

# ***Reti di Telecomunicazioni 1***

***Corso "on-line" - AA2005/06  
Blocco 2 (v2)***

***Ing. Stefano Salsano  
e-mail: stefano.salsano@uniroma2.it***

1

- **Richiami sul concetto di multiplazione**

2

Riprendendo il discorso sulle diverse topologie di rete, confrontiamo il caso di rete completamente connessa (detta anche “a maglia completa”) con il caso di rete ad albero, rappresentati nella slide successiva. Nel primo caso ogni nodo parla direttamente con un altro nodo su un canale dedicato appunto alla comunicazione tra questi nodi. Questa soluzione è evidentemente impraticabile al crescere del numero dei nodi, dato che il numero dei collegamenti cresce in modo quadratico: per  $N$  nodi servono  $N(N-1)/2$  collegamenti. La soluzione di utilizzare topologie non completamente magliate (di cui la topologia ad albero è un esempio) riduce il numero dei canali, ma comporta la necessità di condividere un canale tra più coppie di nodi che devono comunicare. Ad esempio il canale tra il nodo 5 e il nodo 3 nella topologia ad albero è potenzialmente interessato dalle comunicazioni tra il nodo 5 e tutti gli altri nodi. Nella slide si vedono ad esempio due comunicazioni, rispettivamente tra i nodi 5 e 2 e tra i nodi 5 e 4. Nella topologia completamente connessa ogni comunicazione viaggia su un canale separato, in quella ad albero le comunicazioni condividono il canale tra il nodo 5 e il nodo 3.

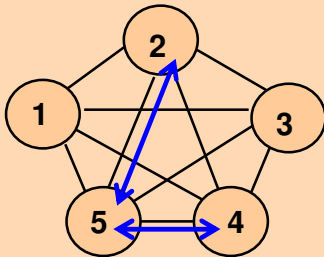
Se le comunicazioni avvengono contemporaneamente, si pone la necessità di combinare i flussi informativi per trasmetterli sul canale e di estrarre poi dal canale alla destinazione i singoli flussi.

Questa operazione di combinazione di più flussi, detti “tributari” in un unico flusso detto “aggregato” su un canale si chiama *multiplazione*.

L’operazione inversa, che consente di separare dal flusso aggregato i flussi tributari si chiama *de-multiplazione*.

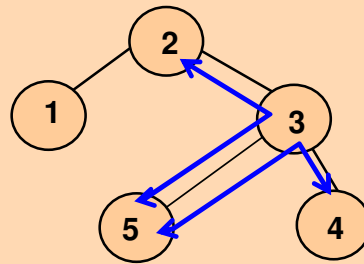
## Esempi di topologie di rete / moltiplicazione

**Topologia a maglia completamente connessa**



- Vantaggi:**  
tolleranza ai guasti  
(molti percorsi tra due nodi)
- Svantaggi:**  
elevato numero di canali

**Topologia ad albero**



- Svantaggi:**  
vulnerabilità ai guasti (solo un percorso tra due nodi)
- Vantaggi:**  
basso numero di canali

5

## Moltiplicazione

- **Obiettivo:** far condividere uno stesso sistema trasmissivo a più flussi informativi di utente (es. segnali telefonici), mantenendone la separabilità (ortogonalità dei segnali)
- **Tecniche di moltiplicazione**
  - » (Tecnica a divisione di spazio)
  - » Tecnica a divisione di frequenza (FDM)
  - » Tecnica a divisione di codice (CDM)
  - » Tecnica a divisione di tempo (TDM)

6

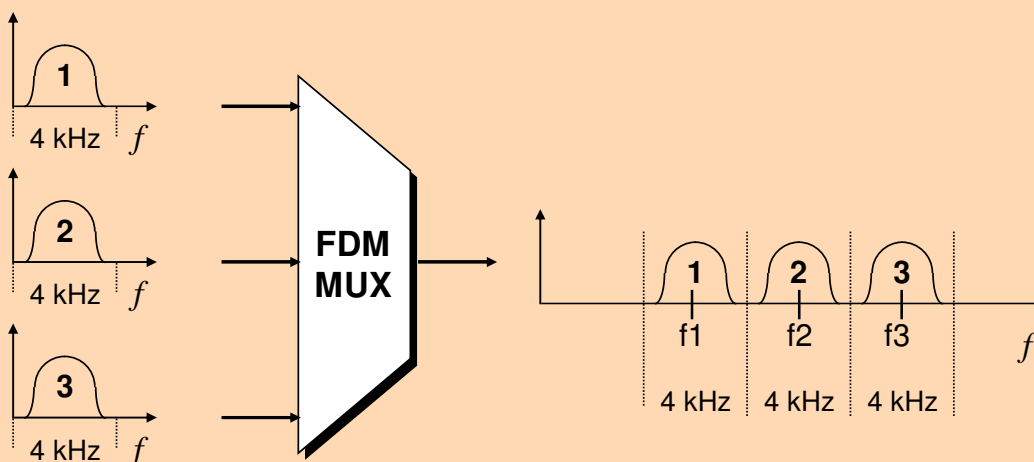
Cercheremo di dare una panoramica delle varie tecniche di moltiplicazione.

La tecnica a divisione di spazio consiste nell'assegnare a ogni comunicazione un singolo portante fisico... in effetti non si ha la combinazione dei flussi nel senso che abbiamo descritto e non parlerei di moltiplicazione.

Ad esempio i "doppini" telefonici, cioè i fili che collegano le abitazioni alle centrali, sono raccolti nelle cabinette di distribuzione e affasciati in un unico cavo che li convoglia verso la centrale telefonica.

## Multiplazione a divisione di frequenza

- Consideriamo il caso di segnali telefonici in forma analogica (banda  $B = 4$  kHz)
- Consiste nel ripartire la banda disponibile sul mezzo in sotto-bande larghe 4 kHz, una per ogni segnale da moltiplicare



**Nella moltiplicazione a divisione di frequenza, i flussi tributari sono trasportati in diverse porzioni dello spettro disponibile sul canale.**

**Si sfrutta ovviamente il fatto che i segnali elettromagnetici a frequenze diverse non interagiscono tra di loro.**

**Il principio è esattamente lo stesso che consente alle diverse emittenti radio o televisive di trasmettere contemporaneamente “via etere”.**

**Ogni stazione ad esempio radiofonica trasmette il suo segnale associandolo ad una frequenza (detta “portante”) diversa.**

**Il ricevitore (nell’esempio la radio in ascolto) si “sintonizza” sulla portante in questione ed estrae dall’etere solo il flusso desiderato, de-moltiplicandolo dall’insieme dei flussi trasmessi da tutte le stazioni radio.**

**Senza alcuna pretesa di dare una descrizione formale ed accurata delle tecniche di modulazione dei segnali, fornisco di seguito una descrizione “qualitativa” di quello che accade.**

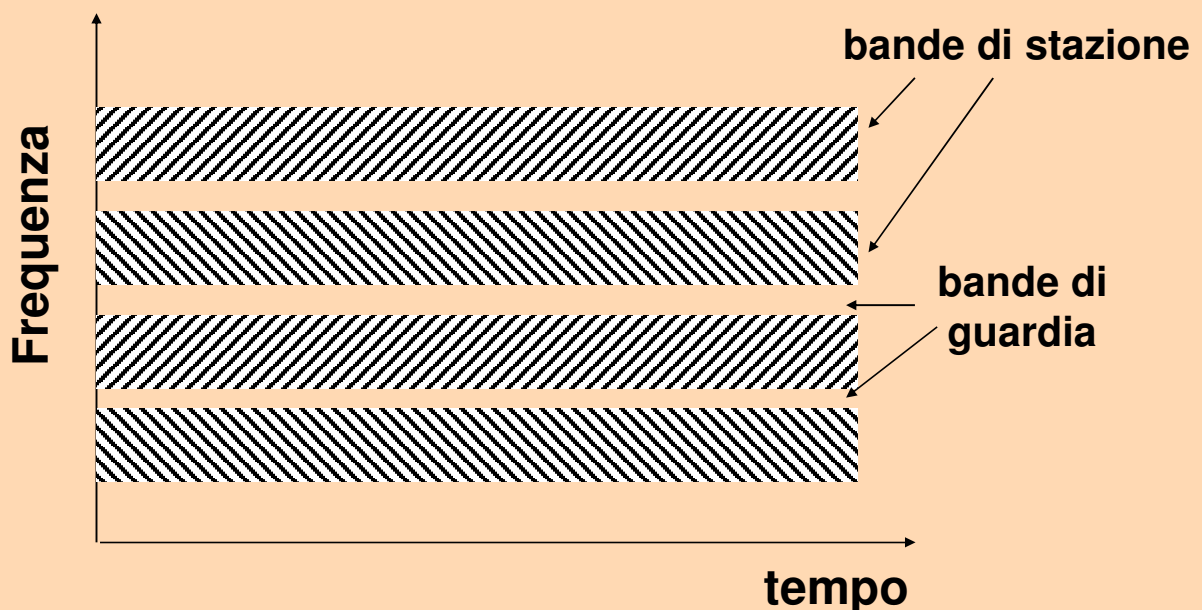
**Il segnale originario viene detto “in banda base” e viene trasportato in un’altra porzione di frequenza con una operazione di “modulazione” di una portante. Vi sono diversi modi per fare questo, un modo semplice è quello di moltiplicare il segnale originario per un segnale sinusoidale a frequenza molto più elevata detto portante. Il risultato è un segnale che avrà uno spettro in frequenza nell’intorno della frequenza della portante.**

Nella slide precedente con lo schema logico del moltiplicatore FDM, i tre segnali entranti sono stati moltiplicati per tre portanti diverse ( $f_1$ ,  $f_2$  ed  $f_3$ ) e sono quindi stati “traslati” in frequenza nell’intorno di  $f_1$ ,  $f_2$  ed  $f_3$ .

In ricezione al fine di estrarre uno specifico flusso si eseguono operazioni di “filtraggio” in frequenza per selezionare solo la porzione dello spettro in cui è situato il segnale ed operazioni per riportare il segnale dalla banda intorno alla frequenza portante alla “banda base” (ad esempio moltiplicando nuovamente il segnale per un segnale sinusoidale alla frequenza della portante).

## Multiplazione a divisione di frequenza

- Frequency Division Multiple Access, FDMA



La slide precedente illustra il risultato della moltiplicazione FDM di 4 segnali tributari. La porzione di spettro disponibile (rappresentata qui sull'asse delle ordinate) viene divisa tra i quattro segnali in maniera fissa nel tempo, per tutta la durata della trasmissione.

Si noti come le frequenze assegnate ai vari flussi non possono essere esattamente contigue, ma ci deve essere una piccola distanza in frequenza, per evitare interferenze tra un flusso e l'altro.

Esempi di sistemi che operano in questo modo sono, oltre alla già citata diffusione radio e televisiva:

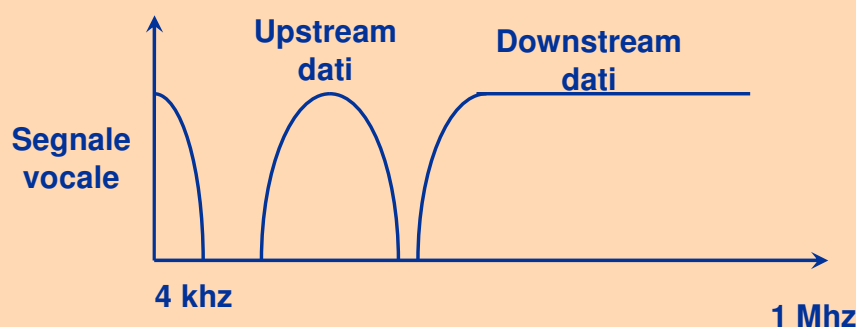
il cellulare “analogico” di prima generazione

i sistemi di moltiplicazione telefonica fino a circa 30-40 anni fa

l'ADSL (vedi slide successiva)

## Esempio divisione frequenza: ADSL

- Nella trasmissione ADSL (sta per Asymmetric Digital Subscriber Line) il modem divide la banda disponibile sul “doppino” telefonico (cioè il cavo in rame che collega l'utente alla centrale telefonica) come segue:



Nella parte bassa dello spettro viene trasmesso il segnale vocale, quindi a frequenze crescenti vengono moltiplicati i dati in “upstream” (cioè dal modem verso la centrale) e poi i dati in “downstream” (cioè dalla centrale verso il modem)

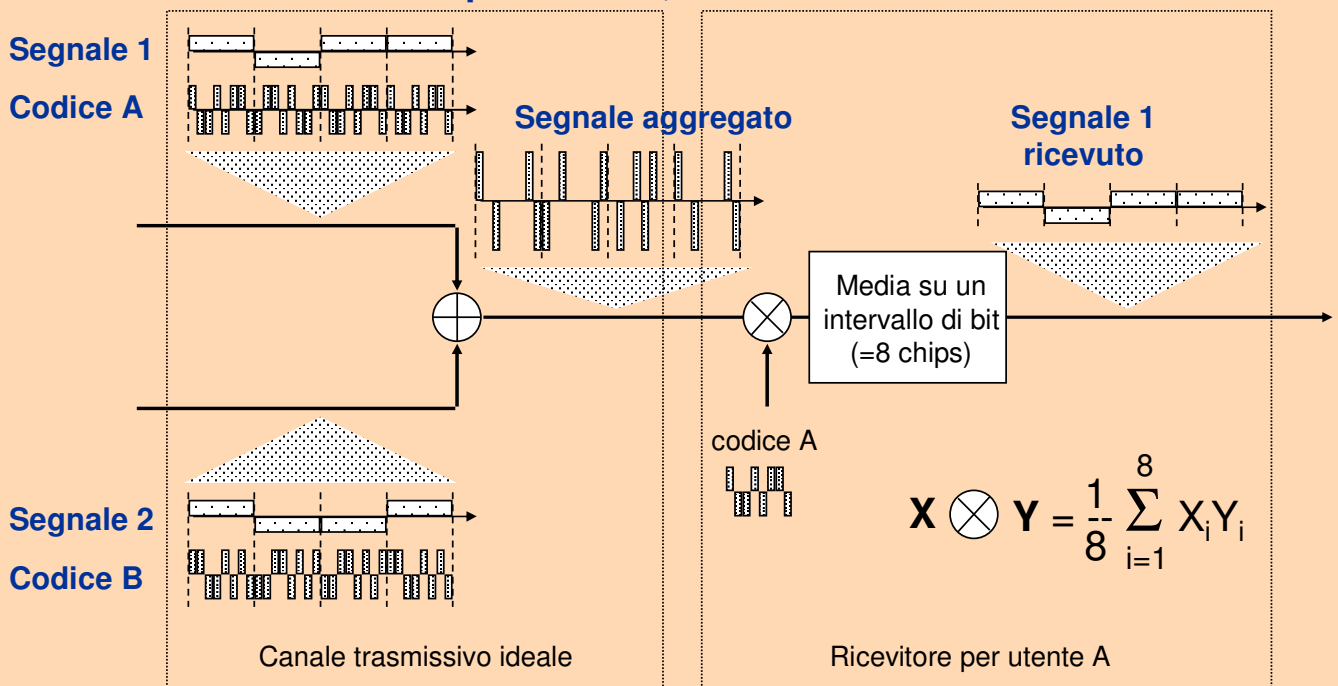
# Multiplazione a divisione di codice

- Tecnica conosciuta anche come spread-spectrum (SS), nata per applicazioni militari, ora diffusissima nelle reti wireless
- Consiste nel trasmettere simultaneamente e nella stessa banda di frequenza un insieme di  $N$  segnali
- Uno dei metodi possibili, detto DS (Direct Sequence), è quello di moltiplicare ciascun segnale per una sequenza di codice, scelta tra un insieme di sequenze (pseudo)ortogonali

15

# Multiplazione a divisione di codice

- Code Division Multiple Access, CDMA



16



La slide precedente mostra lo schema a blocchi della moltiplicazione a divisione di codice di tipo Direct Sequence.

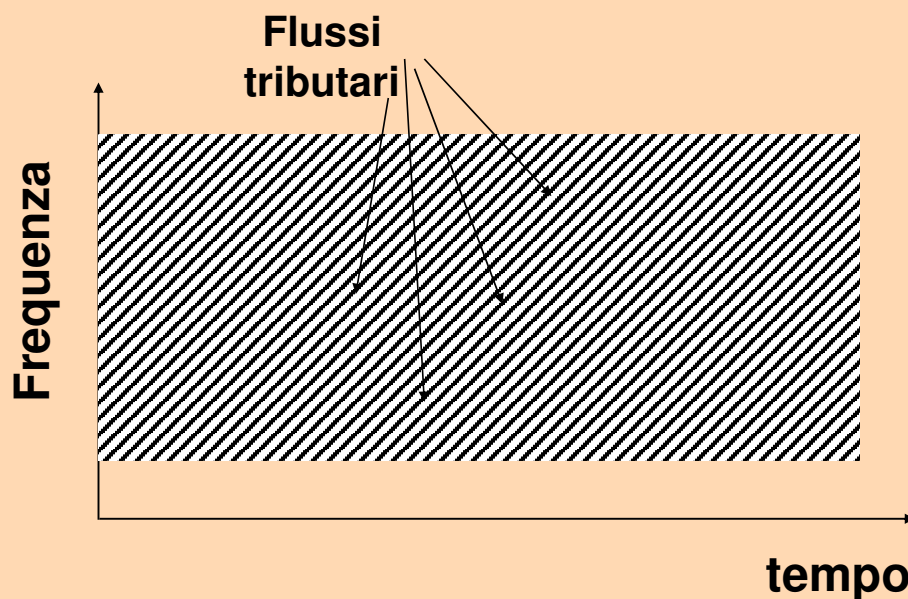
I due segnali 1 e 2 vengono moltiplicati per i due codici A e B, sommati tra loro e trasmessi.

In ricezione il ricevitore che vuole estrarre il segnale 1 effettua una correlazione del segnale ricevuto con il codice A (cioè effettua il prodotto tra segnale ricevuto e codice e fa la somma del risultato su un intervallo di tempo corrispondente ad un bit del segnale trasmesso)

Un esempio di sistema che opera in questo modo è il cellulare di terza generazione (UMTS)

## Multiplazione a divisione di codice

- Code Division Multiple Access, CDMA



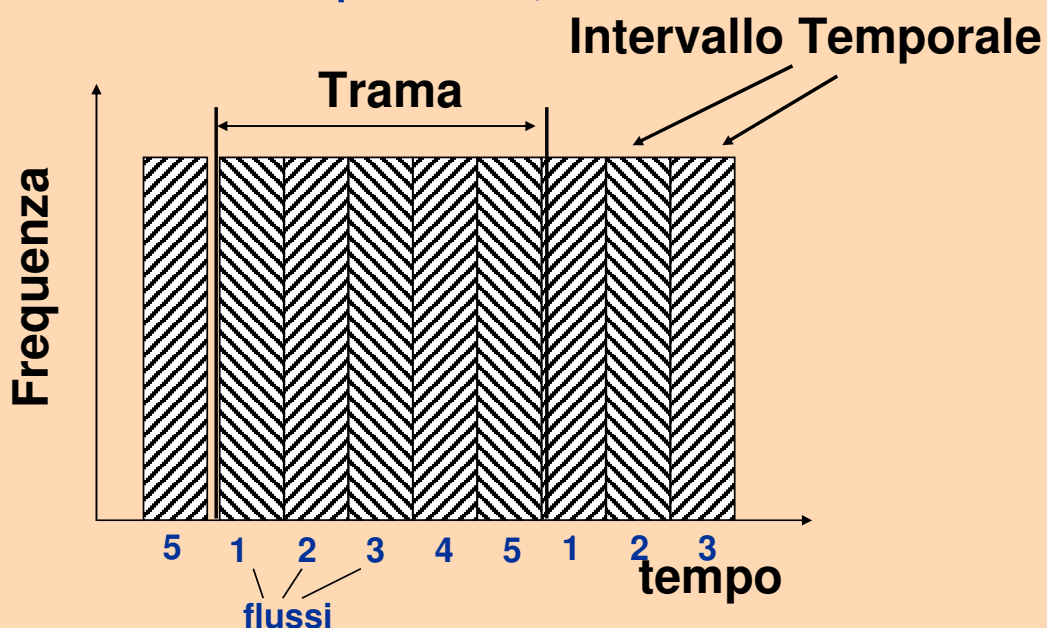
## Multiplazione a divisione di codice

- I flussi tributari occupano “contemporaneamente” l'intera porzione di spettro disponibile per il sistema per tutta la durata delle comunicazioni.
- Tra i vantaggi della multiplazione a divisione di codice vi sono:
  - una maggiore efficienza spettrale (ad esempio le bande di stazione non sono più necessarie)
  - una maggiore flessibilità (mediante i codici è possibile assegnare in modo semplice capacità diverse ai diversi flussi tributari)

19

## Multiplazione a divisione di tempo

- Time Division Multiple Access, TDMA



20

**Nella moltiplicazione a divisione di tempo i flussi tributari occupano il canale alternativamente per una porzione di tempo, occupando in questa porzione di tempo tutta la banda di frequenza disponibile per il sistema.**

**Nella figura precedente 5 flussi si condividono il canale.**

## **Moltiplicazione a divisione di tempo**

- **Modulazione a divisione di tempo “analogica”**

**I flussi tributari trasmettono nell’intervallo di tempo a loro riservato una forma d’onda analogica (es. un impulso modulato in ampiezza)**

**Non è adatta alle trasmissioni ad alta velocità**

- **Modulazione a divisione di tempo “numerica” o “digitale”**

**Viene in realtà trasmesso un unico flusso numerico, all’interno del quale sono trasportati i flussi tributari a loro volta numerici**

**Torneremo brevemente sulla moltiplicazione a divisione di tempo numerica dopo aver trattato la conversione analogico/digitale dei segnali.**