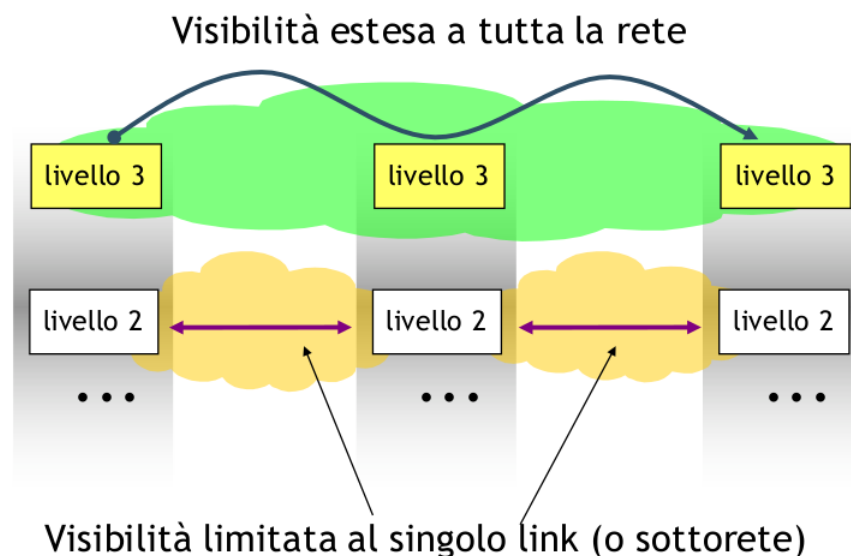


1 Livello Collegamento

Il livello Collegamento (*o Data Link*) é l'ultimo strato del modello ISO/OSI prima che l'informazione venga trasmessa sul mezzo fisico. Si può definire come livello di "*traduzione*" da un formato digitale ad uno elettrico dell'informazione.

Il problema principale deriva dal fatto che il livello collegamento dialoga direttamente con il mezzo trasmissivo, quindi deve sopperire a tutte le sue problematiche: molteplici tipi di mezzi trasmissivi ed errori derivanti dalle caratteristiche fisiche del mezzo. Questi errori sul canale vengono causati generalmente quando due o più segnali *collidono* nel canale trasmissivo, ovvero sullo stesso canale due stazioni iniziano a trasmettere contemporaneamente, generando un segnale elettrico non più traducibile dal ricevitore in una sequenza digitale di bit. Questo problema prende il nome di **collision** (*collisione*).

Da un punto di vista implementativo il livello collegamento deve garantire lo stesso funzionamento sia attraverso onde radio che attraverso fibra ottica. Per permettere questa indipendenza dal mezzo trasmissivo effettivamente utilizzato é stato diviso logicamente in due parti sovrapposte: il vero livello collegamento, che ha principalmente funzione di controllo di flusso e incapsulamento, e il sottolivello **MAC** (*Medium Access Control*), che rende standard la comunicazione attraverso diversi mezzi trasmissivi.



A differenza dei livelli superiori, il livello collegamento é implementato direttamente nei firmware delle schede di rete invece che nel sistema operativo per motivi prestazionali: basti pensare che l'ordine di grandezza utilizzato a livello rete é in **ms** (10^{-3} s) invece a livello collegamento é **ns** (10^{-9} s),

La visibilità del livello collegamento é limitata alle macchine adiacenti che condividono un mezzo fisico.

La PDU del livello collegamento viene definita **trama**.

1.1 Funzioni

Le funzioni del livello Collegamento sono dominate dal fatto che deve trasmettere le informazioni sul mezzo fisico, quindi:

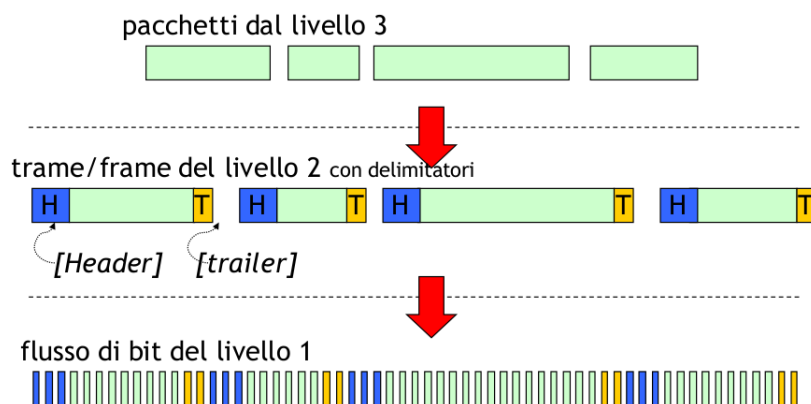
- **Framing**: delimitazione dei datagrammi in trame
- **Rilevazione degli Errori**: controllo di correttezza della trama
- **Controllo di Flusso**: regolazione della velocità di invio in base al mezzo trasmissivo utilizzato
- **Controllo di Accesso al Canale**: regolazione dell'accesso al mezzo trasmissivo condiviso

1.1.1 Framing

Con **Framing** (*Suddivisione*) si identificano tutte quelle tecniche che delimitano delle informazioni digitali per la trasmissione su un mezzo elettrico. Questa necessità nasce dal fatto che il livello fisico sottostante tratta solo bit e non è in grado di distinguere dove inizia un datagramma e il successivo.

Bisogna considerare inoltre che questi sistemi sono fortemente influenzati dalla temporizzazione e dalla sincronizzazione dei segnali, quindi un'ulteriore compito del livello collegamento è quello di creare un meccanismo di **sincronizzazione** della trama.

La funzionalità di framing dunque rendere distinguibile una trama dall'altra attraverso l'utilizzo di **header** (*intestazione*) all'inizio e di **trailer** (*finale*) alla fine della trama stessa.



La tecnica più ovvia per delimitare le trame sarebbe quella di inserire degli intervalli temporali tra trame consecutive; ma questo approccio, a causa della natura intrinseca delle reti di comunicazione, ovvero che non possono garantire le caratteristiche temporali delle informazioni trasmesse, gli intervalli potrebbero essere espansi o ridotti generando problemi in ricezione.

La tecnica effettivamente utilizzata è quella di inserire, per ogni trama dei **codici di controllo**.

Character Count In questo caso l'header consiste nel numero di byte che la trama contiene. Come é facilmente immaginabile non é l'approccio piú sicuro, in quanto se, per qualche motivo, il numero di byte nell'header viene modificato, il ricevente ne leggerá un numero non valido, andando fuori sincronica.

Bit Stuffing Questa tecnica parte dall'idea di utilizzare i dati stessi come delimitatori attraverso l'euristica dei 5 "1": quando il trasmettitore deve inviare una sequenza di cinque bit impostati a "1" ne inserisce uno "0" subito dopo, quindi in ricezione verrà eseguito il processo inverso, ripristinando il flusso di dati originale.

Byte Stuffing Il Byte Stuffing era la tecnica utilizzata dalla telescriventi. Utilizzando un sistema di comunicazione a caratteri é naturale pensare che si riservino dei caratteri *speciali* per delimitare le trame:

- DLE (*Data Link Escape*) + STX (*Start of TeXt*) come header
- DLE (*Data Link Escape*) + ETX (*End of TeXt*) come trailer

Come si può facilmente osservare la sorgente duplica il carattere DLE.

Violazione di Codifica Quest'ultima tecnica utilizza fortemente le caratteristiche di trasmissione del livello fisico. Infatti nel livello sottostante abbiamo una mappatura di ogni bit con un livello di tensione "alto" o "basso". Se si assume che ogni bit viene invece mappato con una coppia di questi livelli di tensione, si possono identificare delle coppie non valide, quindi utilizzabili come inizio/fine trama.

Esempio: "1" mappato con "AB", mentre "0" mappato con "BA". Se nel flusso di byte si trovano sequenze del tipo "AA" o "BB" riconosco che é un inizio o fine trama.

1.1.2 Rilevamento e Correzione degli Errori

Essendo che il livello collegamento riceve i dati direttamente dal mezzo fisico, purtroppo sono pieni di errori sotto forma di distorsioni, attenuazioni ed errori nei dati. Lo strato piú alto del livello collegamento prevede l'incapsulamento dell'informazione per aggiungere ad ogni trama un campo **Checksum**, che funge da meccanismo di controllo della correttezza.

1.1.3 Controllo di Flusso

Data il fatto che il livello collegamento non deve consegnare i dati alle applicazioni (generalmente molto lente nel leggerli) ma deve occuparsi della ricostruzione e la consegna al livello di rete, generalmente ha il controllo completo del mezzo trasmissivo. Può succedere che la sorgente vuole trasmettere delle trame piú velocemente di quanto la destinazione sia in grado di gestirli. Per evitare questo problema esistono due metodi di controllo di flusso bastati su:

- **feedback:** la sorgente in Stop&Wait invia i dati e aspetta un riscontro dalla destinazione
- **tasso di invio:** il protocollo della sorgente é progettato ad-hoc per la rete sottostante, quindi può gestire il tasso di invio in modo efficiente; unico svantaggio é che servono moltissimi protocolli di questo tipo

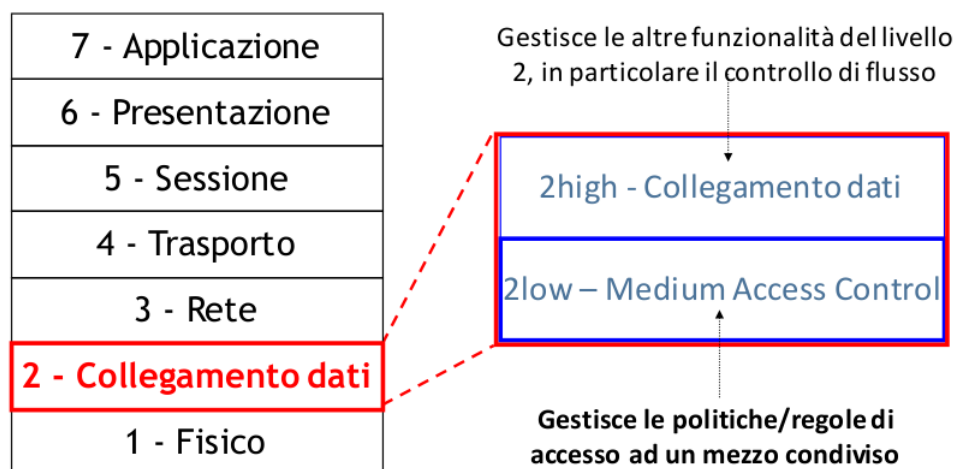
2 Il Sotto-livello MAC

Essendo che il livello collegamento utilizza direttamente il mezzo trasmissivo, é necessario che si adattino ad ogni sua caratteristica; basti pensare alle differenze fisiche di un collegamento tramite onde elettromagnetiche nell'aria e tramite impulsi luminosi nelle fibre ottiche.

Ma la natura fisica del canale non basta, bisogna tenere conto che un mezzo trasmissivo può essere condiviso contemporaneamente tra più stazioni, chiamate reti **broadcast** (*multi-punto*), oppure può collegare direttamente la sorgente con la destinazione, reti **point-to-point** (*punto-a-punto*). Per far fronte a queste problematiche é necessario che vengano implementate delle tecniche di **accesso al canale**, in modo tale da minimizzare le collisioni e massimizzare la velocità di trasmissione per ogni stazione.

Per questi motivi, é stato diviso logicamente il livello collegamento in due *parti* sovrapposte: il livello collegamento e il **sotto-livello MAC** (*Medium Access Control*); dove é stato previsto che comunicasse direttamente con il livello Fisico sottostante, per risolvere il problema dell'accesso al canale.

Il sotto-livello MAC quindi, implementa tutte le caratteristiche di ogni possibile classe di mezzo trasmissivo: quindi ci sarà il sotto-livello MAC dedicato alla trasmissione tramite onde radio (WiFi) o tramite mezzo in rame (Ethernet).



Si può quindi dire che non é indipendente dal livello Fisico sottostante; una chiara violazione dell'indipendenza degli strati protocollari di ISO/OSI.

2.1 Allocazione del Canale

Il problema principale che il sottolivello MAC deve risolvere é l'accesso concorrenziale al mezzo trasmissivo, ovvero gestire tutte quelle situazione in cui il canale trasmissivo é unico ed é condiviso da parte di piú sorgenti.

2.1.1 Allocazione Statica

La condivisione di un mezzo trasmissivo puó essere risolta facilmente assegnando staticamente una "*quota*" di capacità trasmissiva a ciascuna delle stazioni, dove per quota si intende:

- tempo: ogni stazione ha a disposizione tutto il canale trasmissivo per un determinato intervallo di tempo
- frequenza: ad ogni stazione é assegnata una frequenza di trasmissione, ovvero una determinata banda¹

Questa tecnica di allocazione puó risultare semplice e conveniente quando al mezzo trasmissivo sono collegati solo pochi utenti con molti dati da trasmettere e/o ricevere. Nel momento in cui in questa situazione il numero di utenti cresce, nessuno riuscirá piú ne a trasmettere ne a ricevere, perché non ha a disposizione una quota sufficiente di utilizzo del canale che gli permetta di massimizzare l'utilizzo del mezzo. In aggiunta: se a una stazione che non ha nulla da trasmettere e gli viene assegnato l'utilizzo esclusivo del canale, la capacità di trasmissione verrà sprecata.

2.1.2 Allocazione Dinamica

Ovviamente in questa categoria rientrano tutte le tecniche di allocazione del mezzo trasmissivo che non richiedono una qualche divisione in quote dello stesso. Possiamo individuare due famiglie di tecniche di allocazione del canale:

- a turno: viene trasmesso "*permesso*" di trasmettere (reti *Token Ring*)
- a contesa: tutte le stazioni sono indipendenti dalle altre e sono in continua competizione per l'uso del canale

La prima famiglia porta tutta una serie di problemi quali: l'assegnazione del permesso a trasmettere, la durata e come questo deve essere condiviso alla fine della trasmissione.

La famiglia delle tecniche a contesa, invece, non risente di particolari problemi in quanto, in un certo senso, non ci sono meccanismi di allocazione: ogni stazione che desidera trasmettere sul canale é libera di farlo, controllando che nessun altro lo stia usando.

¹Da notare che le stazioni radio FM utilizzano il principio di allocazione del canale a divisione di frequenza.

2.2 Allocazione del canale a Contesa

La tecnica utilizzata nel sottolivello MAC é basata sull'allocazione dinamica a contesa. Per permettere l'analisi analitica di questa classe di protocolli sono necessarie i seguenti presupposti:

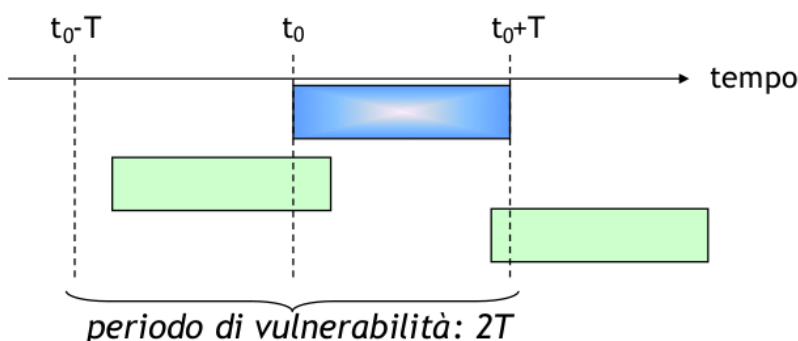
- **Canale Singolo:** esiste un solo canale usato per tutto il tempo della comunicazione che può essere condiviso tra più stazioni
- **Stazioni Indipendenti:** N stazioni sul tratto di rete indipendenti l'una dalle altre nell'invio di trame di livello collegamento. Le trame sono generate secondo una distribuzione di Poisson con media G . La lunghezza della trama é fissa, ovvero il tempo di trasmissione é costante e pari a T , chiamato anche tempo di trama.
- **Collisioni Osservabili:** tutte le stazioni sono in grado di rilevare una collisione sul canale. Non sono presenti altre forme di errore
- **Tempo:** vengono usati due metriche per contare il tempo:
 - continuo: una trama può essere inviata in qualsiasi momento
 - slotted: una trama può essere inviata solo in istanti discreti
- **Rilevamento della Portante:** ogni stazione deve essere in grado di percepire il segnale portante di un canale per capire se un'altra stazione sta trasmettendo

2.2.1 ALOHA Puro

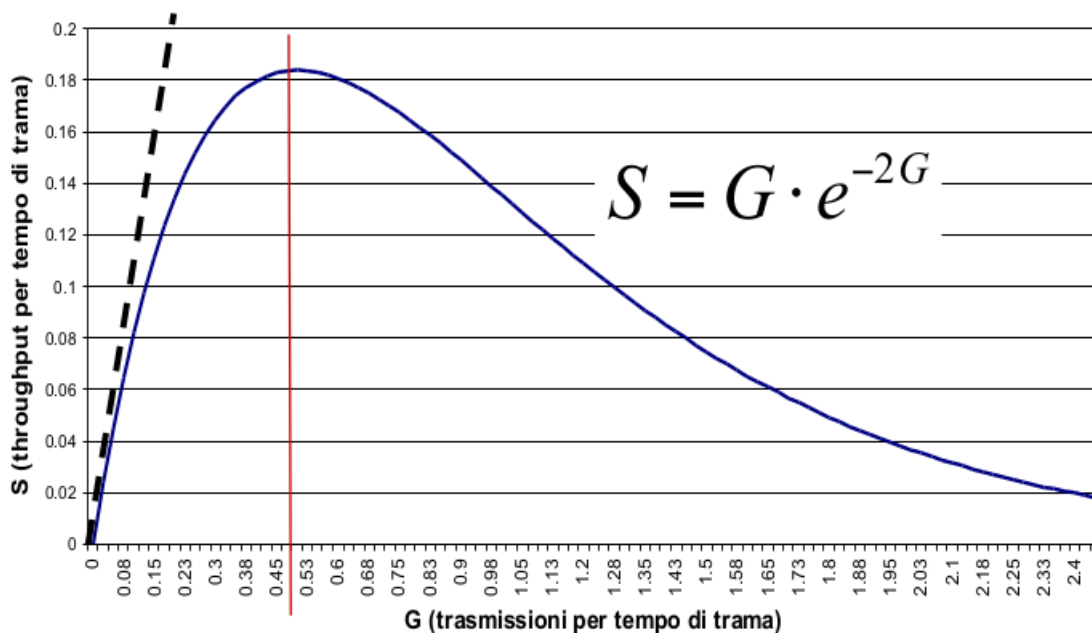
Il primo meccanismo a livello MAC é stato introdotto negli anni '70 per permettere ad alcune stazioni radio dell'Università delle Hawaii di scambiarsi informazioni.

Nella versione di Aloha Puro prevede che ogni stazione possa trasmettere in ogni istante di tempo, se viene generata una collisione, la destinazione non invierà un riscontro quindi la sorgente aspetterà un tempo casuale prima di ritentare la trasmissione. L'idea dell'attesa di un tempo casuale é dovuta al fatto che un'attesa di un tempo deterministico potrebbe portare a collisioni all'infinito.

Questo significa che per ogni tempo di trama T che inizia la trasmissione all'istante t_0 non devono iniziare altre trasmissioni nel tempo $t_0 - T$ e $t_0 + T$, quindi per un tempo di $2T$; questo viene definito come **periodo di vulnerabilità**, ovvero il tempo nel quale possono accadere delle collisioni.



Di conseguenza si può definire il throughput, ovvero numero medio di trame trasmesse del protocollo S in termini di traffico generato G :

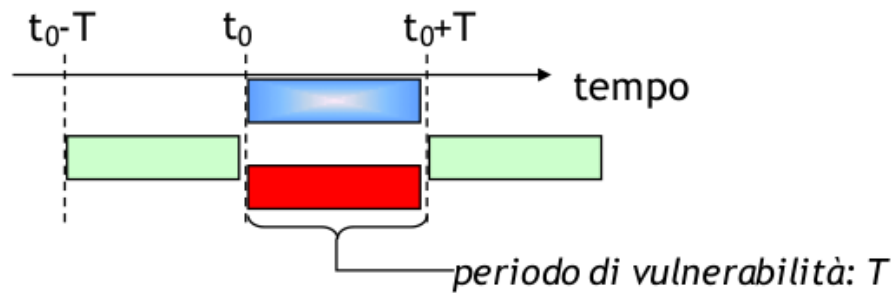


Come si nota dalla distribuzione, Aloha Puro permette di sfruttare il 19% del tempo di trama quando il traffico offerto é ≈ 0.5 volte la capacità del canale; quindi é un protocollo altamente **instabile**.

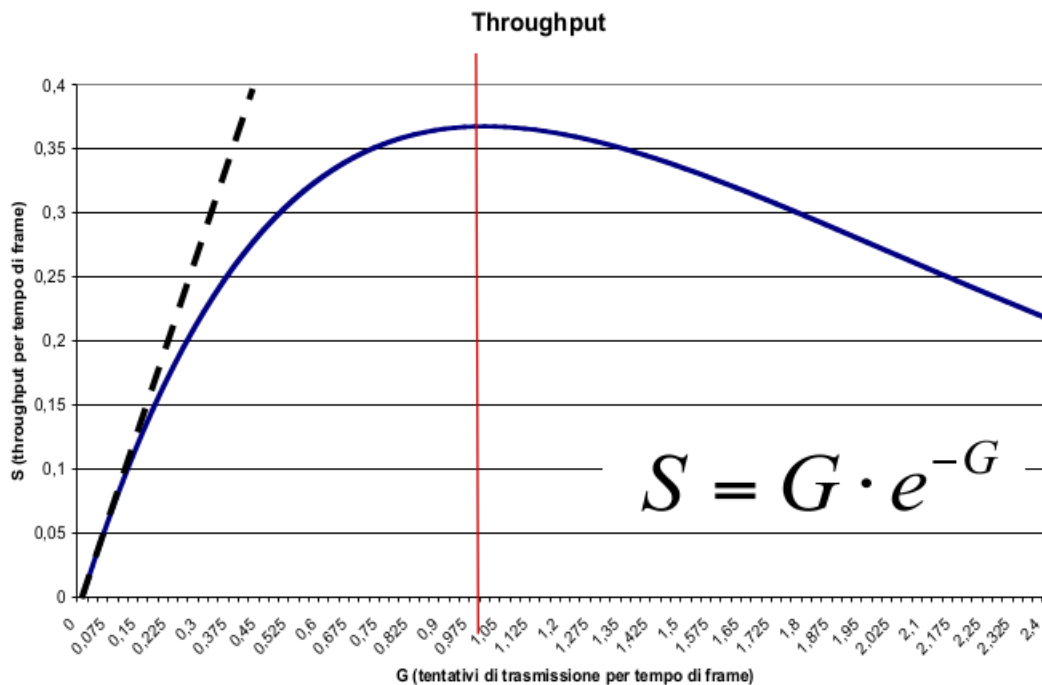
2.2.2 ALOHA Slotted

Una miglioria apportata al protocollo Aloha Puro é stata quella di usare un tempo discreto per l'inizio della trasmissione di ogni trama, in questo modo ogni stazione può iniziare a trasmettere solo in un preciso istante di tempo t_0 .

Il diretto vantaggio di questa semplice migliorai é il dimezzamento del periodo di vulnerabilità al costo di creare un sistema di distribuzione e mantenimento del sincronismo tra le stazioni.



Le prestazioni dello Slotted Aloha non sono molto diversi da Aloha Puro ma vengono migliorati alcuni aspetti.



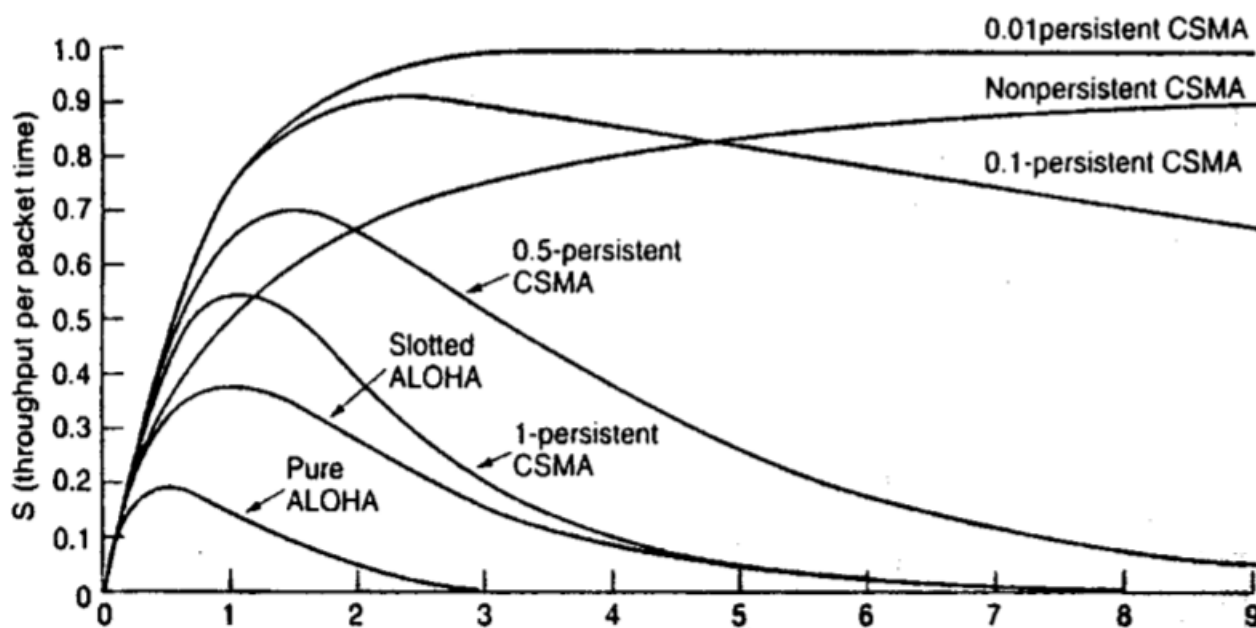
Slotted Aloha utilizza il 37% dei tempi di trama e avviene solo quando il traffico offerto é circa pari alla capacità del canale. Come Aloha Puro é ancora un protocollo instabile.

2.2.3 Carrier Sense Multiple Access

Un'altra tecnica per gestire l'accesso multiplo al mezzo trasmissivo é quello di "*ascoltare*" la portante del canale per capire se altre stazioni stanno trasmettendo: se il canale é libero, la stazione trasmette senza problemi, altrimenti sono possibili le seguenti varianti:

- **CSMA-1-persistente:** quando una stazione deve trasmettere, prima controlla che il canale sia libero e privo di collisioni, poi inizia a trasmettere. Se trova il canale occupato, la stazione aspetta finché non si libera. Il protocollo viene detto "1-persistente" perché trasmette con probabilità 1 quando il canale é libero.
- **CSMA-0-persistente:** questo protocollo é equivalente a CSMA-1-persistente ma invece di continuare ad ascoltare il canale nel caso di una collisione per impossessarsene il prima possibile, aspetta un tempo casuale molto piú grande del tempo di trama prima di effettuare di nuovo il controllo. Questo garantisce una migliore allocazione del canale ma allunga il ritardo rispetto a CSMA-1-persistente.
- **CSMA-p-persistente:** si applica a canali divisi in intervalli di tempo. Quando una stazione é pronta a trasmettere e trova il canale libero, trasmette subito con probabilità p e rimanda la trasmissione con probabilità $1 - p$.

Nel seguente grafico vengono rappresentate tutte le tecniche presentate fino ad ora:



2.2.4 Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection

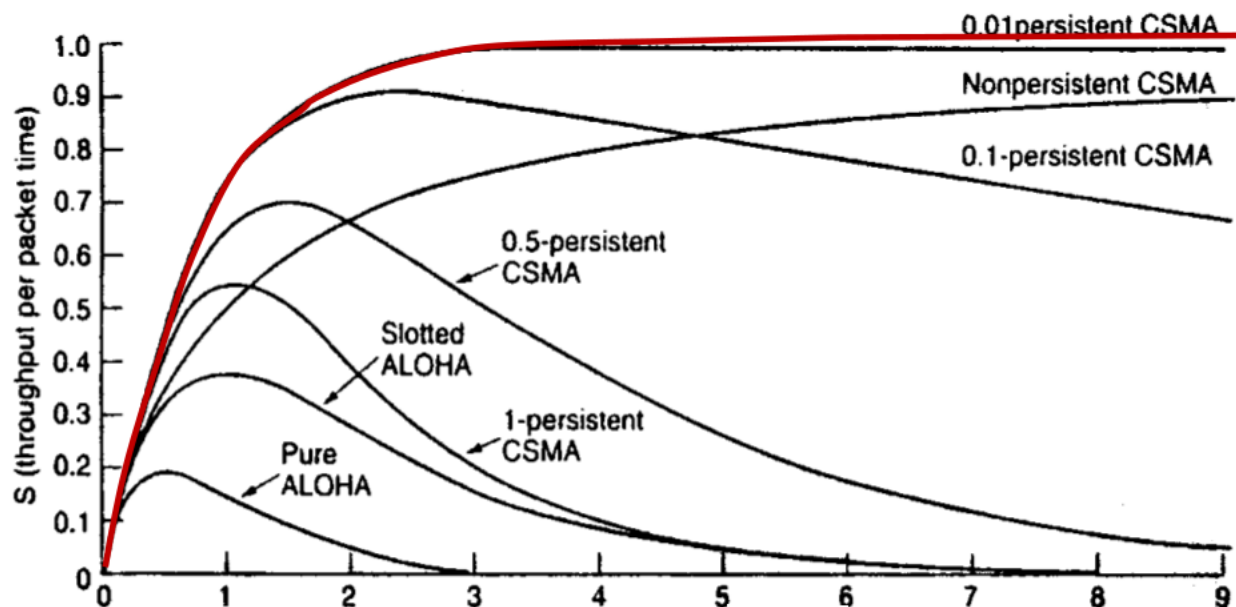
CSMA porta un notevole miglioramento rispetto ad Aloha, ma esiste ancora il seguente problema: se due stazioni rilevano il canale libero allora inizieranno la trasmissione, causando inevitabilmente una collisione. Se la stazione fosse in grado di rilevare una collisione mentre sta trasmettendo, sarebbe in grado di terminare bruscamente la comunicazione e mettersi in attesa che il canale si liberi.

Questa tecnica prende il nome di CSMA-CD (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*) ed è più efficiente delle precedenti perché non spreca tempo a trasmettere trame già corrotte o che andranno corrotte finché il canale non si libera.

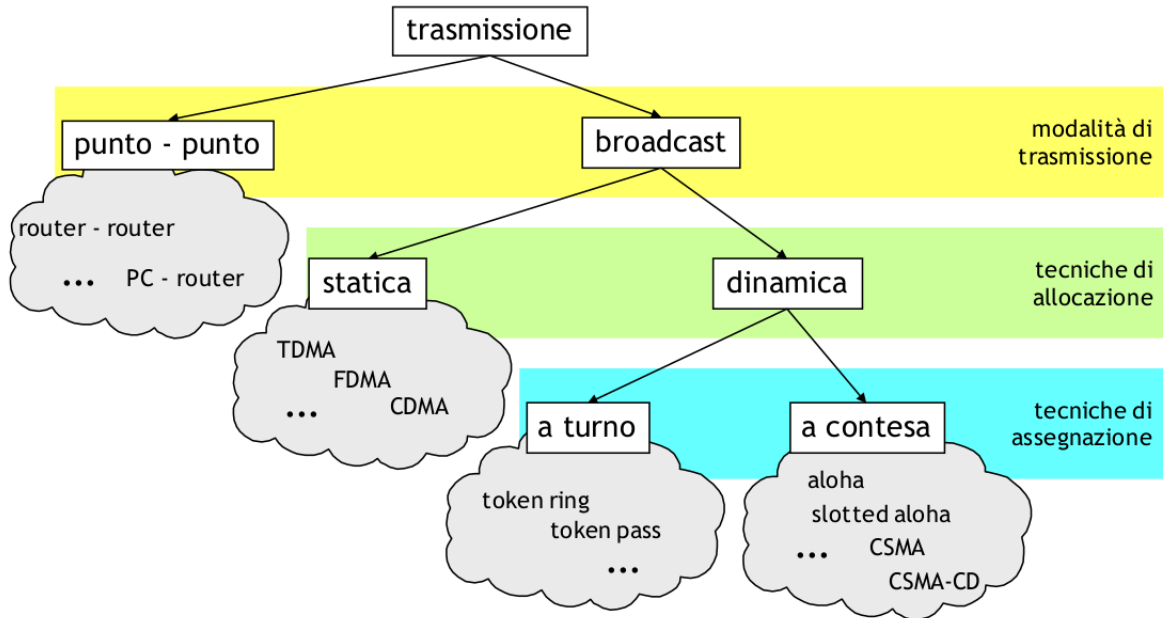
Ovviamente CSMA-CD può essere usato solo in reti cablate, in quanto in reti wireless è sostanzialmente impossibile rilevare un segnale aggiuntivo rispetto a quello trasmesso.

In caso di collisione, CSMA-CD applica la tecnica chiamata **binary exponential backoff**, ovvero dopo i collisioni l'host attende prima di ri-iniziare la procedura di trasmissione un tempo casuale nell'intervallo $[0, 1, \dots, 2^i - 1]$. Ovviamente se $10 \leq i < 16$ collisioni l'intervallo è limitato a $[0, 1, \dots, 1023]$, mentre se $i \geq 16$ viene riportato al sistema operativo un errore di rete.

Nell'immagine seguente si vede in rosso in throughput del protocollo CSMA-CD con binary exponential backoff:



2.2.5 Riassunto

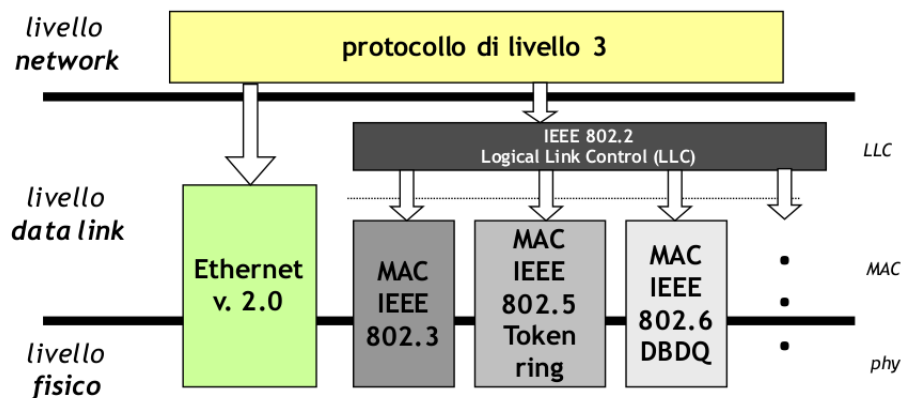


3 Standard IEEE 802

Il livello collegamento é stato completamente definito dallo standard IEEE 802, numero che indica semplicemente la data di standardizzazione 8 febbraio 1980, che comprende:

- 802.1: LAN *internetworking*
- 802.2: LLC
- 802.3: CSMA/CD in Ethernet
- 802.4: Token Bus
- 802.5: Token Ring
- 802.6: DQDB per MAN
- 802.7: Broadband Technical Advisor Group
- 802.8: Fiber-Optic Technical Advisor Group
- 802.9: Integrated Data and Voice Networks
- 802.10: Network Security
- 802.11: Wireless Network (/a/b/g/h/f/s/n/p/ac/...)
- 802.12: 100base VG
- 802.13: 100base X
- 802.15: Personal Area Network (bluetooth...)
- 802.16: Wireless MAN

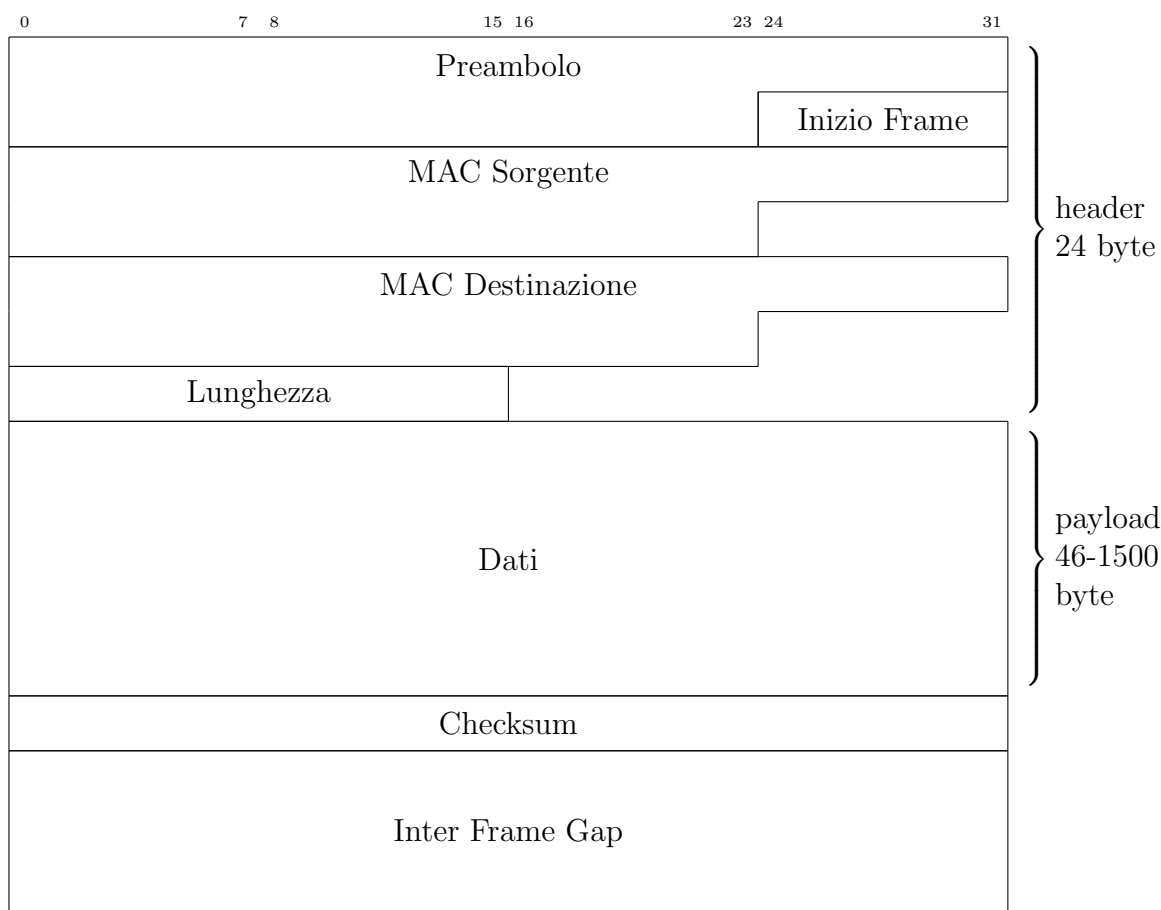
É necessario notare che é stato aggiunto un ulteriore strato comune a tutti i livelli MAC: **LLC** (*Logical Link Control*), con la funzione di standardizzare il formato delle trame attraverso tutti i protocolli MAC esistenti. Il sottolivello LLC é indipendente dal livello fisico, cosa non vera per il livello MAC.



Come si nota dalla figura, la prima implementazione di Ethernet non prevedeva il sottolivello LLC.

3.1 Formato della Trama Ethernet in 802.3

Il formato della trama Ethernet nel sottolivello MAC é così composta:



NB: la scala in alto é in byte.

- **Preambolo:** sequenza utilizzata per sincronizzare il ricevitore
- **Inizio Frame:** flag di inizio trama per separarla dal preambolo
- **MAC Sorgente/Destinazione:** indirizzo MAC sorgente e destinazione
- **Lunghezza:** lunghezza in byte della trama (max 1500 byte), se maggiore di 1500 indica il tipo di protocollo usato
- **Dati:** informazione da trasmettere dei livelli superiori
- **Checksum:** codice di controllo
- **Inter-Frame-Gap:** tempo di bit per permettere al ricevitore di prepararsi alla ricezione della prossima trama

3.2 Il livello Fisico in Ethernet 802.3

Il numero davanti a BASE indica la velocità in Mbps:

3.2.1 Ethernet

| Nome | Cavo | Lunghezza Max | Vantaggi |
|-----------|-------------------|---------------|---|
| 10 BASE 5 | Coassiale Spesso | 500 m | Prima implementazione |
| 10 BASE 2 | Coassiale Sottile | 185 m | Usa la stessa configurazione di 10 BASE 5 |

3.2.2 Fast Ethernet

| Nome | Cavo | Lunghezza Max | Vantaggi |
|-------------|-------------|---------------|---|
| 100 BASE-T4 | Doppino UTP | 100 m | Adatto a cablaggi strutturati. Usato per collegare le stazioni agli Hub |
| 100 BASE-TX | Doppino UTP | 100 m | come 100 BASE-T4 ma Full Duplex |
| 100 BASE-FX | Fibra | 2 Km | Aumenta la distanza |

3.2.3 Gigabit Ethernet

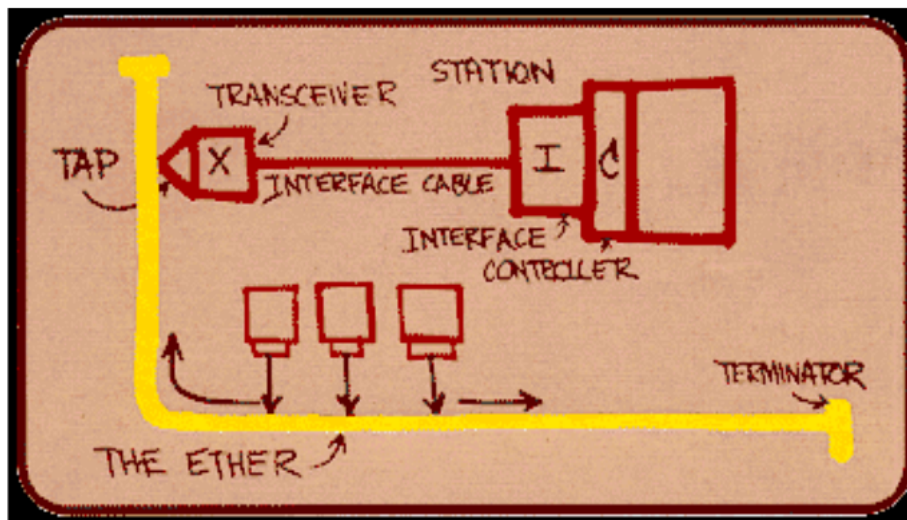
| Nome | Cavo | Lunghezza Max | Vantaggi |
|--------------|--------------|---------------|--------------------------------------|
| 1000 BASE-SX | Fibra | 550 m | Utilizzo di Fibra Multimodale |
| 1000 BASE-LX | Fibra | 5 Km | Utilizzo di Fibra Multi o Monomodale |
| 1000 BASE-CX | 2 coppie STP | 25 m | Uso di doppino schermato |
| 1000 BASE-T | 4 coppie UTP | 100 m | UDP cat.5 |

3.2.4 10-Gigabit Ethernet

| Nome | Cavo | Lunghezza Max | Vantaggi |
|--------------|--------------------|---------------|-------------------------------|
| 10G BASE-SR | Fibra | 300 m | Utilizzo di Fibra Multimodale |
| 10G BASE-LR | Fibra | 10 Km | Utilizzo di Fibra Monomodale |
| 10G BASE-ER | Fibra | 40 Km | Utilizzo di Fibra Monomodale |
| 10G BASE-CX4 | 4 coppie biassiali | 15 m | Rame Biassiale |
| 10G BASE-T | 4 coppie UTP | 100 m | UTP cat.6 |

3.3 Evoluzione di Ethernet

Il progetto originale di Ethernet prevedeva un lungo cavo coassiale, chiamato **Thick Ethernet**, che serviva per collegare tutte le stazioni della rete.

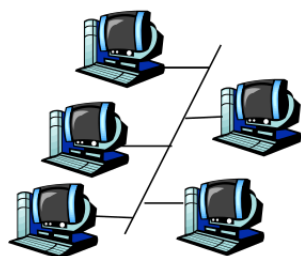


Per poter permettere alle stazioni di usare il cavo, era previsto un **Transceiver**, ovvero un meccanismo ad uncino che andava a forare il cavo coassiale e toccava il cavo metallico all'interno e la calza esterna dello stesso, in questo modo si creava una derivazione verso stazione.

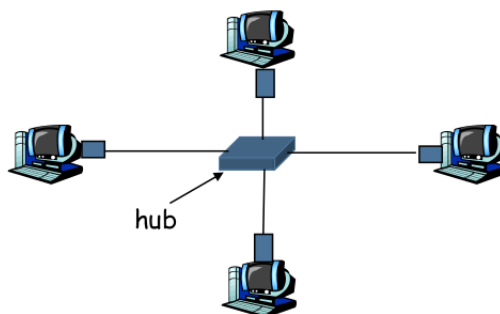
Ovviamente forare il mezzo trasmissivo per aggiungere una stazione non é sostenibile a lungo termine, infatti ne risentivano le misure massime di cavo che si potevano utilizzare: la lunghezza massima del cavo coassiale era di 500 m con un massimo di 100 stazioni, la lunghezza del cavo del transceiver era di 50 m e non ci potevano essere piú di 5 ripetitori tra due stazioni. La velocità massima raggiungibile con questa configurazione era di 10 Mbps.

Presto la configurazione a singolo cavo condiviso tra le stazioni venne abbandonato a favore di una configurazione di piú facile gestione: ogni stazione veniva collegata, con il proprio cavo, ad un **Hub** centrale, il quale fungeva da "canale" condiviso.

Con il crescere del traffico e del numero di stazioni, gli hub divennero spesso con di bottiglia per la rete: sostituendolo con uno **Switch** si risolvono questi problemi.



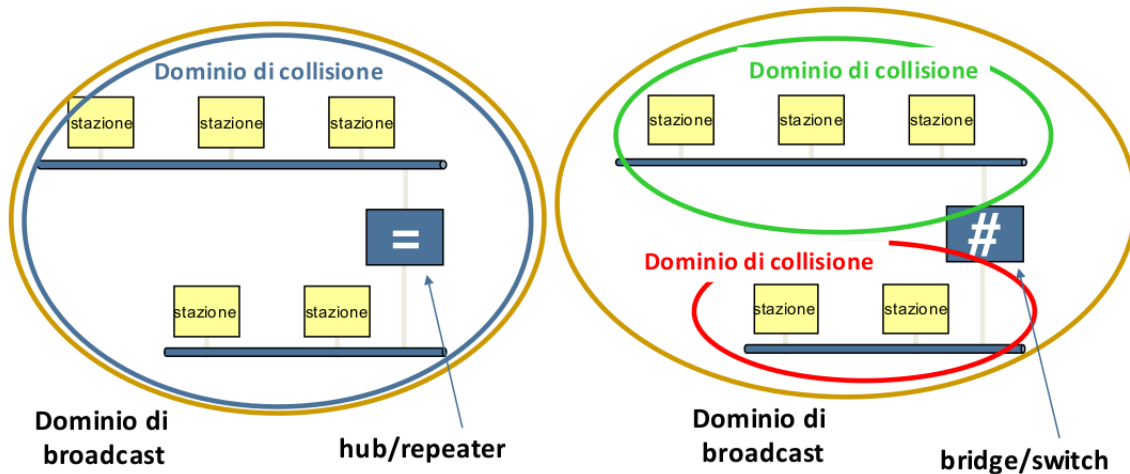
Bus: cavo coassiale



Topologia a stella

Dominio di Collisione Si definisce *Dominio di Collisione* quella porzione di rete Ethernet in cui, se due stazioni trasmettono simultaneamente, le trame collidono.

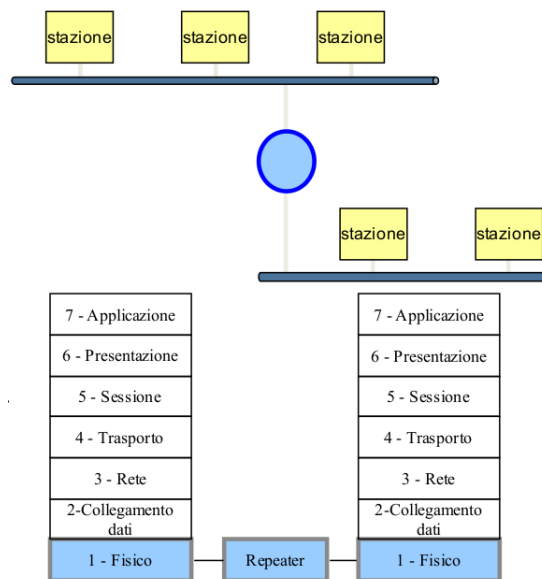
Dominio di Broadcast Si definisce *Dominio di Broadcast* quella parte di rete raggiunta da una segmento di livello rete con indirizzo broadcast. Diversi domini di broadcast devono essere separati da un router.



3.4 Repeater e Hub

Originariamente vennero impiegati i dispositivi chiamati *Hub* o *Repeater*, per non usare un unico cavo coassiale come mezzo di comunicazione condiviso.

Un hub lavora direttamente sulle trame di livello fisico, replicandole in **flooding** ogni segnale da una linea in tutte le altre, ed eventualmente amplificandolo.

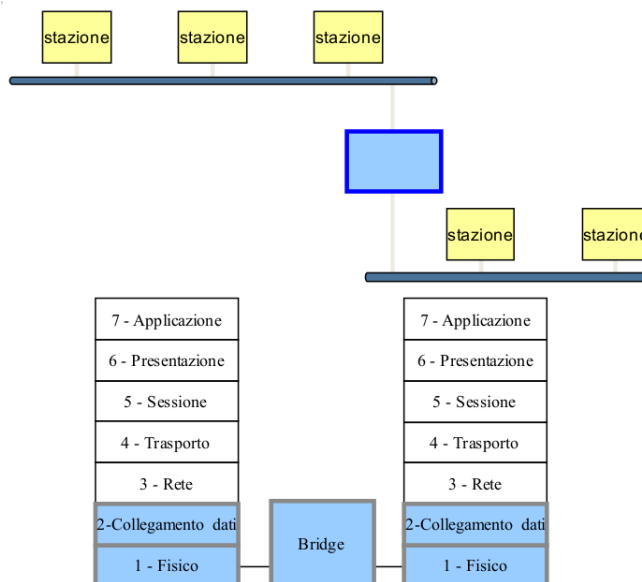


Il problema di questo tipo di rete é che estendono molto il dominio di collisione.

3.5 Bridge e Switch

L'apparato di rete *Bridge* sopprime ai problemi di cui soffriva l'hub: il bridge collega due segmenti di rete spezzandone il dominio di collisione.

Per riuscire in questo non si deve limitare a ritrasmettere le trame di livello fisico a tutti i segmenti di rete collegati, ma deve riconoscere a quale segmento di rete inoltrare le trame.



I bridge applicano le tecniche di **Store and Forward** per decidere se inoltrarlo all'altro segmento di rete, oppure sullo stesso di ricezione.

Questi apparati di rete agiscono come porte tagliafuoco, impedendo ad una stazione impazzita di compromettere le prestazioni dell'intera rete. Perché questo accada il bridge deve essere completamente trasparente a livello utente, motivo per il quale lavora a livello collegamento.

L'evoluzione dei bridge sono i **Layer 2 Switch** o comunemente chiamati **Switch**. Gli switch sono dei bridge multiporta.

3.5.1 Backword Learning

L'algoritmo utilizzato dagli switch per decidere su che porte inoltrare il frame di livello collegamento si chiama **Backword Learning** (*Apprendimento Rovescio*), e consiste nel tenere una tabella hash con la coppia destinazione-porta- in modo tale da leggere l'indirizzo MAC di destinazione di ogni frame e indirizzarlo sulla porta giusta.

Questo algoritmo ha una fase di inizializzazione quando la tabella è vuota: in questo caso ogni frame viene fatto uscire su tutte le porte, eccetto quella di entrata, e col passare del tempo lo switch impara (riempie la tabella) dove sono le stazioni (da che porta proviene la risposta a quel frame).

Per gestire i cambiamenti della topologia dinamicamente, viene inserito nella tabella un campo per segnare il tempo di arrivo dell'ultimo frame per ogni porta; in questo modo un processo può pulire la tabella delle entry vecchie e non più raggiungibili.

3.5.2 Virtual LAN

Una necessità é di separare le LAN in modo da bilanciare il traffico e venire in contro alle singole esigenze delle LAN.

La risposta ad una maggiore flessibilit  é la *VLAN* o (*Virtual-LAN*), che permette di separare il dominio di collisione all'interno dello switch stesso via software. Per realizzare questo tipo di architettura é necessario uno switch particolare che permetta di creare VLAN.