

# **Reti di Calcolatori**

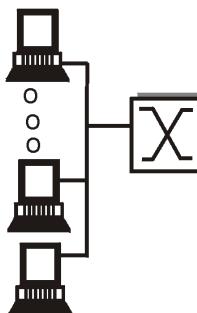
Protocolli data link layer per reti LAN



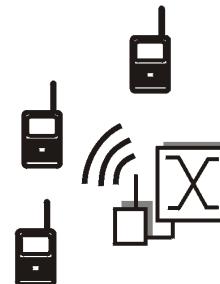
# Collegamenti di rete

Esistono due tipi di collegamenti di rete:

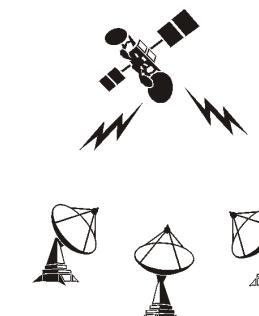
- **Collegamento punto-punto (PPP)**
  - Impiegato per connessioni telefoniche.
  - Collegamenti punto-punto tra Ethernet e host.
- **Collegamento broadcast (cavo o canale condiviso)**
  - Ethernet tradizionale
  - HFC in upstream
  - Wireless LAN 802.11



shared wire  
(e.g. Ethernet)



shared wireless  
(e.g. Wavelan)



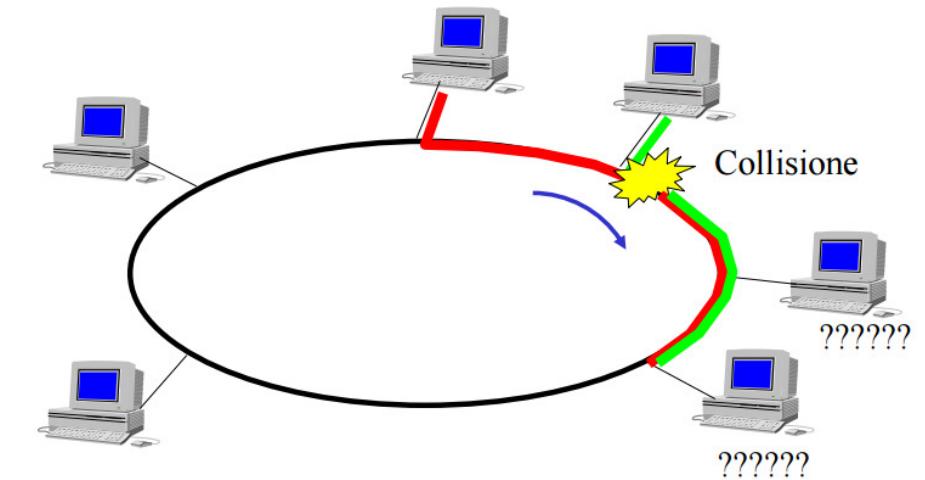
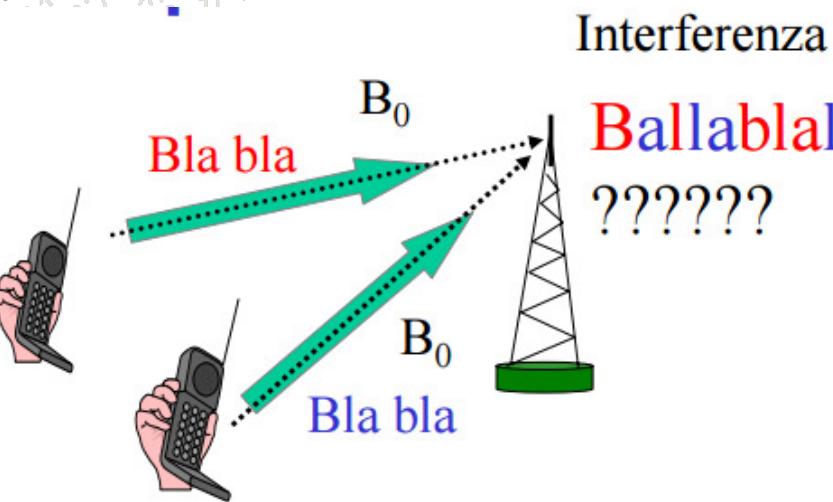
satellite



cocktail party

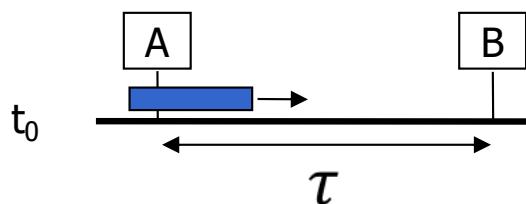
# Interferenza e Collisione

- Connessione a un canale broadcast condiviso.
- Centinaia o anche migliaia di nodi possono comunicare direttamente su un canale broadcast:
  - Si genera una *collisione* quando i nodi ricevono due o più frame contemporaneamente.

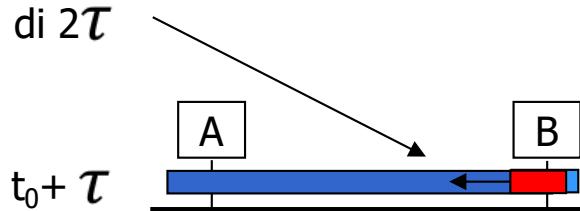


# Ritardi di linea e collisioni

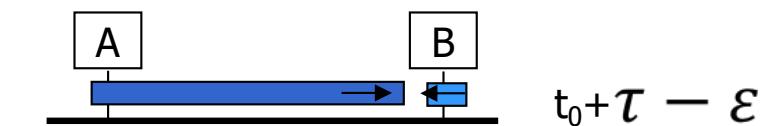
- Sia  $\tau$  il tempo di propagazione fra le stazioni più lontane
- Il tempo massimo per la rilevazione di una collisione è  $2\tau$  slot di contesa)



Il pacchetto deve durare  
più di  $2\tau$



B rileva la collisione e sospende  
la trasmissione. Il disturbo generato  
dalla collisione si propaga verso A

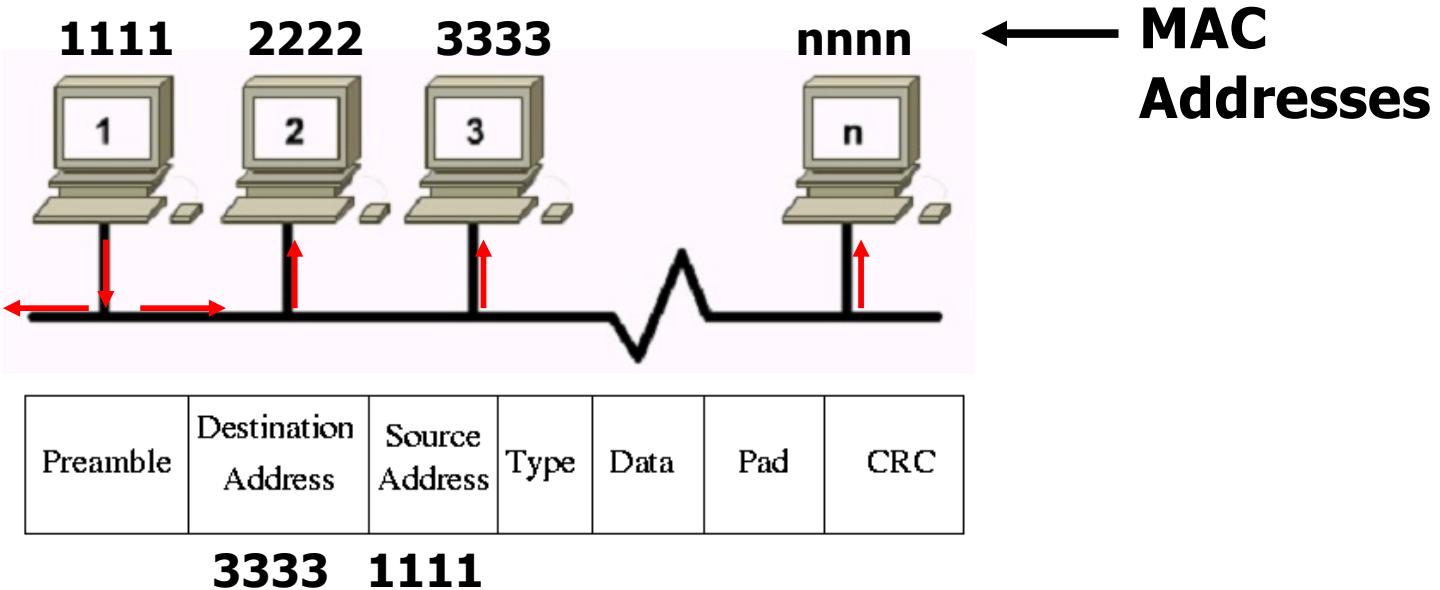


B inizia a trasmettere poco  
prima che l'inizio del pacchetto  
di A arrivi in B



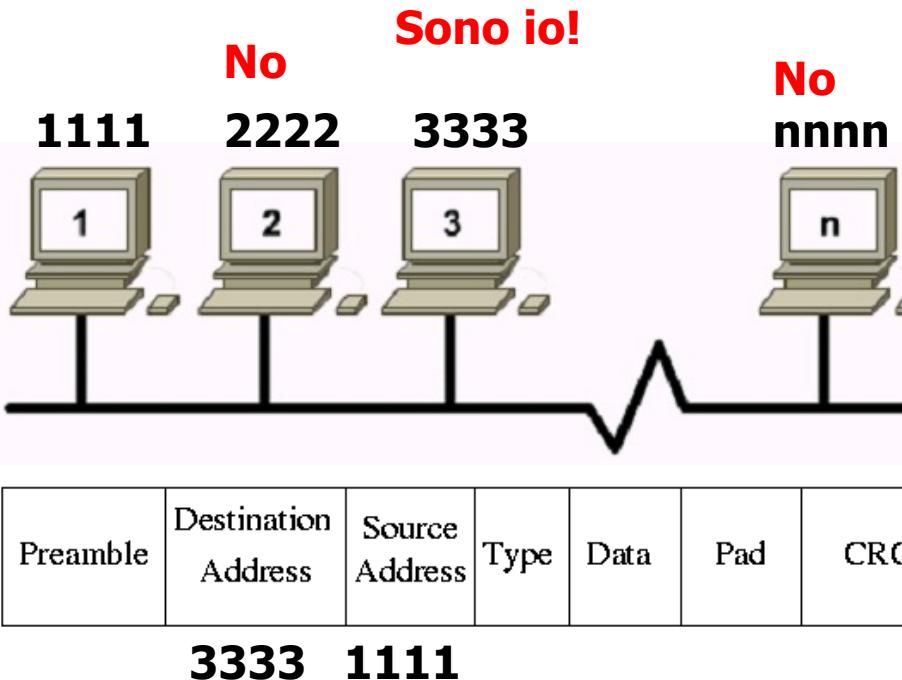
A rileva la collisione e sospende  
la trasmissione.

# Condivisione su Bus



- Quando una trama viene inviata sul mezzo condiviso tutti i dispositivi collegati la ricevono.
- Cosa ne fanno?

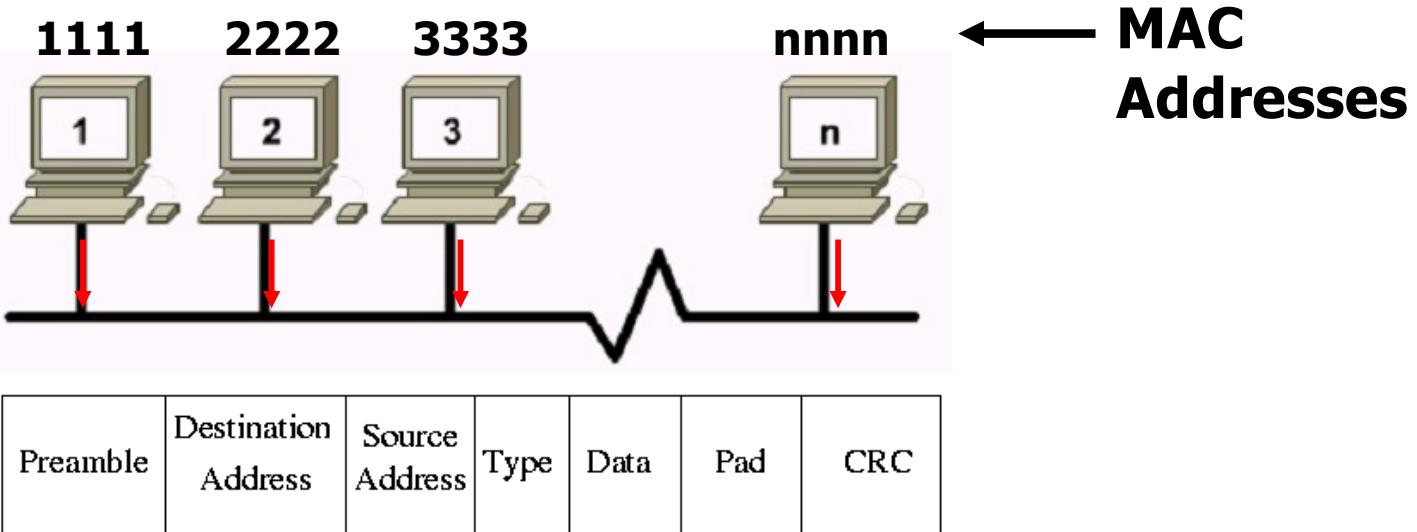
# Condivisione su Bus



**Abbreviated  
MAC  
Addresses**

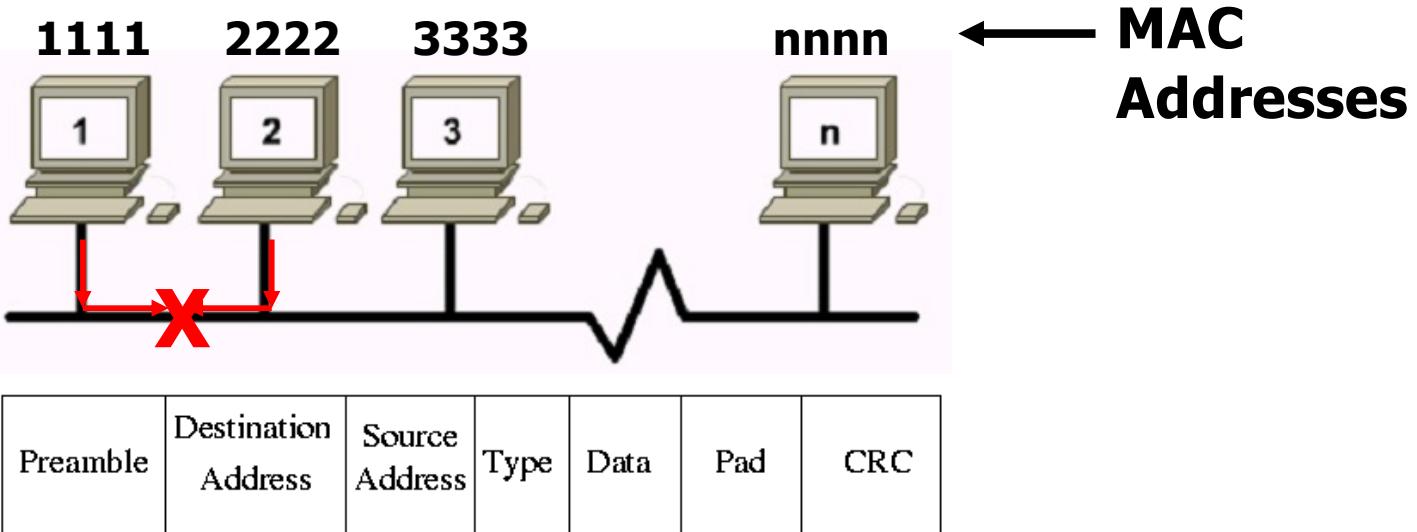
- Ogni NIC confronta il suo MAC address con quello il destination address sulla trama.
- Se corrispondono, copia il resto della trama.
- Altrimenti, la ignora, a meno che la NIC non operi in **modalità promiscua** (il NIC fa passare ogni trama)

# Condivisione su Bus



- Ma che accade quando più stazioni tentano di trasmettere allo stesso tempo?

# Condivisione su Bus



## Una Collisione!

# Protocolli di accesso multiplo

- Connessione a un canale broadcast condiviso.
- Centinaia o anche migliaia di nodi possono comunicare direttamente su un canale broadcast:
  - Si genera una *collisione* quando i nodi ricevono due o più frame contemporaneamente.

## Protocolli di accesso multiplo

- Protocolli che fissano le modalità con cui i nodi regolano le loro trasmissioni sul canale condiviso.
- La comunicazione relativa al canale condiviso deve utilizzare lo stesso canale!
  - non c'è un canale “out-of-band” per la coordinazione

# Protocolli di accesso multiplo ideali

## Canale broadcast con velocità di $R$ bit al sec:

1. Quando un nodo deve inviare dati, questo dispone di un tasso trasmittivo pari a  $R$  bps.
2. Quando  $M$  nodi devono inviare dati, questi dispongono di un tasso trasmittivo pari a  $R/M$  bps.
3. Il protocollo è decentralizzato:
  - non ci sono nodi master
  - non c'è sincronizzazione dei clock
4. Il protocollo è semplice.

# Protocolli di accesso multiplo

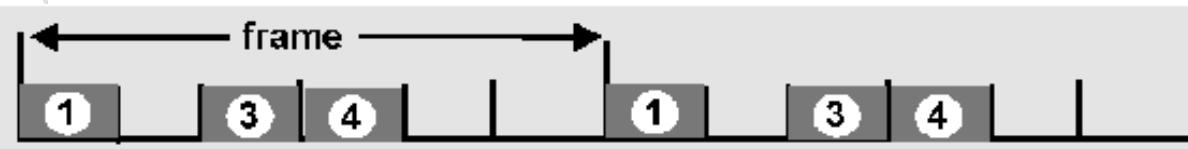
Si possono classificare in una di queste tre categorie:

- **Protocolli a suddivisione del canale** (*channel partitioning*)
  - Suddivide un canale in “parti più piccole” (slot di tempo, frequenza, codice).
- **Protocolli ad accesso casuale** (*random access*)
  - I canali non vengono divisi e si può verificare una collisione.
  - I nodi coinvolti ritrasmettono ripetutamente i pacchetti.
- **Protocolli a rotazione** (“*taking-turn*” o “*collision-free*”)
  - Ciascun nodo ha il suo turno di trasmissione, ma i nodi che hanno molto da trasmettere possono avere turni più lunghi.

# Protocolli a suddivisione del canale: TDMA

## TDMA: accesso multiplo a divisione di tempo.

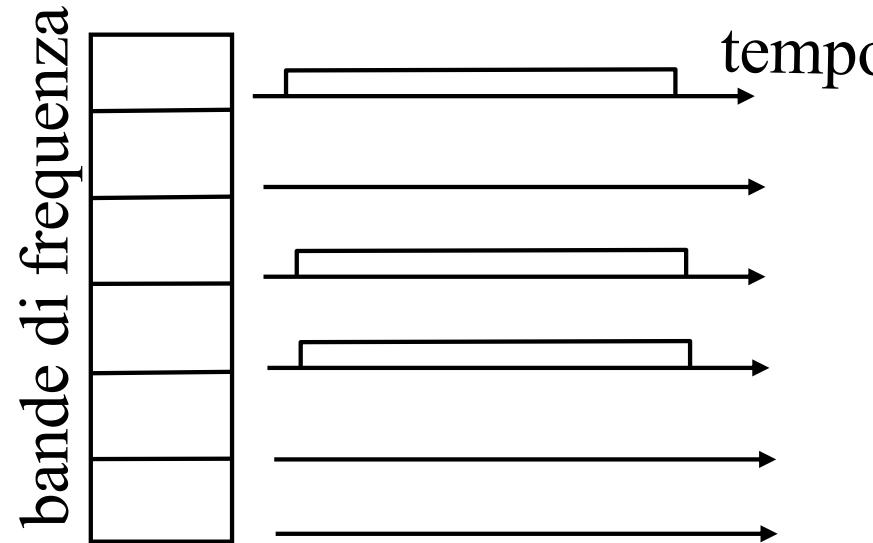
- Suddivide il canale condiviso in *intervalli di tempo*.
- Gli slot non usati rimangono inattivi
- Esempio: gli slot 1, 3 e 4 hanno un pacchetto, 2, 5 e 6 sono inattivi.



# Protocolli a suddivisione del canale: FDMA

## FDMA: accesso multiplo a divisione di frequenza.

- Suddivide il canale in bande di frequenza.
- A ciascuna stazione è assegnata una banda di frequenza prefissata.
- Esempio: gli slot 1, 3 e 4 hanno un pacchetto, 2, 5 e 6 sono inattivi.



# Protocolli ad accesso casuale

- Quando un nodo deve inviare un pacchetto:
  - trasmette sempre alla massima velocità consentita dal canale, cioè  $R$  bps
  - non vi è coordinazione a priori tra i nodi
- Due o più nodi trasmittenti → “collisione”
  - Il protocollo ad accesso casuale definisce:
    - Come rilevare un’eventuale collisione.
    - Come ritrasmettere se si è verificata una collisione.
- Esempi di protocolli ad accesso casuale:
  - slotted ALOHA
  - ALOHA
  - CSMA, CSMA/CD, CSMA/CA

# Slotted ALOHA

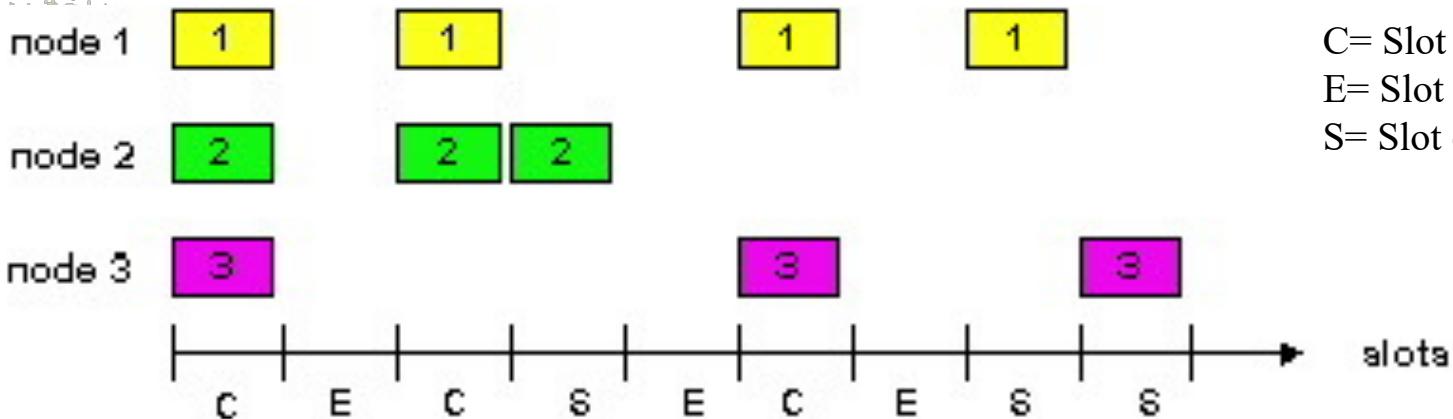
## Assumiamo che:

- Tutti i pacchetti hanno la stessa dimensione.
- Il tempo è suddiviso in slot; ogni slot equivale al tempo di trasmissione di un pacchetto.
- I nodi iniziano la trasmissione dei pacchetti solo all'inizio degli slot.
- I nodi sono sincronizzati.
- Se in uno slot due o più pacchetti collidono, i nodi coinvolti rilevano l'evento prima del termine dello slot.

## Operazioni:

- Quando a un nodo arriva un nuovo pacchetto da spedire, il nodo attende fino all'inizio dello slot successivo.
- *Se non si verifica una collisione:* il nodo può trasmettere un nuovo pacchetto nello slot successivo.
- *Se si verifica una collisione:* il nodo la rileva prima della fine dello slot e ritrasmette con probabilità  $p$  il suo pacchetto durante gli slot successivi.

# Slotted ALOHA



## Pro

- Consente a un singolo nodo di trasmettere continuamente pacchetti alla massima velocità del canale.
- È fortemente decentralizzato, ciascun nodo rileva le collisioni e decide indipendentemente quando ritrasmettere.
- È estremamente semplice.

## Contro

- Una certa frazione degli slot presenterà collisioni e di conseguenza andrà “sprecata”.
- Un’alta frazione degli slot rimane vuota, quindi inattiva.

# L'efficienza di Slotted Aloha

L'**efficienza** è definita come la frazione di slot vincenti in presenza di un elevato numero di nodi attivi, che hanno sempre un elevato numero pacchetti da spedire.

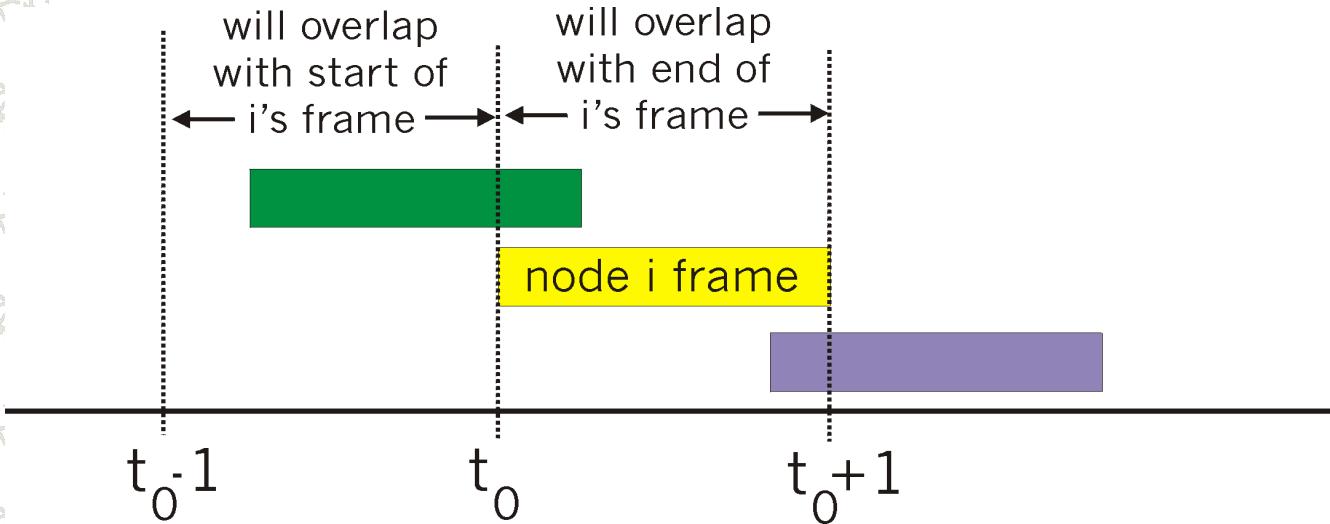
- Supponiamo N nodi con pacchetti da spedire, ognuno trasmette i pacchetti in uno slot con probabilità  $p$ .
- La probabilità di successo di un dato nodo =  $p(1-p)^{N-1}$
- La probabilità che un nodo arbitrario abbia successo  
 $= Np(1-p)^{N-1}$

- Per ottenere la massima efficienza con N nodi attivi, bisogna trovare il valore  $p^*$  che massimizza  $Np(1-p)^{N-1}$
- Per un elevato numero di nodi, ricaviamo il limite di  $Np^*(1-p^*)^{N-1}$  per N che tende all'infinito, e otterremo  $1/e = 0,37$

*Nel caso migliore:*  
solo il 37% degli slot compie lavoro utile.

# ALOHA puro

- Aloha puro: più semplice, non sincronizzato.
- Quando arriva il primo pacchetto:
  - lo trasmette immediatamente e integralmente nel canale broadcast.
- Elevate probabilità di collisione:
  - Il pacchetto trasmesso a  $t_0$  si sovrappone con la trasmissione dell'altro pacchetto inviato in  $[t_0-1, t_0+1]$ .



# L'efficienza di Aloha puro

$P(\text{trasmissione con successo da un dato nodo}) = P(\text{il nodo trasmette}) \cdot$

$P(\text{nessun altro nodo trasmette in } [t_0-1, t_0] \cdot$

$P(\text{nessun altro nodo trasmette in } [t_0, t_0+1]$

$$= p \cdot (1-p)^{N-1} \cdot (1-p)^{N-1}$$

$$= p \cdot (1-p)^{2(N-1)}$$

... scegliendo  $p$  migliore e lasciando  $n \rightarrow$  infinito ...

$$= 1/(2e) = 0,18$$

Peggio di prima !

# Accesso multiplo a rilevazione della portante (CSMA)

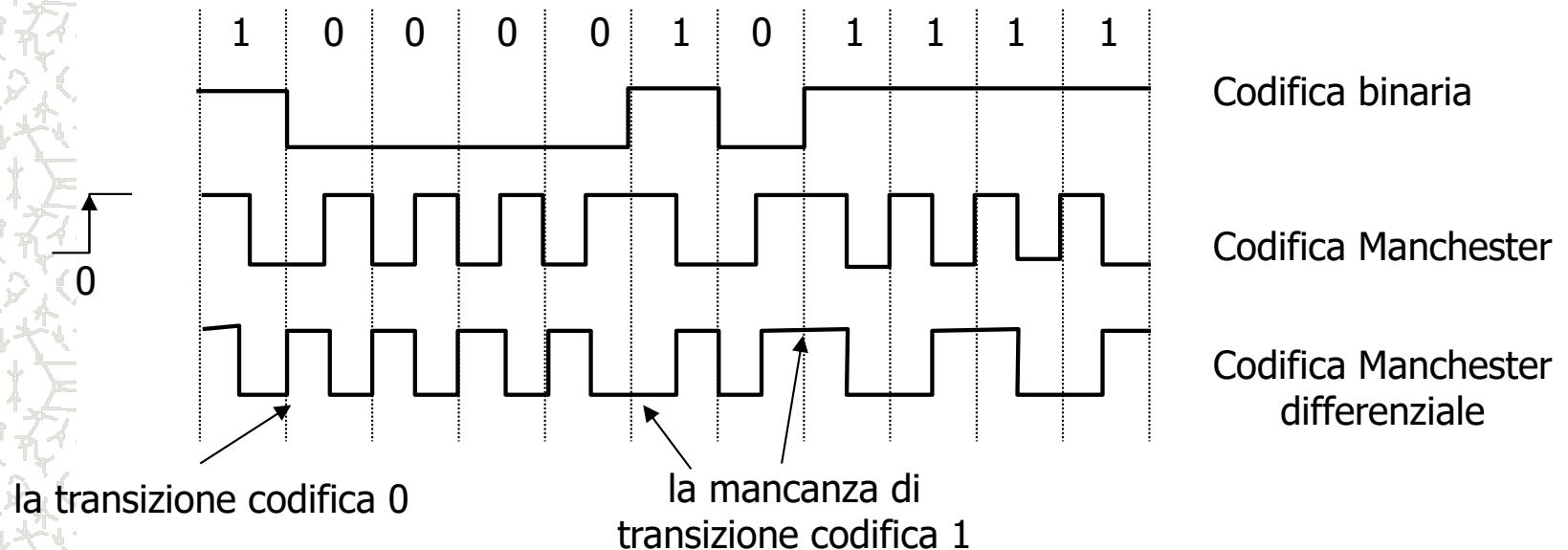
## CSMA: Carrier Sense Multiple Access

**CSMA:** si pone in ascolto prima di trasmettere:

- Se rileva che il canale è libero, trasmette l'intero pacchetto.
- Se il canale sta già trasmettendo, il nodo aspetta un altro intervallo di tempo.
- Analogia: se qualcun altro sta parlando, aspettate finché abbia concluso!

# Rilevazione della portante

- Si utilizza la **codifica Manchester** per i segnali  
i bit sono codificati da transizioni (usa il doppio della banda)
- I livelli in presenza di segnale sono standardizzati  
IEEE 802.3: -0.85, +0.85
- L'assenza di portante è codificata dal segnale nullo (linea idle)



# CSMA con trasmissioni in collisione

**Le collisioni *possono ancora* verificarsi:**

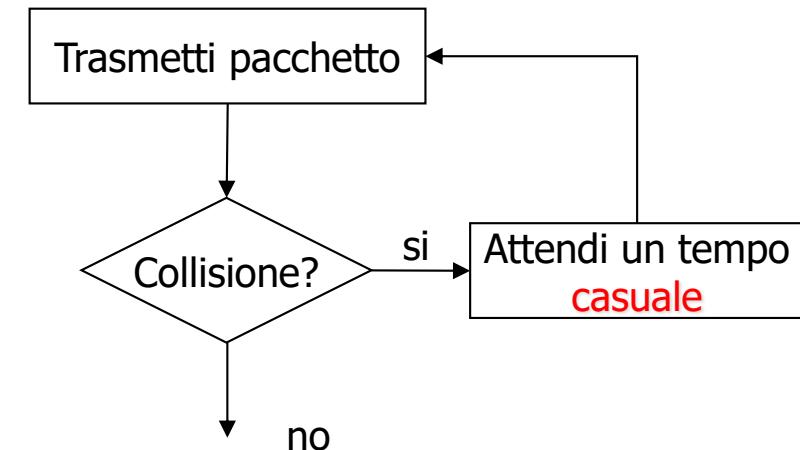
Il ritardo di propagazione fa sì che due nodi non rilevino la reciproca trasmissione

**collisione:**

Quando un nodo rileva una collisione, cessa immediatamente la trasmissione.

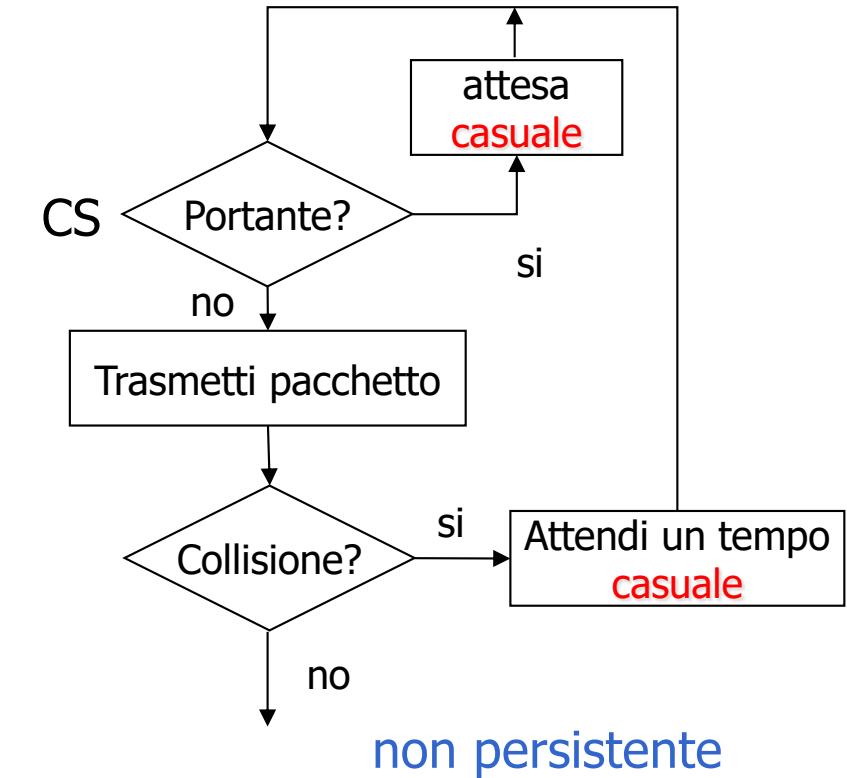
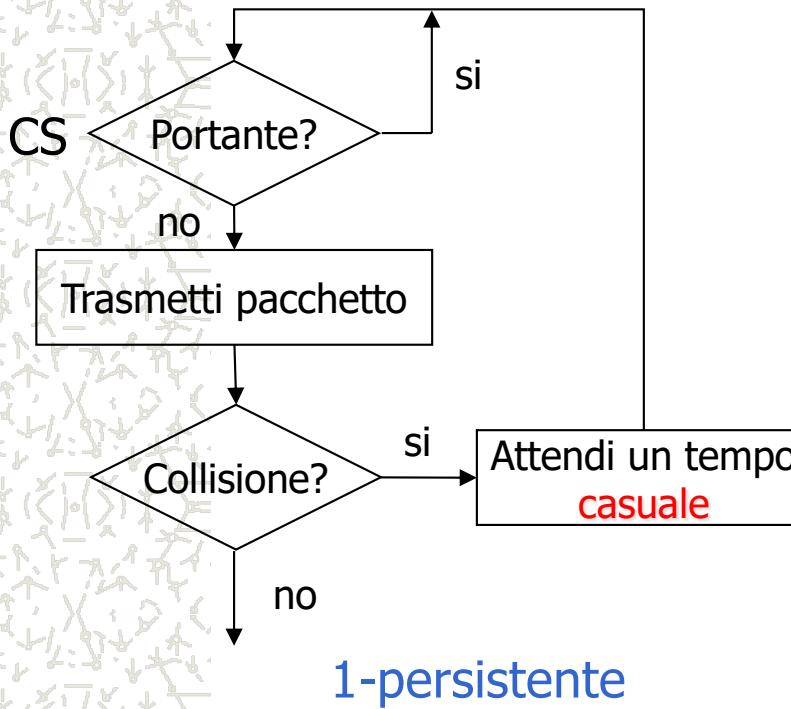
**nota:**

La distanza e il ritardo di propagazione giocano un ruolo importante nel determinare la probabilità di collisione.



**La collisione viene rilevata ascoltando il canale e verificando che il segnale ricevuto corrisponda a quello trasmesso senza interferenze. Basta una minima sovrapposizione dei due pacchetti per farli andare persi.**

# CSMA: persistenza



# CSMA 1-persistente

- Il più semplice di questi protocolli ha il seguente funzionamento:
  - quando un calcolatore ha dati da trasmettere, ascolta il **segnale presente** sul mezzo trasmisivo
    - se trova il canale **libero**, **trasmette** il frame
    - se trova il canale **occupato**, **continua ad ascoltare** fino a che il canale non si libera, e poi trasmette il frame
  - in caso di **collisione**, la stazione aspetta un tempo **casuale** e ripete l'algoritmo
- Il protocollo si chiama **1-persistente** perchè quando trova il canale occupato, resta in ascolto **continuamente**, ed appena il canale si libera trasmette con **probabilità 1** (sempre)

# CSMA 1-persistente (cont.)

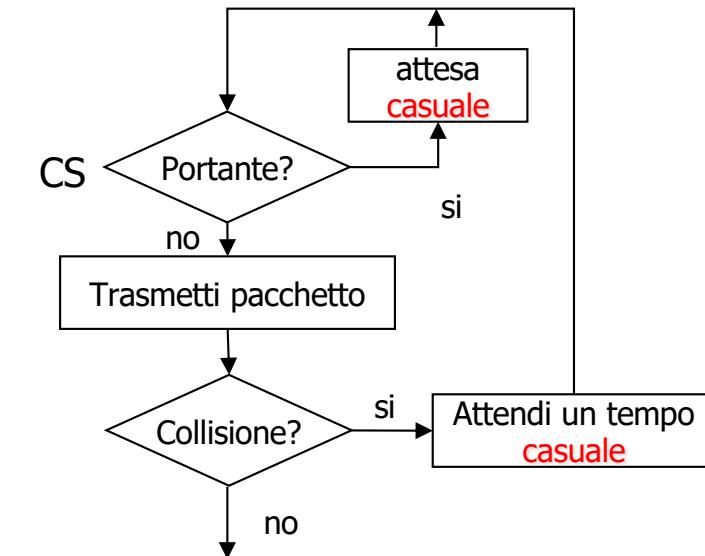
- Con questo protocollo acquista grande importanza il **ritardo di propagazione** del segnale tra due stazioni
  - infatti, quando una stazione **inizia** a trasmettere, una seconda stazione **potrebbe** voler trasmettere, ed ascolta il canale
  - se il segnale trasmesso dalla **prima** stazione non ha ancora avuto **il tempo di propagarsi** fino alla seconda stazione, questa troverà il canale libero e trasmetterà, generando una **collisione**
- **Maggiore è il ritardo di propagazione**, più **numerose** saranno le collisioni dovute alla eventualità sopra descritta
  - nota: questa situazione si presenterà **sempre** ed indipendentemente dal ritardo di propagazione qualora **due stazioni** volessero trasmettere mentre una terza stà trasmettendo: alla fine della trasmissione della terza stazione, le due stazioni in attesa si metteranno **sempre** a trasmettere **contemporaneamente**

# CSMA 1-persistente (cont.)

- Come slotted aloha, questo protocollo **non interferisce** con le trasmissioni già in atto
- A differenza di slotted aloha, questo protocollo **non prevede** di dover attendere la time slot successiva, evitando ad esempio di lasciare **inutilizzata** una slot temporale per il tempo di durata della slot stessa
- Inoltre CSMA 1-persistente **non richiede** la **sincronizzazione** delle stazioni connesse alla rete

# CSMA non persistente

- Si differenzia dal precedente per il fatto che una stazione, quando vuole trasmettere ma trova il canale occupato, non resta ad ascoltare in continuazione, ma attende un tempo casuale e riprova
- Questo meccanismo riduce sensibilmente le collisioni dovute al fatto che due stazioni vogliono trasmettere durante la trasmissione di una terza:
  - ora le stazioni attenderanno generalmente tempi diversi prima di ritentare
  - la prima che ritenta troverà il canale libero e trasmetterà
  - la seconda troverà nuovamente il canale occupato, quindi non interferirà ed aspetterà ancora



- Questo protocollo alza notevolmente l'efficienza di utilizzo del canale con l'aumento del carico, cioè delle stazioni connesse alla rete
- Il problema principale di questo protocollo è che in condizioni di elevato carico il tempo che intercorre tra l'istante in cui la stazione vuole trasmettere e l'istante in cui riesce a trasmettere può crescere enormemente

# CSMA p-persistente

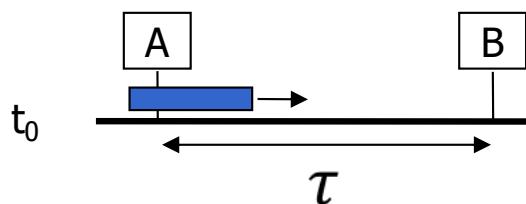
- In questa ultima versione del protocollo a rilevamento della portante, il tempo è suddiviso in slot temporali come nello slotted aloha
- In questo caso, chi desidera trasmettere ascolta il canale continuamente e quando lo trova libero
  - trasmette con probabilità  $p$ , oppure attende la slot successiva con probabilità  $(1-p)$
  - alla slot successiva, se libera, trasmette nuovamente con probabilità  $p$  o aspetta la successiva con probabilità  $1-p$ , e così via
  - in caso di collisione, o se durante i tentativi di trasmissione qualche altra stazione inizia a trasmettere, la stazione attende un tempo casuale e ripete l'algoritmo
- Questo protocollo è una via di mezzo tra il protocollo 1-persistente (a cui tende per  $p$  che tende ad 1) e quello non persistente
- Come nel caso di CSMA non persistente, ad elevato carico e per bassi valori di  $p$  cresce l'efficienza di utilizzo della linea ma cresce il ritardo di trasmissione rispetto all'arrivo dei dati dallo strato di rete
- Per alti valori di  $p$  l'efficienza di utilizzo della linea desce rapidamente con l'aumentare del carico

Il protocollo opera in tre diverse fasi:

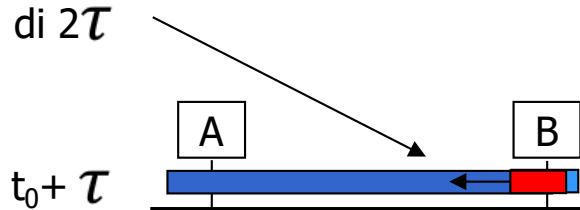
- **carrier sense**: (rilevazione della trasmissione): ogni stazione che deve trasmettere ascolta il bus e decide di trasmettere solo se questo è libero (*listen before talking*);
- **multiple access**: nonostante il carrier sense è possibile che due stazioni, trovando il mezzo trasmisivo libero, decidano contemporaneamente di trasmettere; la probabilità di questo evento è aumentata dal fatto che il tempo di propagazione dei segnali sul cavo non è nullo, e quindi una stazione può credere che il mezzo sia ancora libero anche quando un'altra ha già iniziato la trasmissione;
- **collision detection**: se si verifica la sovrapposizione di due trasmissioni si ha una "collisione"; per rilevarla, ogni stazione, mentre trasmette un pacchetto, ascolta i segnali sul mezzo trasmisivo, confrontandoli con quelli da lei generati (*listen while talking*).

# Ritardi di linea e collisioni

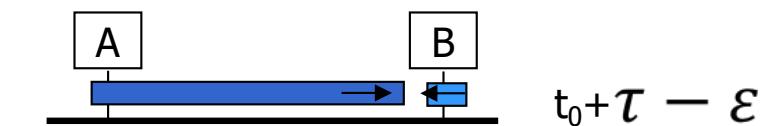
- Sia  $\tau$  il tempo di propagazione fra le stazioni più lontane
- Il tempo massimo per la rilevazione di una collisione è  $2\tau$  slot di contesa)



Il pacchetto deve durare  
più di  $2\tau$



B rileva la collisione e sospende  
la trasmissione. Il disturbo generato  
dalla collisione si propaga verso A



B inizia a trasmettere poco  
prima che l'inizio del pacchetto  
di A arrivi in B

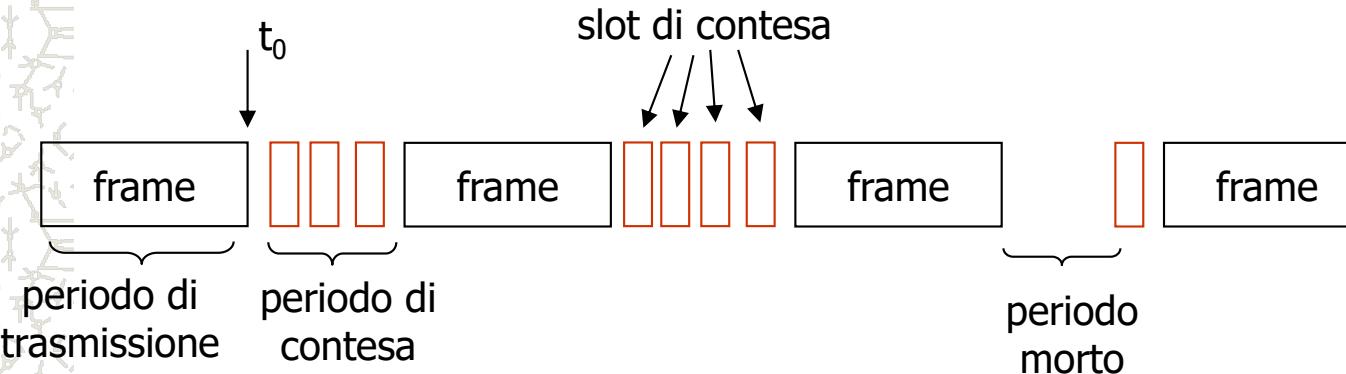


A rileva la collisione e sospende  
la trasmissione.

# CSMA/CD

[Collision Detection]

- Le stazioni bloccano la trasmissione quando rilevano una collisione



- Alla fine di una trasmissione si può avere un periodo di contesa se 2 o più stazioni iniziano a trasmettere
- L'ampiezza di ciascun slot di contesa dipende dal ritardo di propagazione (dalla distanza delle stazioni che trasmettono in contemporanea)
- I periodi morti si hanno quando nessuna stazione ha frame da trasmettere

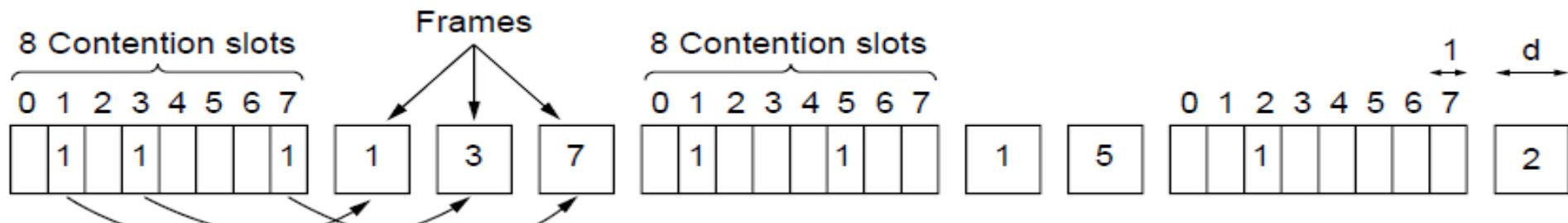
# CSMA/CD: jamming

A seguito di un'avvenuta collisione si intraprendono le seguenti azioni:

- la stazione trasmittente sospende la trasmissione e trasmette una sequenza di *jamming* (interferenza trasmisiva) per comunicare a tutte le stazioni di rilevare l'avvenuta collisione
  - composta da 32 bit per 802.3 ed un numero di bit compreso tra 32 e 48 per Ethernet v.2.0;
- le stazioni in ascolto, riconoscendo il frammento di collisione costituito dalla parte di pacchetto trasmessa più la sequenza di jamming, scartano i bit ricevuti;
- la stazione trasmittente ripete il tentativo di trasmissione dopo un tempo pseudo-casuale per un numero di volte non superiore a 16.

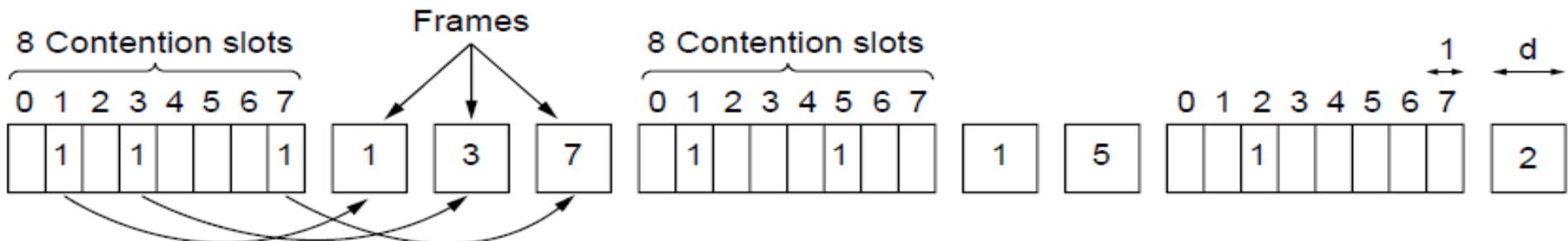
# Protocolli collision free: prenotazione

- Protocollo a mappa di bit elementare:
  - sulla rete ci sono **N stazioni**, numerate da 0 a N-1
  - alla fine della trasmissione di un frame inizia un **periodo di contesa**, in cui ogni stazione, andando per **ordine di indirizzo**, trasmette un bit che vale 1 se la stazione deve trasmettere, 0 altrimenti
  - al termine del periodo di contesa (privo di collisioni in quanto ogni stazione **aspetta il suo turno**) tutti hanno appreso quali stazioni devono trasmettere, e le trasmissioni procedono **un frame alla volta** sempre andando per ordine
  - se una stazione riceve dati da trasmettere quando la fase di prenotazione è **terminata**, deve attendere il **successivo periodo di contesa** per prenotare la propria trasmissione



# Protocolli collision free: prenotazione

- L'efficienza di questo protocollo è bassa per grandi valori di N e basso carico trasmissivo;
  - in queste condizioni una stazione deve attendere tutti gli N bit delle altre stazioni (delle quali la maggior parte o la totalita' non desidera trasmettere) prima di poter trasmettere
- In condizioni di carico elevato l'overhead dovuto agli N bit di prenotazione si distribuisce sui  $\sim N$  frame da trasmettere, riducendo l'inefficienza complessiva del protocollo



# Protocolli collision free: prenotazione

- Efficienza di canale = (carico informativo) / (carico complessivo)
- Carico informativo ( $d$ ) = il numero di bit trasmessi con un frame
- Carico complessivo =  $(d + N)$ , con  $N$  numero di stazioni (carico)
  - Con  $N$  stazioni la contention slot è lunga  $N$  bit

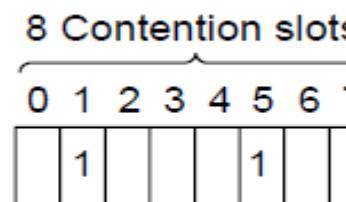
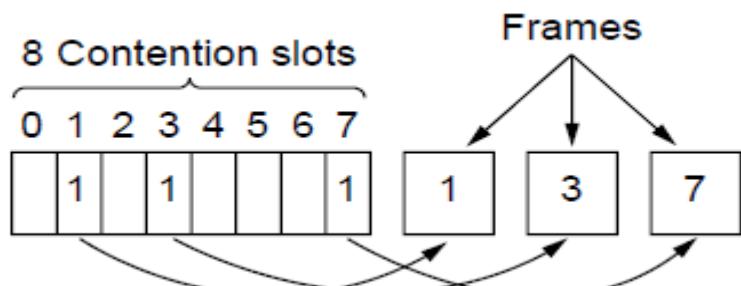
$$\text{Eff. Canale} = d / (d + N)$$

$$d / (d + N)$$

Basso carico  
(Es.: 1 frame trasmesso di  $d$  bit)

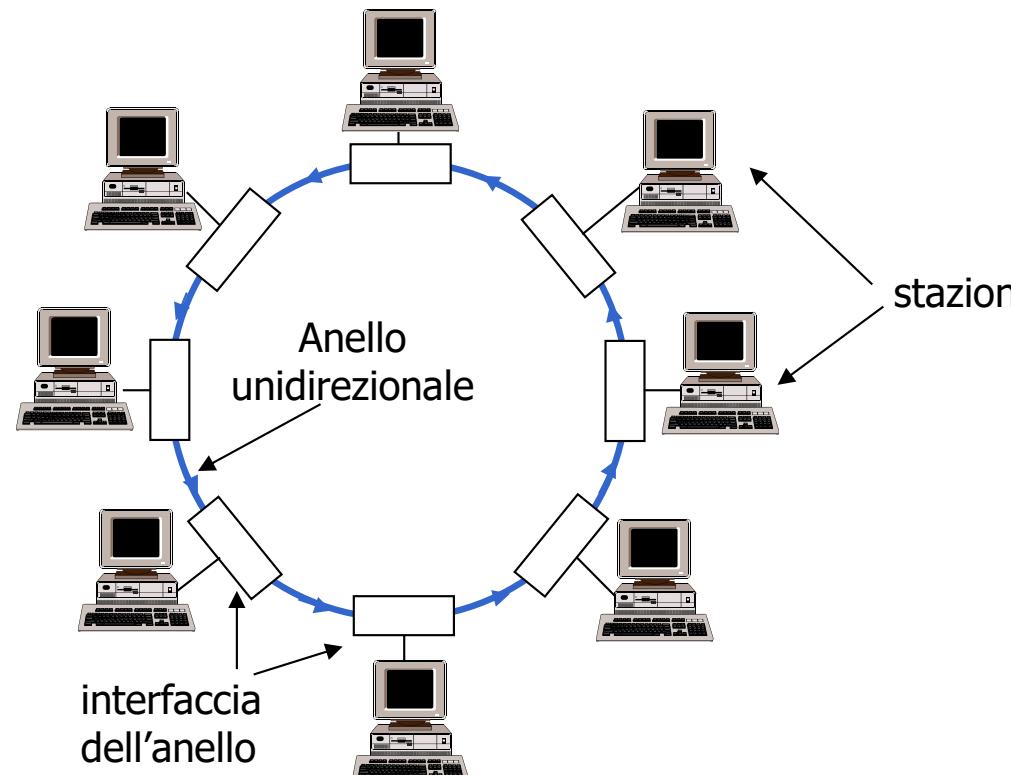
$$N \cdot d / (N \cdot d + N)$$

Alto carico  
(Tutte le staz. trasmettono)



# Protocolli Collision-free: Token Ring

Non utilizza un mezzo broadcast ma un insieme di collegamenti punto-punto associati in successione per realizzare una topologia ad anello



# Protocolli Collision-free: Token Ring

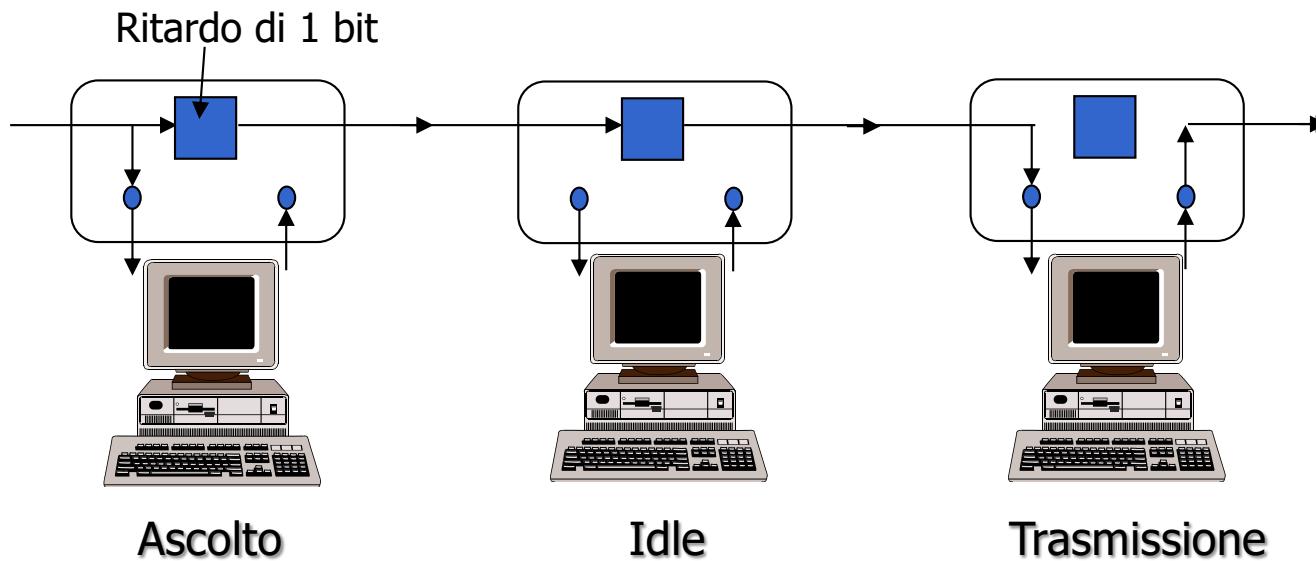
- Token ring (standard IEEE 802.5)
  - questo protocollo prevede l'utilizzo di una topologia ad **anello**
  - sull'anello circola un piccolo frame, detto **token** (gettone) che le stazioni ricevono da una parte e **ritrasmettono** dall'altra in continuazione
  - una stazione è **autorizzata** a trasmettere dati solo quando è **in possesso** del token
    - la stazione riceve il token, lo trattiene ed inizia a trasmettere dati
    - **terminata** la trasmissione, **ritrasmette il token** in coda ai frame di dati
  - esistono specifiche a 4 e 16 Mbps
- Esiste una versione **modificata** del token ring standardizzata per trasmissione su **doppio anello in fibra ottica**, detto FDDI (**Fiber Distributed Data Interface**) a 100 Mbps
- L'IEEE ha sviluppato uno standard molto simile, dedicato alle **topologie a bus** (token bus: IEEE 802.4)
  - in questo protocollo il problema aggiuntivo è determinato dalla necessità di **configurare un ordine sequenziale** delle stazioni, che viene fatto in una fase di **inizializzazione** del protocollo

# Interfaccia Token Ring

Ogni bit che raggiunge l'interfaccia è copiato in un buffer di 1 bit

Il bit viene ritrasmesso sull'anello dopo un'eventuale controllo ([ascolto](#)) o modifica ([trasmissione](#))

Si ha un ritardo di 1 bit per ogni interfaccia

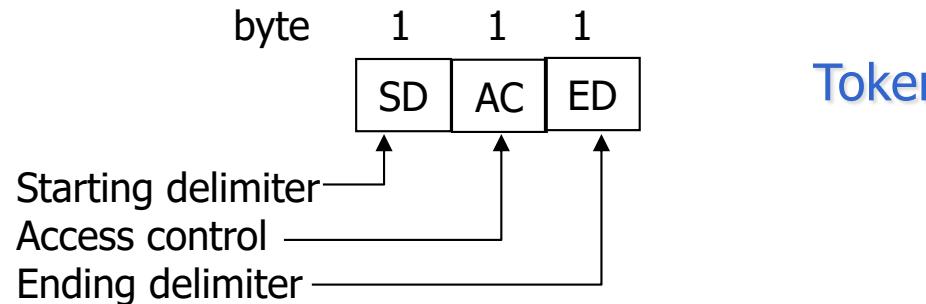


# Il Token

Il token è una sequenza particolare di bit che circola sull'anello quando tutte le stazioni sono inattive.

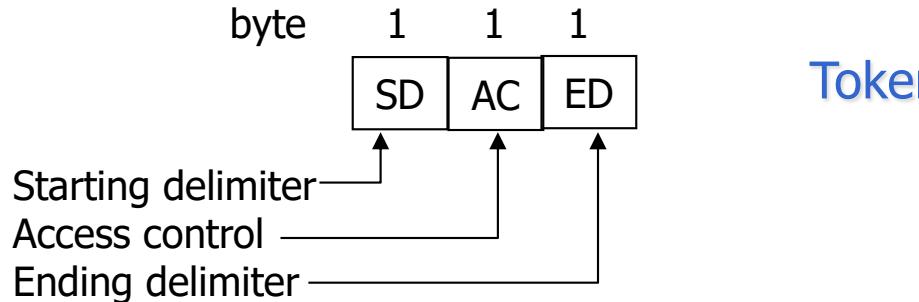
Quando una stazione vuole trasmettere, si impossessa del token e lo rimuove dall'anello.

Una sola stazione può trasmettere (quella che possiede il token)



Il token è acquisito semplicemente cambiando un bit nel byte Access Control

# II Token



Starting Delimiter (SD)

J	K	0	J	K	0	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---

J = non-data J  
K = non-data K  
0 = valore del bit

Ending Delimiter (ED)

J	K	1	J	K	1	I	E
---	---	---	---	---	---	---	---

J = non-data J  
K = non-data K  
1 = valore del bit  
I = intermediate frame bit  
E = error detected bit

Access control (AC)

P	P	P	T	M	R	R	R
---	---	---	---	---	---	---	---

PPP = priority bit  
T = token bit  
M = monitor bit  
RRR = reservation bit

I byte di start e end hanno dei bit che corrispondono a violazioni della codifica Manchester differenziale (J,K)

Il token bit (in AC) assume valore 0 nel caso del token e valore 1 nel caso di un pacchetto

# Il pacchetto

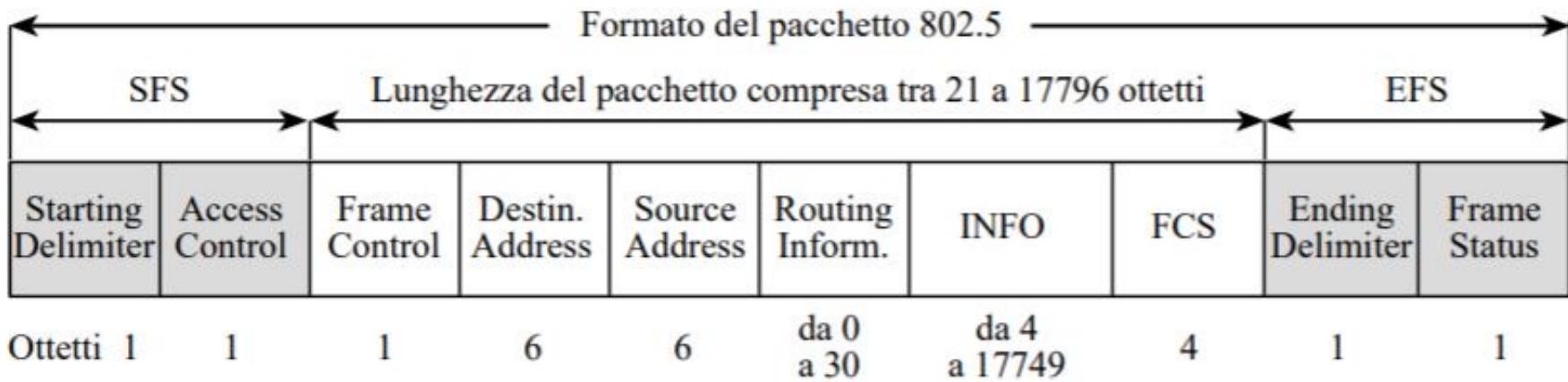
Il token bit (in AC) assume valore 0 nel caso del token e valore 1 nel caso di un pacchetto.

Il pacchetto è delimitato da due sequenze:

- SFS (Start of Frame Sequence), indica l'inizio del pacchetto
- EFS (End of Frame Sequence) , indica la fine del pacchetto

Il pacchetto vero e proprio inizia dopo la SFS.

- INFO contiene i dati da inviare.
- DA e SA sono rispettivamente il Destination ed il Source Address
- FCS contiene il CRC
- FC definisce il contenuto del pacchetto
- RI contiene le informazioni d'instradamento per una WAN



# Esempio di funzionamento

**Es. "A" vuole inviare un'immagine al nodo "E"**

- "A" sovrascrive il token, inserendo la propria "priorità" di invio all'interno di AC
- Il token gira tra tutti i nodi e torna ad A
- Se la priorità di A risulta essere superiore a quella inserita dagli altri, allora A è autorizzato a trasmettere.
- A sovrascrive il token, che diventa un pacchetto, inserendo DA, SA, ... Dati.
- Il pacchetto gira sull'anello fino ad arrivare a destinazione.
- I nodi con indirizzo diverso da DA reinviano il pacchetto al nodo successivo.
- Il nodo con indirizzo DA cattura il pacchetto, preleva i dati e sovrascrive il token con un «riscontro di avvenuta consegna»
- In DA inserisce SA ed invia il pacchetto.
- Il pacchetto girando sull'anello arriva ad A che riceve il riscontro.
- A ripristina il token

# La lunghezza dell'Anello

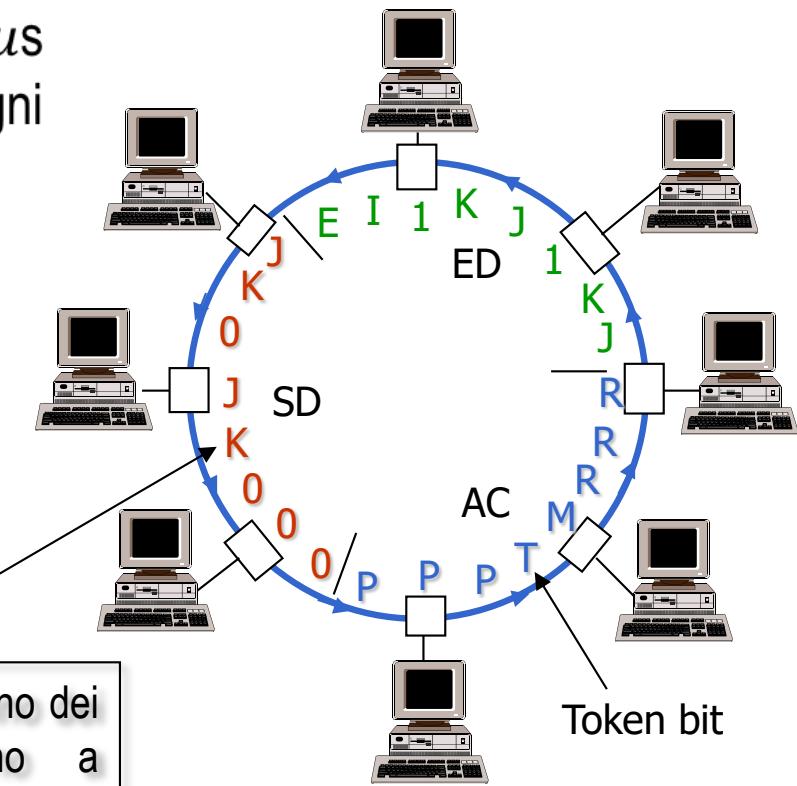
L'anello deve avere un ritardo sufficiente per contenere un token completo circolante quando tutte le stazioni sono inattive

La velocità di propagazione tipica è di  $200\text{m}/\mu\text{s}$   
Se la velocità di trasmissione è di  $R \text{ Mbps}$ , ogni bit occupa  $200/R \text{ m}$

## AC (Access Control)

- P: Priority bit. Priorità attuale
- T: Segnala il tipo di Token (dati o token)
- M: usato dalla stazione Monitor per verificare se il token è orfano (senza mittente o destinatario)
- R: Reservation bit (bit di prenotazione). Priorità richiesta.

I byte di start e end hanno dei bit che corrispondono a violazioni della codifica Manchester differenziale (J,K)



# Protocollo token ring: efficienza

- Il protocollo token ring (come tutti quelli a turno) è **poco efficiente** in condizioni di **basso carico**
  - la stazione che deve trasmettere deve attendere di **ricevere il token** (o in generale deve attendere il suo turno) prima di poterlo fare, anche se il canale non è occupato
- In condizioni di **carico elevato**, quando tutti vogliono trasmettere, l'efficienza del protocollo sfiora l'unità
  - il solo overhead è dovuto alla necessità che ha una stazione di **identificare** il token prima di poter trasmettere
  - in questi protocolli il token è scelto in **modo opportuno** per minimizzare l'overhead
- Una importante caratteristica di questo genere di protocolli è la possibilità di valutare un tempo **massimo di ritardo** per le trasmissioni
  - una stazione che desidera trasmettere dovrà attendere **al più N tempi** di trasmissione (uno per stazione, nel caso tutti debbano trasmettere) prima che **tocchi nuovamente ad essa**
  - questo permette l'utilizzo del protocollo in situazioni in cui i tempi di risposta possono essere **determinanti** (ad esempio una catena di montaggio)

# **Reti di Calcolatori**

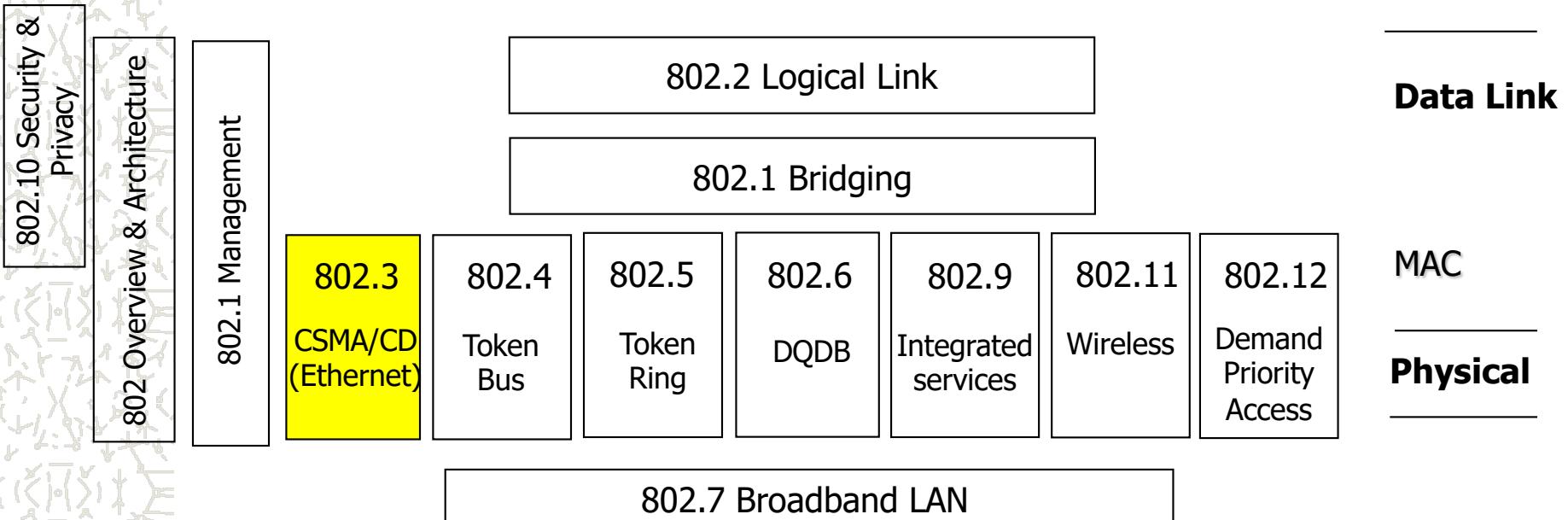
**La Rete Ethernet**



# Standard IEEE 802

Il progetto IEEE 802 definisce un insieme di standard per le LAN e le MAN, relativamente ai livelli data link e fisico.

- Standard LAN che includono CSMA/CD, token ring
- I vari standard hanno differenze al livello fisico e MAC ma compatibilità al livello data link
- <http://standards.ieee.org/getieee802/>



# Il progetto IEEE 802

Quando le prime LAN cominciarono a diffondersi (ARC, Ethernet, Token Ring, ecc.), l'IEEE decise di costituire sei comitati per studiare il problema della standardizzazione delle LAN e delle MAN, complessivamente raccolti nel progetto IEEE 802.

Tali comitati sono:

- 802.1 Overview, Architecture, Bridging and Management;
- 802.2 Logical Link Control;
- 802.3 CSMA/CD (*Carrier Sense, Multiple Access with Collision Detection*);
- 802.4 Token Bus;
- 802.5 Token Ring;
- 802.6 Metropolitan Area Networks - DQDB (Distributed Queue, Dual Bus).

# Il progetto IEEE 802

A tali comitati in seguito se ne sono aggiunti altri tra cui:

- 802.3u 100BaseT;
- 802.3z 1000baseX
- 802.3ae 10GbaseX
- 802.7 Broadband technical advisory group;
- 802.8 Fiber-optic technical advisory group;
- 802.9 Integrated data and voice networks;
- 802.10 Network security;
- 802.11 Wireless LAN networking;
- 802.16 WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access);

Il lavoro di tali comitati procede in armonia con il modello di riferimento OSI, e la relazione esistente tra il progetto OSI, il progetto IEEE 802 e lo standard EIA/TIA

# IEEE 802.1

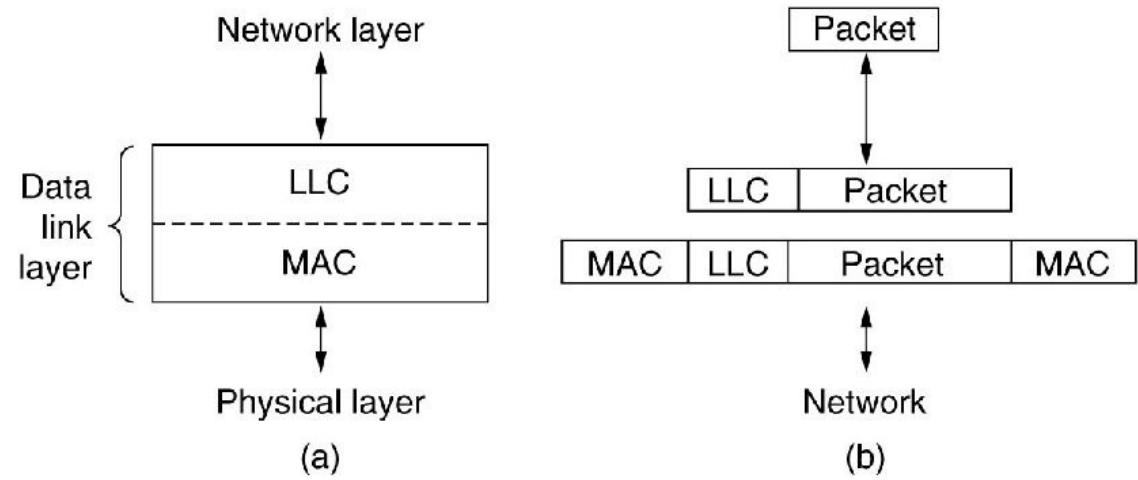
- È lo standard contenente le specifiche generali del progetto 802;
- esso è composto da molte parti, tra cui:
  - *802.1 Part A* (Overview and Architecture);
  - *802.1 Part B* (Addressing Internetworking and Network Management);
  - *802.1 Part D* (MAC Bridges).

# MAC ed LLC

- IEEE 802 introduce l'idea che le LAN e le MAN devono fornire un'interfaccia unificata verso il livello Network (livello rete), pur utilizzando tecnologie trasmissive differenziate.
- Per ottenere tale risultato, il progetto IEEE 802 suddivide il livello Data Link in due sottolivelli:
  - LLC (*Logical Link Control*);
  - MAC (*Media Access Control*).

# MAC ed LLC

- Il LLC è l'interfaccia unificata verso il livello rete, comune a tutte le LAN
- Il MAC è peculiare di ciascuna LAN, così come il livello fisico
- Lo strato di rete passa i suoi dati al LLC, che aggiunge un suo header con le informazioni di numerazione del frame, riscontro etc.
- Il LLC passa al MAC il campo dati che il MAC gestisce con le sue specifiche
- In ricezione il MAC recapita il frame al LLC che rimuove l'header e passa i dati allo strato di rete
- La funzione principale del LLC definito da IEEE è di mascherare allo strato di rete le **specifiche** dei protocolli **802** utilizzati a livello di MAC, in modo da offrire allo strato superiore una **interfaccia uniforme**



- **LLC (Logical Link Control);**
- **MAC (Media Access Control).**

# MAC

- Il sottolivello MAC è specifico di ogni LAN e risolve il problema della condivisione del mezzo trasmittivo.
- Esistono vari tipi di MAC, basati su principi diversi, quali la contesa, il token, la prenotazione e il round-robin.
- Il MAC è indispensabile in quanto a livello 2 (Data Link) le LAN implementano sempre una sottorete trasmittiva di tipo broadcast in cui ogni sistema riceve tutti i frame inviati dagli altri.

# MAC

Trasmettere in broadcast, cioè far condividere un unico canale trasmittivo a tutti i sistemi, implica la soluzione di due problemi:

- **in trasmissione**, verificare che il canale sia libero prima di trasmettere e risolvere eventuali conflitti di più sistemi che vogliono utilizzare contemporaneamente il canale;
- **in ricezione**, determinare a quali sistemi è effettivamente destinato il messaggio e quale sistema lo ha generato.

# MAC

- La soluzione del primo problema è data dai vari algoritmi di MAC che, per poter soddisfare il requisito "apparecchiature indipendenti", devono essere algoritmi distribuiti su vari sistemi e non necessitare di un sistema master.
- La soluzione del secondo problema implica la presenza di indirizzi a livello MAC (quindi nella MAC-PDU) che trasformino trasmissioni broadcast in:
  - trasmissioni punto-a-punto, se l'indirizzo di destinazione indica un singolo sistema;
  - trasmissioni punto-gruppo, se l'indirizzo di destinazione indica un gruppo di sistemi;
  - trasmissioni effettivamente broadcast, se l'indirizzo di destinazione indica tutti i sistemi.

# Indirizzi MAC

- L'Indirizzo MAC è anche noto come indirizzo LAN o fisico o Ethernet
- Univoco nel mondo: ha una struttura orizzontale e non varia a seconda del luogo in cui la persona si trasferisce.
- Indirizzo a 48 bit (per la maggior parte delle LAN)
  - Rappresentato tipicamente in esadecimale in due modi:
  - Sestetto separato da «:»: OC:00:1B:F1:18:01
  - Terzina puntata: 0c00.1bf1.1801
- Assegnazione gerarchica dello spazio di indirizzamento ai produttori di NIC
- Dalla sua univocità dipende il funzionamento di meccanismi MAC

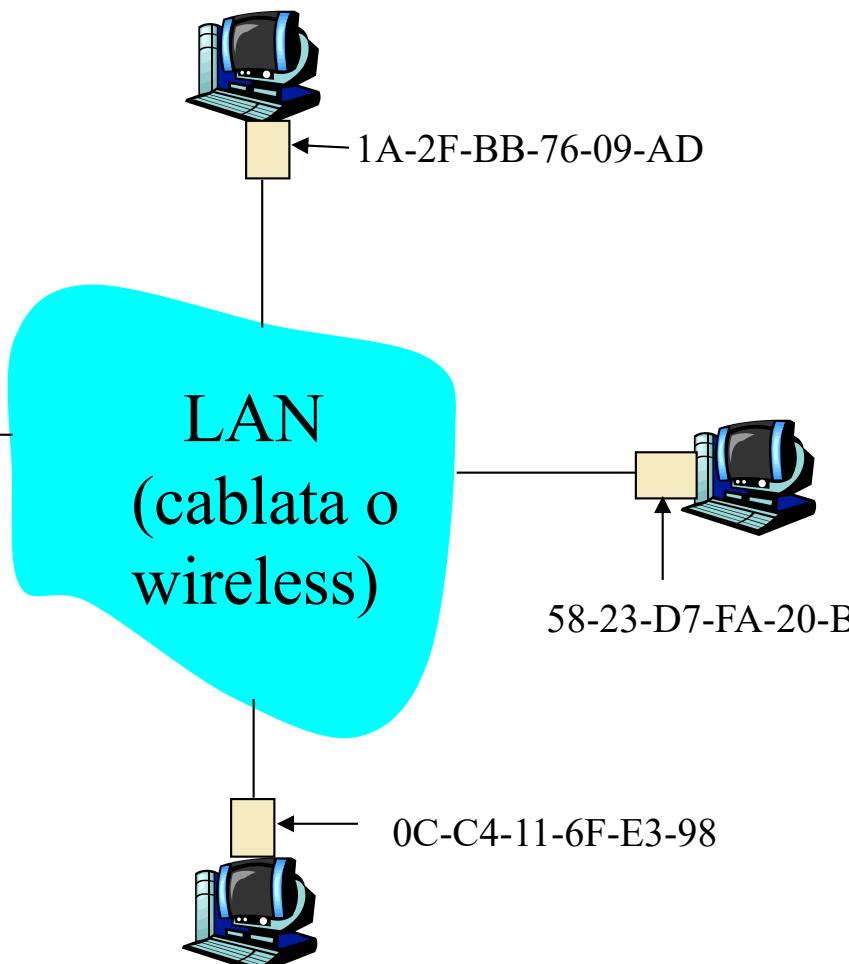


# Indirizzi MAC e ARP

- Indirizzo IP a 32 bit:
  - Indirizzo a *livello di rete*.
  - Analogico all'indirizzo postale di una persona: hanno una struttura gerarchica e devono esser aggiornati quando una persona cambia residenza.
- Indirizzo MAC (o LAN o fisico o Ethernet):
  - Analogico al numero di codice fiscale di una persona: ha una struttura orizzontale e non varia a seconda del luogo in cui la persona si trasferisce.
  - Indirizzo a 48 bit (per la maggior parte delle LAN) .

# Indirizzi LAN e ARP

Ciascun adattatore di una LAN ha un indirizzo LAN univoco .



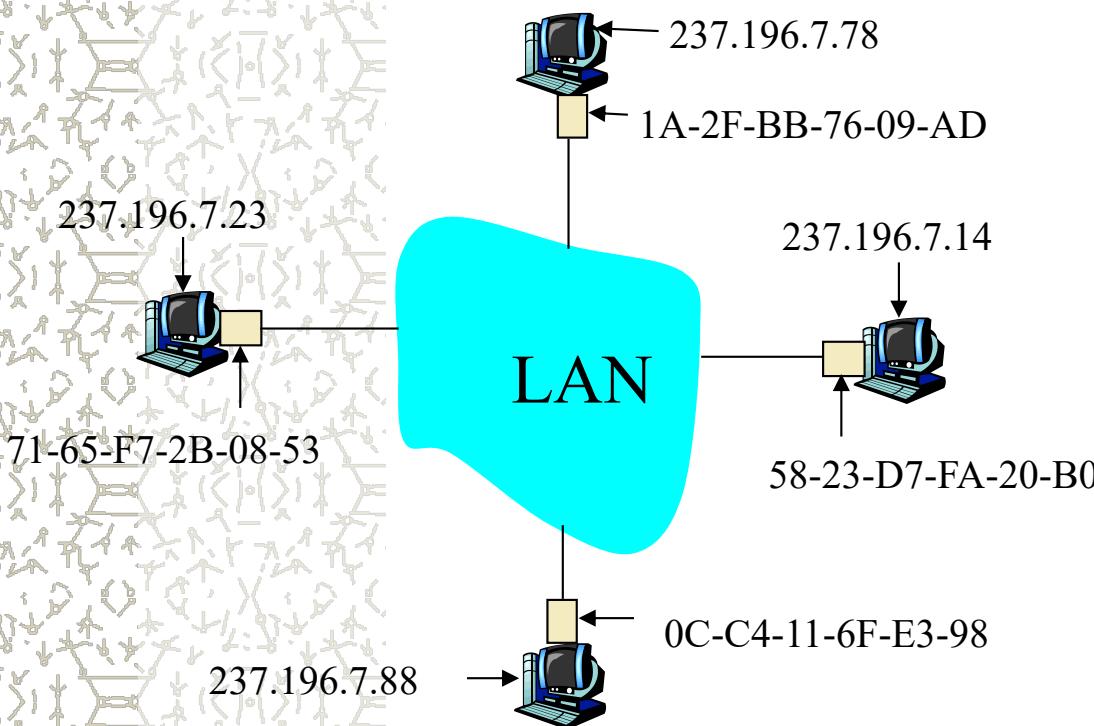
Indirizzo broadcast =  
FF-FF-FF-FF-FF-FF

■ = adattatore

# Protocollo per la risoluzione degli indirizzi (ARP)

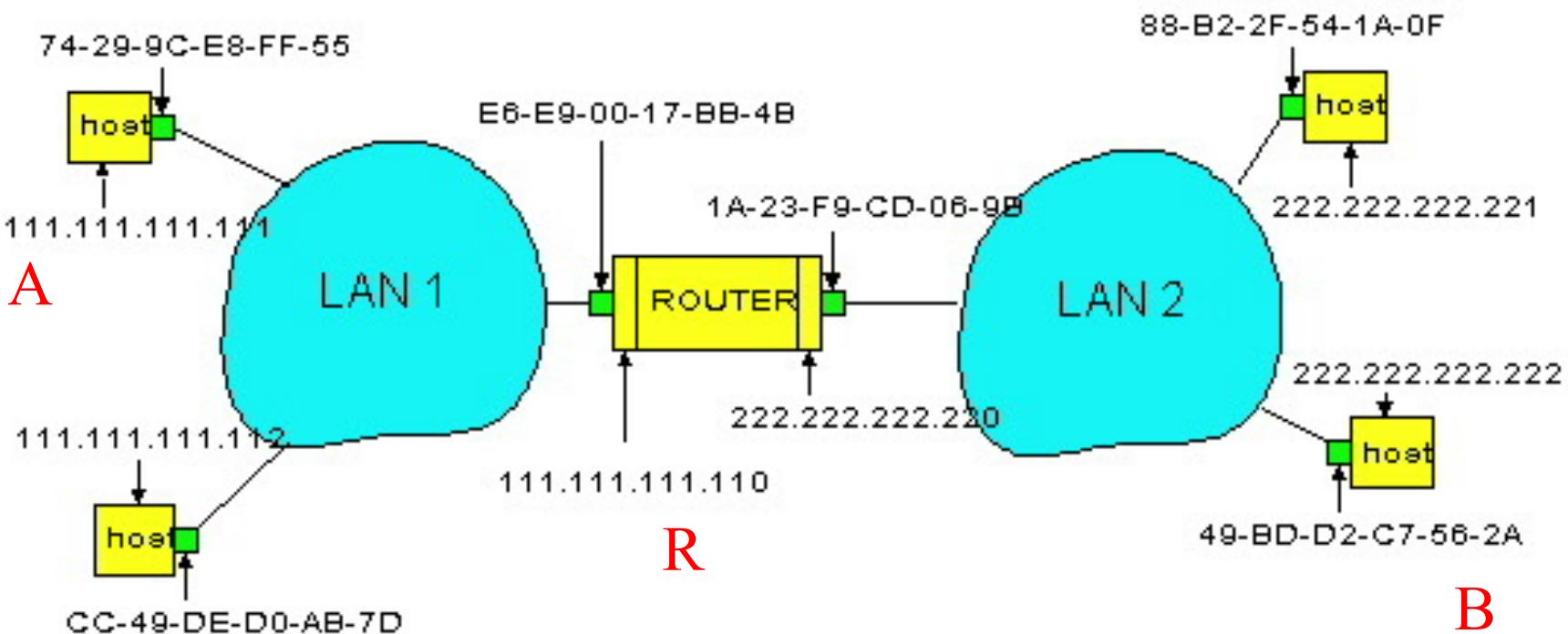
Domanda: come si determina l'indirizzo MAC di B se si conosce solo l'indirizzo IP di B?

- Ogni nodo IP (host, router) nella LAN ha una **tabella ARP**.
- Tabella ARP: contiene la corrispondenza tra indirizzi IP e MAC.
  - TTL (tempo di vita): valore che indica quando bisognerà eliminare una data voce nella tabella (il tempo di vita tipico è di 20 min).



# Invio verso un nodo esterno alla sottorete

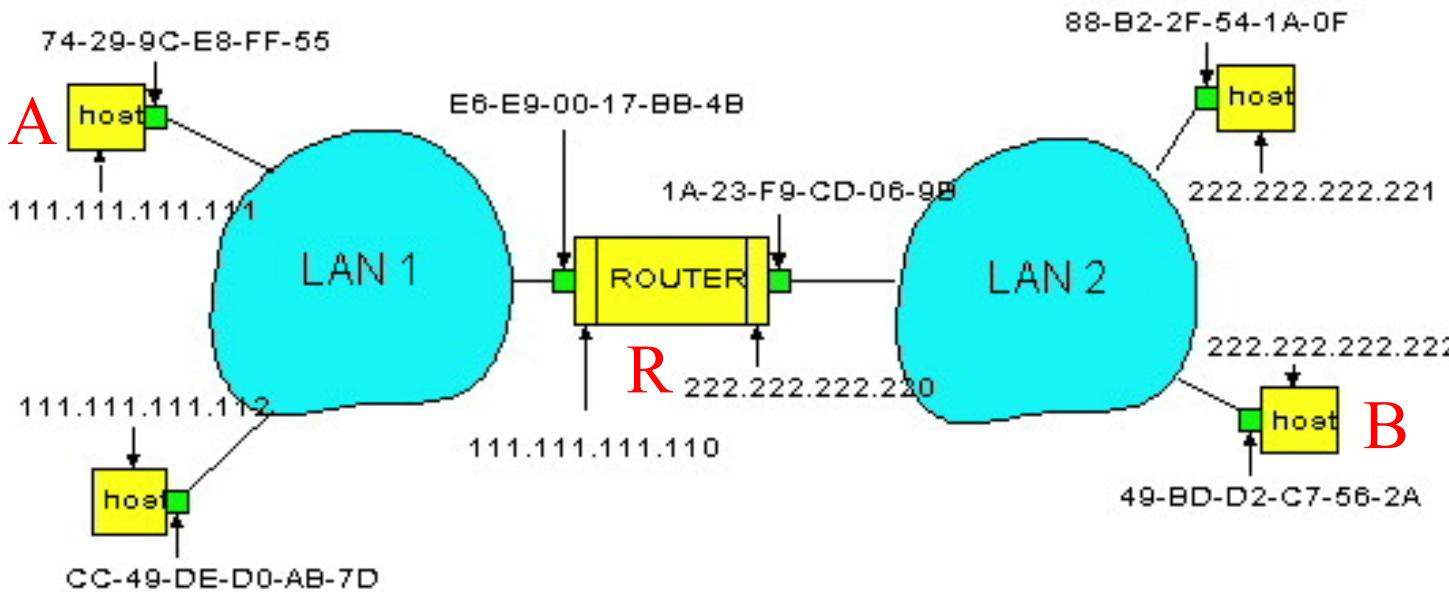
Invio di un datagramma da A a B attraverso R, ipotizzando che A conosca l'indirizzo IP di B.



- Due tabelle ARP nel router R, una per ciascuna rete IP (LAN).

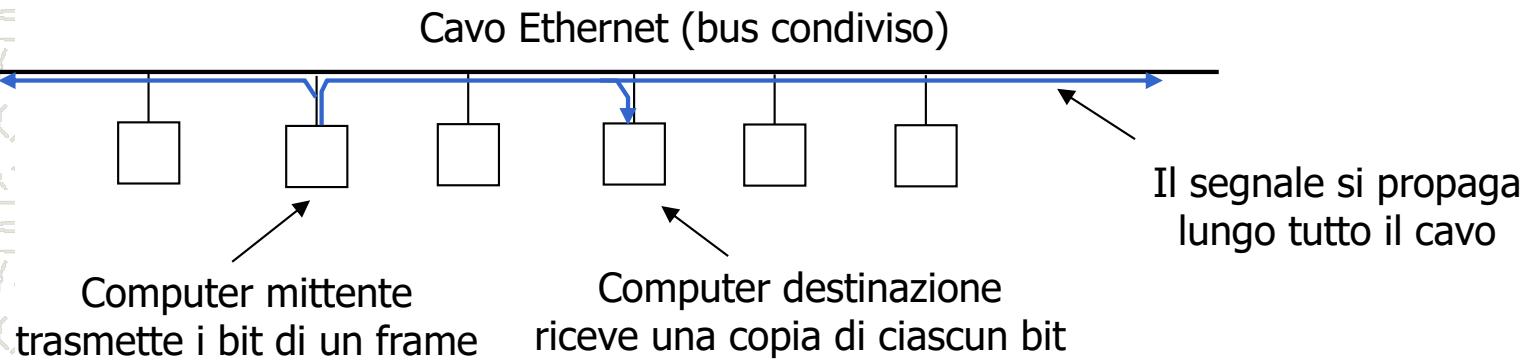
# Invio verso un nodo esterno alla sottorete

- A crea un datagramma con origine A, e destinazione B.
- A usa ARP per ottenere l'indirizzo MAC di R.
- A crea un collegamento a livello di rete con l'indirizzo MAC di destinazione di R, il frame contiene il datagramma IP da A a B.
- L'adattatore di A invia il datagramma.
- L'adattatore di R riceve il datagramma.
- R rimuove il datagramma IP dal frame Ethernet, e vede che la sua destinazione è B.
- R usa ARP per ottenere l'indirizzo MAC di B.
- R crea un frame contenente il datagramma IP da A a B IP e lo invia a B.



# IEEE 802.3 e Ethernet

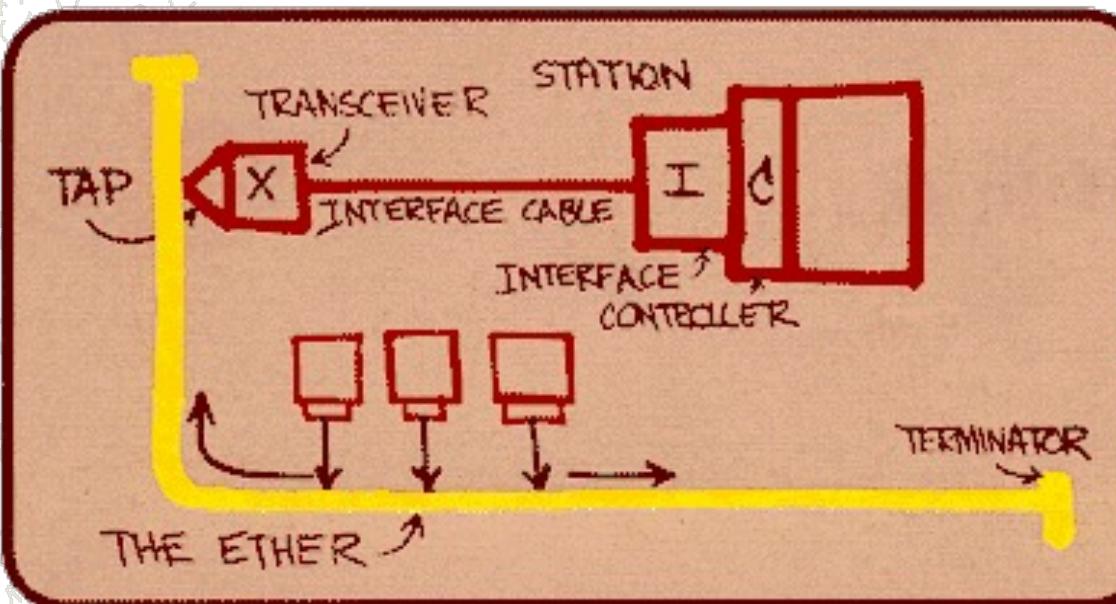
- Standard per una LAN CSMA/CD 1-persistente (fino a 100Mbps)
- Ethernet è un prodotto che implementa (più o meno) IEEE 802.3



# Ethernet

Detiene una posizione dominante nel mercato delle LAN cablate.

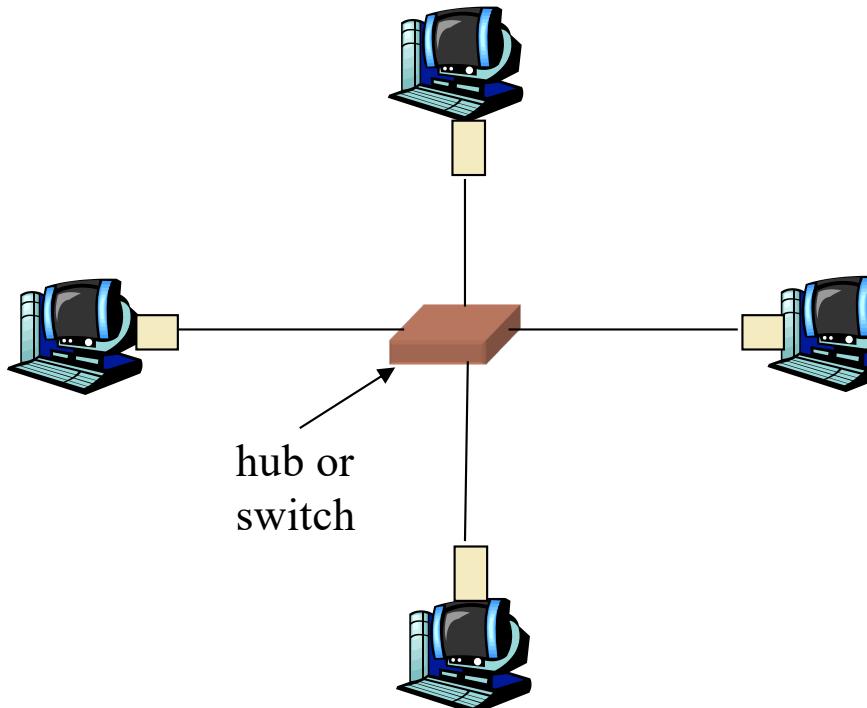
- È stata la prima LAN ad alta velocità con vasta diffusione.
- Più semplice e meno costosa di token ring, FDDI e ATM.
- Sempre al passo dei tempi con il tasso trasmittivo.



Il progetto originale  
di Bob Metcalfe  
che portò allo  
standard Ethernet.

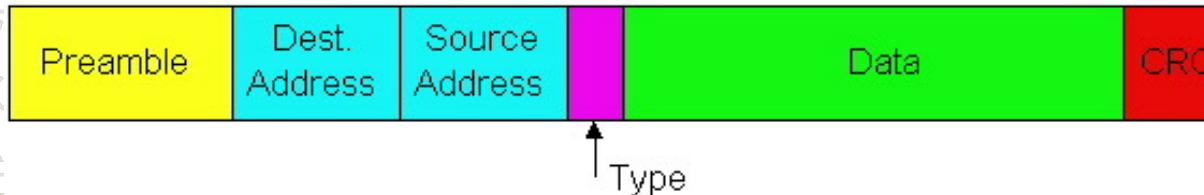
# Topologia a stella

- La topologia a bus era diffusa fino alla metà degli anni 90.
- Quasi tutte le odierne reti Ethernet sono progettate con topologia a stella.
- Al centro della stella è collocato un hub o commutatore (*switch*).



# Struttura dei pacchetti Ethernet

L'adattatore trasmittente incapsula i datagrammi IP in un **pacchetto Ethernet**.

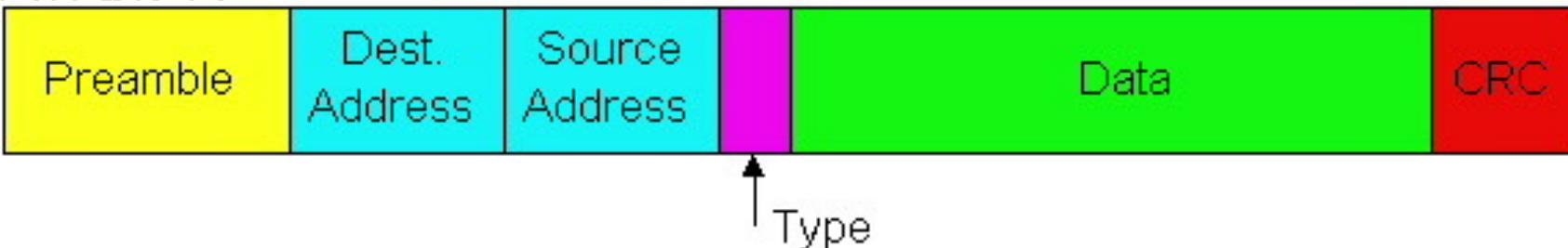


## Preambolo:

- I pacchetti Ethernet iniziano con un campo di otto byte: sette hanno i bit 10101010 e l'ultimo è 10101011.
- Servono per “attivare” gli adattatori dei riceventi e sincronizzare i loro orologi con quello del trasmittente.

# Struttura dei pacchetti Ethernet

- **Indirizzo di destinazione:** 6 byte
  - Quando un adattatore riceve un pacchetto contenente l'indirizzo di destinazione o con l'indirizzo broadcast (es.: un pacchetto ARP), trasferisce il contenuto del campo dati del pacchetto al livello di rete.
  - I pacchetti con altri indirizzi MAC vengono ignorati.
- **Campo tipo:** consente a Ethernet di supportare vari protocolli di rete (in gergo questa è la funzione di “multiplexare” i protocolli).
- **Controllo CRC:** consente all'adattatore ricevente di rilevare la presenza di un errore nei bit del pacchetto.



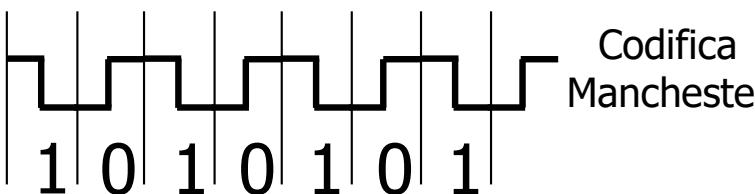
# Formato del frame IEEE 802.3

## Preambolo (7 byte)

Vengono trasmessi 7 byte 10101010

Produce un'onda quadra a 10MHz per  $5.6 \mu s$   
(56 bit  $\times 0.1 \mu s/\text{bit}$ )

Permette la sincronizzazione del clock del  
mittente e del ricevente



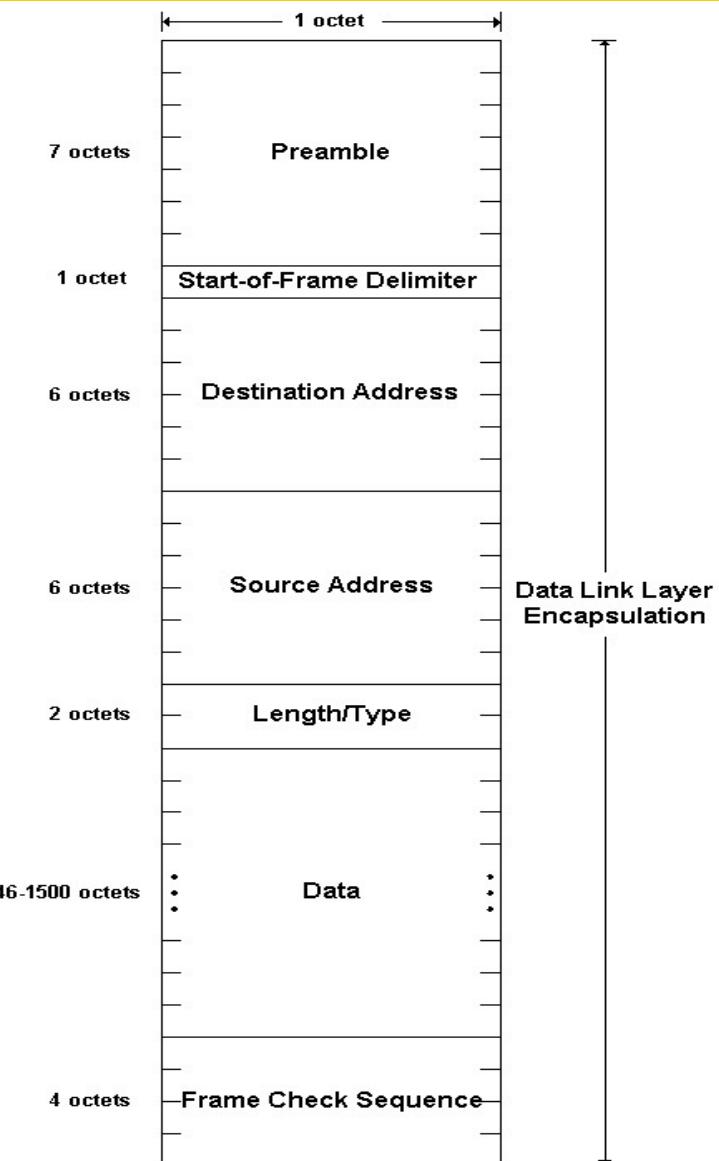
## Start of frame (1 byte)

Vale 10101011

Indica l'inizio del pacchetto

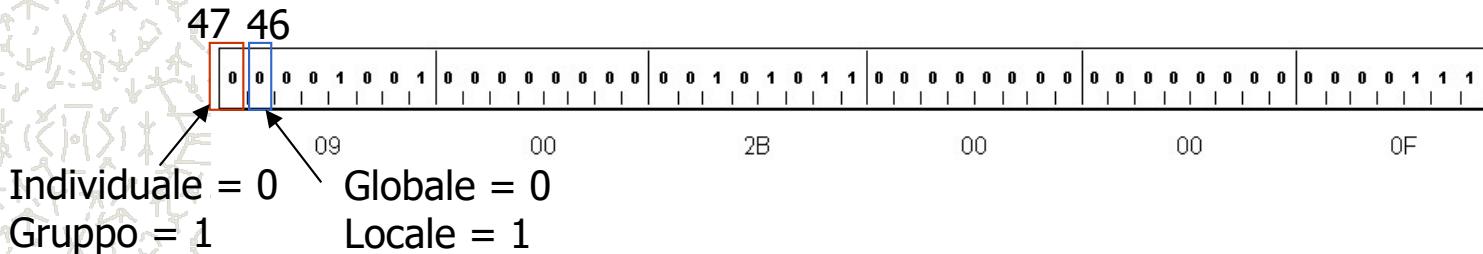
## Indirizzi

Seguono due campi di indirizzo relativi alla destinazione ed alla sorgente del  
frame costituiti da 2 blocchi da 6 byte



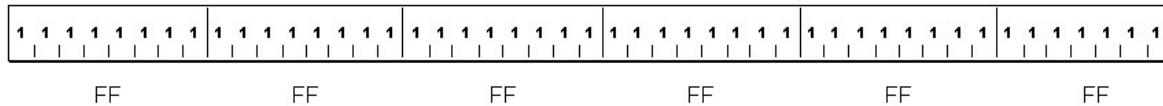
# Indirizzamento Ethernet

- Gli indirizzi sono rappresentati su 6 byte (48 bit)
- Il frame contiene l'indirizzo del mittente e del destinatario



Il bit IG (bit 47) definisce se il frame è indirizzato ad una singola stazione (**unicast**) o a un gruppo di stazioni (**multicast**)

Un indirizzo composto da tutti 1 è riservato per il **broadcast** (il frame è ricevuto da tutte le stazioni)



# Indirizzi Ethernet

**Il bit 46 distingue gli indirizzi locali da quelli globali**

**Gli indirizzi globali sono assegnati dalla IEEE per assicurare l'unicità degli indirizzi**

- Tutte le stazioni vedono il frame e lo accettano se l'indirizzo destinazione è compatibile con quello a loro assegnato
- Se la trasmissione è unicast solo la stazione con l'indirizzo specificato nel campo destinazione del frame accetta il pacchetto. Le altre stazioni lo scartano
- Il riconoscimento dell'indirizzo è a livello hardware
- Se l'interfaccia è configurata in modo promiscuo, accetta tutti i pacchetti (snoop di rete)

# Campo di tipo

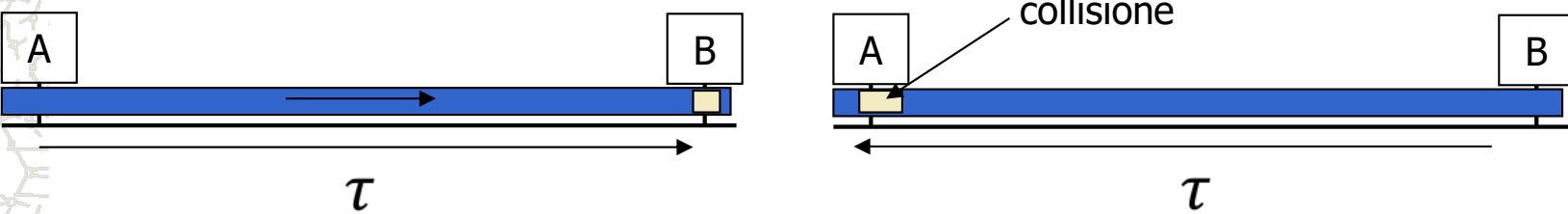
- Segue un campo di **2 byte** che serve ad indicare al ricevente cosa deve fare del frame ricevuto
  - generalmente il livello 2 viene utilizzato da **più protocolli** dello strato di rete simultaneamente
  - il campo type indica al ricevente **a quale processo** deve essere recapitato il frame

# Campo dati e riempimento

- Il **campo dati** trasporta le **informazioni** del protocollo di livello 3 ed ha dimensione **variabile**, con un **limite superiore**
- La sua dimensione massima è di **1500 byte**, e fa sì che la lunghezza massima del frame Ethernet sia 1518 byte (preamble escluso)
  - il valore massimo è determinato dal fatto che il transceiver deve **ospitare** l'intero frame **in RAM**, ed al momento della definizione dello standard la RAM era più costosa di oggi
- Lo standard prevede che un frame Ethernet non possa essere **inferiore** a **64 byte**
- In caso di necessità il campo dati è seguito da un campo di **riempimento** costituito da tutti 0 per fare in modo che la somma **dati+riempimento** sia di **almeno 46 byte**
  - è compito dei livelli superiori forzare il campo dati ad essere almeno di 46 byte, od introdurre un **indicatore di lunghezza** per discriminare i dati dal riempimento

# Lunghezza del frame

- Un frame valido deve essere lungo almeno 64 byte
- Se si tolgono i 6+6 riservati agli indirizzi, i 2 per il campo length e i 4 del checksum, il campo dati deve avere almeno 46 byte (eventuale padding)
- La lunghezza minima di un pacchetto deve garantire che la trasmissione non termini prima che il primo bit abbia raggiunto l'estremità più lontana e sia tornata indietro una eventuale collisione (per rilevare la collisione)



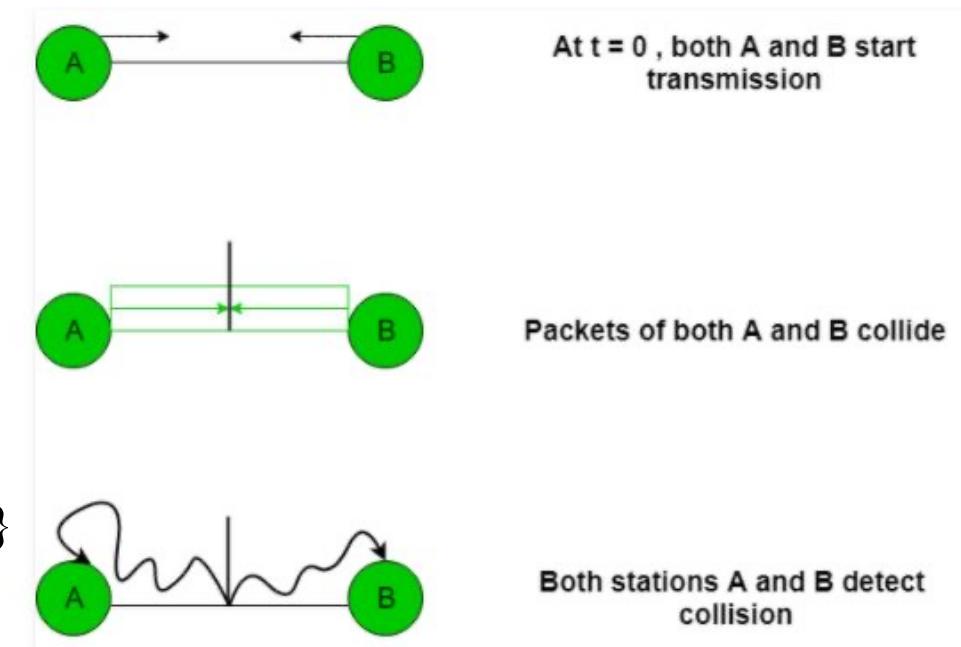
Per una LAN a 10 Mbps di 2.5 Km con 4 ripetitori un pacchetto deve durare almeno  $51.2 \mu\text{s}$  (64 byte)

# Exponential Back-off

È l'algoritmo usato dal CSMA/CD Ethernet per calcolare il tempo di attesa dopo una collisione.

- Dopo una collisione, il tempo è diviso in slots di durata  $T_{\text{slot}} = 2\tau$
- A e B scelgono un numero casuale da  $K = \{0, 1\}$ .  $K \equiv$  finestra di contesa, e aspettano un numero di time slots pari al numero scelto prima di trasmettere
- Se avviene una nuova collisione, perché hanno scelto lo stesso numero, allora la finestra si raddoppia e diventa  $K = \{0, 1, 2, 3\}$
- A e B scelgono un numero dall'insieme K e aspettano un numero di time slots pari al numero scelto prima di iniziare ad ascoltare il canale e trasmettere se libero.

L'host che ha scelto il numero più piccolo trasmette per primo



$\tau$ : massimo ritardo di propagazione tra A e B

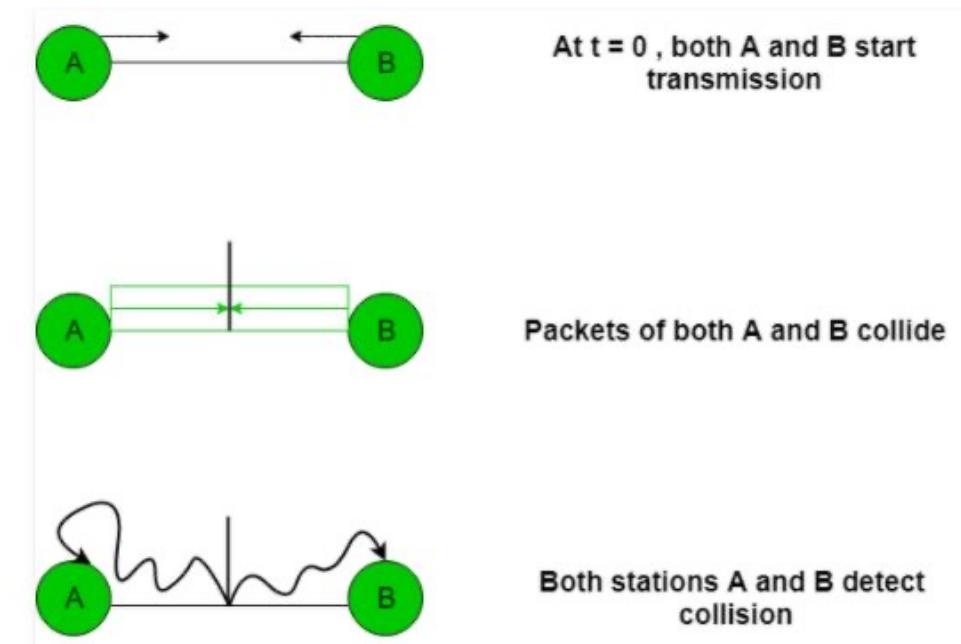
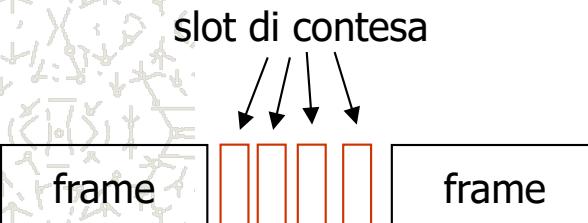
# Exponential Back-off

- Posto  $n$  il numero di collisioni, allora

- Il tempo di attesa =  $K \cdot T_{\text{slot}}$ ,  
con  $K=[0, 2^n-1]$

N.B. il tempo di attesa rappresenta anche lo slot nel quale si riprova a trasmettere

- Nella pratica  $K=[0, 2^r-1]$ , con  $r = \min\{n, 10\}$
- Se  $n=16$  si notifica l'errore di trasmissione



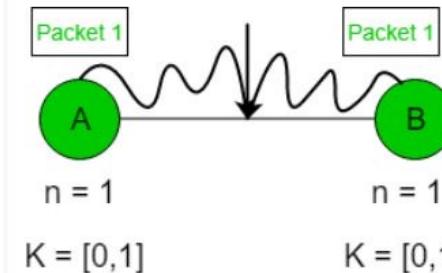
$$T_{\text{slot}} = 2\tau$$

Pari a 512 bit - 51,2  $\mu$ s per 10 Mbps

# Exponential Back-off

## Esempio 1:

- Alla prima collisione  $K=\{0, 1\}$
- Probabilità di trasmettere di A = 1/4 (caso 2 della Tabella)
- Probabilità di trasmettere di B = 1/4 (caso 3 della tabella)
- Probabilità di collisione 2/4 (casi 1 e 4 della tabella)

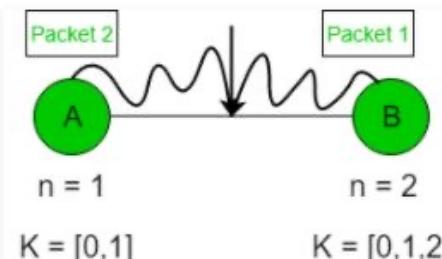


Value of K

	A	B
1	0	0
2	0	1
3	1	0
4	1	1

## Esempio 2:

- A è riuscito ad inviare il pkt\_1 e prova ad inviare il pkt\_2, mentre B tenta di inviare ancora il pkt\_1
- Arriva una collisione. Per A è la prima collisione, quindi  $K_A=\{0,1\}$ .
- Per B è la seconda collisione, quindi  $K_B=\{0,1,2,3\}$
- Pr. tras. di A = 5/8 (casi 2,3,4,7,8)
- Pr. tras. di B = 1/8 (caso 5 della tabella)
- Pr. coll. 2/8 (casi 1 e 6 della tabella)



Value of K

	A	B
1	0	0
2	0	1
3	0	2
4	0	3
5	1	0
6	1	1
7	1	2
8	1	3

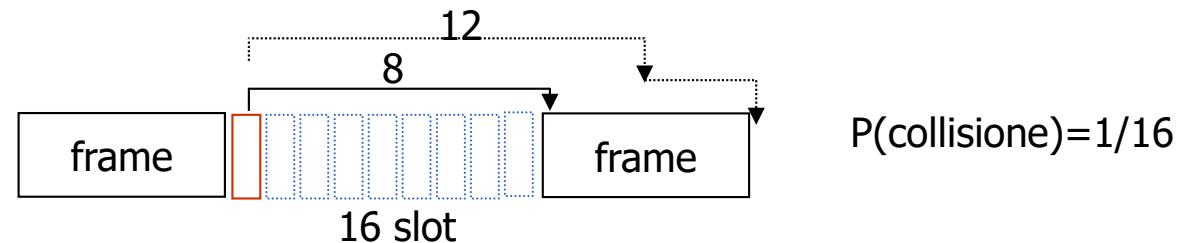
La probabilità di collisione diminuisce nell'esempio 2

La probabilità di collisione diminuisce in modo esponenziale

La stazione che vince continua a vincere

# Exponential Back-off [continua]

- L'algoritmo adatta l'attesa al numero di stazioni che vogliono trasmettere
- Un intervallo di slot di attesa alto diminuisce la probabilità che due stazioni collidano di nuovo ma introduce un ritardo medio elevato



Un intervallo di slot di attesa basso rende improbabile la risoluzione della collisione quando molte stazioni collidono

2 slot  
100 stazioni

99 su slot 0 e 1 su slot 1  $\rightarrow P(\text{non collisione}) = (0.5)^{99}$

# Prestazioni di Ethernet

- Come gli altri protocolli CSMA anche Ethernet presenta le seguenti caratteristiche
  - in condizioni di **basso carico** i tempi di ritardo sono **contenuti** e l'efficienza assomiglia al **CSMA 1-persistente** con la miglioria legata al fatto che c'e' rilevazione della collisione
  - in condizioni di **carico elevato** crescono le collisioni, ma l'algoritmo di backoff esponenziale fa sì che le stazioni mutino il loro comportamento rendendo il protocollo simile ad un **CSMA p-persistente** con p sempre piu' piccolo
  - quindi al crescere del carico l'andamento dell'efficienza tende ad **appiattirsi** su una percentuale di valore non nullo
  - c'e' una forte **dipendenza** dalla **dimensione media dei frame** trasmessi; piu' piccolo e' il frame, piu' pesa l'overhead del periodo di contesa rispetto al periodo di trasmissione riuscita



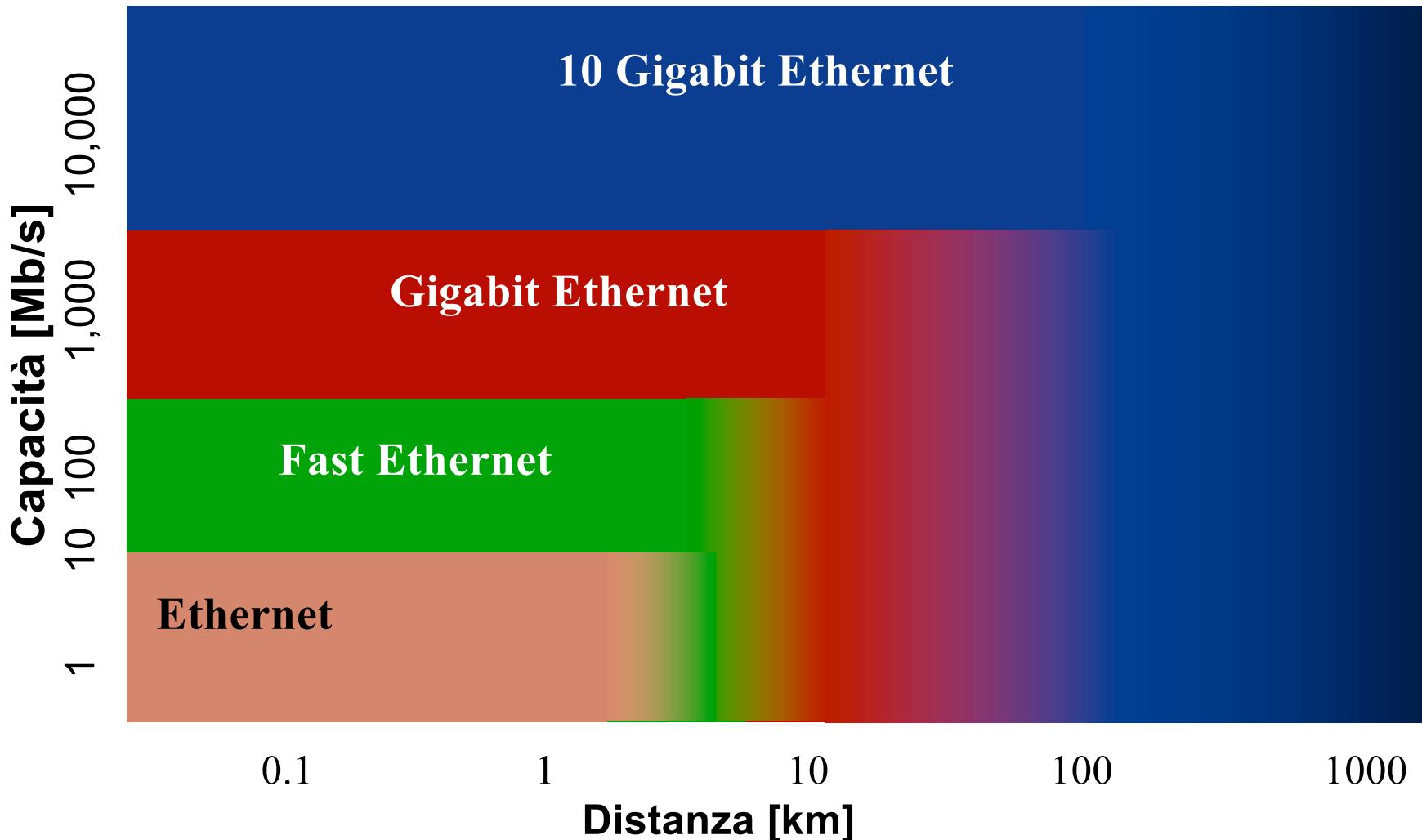
# Tecnologie Ethernet

- L'insieme di protocolli Ethernet domina tuttora saldamente il mercato delle LAN
- La velocità di trasmissione originariamente era 10 Mbit/s su cavo coassiale
- Ethernet è evoluta su diversi mezzi trasmittivi (coassiale, doppino, fibra) fino a 10 Gbit/s (Gigabit Ethernet), passando da trasmissioni nel dominio elettrico a trasmissioni su fibra
- Ethernet, alle diverse velocità e per i diversi mezzi trasmittivi, è sempre stata standardizzata per permettere schede di interfaccia a basso costo, pensate per essere utilizzate in un PC

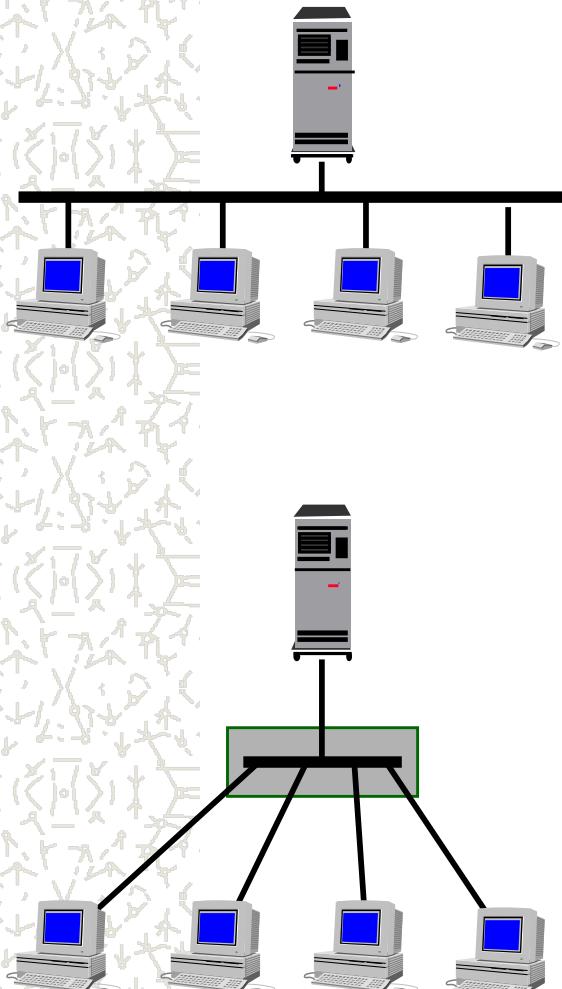
# Codifica

- Sul mezzo condiviso la condizione di “**assenza di trasmissione**” è necessariamente identificata da **assenza di segnale**
- Non sono quindi possibili codifiche che utilizzino il segnale a **0 volt** per identificare un bit
- La necessità di trasferire l’informazione di clock assieme al segnale ha portato alla invenzione della codifica **Manchester** già vista
- Lo standard Ethernet utilizza la codifica Manchester con segnali a +0.85 V e -0.85 V (altri protocolli, come token ring, fanno uso della codifica **Manchester differenziale**)

# Evoluzione di Ethernet

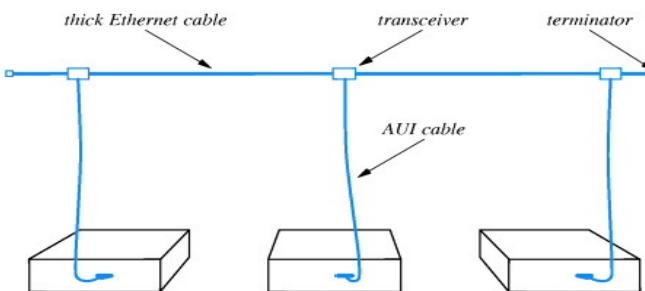
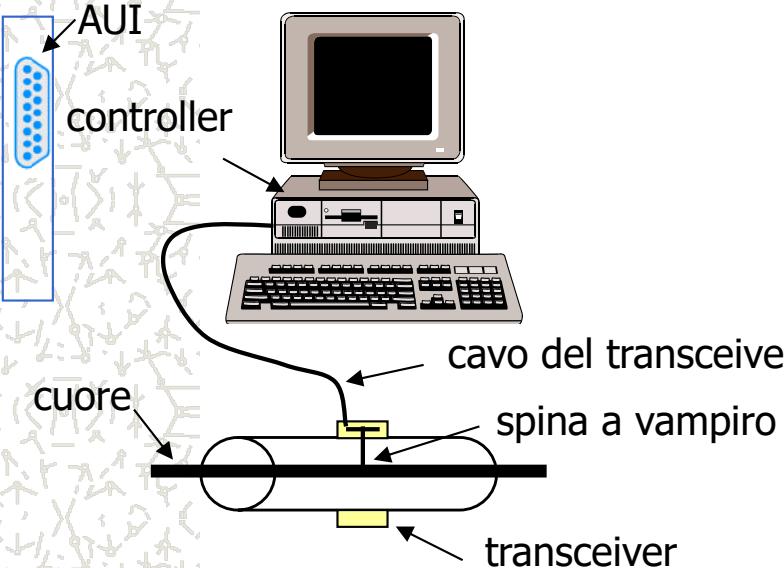


# Ethernet a 10, 100, 1000, ... Mb/s

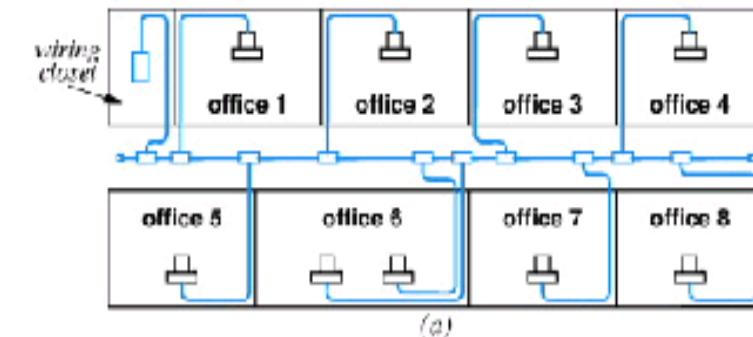


- Banda confrontabile con la velocità interna dei terminali
- Cavo coassiale condiviso
- Distanza limitata ( $\sim 1$  km) da attenuazione e ritardi di propagazione
- Bassi costi dovuti a semplicità ed economia di scala
- Hub o switch: banda e cavi condivisi o dedicati ai terminali

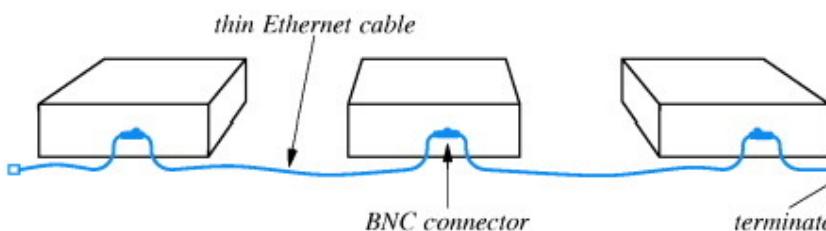
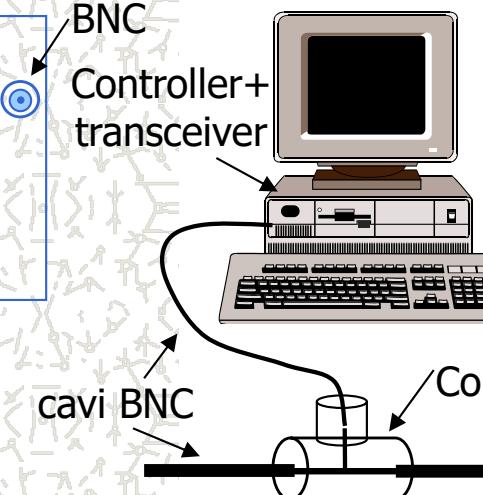
# 10Base5



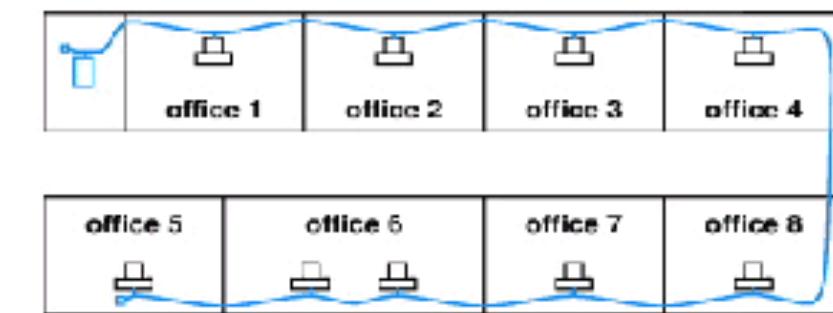
- Thick Ethernet
- Cavo giallo con tacche ogni 2.5 m a indicare i punti di aggancio delle spine
- Il transceiver è un circuito elettronico che rileva la portante e le collisioni
- Il cavo del transceiver ha 5 doppini schermati (dati in ingresso, dati in uscita, controllo in e out, alimentazione)



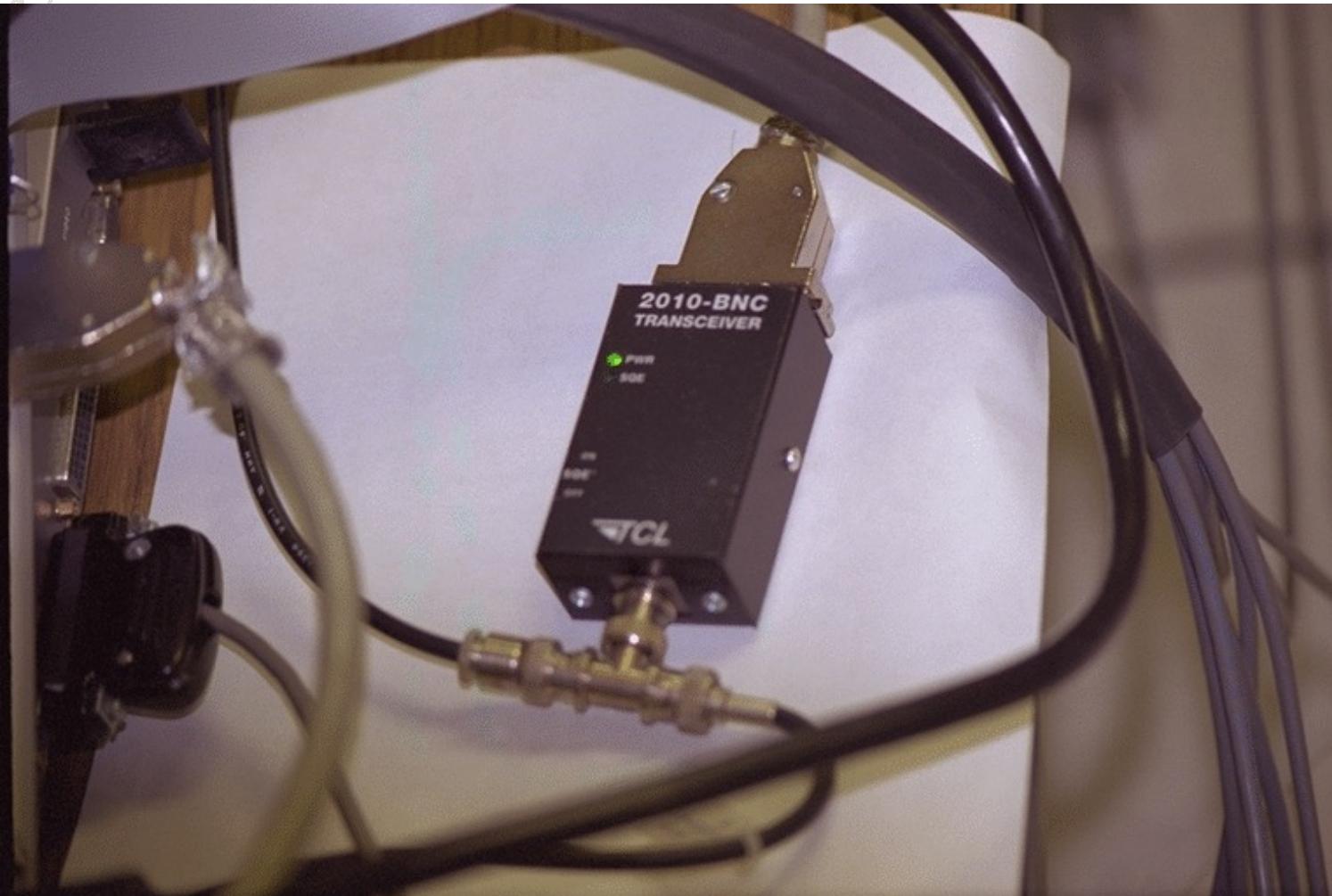
# 10Base2



- Thin Ethernet
- Il cavo è flessibile
- Il transceiver è in genere sul controller

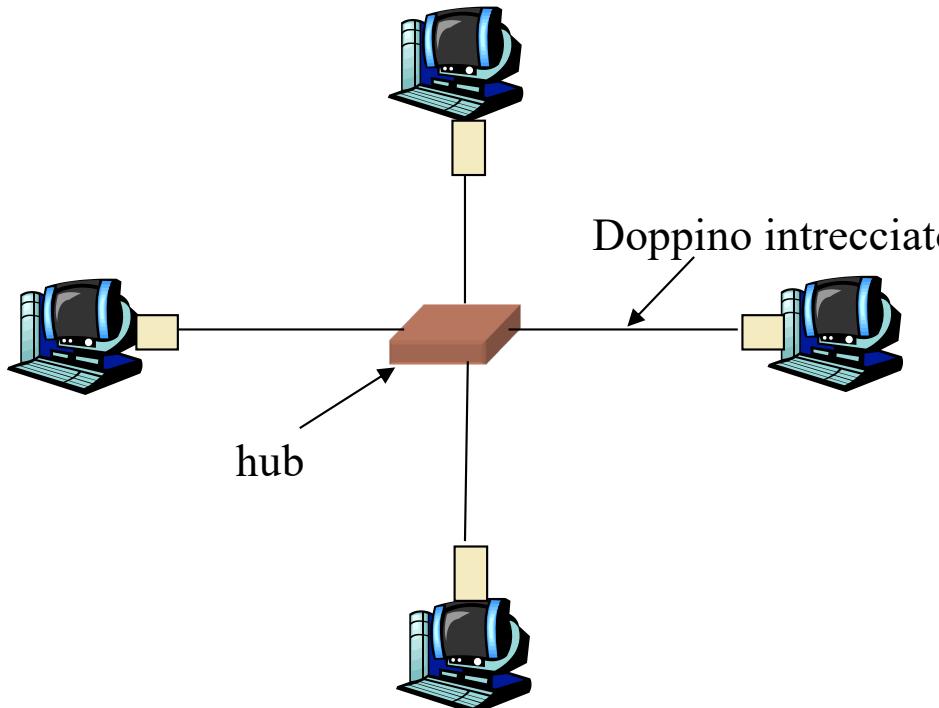


# AUI Transceiver

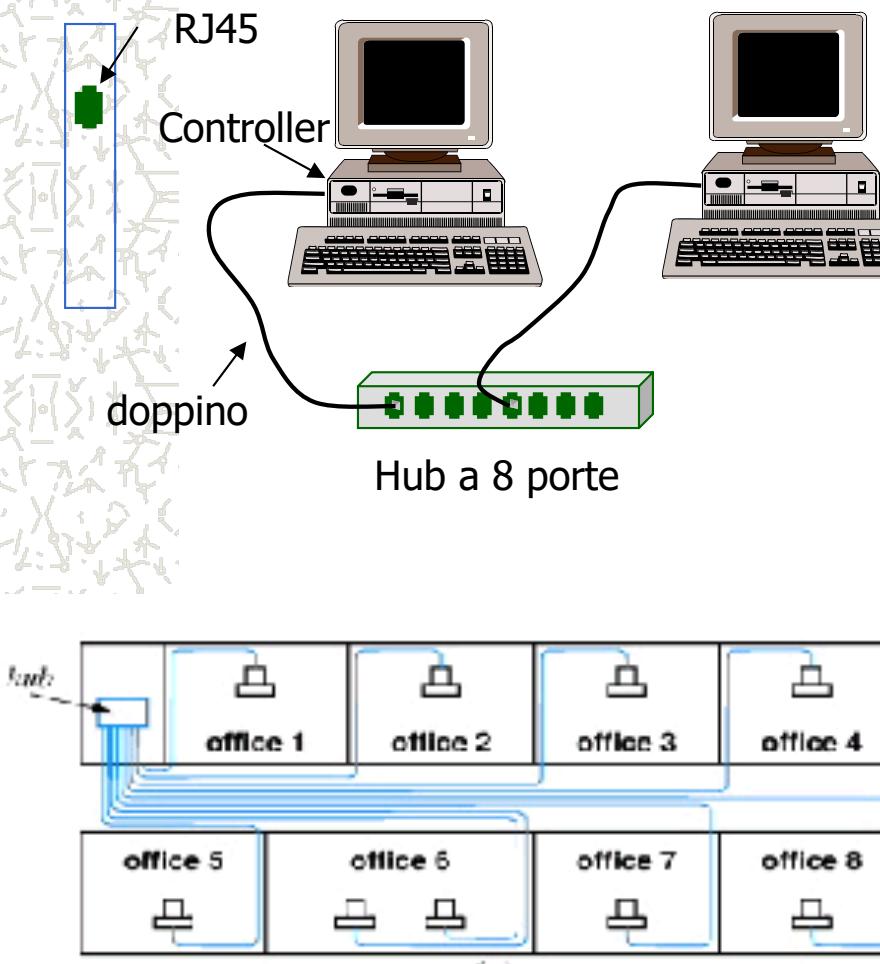


# Tecnologie 10BaseT e 100BaseT

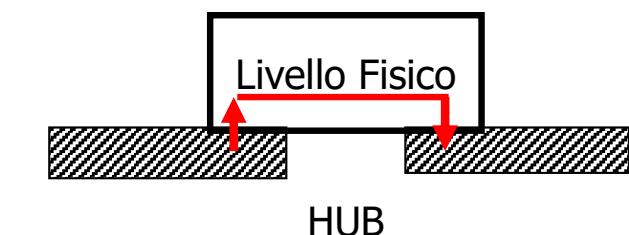
- Attualmente, molti adattatori Ethernet sono a 10/100 Mbps; possono quindi utilizzare sia 10BaseT sia 100BaseT
- La lettera **T** è l'iniziale di **Twisted Pair** (doppino intrecciato).
- Ogni nodo ha una diretta connessione con l'hub (topologia a stella); la massima distanza tra un adattatore e il centro stella è di 100m.



# 10BaseT

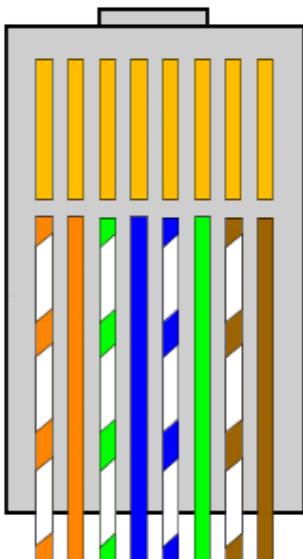


- Topologia a stella
- Semplicità di manutenzione
- Distanza massima dall'hub: 100m
- Tutte le stazioni collegate ad un hub sono nello stesso **dominio di collisione**
- Gli hub sono solo ripetitori del segnale (lavorano al livello fisico)

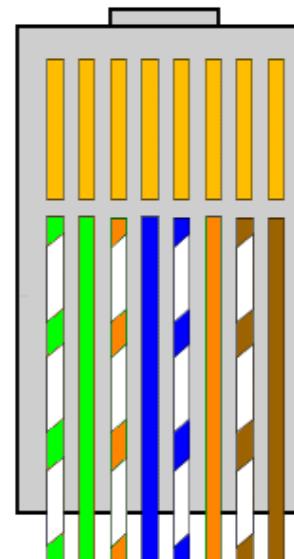


# Connettore RJ-45 [Doppino]

A



B



Pin	Signal	Description
1	RxD (+)	Receive Data (+)
2	RxD (-)	Receive Data (-)
3	TxD (+)	Trasmit Data (+)
4	NC	
5	NC	
6	TxD (-)	Transmit Data (-)
7	NC	
8	NC	

# Fast Ethernet (100BaseT)

- Riduce il tempo di bit a 100ns a 10ns
- Tutti i sistemi Fast Ethernet usano Hub
- Richiede una banda di 200 MBd (100 Mbps codifica Manchester)

## 100Base-T4

- Utilizza una velocità di 25 MHz su 4 doppini cat 3
  - ◀ Un doppino trasmette verso l'hub
  - ◀ Un doppino riceve dall'hub
  - ◀ Due doppini sono orientabili a seconda del verso della trasmissione
- Non utilizza codifica Manchester
- Si utilizzano 3 livelli 0,1,2
- Si trasmette un "trit" su 3 doppini (27 simboli = 4 bit + ridondanza)
- Si ha un canale nell'altro verso a 33.3 Mbps

# Fast Ethernet :100Base-TX e 100Base-FX

## 100Base-TX

Utilizza una velocità di 125 MHz su 2 doppini cat 5 (full-duplex)

- ❑ Un doppino trasmette verso l'hub
- ❑ Un doppino riceve dall'hub

Utilizza una codifica 4B5B (4 bit in 5 periodi di clock)

100 Mbps bidirezionali

## 100Base-FX

Utilizza due cavi di fibra multimodale (full-duplex)

- ❑ Un cavo trasmette verso l'hub
- ❑ Un cavo riceve dall'hub

100 Mbps bidirezionali

# Gigabit Ethernet

- Uso formato di trama 802.3
- Uso protocollo MAC CSMA-CD (trasmmissione punto punto con switch)
- Operazioni half duplex e full duplex
- Backward compatibility con mezzi fisici già installati (fibre mono e multimodali, doppino)
- Aumenta di un fattore 10 dimensione minima di pacchetto con padding di simboli speciali

# Codifiche in Gigabit Ethernet

- Su fibra si utilizza una codifica nota come **8B/10B**: una sequenza di 8 bit e' codificata utilizzando 10 bit:
  - 1024 codeword per 8 bit: c'e' margine per scegliere opportunamente le codeword in modo che
    - non ci siano mai piu' di 4 bit uguali consecutivi
    - non ci siano mai piu' di sei 0 o sei 1
  - spesso una sequenza ha **piu' codeword associate**, e viene scelta la migliore in funzione delle precedenti inviate per mantenere **alternanza** tra 0 ed 1 ed **annullare** la componente **continua** che passa nell'elettronica di conversione ottico/elettrico
- Su rame si utilizzano **tutte le quattro coppie** del cavo UTP in modalita' **duplex** con un simbolo a 5 livelli
  - ogni ciclo di clock trasmette 5 simboli per coppia: 2 bit piu' un bit usato per segnali di controllo si ciascuna coppia
    - **8 bit per ciclo a 125 MHz** danno il throughput di 1 Gbps
  - la modalita' di trasmissione duplex si realizza con una **elettronica** complessa finalizzata al trattamento del segnale per **separare** l'ingresso dall'uscita

100

100

# Gigabit Ethernet

- IEEE 802.3z specifica tre tipi di interfacce fisiche:
  - 1000Base LX: fibra multimodale o monomodale
  - 1000Base SX: fibra multimodale
  - 1000Base CX: cavo di rame schermato
  - 1000Base T: cavo STP o UTP (doppino in rame con 4 coppie schermato o non)
- Prevede le seguenti opzioni:

**SX: short-wavelength (850 nm)**

**LX: long-wavelength (1300 nm)**

standard	tipo di fibra	diametro ( $\mu\text{m}$ )	BW modale (MHz/km)	distanza minima (m)
1000BASESX (850 nm)	MM	62.5	160	2 to 220
	MM	62.5	200	2 to 275
	MM	50	400	2 to 500
	MM	50	500	2 to 550
1000BASELX (1300 nm)	MM	62.5	500	2 to 550
	MM	50	400	2 to 550
	MM	50	500	2 to 550
	SM	9	NA	2 to 10000

# Controllo di flusso

- Poichè lo standard ammette la connessione di una stazione GE con una FE o Ethernet, è stato introdotto un meccanismo per il **controllo di flusso** a livello MAC
- Lo switch comunica all'interfaccia GE della stazione di **sospendere** le trasmissioni di frame utilizzando un frame Ethernet normale, con tipo 0x8808 (seguito da parametri nel campo dati, indicanti tra l'altro **per quanto tempo** sospendere la trasmissione)
- Un meccanismo analogo esiste nelle specifiche di **Fast Ethernet**

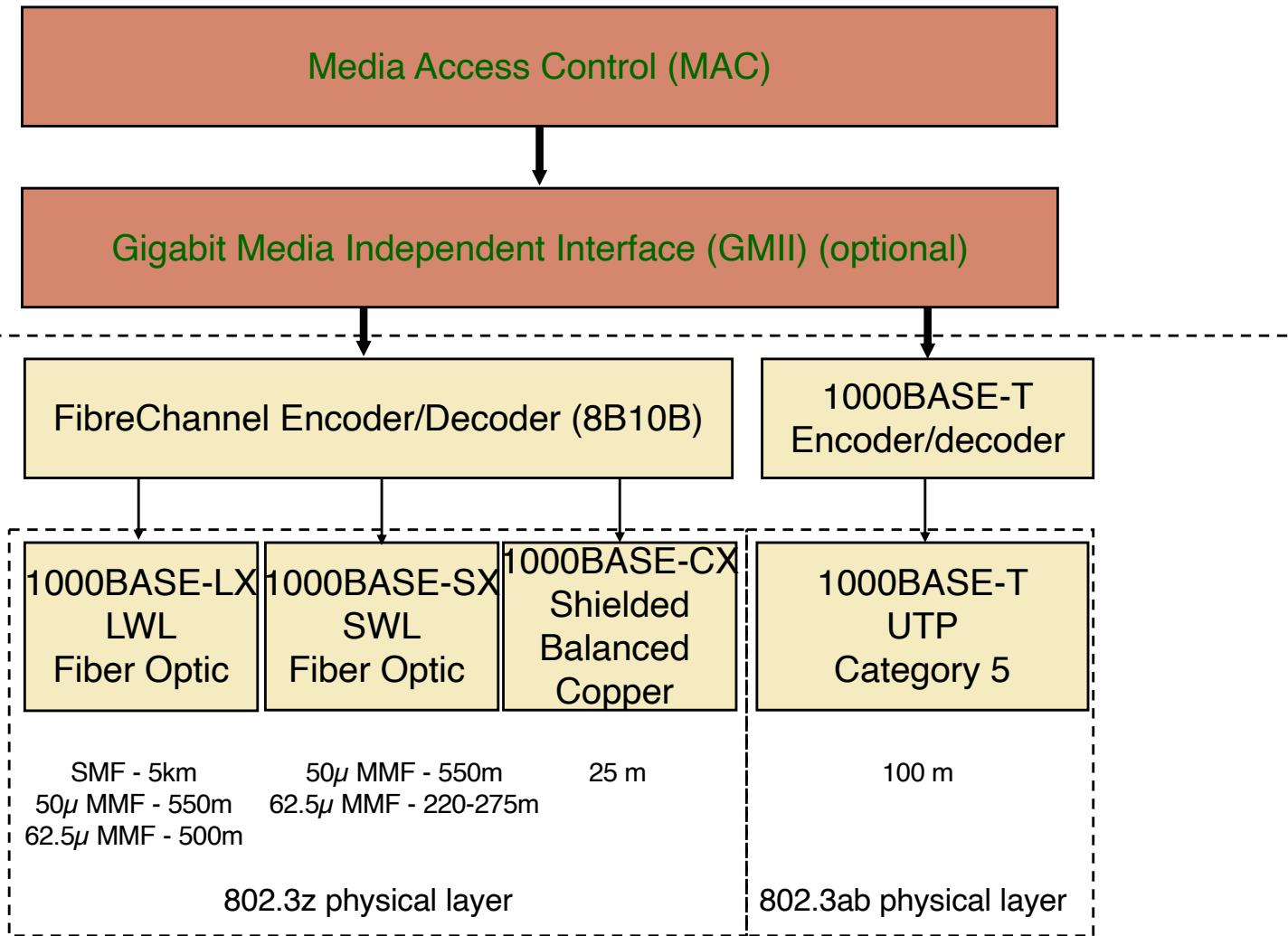
# Livelli Gigabit Ethernet



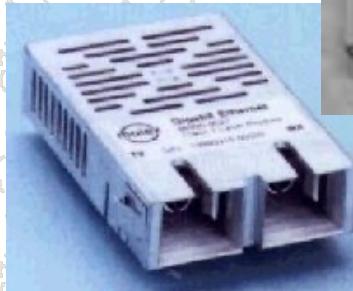
MAC Layer

Physical Layer

*Lo standard Gigabit Ethernet specifica anche altri livelli fisici per trasmissioni a corta distanza, come doppini e cavi coassiali*



# Tipici 1 Gigabit Optical XCVRs



**Pin in Hole**

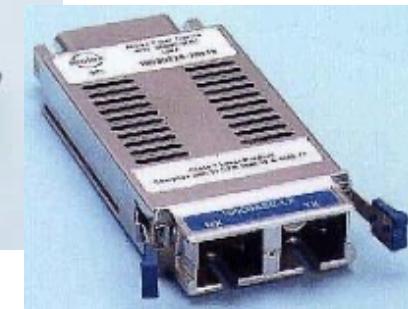
**SFF**



**1x9**



**GBIC**



**Pluggable**

**SFP**



# 10 Gigabit Ethernet

- Un comitato IEEE 802.3 è attivo nella standardizzazione di 10 Gbit/s Ethernet
  - Solo la modalità full duplex, senza CSMA-CD
  - Soluzioni proposte:
    - Seriale, con framing Ethernet, su distanze da LAN fino a 40 Km
      - 650 m su fibra multimodo (MMF)
      - 300 m su MMF installata
      - 2 km su fibra monomodo (SMF)
      - 10 km su SMF
      - 40 km su SMF
    - Seriale, su SONET, per distanze maggiori di 40 Km
  - Per maggiori informazioni:
    - [www.10gea.org](http://www.10gea.org)
    - [www.ieee802.org](http://www.ieee802.org)

# Obiettivi IEEE P802.3ae

- Mantenere il formato di trama di 802.3 Ethernet
- Mantenere le dimensioni min/max del frame 802.3
- Funzionamento solo Full duplex
- Supportare solo cavi in fibra ottica
- 10.0 Gbps all'interfaccia MAC-PHY
- Capacità in ambiente LAN PHY di 10 Gbps
- Capacità in ambiente WAN PHY di ~9.29 Gbps  
(compatibile con SONET)

# Ethernet [Cablaggio]

Ecco una tassonomia dei principali standards con le loro limitazioni in distanza

Nome	Cavo	Max segmento	Nodi/segmento
10Base5	coassiale grosso	500m	100
10Base2	coassiale sottile	200m	30
10Base-T	doppino	100m	1024
10Base-FL	fibra ottica	2000m	1024

10 Mbps

Nome	Cavo	Max segmento
10GBASE-SR	fibra ottica multimode	300m
10GBASE-LX4	fibra ottica multimode	300m
10GBASE-LR	fibra ottica singlemode	10Km
10GBASE-ER	fibra ottica singlemode	40Km

10000 Mbps (10 Giga Ethernet)

Nome	Cavo	Max segmento
100Base-T4	4 doppini cat 3	100m
100Base-TX	doppino cat 5	100m
100Base-FX	fibra ottica	2000m

100 Mbps (fast Ethernet)

Nome	Cavo	Max segmento
1000Base-T	4 doppini cat 5e	100m
1000Base-SX	fibra ottica multimode	220m
1000Base-LX	fibra ottica multimode	500m
1000Base-LX	fibra ottica singlemode	10Km

1000 Mbps (Giga Ethernet)