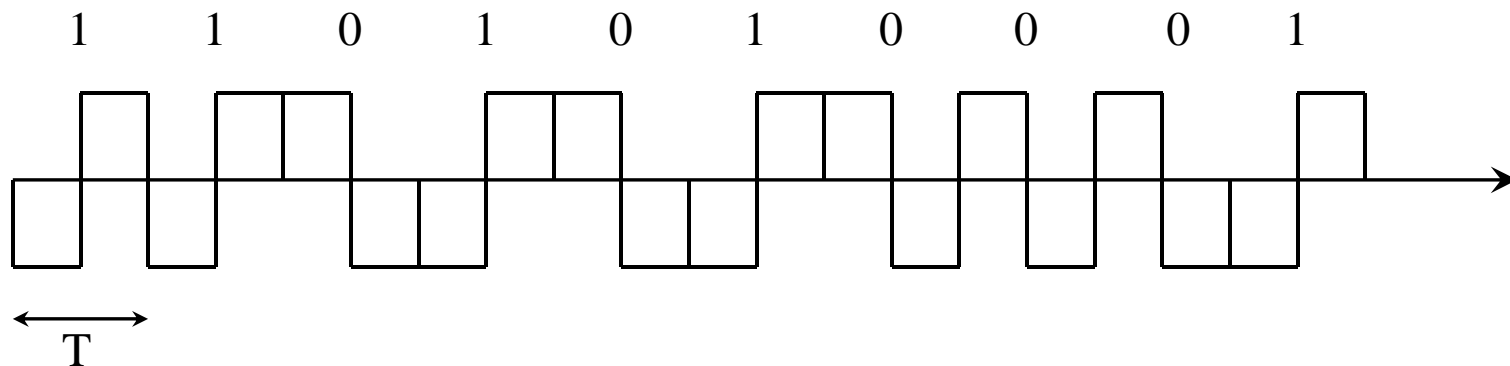


Culture

## Metodi per garantire il sincronismo

### □ sincronismo continuo:

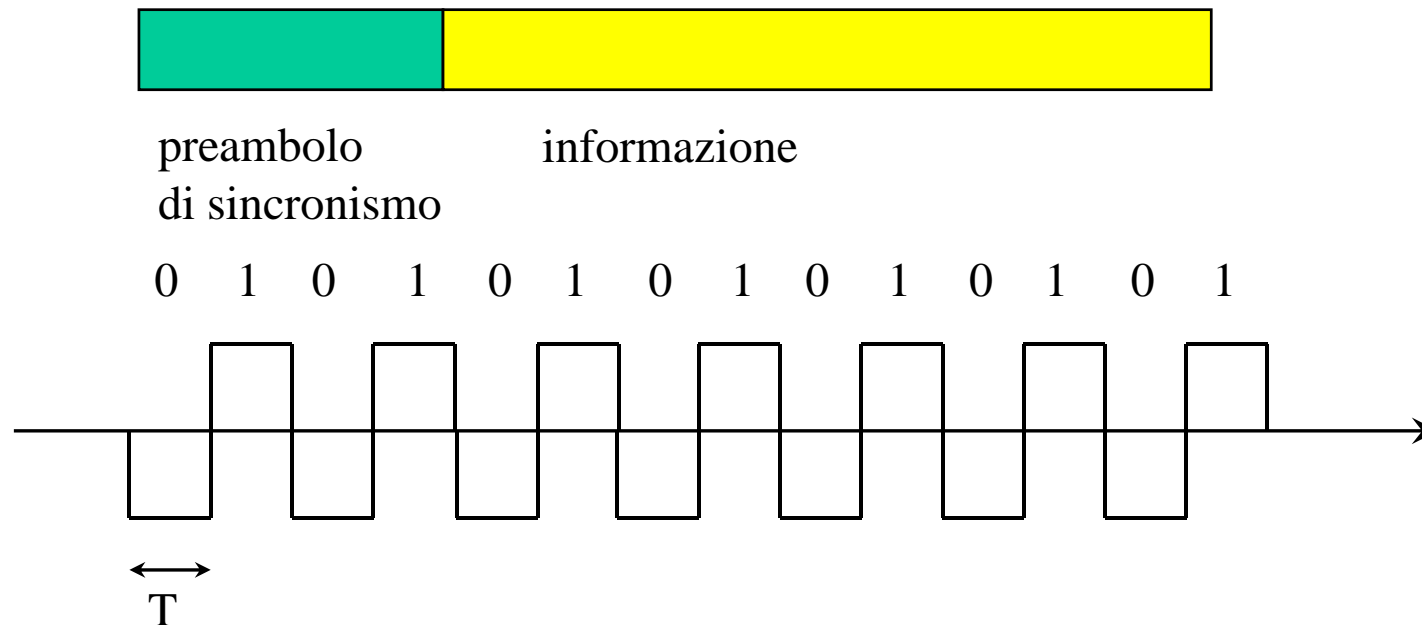
- grazie a della ridondanza della codifica è possibile derivare direttamente l'informazione di sincronismo:





## Sincronismo mediante preambolo

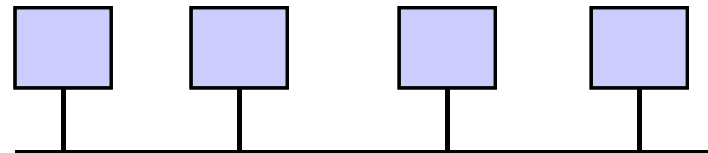
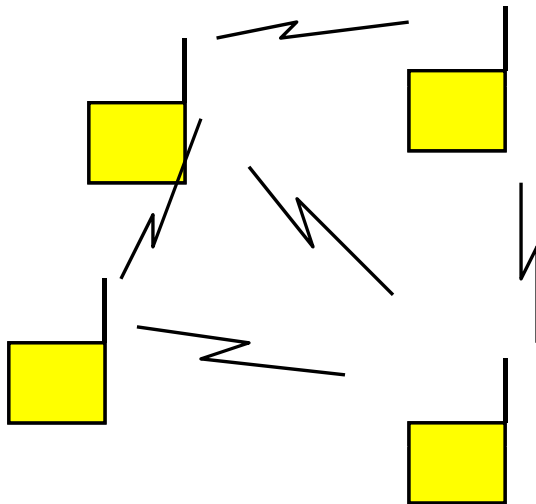
- prima della trasmissione vera e propria si trasmette un preambolo di sincronismo che consente al ricevitore di agganciarsi





## Canali broadcast

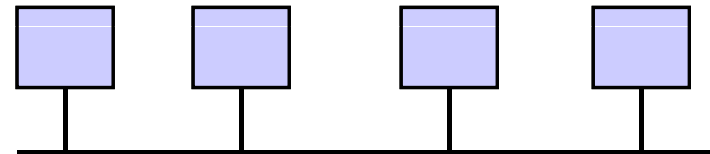
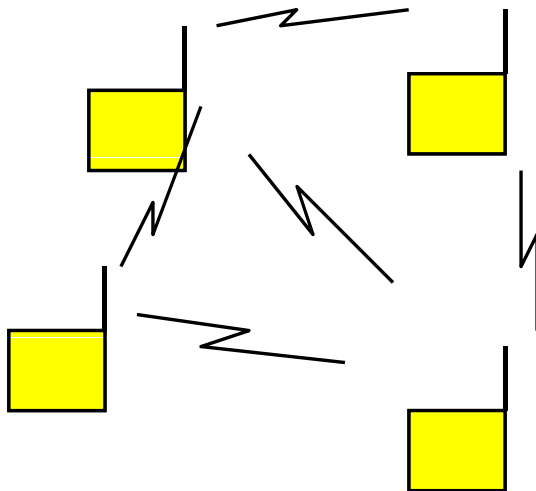
- sono canali nei quali più stazioni possono accedere in parallelo
- il segnale emesso da una stazione raggiunge tutte le altre





## 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





## La moltiplicazione

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

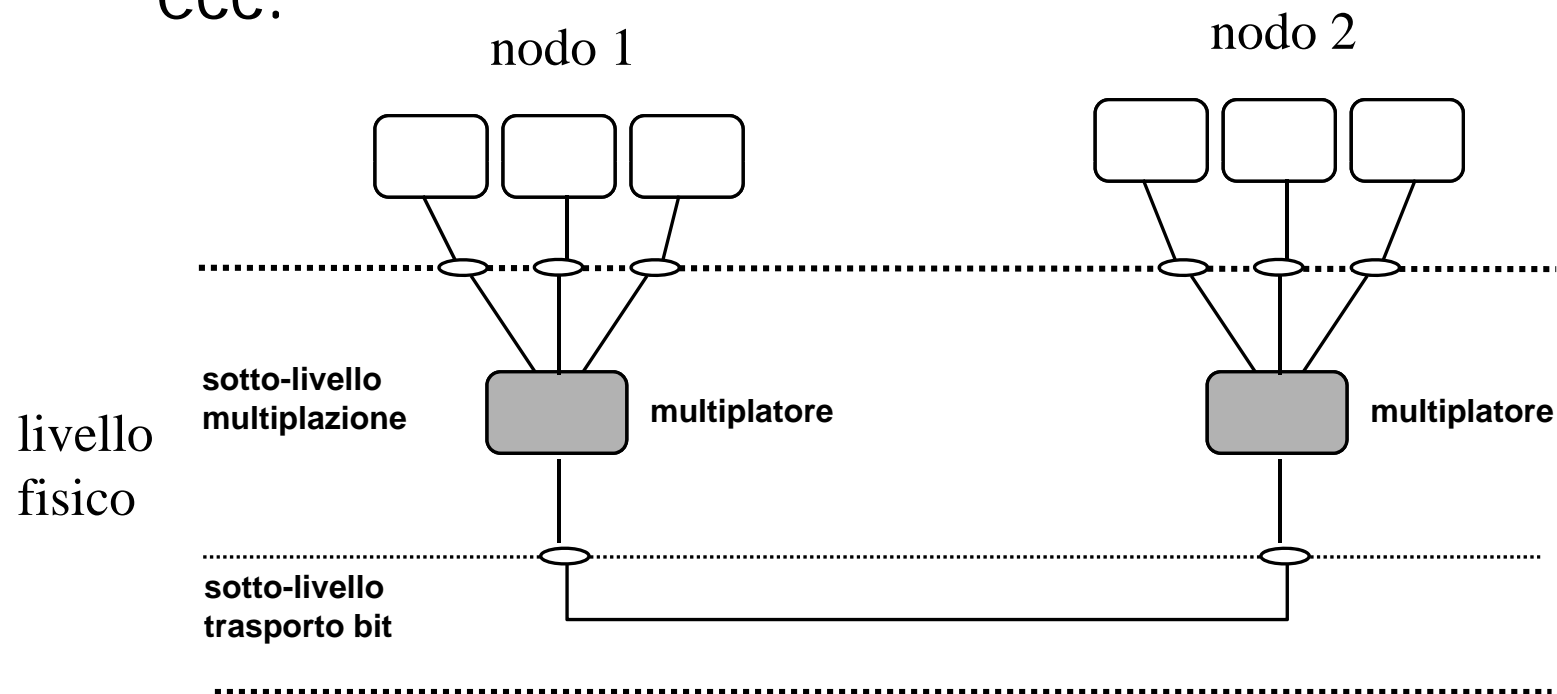






## La moltiplicazione fisica

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



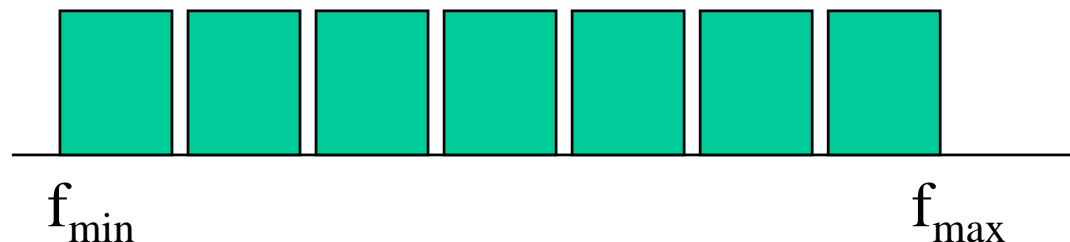


## Multiplazione a divisione di frequenza FDM (Frequency Division Multiplexing)

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



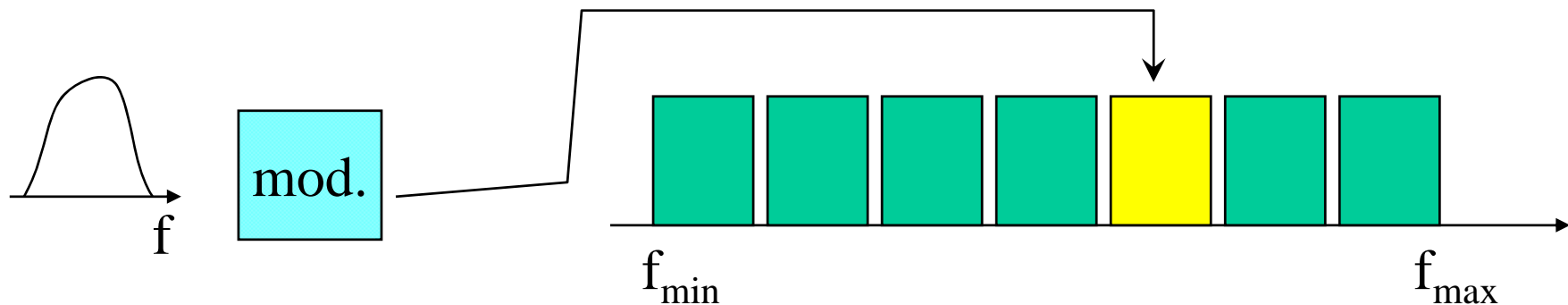
- la banda complessiva può essere divisa in sotto-bande cui associare un canale



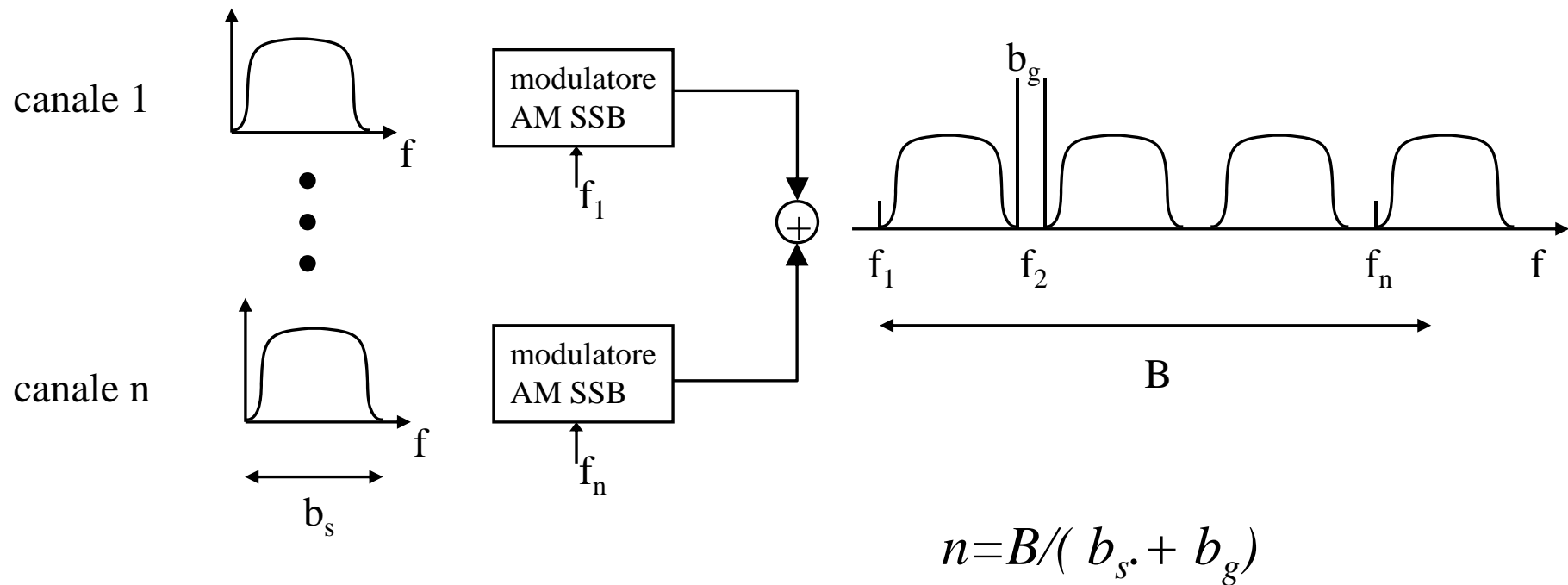


## Multiplazione a divisione di frequenza FDM (Frequency Division Multiplexing)

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



## Multiplazione a divisione di frequenza FDM (Frequency Division Multiplexing)





## FDM telefonico

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

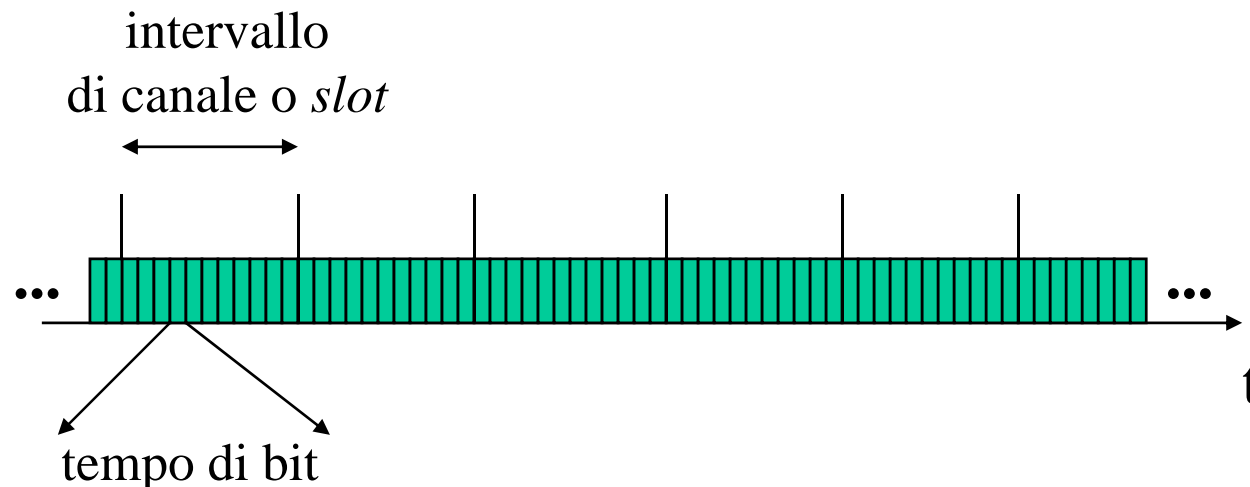


multiplazione di 12 canali da 4 kHz su una banda di 48 kHz  
multiplazione successiva del segnale multiplo di 48 kHz con altri  
segnali multipli (multiplazione a livelli gerarchici)



# Multiplazione a divisione di tempo TDM (Time Division Multiplexing)

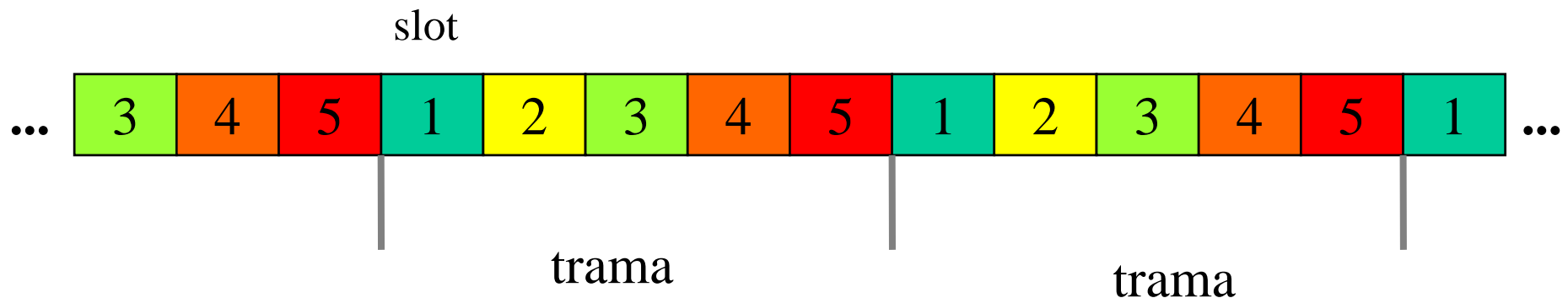
- ❑ E' una tecnica usata per segnali digitali (...)
- ❑ Dato un canale numerico a velocità  $C$  (bit/s) si costruiscono intervalli di tempo di canale costituiti da multipli del tempo di bit  $t_b = 1/C$





## TDM (Time Division Multiplexing)

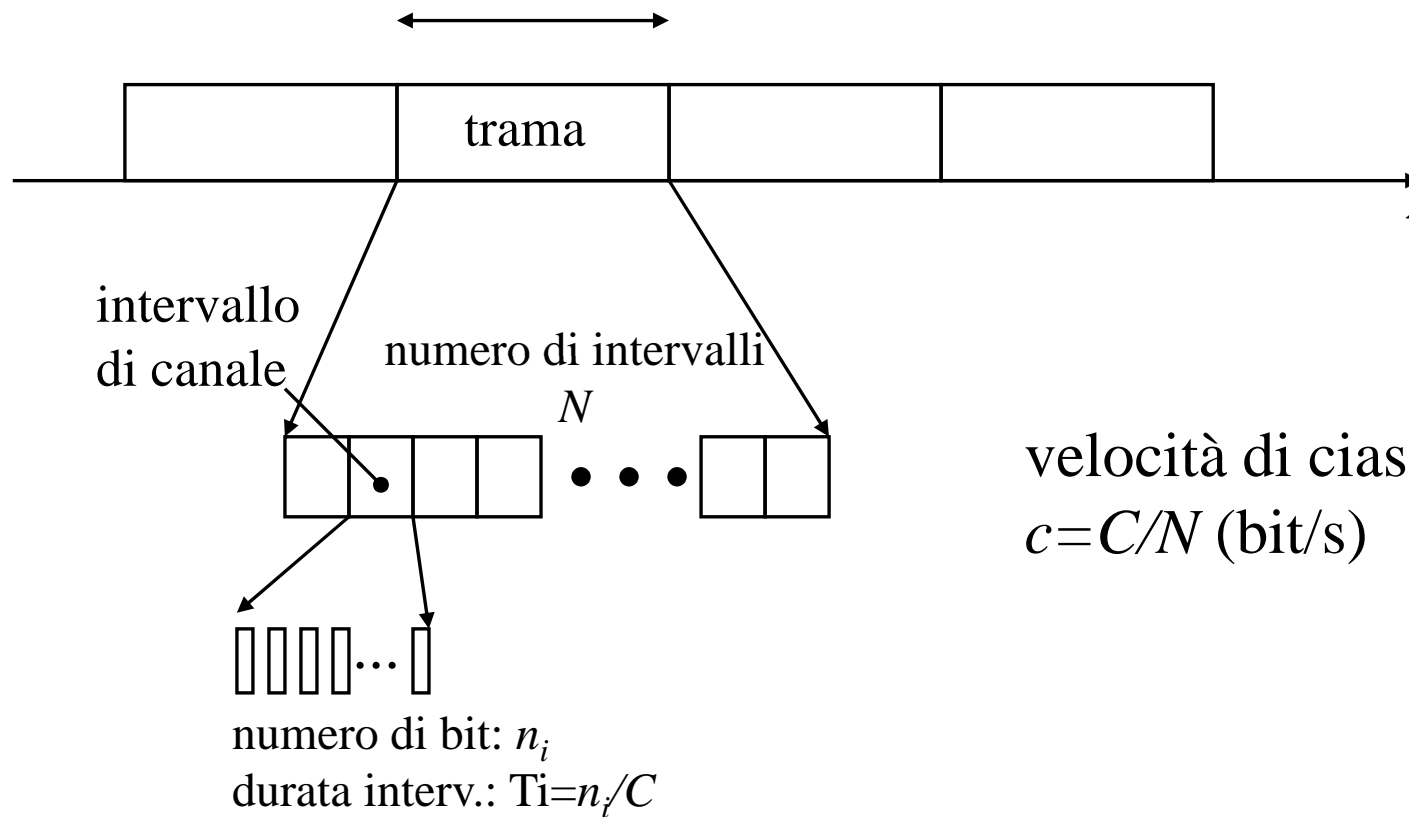
- ❑ Un canale può usare un intervallo di canale (*slot*) ogni  $N$
- ❑ si definisce una struttura a *trama* consecutive costituite da  $N$  slot consecutivi
- ❑ se si numerano ciclicamente gli slot delle trame, un canale è associato a un numero di slot



# TDM (Time Division Multiplexing)

durata di trama

$$T = N n_i / C$$



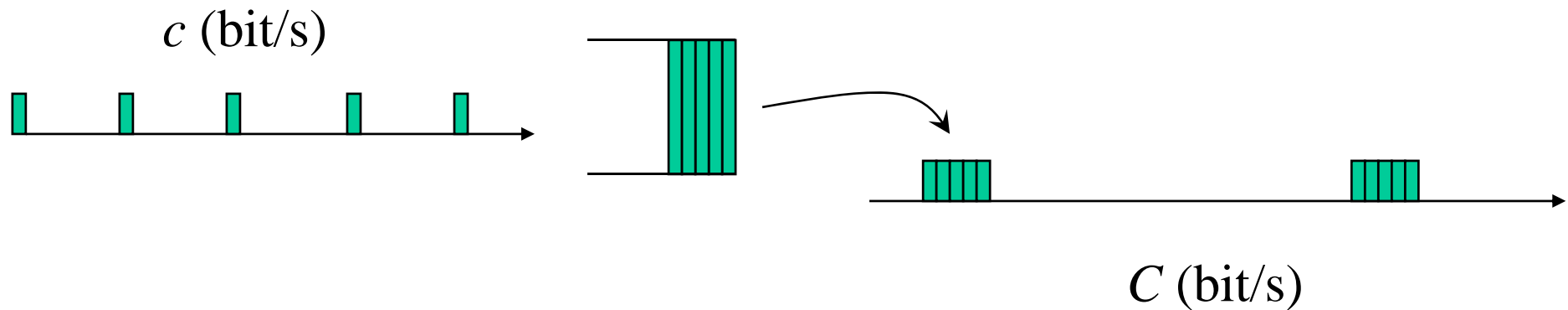
velocità di ciascun canale  
 $c = C / N$  (bit/s)





## TDM (Time Division Multiplexing)

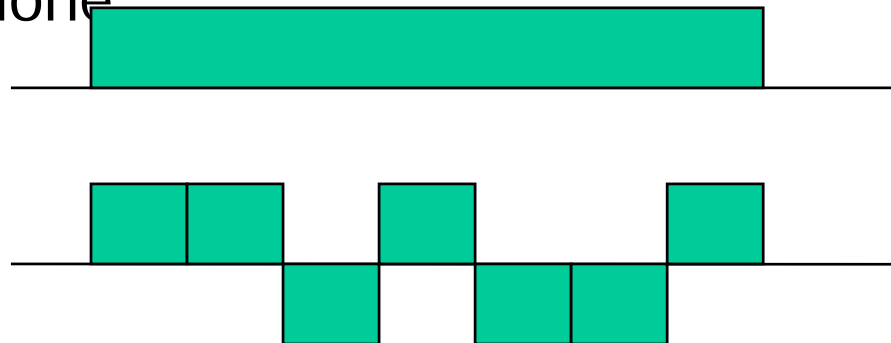
- ❑ Scelta della durata di slot:
  - $n_i$  numero di bit per slot
  - $T_i$  durata di uno slot ( $T_i = n_i / C$ )
- ❑ la velocità del canale  $c$  non dipende da  $T_i$  ma solo da  $N$  ( $c = C / N$ )
- ❑ tempo di adattamento:  $T_a = n_i / c$





## Multiplazione 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

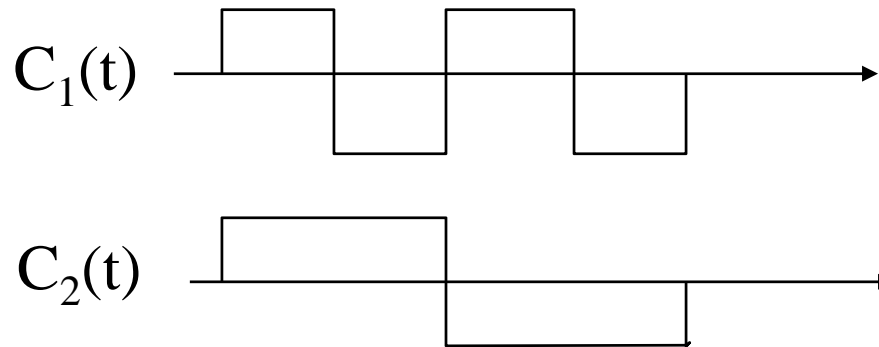




## Codici ortogonali

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

□ sequenze ortogonali:



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

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



## 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

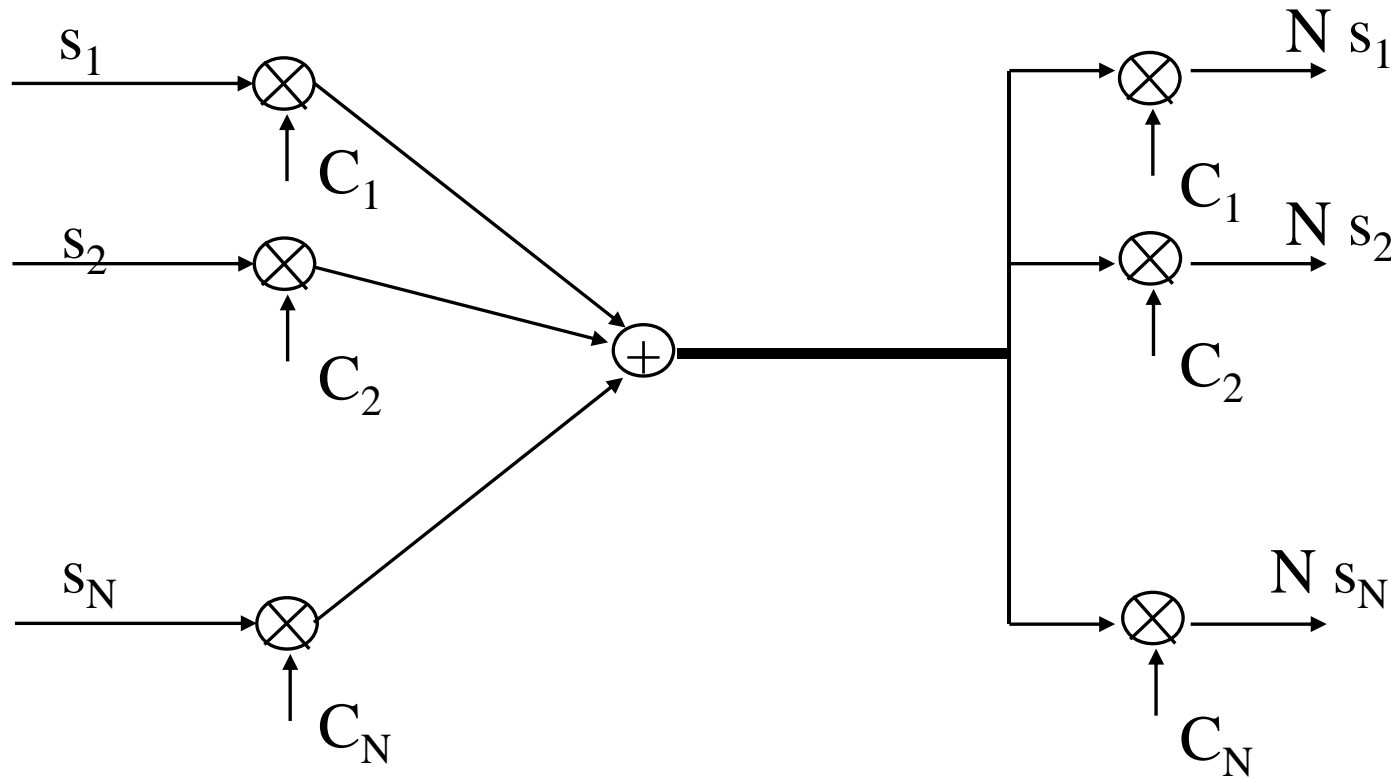
$$C_0 = \{1, 1, 1, 1\}$$

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

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

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

# CDM (Code Division Multiplexing)



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



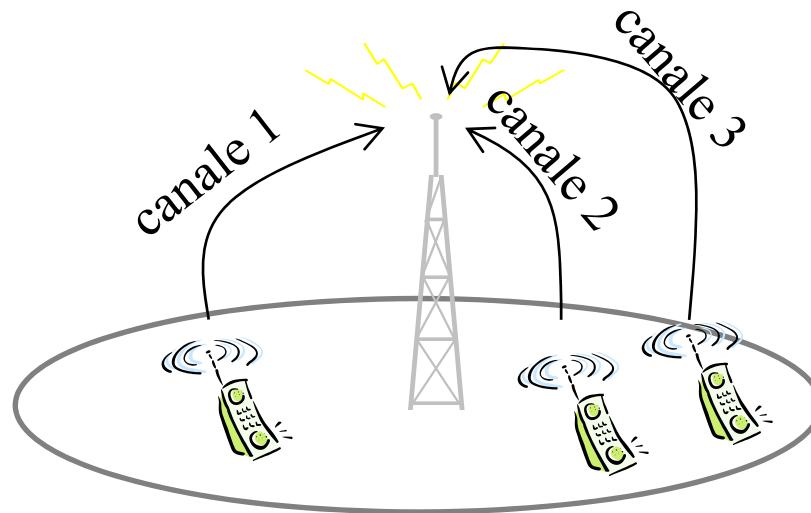
## Multiplazione a divisione di lunghezza d'onda WDM (Wavelength Division Multiplexing)

- ❑ 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



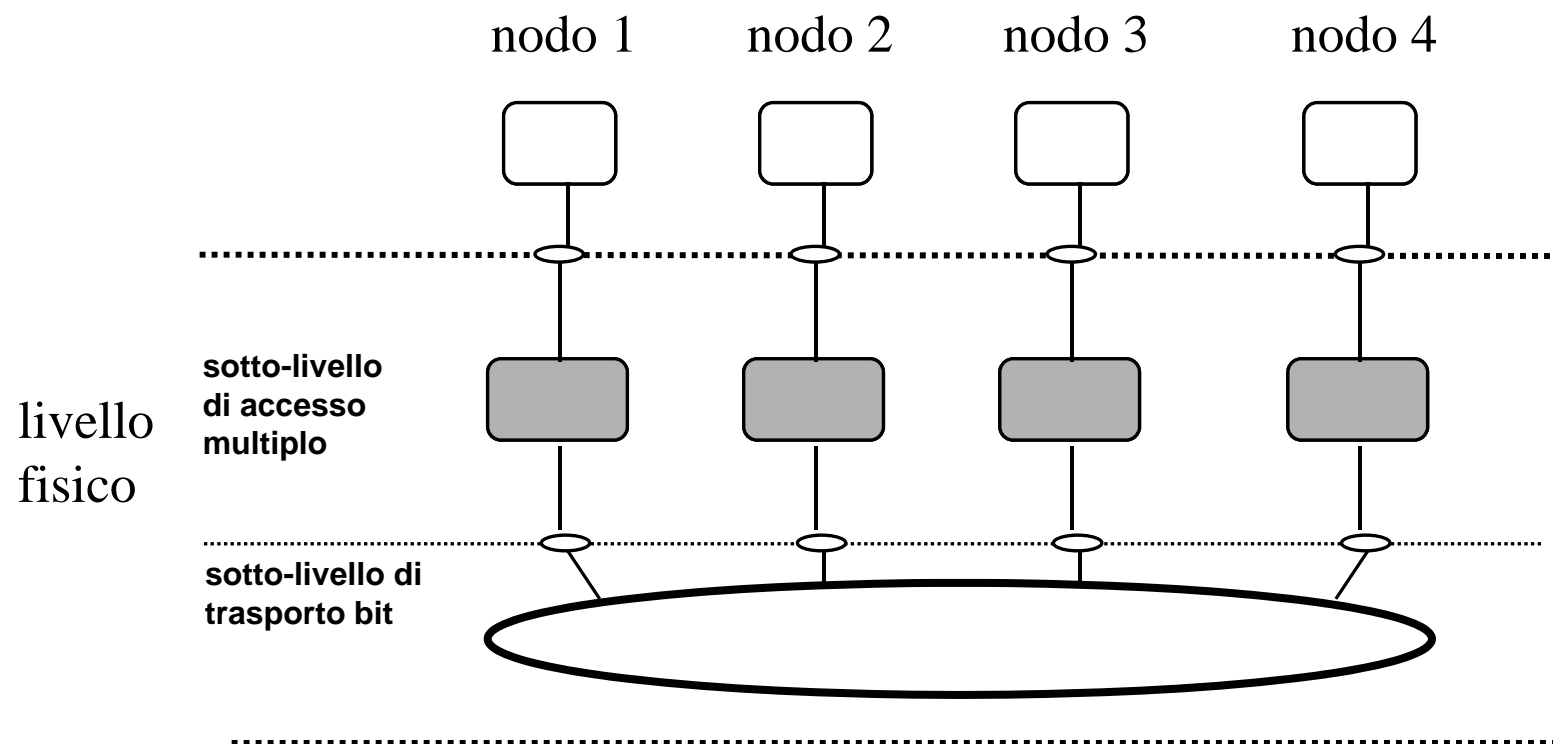
## Accesso Multiplo

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





# Accesso multiplo fisico







## FDMA

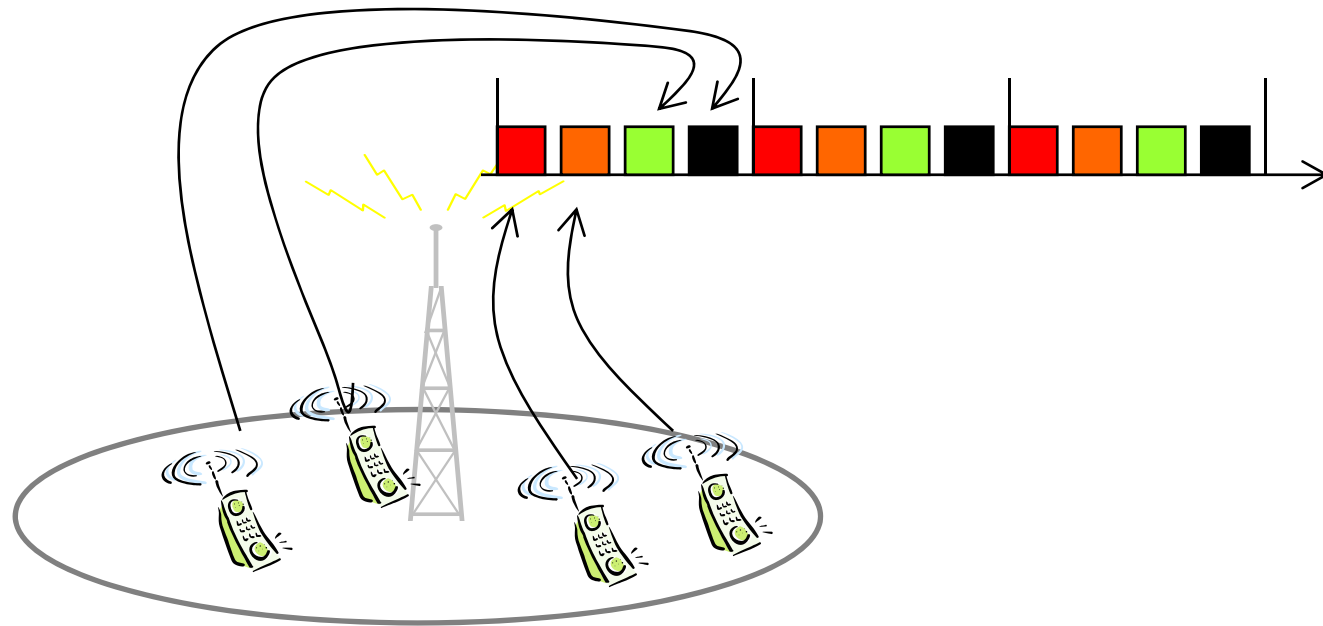
### Frequency Division Multiple Access

- ❑ 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

# TDMA

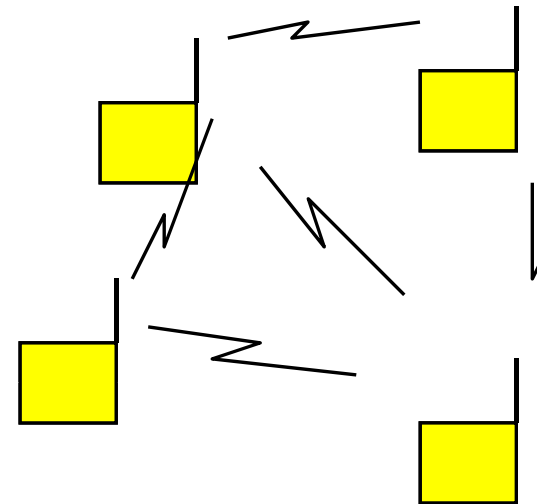
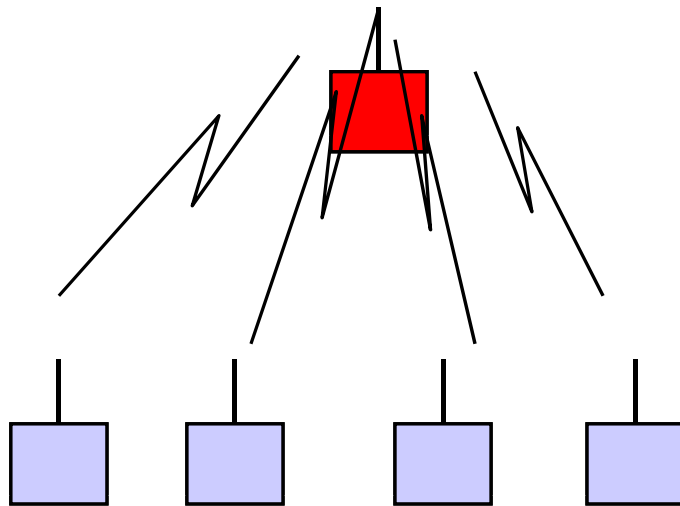
## Time Division Multiple Access

- ❑ 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



## Sincronismo di trama

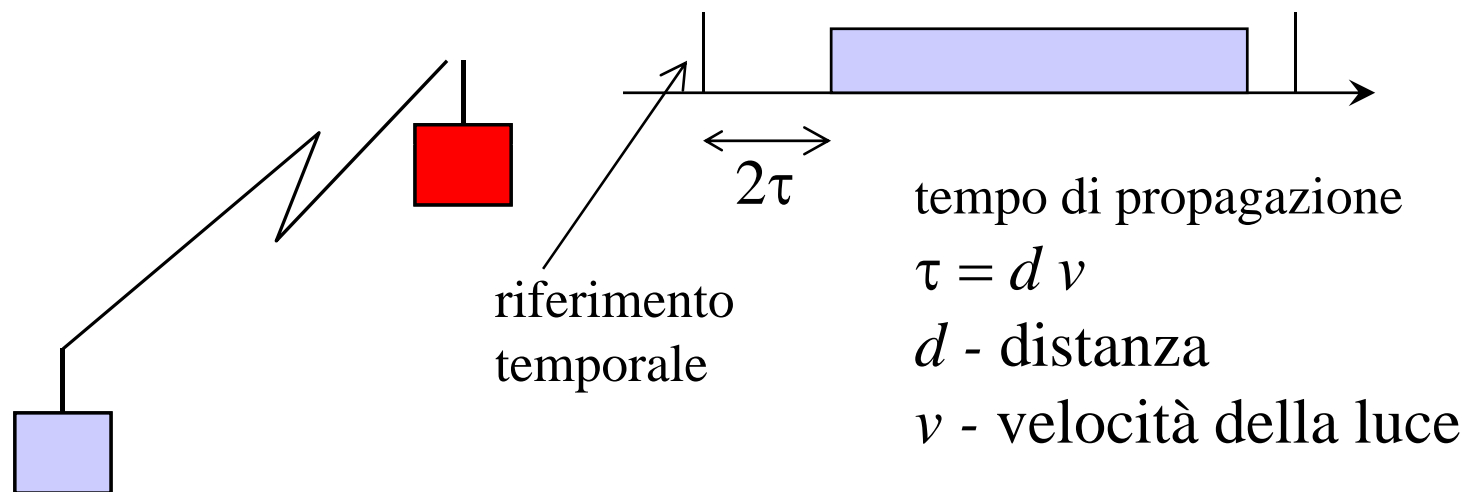
canali broadcast centrali  
canali broadcast non-centrali





## 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)

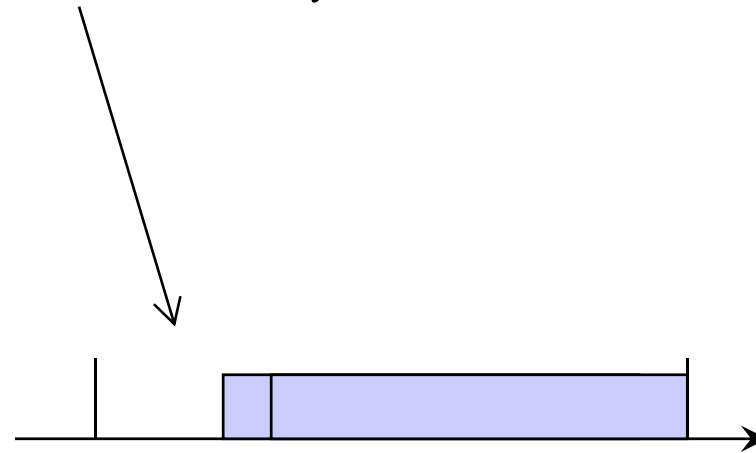
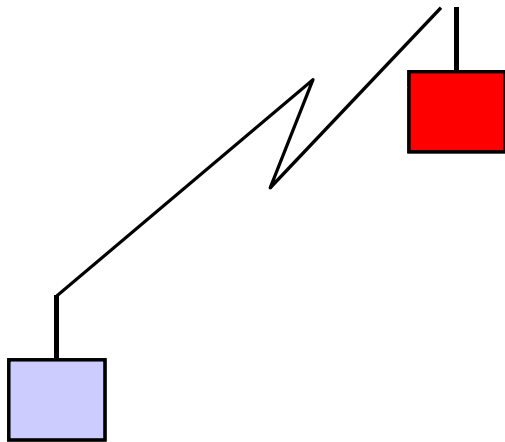




## Canali broadcast centrali

□ tempo di guardia:

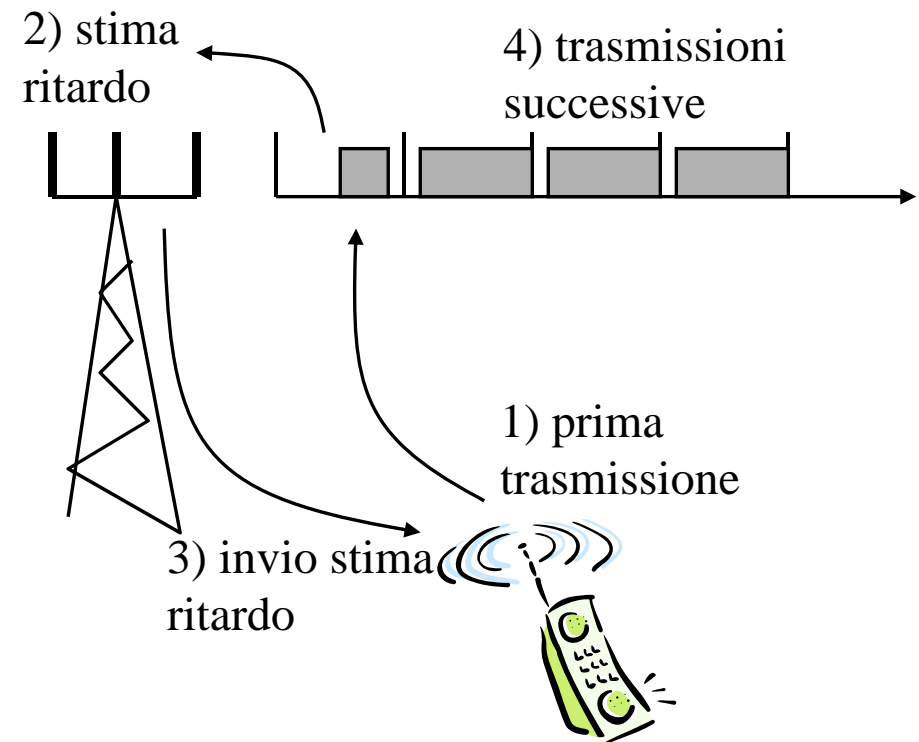
$$T_g = \max_i (2\tau_i)$$



# Canali broadcast centrali

## □ Timing Advance:

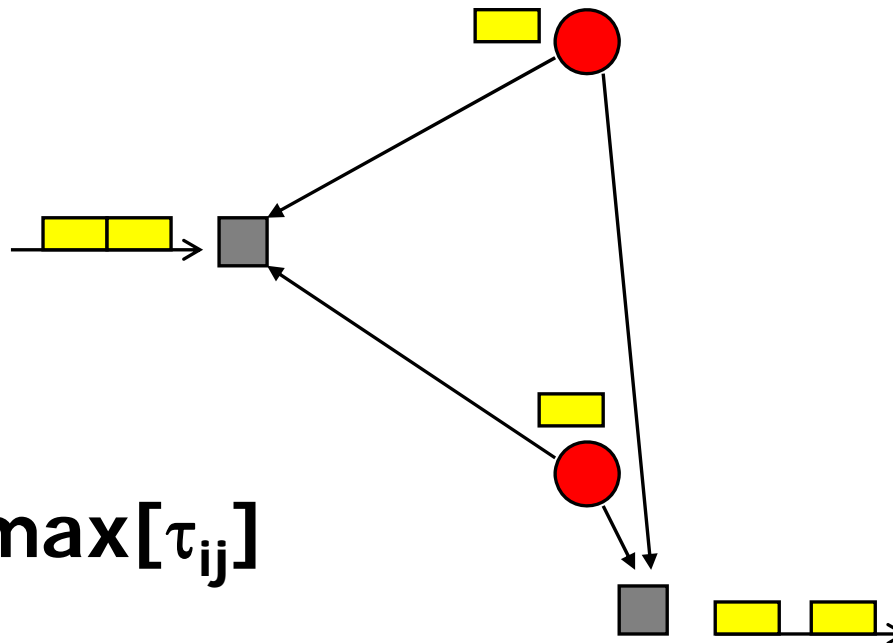
- noti i tempi di propagazione le stazioni possono compensarli con una trasmissione anticipata
- necessità di stimare  $\tau$  (possono essere variabili)
- errore di stima: tempi di guardia
- tecnica usata in GSM





## Canali broadcast non centrali

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



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



## 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





## CDMA

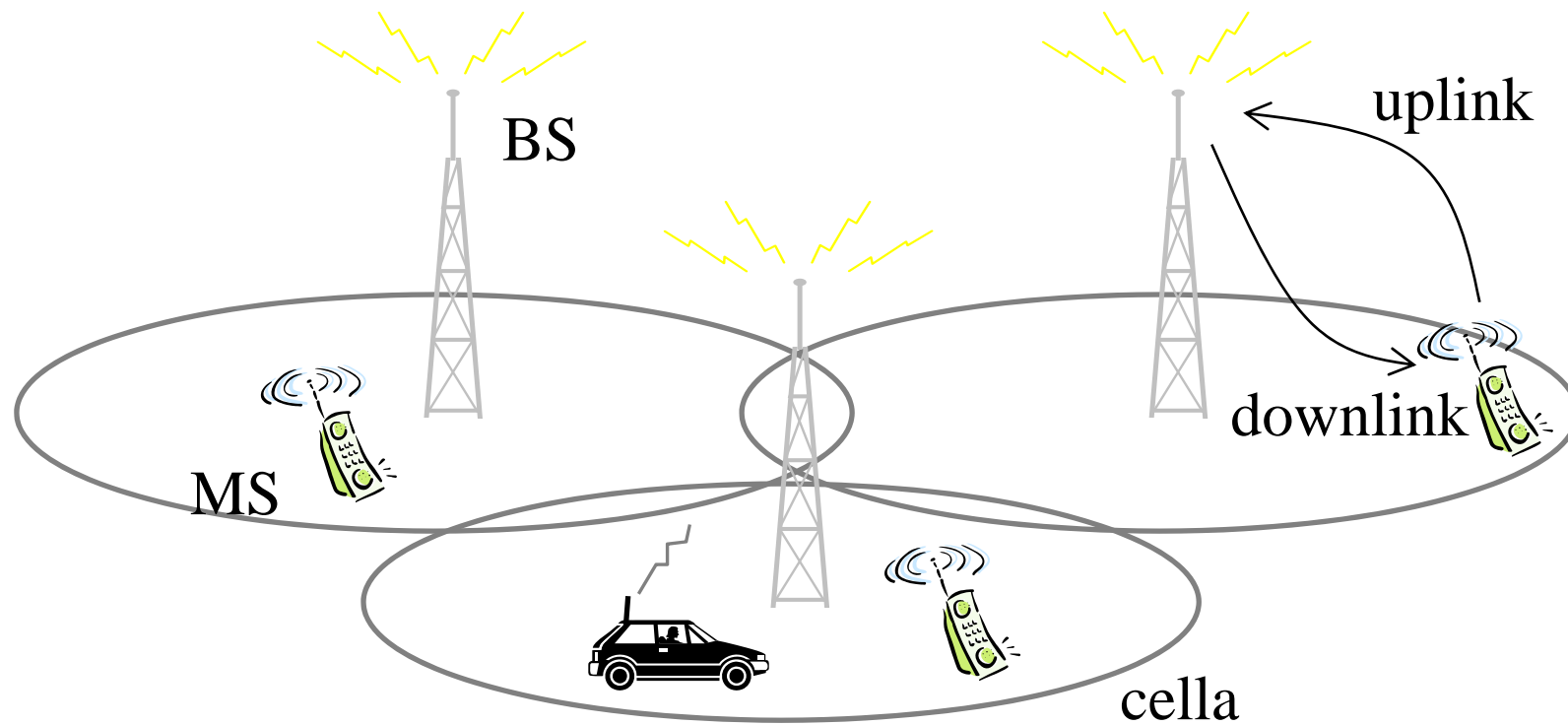
## Code Division Multiple Access

- ❑ 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)

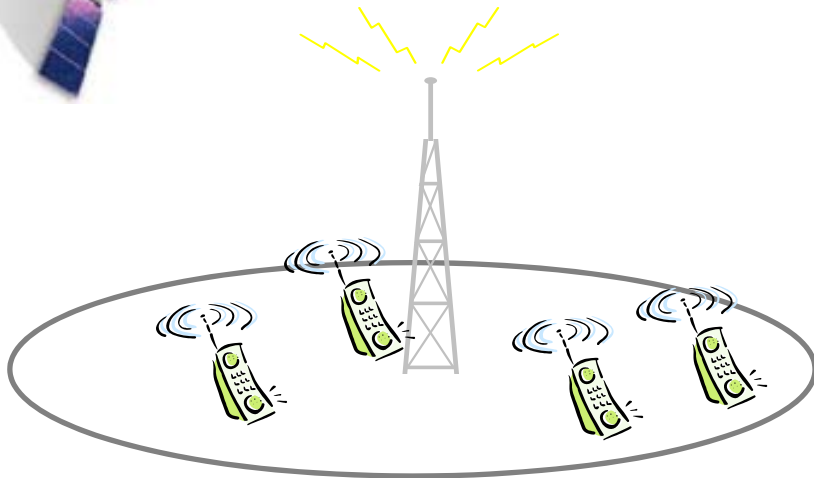
$$\int_0^T C_1(t) \cdot C_2(t) \neq 0$$

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

# Sistemi radiomobili



## 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

## 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



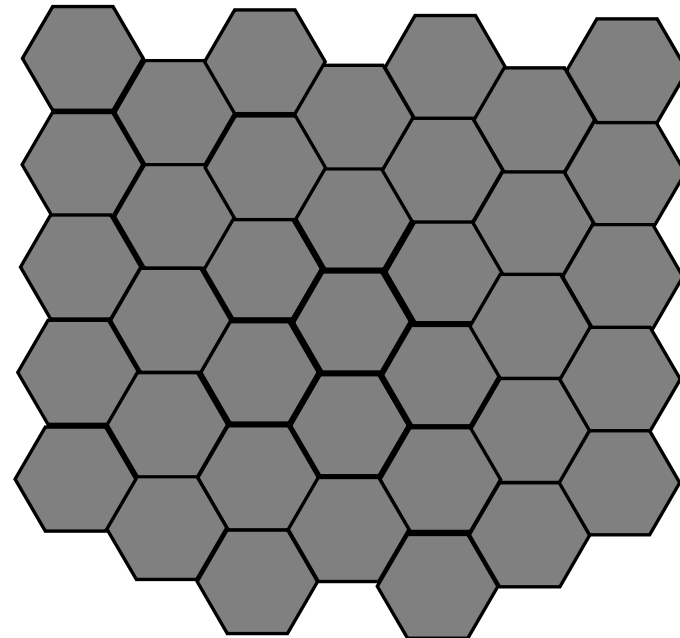
## Riuso di frequenza

- ❑ 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)



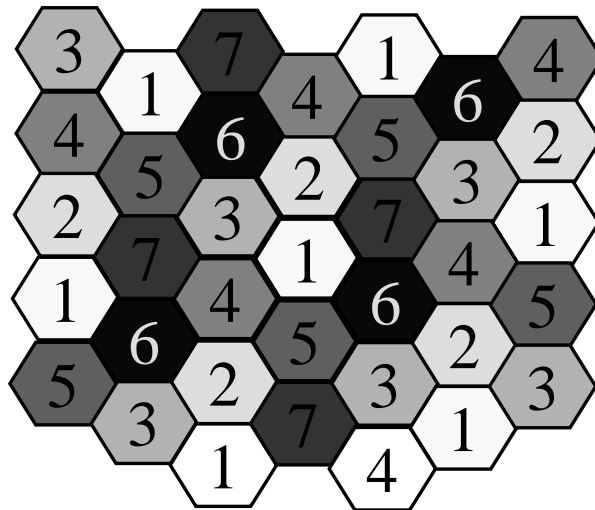
## Riuso di frequenza

- ❑ 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  $SIR_{\min}$

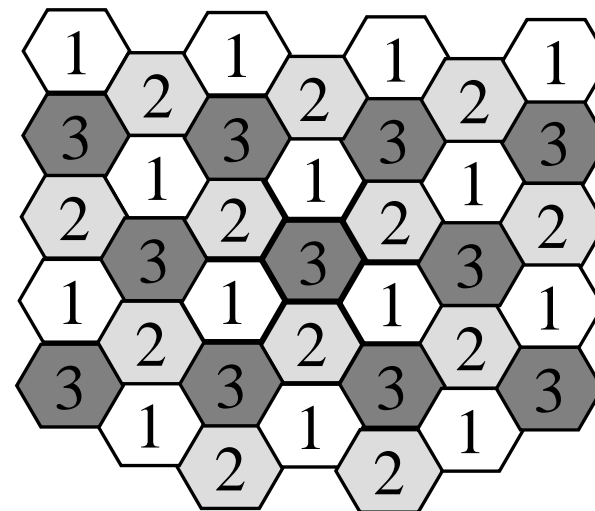


# Cluster

- ❑ 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 =  $1/K$
- ❑  $K=1,3,4,7,9,12,13, \dots$



$K = 7$



$K = 3$

## Cluster

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

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



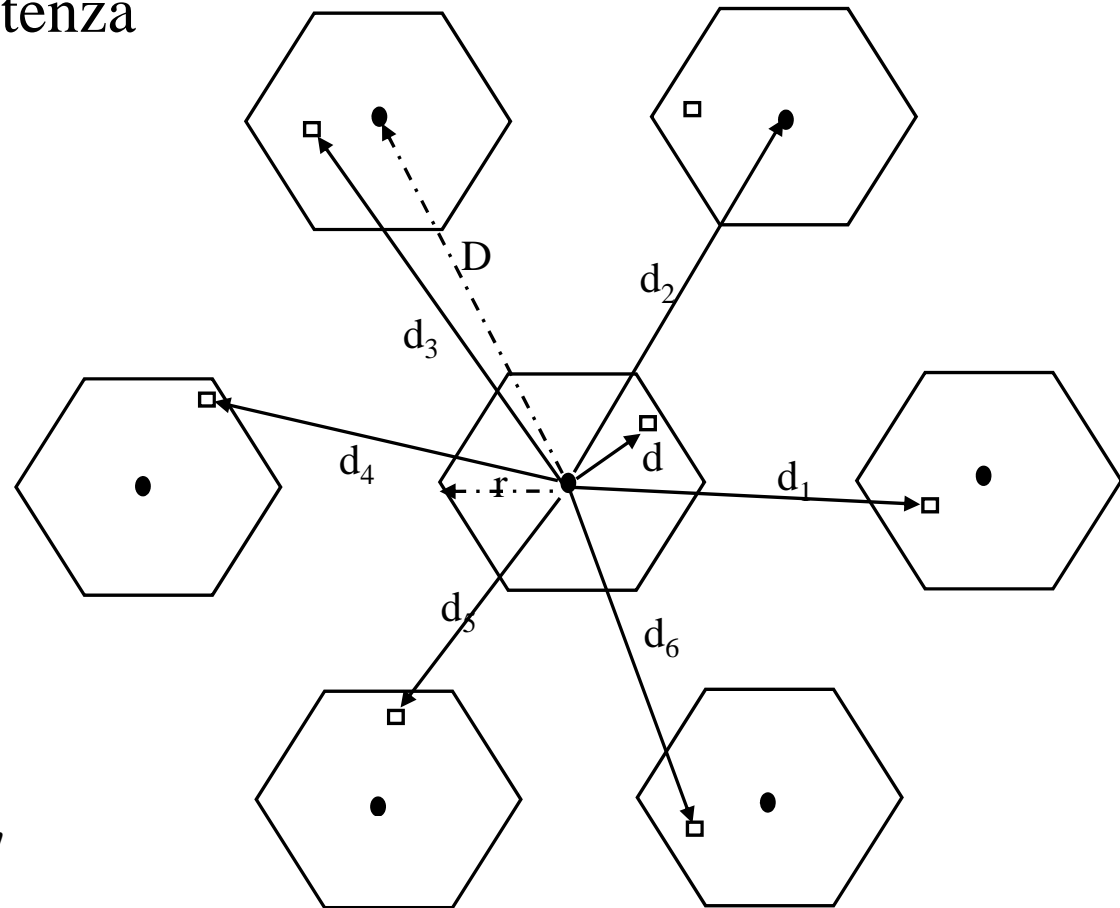
# Cluster

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  $d_i = D$

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





## 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:
- ❑ quindi:

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

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