Livello di collegamento: protocolli MAC, ARP

Gaia Maselli
maselli@di.uniroma1.it

Livello di collegamento e reti locali

Livello di collegamento: introduzione e servizi

Tecniche di rilevazione e correzione degli errori

Protocolli di accesso multiplo

Indirizzi a livello di collegamento

Ethernet

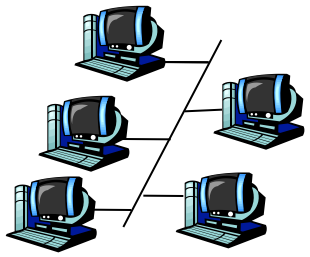
Switch a livello di collegamento

PPP: protocollo punto-punto

Protocolli di accesso multiplo

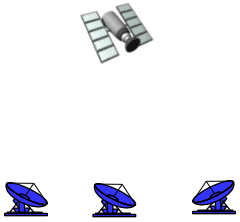
Esistono due tipi di collegamenti di rete:

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



canale cablato condiviso

RF condivisa (es. 802.11 WiFi)



RF condivisa (satellite)

persone a un cocktail party (rumore, aria condivisi)

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 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

Protocolli di accesso multiplo

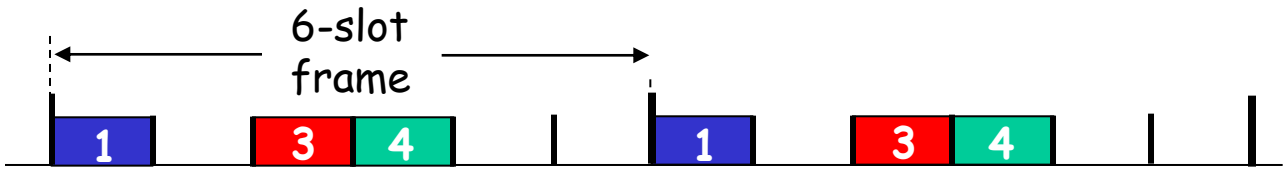
Si possono classificare in una di queste tre categorie:

- Protocolli a suddivisione del canale (*channel partitioning*)
  - Suddivide un canale in "parti più piccole" (slot di tempo, frequenza, codice)
  - Li alloca presso un nodo per utilizzo esclusivo
- 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*")
  - 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.

- Turni per accedere al canale
- 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.

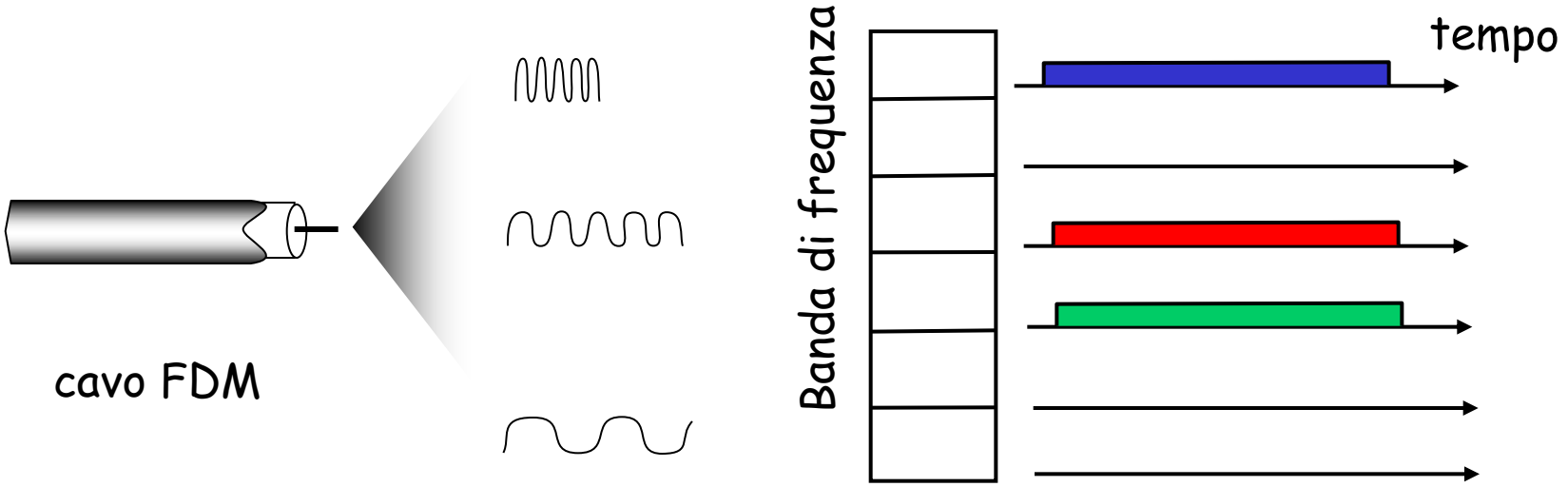


- Tasso trasmissivo R/N bps

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:
  - ALOHA, slotted ALOHA
  - CSMA, CSMA/CD, CSMA/CA

ALOHA puro

- semplice, nessuna sincronizzazione tra i nodi
- Assumiamo che tutti i pacchetti hanno la stessa dimensione
- Quando arriva il primo pacchetto dal livello superiore:
  - Il nodo lo trasmette immediatamente e integralmente nel canale broadcast.
  - Attende ACK (oppure ascolta il canale)
  - Se c'è collisione
    - Attende un intervallo di tempo random (*backoff* time) e ritrasmette
    - Backoff time = $R*T_{fr}$

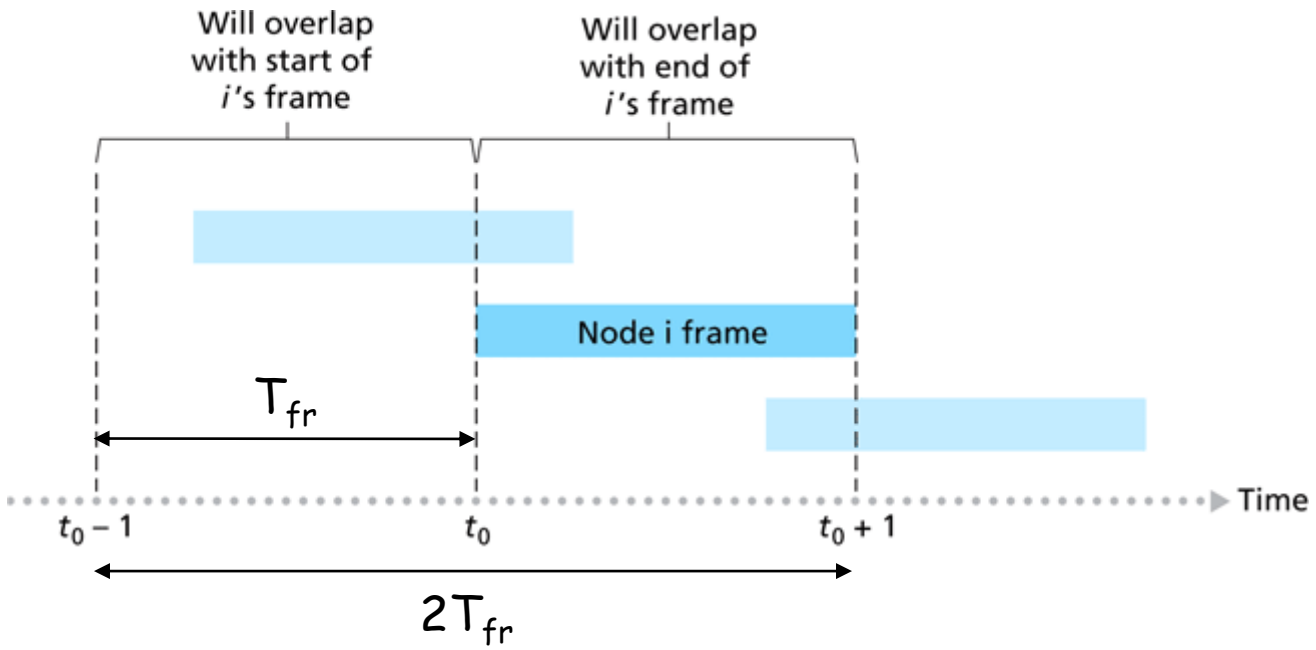
      dove $R \in [0,2^{k-1}]$

      K = # tentativi

      T_{fr}= tempo impiegato per spedire un frame

ALOHA puro

- Elevate probabilità di collisione
- **Tempo di vulnerabilità**: l'intervallo di tempo nel quale il frame è a rischio di collisioni
  - Il frame trasmesso a t_0 si sovrappone con la trasmissione di qualsiasi altro frame inviato in $[t_0-1, t_0+1]$.
  - Tempo di vulnerabilità = $2T_{fr}$



Slotted ALOHA

- Un modo per aumentare l'efficienza di Aloha (Roberts, 1972) consiste nel dividere il tempo in intervalli discreti, ciascuno corrispondente ad un frame time (T_{fr})
- Sincronizzazione: i nodi devono essere d'accordo nel confine fra gli intervalli, e ciò può essere fatto facendo emettere da una attrezzatura speciale un breve segnale all'inizio di ogni intervallo

Slotted ALOHA

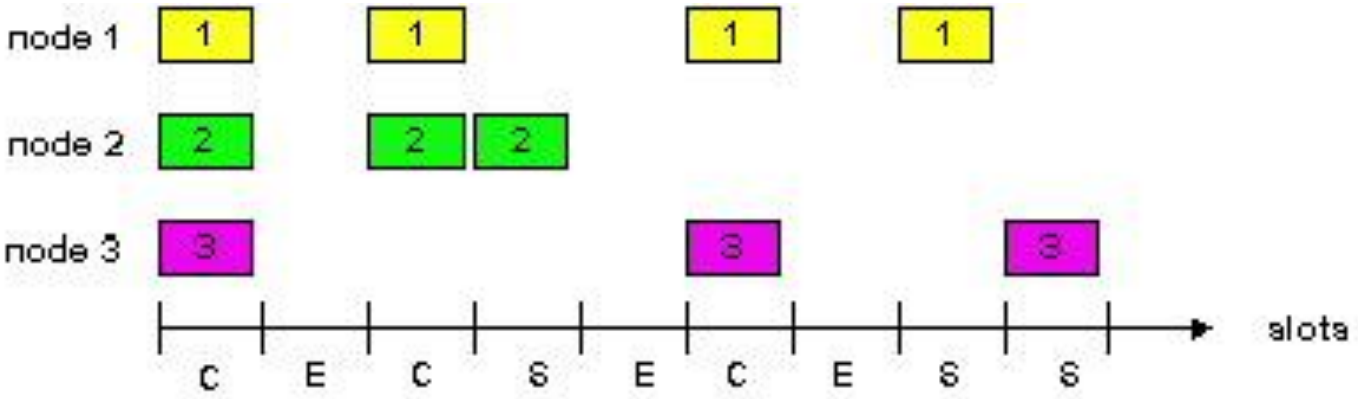
Assumiamo che:

- 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 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.
- Il tempo di vulnerabilità si riduce a un solo slot (T_{fr})

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 = $Np(1-p)^{N-1}$

- La probabilità di successo è massima quando il frame ha un numero di slot pari al numero di nodi
- L'efficienza che si ottiene: 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.

L'efficienza di Aloha puro

P(trasmissione con successo da un dato nodo) =

P(il nodo trasmette) *

P(nessun altro nodo trasmette in $[t_0]$ *

P(nessun altro nodo trasmette in $[t_0-1,t_0]$

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

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

... scegliendo p migliore e n -> infinito ...

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

Peggio di prima !

Accesso multiplo a rilevazione della portante (CSMA)

CSMA (Carrier Sense Multiple Access)

- si pone in ascolto prima di trasmettere
  (*listen before talk*, o *sense before transmit*)
- 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!

CSMA con trasmissioni in collisione

Le collisioni *possono* ancora verificarsi:
Il ritardo di propagazione fa sì che due nodi non rilevino la reciproca trasmissione

Tempo di vulnerabilità:
Tempo di propagazione

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

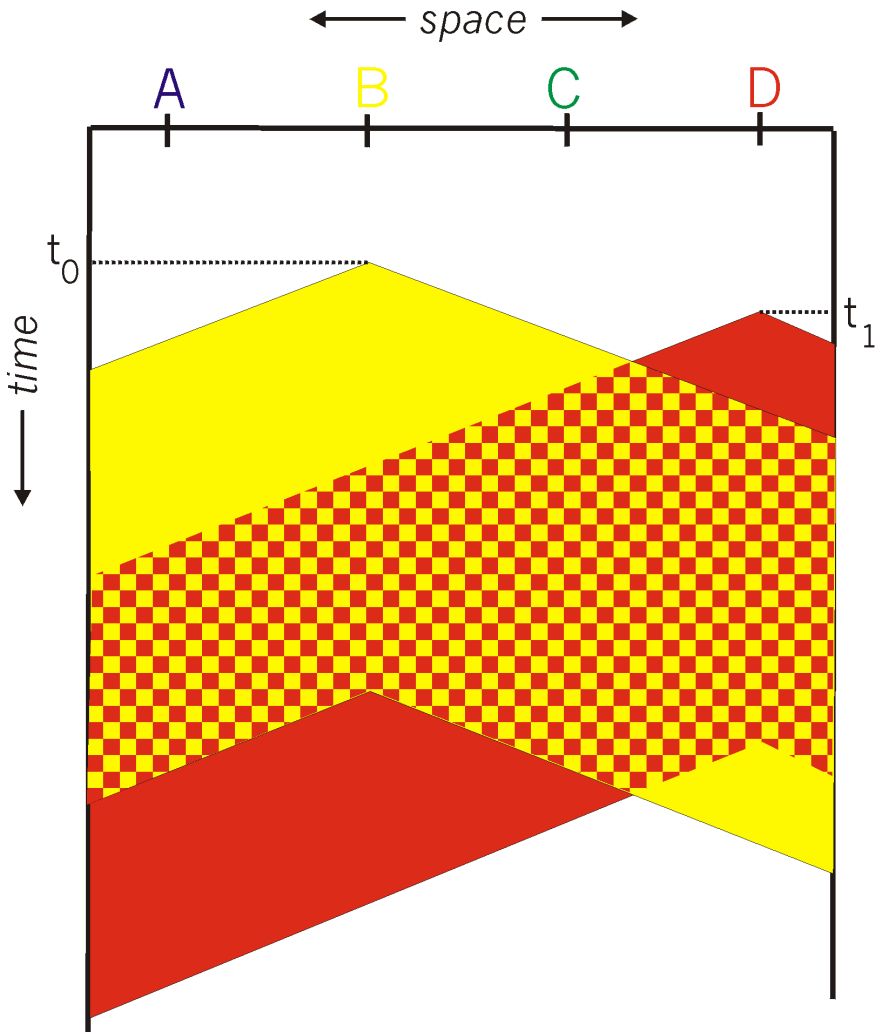


Diagramma spazio tempo

Persistence methods

- Cosa fa un nodo se trova il canale libero?
- Cosa fa un nodo se trova il canale occupato?

Metodi di persistenza

1. 1-persistente:
   - Se il canale è libero trasmette immediatamente (p=1)
   - Se il canale è occupato continua ad ascoltare (carrier sense continuo)
2. non-persistente:
   - Se il canale è libero trasmette immediatamente
   - Se il canale è occupato attende un tempo random e poi riascolta il canale (carrier sense a intervalli)
3. p-persistente (usato in caso di timeslot)
   - Se il canale è libero
     - Trasmette con probabilità p
     - Aspetta l'inizio del prossimo slot con probabilità (1-p)
   - Se il canale è occupato usa la procedura di backoff (attesa di un tempo random e nuovo ascolto del canale)

CSMA/CD (rilevazione di collisione)

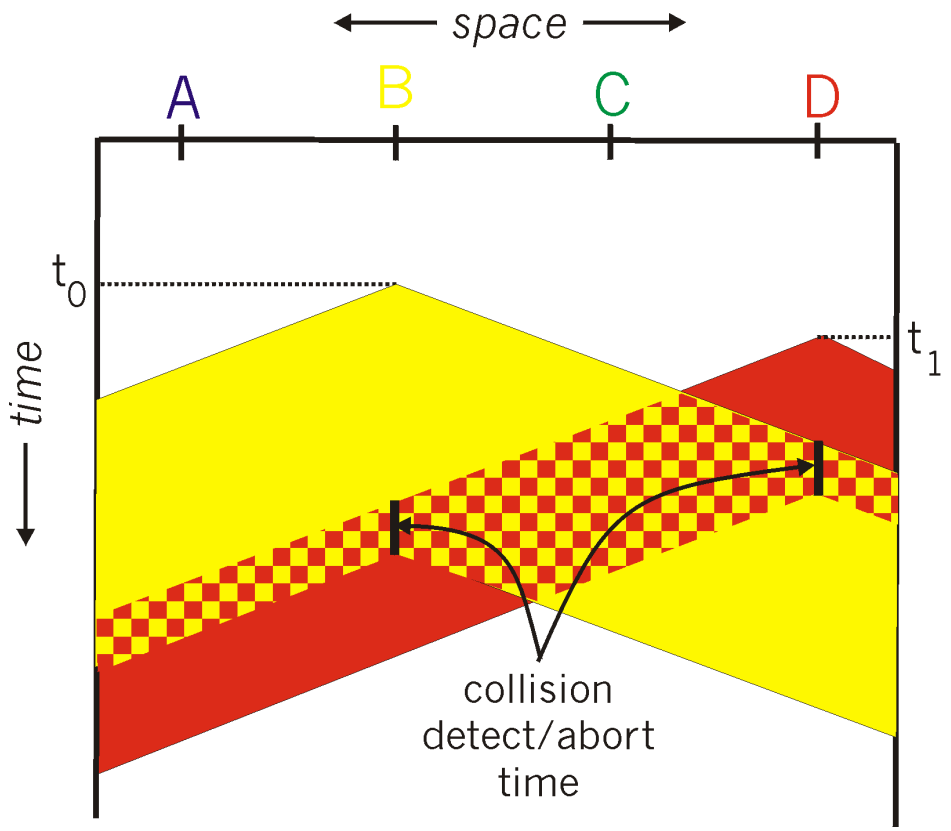
CSMA/CD (collision detection): ascolta il canale anche durante la trasmissione

- Rileva la collisione in poco tempo.
- Annulla la trasmissione non appena si accorge che c'è un'altra trasmissione in corso.

- Rilevazione della collisione:
  - facile nelle LAN cablate.
  - difficile nelle LAN wireless.

- Analogia: un interlocutore educato.

CSMA/CD (rilevazione di collisione)



Protocolli MAC a rotazione

Protocolli MAC a suddivisione del canale:

- Condividono il canale equamente ed efficientemente con carichi elevati.
- Inefficienti con carichi non elevati.

Protocolli MAC ad accesso casuale:

- Efficienti anche con carichi non elevati: un singolo nodo può utilizzare interamente il canale.
- Carichi elevati: eccesso di collisioni.

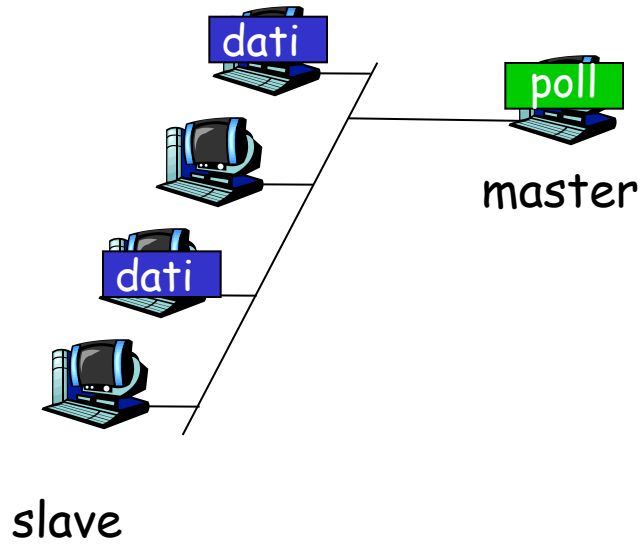
Protocolli a rotazione

- Cercano di realizzare un compromesso tra i protocolli precedenti

Protocolli a rotazione

Protocollo polling:

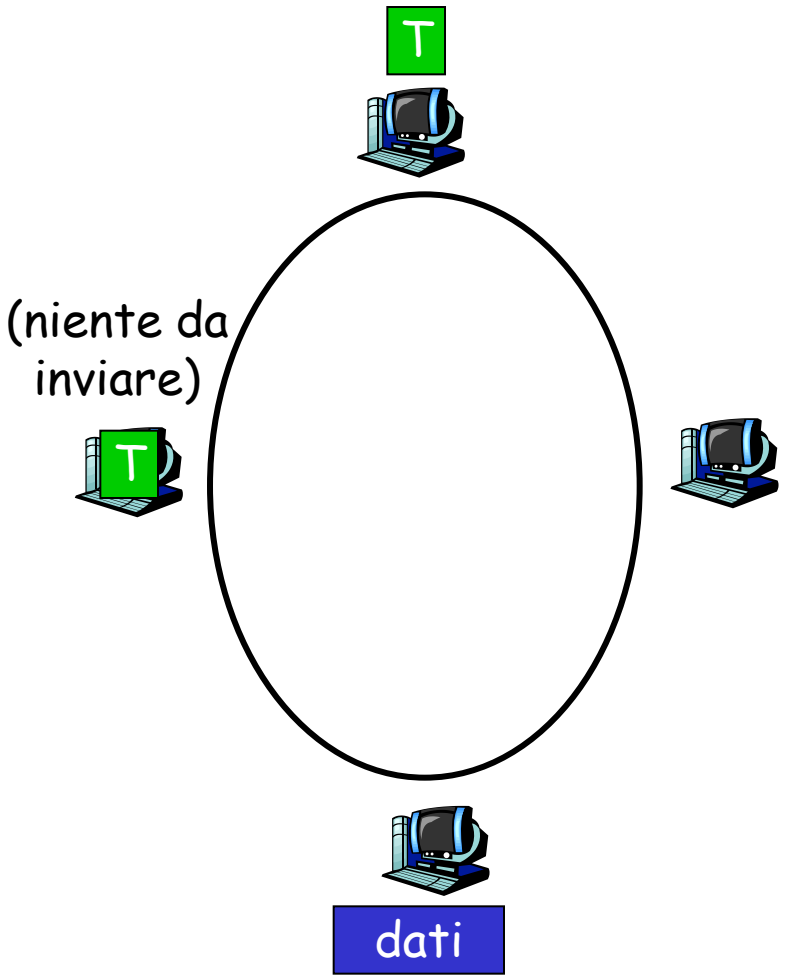
- Un nodo principale sonda "a turno" gli altri.
- In particolare:
  - elimina le collisioni
  - elimina gli slot vuoti
  - ritardo di polling
  - se il nodo principale (master) si guasta, l'intero canale resta inattivo.



Protocolli a rotazione

Protocollo token-passing:

- Un messaggio di controllo circola fra i nodi seguendo un ordine prefissato.
- Messaggio di controllo (*token*).
- In particolare:
  - decentralizzato
  - altamente efficiente
  - il guasto di un nodo può mettere fuori uso l'intero canale



Protocolli: riepilogo

Cosa si può fare con un canale condiviso?

- Suddivisione del canale per: tempo, frequenza, codice.
  - TDM, FDM.
- Suddivisione casuale (dinamica).
  - ALOHA, S-ALOHA, CSMA, CSMA/CD
  - Rilevamento della portante: facile in alcune tecnologie (cablate), difficile in altre (wireless)
  - CSMA/CD usato in Ethernet
  - CSMA/CA usato in 802.11
- A rotazione
  - Polling con un nodo principale; a passaggio di testimone.
  - Bluetooth, FDDI, IBM Token Ring

Livello di collegamento e reti locali

Livello di collegamento: introduzione e servizi

Tecniche di rilevazione e correzione degli errori

Protocolli di accesso multiplo

Indirizzi a livello di collegamento

Ethernet

Switch a livello di collegamento

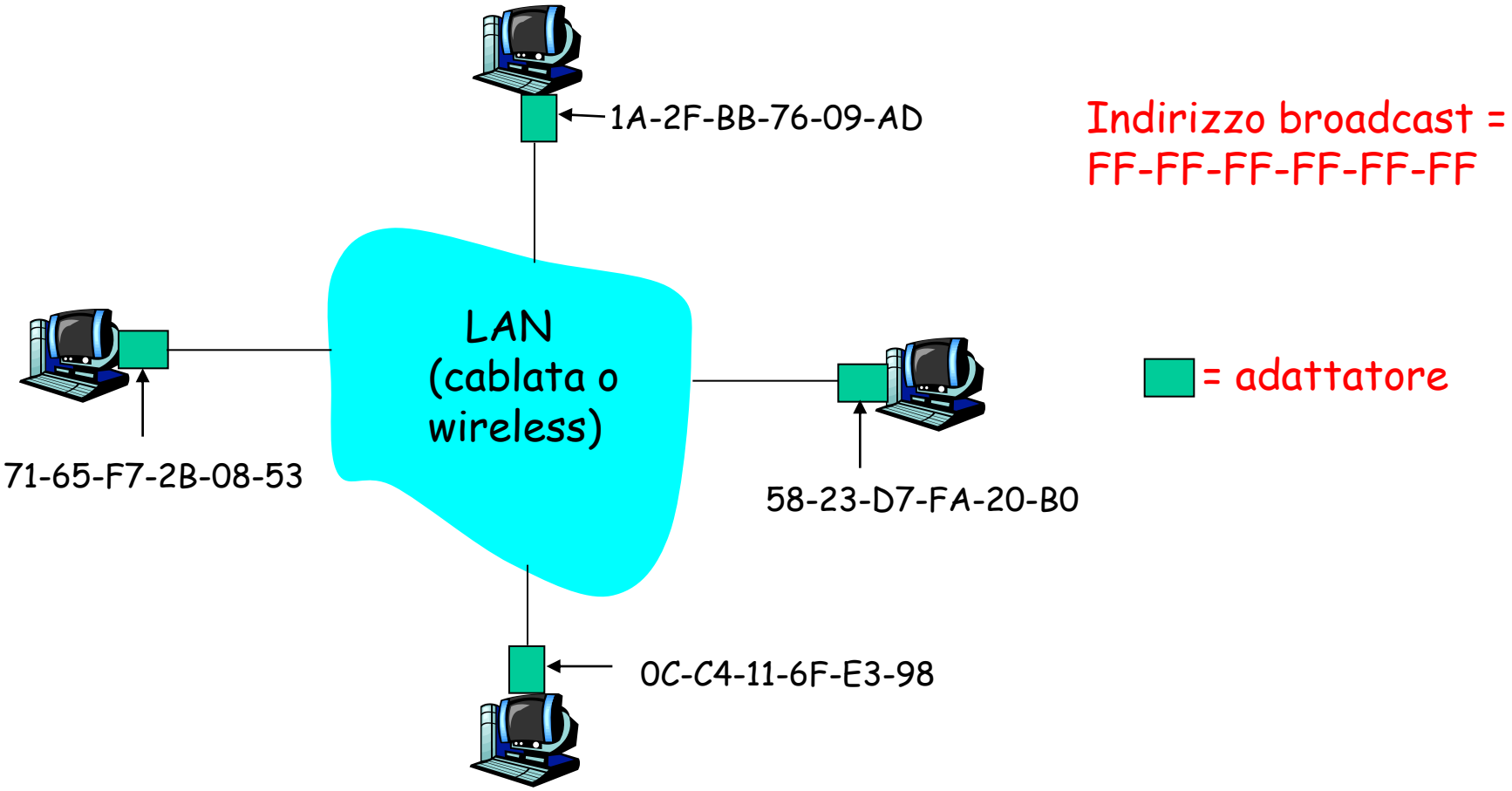
PPP: protocollo punto-punto

Indirizzi MAC e ARP

- Indirizzo IP a 32 bit:
  - Indirizzo a *livello di rete.*
  - Analogo 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):
  - Analogo 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 (6 byte, rappresentati in esadecimali).

Indirizzi LAN e ARP

Ciascun adattatore di una LAN ha un indirizzo LAN univoco .



Indirizzi LAN

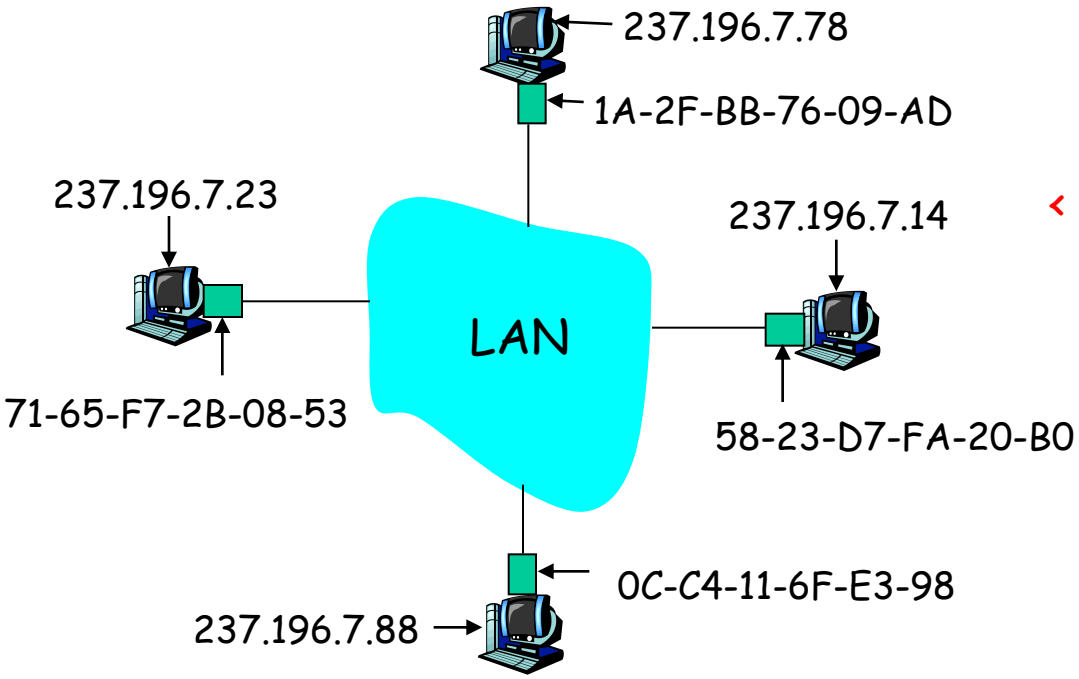
- La IEEE sovrintende alla gestione degli indirizzi MAC.
- Quando una società vuole costruire adattatori, compra un blocco di spazio di indirizzi (unicità degli indirizzi).
- Indirizzo orizzontale MAC --> portabilità
  - È possibile spostare una scheda LAN da una LAN a un'altra.
- Gli indirizzi IP hanno una struttura gerarchica e devono essere aggiornati se spostati.
  - dipendono dalla sottorete IP cui il nodo è collegato.

Esempio di tabella ARP

IP Address	MAC Address	TTL
222.222.222.221	88-B2-2F-54-1A-0F	13:45:00
222.222.222.223	5C-66-AB-90-75-B1	13:52:00

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.

< Indirizzo IP; Indirizzo MAC; TTL>

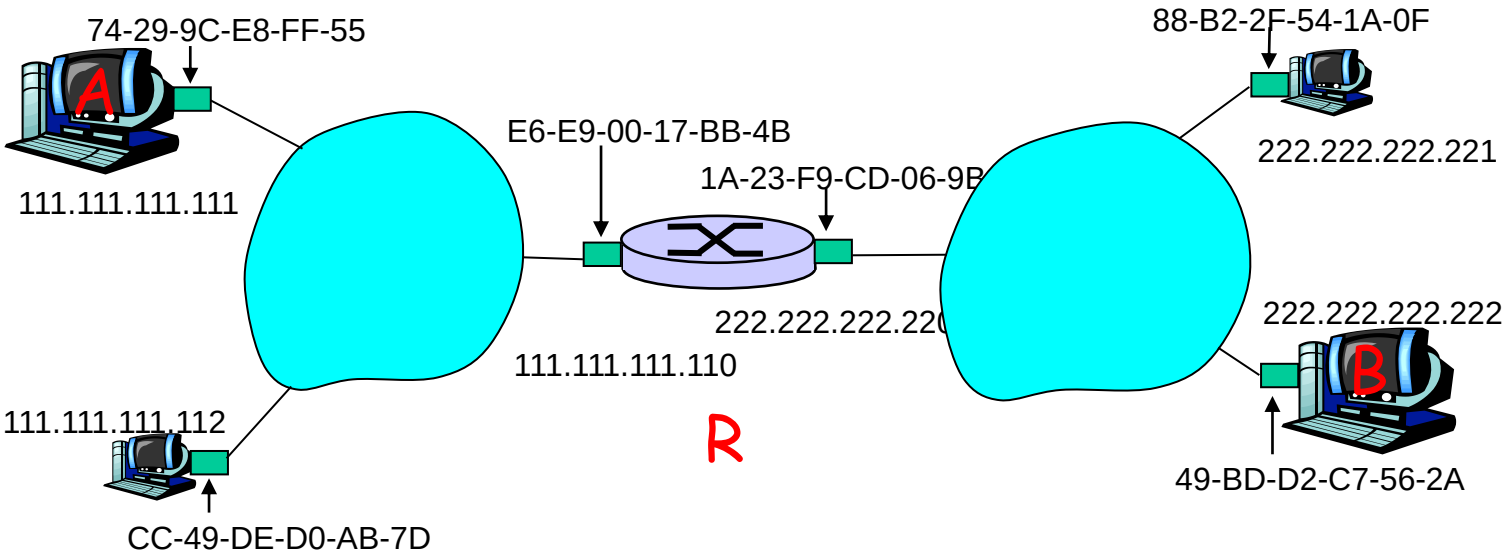
  - TTL (tempo di vita): valore che indica quando bisognerà eliminare una data voce nella tabella (il tempo di vita tipico è di 20 min).

Protocollo ARP nella stessa sottorete

- *A* vuole inviare un datagramma a *B*, e l'indirizzo MAC di *B* non è nella tabella ARP di *A*.
- A trasmette in un pacchetto broadcast il messaggio di richiesta ARP, contenente l'indirizzo IP di B.
  - Indirizzo MAC del destinatario
    = FF-FF-FF-FF-FF-FF
  - Tutte le macchine della LAN ricevono una richiesta ARP.
- *B* riceve il pacchetto ARP, e risponde ad *A* comunicandogli il proprio indirizzo MAC.
  - il frame viene inviato all'indirizzo MAC di A.
- Il messaggio di richiesta ARP è inviato in un pacchetto broadcast mentre il messaggio di risposta ARP è inviato in un pacchetto standard.
- ARP è "plug-and-play":
  - La tabella ARP di un nodo si costituisce automaticamente e non deve essere configurata dall'amministratore del sistema.

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).

- A crea un datagramma con origine A, e destinazione B.
- A usa ARP per ottenere l'indirizzo MAC di R.
- A crea l'intestazione del frame, inserisce il proprio MAC e il MAC di R, l'area dati 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.

Questo esempio è **molto** importante!
Siete sicuri di averlo compreso bene?