



# Lezione 6: Reti Locali e Protocolli di Accesso al Mezzo (MAC) I



## Reti in area locale (LAN)

- ❑ Nascono per effettuare l'interconnessione di apparecchiature di calcolo in area geografica limitata
  
- ❑ Fattori trainanti:
  - Diminuzione del costo delle risorse hardware
  - Distribuzione delle risorse di calcolo
  - Necessità di interconnessione
  - Flessibilità nella gestione e facile espandibilità

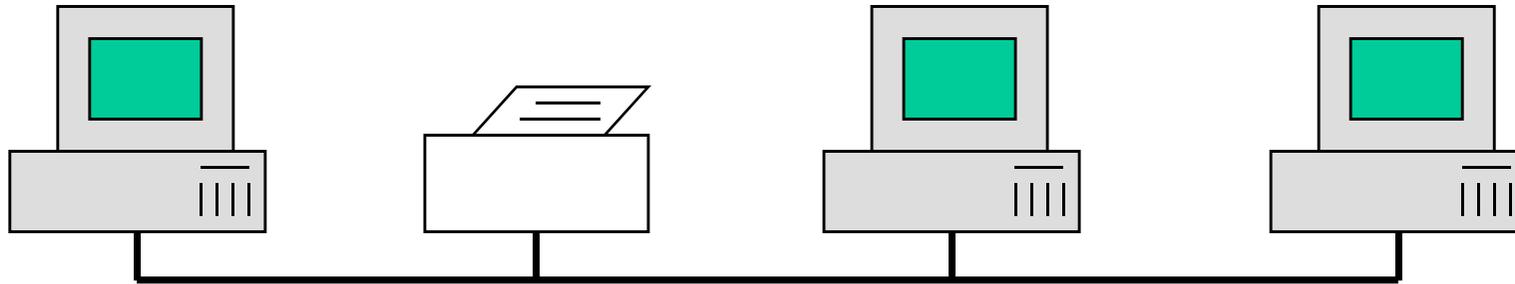


# Reti in area locale (LAN)

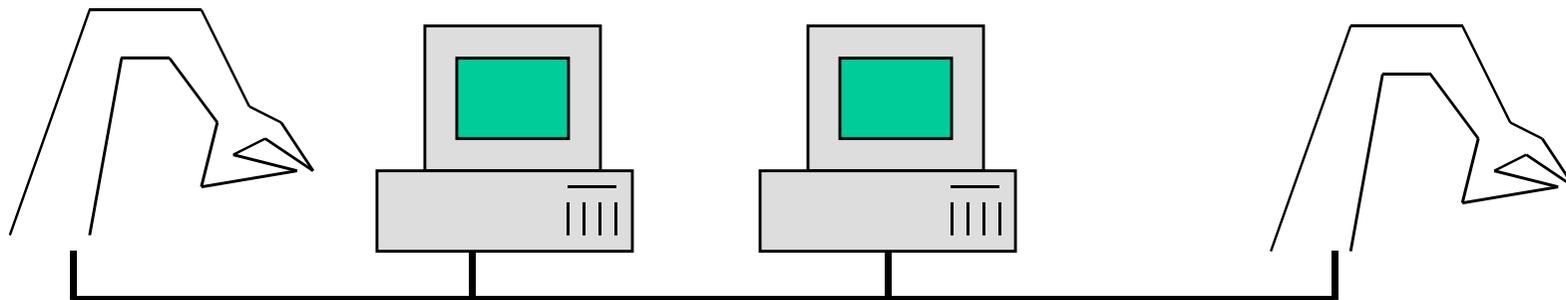
## □ Caratteristiche di una LAN:

- Estensione geografica limitata (edificio, gruppo di edifici, campus)
- Proprietà e gestione da parte di una singola organizzazione
- Unico mezzo trasmissivo a capacità elevata e con basso tasso d'errore ( $< 10^{-6}$ ,  $10^{-7}$ )
- Utilizzo di protocolli di accesso al mezzo
- La banda del mezzo trasmissivo è molto maggiore di quella richiesta dagli utenti
- Rete senza funzionalità di commutazione
- Distribuzione delle funzioni

# Esempi di reti locali



- **Rete di laboratorio / rete di ufficio**



- **Automazione di fabbrica**



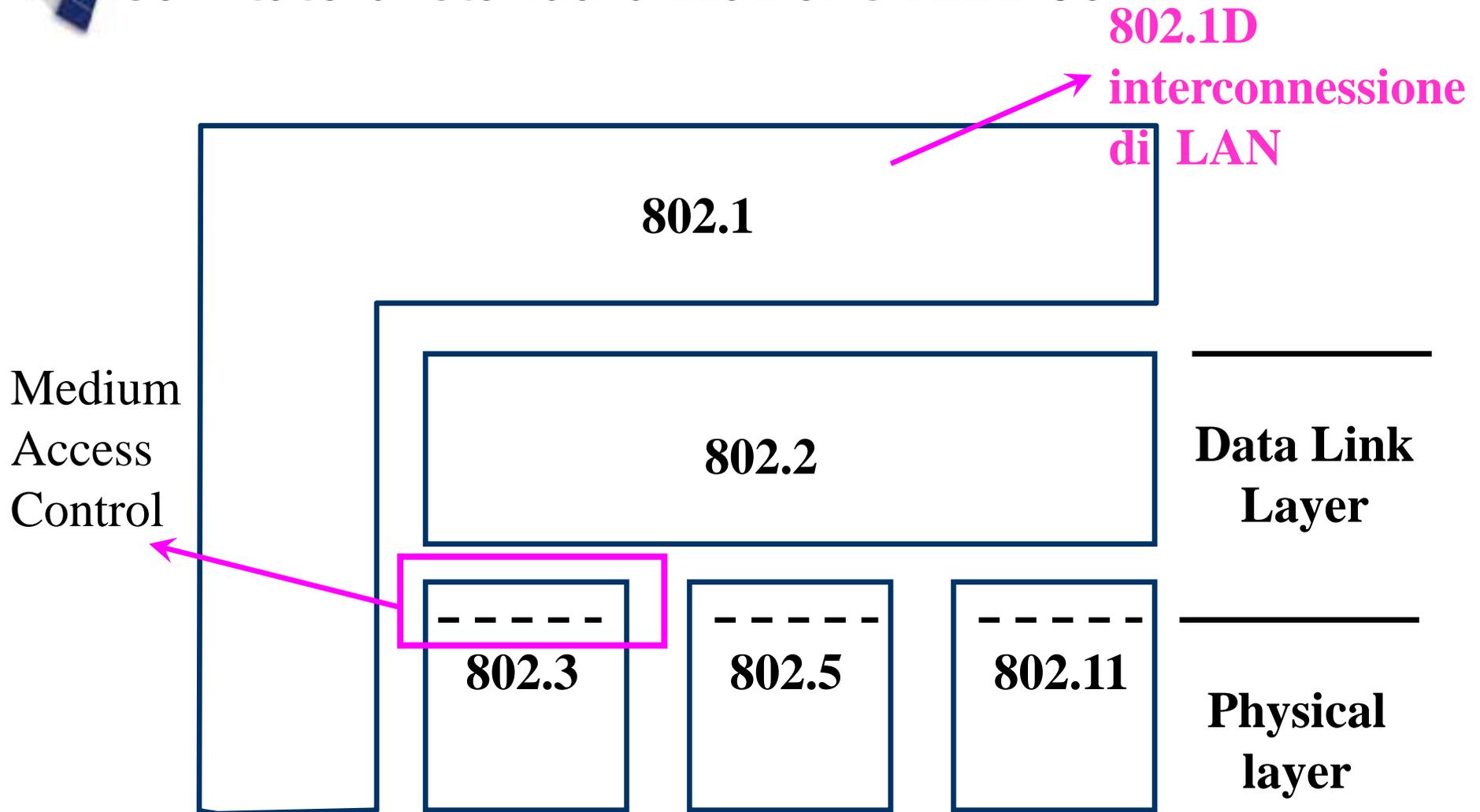
## Evoluzione delle tecnologie per LAN

- ❑ LAN ad alta velocità
  - FDDI, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet
- ❑ LAN commutate (switched LAN)
  - ogni singola stazione ha un accesso dedicato
- ❑ LAN virtuali (VLAN)
  - indipendenza della topologia logica da quella fisica
- ❑ ATM LAN
- ❑ Wireless LAN (W-LAN)
  - Interfaccia radio



# Standardizzazione delle reti locali

## Comitato di standardizzazione IEEE 802





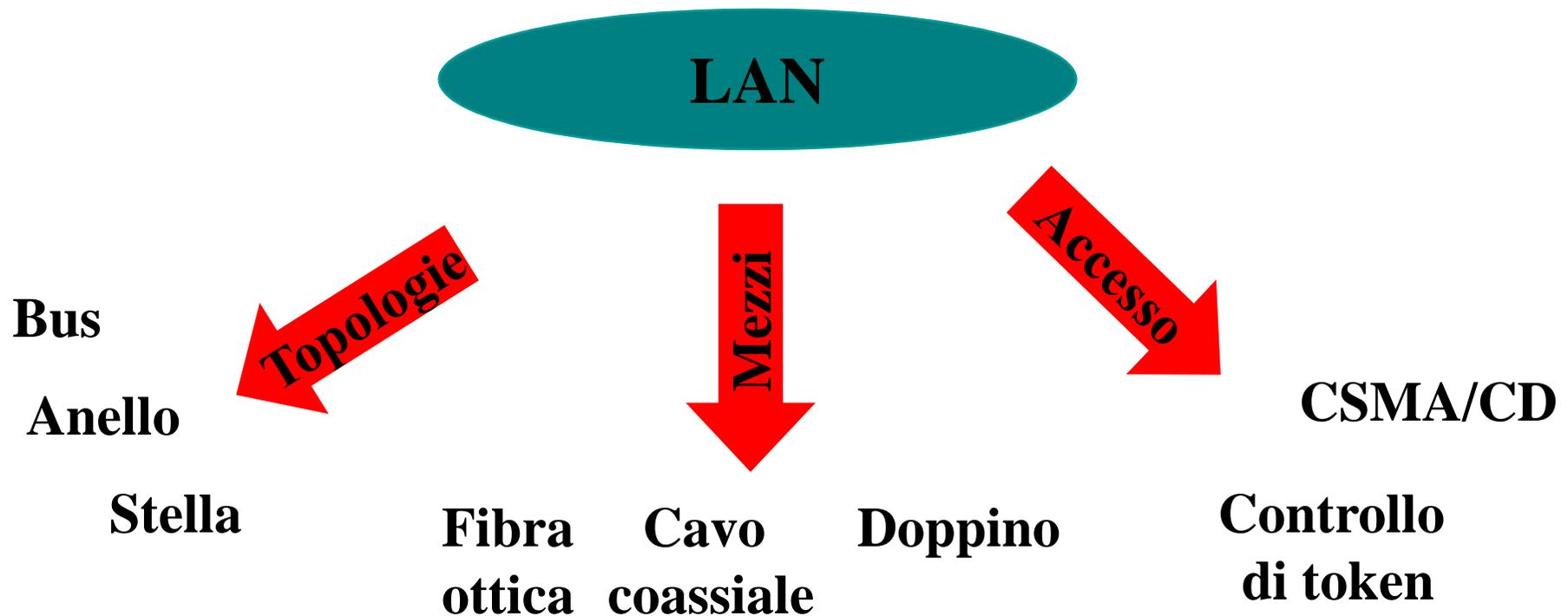
## Elementi di Progetto

- ❑ Tecnologia e mezzo di trasmissione
- ❑ Topologia
- ❑ Protocolli di accesso





# Parametri di scelta





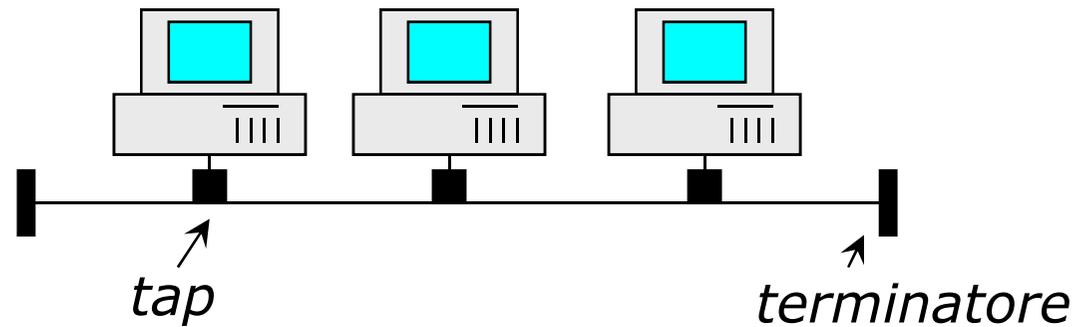
# Topologie

- ❑ BUS
- ❑ STELLA
- ❑ ANELLO

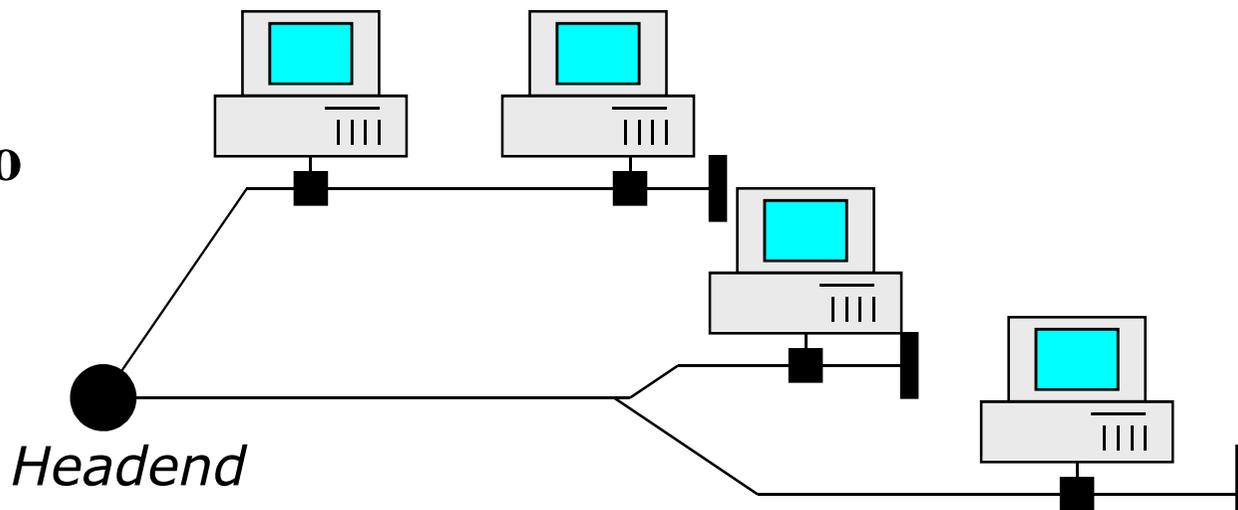
# Topologie

- ❑ **Topologia**: indica il modo in cui le stazioni in rete sono interconnesse
- ❑ Topologie tipiche:

- **Bus**



- **Albero**

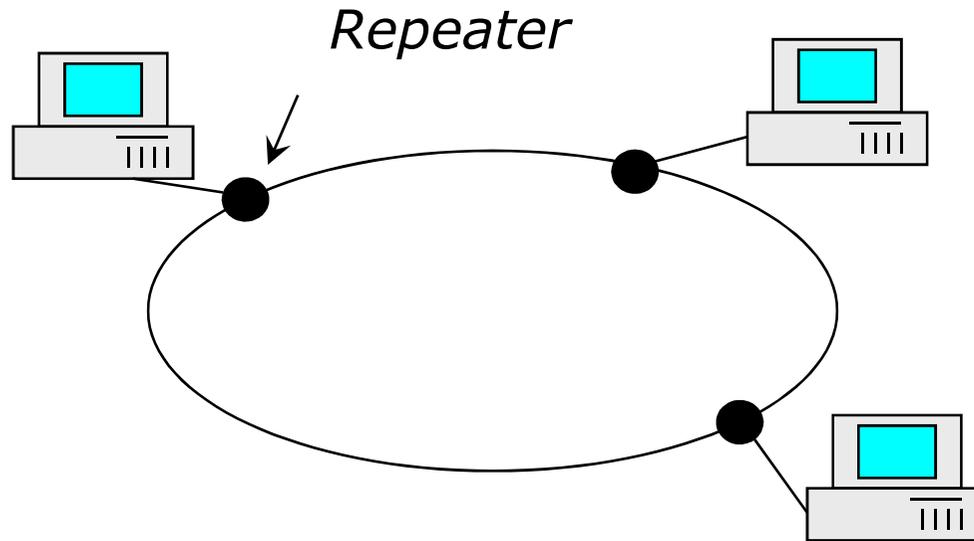


Canale broadcast

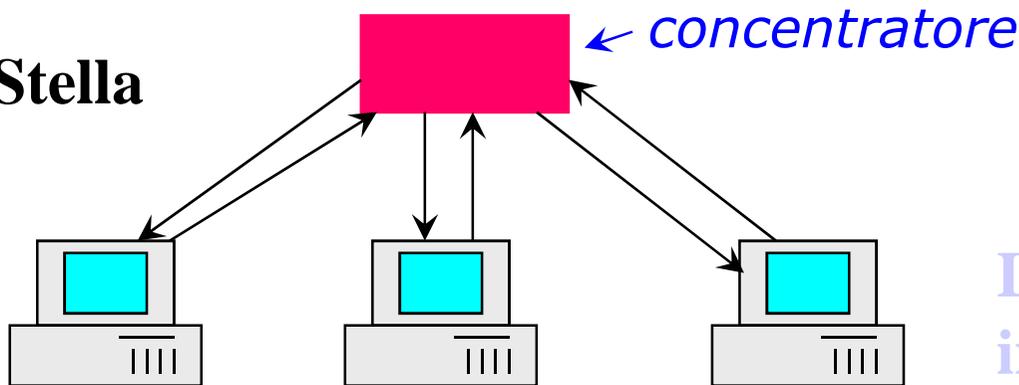


# Topologie

- **Anello**



- **Stella**

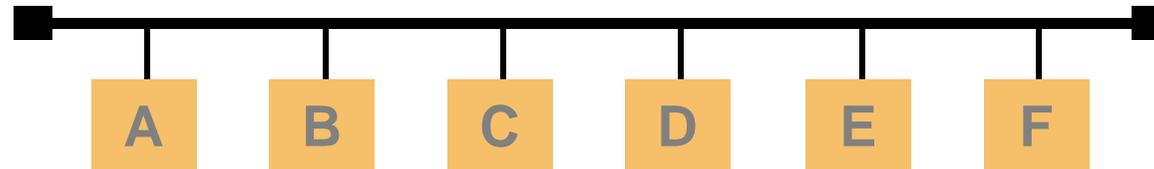


Canali punto-punto

La rete è comunque intrinsecamente broadcast!



# Topologia a BUS

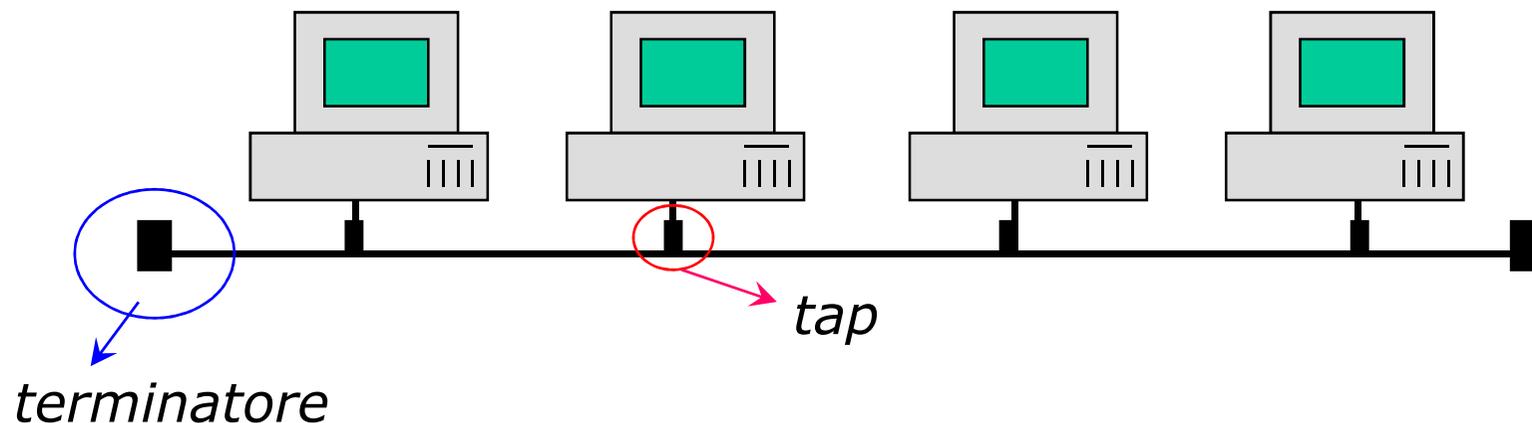


- Mezzo trasmissivo fisicamente condiviso tra le stazioni
- Mezzo trasmissivo intrinsecamente bidirezionale
- Accesso multipunto
- Non adatto a mezzi trasmissivi in fibra ottica
- Impiegata tipicamente con cavo coassiale al quale le stazioni sono collegati con agganci passivi (*tap*). Il segnale alla fine del bus da entrambe i lati viene assorbito da opportuni *terminatori*.



## Topologie a bus

- ❑ La trasmissione di una stazione si propaga per tutta la lunghezza del mezzo e viene ricevuta da tutte le stazioni.



### Problemi:

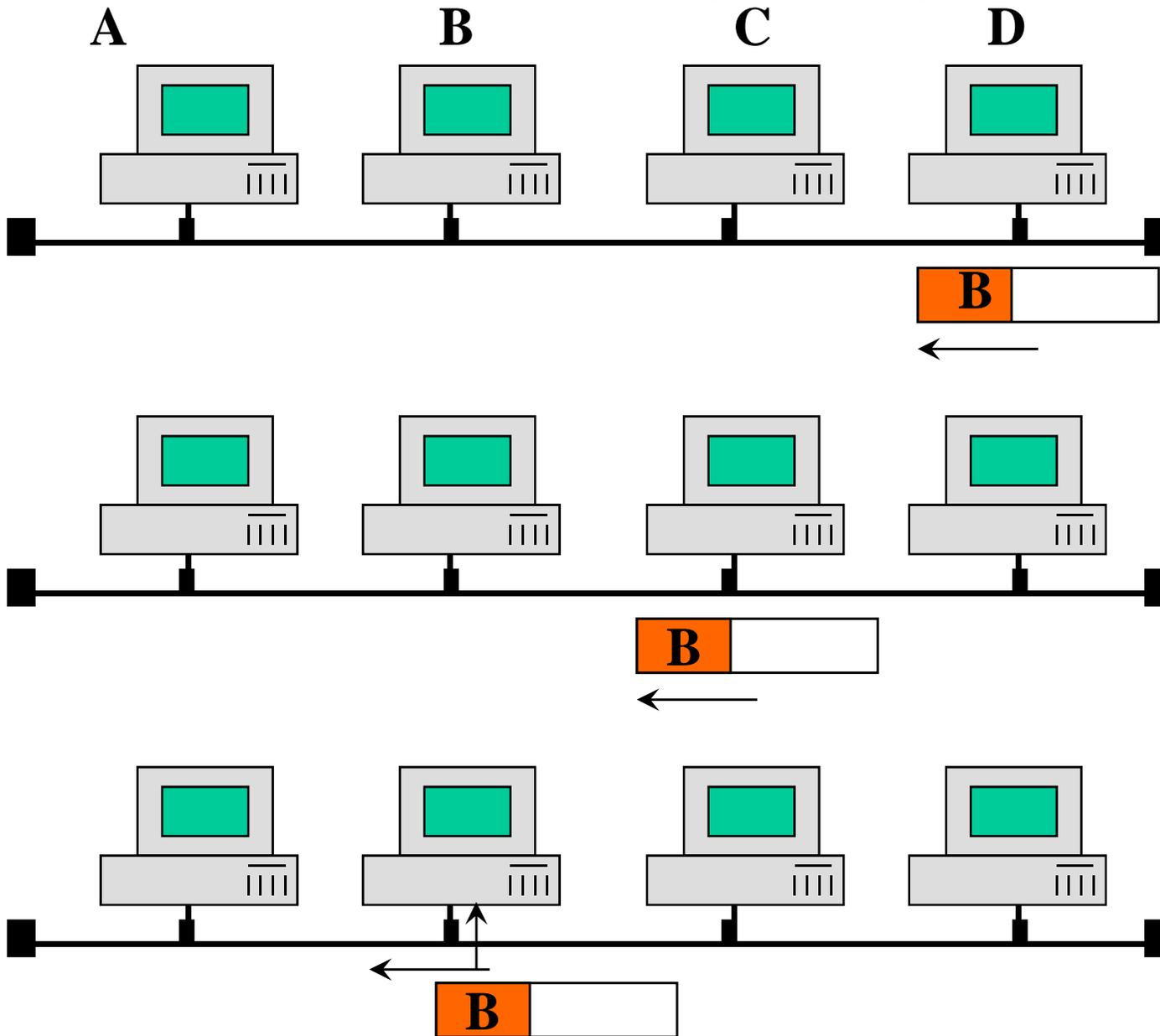
**accessi contemporanei causano collisioni**

- e' necessario indirizzare la stazione destinazione del messaggio → **MAC**
- **messaggio**

## Indirizzamento

- Le trasmissioni vengono divise in trame. Ciascuna stazione ha associato un indirizzo univoco (MAC address) associato dal costruttore della scheda di rete. Il MAC address della stazione destinazione viene indicato nel campo destinazione dell'header di trama. Quando una stazione riceve una trama verifica se il valore del campo destinazione della trama corrisponde ad un suo indirizzo. Solo in questo caso copia la trama ricevuta e la passa per ulteriori elaborazioni ai livelli superiori.

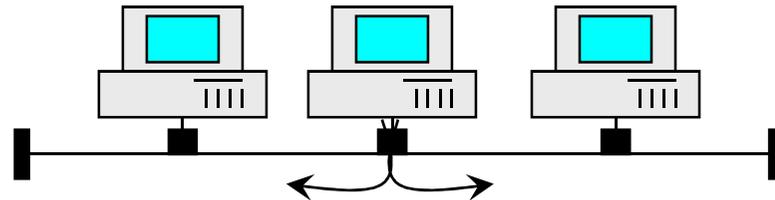
# Indirizzamento (esempio)



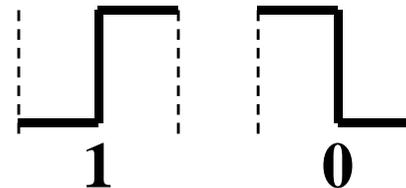


## Implementazione di topologie a bus

- Cavo coassiale in banda base (baseband)



- Trasmissione di segnali digitali  
codifica Manchester

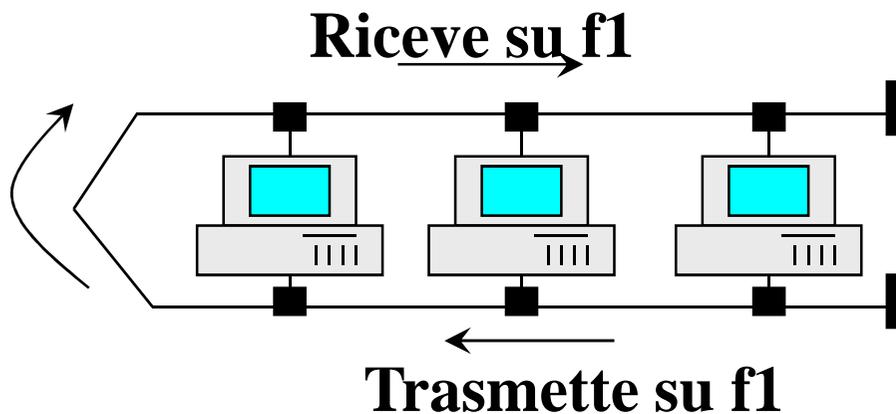


- Trasmissione bidirezionale

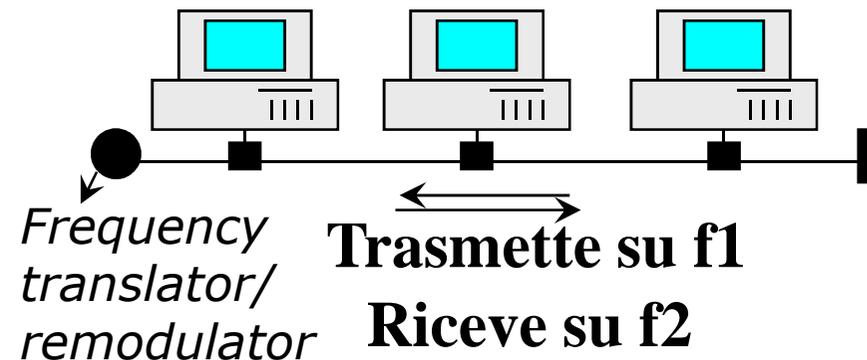
# Cavo coassiale broadband

- ❑ Trasmissione di segnali analogici
- ❑ Unidirezionale
- ❑ Possibile FDM

## Configurazione duale

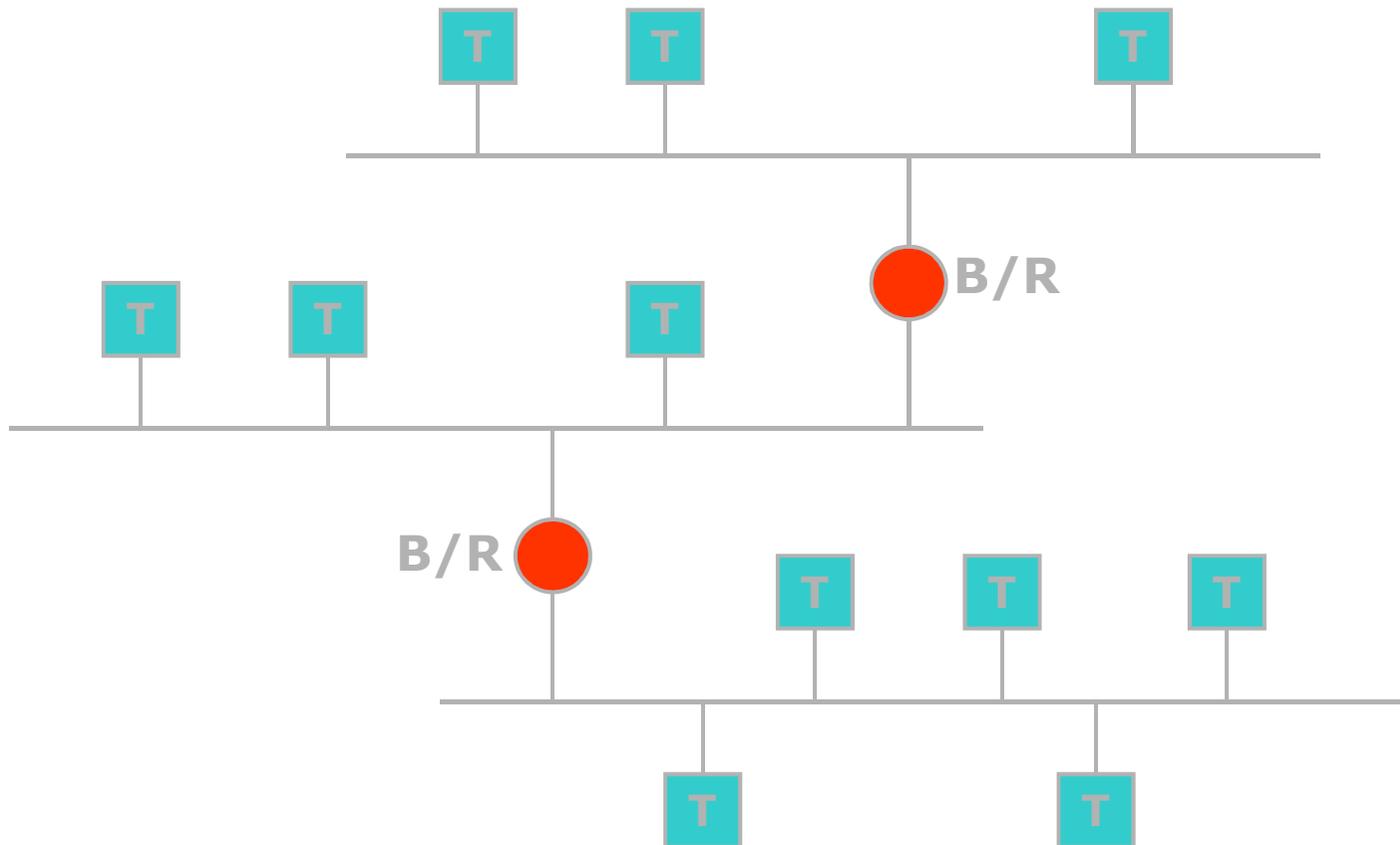


## Configurazione split



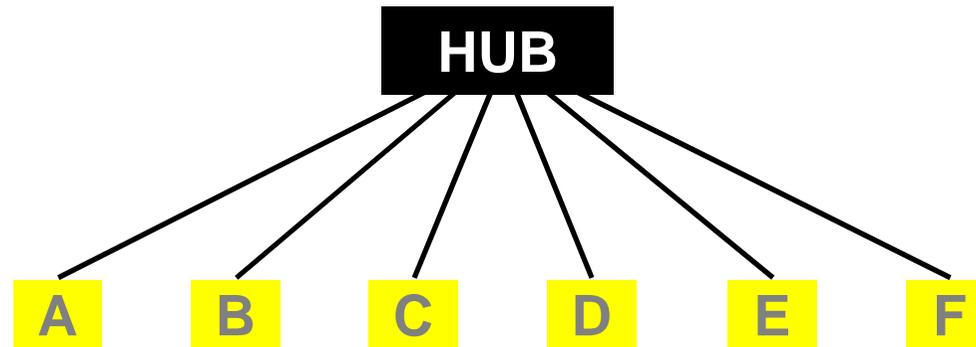


# Topologie ad albero





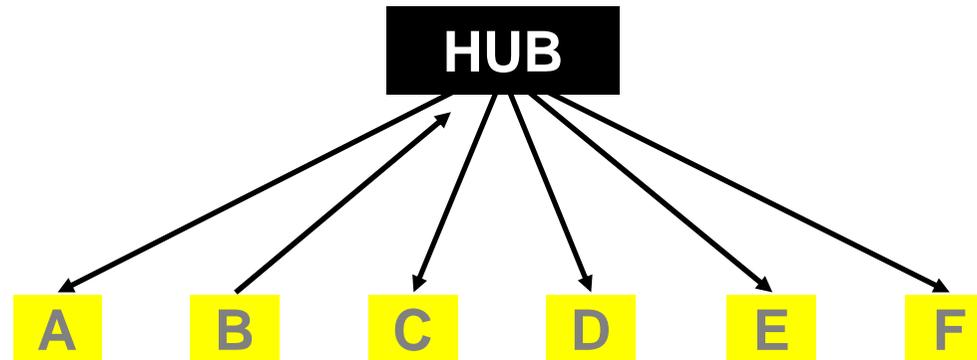
# Topologia: STELLA



- Collegamenti punto-punto dedicati
- Adatta a tutti i tipi di portanti fisici (anche FO)
- Adatta a cablaggi di tipo strutturato
- Possibilità di connettere anche nodi distanti
- Necessità di un HUB che svolga funzioni di ripetitore



# Topologia: STELLA

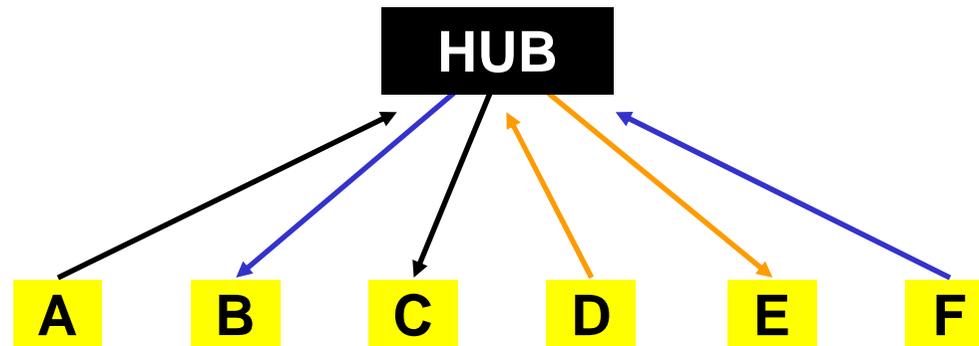


## □ Stella diffusiva

- l'HUB rinvia il segnale ricevuto verso tutti i nodi
- può trasmettere un solo nodo alla volta
- si comporta logicamente come un BUS
- HUB poco costoso



# Topologia: STELLA

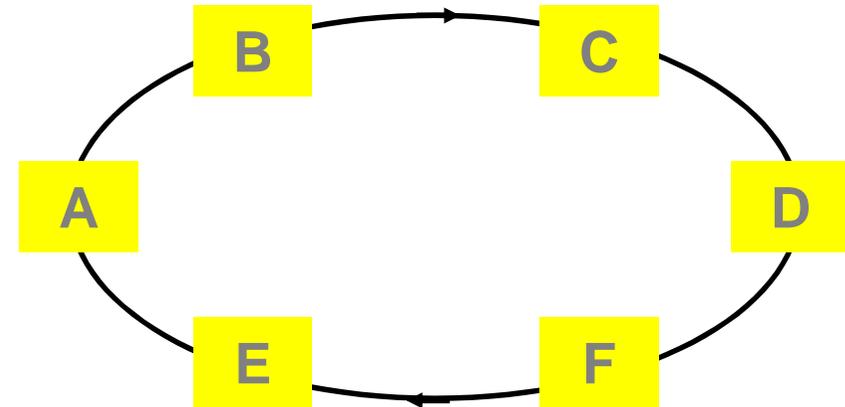


## □ Stella non diffusiva (Switch)

- l'HUB riinvia il segnale ricevuto solo al destinatario
- possono trasmettere più nodi simultaneamente
- aumenta la "banda" complessivamente disponibile
- possibile a prezzi accessibili grazie alle nuove tecnologie ( $\mu$ P ad elevate prestazioni)

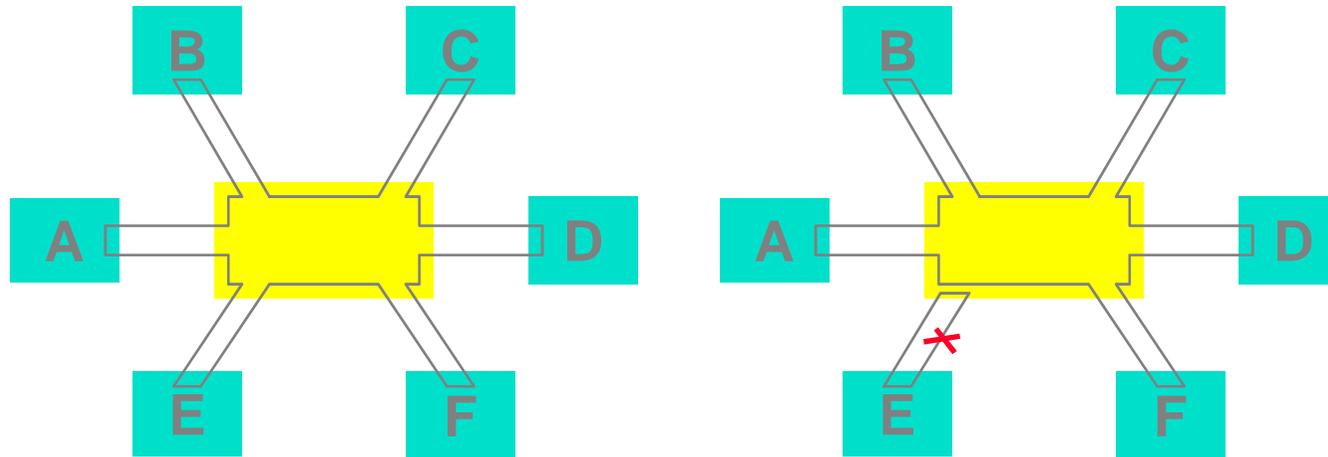


# Topologia: ANELLO



- ❑ Verso di rotazione prefissato
- ❑ Collegamenti punto-punto
- ❑ Mezzo *logicamente* condiviso:
  - Il nodo mittente inserisce le informazioni sull'anello.
  - Ogni nodo legge i pacchetti dall'interfaccia di ingresso e li rilancia su quella di uscita; inoltre se sono diretti ad esso inoltra il pacchetto anche agli strati superiori.
  - Quando il mittente riceve il pacchetto inviato in precedenza lo rimuove dall'anello.

# Topologia: ANELLO

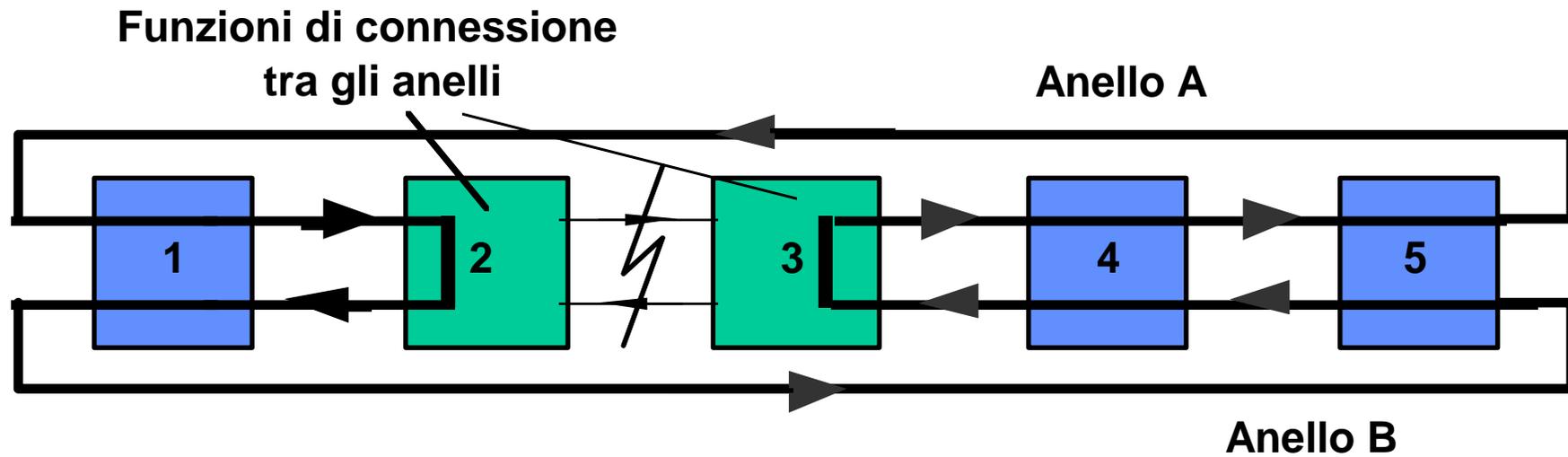
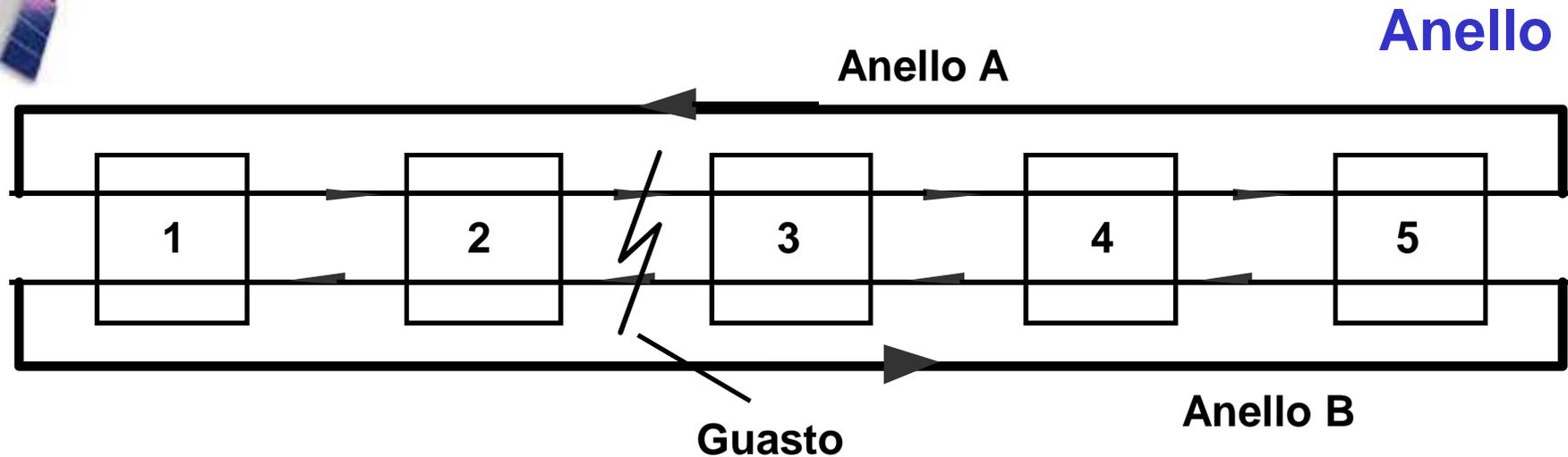


## □ Topologia fisica stellare:

- Maggiori possibilità di gestione della topologia
  - Inserimento di una stazione
  - Rimozione di una stazione
- Riconfigurazione in presenza di guasto (connettore di by-pass per escludere stazione guasta)
- Adatta a cablaggio strutturato



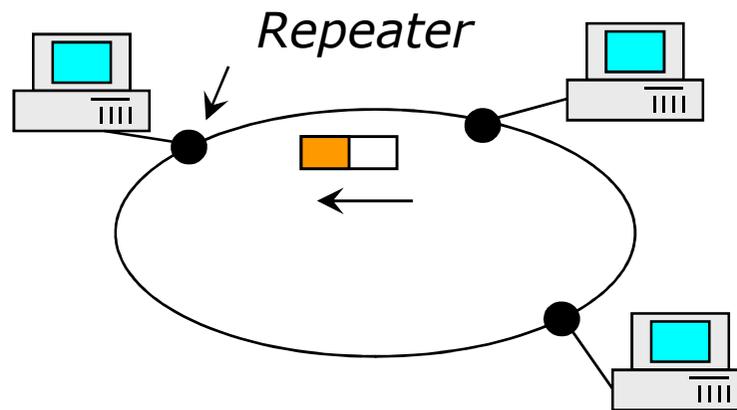
# Riconfigurabilità in caso di guasto



## Problematiche per topologie ad anello

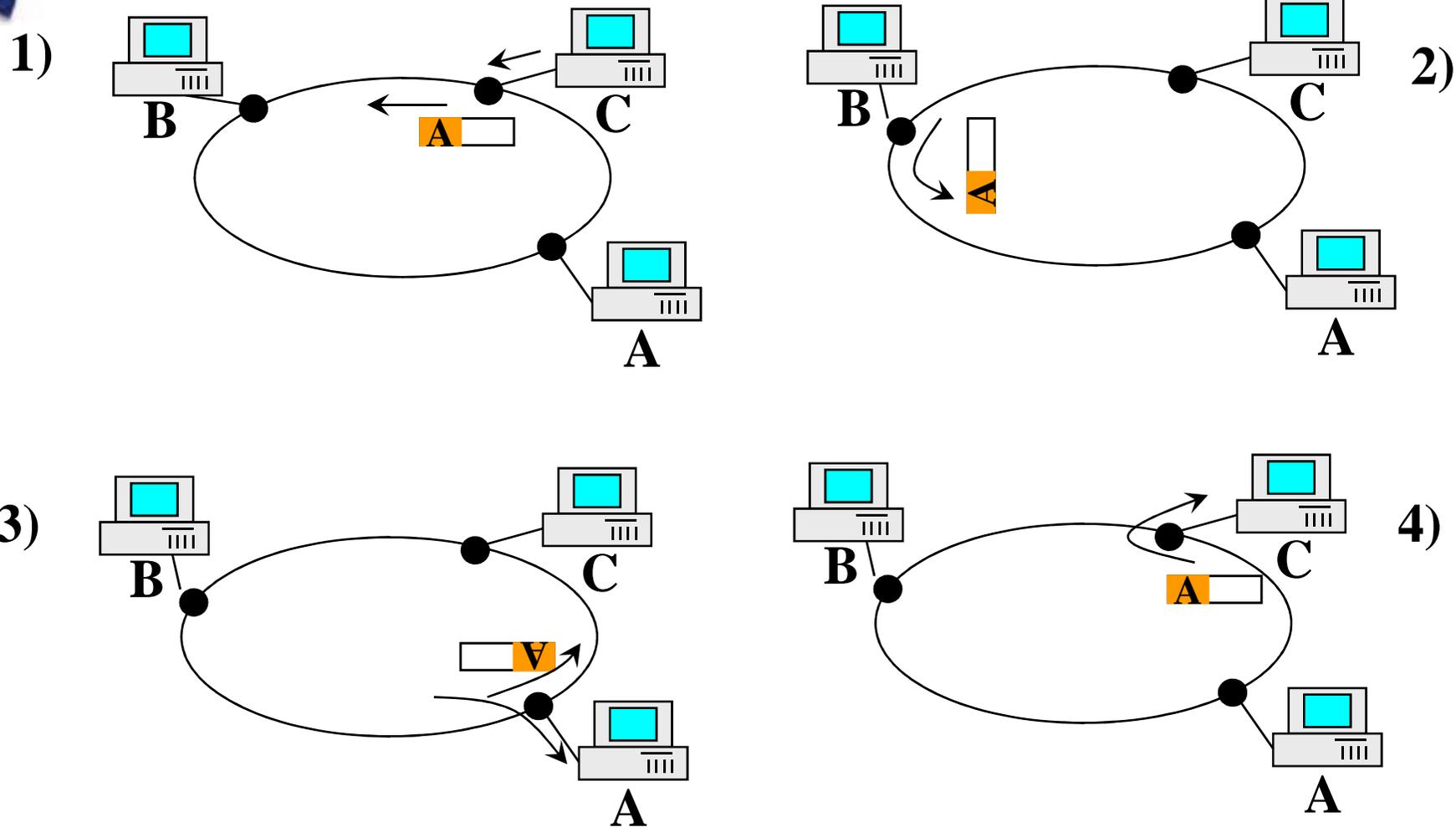
- ❑ Controllo d'ammissione
- ❑ Indirizzamento
- ❑ **Riassorbimento delle trame**

I pacchetti possono circolare indefinitamente in rete.



*Soluzione:* la stazione che ha generato una trama provvede al riassorbimento.

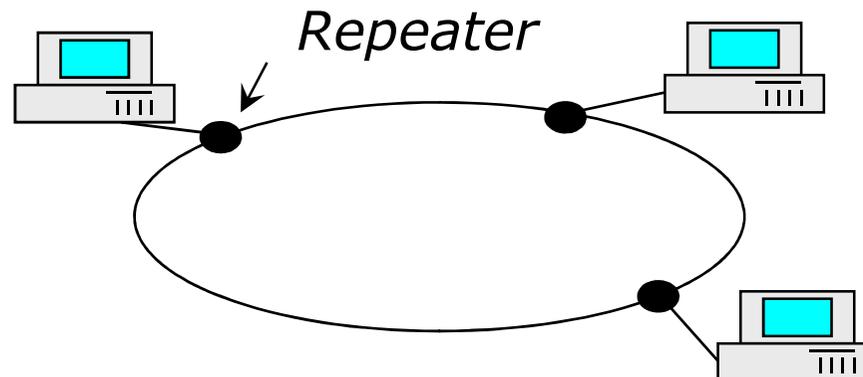
# Es: rete ad anello





## Implementazione di topologie ad anello

- Sono realizzate con una cascata di canali punto-punto interconnessi da ripetitori



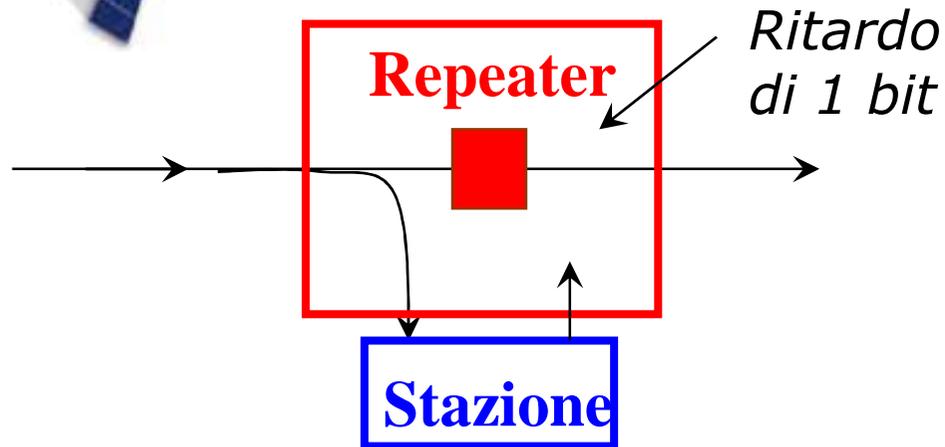
I ripetitori svolgono un duplice ruolo:

- ripetono sul link di uscita i bit ricevuti (dopo averli copiati nel caso la stazione sia destinazione della trama)
- rappresentano l'accesso alla rete per le stazioni

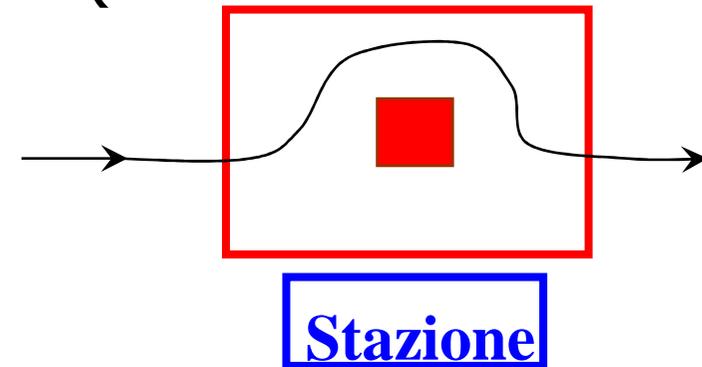


# Stato dei ripetitori

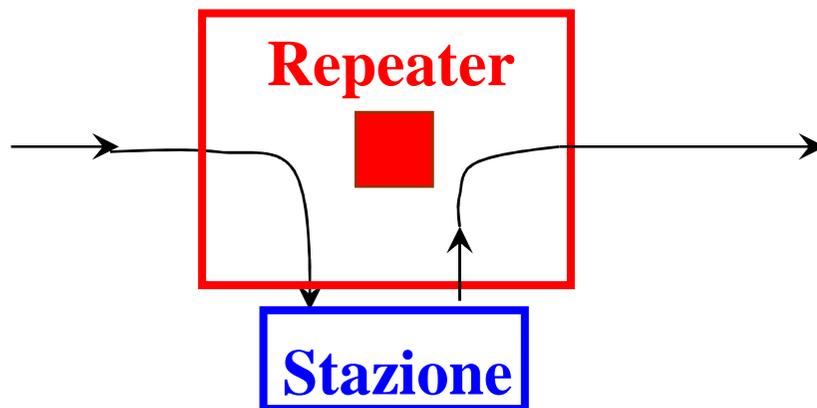
Stato di ascolto



Stato di by-pass  
(stazione non attiva)

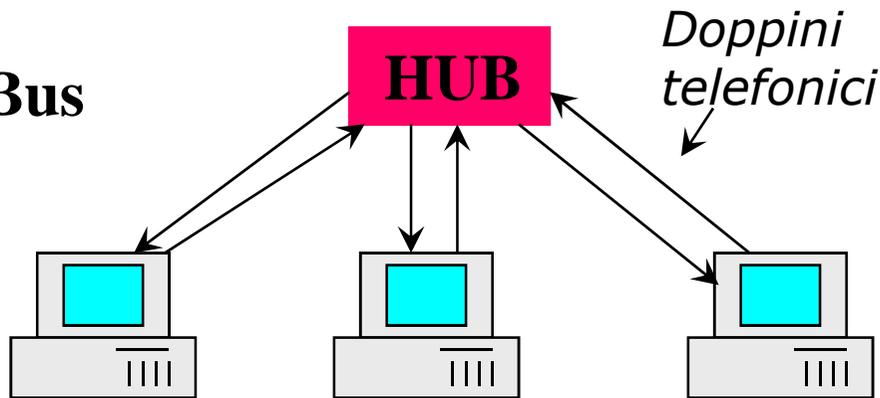


Stato di trasmissione



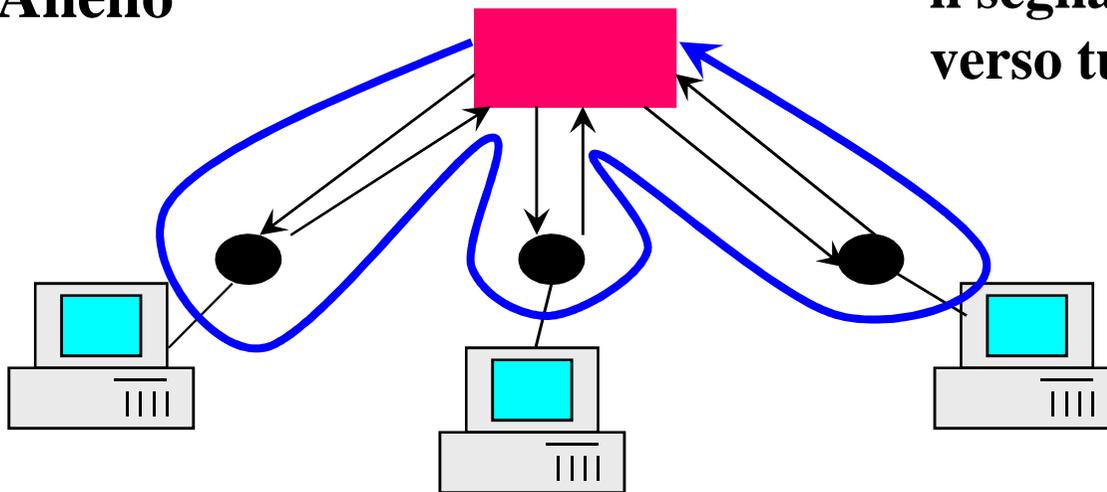
# Uso di topologie a stella per realizzare topologie logiche a bus o ad anello

## ● Bus



**L' HUB si comporta come un repeater: quando riceve una trama da una stazione ripete il segnale sulle linea in uscita verso tutte le altre stazioni**

## ● Anello





# Mezzi trasmissivi



## Principali mezzi trasmissivi

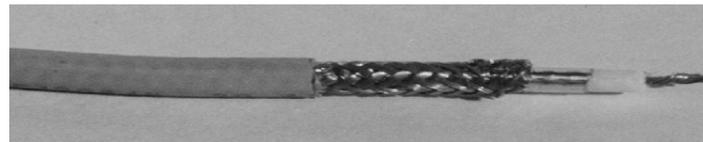
- Cavo coassiale**
- Coppia simmetrica**
- Fibra ottica**

# Cavo Coassiale

- ❑ Tipicamente usato per reti a BUS
- ❑ Dominante sino al '90
- ❑ Buon rapporto S/N
- ❑ Principali tipi:
  - Cavo grosso (Thick-RG213)



- Cavo sottile (Thin-RG58)

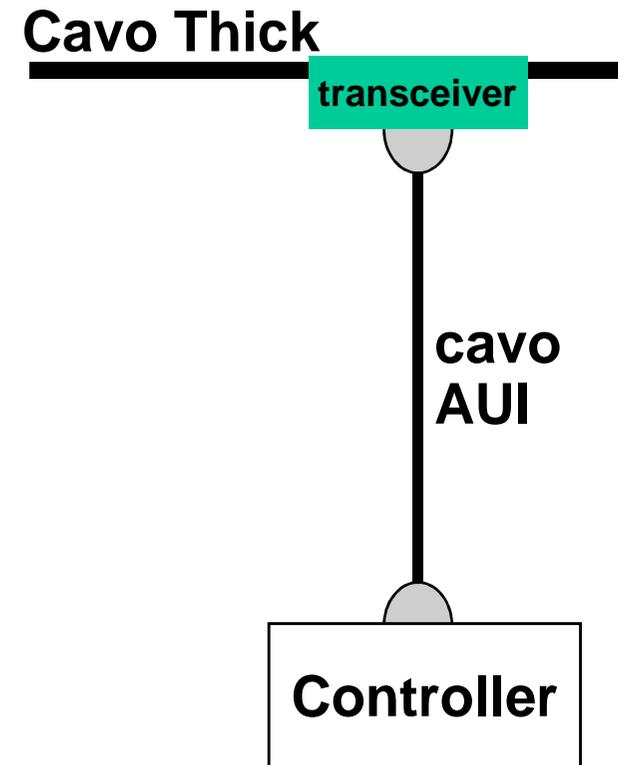


# Cavo Coassiale



## □ Cavo grosso (Thick)

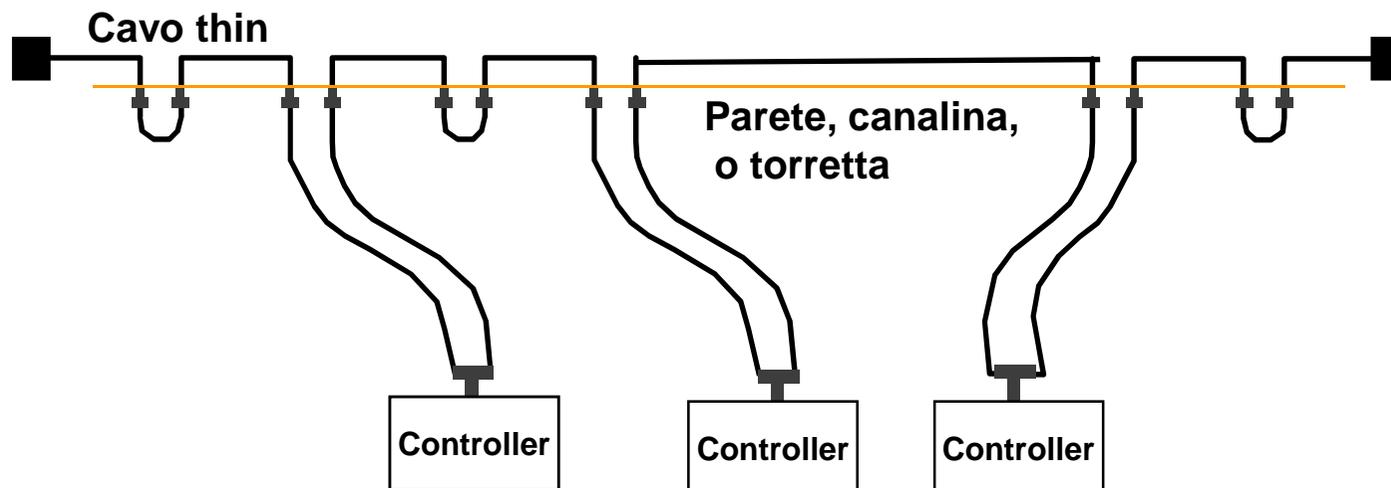
- Buone prestazioni (banda passante, attenuazione)
- Costo abbastanza elevato (7÷10 k€/m)
- Alto costo di posa
- Necessità di transceiver esterno (250÷400 k€) e di cavo *drop* (AUI) (70÷300k€)
- Maggiore affidabilità (il cavo normalmente non è accessibile all'utente)



# Cavo Coassiale

## □ Cavo sottile (Thin)

- prestazioni inferiori (maggiore attenuazione)
- costo inferiore ( $\sim 1$  k€/m)
- maggiore facilità e minor costo di posa
- possibile impiego di transceiver *on board*
- scarsa affidabilità (il cavo è accessibile all'utente)

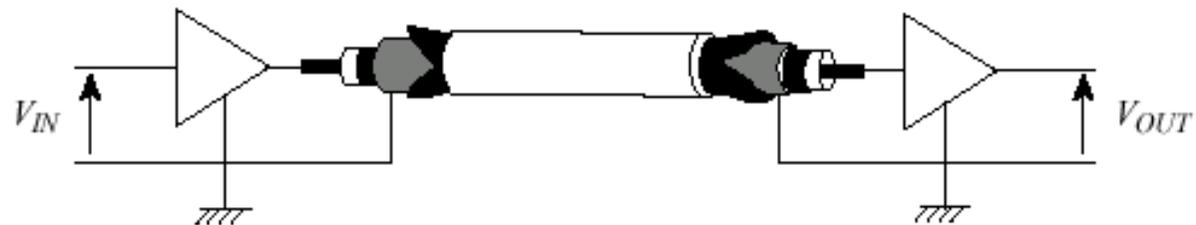




# Cavo Coassiale

## □ Trasmissione sbilanciata

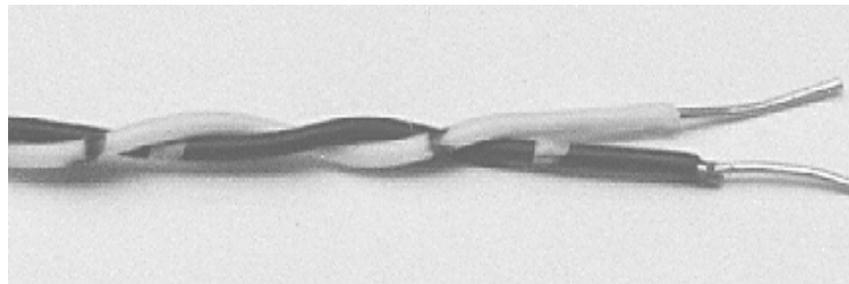
- Due conduttori, uno per il segnale ed uno di riferimento (svolto dalla schermatura)
  - La schermatura si comporta da antenna
  - Le interferenze elettromagnetiche generano differenze di potenziale tra sorgente e ricevente
- Marcata dipendenza dai disturbi





## Coppia Simmetrica (Twisted Pair)

- ❑ Prestazioni inferiori al cavo coassiale
- ❑ Utilizzabili anche per bit rate elevati ( $> 100$  Mbit/s) su brevi distanze ( $\sim 100$  m)
- ❑ Tipicamente usato in cavetti a 4 coppie
- ❑ Basso costo e facilità di posa
- ❑ Adatto a cablaggi strutturati
- ❑ Enorme diffusione dal '90





# Coppia Simmetrica

## □ Varianti

- UTP (Unshielded): non schermato
- FTP (Foiled): uno solo schermo per tutto il cavetto
- STP (Shielded): schermato coppia per coppia





# Coppia Simmetrica

## □ Categorie dei cavi

- 1 - telefonia analogica
- 2 - telefonia numerica (ISDN) e dati a bassa velocità
- 3 - dati sino a 16 MHz di banda
- 4 - dati sino a 20 MHz di banda
- 5 - dati sino a 100 MHz di banda
- 6\* - dati sino a 200 MHz di banda
- 7\* - dati sino a 600 MHz di banda

\* *(ISO/IEC 11801 seconda edizione)*



## Coppia Simmetrica

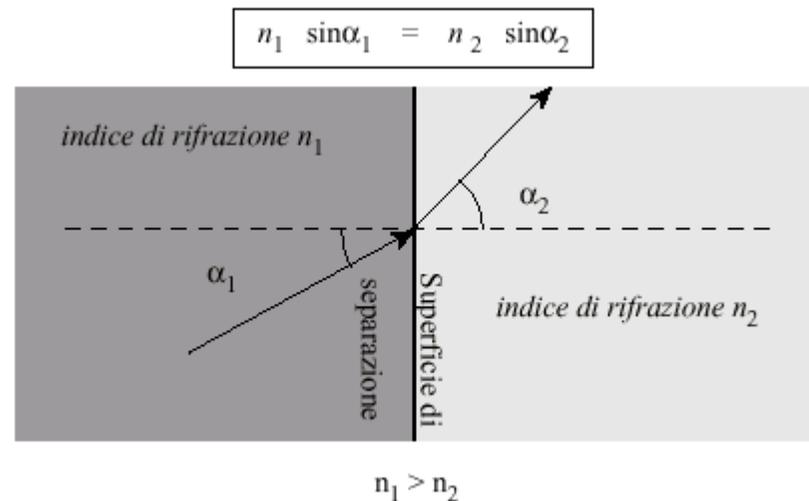
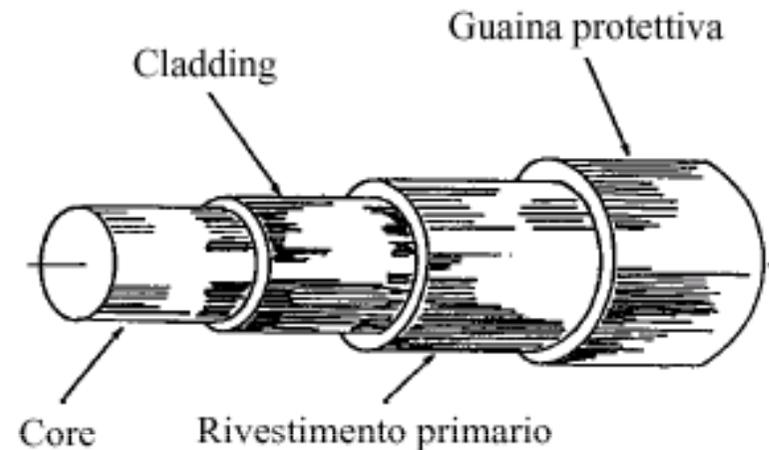
- Trasmissione bilanciata
  - I due conduttori trasportano lo stesso segnale, ma in controfase.
  - L'avvolgimento mira a far subire ad entrambi i conduttori le stesse interferenze elettromagnetiche.



# Fibra Ottica

- Nell'ipotesi che le dimensioni della fibra ottica siano confrontabili con la lunghezza d'onda del segnale si possono applicare le leggi dell'ottica geometrica
- Dalla *Legge di Snell* si ottiene l'angolo critico, per cui si ha riflessione totale:

$$\alpha_c = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$





# Fibra Ottica

## □ Fibre multimodali

- prestazioni inferiori
- costo più alto
- interfacce relativamente poco costose (200÷400k€ la coppia, in diminuzione)

## □ Fibre monomodali

- prestazioni più elevate
- costo della fibra più basso
- interfacce più costose (2000÷3000k€ la coppia)
- maggiori difficoltà di connettorizzazione

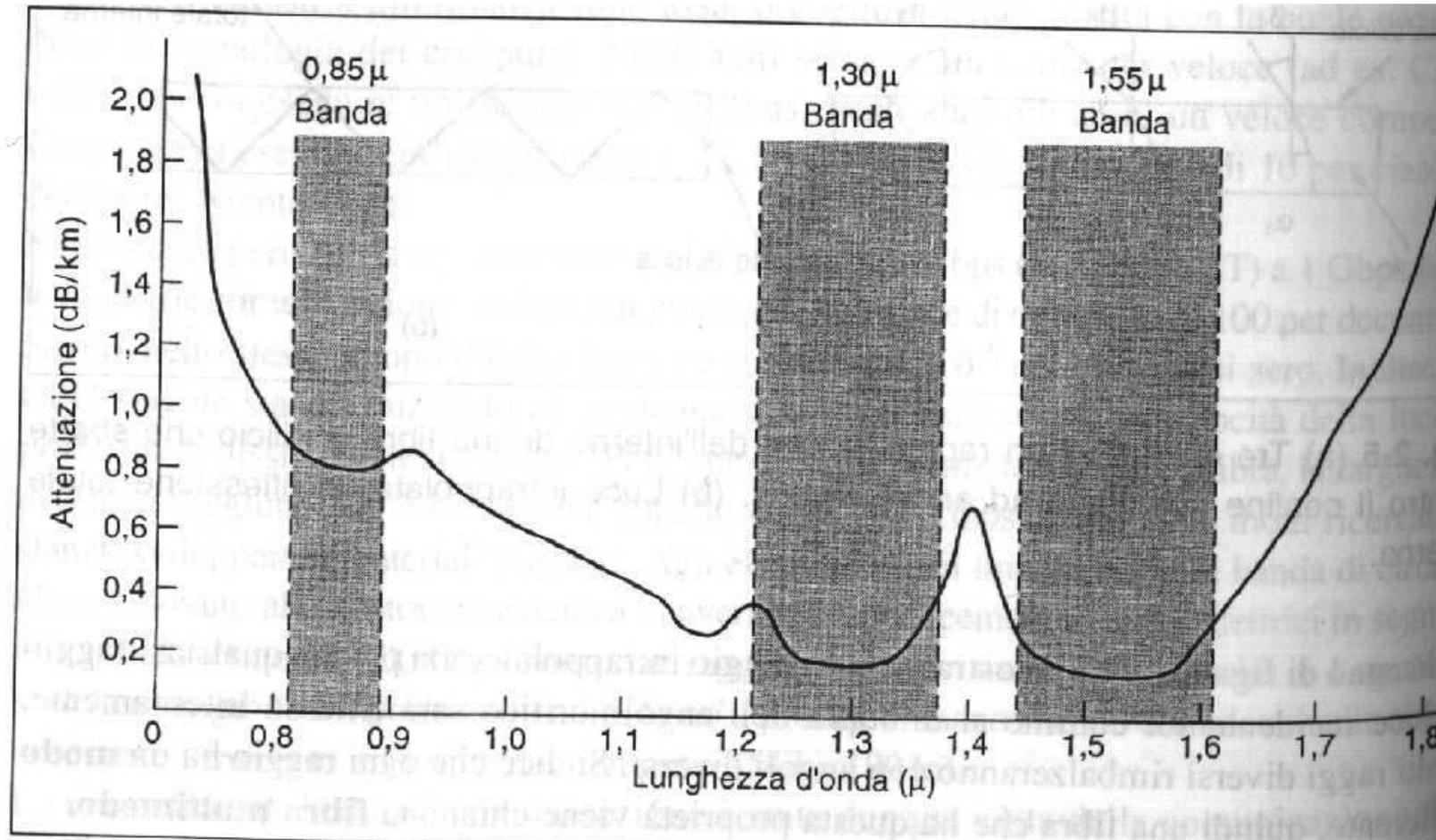


# Fibra Ottica

- ❑ Insensibilità al rumore elettromagnetico
- ❑ Mancanza di emissioni
- ❑ Bassa attenuazione
- ❑ Banda passante teoricamente illimitata
- ❑ Costo della fibra relativamente basso
- ❑ Alto costo per interfacce e connettorizzazioni
- ❑ Campi di impiego:
  - altissima velocità
  - ambienti con problemi di compatibilità elettromagnetica
  - protezione dalla propagazione delle sovratensioni
  - lunghe distanze di interconnessione



# Grafico dell'attenuazione

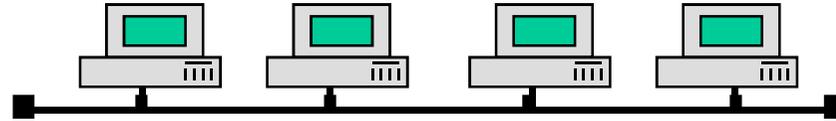




# Tecniche di accesso multiplo



## Mezzo di comunicazione

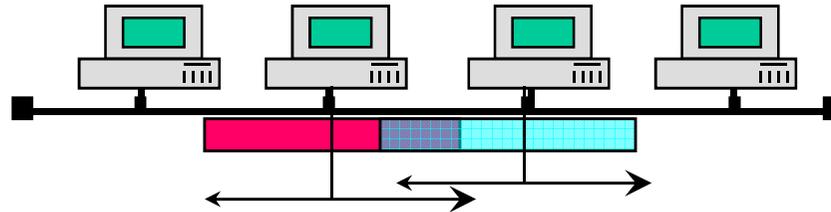


- ❑ Il mezzo è multi-accesso (accesso multiplo) quando comprende due o più punti distinti che sono sorgenti e/o ricevitori di informazione (stazioni)
- ❑ In questo caso il segnale ricevuto in una stazione dipende dal segnale trasmesso da due o più tra le altre stazioni ed è la somma delle versioni attenuate di questi segnali, corrotti da disturbi e da ritardi

# Protocolli di accesso

## □ Problema:

Se due o più trasmissioni avvengono contemporaneamente si verifica una 'collisione' che non permette di ricevere correttamente il segnale.

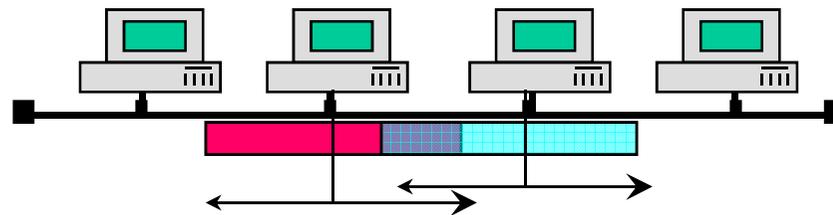


- I protocolli di accesso multiplo permettono a varie stazioni di accedere alla rete fisica sottostante che è di tipo broadcast. Tali protocolli hanno il compito di regolare la trasmissione delle stazioni in modo tale che non si sovrappongano sul mezzo condiviso.
  - se le collisioni avvengono devono essere individuate in modo da poter ritrasmettere le trame coinvolte nella collisione.



## Protocolli di accesso

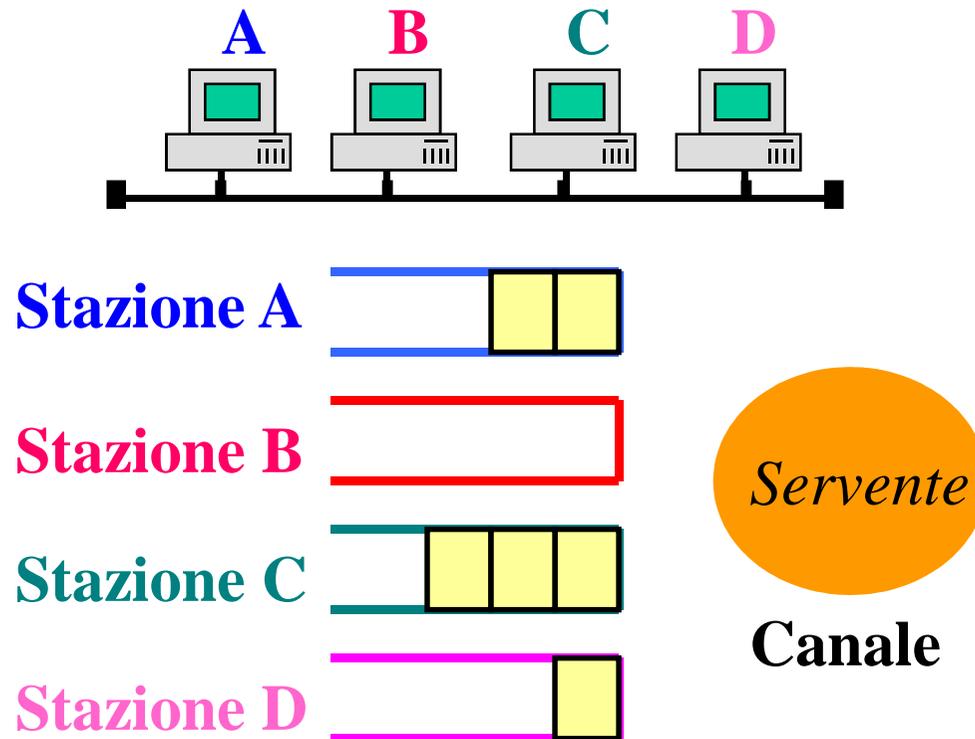
Questa funzione e' svolta dal sottolivello MAC (MediumAccess Control) del livello di Link



**Data Link layer**



## Modello concettuale dell'accesso multiplo

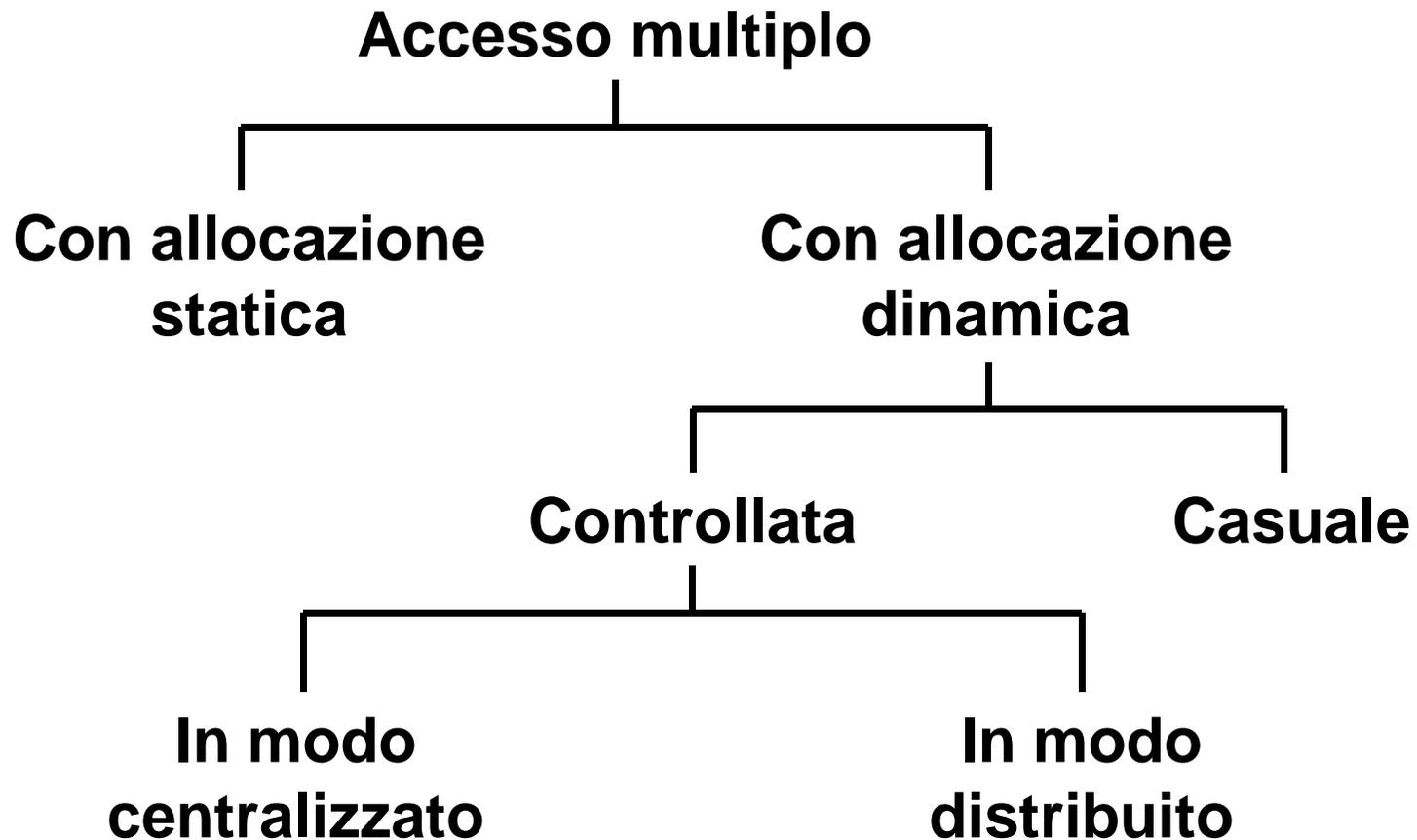


- Il servente non sa se e quanti pacchetti sono presenti in ogni coda
- Ciascuna stazione non conosce lo stato delle code delle altre stazioni



Culture

# Classificazione delle tecniche di accesso multiplo





Culture

# Accesso multiplo con allocazione statica

## Accesso multiplo

### Con allocazione statica

- *FDMA*
- *TDMA*
- *CDMA*

### Con allocazione dinamica

#### Controllata

#### Casuale

#### In modo centralizzato

#### In modo distribuito



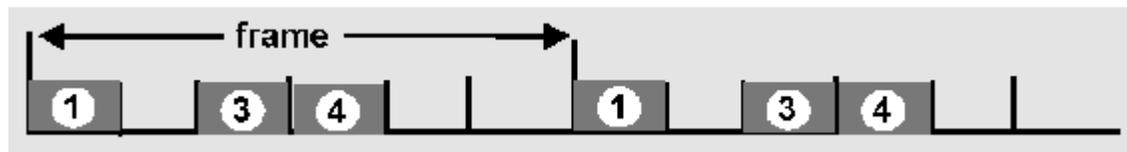
## Accesso multiplo con allocazione statica

- ❑ Noti anche come tecniche di Channel Partitioning
  - Si divide il canale in "pezzi" più piccoli (tempo, frequenza, codice)
  - Si assegna ogni "pezzo" ad uso esclusivo di una stazione
- ❑ Nessuna contesa di utilizzazione
- ❑ Ritardi controllabili

# TDMA

## TDMA: time division multiple access

- ❑ accesso al canale "a turno"
- ❑ ad ogni stazione viene assegnato uno slot di lunghezza fissa (lunghezza = tempo trasmissione del pacchetto) ad ogni turno
- ❑ gli slot non utilizzati restano "idle"
- ❑ esempio: LAN con 6 stazioni, gli slot 1,3,4 trasportano pacchetti, gli slot 2,5,6 sono idle

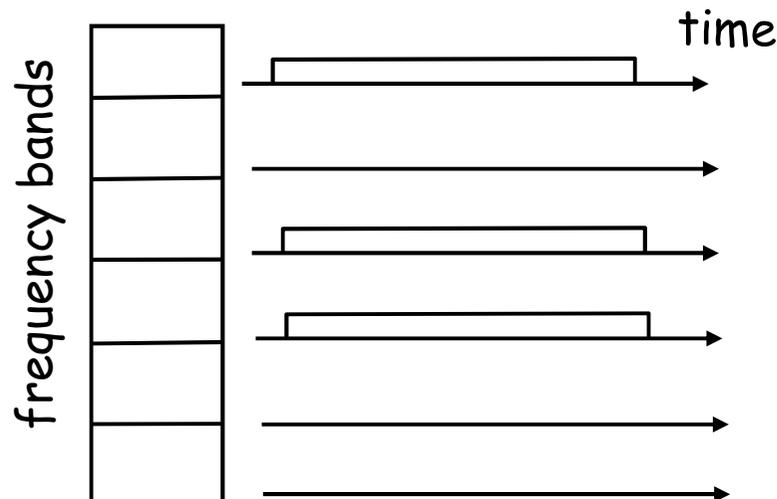


# FDMA



## FDMA: frequency division multiple access

- spettro del canale diviso in bande di frequenza
- ad ogni stazione è assegnata una banda di frequenza fissa
- i tempi di trasmissione non utilizzati nelle bande di frequenza restano "idle"
- esempio: LAN con 6 stazioni, le bande 1,3,4 trasportano pacchetti, le bande di frequenza 2,5,6 sono idle



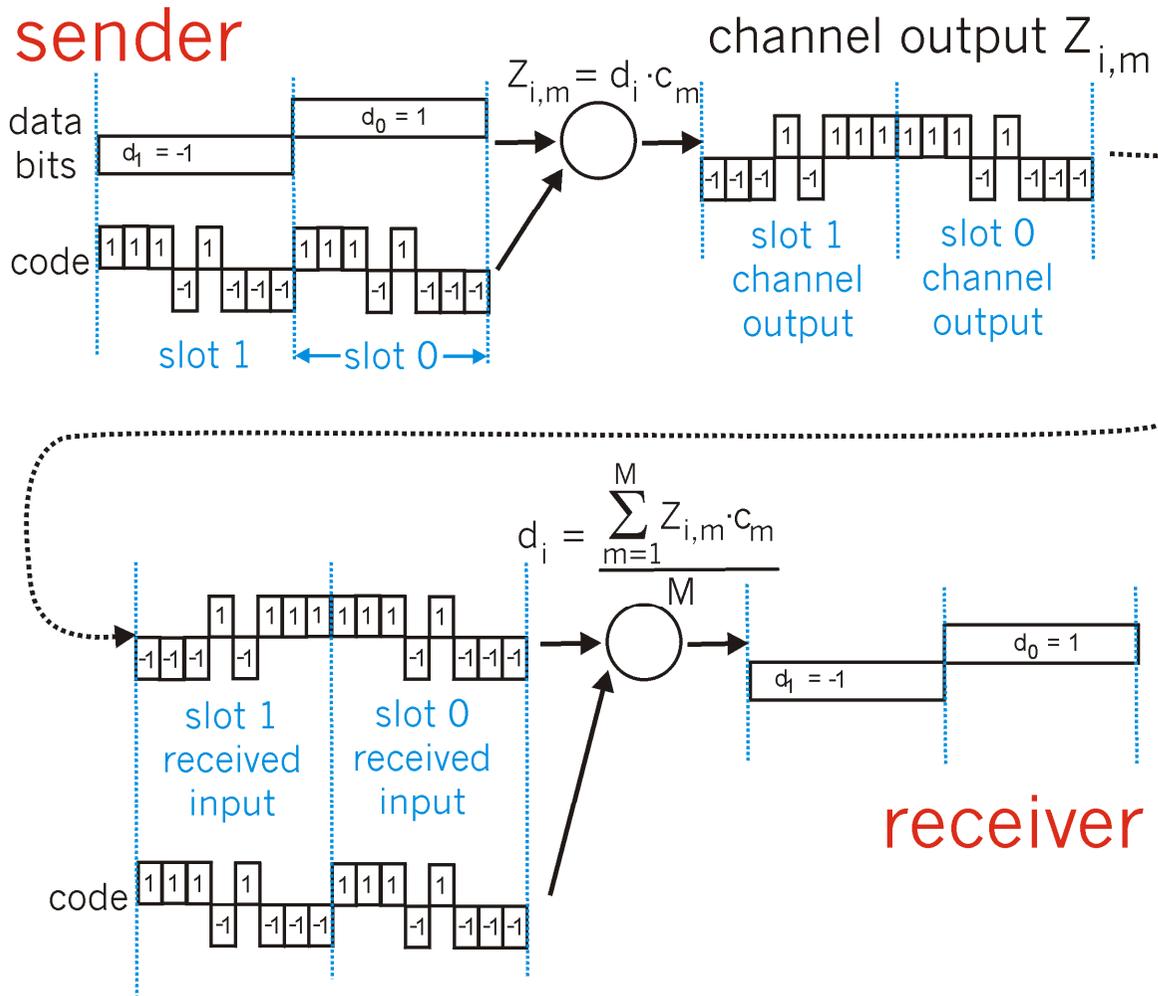
# CDMA

## CDMA (Code Division Multiple Access)

- ❑ unico "codice" assegnato a ogni utente
- ❑ usato soprattutto in canali wireless broadcast (cellulare, satellite, ecc.)
- ❑ tutti gli utenti condividono la stessa frequenza, ma ognuno usa la propria sequenza di "chip" (cioè il codice) per codificare i dati
- ❑ *segnale codificato* = (dati originali) X (sequenza di chip)
- ❑ *decodifica*: prodotto del segnale codificato per la sequenza di chip
- ❑ permette a più utenti di "coesistere" e trasmettere simultaneamente con interferenza minima (se i codici sono "ortogonali")

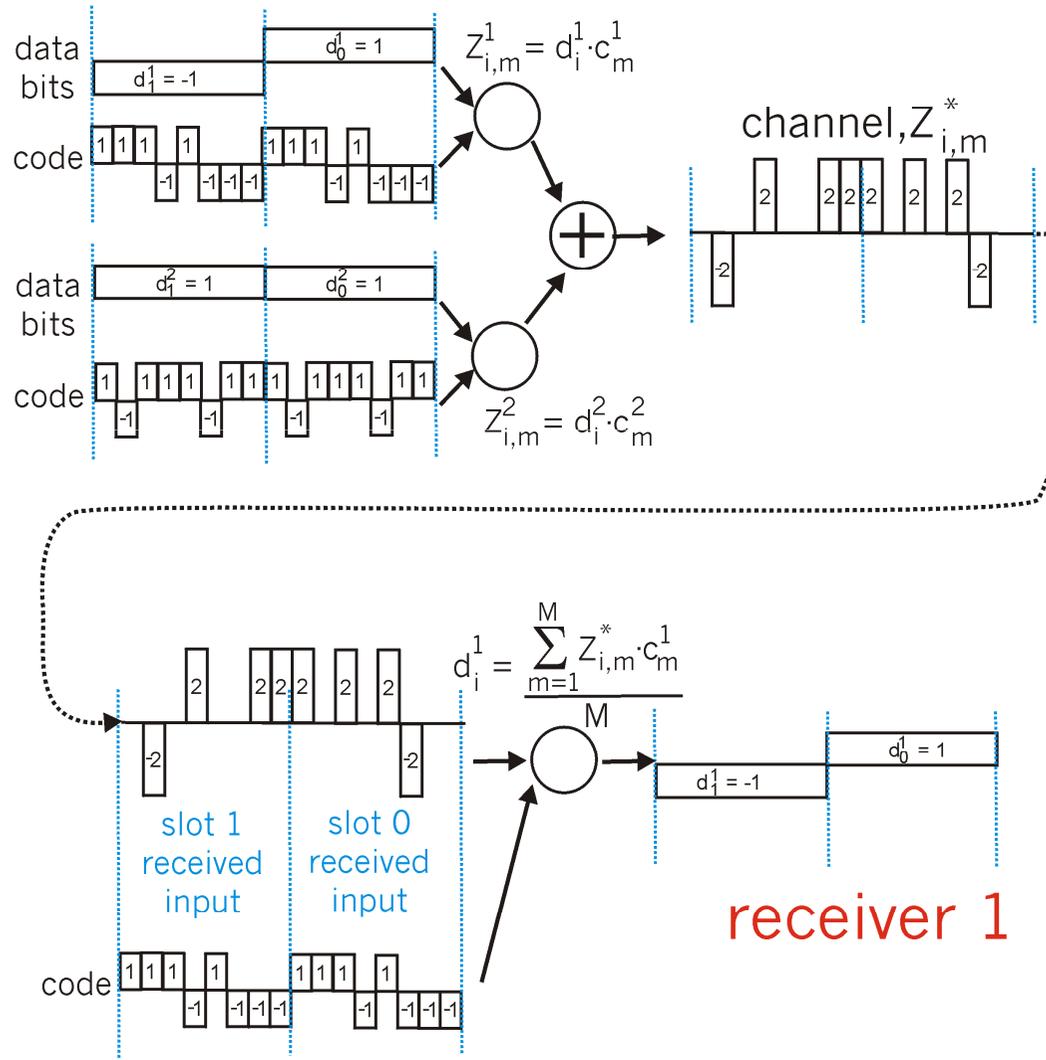


# CDMA Codifica/Decodifica



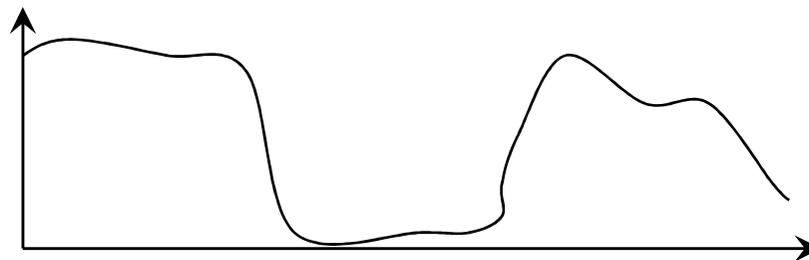


# CDMA: interferenza di 2 utenti



## Limiti dell'allocazione statica

- **L'accesso multiplo nelle reti locali non viene normalmente risolto con tecniche di allocazione statica a causa della natura del traffico su tali reti.**
- **Il traffico sulle LAN è molto variabile e ogni stazione è caratterizzata da periodi di attività nei quali genera pacchetti ad un ritmo sostenuto e periodi di silenzio durante i quali non emette pacchetti.**
- **Il traffico nelle LAN e' tipicamente bursty**

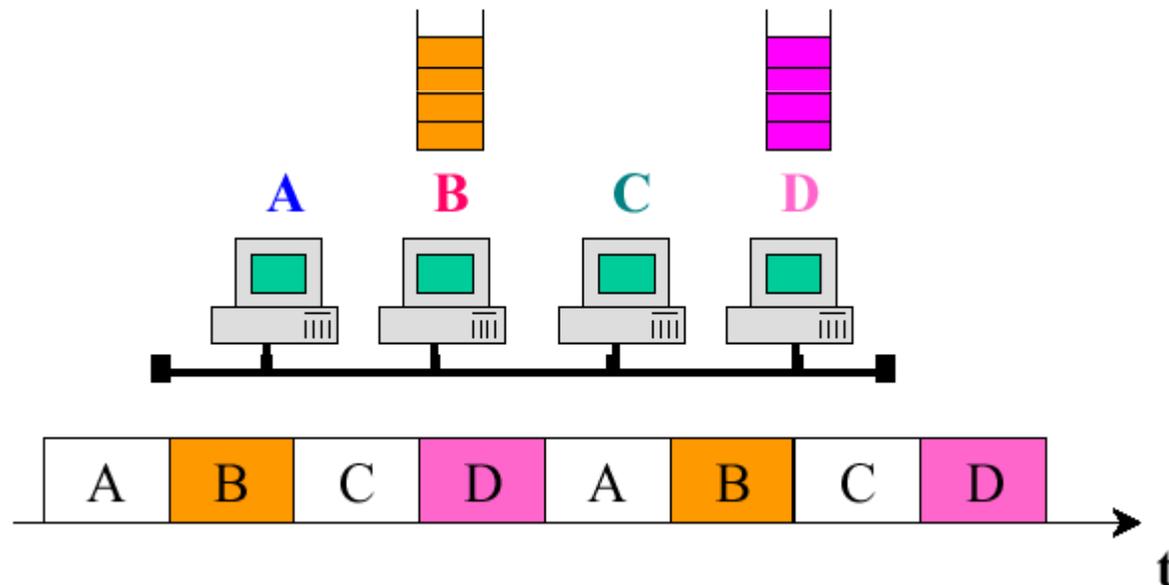




## Limiti dell'allocazione statica

- Le tecniche statiche suddividono in modo rigido le risorse tra le stazioni e quindi durante i periodi di silenzio le risorse (slot, frequenza, codice) assegnate a una stazione rimarrebbero inutilizzate, mentre altre stazioni potrebbero averne necessità per smaltire più velocemente i pacchetti in attesa di essere trasmessi

*Es. TDMA*

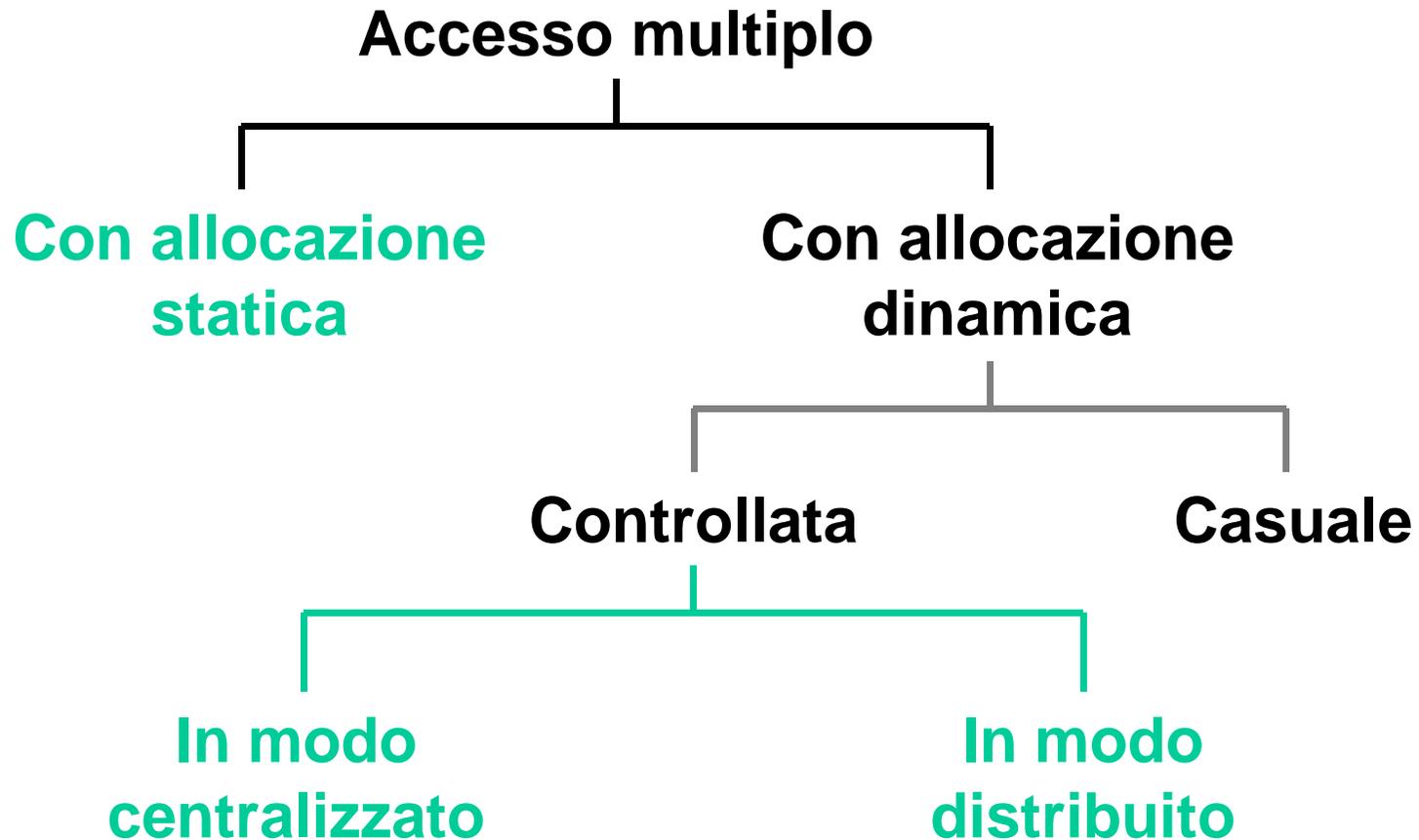


- Inefficiente: ritardi elevati, throughput basso!



Culture

# Accesso multiplo con allocazione dinamica





# Accesso multiplo con allocazione dinamica

Assegnazione a domanda

□ Contese di utilizzazione

- con collisione → accesso  
casuale →

- senza collisione → accesso  
controllato

□ Ritardi non sempre controllabili



## Accesso multiplo con allocazione dinamica

- ❑ L'assegnazione a domanda è regolata da un protocollo di accesso al mezzo (protocollo MAC: Medium Access Control)
- ❑ I protocolli MAC si distinguono in base alla modalità di risoluzione delle contese di utilizzazione:

protocolli MAC con collisione

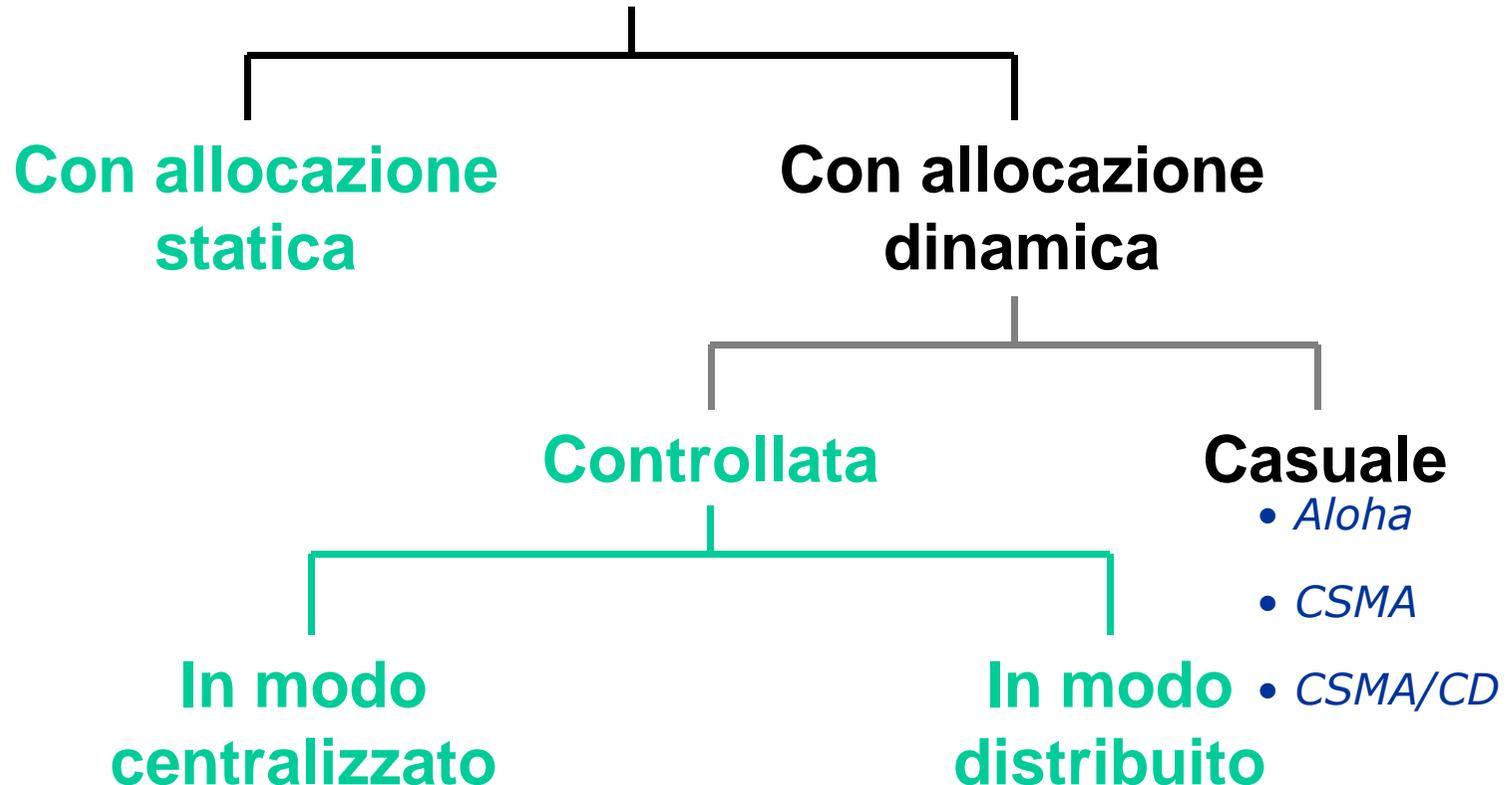
protocolli MAC senza collisione



Culture

# Accesso multiplo con allocazione dinamica casuale

## Accesso multiplo





## Accesso multiplo con allocazione dinamica casuale

- ❑ Quando una stazione ha un pacchetto da inviare lo trasmette alla max velocità (bit/s) permessa dal canale
- ❑ Se il mezzo è libero la emissione ha successo, altrimenti occorre riprovare successivamente
- ❑ No coordinazione *a priori* tra i nodi, quindi se due o più nodi trasmettono -> "collisione"
  - assunzione: in caso di collisione i pacchetti vanno tutti distrutti (vero nel caso di reti cablate; può non essere vero per reti wireless =>effetto cattura).
- ❑ Se il traffico generato dalle stazioni aumenta, cresce anche il numero delle collisioni: ciò può limitare fortemente il traffico globale smaltito dal sistema



# Accesso multiplo con allocazione dinamica casuale

- ❑ **Un protocollo MAC di accesso random** specifica:
  - come accorgersi delle collisioni
  - come recuperare in caso di collisione (es., ritrasmissioni ritardate in modo casuale)
- ❑ L'informazione minima per il protocollo è quella del riscontro (ACK) dell'avvenuta corretta ricezione
  - può essere fornito da osservazione diretta (es. canale broadcast o con eco) o indiretta (è il ricevente che segnala la corretta ricezione).
- ❑ Altre informazioni sono fornite dal *feedback di canale*, che una stazione può ottenere da un'osservazione del canale.
- ❑ Esempi di protocolli MAC ad accesso random:
  - ALOHA e slotted ALOHA
  - CSMA e CSMA/CD



Culture

## Accesso multiplo con allocazione dinamica casuale

- L'esempio più noto di tecnica a contesa è il protocollo **ALOHA**, nato per comunicazioni via satellite
- Ogni utente accede al sistema non appena ha dati da trasmettere; quindi si pone in ascolto per ricevere un **ACK/NACK**
  - ACK/NACK generato dalla stazione ricevente (protocollo "senza feedback di canale")
- In caso di collisione, l'utente aspetta un tempo casuale prima di ritrasmettere il pacchetto
- Le prestazioni di una tecnica a contesa sono valutate tramite:
  - **throughput** (S), cioè il numero medio di pacchetti trasmessi con successo per unità di tempo
  - ritardo medio (D) per pacchetto



## Protocolli MAC: finora...

### Protocolli ad allocazione statica

- condivisione efficiente del canale a carico alto
- inefficienti a basso carico: ritardo nel canale di accesso;  $1/N$  banda allocata anche se c'è 1 solo nodo attivo!

### Protocolli ad accesso random

- efficienti a basso carico: un solo nodo può sfruttare tutto il canale
- alto carico: overhead per collisioni

### Altro approccio:

- Protocolli con allocazione dinamica **controllata** (protocolli "taking turns")



Culture

# Accesso multiplo con allocazione dinamica controllata

## Accesso multiplo





Culture

# Accesso multiplo con allocazione dinamica controllata

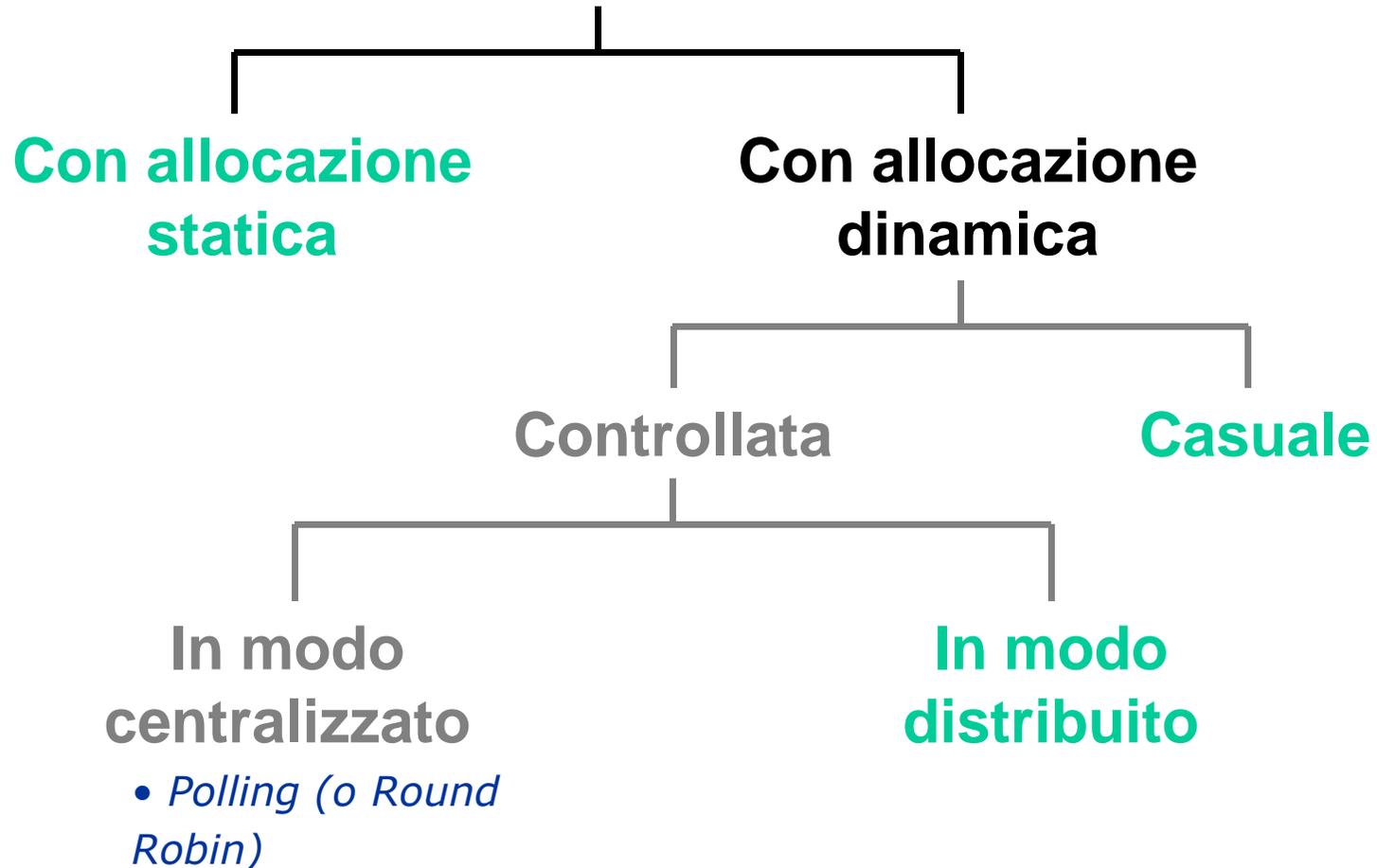
- Si distinguono i casi di:
  - controllo centralizzato
  - controllo distribuito



Culture

# Accesso multiplo con allocazione dinamica controllata

## Accesso multiplo





## Accesso multiplo con allocazione dinamica controllata

### Controllo centralizzato:

- ❑ Una delle stazioni (primaria) provvede ad abilitare ognuna delle altre (secondarie) ad emettere
- ❑ Polling o Round-robin



## Esempio: Polling

- ❑ Ciascuna stazione a turno ha l'opportunità di trasmettere
- ❑ Quando viene il suo turno la stazione:

*se non ha trame in coda:*

declina l'opportunità di trasmettere

*se ha trame in coda:*

trasmette le trame fino ad un numero massimo

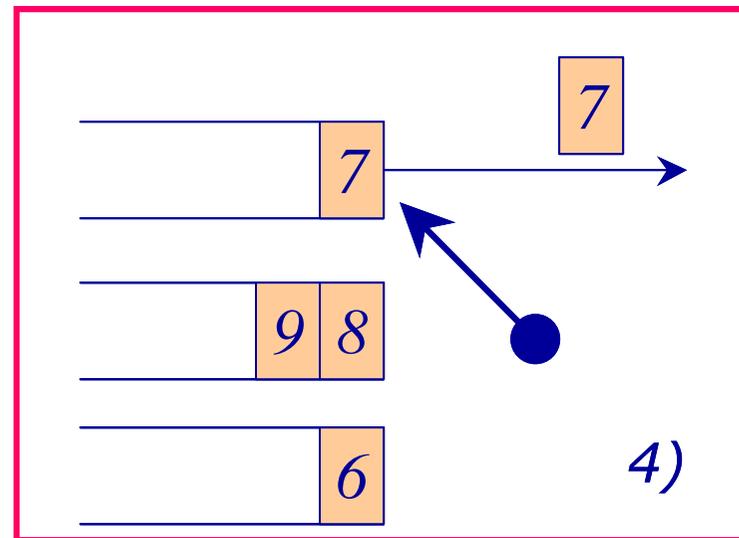
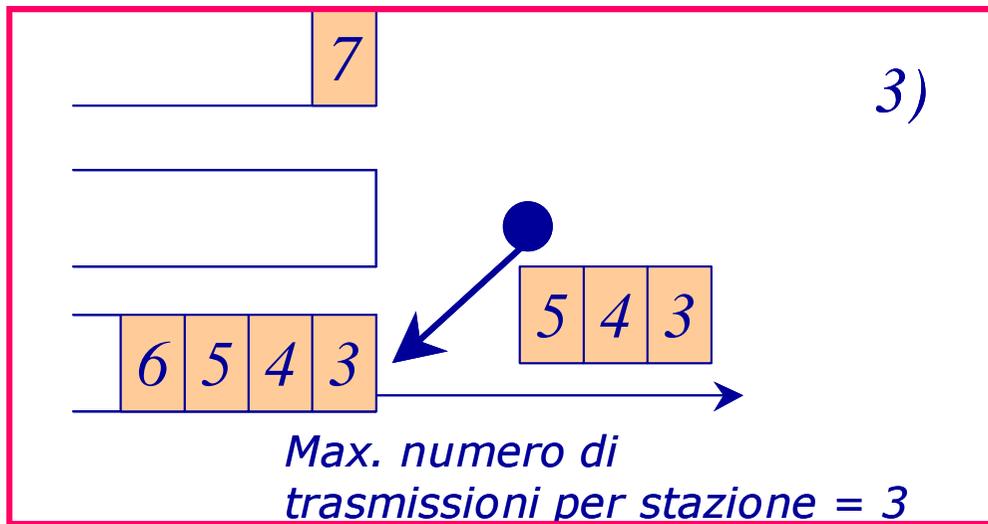
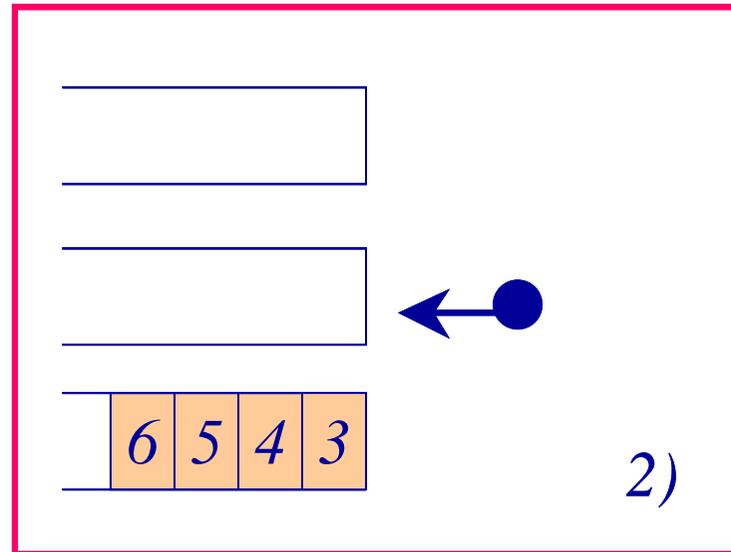
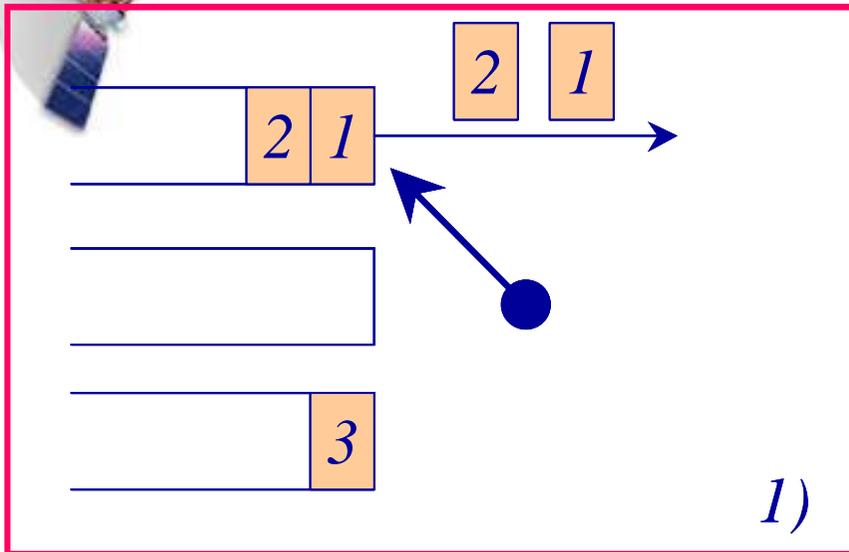
Il diritto a trasmettere passa quindi alla stazione successiva



## Polling: tempo di servizio

- Il tempo di servizio, ossia il tempo per cui una stazione può trasmettere una volta ottenuto il permesso può essere:
  - Illimitato => *servizio esaustivo*
  - Limitato => *servizio limitato* e *k-limitato* se si consente la trasmissione di  $k$  pacchetti consecutivi prima di rilasciare il controllo.

# Esempio: Polling





## Polling: considerazioni

- I messaggi di polling ricevuti dalle stazioni in successione ciclica, e i successivi messaggi di rilascio del canale inviati alla fine della trasmissione da ogni stazione usano le risorse trasmissive del sistema e quindi riducono la banda disponibile per i messaggi di informazione d'utente
  - se il canale è sequenziale, ossia prevede già un ordinamento fisico fra le stazioni, come nel caso della topologia ad anello, il passaggio del controllo può non essere esplicitamente indirizzato. Basta, infatti, un solo simbolo logico (*token*) che venga fermato dalla stazione che ne ha bisogno e poi rilasciato verso la successiva=> protocolli a **controllo distribuito**.
  - Anche in questo caso esiste un overhead dovuto all'invio del token



## Polling: considerazioni

- **Pro:** consente un perfetto coordinamento tra le stazioni senza possibilità di sovrapposizione nelle trasmissioni
- **Contro:** bassa efficienza nel caso di reti con molte stazioni che generano poco traffico in modo fortemente intermittente
  - ad ogni istante il numero di stazioni che ha qualcosa da trasmettere è solo una piccola frazione del totale. Il messaggio di polling viene inviato a un gran numero di stazioni che non ne hanno bisogno e quindi la risorsa trasmissiva viene sprecata => **efficienza molto bassa e tempi di attesa delle poche stazioni che devono trasmettere molto elevati !**



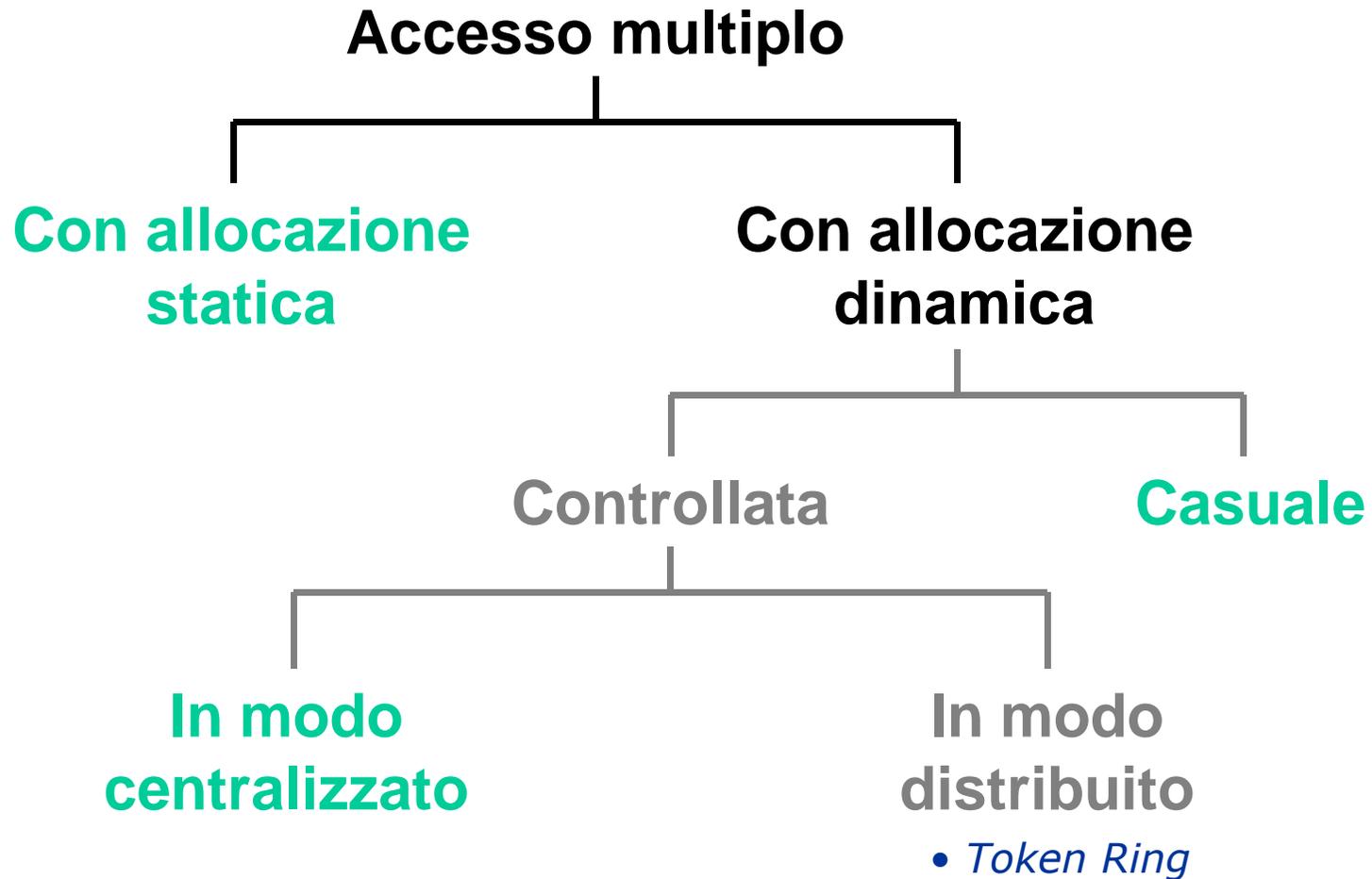
# Controllo centralizzato sulle LAN?

- ❑ Protocolli a controllo centralizzato: un controllore riceve le richieste di trasmissione e dà i permessi alle stazioni in funzione delle esigenze ed evitando sovrapposizioni
- ❑ Problema: necessità di definire le modalità con le quali le stazioni e il controllore si scambiano le informazioni di servizio (coda piena o coda vuota, permessi di trasmissione, ecc.)
  - tale informazione di servizio dovrà necessariamente utilizzare il mezzo condiviso stesso per la trasmissione.
- ❑ Non è usato nelle LAN a causa della complessità di gestione dovuta al controllore centralizzato e alla scarsa affidabilità in caso di guasti
  - è comunemente adottato nei nuovi sistemi di trasmissione dati a pacchetto per sistemi radiomobili (es. GPRS, General Packet Radio Service, il servizio dati a pacchetto del GSM)



Culture

# Accesso multiplo con allocazione dinamica controllata



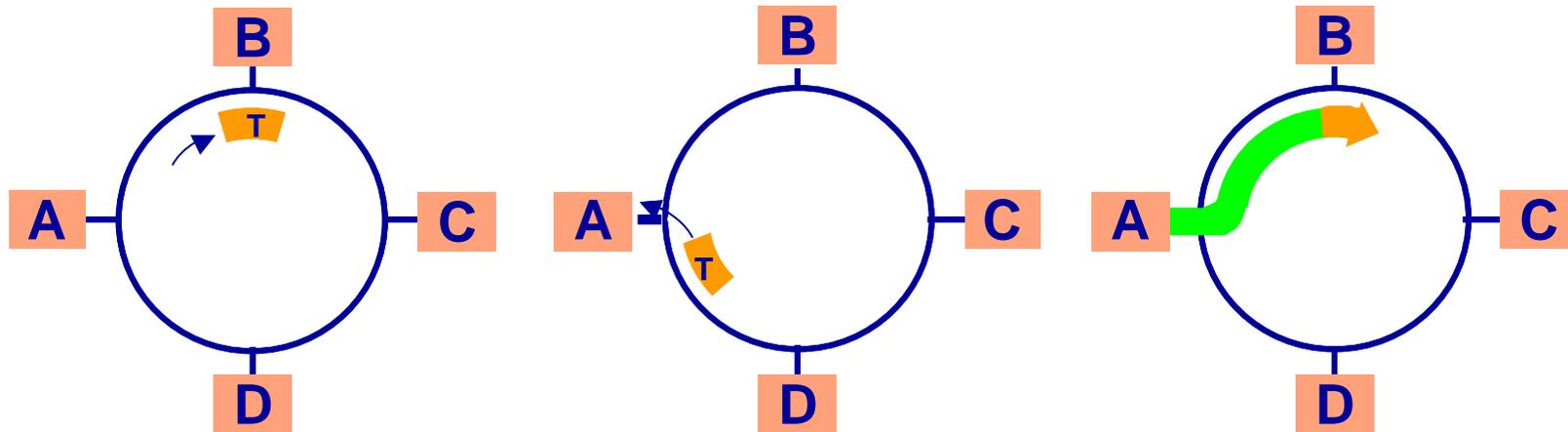


# Accesso multiplo con allocazione dinamica controllata

## Controllo distribuito

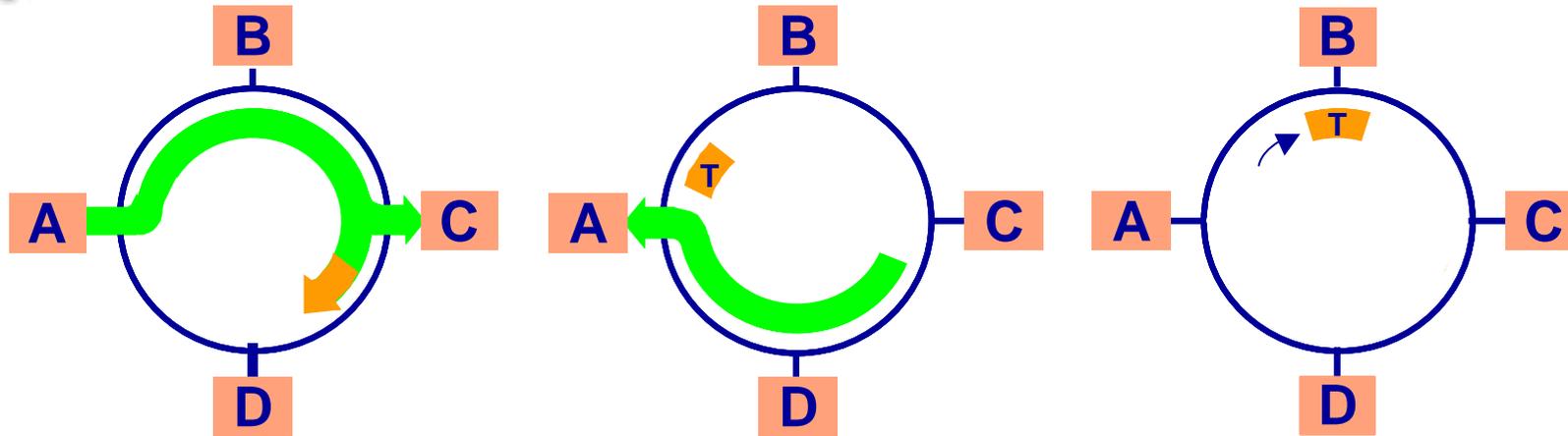
- ❑ Il controllo passa ordinatamente da stazione a stazione
- ❑ Le stazioni non attive non assorbono risorse
- ❑ Si consegue un'efficiente ripartizione della capacità di trasferimento del mezzo di comunicazione fra le sole stazioni attive

# Protocolli ad accesso controllato: Token Ring



- ❑ All'interno dell'anello ruota un Token
- ❑ Il nodo mittente attende la ricezione del Token
- ❑ Modifica il Token *on the fly* e gli accoda la trama informativa

# Protocolli ad accesso controllato: Token Ring



- ❑ Ogni nodo riceve la trama dall'interfaccia di ingresso e la rilancia su quella di uscita; il nodo destinatario riconosce l'indirizzo e *legge* la trama, ovvero la inoltra agli strati superiori.
- ❑ Quando la trama giunge di nuovo al nodo mittente, questi la rimuove dall'anello ed emette un nuovo Token che può essere catturato dai nodi a valle.



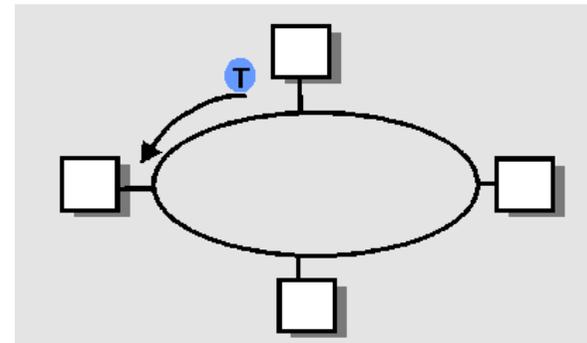
# Protocolli "Taking Turns": confronto

## Polling:

- ❑ il nodo master "invita" i nodi slave a trasmettere a turno
- ❑ messaggi Request to Send, Clear to Send
- ❑ criticità:
  - polling overhead
  - latenza
  - singolo punto di fallimento (master)

## Token passing:

- ❑ token passato da un nodo all'altro in modo sequenziale
- ❑ token message
- ❑ criticità:
  - token overhead
  - latenza
  - singolo punto di fallimento (token)





## Controllo distribuito: considerazioni

- ❑ Protocolli a controllo distribuito: intrinsecamente più robusti a guasti o malfunzionamenti rispetto a quelli a controllo centralizzato, ma rinunciano alla conoscenza completa dello stato del sistema (stato delle code, tempi di attesa, ecc.) e quindi accettano gestioni che possono non essere le migliori.
- ❑ La segnalazione necessaria al coordinamento può essere più schematica che nel caso centralizzato e l'efficienza del protocollo (massimo grado di utilizzo delle risorse) più alta.



# Accesso multiplo con allocazione dinamica casuale

## ***Il protocollo ALOHA***

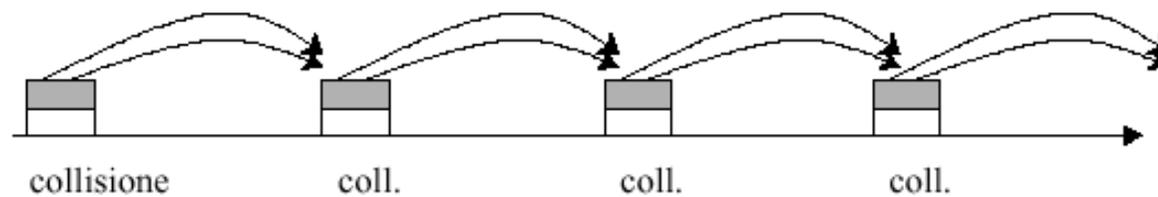
# ALOHA

- ❑ E' il protocollo più semplice e fa a meno di ogni forma di coordinamento fra le stazioni
- ❑ Informazioni di servizio necessarie: solo il riscontro dell'avvenuta corretta trasmissione, solitamente ottenuta dalla stazione ricevente (protocollo "senza feedback di canale")
- ❑ Regole del protocollo:
  - i pacchetti nuovi vengono trasmessi appena generati
  - i pacchetti collisi vengono ritrasmessi dopo un tempo  $X$ , variabile casuale di opportune caratteristiche (leggi deterministiche di ritrasmissione (subito, dopo un tempo fisso, ecc.), portano inevitabilmente al ripetersi della situazione di collisione

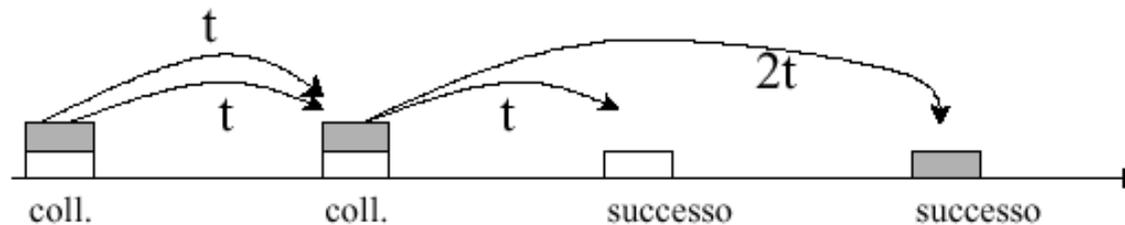


# ALOHA: ritrasmissioni

ritrasmissione dopo un tempo fisso  $t$ :



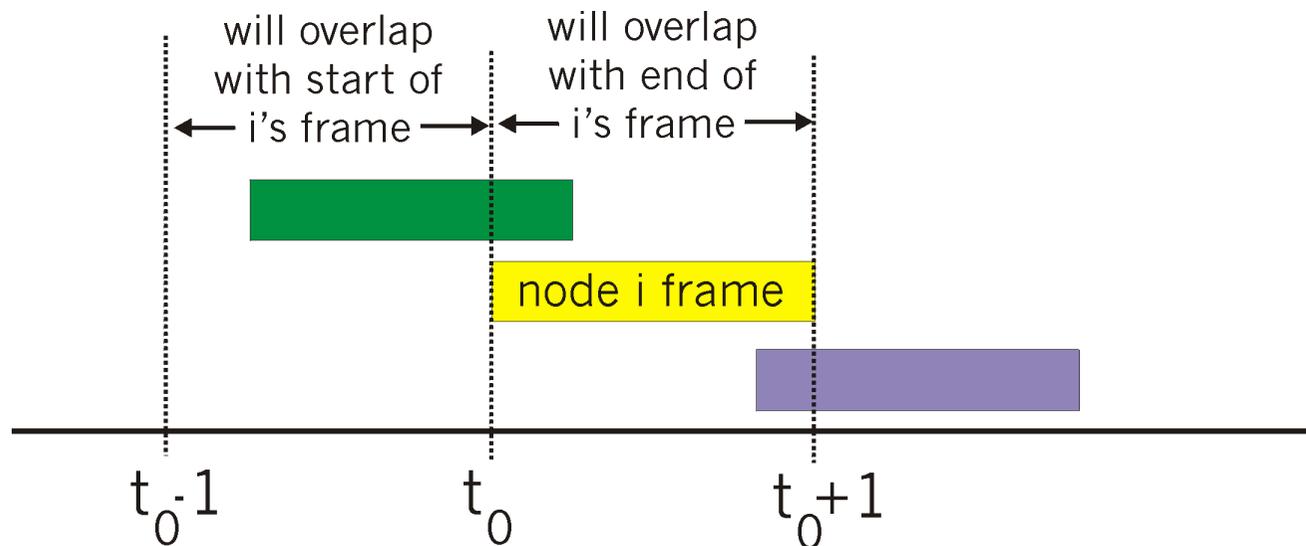
ritrasmissione dopo un tempo casuale  $T [t, 2t]$ :





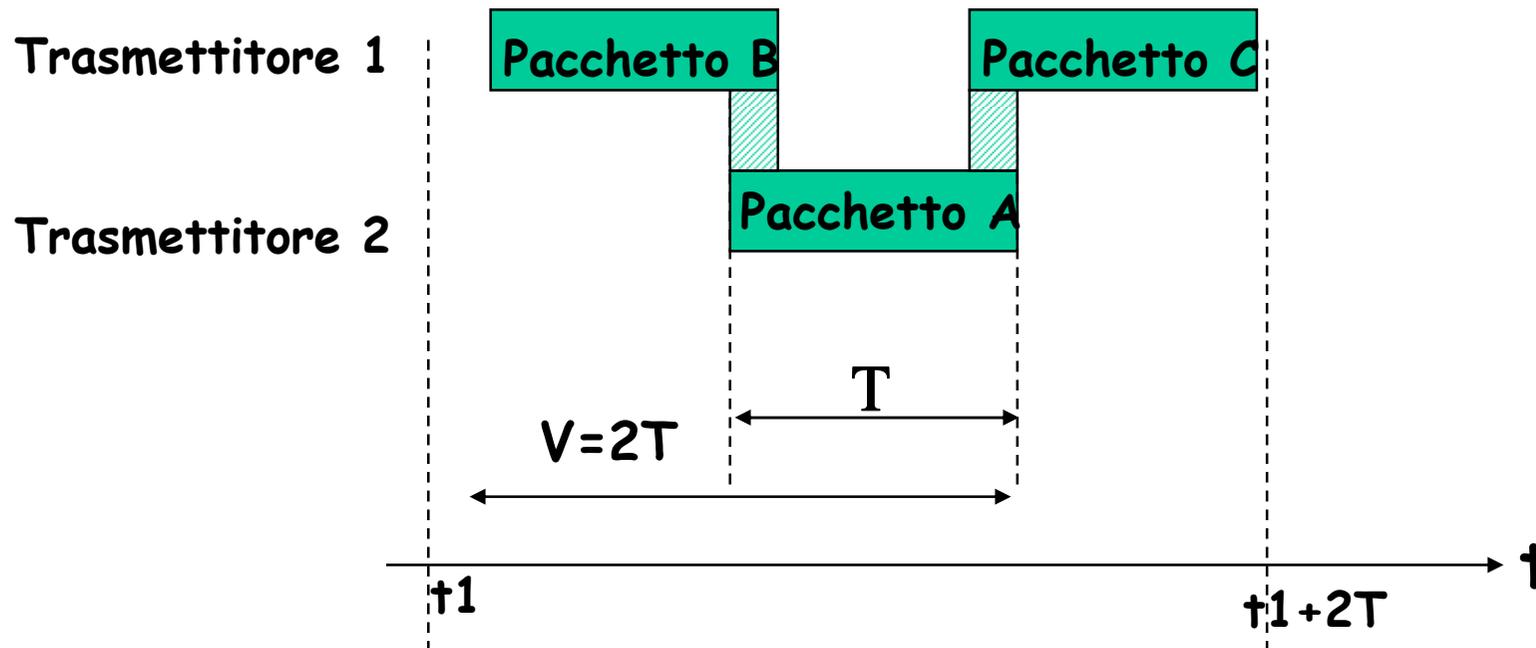
# ALOHA

- ❑ no sincronizzazione
- ❑ se un pacchetto deve essere trasmesso:
  - inviato senza aspettare l'inizio dello slot
- ❑ probabilità di collisione:
  - il pkt inviato a  $t_0$  collide con altri pkts inviati in  $[t_0-1, t_0+1]$
  - tempo di trasmissione del pkt = 1



# Aloha: prestazioni

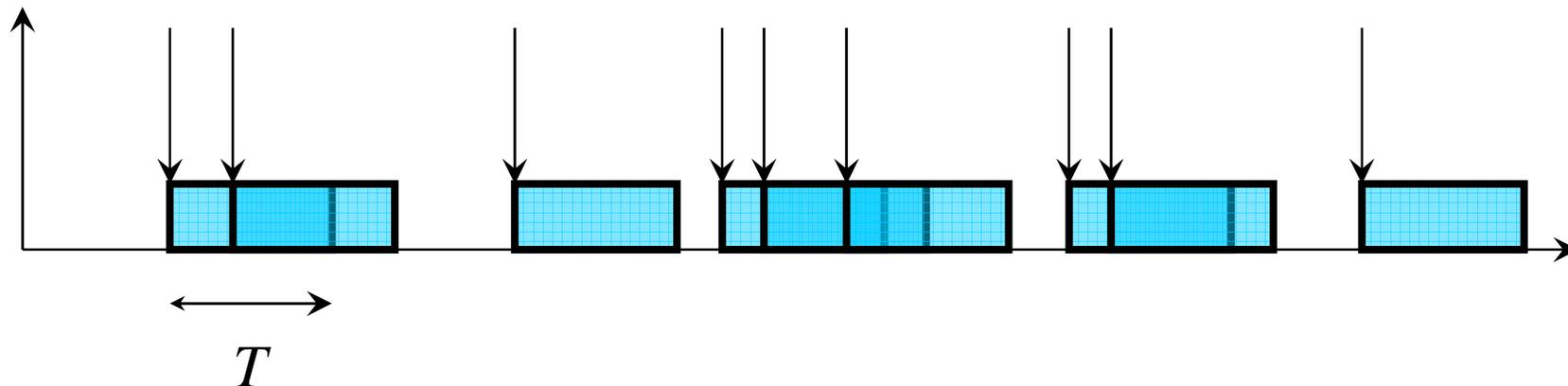
- Si definisce periodo di vulnerabilità  $V$  l'intervallo di tempo durante il quale i pacchetti possono subire collisioni con i pacchetti di altri utenti
- Il periodo  $V$  è pari a  $2T$ , dove  $T$  è la durata del pacchetto



# Aloha: prestazioni

## Assunzioni:

- i pacchetti hanno lunghezza costante (durata  $T$ )
- il data rate del canale è fissato
- gli utenti generano nuovi pacchetti a istanti casuali
- la trasmissione dei pacchetti ha una distribuzione di Poisson con tasso medio di arrivo di  $\lambda$  pkt/s





# Aloha: prestazioni

- La frequenza di trasmissioni nell'unità di tempo  $T$  pari al tempo di trasmissione dei pacchetti è indicata con  $G$  ed è pari a:

$$G = \lambda T$$

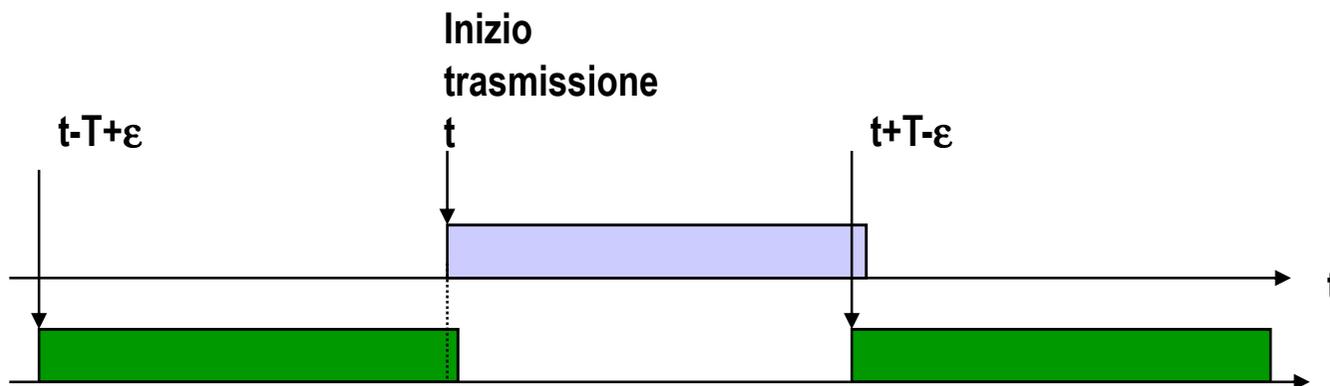
- $G$  è il traffico normalizzato sul canale (in Erlang) dovuto ai pacchetti arrivati e bufferizzati
- $G$  è una misura relativa dell'utilizzazione del canale; se  $G > 1$  i pacchetti generati superano il max rate di trasmissione del canale, quindi deve essere  $0 < G < 1$
- La probabilità che vengano generati  $n$  pacchetti dalla popolazione utente, durante il tempo di durata di un pacchetto  $T$  è distribuita secondo Poisson:

$$\Pr(n, T) = ((\lambda T)^n e^{-\lambda T}) / n! = (G^n e^{-G}) / n!$$



## ALOHA: prestazioni

- La probabilità che un pacchetto venga trasmesso senza essere disturbato da altri è pari alla probabilità che nessun altro pacchetto venga trasmesso  $T$  secondi prima e  $T$  secondi dopo l'inizio della trasmissione del pacchetto in oggetto
- in caso contrario le trasmissioni si sovrapporrebbero





## Aloha: prestazioni

- La probabilità di non avere collisioni per un tempo pari al periodo di vulnerabilità è:

$$\Pr(n, 2T) = \frac{((\lambda 2T)^n e^{-\lambda 2T})}{n!} = \frac{((2G)^n e^{-2G})}{n!}$$

$$\text{per } n=0 \quad \Pr(0) = P_s = e^{-2G}$$

**si ricordi che:**  $P[n(t, t + \tau) = k] = \frac{(\lambda \tau)^k}{k!} e^{-\lambda \tau}$



## Aloha: prestazioni

- Quindi, per l'assunzione sul processo di Poisson sul traffico, la probabilità che una trasmissione non venga interferita da altre (probabilità di successo  $P_s$ ) è data dalla probabilità che nell'intervallo di vulnerabilità  $2T$  non vi siano altre trasmissioni, cioè:

$$P_s = e^{-2G}$$



## ALOHA: prestazioni

- Il numero medio di pacchetti trasmessi con successo nell'intervallo di tempo  $T$  risulta allora essere:

$$S = Ge^{-2G}$$

- Tale valore definisce quello che viene indicato come *throughput* del sistema, espresso appunto in pacchetti trasmessi nell'unità di tempo  $T$  (varia quindi tra 0 e 1).



## Aloha: prestazioni

- Il throughput normalizzato  $S$  è quindi pari al prodotto del carico offerto totale per la probabilità di successo della trasmissione

$$S = G * \text{Pr}[\text{no collision}] = \lambda T * P_s = G e^{-2G}$$

- dove  $\text{Pr}[\text{no collision}]$  è la probabilità di successo della trasmissione  $P_s$
- $S$  può essere visto come la frazione di tempo (frazione di Erlang) in cui il canale è utilizzato



Culture

## Aloha

- Calcolo del max throughput
- Derivando ed eguagliano a zero l'espressione:
- si ottiene il valore di G che corrisponde al max S

$$S = Ge^{-2G}$$

$$dS/dG = e^{-2G} - 2Ge^{-2G} = 0$$

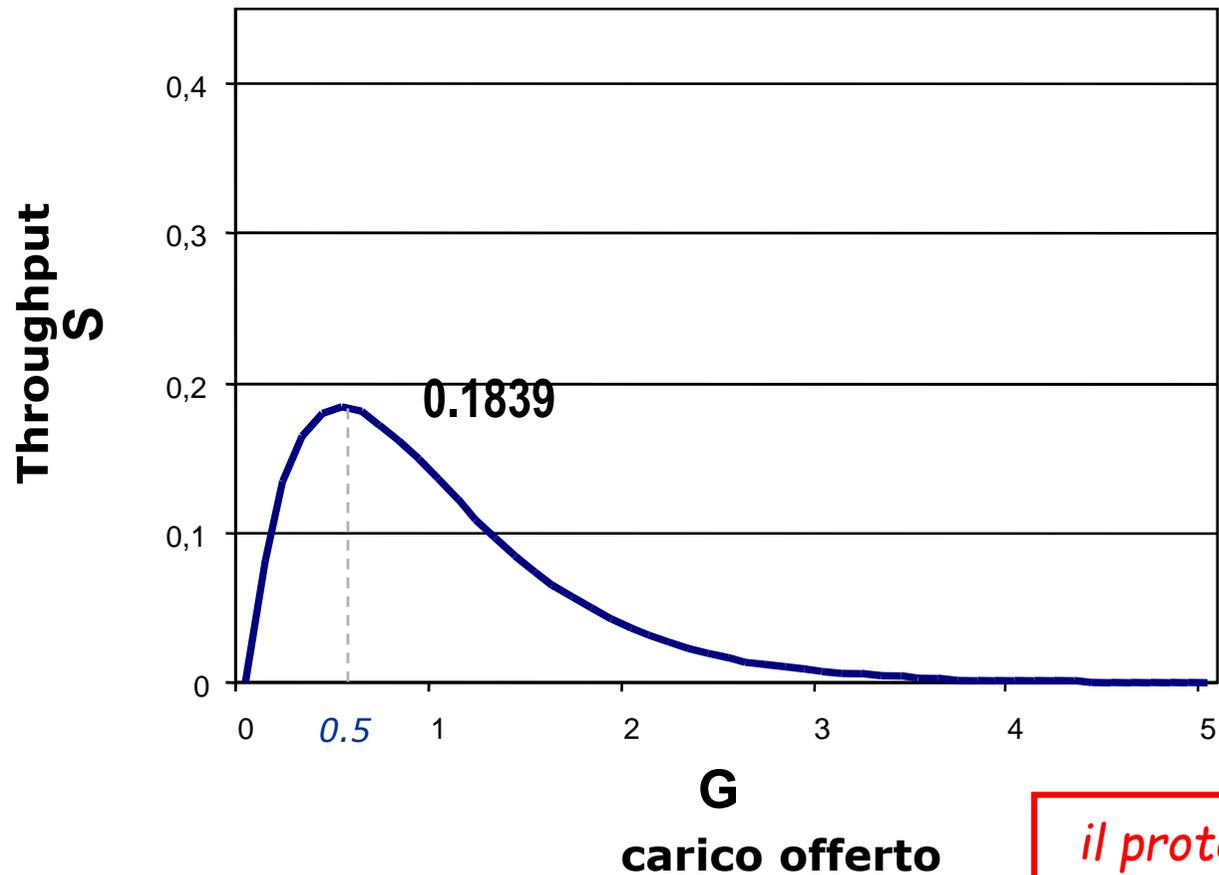
$$G_{\max} = 1/2$$

- Quindi  $S_{\max}$  è pari a:

$$S_{\max} = 1/2e = 0,1839 \text{ [Erlang]}$$



# ALOHA: prestazioni



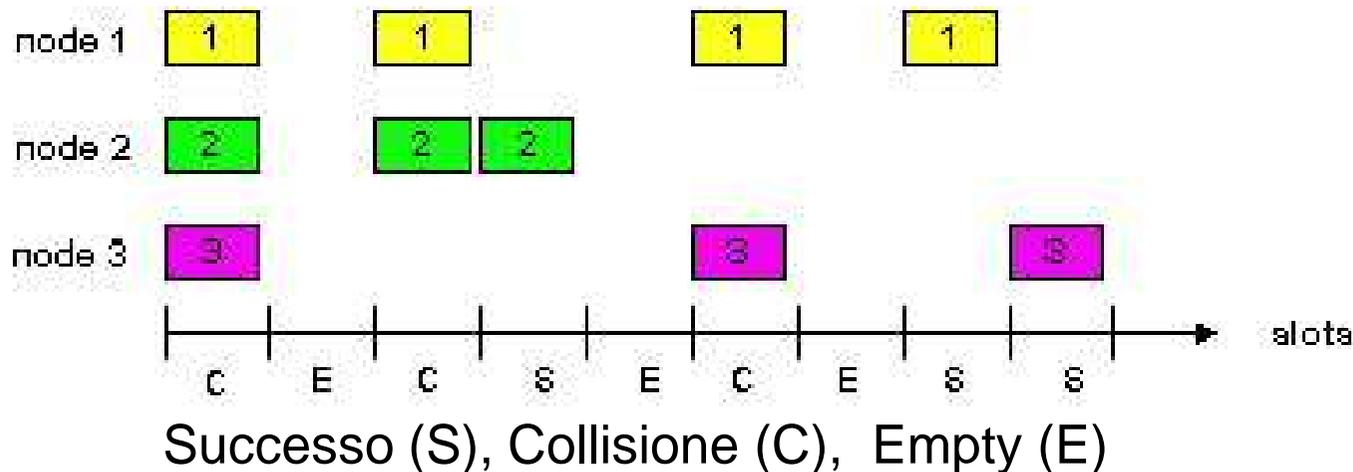
□ Sarà stabile?

*il protocollo* limita il throughput sul canale!

# Slotted Aloha

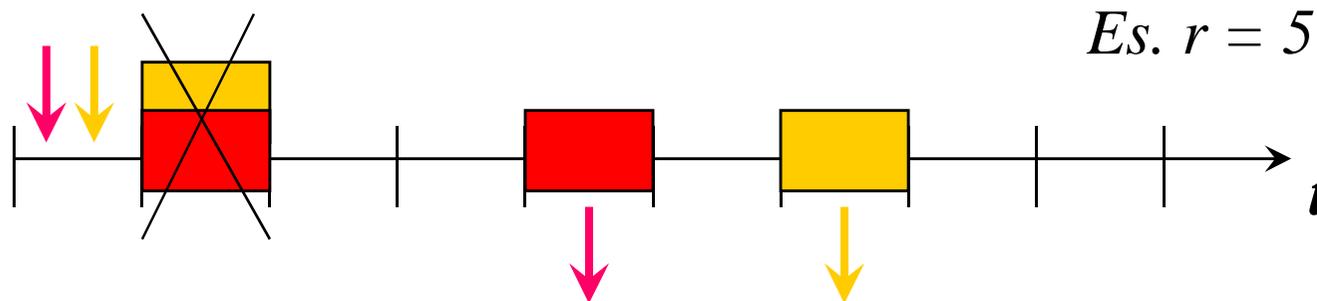


- L'**Aloha a slot** divide il tempo in time slot uguali di lunghezza pari alla durata  $T$  di un pacchetto
- un nodo che ha un nuovo pacchetto in arrivo: trasmette all'inizio dello slot successivo
- se c'è collisione: ritrasmette il pacchetto negli slot seguenti con probabilità  $p$ , finché ha successo



# Slotted Aloha

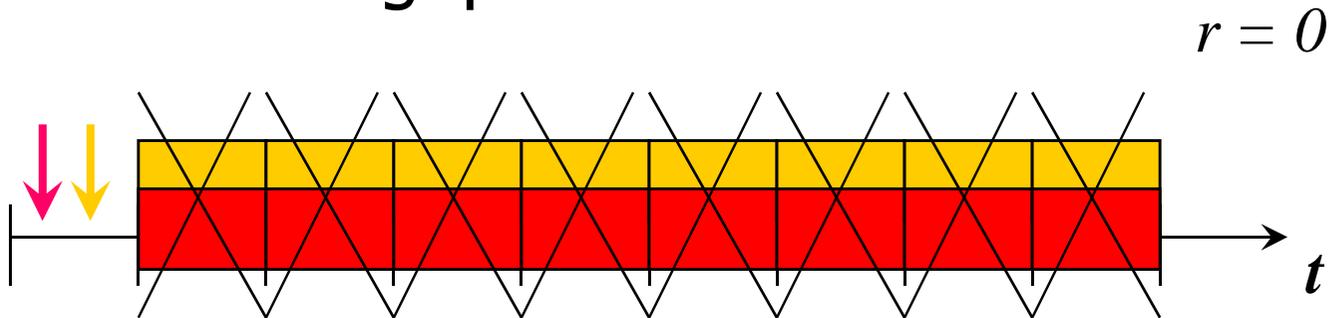
- ❑ Quando arriva un pacchetto la stazione prova a trasmetterlo nel primo slot disponibile
- ❑ Se si verifica una collisione la stazione prova a ritrasmetterlo dopo un numero di slot scelto uniformemente in un intervallo  $0 - r$





# Slotted Aloha: risoluzione delle collisioni

- $r = 0 \rightarrow$  la collisione si ripete all'infinito  
 $\rightarrow$  throughput = 0



- Se il traffico è elevato occorre un  $r$  elevato per evitare instabilità

*Vorremmo  $r$  piccolo in situazione di rete scarica,  $r$  grande in situazioni di congestione !!!*



Culture

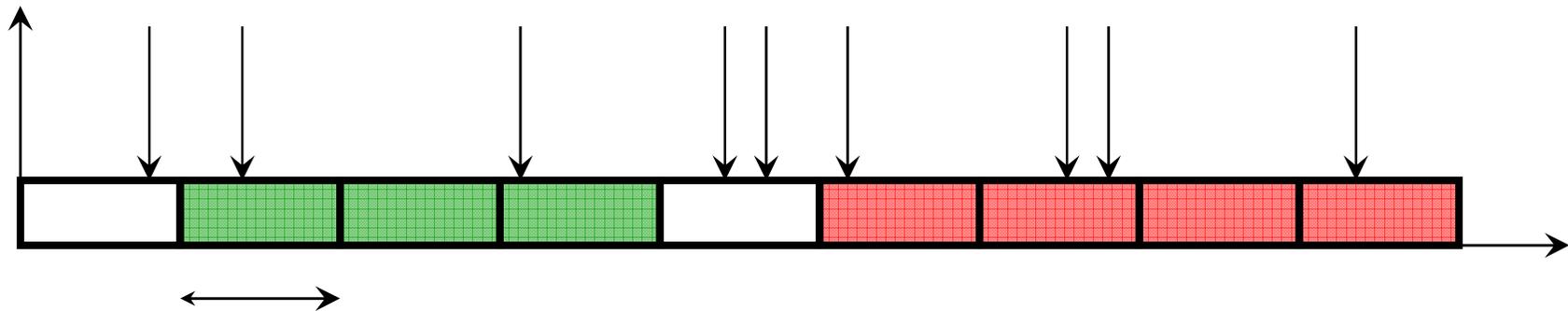
# Slotted Aloha: Backoff Esponenziale

- ❑ Come si sceglie  $r$ ?
- ❑ Riconosciuta la collisione la stazione opera quindi nel seguente modo:
  - sceglie un intero  $X$  a caso ed in modo uniforme nell'intervallo  $0, 2^{\text{Min}(k, \text{max})}$ 
    - $K$  numero di collisioni già subite dal pacchetto
    - $\text{max}$  settato per limitare la dimensione massima dell'intervallo di ritrasmissione
  - aspetta  $X$  slot prima di tentare la ritrasmissione

# Slotted-ALOHA: prestazioni



- si assume un parziale coordinamento fra le stazioni, consistente nel sincronismo dei possibili istanti di trasmissione, che distano  $T$  (slotting del tempo)
- le stazioni dunque hanno in comune un riferimento temporale e possono trasmettere solo iniziando al tempo  $0, T, 2T, \dots$
- il sincronismo evita il caso di sovrapposizioni parziali delle trasmissioni e quindi la collisione si ha solo se altri pacchetti partono nello stesso istante del pacchetto scelto





## Aloha a Slot: prestazioni

- Il periodo di vulnerabilità è pari alla durata di un pacchetto,  $T$
- La probabilità di non avere collisioni per un tempo pari al periodo di vulnerabilità (cioè la probabilità di successo  $P_s$ ) è:

$$\Pr(n, T) = (G^n e^{-G}) / n!$$

$$\text{per } n=0 \quad \Pr(0) = e^{-G}$$

$$P_s = e^{-G}$$

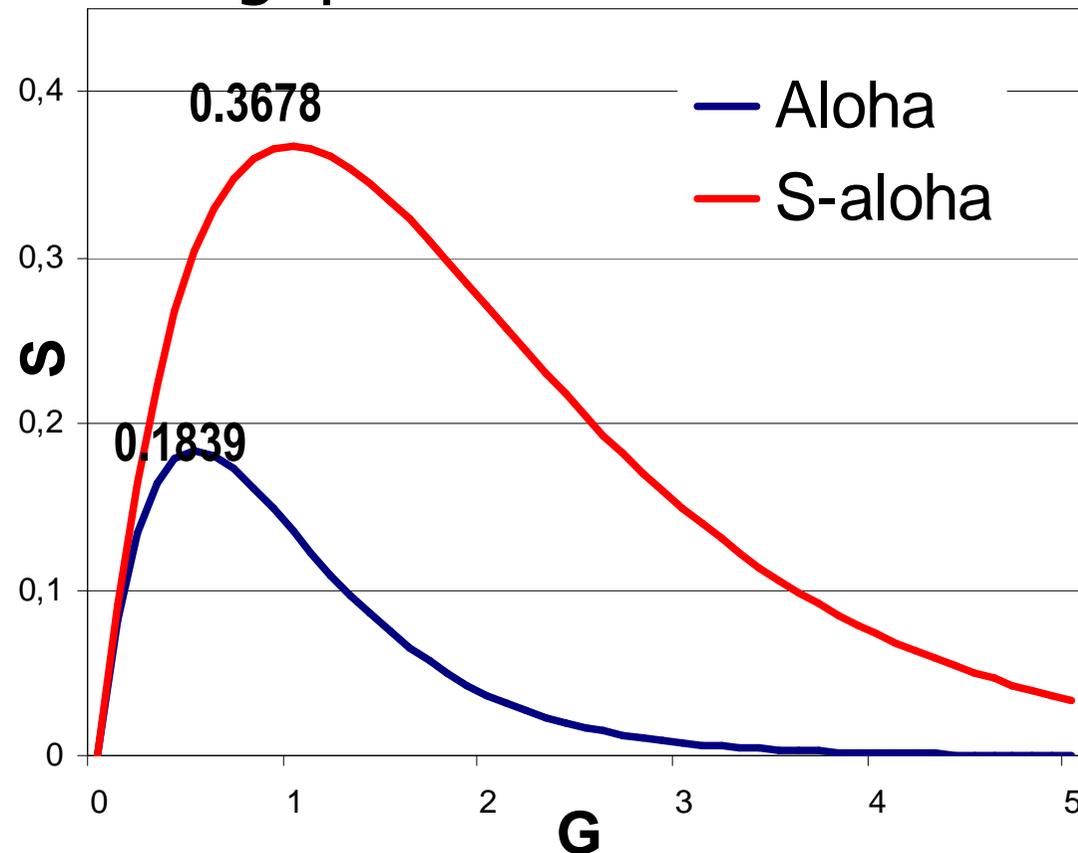


# Slotted-ALOHA: prestazioni

□ E quindi il throughput:  $S = Ge^{-G}$

*Al meglio:* il canale è usato per trasmissioni utili per il 37% del tempo!

- ◆ Trasmissione in slot sincroni
- ◆ La collisione è totale o non c'è





## Aloha a Slot: prestazioni

- Calcolo del max throughput
- Derivando ed eguagliando a zero l'espressione:

$$S = Ge^{-G}$$

- si ottiene il valore di  $G$  che corrisponde al max  $S$

$$dS/dG = e^{-G} - Ge^{-G} = 0$$

$$G_{\max} = 1$$

- Quindi  $S_{\max}$  è pari a:

$$S_{\max} = 1/e = 0,3679 \text{ [Erlang]}$$



Culture

# Accesso multiplo con allocazione dinamica casuale

## ***Il protocollo CSMA***



## CSMA: Carrier Sensing Multiple Access

- ❑ Il Carrier Sensing Multiple Access (CSMA) è il protocollo che direttamente deriva dall'ALOHA puro, con l'aggiunta del feedback che riguarda l'occupazione del canale stesso
- ❑ Lo strumento che rivela l'occupazione del canale viene chiamato *Carrier Sensing (rilevazione di portante)* e dà il nome al protocollo
- ❑ E' usato nella topologia a bus bidirezionale



## CSMA: ascolta prima di trasmettere!

- ❑ Una stazione prima di tentare la trasmissione verifica lo stato del mezzo (*Carrier Sensing*)
- ❑ Procedura:
  - 1) Una stazione che desidera emettere ascolta se il canale è occupato da una emissione precedente
  - 2) Se il canale è libero (idle), la stazione emette
  - 3) Se il canale è occupato (busy), la stazione ritarda l'emissione ad un istante successivo



## CSMA

- **CSMA Persistente:** riprova immediatamente con probabilità  $p$  quando il canale diventa idle (può causare instabilità)
- **CSMA Non-persistente:** riprova dopo un intervallo random

# CSMA: collisioni

- A causa dei ritardi di propagazione il protocollo CSMA NON evita le COLLISIONI

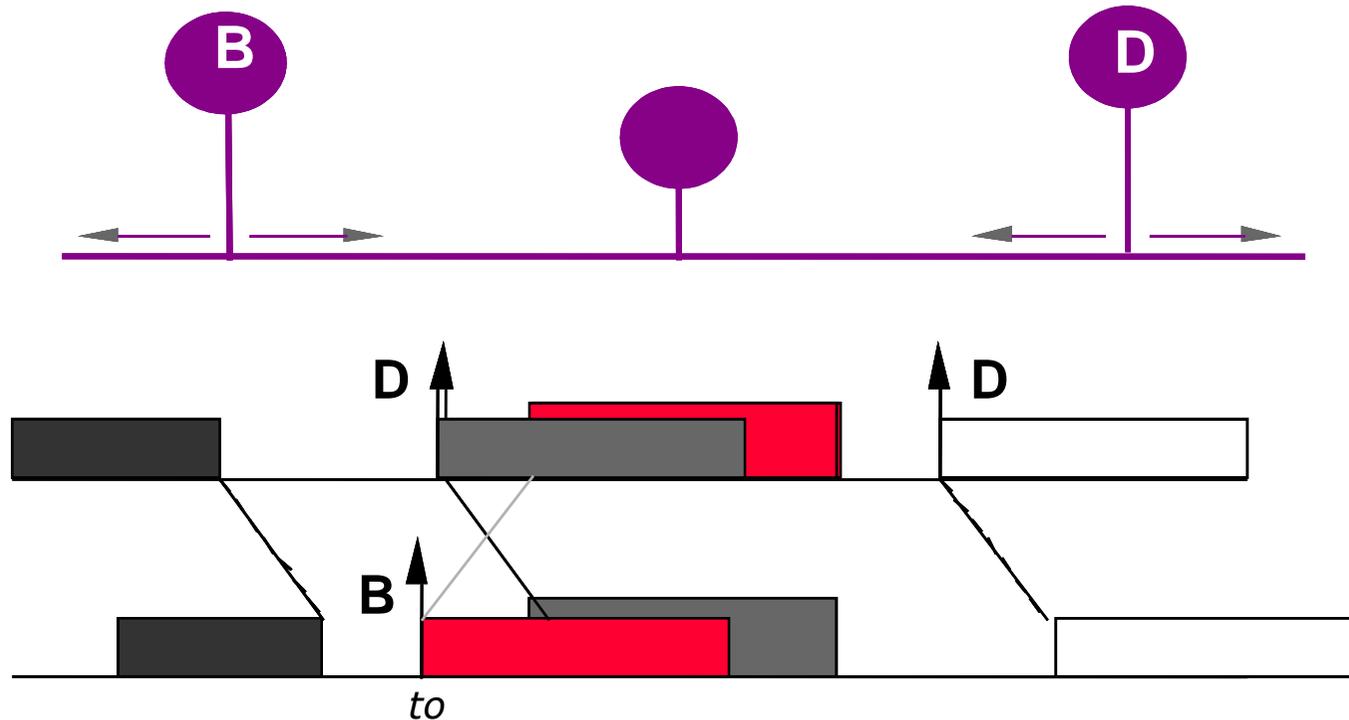


il ritardo di propagazione implica che due nodi non possano sentirsi reciprocamente all'inizio della trasmissione



# CSMA: collisioni

- Tra due stazioni avviene una collisione se esse accedono al canale in istanti che distano tra loro un tempo inferiore a quello di propagazione tra le due stazioni



# CSMA: collisioni



## collisione:

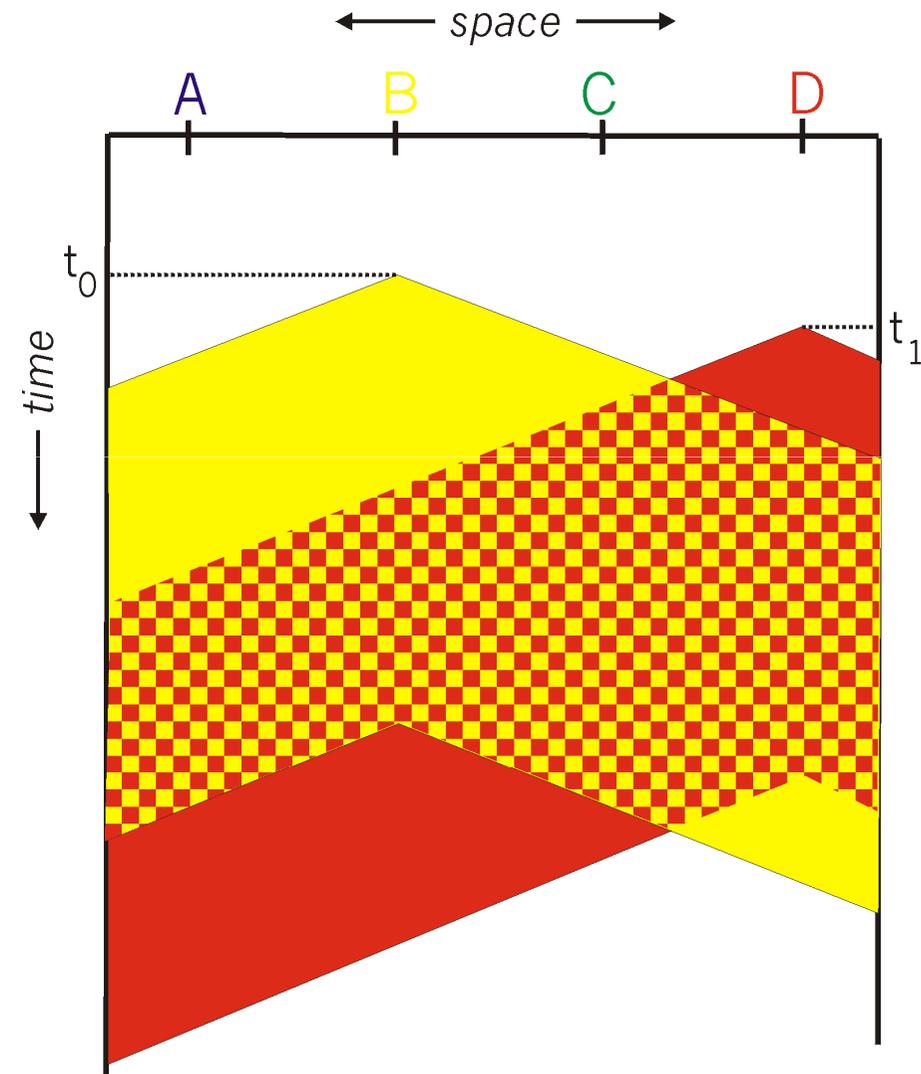
il tempo speso per trasmettere l'intero pacchetto è sprecato

B e D continuano a trasmettere le loro trame interamente anche se c'è stata collisione

## nota:

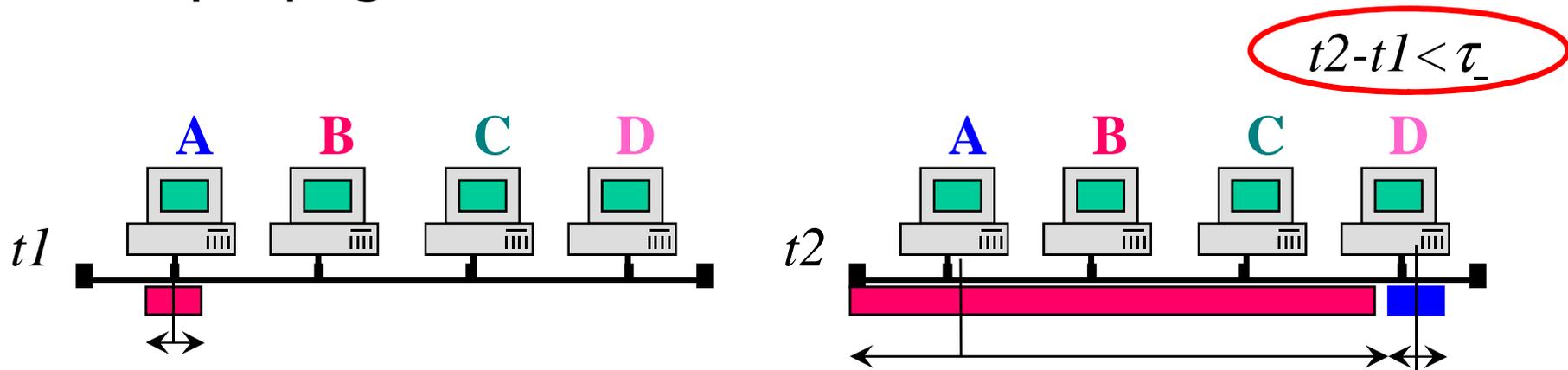
ruolo della distanza e del ritardo di propagazione nel determinare la probabilità di collisione

disposizione spaziale dei nodi



## Intervallo di vulnerabilità

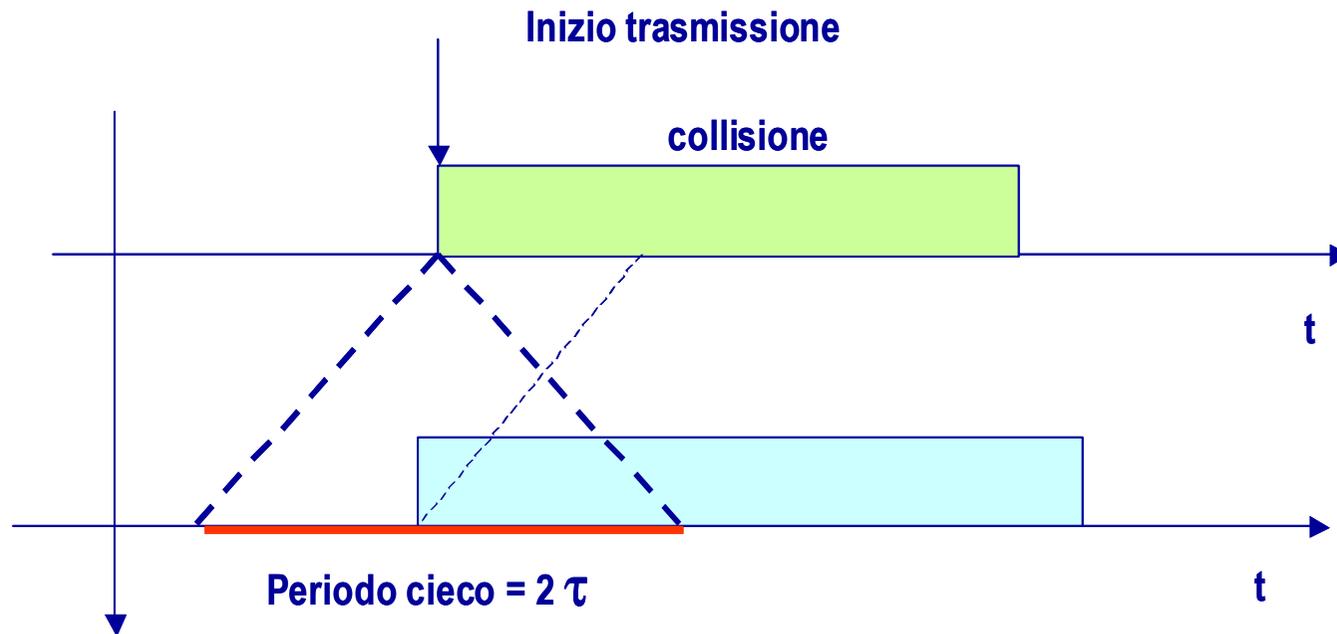
- L'intervallo di vulnerabilità è l'intervallo di tempo in cui una unità informativa emessa può subire collisione
- è uguale a  $2\tau$ , dove  $\tau$  è il ritardo di propagazione da estremo a estremo sul bus



*t1, t2 tempi in cui le stazioni A e D avendo verificato che il canale e' libero iniziano la trasmissione di una trama*



# Intervallo di vulnerabilità



$\tau$  : tempo di propagazione con l'utente più lontano

$T$  : durata della trasmissione =  $B / V$



## CSMA

Nel caso di canale occupato, l'istante successivo di emissione è determinato in base ad una PROCEDURA DI PERSISTENZA:

- 1-persistente
- 0-persistente o non-persistente
- p-persistente



# CSMA

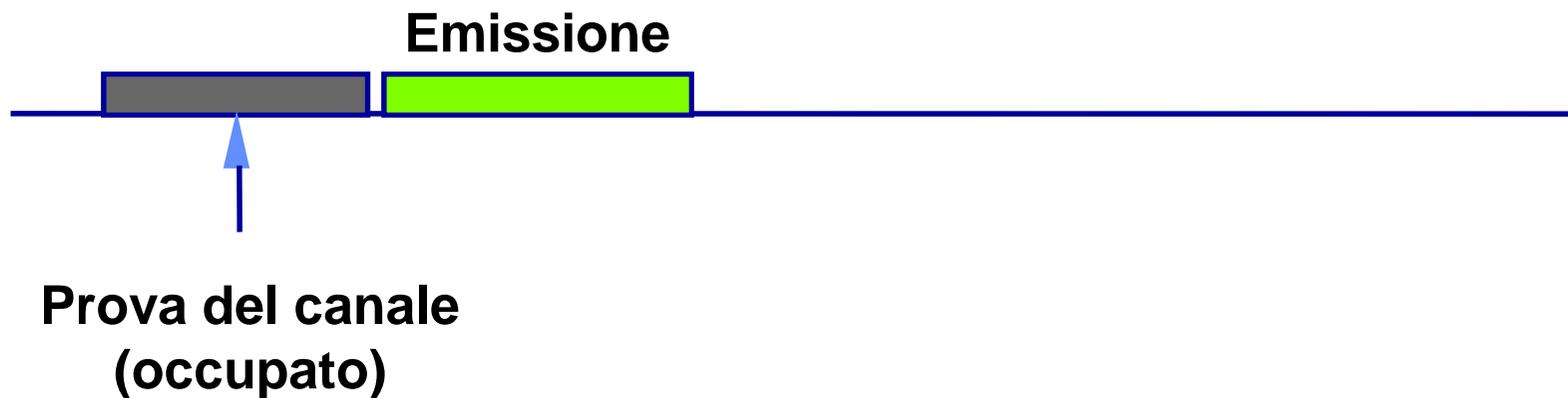
- **1-persistente**: il terminale ascolta finché il canale è libero e poi trasmette con probabilità 1
- **non-persistente**: il terminale aspetta un tempo random prima di ritrasmettere (wireless-LAN) (come se avesse colliso)
- **p-persistente**: il terminale aspetta finché il canale è libero e quindi trasmette con probabilità  $p$ , oppure con probabilità  $1-p$  ritarda la trasmissione di un tempo casuale
- **CSMA/CD (with collision detection)**: interrompe la trasmissione appena si accorge di una collisione



# Procedure di persistenza

## 1-persistente

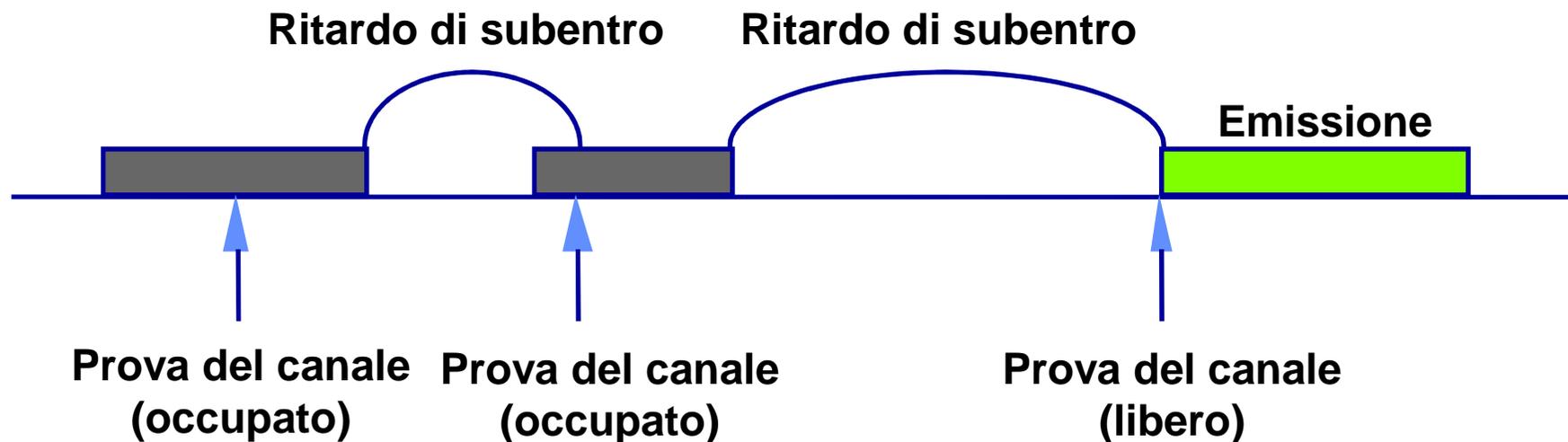
- ❑ la stazione aspetta che il canale torni libero, quindi trasmette



# Procedure di persistenza

0-persistente:

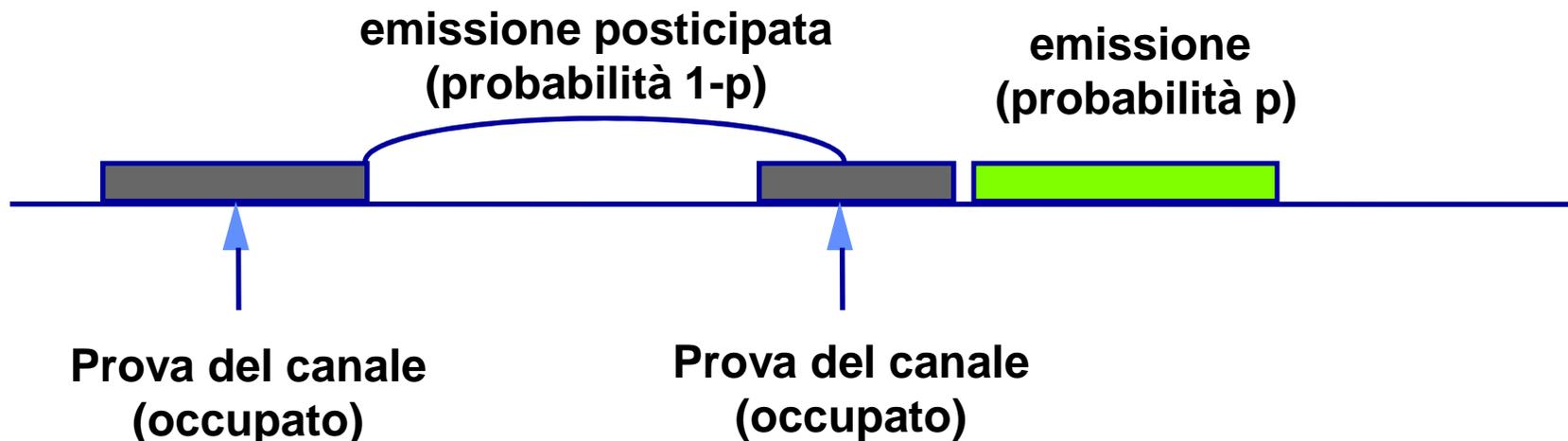
- ❑ la stazione ritarda l'emissione di un intervallo di tempo calcolato in base ad un algoritmo di subentro (backoff)



# Procedure di persistenza

p-persistente:

- la stazione attende che il canale torni libero, quindi effettua l'emissione con probabilità  $p$ , altrimenti la trasmissione è ritardata di un intervallo di tempo calcolato in base ad un algoritmo di subentro





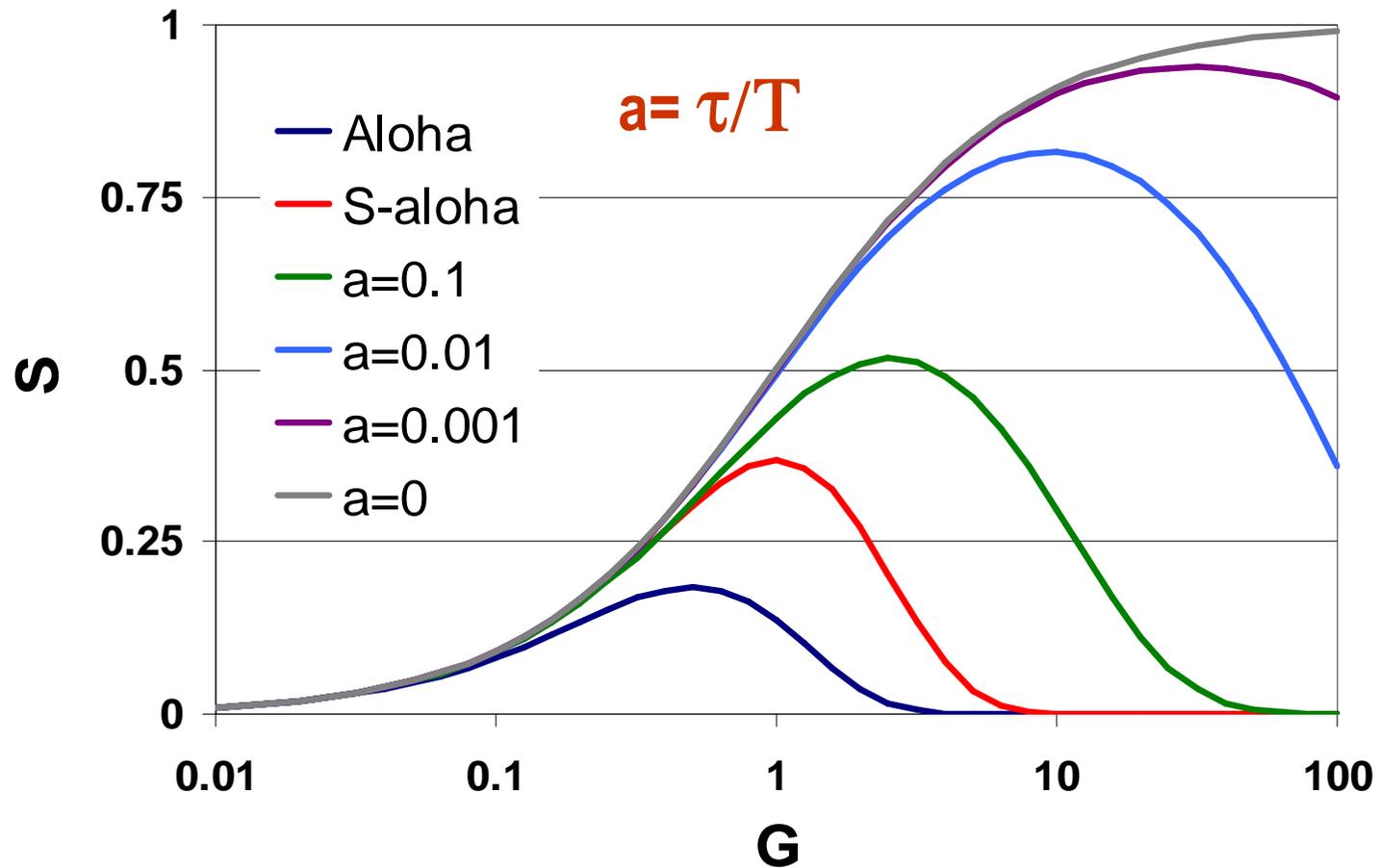
## Procedure di persistenza

- ❑ L'algoritmo di subentro serve a casualizzare l'accesso al canale
- ❑ La procedura 1-persistente tende ad aumentare la portata media di rete, ma ad alto traffico aumenta le collisioni
- ❑ La procedura 0-persistente riduce lo svantaggio delle collisioni ad alto traffico
- ❑ La procedura  $p$ -persistente consente di regolare la probabilità  $p$  in base al traffico di rete



Culture

# CSMA: prestazioni del caso non persistente



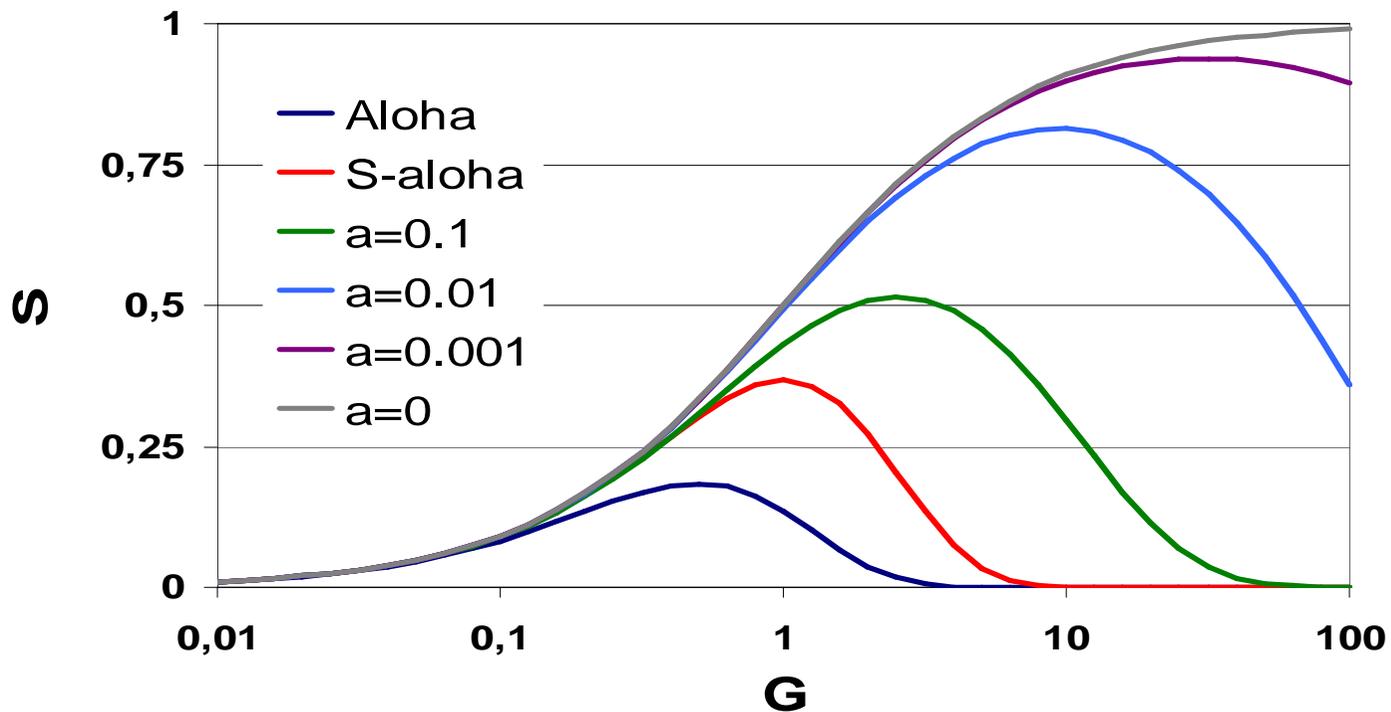
## Prestazioni del CSMA

- ❑ Per le prestazioni si assuma lo stesso modello dell'ALOHA con
  - T tempo di trasmissione del pacchetto
  - $\tau$  tempo di propagazione
  - $a = \tau/T$
- ❑ si assume inoltre la modalità non-persistente (l'unica che consente di trattare facilmente il traffico sul canale)



# Prestazioni del CSMA

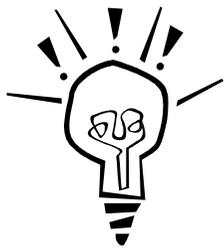
□ Si può mostrare che: 
$$S = \frac{Ge^{-aG}}{G(1+2a) + e^{-aG}}$$





# CSMA/CD

**Il tempo necessario perché tutte le stazioni coinvolte in una collisione se ne accorgano dipende dal tempo di propagazione (piccolo rispetto al tempo di trasmissione nelle LAN)**



- **Perché continuare a trasmettere trame che hanno colliso?**
- **Non appena una stazione si accorge della collisione smette di trasmettere la trama**



## CSMA/CD

- ❑ Adotta la tecnica: "Ascolta prima di parlare e mentre parli"
- ❑ Collision Detection (rilevazione delle collisioni)
- ❑ Rispetto al protocollo CSMA, migliora le prestazioni riducendo la durata delle collisioni



# CSMA/CD (Collision Detection)

**CSMA/CD:** carrier sensing, come in CSMA

- collisioni *rilevate* in breve tempo
- trasmissioni che hanno colliso sono abortite, riducendo lo spreco sul canale
- collision detection:
  - facile nelle wired-LAN: misura le intensità dei segnali, confronta segnali trasmessi e ricevuti
  - difficile nelle wireless LANs: il ricevitore si disattiva mentre trasmette



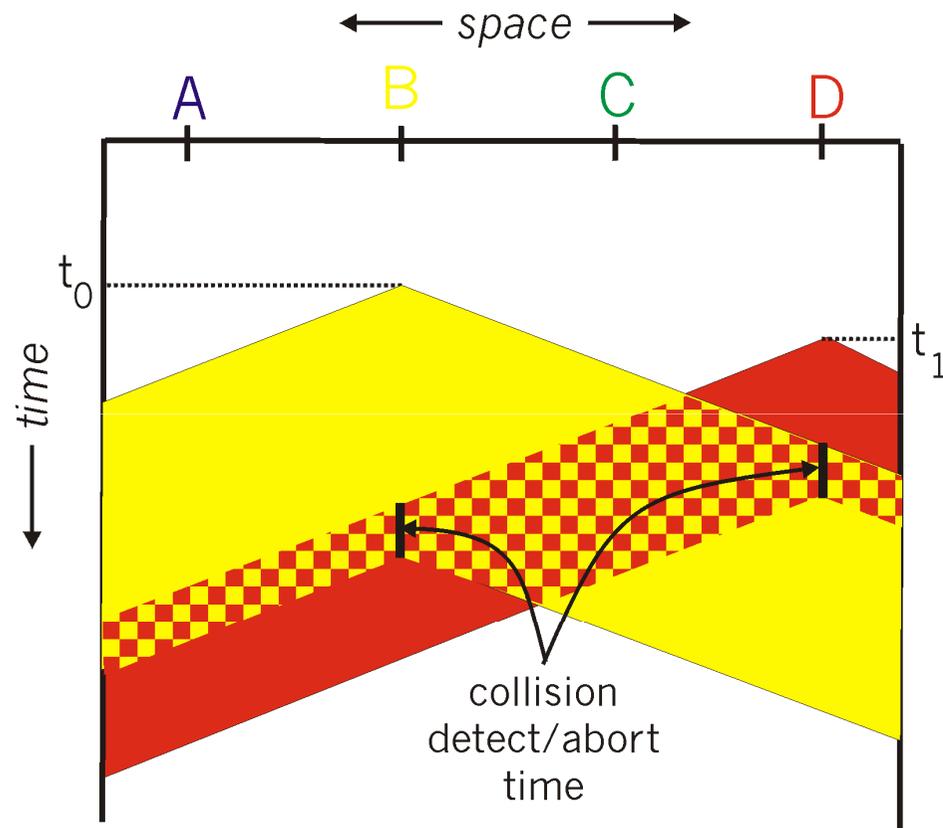
## CSMA/CD

- Nel caso di collisione:
  - La collisione viene riconosciuta (***Collision Detection***)
  - La collisione viene 'rinforzata' (***sequenza di jamming***).
  - Viene tentato nuovamente l'accesso dopo un intervallo di tempo casuale  $\Delta T$ .
  - Per ridurre l'aumento di traffico per ritrasmissioni il valore di  $\Delta T$  aumenta ***esponenzialmente*** all'aumentare del numero di collisioni consecutive verificatesi.



Culture

# CSMA/CD collision detection





Culture

## CSMA/CD: vantaggi rispetto al CSMA

- **Riduce lo spreco delle risorse di rete durante la collisione, limitandone estremamente la durata**

→ **Throughput più elevato rispetto al CSMA**

**Il vantaggio rispetto al CSMA è tanto più elevato quanto più il tempo necessario perché le varie stazioni coinvolte nella collisione se ne accorgano è piccolo rispetto al tempo di trasmissione della trama.**



## CSMA/CD: ritardo di propagazione

- Il CSMA/CD è utilizzabile in sistemi in cui il ritardo di propagazione  $\tau$  sia piccolo e inoltre sia breve rispetto alla durata  $T_t$  della trasmissione di una PDU
  - ascolto del canale prima di trasmettere: se il **ritardo di propagazione è piccolo** allora (i) l'informazione raccolta dalla stazione è significativa; (ii) è bassa la probabilità che le altre stazioni tentino una trasmissione nell'intervallo  $[0, \tau]$  (le altre stazioni si accorgono della collisione nel caso peggiore dopo un tempo  $\tau$ ); (iii) è minore la banda sprecata a causa di una collisione



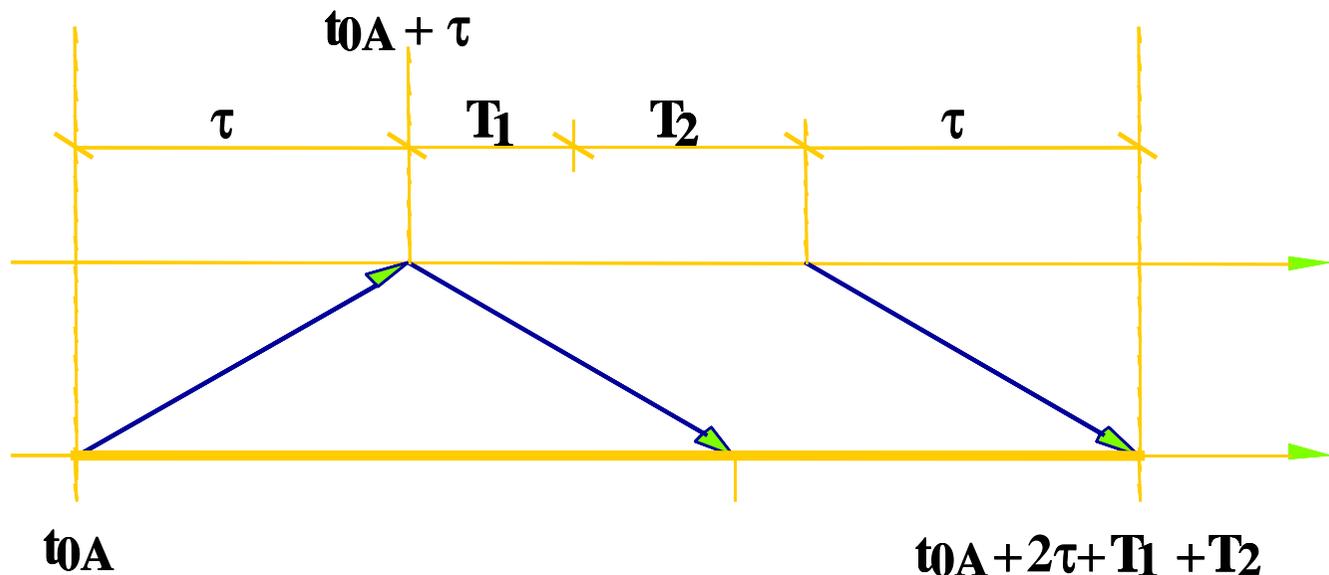
## CSMA/CD: ritardo di propagazione

- ascolto del canale durante la trasmissione della PDU: se il **tempo di trasmissione della PDU** è minore del ritardo di propagazione, la stazione finisce di trasmettere la trama, e quindi di ascoltare il canale, prima di potersi accorgere di eventuali collisioni
  - la stazione può smettere di ascoltare il canale dopo un tempo  $2\tau$  e continuare a trasmettere la trama
  - la condizione  $\tau < Tt$  limita la lunghezza massima del bus!

# CSMA/CD

Tempo di rivelazione di una collisione

**Il nodo B inizia  
l'emissione**



**Il nodo A inizia  
l'emissione**

**$t_{0A} + 2\tau + T_1 + T_2$   
Fine dell'intervallo  
di collisione**

$\tau$ : tempo di propagazione da estremo ad estremo sul bus

$T_1$ : tempo di rivelazione della collisione (pochi bit)

$T_2$ : tempo di permanenza nello stato di collisione



## CSMA/CD

- Il tempo totale necessario affinché, nel caso di collisione, tutti i terminali interrompano l'emissione è:

$$T = 2\tau + T_1 + T_2$$

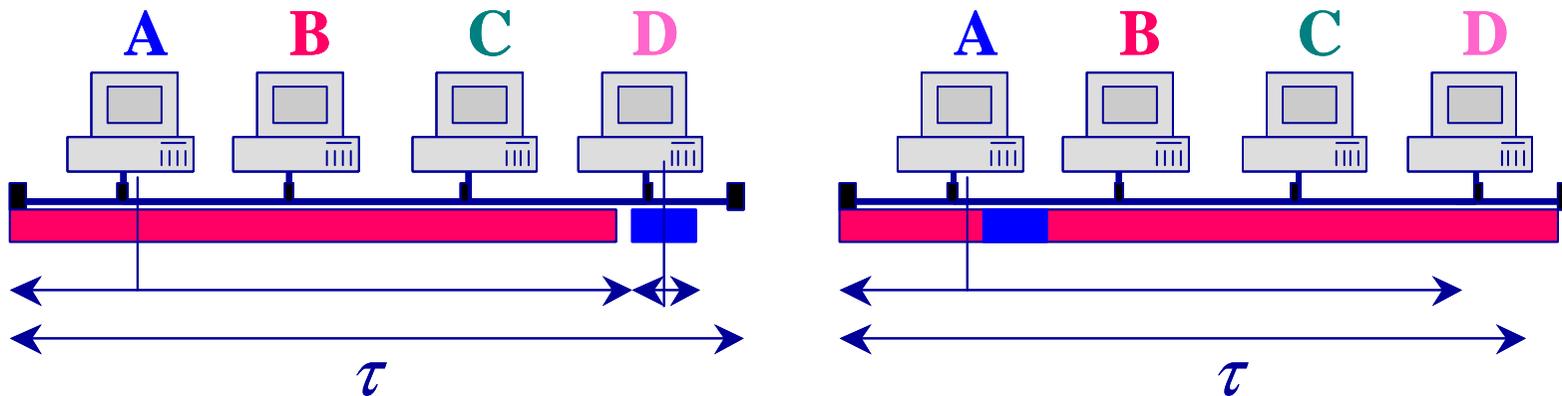
- Se  $R$  è il ritmo binario in linea, una PDU di strato MAC non può avere lunghezza inferiore a

$$L_{\min} = (2\tau + T_1) R$$

# CSMA/CD

## Tempo di rivelazione di una collisione

### *Cavo coassiale in banda base: WORST CASE*



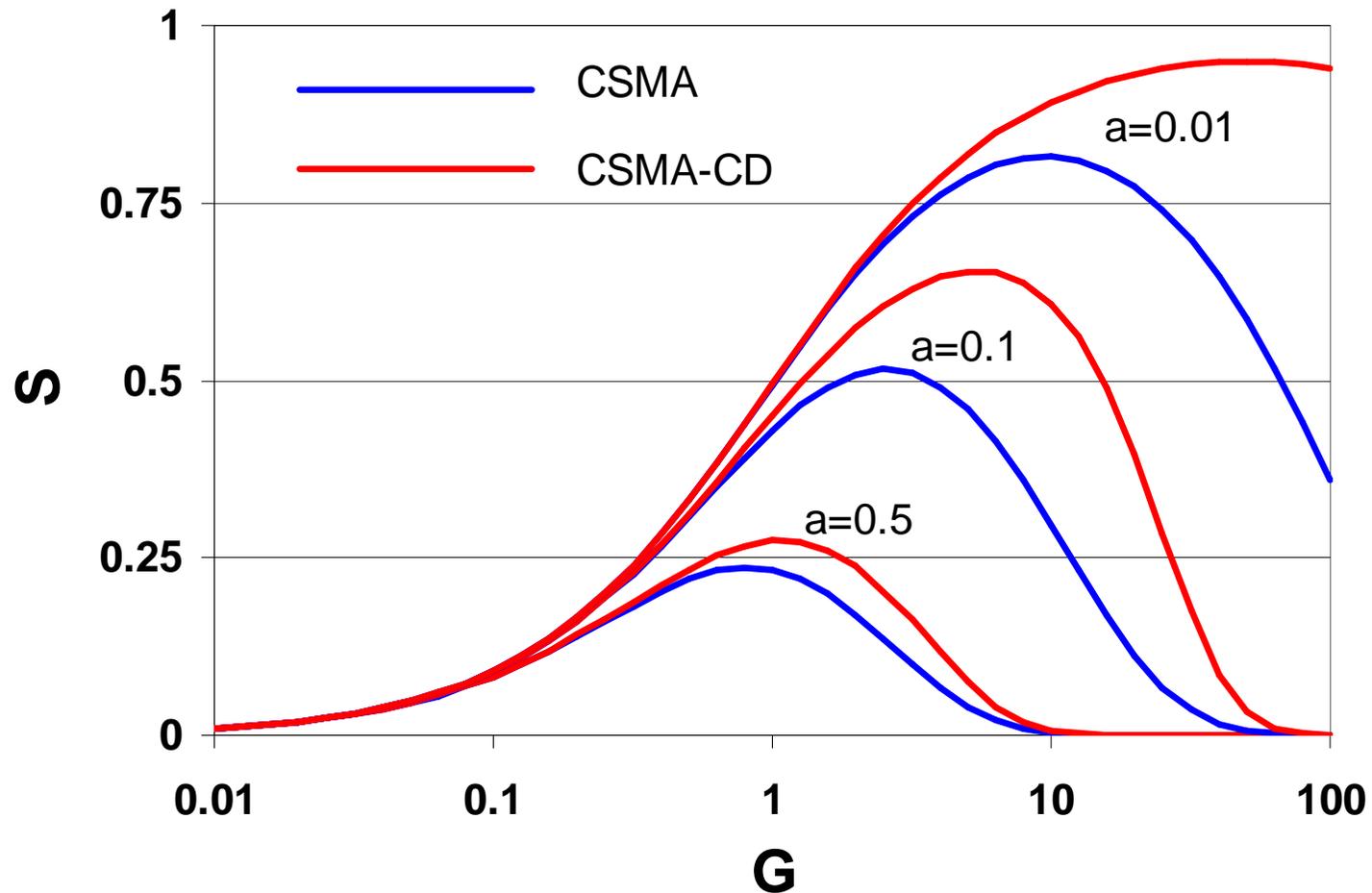
**D riconosce immediatamente la collisione e smette di trasmettere, ma A se ne accorge dopo un ulteriore tempo di propagazione end-to-end  $\tau$ , per un totale di  $2\tau$  prima che tutte le stazioni smettano di trasmettere.**

***CSMA/CD conveniente se la dimensione della trama è maggiore di  $2\tau$ !***



Culture

# CSMA/CD: prestazioni



## Prestazioni del CSMA-CD

- Per le prestazioni si assume sempre lo stesso modello
  - T tempo di trasmissione del pacchetto
  - $\tau$  tempo di propagazione
  - $a = \tau/T$
  - $\delta$  tempo per accorgersi della collisione e interrompere
- si assume sempre la modalità non-persistente
- Il throughput, per effetto delle collisioni non raggiunge il valore max
  - Es. Ethernet a 10 Mb/s: per  $G=6\text{Mb/s}$  entra in regime di congestione, e il traffico smaltito satura per effetto delle collisioni, poi diminuisce anche per effetto dell'interazione tra TCP e MAC (dopo  $k=16$  ritrasmissioni il MAC rinuncia a trasmettere la trama, allora il TCP rallenta il ritmo di emissione entrando in regime di slow start e congestion avoidance)



Culture

# Prestazioni del CSMA-CD

□ Si ha: 
$$S = \frac{Ge^{-aG}}{G(1+2a) + e^{-aG} - G(1-\delta)(1-e^{-aG})}$$

□ per  $\delta=0$ :

