



Reti di Calcolatori

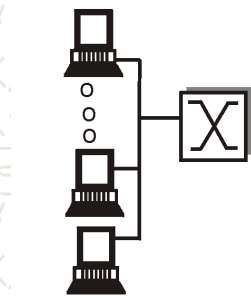
Protocolli data link layer per reti LAN



Collegamenti di rete

Esistono due tipi di collegamenti di rete:

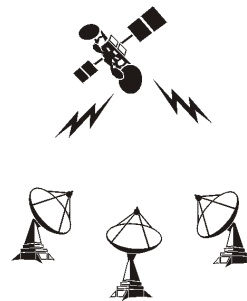
- **Collegamento punto-punto (P2P)**
 - Impiegato per connessioni su lunga distanza
 - Collegamenti punto-punto tra Ethernet e host.
- **Collegamento broadcast** (cavo o canale condiviso)
 - Ethernet tradizionale
 - HFC in upstream
 - Wireless LAN 802.11



shared wire
(e.g. Ethernet)



shared wireless
(e.g. Wavelan)



satellite



ZZZzzzzzzzzzzzzzzzzzz



cocktail party

Reti broadcast multi-access

- Sono usate spesso nelle LAN
- Il canale è condiviso fra N stazioni indipendenti
- Si devono risolvere i conflitti di accesso

Allocazione statica (FDM o TDM)

non è efficiente in ambienti altamente dinamici

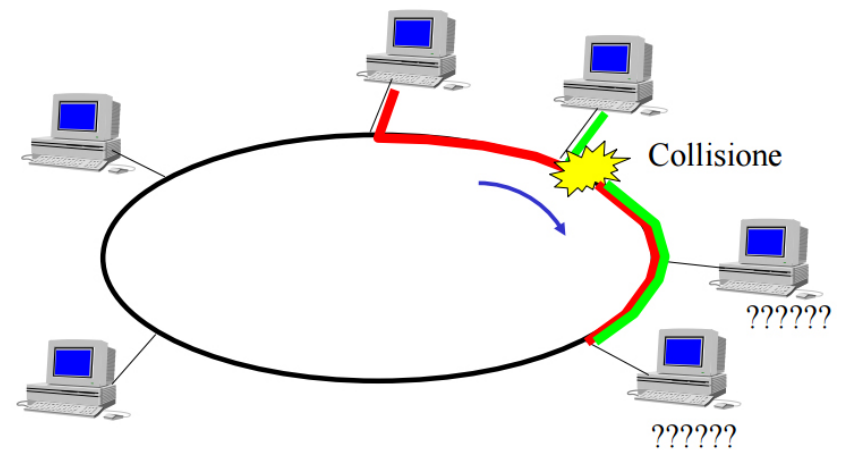
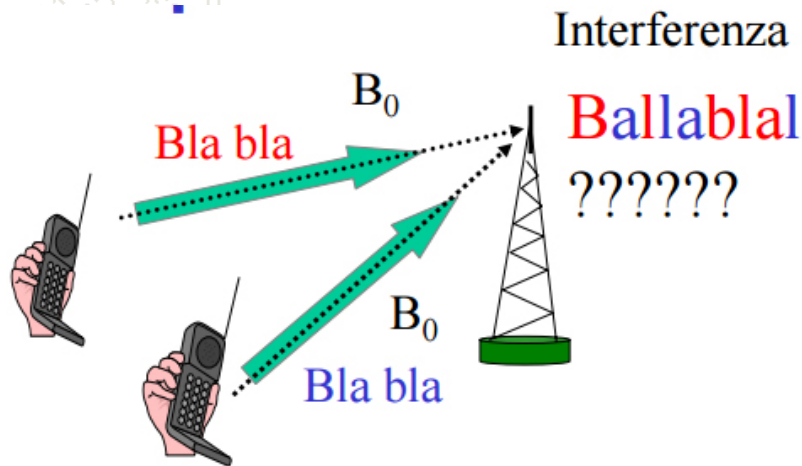
- numero di stazioni variabile
- carico variabile (stazioni inattive)

Allocazione dinamica (risoluzione dei conflitti di accesso)

- **Collisione:** due segnali trasmessi simultaneamente si sovrappongono e il segnale risultante sarà confuso
- Le stazioni possono rilevare le collisioni
- Una collisione corrisponde ad un errore di trasmissione

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.



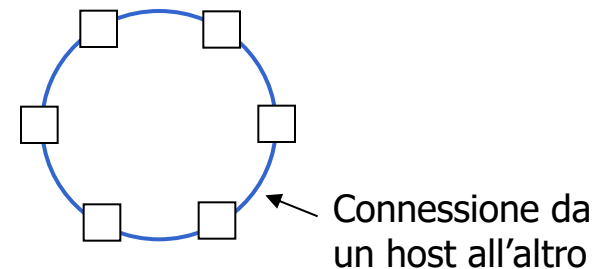
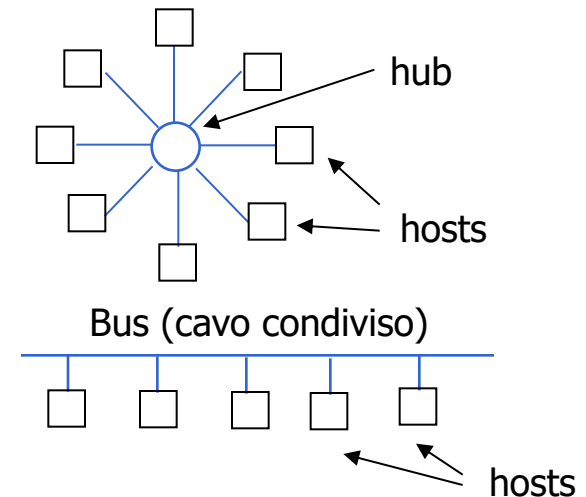
Mezzo Condiviso

Un mezzo condiviso tra tutte le stazioni per trasmettere e ricevere
Solo una stazione alla volta può trasmettere
Le stazioni operano a turni

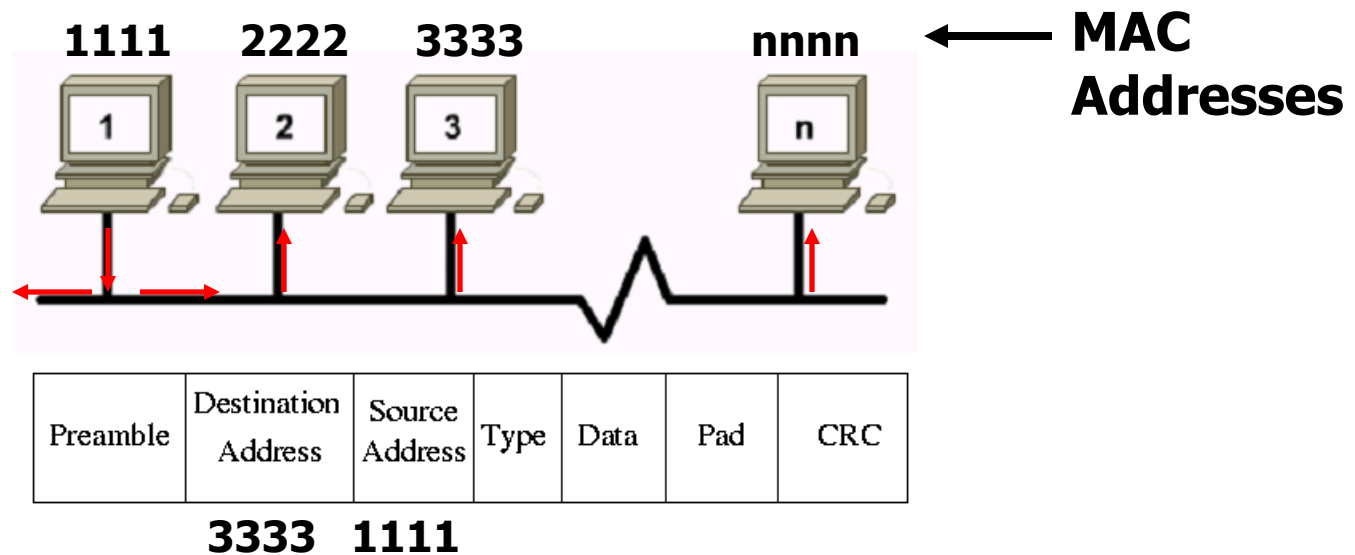
- **Collision-Detection**
esempio: IEEE 802.3 (Ethernet)

- **Collision-free**

esempio: IEEE 802.5 (Token Ring) o
IEEE 802.17 RPR

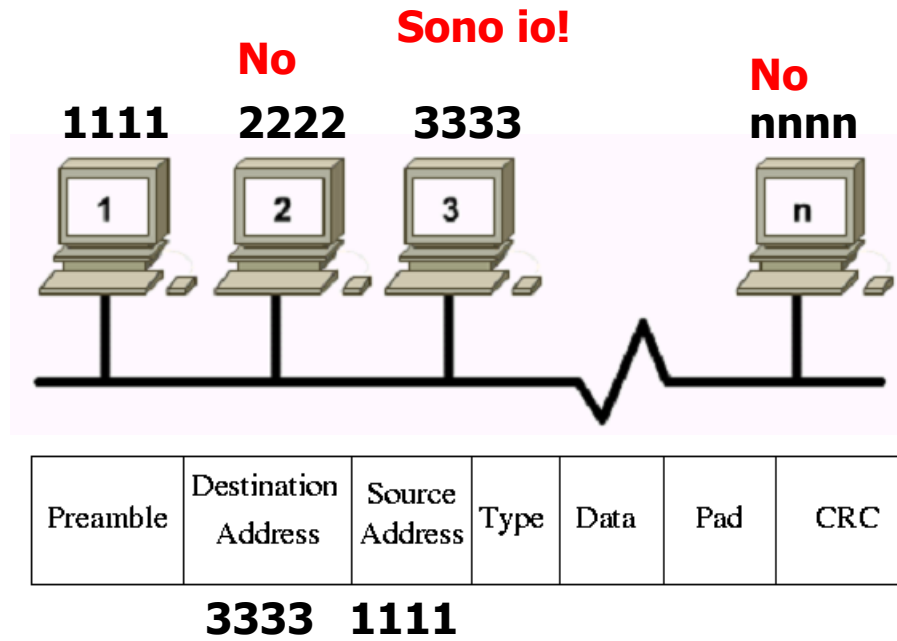


Condivisione su Bus



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

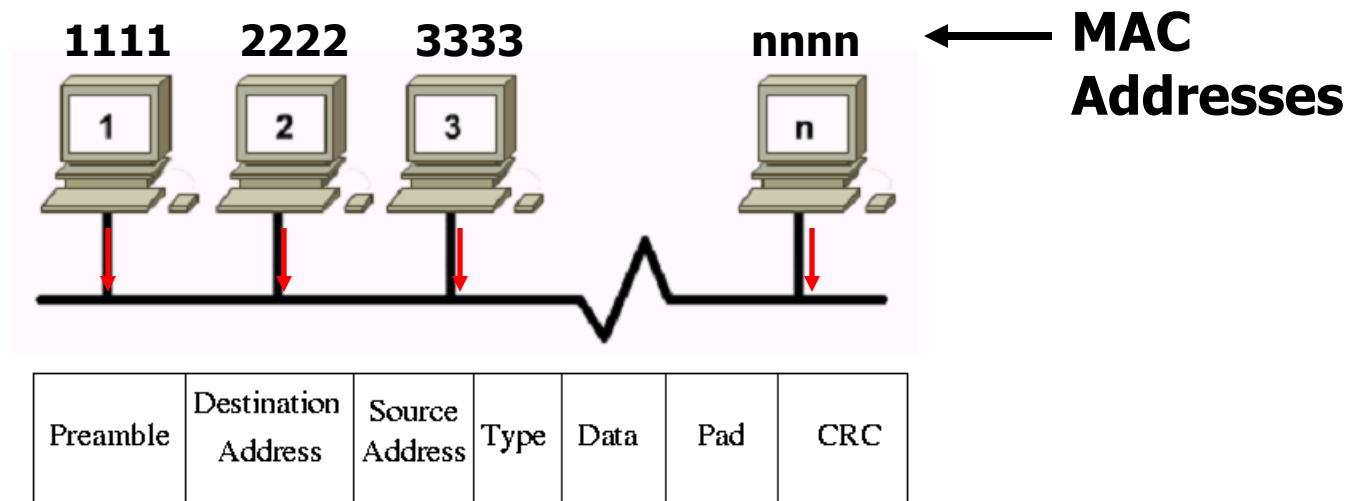
Condivisione su Bus



Abbreviated MAC Addresses

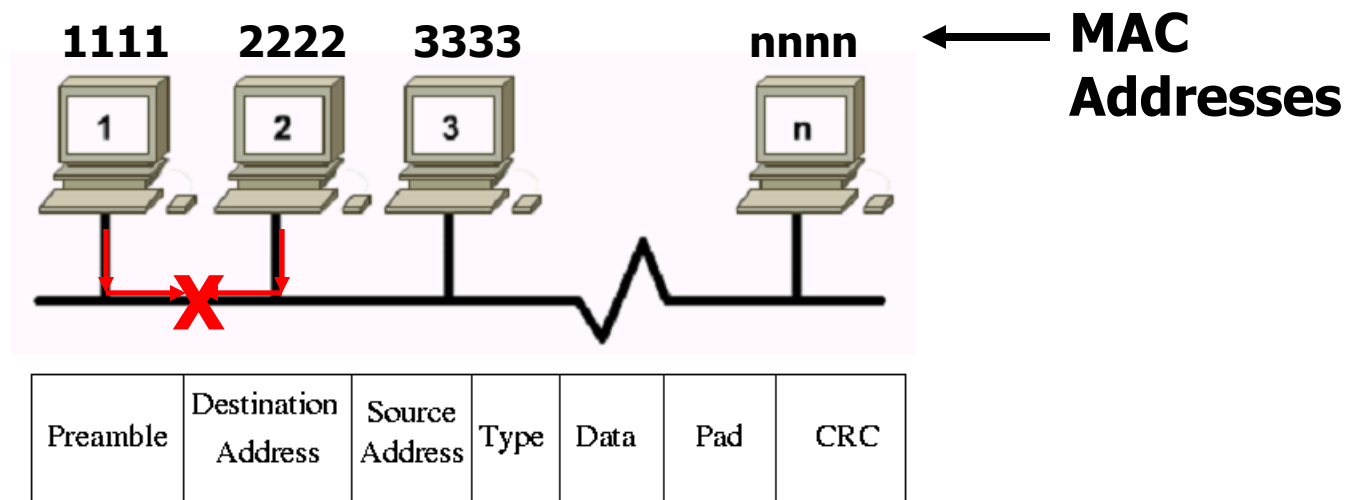
- Ogni NIC confronta il suo MAC address con quello il destination address sulla trama.
- Se corrispondono, copia il resto della trama.
- Altrimenti, la ignora, a meno che la NIC non operi in **modalità promiscua** (Il NIC fa passare ogni trama)

Condivisione su Bus



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

Condivisione su Bus



Una Collisione!

Protocolli di accesso multiplo

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

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 di accesso multiplo ideali

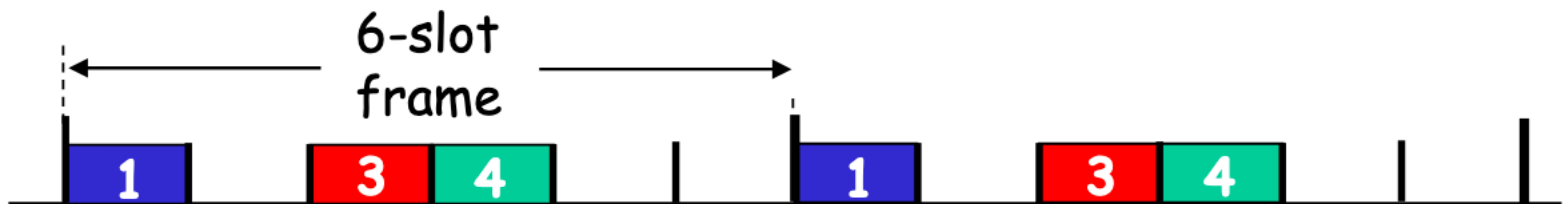
Canale broadcast con velocità di R bit al sec:

1. Quando un nodo deve inviare dati, questo dispone di un tasso trasmissivo pari a R bps.
2. Quando M nodi devono inviare dati, questi dispongono di un tasso trasmissivo 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 a suddivisione del canale: TDMA

TDMA: accesso multiplo a divisione di tempo.

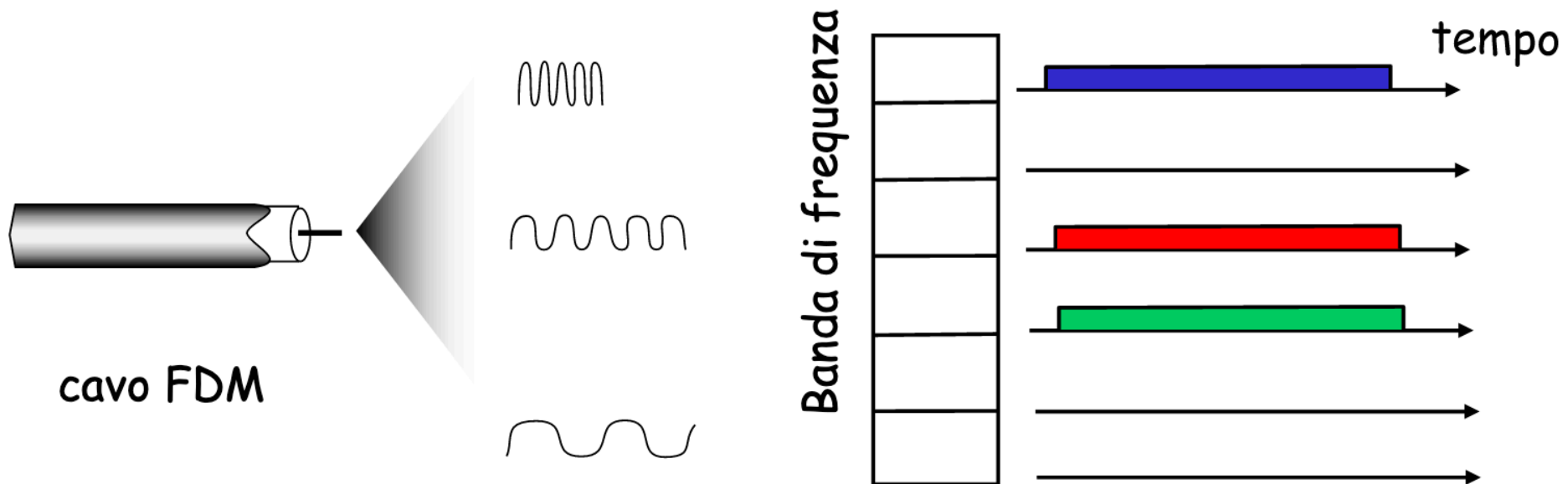
- Suddivide il canale condiviso in *intervalli di tempo*.
- Gli slot non usati rimangono inattivi
- Esempio: gli slot 1, 3 e 4 hanno un pacchetto, 2, 5 e 6 sono inattivi.



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 trasmettenti → “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

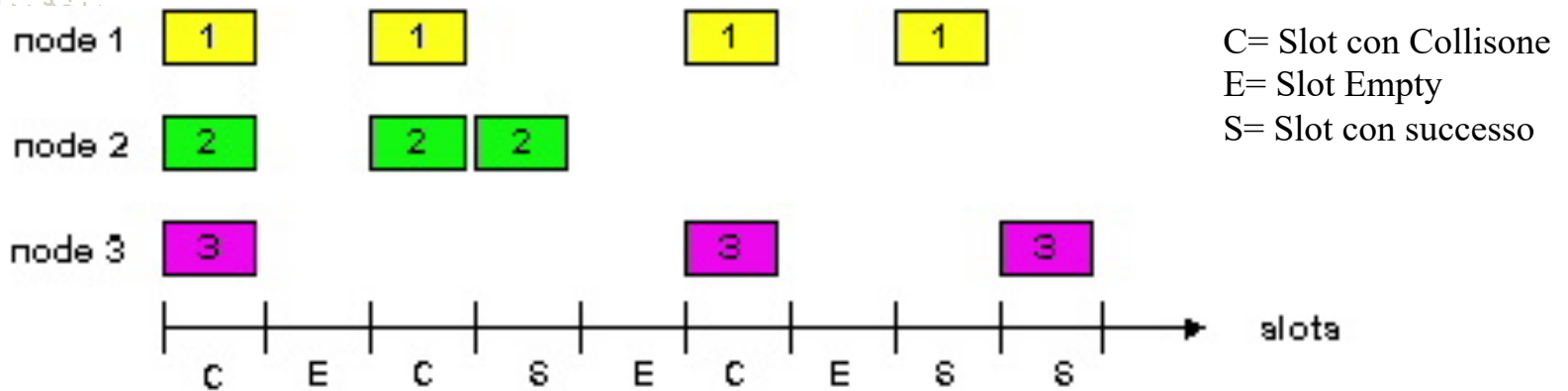
Assumiamo che:

- 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.

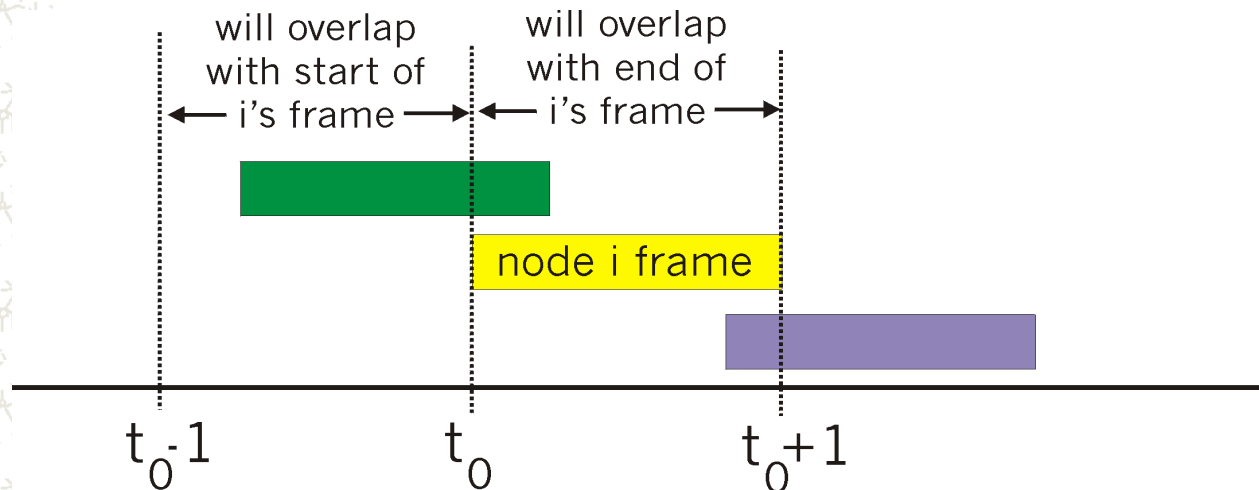
- Supponiamo N nodi con pacchetti da spedire, ognuno trasmette i pacchetti in uno slot con probabilità p .
- La probabilità di successo di un dato nodo = $p(1-p)^{N-1}$
- La probabilità che un nodo arbitrario abbia successo
= $Np(1-p)^{N-1}$

- 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

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

$P(\text{nessun altro nodo trasmette in } [p_0-1, p_0]) \cdot$

$P(\text{nessun altro nodo trasmette in } [p_0-1, p_0])$

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

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

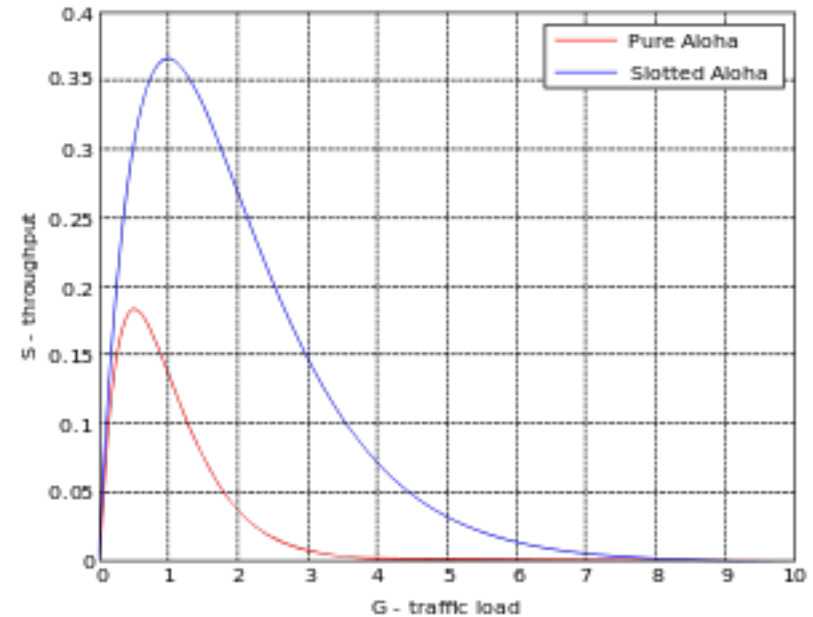
... scegliendo p migliore e lasciando $n \rightarrow \text{infinito}$...

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

Peggior di prima !

L'efficienza di Aloha puro

All'aumentare del traffico, i due approcci progressivamente peggiorano, con l'Aloha puro mostrando il peggioramento più considerevole in termini di throughput.



Accesso multiplo a rilevazione della portante (CSMA)

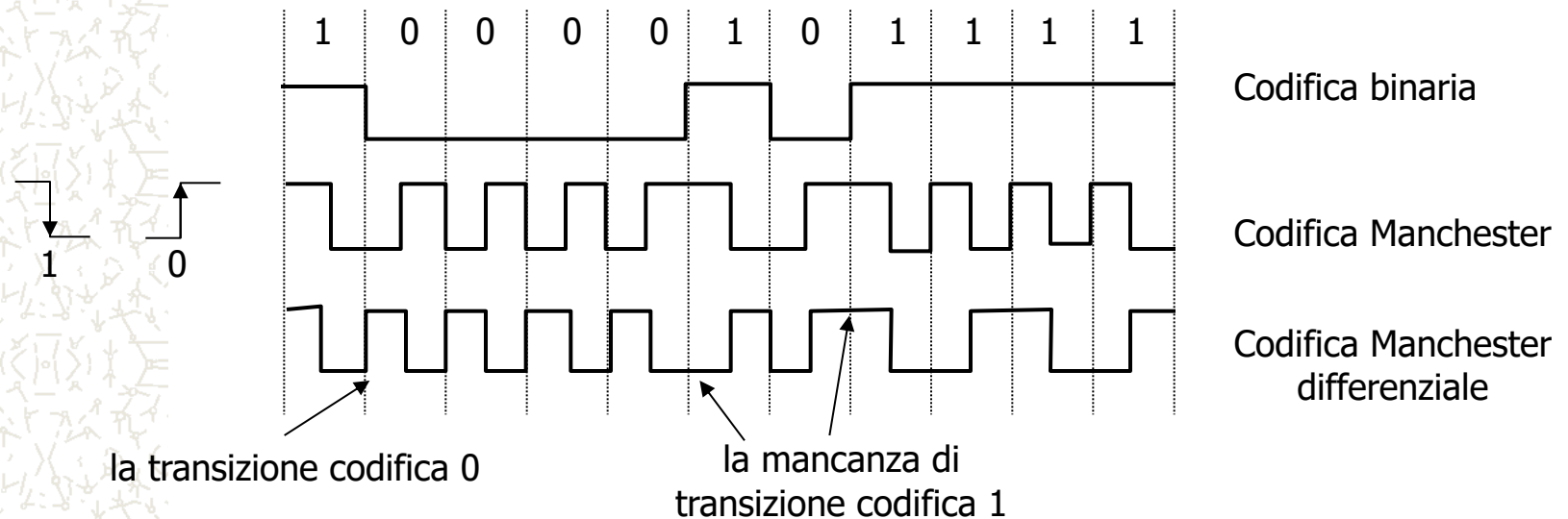
CSMA: Carrier Sense Multiple Access

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:

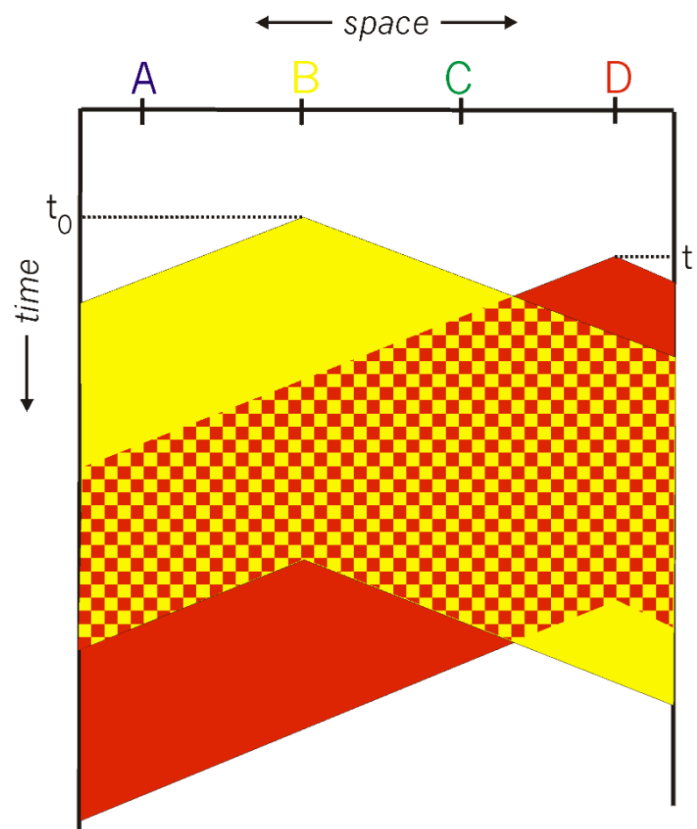
Il ritardo di propagazione fa sì che due nodi non rilevino la reciproca trasmissione

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.



CSMA con trasmissioni in collisione

Le collisioni *possono* ancora verificarsi:

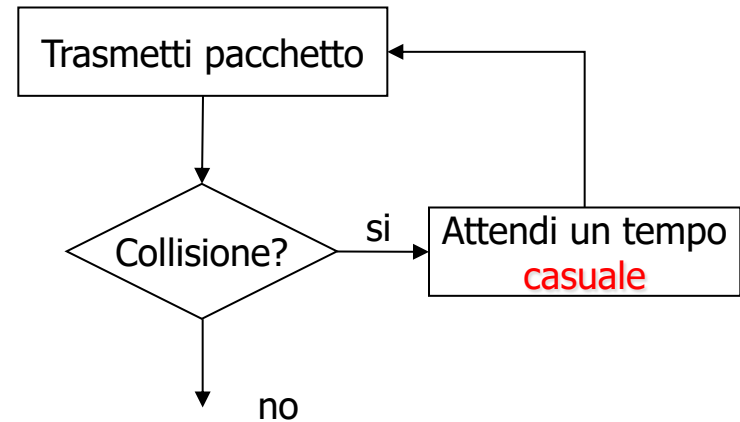
Il ritardo di propagazione fa sì che due nodi non rilevino la reciproca trasmissione

collisione:

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

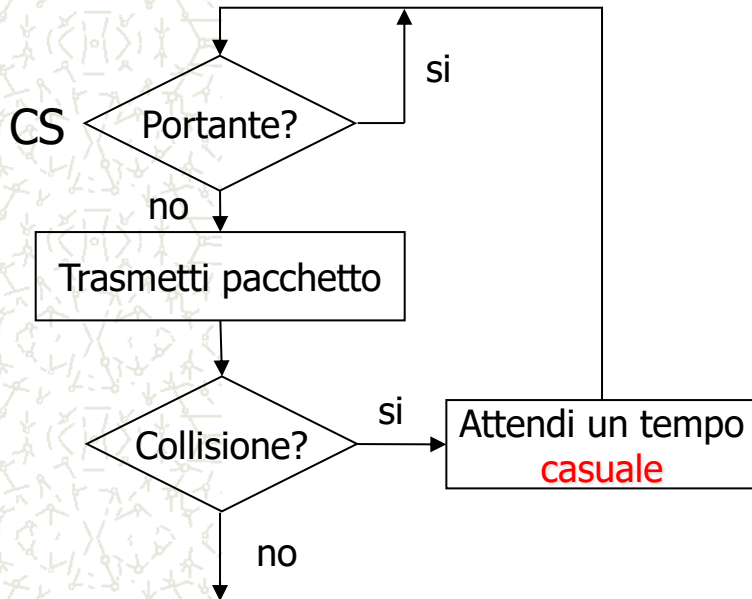
nota:

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



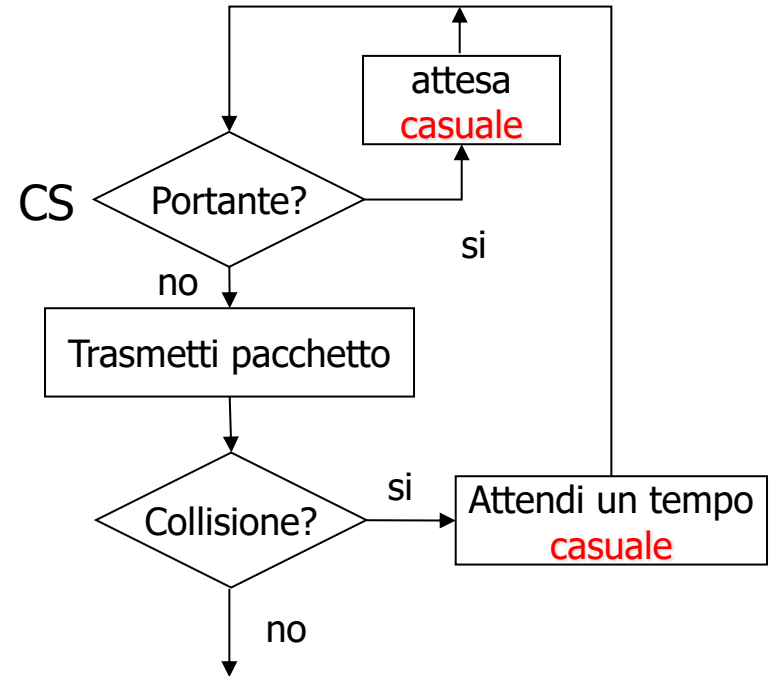
La collisione viene rilevata ascoltando il canale e verificando che il segnale ricevuto corrisponda a quello trasmesso senza interferenze. Basta una minima sovrapposizione dei due pacchetti per farli andare persi.

CSMA: persistenza



1-persistente

Se il canale è libero trasmette immediatamente, se occupato continua ad ascoltare.



non persistente

Se il canale è libero trasmette immediatamente, se occupato attende un tempo random e poi riascolta il canale (carrier sense a intervalli)

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 trasmissivo
 - 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.)

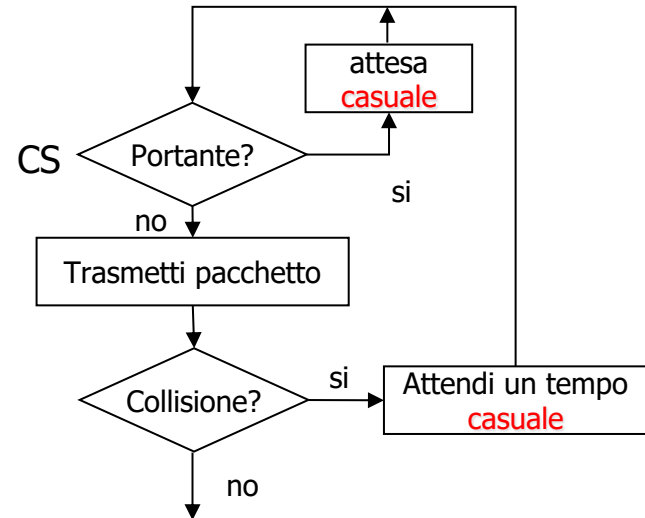
- Con questo protocollo acquista grande importanza il **ritardo di propagazione** del segnale tra due stazioni
 - infatti, quando una stazione **inizia** a trasmettere, una seconda stazione **potrebbe** voler trasmettere, ed ascolta il canale
 - se il segnale trasmesso dalla **prima** stazione non ha 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 sta' 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 vogliano 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 **descende** rapidamente con l'aumentare del carico

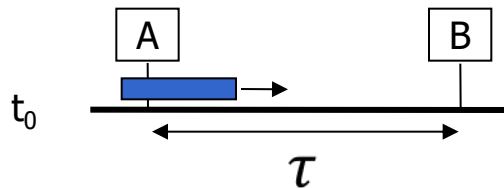
CSMA/CD [Collision Detection]

Il protocollo opera in tre diverse fasi:

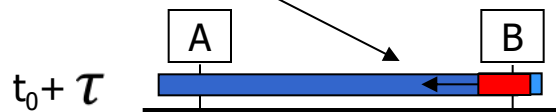
- **carrier sense**: (rilevazione della trasmissione): ogni stazione che deve trasmettere ascolta il bus e decide di trasmettere solo se questo è libero (*listen before talking*);
- **multiple access**: nonostante il carrier sense è possibile che due stazioni, trovando il mezzo trasmissivo libero, decidano 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 trasmissivo, confrontandoli con quelli da lei generati (*listen while talking*).

Ritardi di linea e collisioni

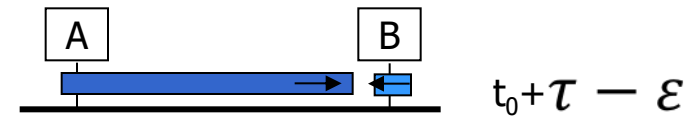
- Sia τ il tempo di propagazione fra le stazioni più lontane
- Il tempo massimo per la rilevazione di una collisione è 2τ slot di contesa)



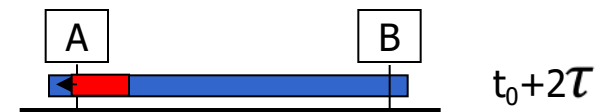
Il pacchetto deve durare più di 2τ



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



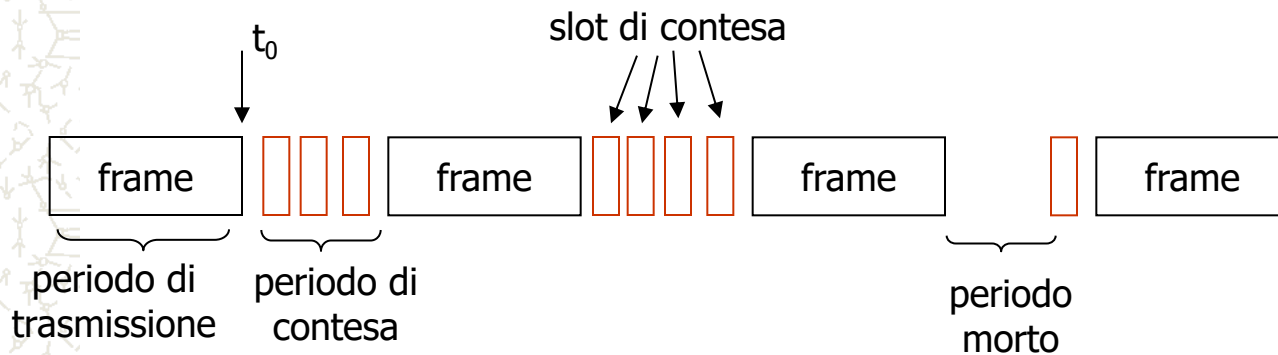
B inizia a trasmettere poco prima che l'inizio del pacchetto di A arrivi in B



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

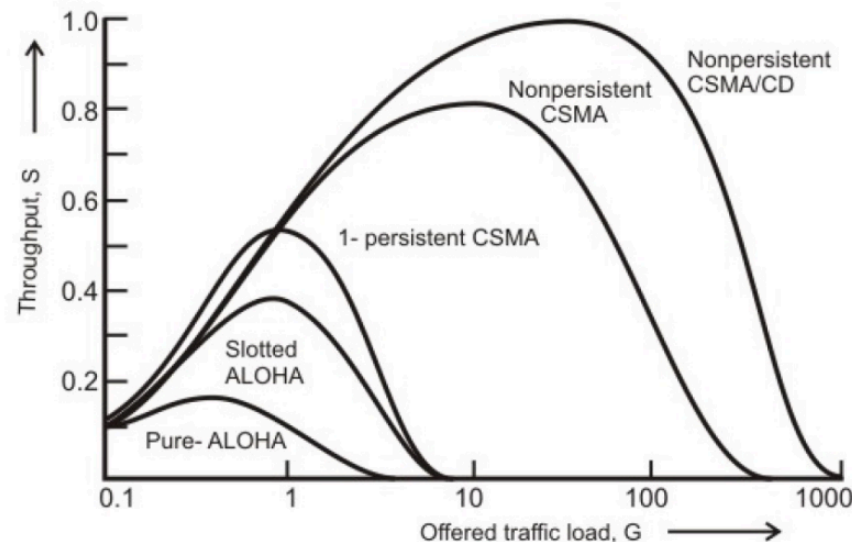
CSMA/CD: jamming

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

- la stazione trasmittente sospende la trasmissione e trasmette una sequenza di *jamming* (interferenza trasmissiva) 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.

CSMA/CD: jamming

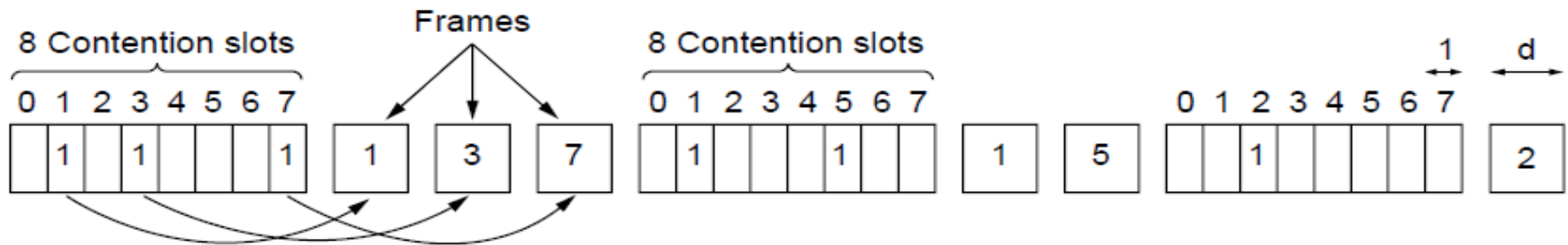
Lo schema CSMA/CD presenta un'efficienza migliore di quello Aloha.



Le prestazioni delle tecniche basate sulla contesa sono maggiori delle tecniche senza contese a bassa e media densità di traffico. Tuttavia, queste prestazioni peggiorano notevolmente nelle reti di traffico intenso a causa dell'elevata probabilità di collisione

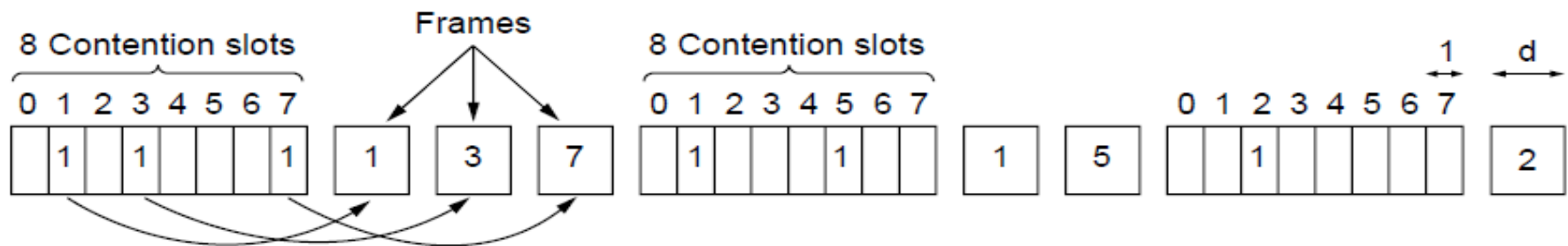
Protocolli collision free: prenotazione

- 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



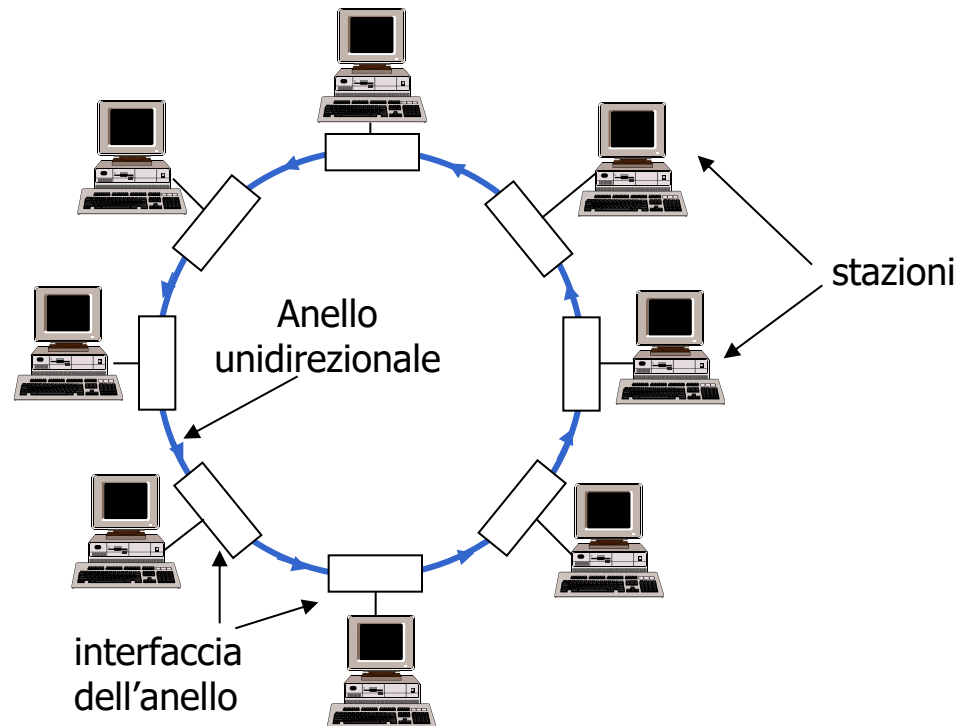
Protocolli collision free: prenotazione

- 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: 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

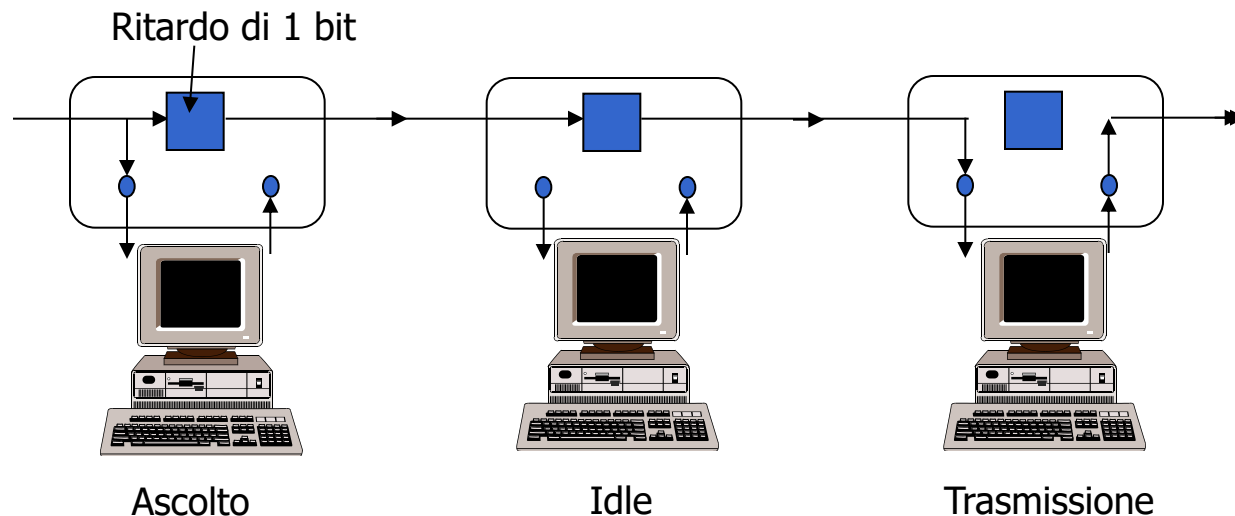
- Token ring (standard **IEEE 802.5**)
 - questo protocollo prevede l'utilizzo di una topologia ad **anello**
 - sull'anello circola un piccolo frame, detto **token** (gettone) che le stazioni ricevono da una parte e **ritrasmettono** dall'altra in continuazione
 - una stazione è **autorizzata** a trasmettere 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

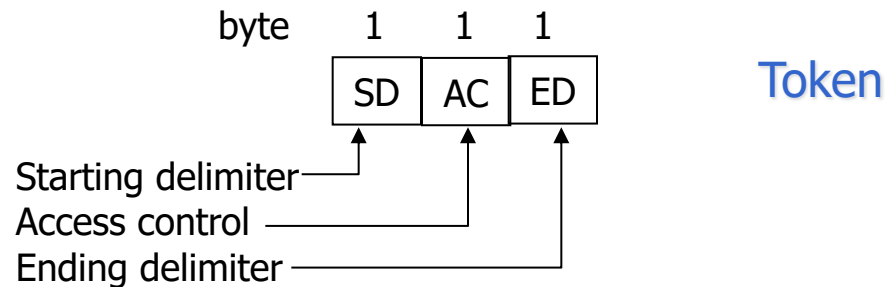


Il Token

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

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

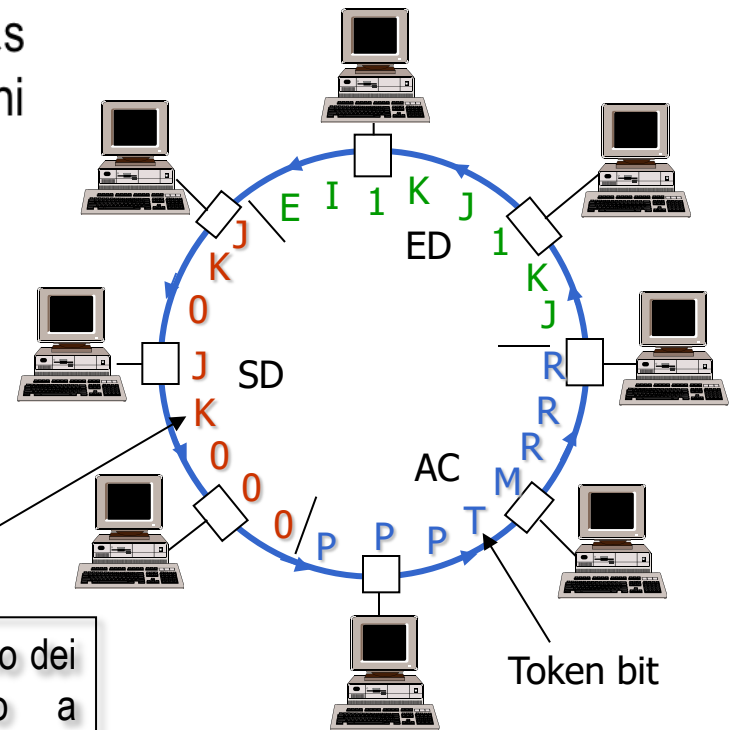
T: Segnala il tipo di Token
(dati o token)

M: usato dalla stazione

Monitor per verificare se il token è orfano (senza mittente o destinatario)

R: Reservation bit (bit di prenotazione)

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 e' 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)