



Reti

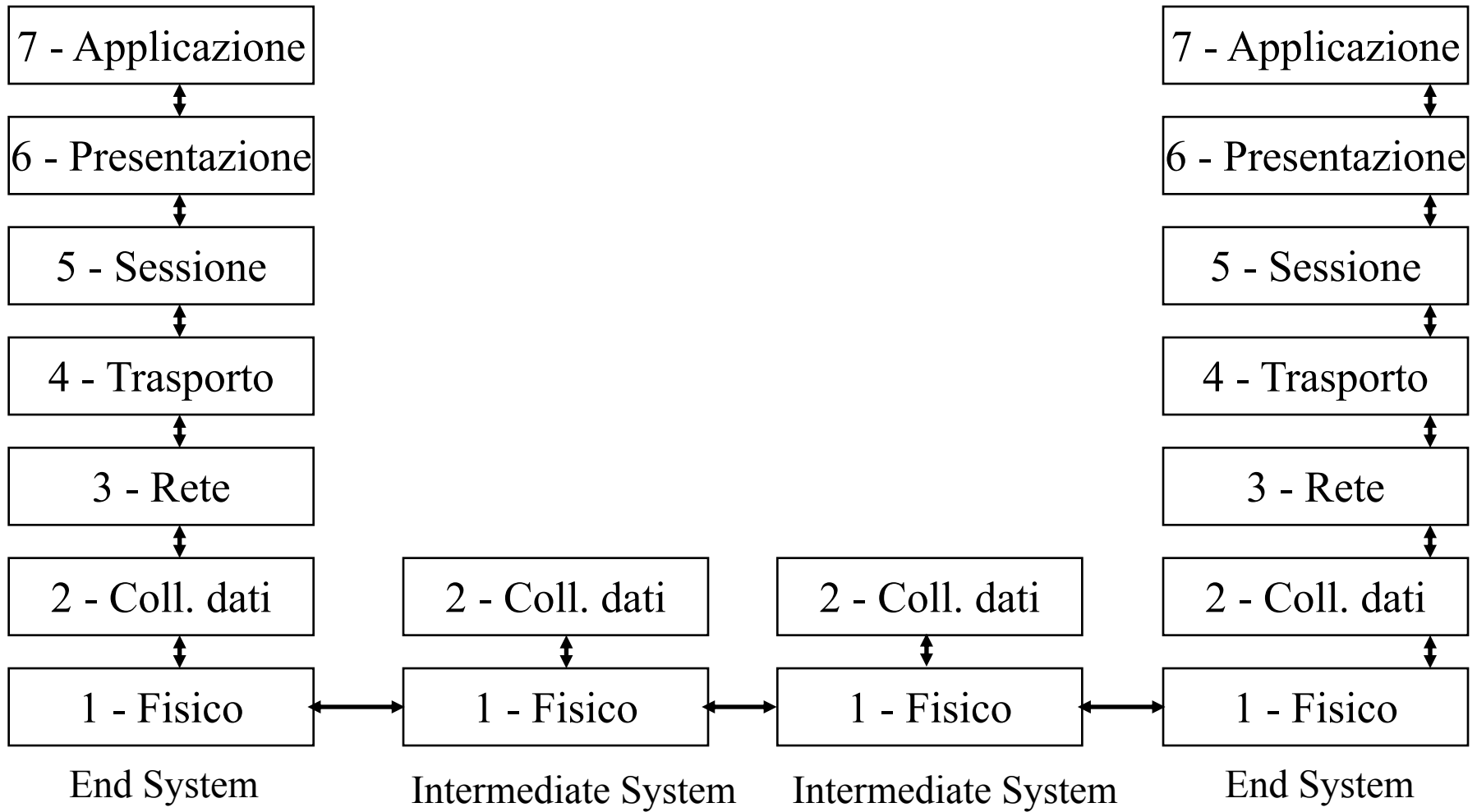
(già "Reti di Calcolatori")

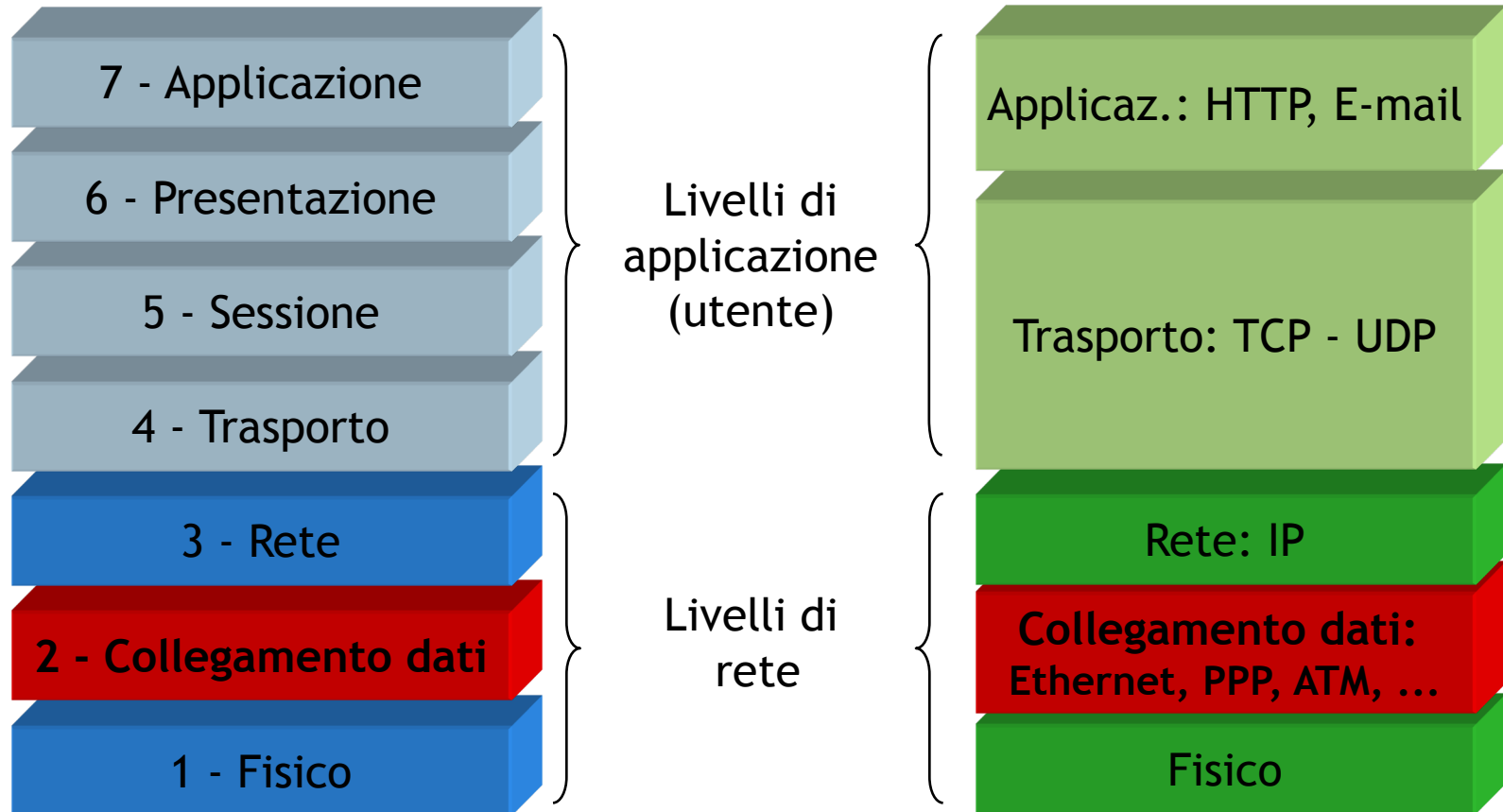
Livello Collegamento Data-Link e Medium Access Control

Renato Lo Cigno

<http://disi.unitn.it/locigno/teaching-duties/reti>

- *Credits*
 - *Part of the material is based on slides provided by the following authors*
 - *Jim Kurose, Keith Ross, “Computer Networking: A Top Down Approach,” 4th edition, Addison-Wesley, July 2007*
 - *Douglas Comer, “Computer Networks and Internets,” 5th edition, Prentice Hall*
 - *Behrouz A. Forouzan, Sophia Chung Fegan, “TCP/IP Protocol Suite,” McGraw-Hill, January 2005*
- *La traduzione, se presente, è in generale opera (e responsabilità) del docente*





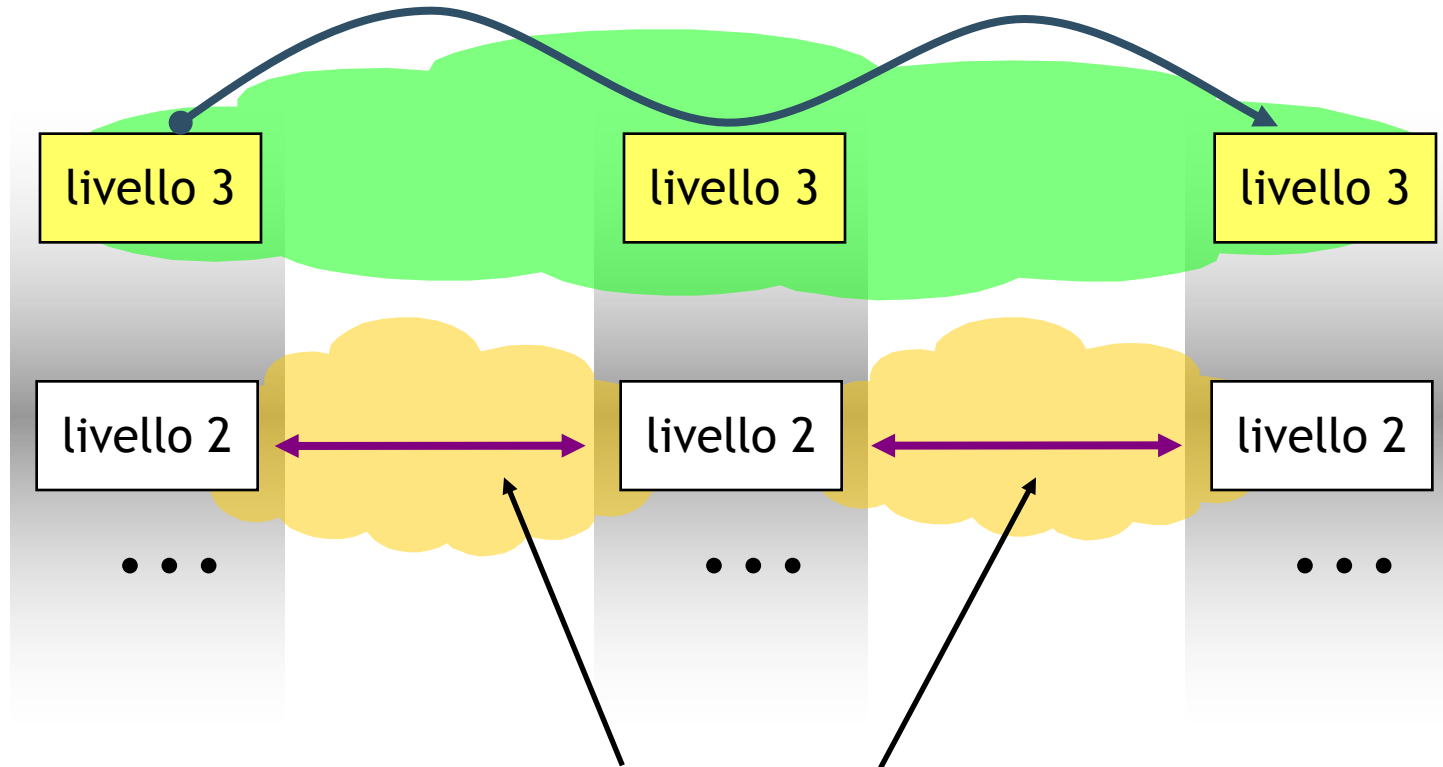


- Obiettivo principale: fornire al livello di rete di due macchine adiacenti un **canale di comunicazione** il più possibile affidabile
 - macchine adiacenti → fisicamente connesse da un canale di comunicazione (es. un cavo coassiale, doppino telefonico)
 - canale di comunicazione → “tubo di bit”, ovvero i bit sono ricevuti nello stesso ordine in cui sono inviati
- Per compiere questo obiettivo, come tutti i livelli OSI, il livello 2 offre dei servizi al livello superiore (livello di rete) e svolge una serie di funzioni
- Problema: il canale fisico non è ideale
 - errori di trasmissione tra sorgente e destinazione
 - necessità di dover gestire la velocità di trasmissione dei dati
 - ritardo di propagazione non nullo



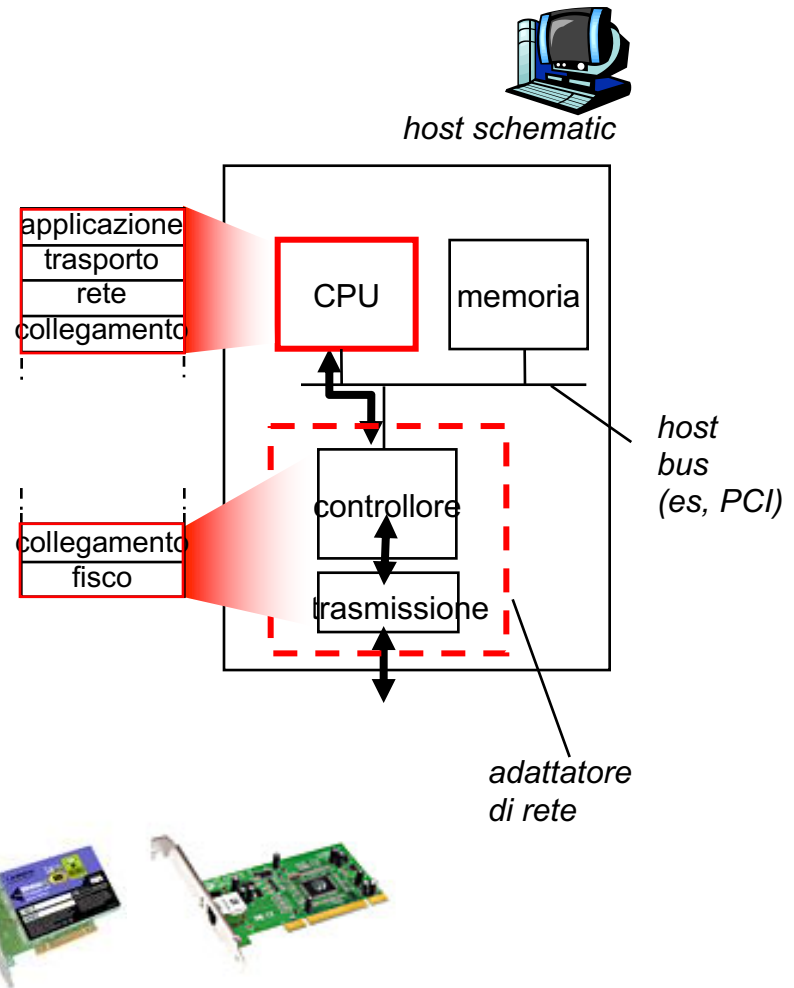
- Servizio connectionless senza riscontro (ACK)
 - non viene attivata nessuna connessione
 - invio delle trame senza attendere alcun *feedback* dalla destinazione
 - Se una trama viene persa non ci sono tentativi per recuperarla, il compito viene lasciato ai livelli superiori
 - **la maggior parte delle LAN cablate utilizzano questo servizio**
- Servizio connectionless con acknowledge
 - non viene attivata nessuna connessione
 - ogni trama inviata viene “riscontrata” in modo individuale
 - **le reti wireless LAN usano questo servizio**
- Servizio connection-oriented con acknowledge
 - viene attivata una connessione e, al termine del trasferimento, essa viene abbattuta
 - ogni trama inviata viene “riscontrata” in modo individuale
 - **le reti telefoniche/cellulari usano questo servizio**

Visibilità estesa a tutta la rete



Visibilità limitata al singolo link (o sottorete)

- ❑ In tutti gli host
- ❑ È realizzato in un adattatore (NIC, *network interface card*)
 - scheda Ethernet, PCMCIA, 802.11
 - Implementa il livello di collegamento e fisico
- ❑ È una combinazione di hardware, software e firmware



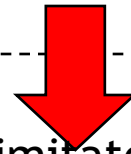
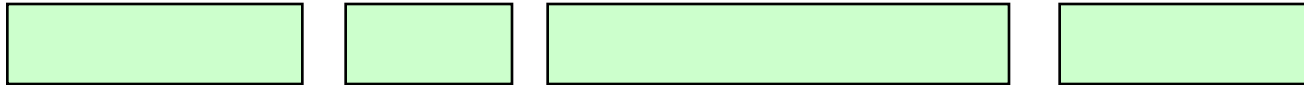


- Le principali funzioni svolte dal livello 2 sono:
 - framing
 - delimitazione delle trame
 - rilevazione/gestione errori
 - controlla se la trama contiene errori ed eventualmente gestisce il recupero
 - controllo di flusso
 - gestisce la velocità di trasmissione
 - controllo di accesso al canale per canali broadcast
 - MAC: Medium Access Control, coordina chi trasmette e chi riceve in canali con molte stazioni collegate

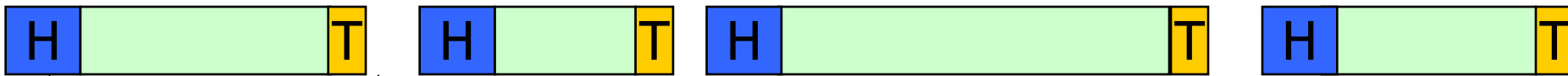


- Il livello 2 riceve dal livello superiore (rete) dei pacchetti
- Considerando che:
 - la lunghezza dei pacchetti (di livello 3) e delle corrispondenti trame (livello 2) è variabile
 - i sistemi non sono sincronizzati tra loro, ovvero non hanno un orologio comune che segna la stessa ora per tutti
 - il **livello 1 tratta solo bit**, e quindi non è in grado di distinguere se un bit appartiene ad una trama o a quella successiva
- ... nasce il problema della **delimitazione delle trame**
- La funzionalità di *framing* (frame = trama) è dunque di rendere distinguibile una trama dall'altra attraverso l'utilizzo di opportuni codici all'inizio e alla fine della trama stessa

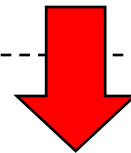
pacchetti dal livello 3



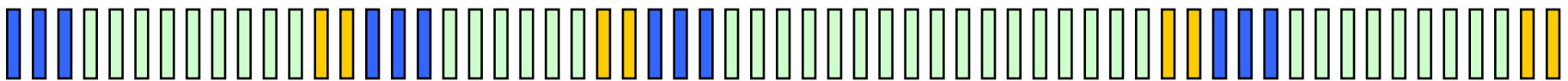
trame/frame del livello 2 con delimitatori



[Header] *[trailer]*



flusso di bit del livello 1

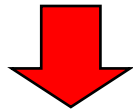




- Esistono diverse tecniche per implementare il framing:
 - inserire intervalli temporali fra trame consecutive
 - problema: per natura intrinseca le reti di telecomunicazione non danno garanzie sul rispetto delle caratteristiche temporali delle informazioni trasmesse
 - gli intervalli inseriti potrebbero essere espansi o ridotti generando problemi di ricezione
 - marcare inizio e termine di ogni trama
 1. Character count
 2. Character stuffing
 3. Starting and ending flags (bit stuffing)
 4. Physical layer coding violations



- Ogni trama inizia e termina con una sequenza di caratteri ASCII ben definita
 - DLE (Data Link Escape) + STX (Start of TeXt)
 - DLE (Data Link Escape) + ETX (End of TeXt)
- Se nella trasmissione di dati binari, una sottosequenza di bit corrisponde ai caratteri speciali...

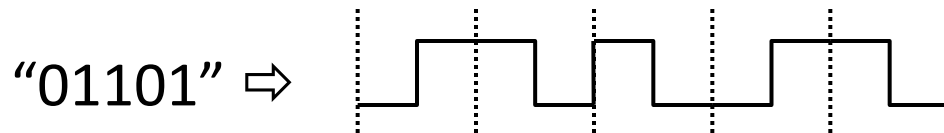


- ...la sorgente duplica il carattere DLE
 - **character stuffing**



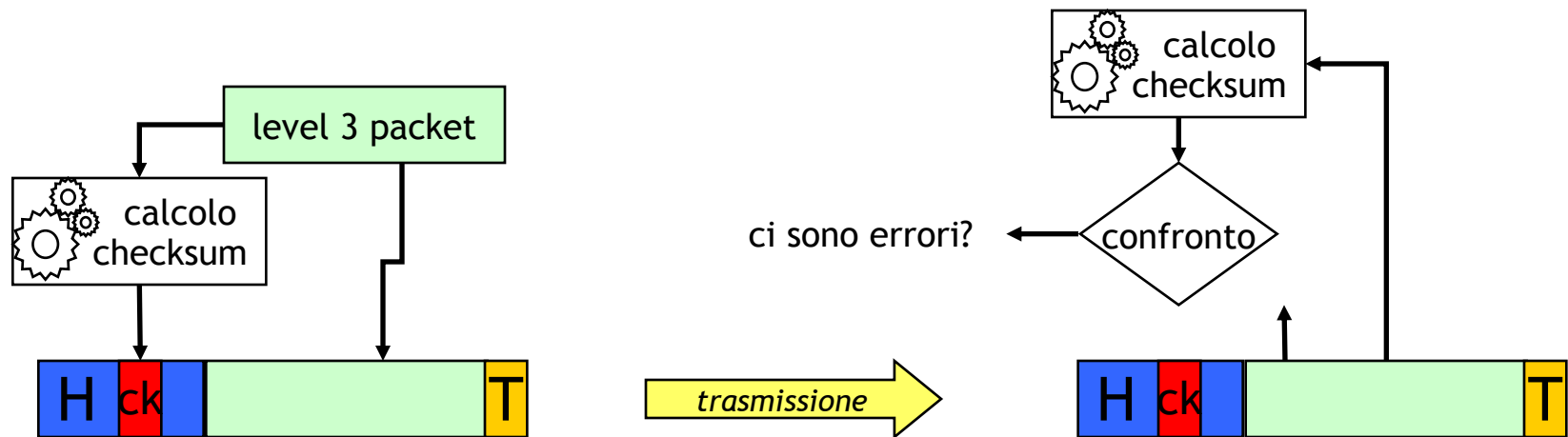
- Ogni trama può includere un numero arbitrario di bit
- Ogni trama inizia e termina con uno speciale pattern di bit, 01111110, chiamato **byte di flag**
- In trasmissione se la sorgente incontra 5 bit “1” consecutivi, aggiunge uno “0” (indipendentemente dal bit che segue)
 - **bit stuffing**
 - es. la sequenza “01111110” è trasmessa come “0111111010”
- Il ricevitore quando riceve 5 “1” consecutivi elimina sempre lo 0 che segue, ripristinando la sequenza originale

- Tecnica basata su sistemi che utilizzano ridondanza a livello fisico
 - es. ogni bit di informazione viene trasmesso utilizzando una combinazione di due simboli "alto" e "basso" a livello fisico
 - '1' \Rightarrow 'AB'
 - '0' \Rightarrow 'BA'



- 'AA' e 'BB' non sono usate per i dati e possono essere quindi utilizzate per delimitare la trama

- Il livello fisico offre un canale di trasmissione **con errori**
 - errori sul singolo bit
 - replicazione di bit
 - perdita di bit
- Per la rilevazione di tali errori, nell'header di ogni trama il livello 2 inserisce un campo di controllo (checksum)
- I checksum è il risultato di un calcolo fatto utilizzando i bit della trama
- la destinazione ripete il calcolo e confronta il risultato con il checksum: se coincide la trama è corretta





- Realizzato con protocolli a finestra (v. liv. trasporto), in genere stop&wait
- Il controllo della velocità di trasmissione della sorgente è basato su feedback inviati alla sorgente dalla destinazione indicando
 - di bloccare la trasmissione fino a comando successivo
 - la quantità di informazione che la destinazione è ancora in grado di gestire
- I feedback possono essere
 - nei servizi con riscontro, gli ack stessi
 - nei servizi senza riscontro, dei pacchetti appositi



Correzione errori ARQ

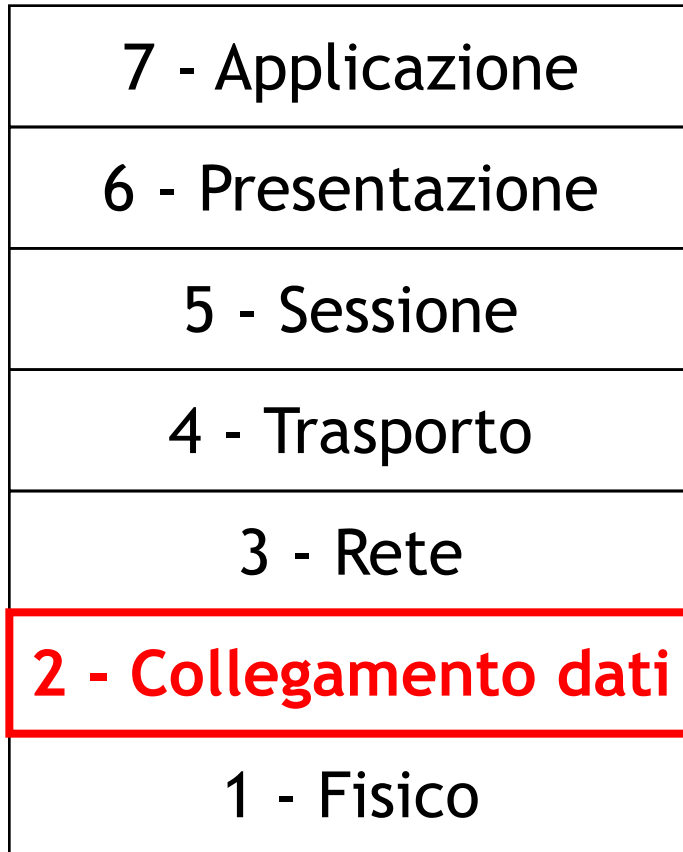
- Spesso assente nelle reti locali cablate
- Presente invece normalmente nelle reti wireless LAN
- Presente nelle reti tradizionali di tipo geografico
- Come a livello trasporto basato su protocolli a finestra
 - normalmente stop&wait
 - sul singolo canale non ho problemi di ritardo variabile
- Ritrasmissione dell'intera trama, controllo basato su CRC



Il sotto-livello MAC



- Il livello 2 è direttamente collegato al livello fisico e al mezzo di comunicazione
- Il mezzo può essere:
 - dedicato (reti punto-punto)
 - condiviso (reti broadcast)
- Se il mezzo fisico è condiviso, è necessario coordinare l'accesso
 - gestione della competizione per la risorsa trasmissiva
 - selezione dell'host che ha il diritto di trasmettere
- Viene introdotto un sotto-livello al livello 2 che gestisce l'accesso
 - **MAC (Medium Access Control)**



Gestisce le altre funzionalità del livello 2, in particolare il controllo di flusso

2high - Collegamento dati

2low – Medium Access Control

Gestisce le politiche/regole di accesso ad un mezzo condiviso



- Per mezzo **condiviso** si intende che un unico canale trasmissivo può essere usato da più sorgenti
 - laptop e smartphone collegati con WiFi condividono “l’etere” ovvero le onde radio che trasportano i segnali
 - PC collegati a un cavo coassiale condividono il cavo stesso
- È necessario definire una serie di regole per poter utilizzare il mezzo (tecniche di allocazione del canale)
 - se due sorgenti parlano contemporaneamente vi sarà collisione è l’informazione andrà persa



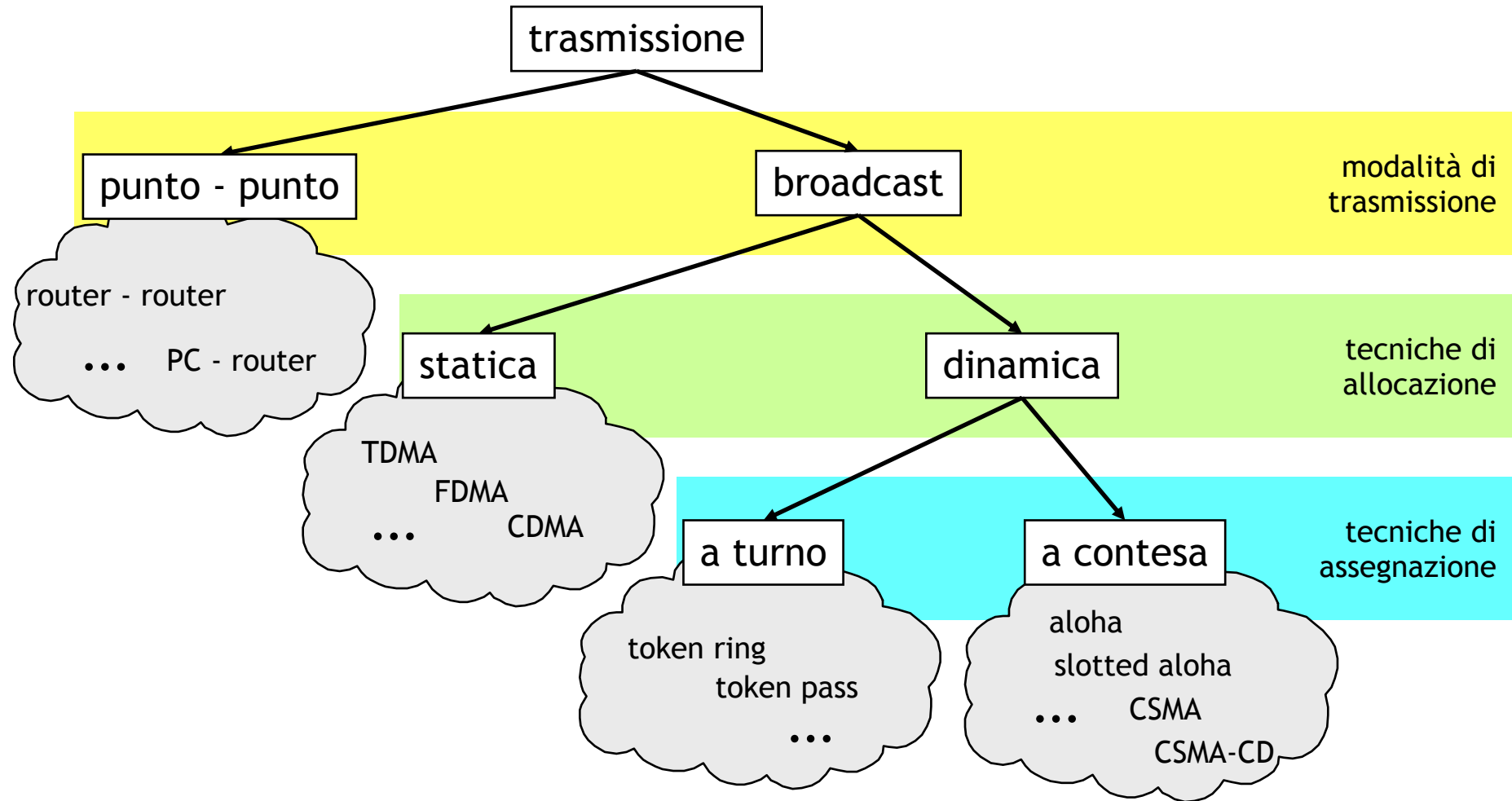
- Due categorie di allocazione del canale trasmissivo
 - allocazione statica
 - il mezzo trasmissivo viene “partizionato” e ogni porzione viene data alle diverse sorgenti
 - il partizionamento può avvenire in base:
 - al tempo: ogni sorgente ha a disposizione il mezzo per un determinato periodo
 - alla frequenza: ogni sorgente ha a disposizione una determinata frequenza
 - allocazione dinamica
 - il canale viene assegnato di volta in volta a chi ne fa richiesta



- Frequency Division Multiple Access (FDMA)
- Time Division Multiple Access (TDMA)
- Code Division Multiple Access (CDMA)
- Buona efficienza in situazioni di **pochi utenti con molto carico costante nel tempo**
- Meccanismi di semplice implementazione (FDM)
- Tuttavia ...
 - molti utenti
 - traffico discontinuo
- ... portano a scarsa efficienza di utilizzo delle risorse trasmissive
 - le risorse dedicate agli utenti “momentaneamente silenziosi” sono perse



- Il canale trasmissivo può essere assegnato:
 - a turno: viene distribuito il “permesso” di trasmettere; la durata viene decisa dalla sorgente
 - a contesa: ciascuna sorgente prova a trasmettere indipendentemente dalle altre
- Nel primo caso devono esistere meccanismi per l’assegnazione del permesso di trasmettere
 - overhead di gestione
 - sono i protocolli più usati nelle reti cellulari
- Nel secondo caso non sono previsti meccanismi particolari
 - sorgente e destinazione sono il più semplici possibile
 - sono i protocolli più usati nelle reti LAN





Ipotesi e regole del gioco per l'analisi delle caratteristiche e prestazioni dei protocolli a contesa

Single channel assumption

- unico canale per tutte le comunicazioni e tempo di propagazione trascurabile

Station model

- N stazioni indipendenti ognuna delle quali è sorgente di trame di livello 2
- trame generate secondo la distribuzione di Poisson con media G
- la lunghezza delle trame è fissa, ovvero il tempo di trasmissione è costante e pari a T (tempo di trama)
- una volta generata una trama, la stazione è bloccata fino al momento di corretta trasmissione

Collision assumption

- due trame contemporaneamente presenti sul canale generano collisione
- non sono presenti altre forme di errore

Tempo...

- continuo: la trasmissione della trama può iniziare in qualunque istante
- *slotted*: la trasmissione della trama può iniziare solo in istanti discreti

Ascolto del canale...

- *carrier sense*: le stazioni sono in grado di verificare se il canale è in uso prima di iniziare la trasmissione di una trama

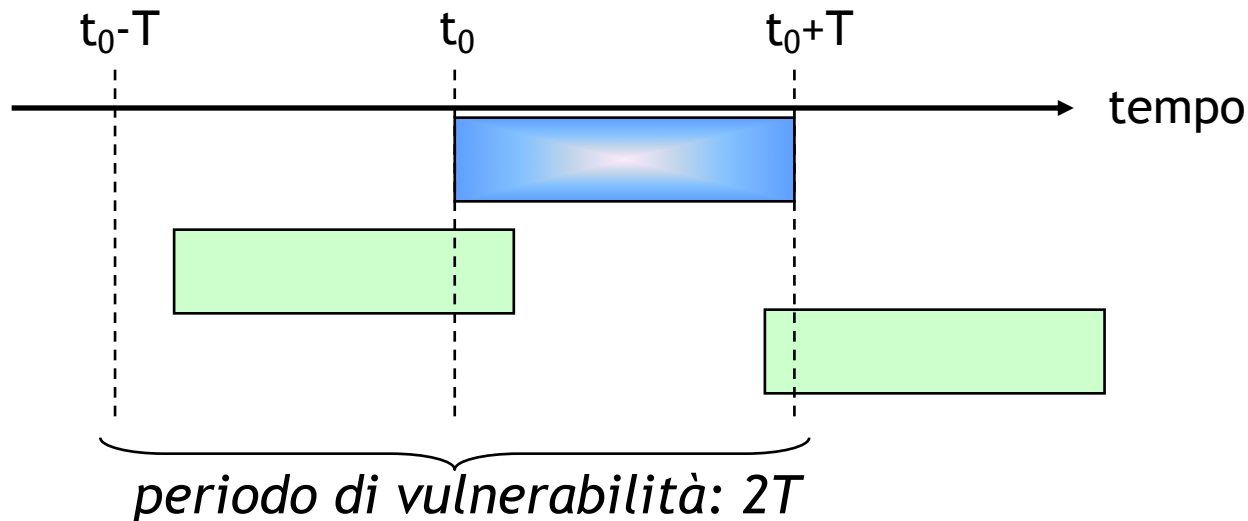


- In letteratura sono disponibili molti algoritmi di accesso multiplo al mezzo condiviso con contesa
- Principali algoritmi (utilizzati dai protocolli):
 - ALOHA
 - Pure ALOHA
 - Slotted ALOHA
 - Carrier Sense Multiple Access Protocols
 - CSMA
 - CSMA-CD (Collision Detection: con rilevazione della collisione)
 - CSMA-CA (Collision Avoidance: con tecniche per ridurre la probabilità di collisione)



- Definito nel 1970 da N. Abramson all'università delle Hawaii
- Algoritmo:
 - una sorgente può trasmettere una trama ogniqualvolta vi sono dati da inviare (*continuous time*)
- **collisione** \Rightarrow la sorgente aspetta un tempo **casuale** e ritrasmette la trama
 - un tempo deterministico porterebbe ad una situazione di collisione all'infinito

- Si definisce “periodo di vulnerabilità” l’intervallo di tempo in cui può avvenire una collisione che invalida una trasmissione
- Detto T il tempo di trama e t_0 l’inizio della trasmissione da parte di una sorgente, il periodo di vulnerabilità è pari al doppio del tempo di trama
 - nel momento in cui inizia a trasmettere (t_0), nessuna altra sorgente deve aver iniziato la trasmissione dopo l’istante di tempo $t_0 - T$ e nessuna altra sorgente deve iniziare la trasmissione fino a $t_0 + T$

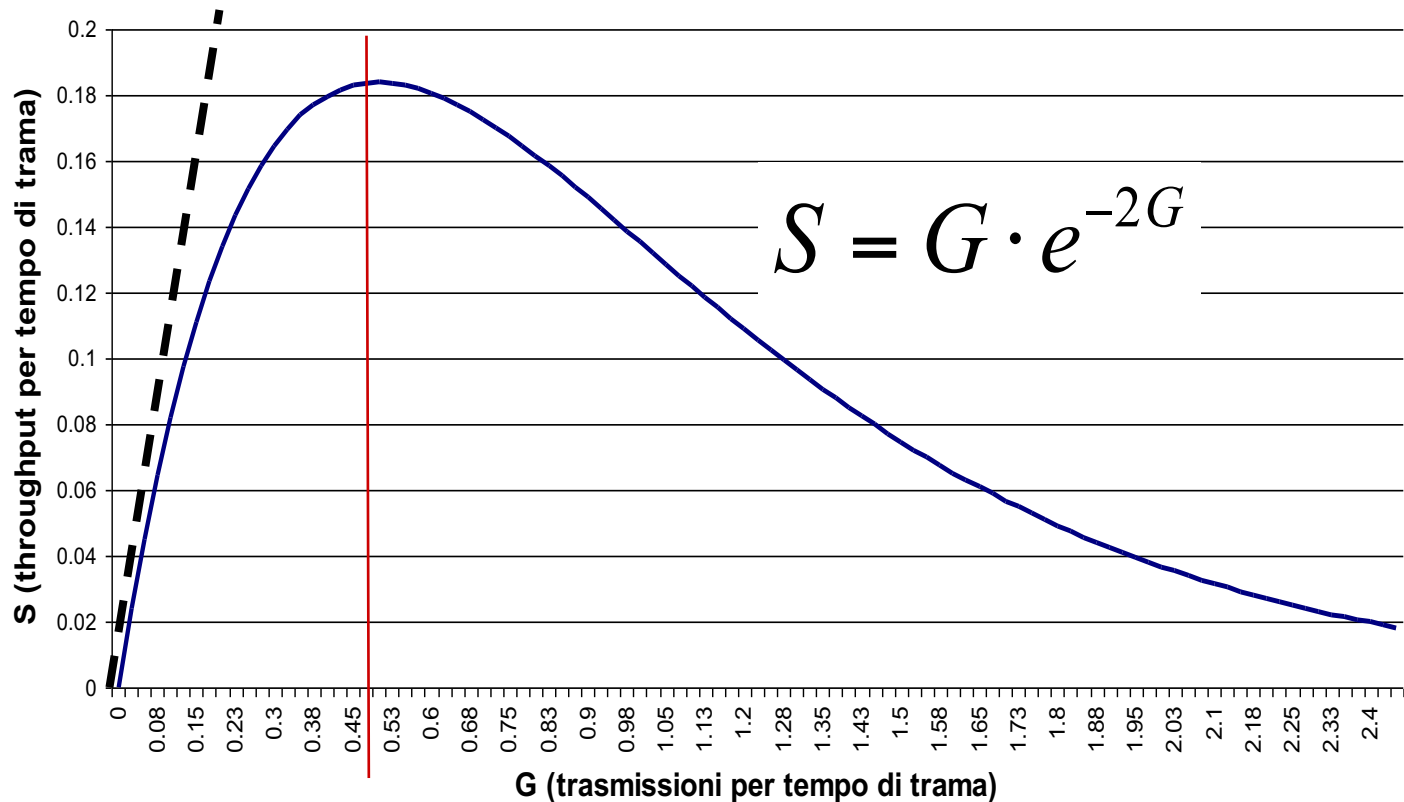


- Ipotesi
 - trame di lunghezza fissa (o distribuite in modo esponenziale, non cambia)
 - tempo di trama: tempo (medio) necessario per trasmettere una trama
 - numero di stazioni infinito (o comunque molto grande)
- Traffico generato (numero di trame per tempo di trama) segue la distribuzione di Poisson con media G
 - G ingloba anche il numero di ri-trasmissioni dovuto a collisioni
- Il throughput reale è dato da
 - numero medio di trasmissioni * probabilità che non ci siano trasmissioni per tutto il periodo di vulnerabilità (2 tempi di trama consecutivi)
 - $S = G \cdot P[0 \text{ trasmissioni per } 2T]$, ovvero

$$S = G \cdot e^{-2G}$$

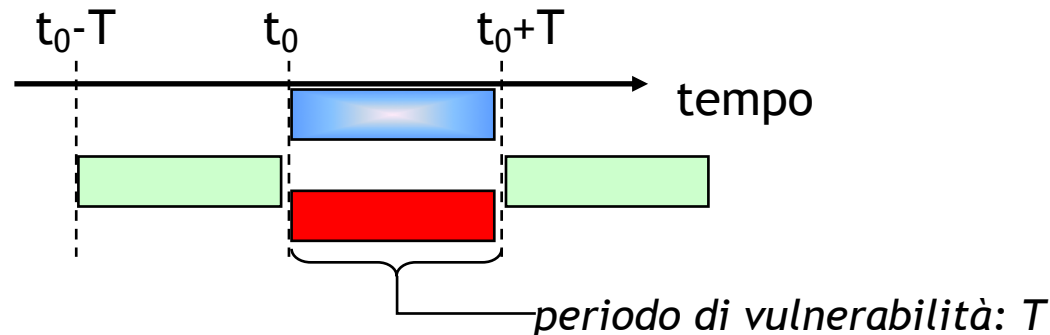
G = numero medio di trame trasmesse nel tempo di trama

S = numero medio di trame trasmesse con successo (throughput)



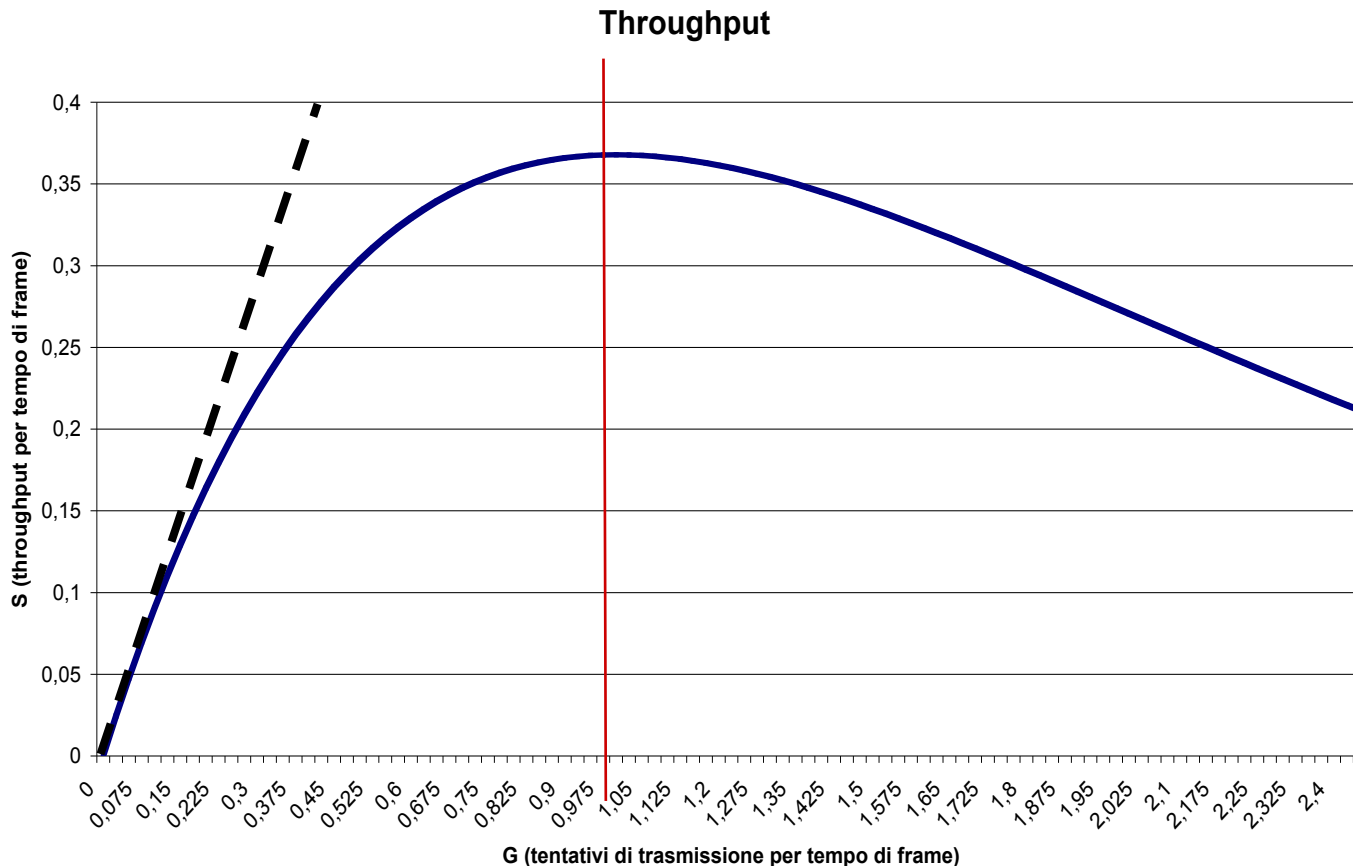
- ALOHA permette al massimo di sfruttare il 19% del tempo, il massimo si ha quando il traffico offerto è ~ 0.5 volte la capacità del canale. **Protocollo instabile!!**

- Proposto nel 1972 da Roberts per migliorare la capacità di Pure ALOHA
- Basato su ipotesi di *slotted time* (tempo suddiviso ad intervalli discreti)
- Algoritmo:
 - Pure ALOHA
 - la trasmissione di una trama può iniziare solo ad intervalli discreti
 - necessaria sincronizzazione tra stazioni
- Periodo di vulnerabilità: T (tempo di trama)



Il periodo di vulnerabilità è dimezzato, quindi il throughput reale è dato da

$$S = G \cdot e^{-G}$$



- Slotted ALOHA permette al massimo di sfruttare il 37% degli slot liberi a carico ~ 1
- **Il protocollo è instabile!!**
- **Bisogna distribuire un sincronismo**

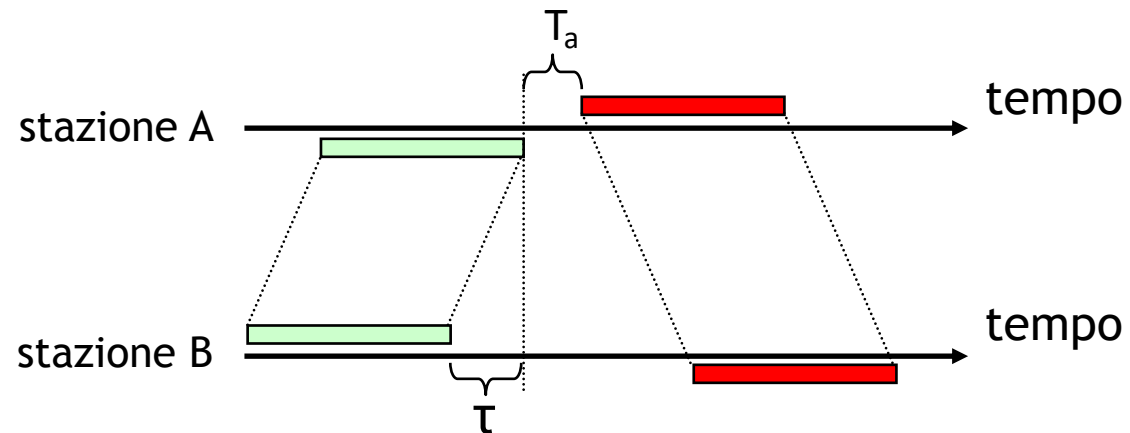
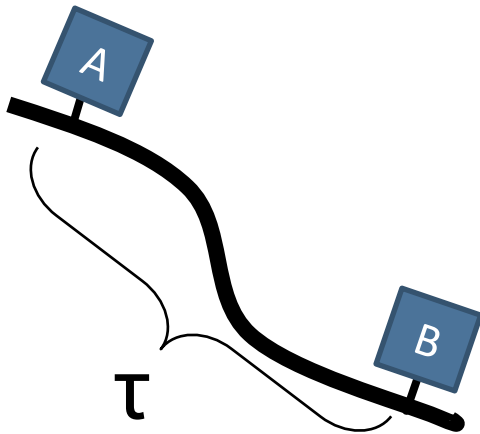


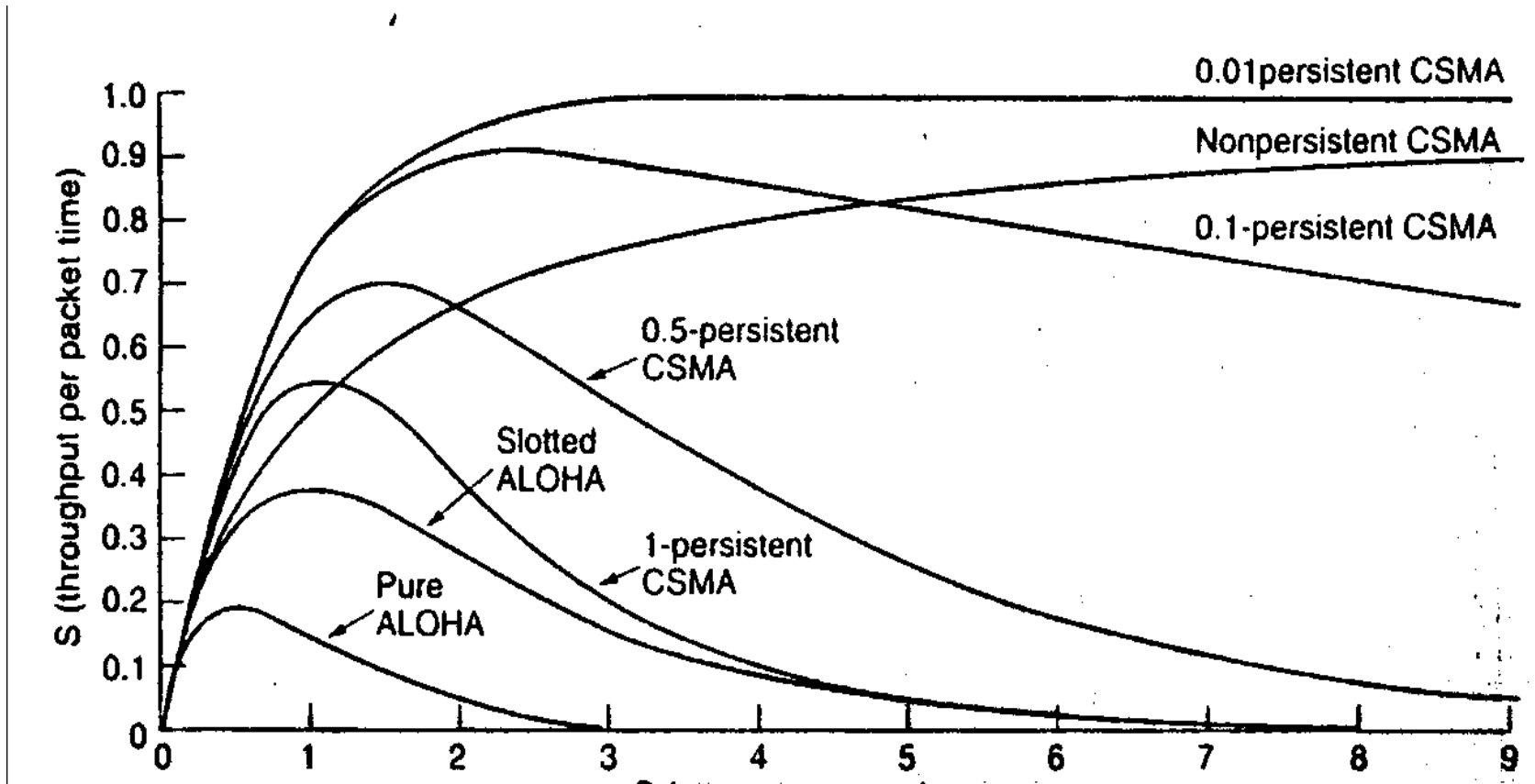
- Le stazioni possono monitorare lo stato del canale di trasmissione
- Le stazioni sono in grado di “ascoltare” il canale **prima di iniziare a trasmettere** per verificare se c’è una trasmissione in corso
 - se il canale è libero, si trasmette
 - se è occupato, sono possibili diverse varianti
 - non-persistent (0-persistent)
 - rimanda la trasmissione ad un nuovo istante $t_1 \gg t_0 + T$, scelto in modo casuale
 - persistent (1-persistent)
 - nel momento in cui si libera il canale, la stazione inizia a trasmettere
 - se c’è collisione, come in ALOHA, si attende un tempo casuale e poi si cerca di ritrasmettere



- ascolta il canale
 - se il canale è libero **si trasmette**;
 - se è **occupato, si attende che il canale diventi libero**
 - quando il canale diventa libero
 - si trasmette con probabilità p
 - con probabilità $(1-p)$ si rimanda la trasmissione ad un nuovo istante $t_1 \gg t_0+T$, scelto in modo casuale
 - se c'è collisione
 - si rimanda la trasmissione ad un nuovo istante $t_1 \gg t_0+T$, scelto in modo casuale
- **Attenzione che la descrizione e l'analisi originale del protocollo da parte di Klainrock e Tobagi (l'articolo originale è disponibile sul sito del corso) fa alcune assunzioni sulla modalità di accesso al canale per la ritrasmissione. Da questa descrizione, purtroppo, sono state derivate delle "spiegazioni" errate, inclusa quella presente sul libro di Tannenbaum e su wikipedia.**

- legato al ritardo di propagazione del segnale τ , e al tempo necessario a rilevare il segnale sul canale T_a
 - se una stazione ha iniziato a trasmettere, ma il suo segnale non è ancora arrivato a tutte le stazioni, qualcun altro potrebbe iniziare la trasmissione
 - periodo di vulnerabilità $T_v = \tau + T_a$
- In generale, il CSMA viene usato in reti in cui il ritardo di propagazione τ è \ll di T (tempo di trama)





(fonte: A. Tanenbaum, Computer Networks)



- Miglioramento
 - le stazioni che sta trasmettendo rilevano la collisione, interrompono immediatamente la trasmissione
- In questo modo, una volta rilevata collisione, non si spreca tempo a trasmettere trame già corrotte
- CSMA-CD 1p diventa molto efficiente e si può rendere stabile
- Per rilevare una collisione si ascolta il canale se la potenza presente è superiore a quella che sto trasmettendo ...
- CD si può usare solamente sulle reti cablate perché sulle reti wireless è sostanzialmente impossibile rilevare un segnale “aggiuntivo” rispetto a quello trasmesso



- Se non è possibile rilevare le collisioni e se il tempo di trasmissione è grande rispetto alla propagazione ($T \gg \tau + T_a$)
 - Situazione tipica delle reti Wireless LAN
- Allora non conviene comportarsi in modo 1p perché le collisioni costano molto care
- Collision Avoidance consiste nel comportarsi in modo p-persistente con una persistenza che dipende dalla situazione della rete
- Termine introdotto nelle wireless LAN con CSMA, per differenziare il nome del protocollo da quello usato sulle reti cablate
- Maggiori dettagli nella parte dedicata a Ethernet e WiFi.