

Reti di calcolatori

Federico Zhou 941519

Esame: 60% reti teoria (scritto 1:30h, 10 domande di teoria) 40% reti laboratorio

Martedì: 16:00 - 18:30 (aula: 100)

Venerdì: 14:30 - 17 (aula: beta)

Reti di elaboratori: sistema interconnesso di calcolatori, i protagonisti in questa rete sono:

- le macchine utente, dette host computer, ogni host è un elaboratore che non dipende dal servizio offerto dalla rete.
- la sottorete di comunicazione, è un sistema che si occupa della comunicazione delle macchine. Questo sistema è composto da un insieme di protocolli software e un insieme di infrastrutture fisiche (cavi e apparati di rete) per la comunicazione.

La sottorete di comunicazione è formata da componenti chiamati:

- Router (instradatore): apparati diretti che permettono di passare da una rete ad un'altra rete, garantiscono l'instradamento e l'indirizzamento IP.

I router non garantiscono l'affidabilità, l'affidabilità del singolo pacchetto è gestita a livello di host Il routing è la ricerca del percorso di instradamento migliore in un dato momento di tempo.

- Gateway: ponte d'accesso è un dispositivo che opera a livello di rete. Il suo compito è quello di inoltrare i pacchetti verso l'esterno, il compito di terminare il trasferimento è lasciato al router.

Vi sono vari modelli di rete, caratterizzati dalla loro *tipologia*. Per rappresentarli possiamo utilizzare un modello geometrico (grafo), ovvero una raccolta di nodi e rami. Ogni nodo rappresenta un elemento della rete mentre un ramo rappresenta un elemento di connessione tra i nodi.

Le principali famiglie di rete sono:

- reti magliate (o punto-punto)

vengono rappresentate come grafo, con nodi i router e gli archi i link fisici.

La rete magliata può essere totalmente connessa, in cui ogni nodo è direttamente connesso all'altro; o parzialmente connessa, in cui non tutti i nodi sono direttamente

connessi ad altri, ma sono comunque tutti raggiungibili
 consideriamo la differenza tra percorso logico e percorso fisico:

- percorso logico: mittente al destinatario
- percorso fisico: percorso reale, che passa attraverso un numero arbitrario di nodi intermedi

- - reti broadcast

Nelle reti broadcast i nodi sono organizzati secondo una logica hub, in cui ogni nodo riceve i messaggi da tutti gli altri

Come possiamo rendere un messaggio *"affidabile"*?

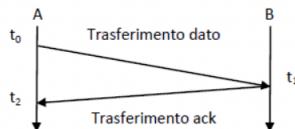
Dobbiamo garantire che sia **corretto, in ordine, e non duplicabile**

L'affidabilità è garantita con il meccanismo di ack, in particolare:

Come facciamo a far sapere al mittente che un pacchetto è arrivato?

Ack(nowledge): messaggio di conferma di arrivo di un dato. Dopo un tempo t , se il pacchetto ack non viene ricevuto, il mittente sa che non è arrivato il messaggio; che dovrà essere riinviaato. Di conseguenza deve essere introdotto un **buffer** che contiene i messaggi inviati, che dovranno essere riinviaiati nel caso in cui il trasferimento non sia effettuato con successo.

Il tempo di andata e ritorno, dato da $t_2 - t_0 = RTT$ è chiamato RTT, ovvero Round Trip Time, che è il *PING*. Ne consegue che $RTT/2 = T$, ovvero il tempo di latenza.



Consideriamo i soggetti per il calcolo del tempo:

- Jitter: varianza sul delay, in particolare è la varianza sul ritardo *Tx*. Cadenza di tempo di ricezione dei pacchetti; è particolarmente influente in connessioni real-time

Per mitigare il jitter inseriamo un buffer in lato ricezione.

- $t_{propagazione}$: tempo che il pacchetto impiega per arrivare a destinazione attraverso il mezzo

- t_{coda} : è il tempo di permanenza in coda nel nodo (sia input che output), *trascurabile*

- $t_{elaborazione}$: è il tempo che serve al nodo per decidere su quale strada inoltrare il pkt *trascurabile*

$vel. mezzo = 3 \cdot 10^8$ se si utilizza fibra ottica

$vel. mezzo = 2 \cdot 10^8$ se si utilizza cavo in rame

Esempio

$$t_p = \frac{\text{lunghezza}}{\text{propagazione mezzo}} \quad \text{es: } \frac{10^5}{2 \cdot 10^8} = 5 \cdot 10^{-3}$$

Il tempo di trasmissione è il tempo che serve per mettere i bit sul mezzo fisico. È dato da:

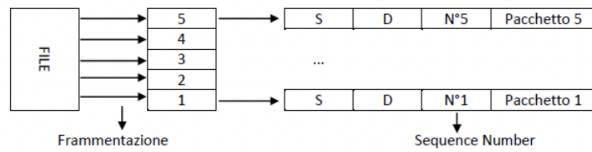
$$T_x = \frac{\text{dim pacchetto}}{\text{vel tx}} , \text{ dove vel. tx (o bwth) incide pesantemente sul tempo finale}$$

$$t_x = \frac{P_{size}}{\text{bitrate}} \quad \text{es: } \frac{1000 \text{ bit}}{10 \frac{\text{MB}}{\text{s}}} = \frac{10^3}{10^7} = 10^{-4}$$

Consideriamo ora il singolo pacchetto: Consideriamo un messaggio, esso può essere scomposto in dimensioni uguali, questi frammenti possono essere caricati su "pacchetti". Questo ci permette di gestire un n numero di pacchetti di dimensione omogenea. I pacchetti hanno una propria autonomia, sono indipendenti l'un l'altro, sono tutti di dimensione uguali e sono formati da:

- Sorgente e destinatario
- Sequence number o numero di pacchetto
- Pacchetto

L'insieme sorgente, destinatario e sequence number va a formare l'header (intestazione), mentre il pacchetto va a formare il payload, ovvero il campo dati



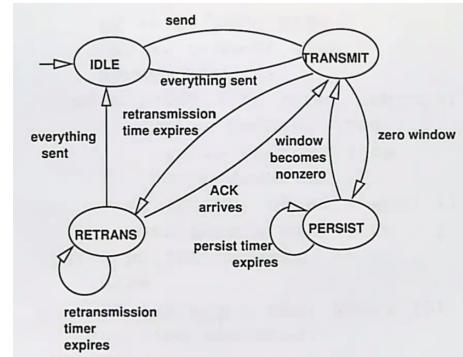
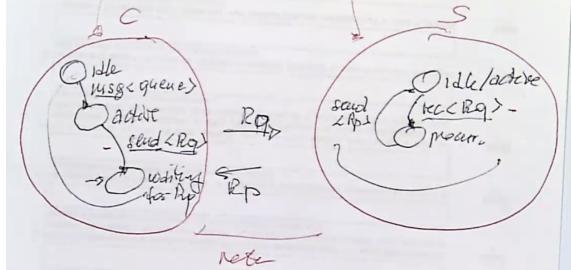
Comunicazione client-server, protocolli e HTTP

Gli algoritmi di rete sono chiamati protocolli. I protocolli sono un insieme di regole condizionate che vanno a regolare, in questo caso, le comunicazioni di rete.

Quando parliamo di funzione di rete facciamo riferimento alle funzionalità che ogni componente all'interno di un sistema di rete va a contribuire.

l'HTTP è un protocollo di comunicazione, standardizzato, nato per far comunicare due componenti applicativi, che rappresentano lo user ed il server. (In essenza è un protocollo di trasferimento file -HTML-).

I client ed il server comunicano utilizzando funzioni di $send/rq$, spostandosi da stato di idle, e waiting for Rq . È fondamentale sincronizzare l'esecuzione delle macchine. I messaggi che si scambiano lo user ed il server sono standardizzati secondo il protocollo HTTP.



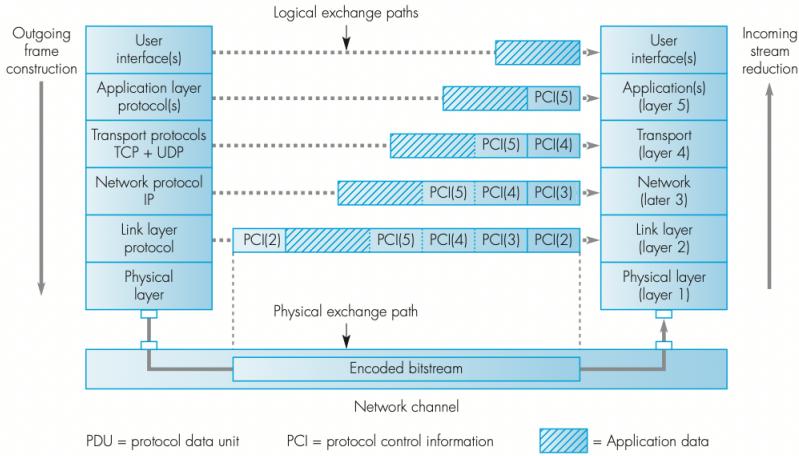
E' plausibile che sia il lato client che il lato server implementino buffer per gestire in maniera più efficiente le interfacce di rete.

Per ogni sessione di rete viene allocata un'interfaccia di comunicazione per funzioni di rete dedicate, caratterizzate da un protocollo.

Ogni comunicazione di rete è caratterizzato da:

- il protocollo legato alla funzione che permette la comunicazione
- è una specifica di un sistema distribuito (almeno 2), comune, standardizzato
- l'interfaccia di servizio: è interna al terminale

L'organizzazione dei componenti di reti è basata su un'architettura gerarchica, con 7 livelli gerarchici definiti secondo uno standard creato dalla OSI (Open System Interconnection). Per internet i livelli gerarchici che ci interessano sono 5.



La pila di protocolli è instaurata per ogni nodo connesso al sistema di reti, così come ad ogni terminale

Andiamo ad analizzarli secondo un bottom-up approach:

- Livello 1 — **Physical Layer**: si occupa di trasmettere bit lungo un canale di comunicazione (wired or wireless) secondo un dato clock sincronizzato alle due interfacce. Deve essere in grado di inviare e ricevere bit da un buffer (definito tra il livello 1 e 2).
- Livello 2 — **(Data) Link- Layer**: si occupa di definire i singoli pacchetti da trasmettere, fornisce un formato logico per organizzare la trasmissione da un nodo, ad uno adiacente ad esso. La quantità di data link è dato dal numero di archi uscenti da un dato nodo.
- Livello 3 — **Network (Protocol) Layer**: si occupa della funzione di instradamento (routing) e indirizzamento (addressing), non lavorano a livello link, ma sull'intera topologia di rete. Quando quindi si parla di IP o routing, si fa riferimento al livello 3.

Superiore a questi livelli abbiamo protocolli che permettono la comunicazione tra il router e l'applicativo utente

- Livello 4 — **Transport (protocols) Layer (TCP + UDP)**: si occupa di garantire l'affidabilità, è basata su una comunicazione end to end: in particolare i protocolli livello. L'UDP è un protocollo che non garantisce l'affidabilità, ma è più veloce. La scelta del protocollo da adottare è dato dal protocollo di livello 7. Si occupa anche di gestire l'ordinamento dei pacchetti
- Livello 4.5: Le socket sono delle primitive di comunicazione che si occupano di specificare sessioni tra processi applicativi utente.
- Livello 7 — **Application layer**: comprende per esempio l'http, file cluster, emails, è il livello più vicino all'utente

In Internet il livello 5 e 6 non sono stati implementati; questi 5 livelli gerarchici vanno ad implementare Internet.

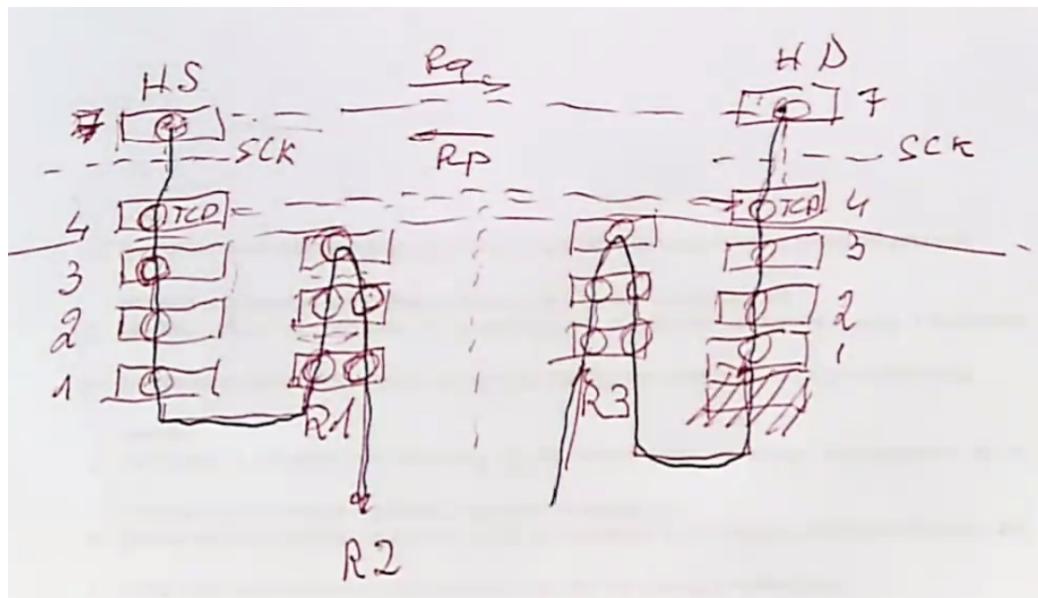
Per completezza, il modello OSI descrivere anche i livelli 5 e 6:

- Livello 5 — **Session layer**: si occupa di gestire l'instaurazione, mantenimento, sincronizzazione delle sessioni applicative di un sistema.

All'interno di internet questo livello è affidato al livello 4.5, ovvero le socket.

- Livello 6 — **Presentation layer**: si occupa di organizzare i dati e di definire formati omogenei dati e gestire la crittografia

I router sono basati sui primi 3 livelli. Per comunicare, un user (dotato di livelli 1-4 + 7) genera una request ad un server (1-4 + 7), che passa i vari router fino a raggiungere il destinatario, passando per le interfacce dei vari livelli, man mano aggiungendo i vari header. Da notare che a livello 3 il modulo è singolo

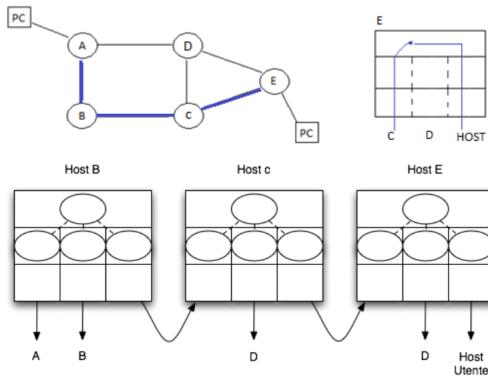


I livelli dal 4 compreso in sù sono chiamati end-to-end. La comunicazione tra livelli avviene solo *peer-to-peer*, ogni livello conosce il funzionamento del livello $n-1$ in quanto si occuperà del trasferimento.

Il percorso a ritroso dei protocolli rimuove gli header di ogni livello precedentemente aggiunti, facendo arrivare il solo payload all'applicativo utente.

Data Link Layer

All'interno di ogni nodo, ci sono n entità per ogni arco uscente dal nodo. Il nodo A ha anche un link per la macchina host, ed il nodo E ha un link per l'host 2.



All'interno del pacchetto è già salvato il percorso da prendere, mappato dal livello 3, che conosce tutta la rete.

I principi su cui si concentra il livello 2 sono il best-effort e l'affidabilità.

Come fa il canale a distinguere l'idle (continuo 5v o 0v) da una comunicazione effettiva?
Viene introdotta una sequenza di bit che mi informa che l'inizio e la fine di una comunicazione. Queste sequenze sono chiamate **flags** di inizio e fine, e sono rappresentate dai bit 01111110, in particolare:

{01111110 — pacchetto dati — 01111110}



Per distinguere tra flags e sequenze bit è stato introdotto il bit stuffing.

Bit Stuffing

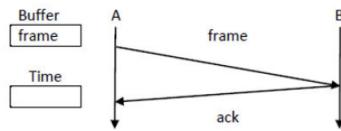
Attraverso il bit stuffing, è introdotto un counter che, quando rileva 5 bit consecutivi con valore 1, viene introduce uno 0. Questa operazione è svolta dalla porta di I/O a livello firmware

Per esempio $F-01111110-F$ diventa $F-011111010-F$.

Questo comporta che l'unico caso in cui il livello possa incontrare 5 bit di 1 consecutivi sia nel caso di flags. Quando le flags arrivano nell'altro capo del canale di comunicazione sono rimosse.

Come introduciamo l'affidabilità nel protocollo di livello 2?

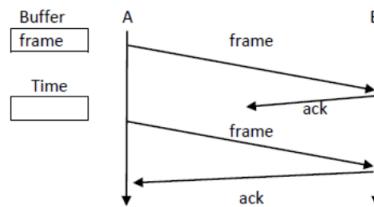
Dobbiamo assicurare la non duplicazione dei pacchetti, ordine nella ricostruzione e integrità. Per garantire ciò viene utilizzato un metodo chiamato **ARQ** ovvero l'Automatic Repeat Request, che permette la ritrasmissione del pacchetto fino alla conferma della ricezione. Un esempio di esecuzione classico è il seguente:



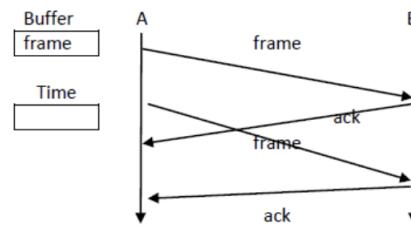
Il sender A ha nel buffer il frame da inviare, che viene eliminato qualora riceve il messaggio di ack da parte del destinatario. Quando un messaggio di ack è ricevuto, il timer è riavviato. Se dopo un tempo t il messaggio di ack non è ricevuto, il messaggio è ricopiato dal buffer e re-inviato.

Tuttavia è possibile che vi siano problemi in questo processo:

- Se per esempio il messaggio di ack è inviato troppo tardi ed il time-out avviene prima dell'arrivo è possibile che il messaggio di ack arrivi dopo la ritrasmissione.
- E' quindi necessario implementare un numero progressivo rappresentato da una variabile V , in particolare VS Variabile Sender per identificare i frame. Se un frame è inviato più volte è compito del ricevente scartare il frame superfluo.



- Se invece il RTT (Round-trip-time) è desincronizzato?



In questo esempio, ack arriva, ma il frame è già stato reinviato. Vengono quindi reinviati due frame uguali, e gli ACK riceventi fanno computare due volte il mittente. Il frame è scartato dal destinatario, ma la sincronizzazione è persa.

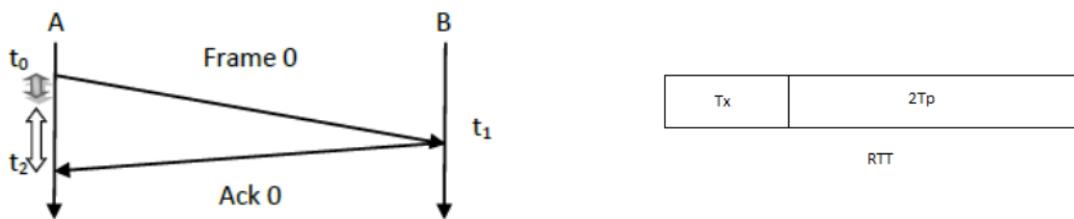
Allora per ogni ACK ricevuto, il mittente, controlla che sia l'ACK della stessa classe del pacchetto precedentemente mandato e se arrivano due ACK della stessa classe il mittente ignora il secondo (ridondanza). Conviene quindi implementare un variabile di sequenza anche per l'ACK *VR Variabile Receiver*.

Una metrica per valutare l'efficienza è l'utilizzo del canale di connessione. U è l'utilizzo totale della rete: più il valore è alto, meglio viene usato il canale.

Come possiamo migliorare l'efficienza?

Il nostro canale di comunicazione rimane fermo per molto tempo in attesa dell'ack. E se invece il protocollo non aspettasse l'arrivo dell'ack prima di inviarne un altro?

Potremmo migliorare di molto il tempo di trasferimento, ma complichiamo molto il protocollo.



In questo esempio t_0 rappresenta 1/3 del RTT, potenzialmente potrei inviarne altri 2. Maggiore è il valore del tempo di propagazione, minore è la quantità di pacchetti inviabile in un singolo RTT, se tuttavia aumentiamo il più possibile il RTT, possiamo migliorare l'utilizzo.

Vediamo un esempio:

Per sfruttare meglio la rete nel caso 2 dovrei trasmettere più frame durante RTT del primo frame inviato

- quanti?

$$U = K * \frac{t_x}{t_x + 2t_p}$$

se voglio uno sfruttamento U del 100%

$$k = \frac{t_x + 2t_p}{t_x}$$

k rappresenta il numero di pacchetti che il trasmettitore è in grado di inviare senza aspetta l'ack. Più alto il rapporto, minore il k

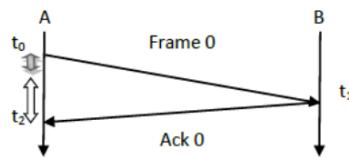
Esempio 2:

Lunghezza frame = 1000 bit
 Velocità canale = 1 Mb/s
 Lunghezza canale = 200 Km

$$t_x = \frac{1000 \text{ bit}}{1 \text{ Mb/s}} = 10^{-3} \text{ s} = 1 \text{ ms}$$

$$t_p = 10^{-3} \text{ s} = 1 \text{ ms}$$

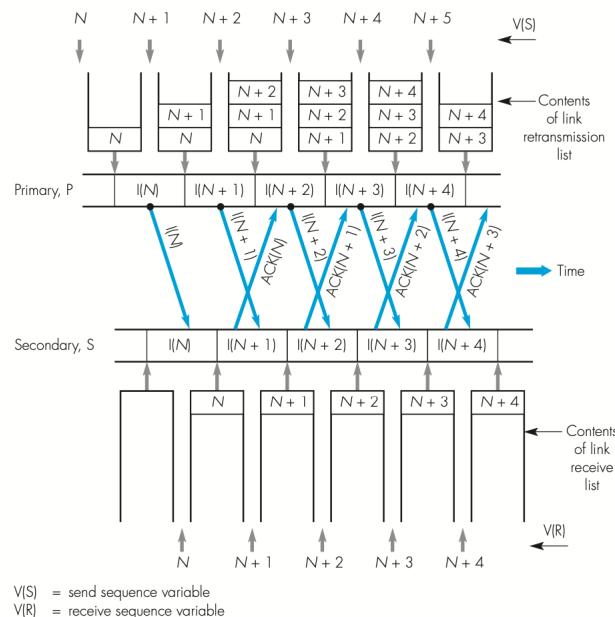
$$RTT = 3 \text{ ms}$$



Utilizzo del canale

$$U = \frac{t_x}{RTT} = \frac{t_x}{t_x + 2t_p}$$

Questo modello è chiamato *a finestra*, in cui nel tempo T vengono inviati n pacchetti senza attendere l'ack. Il prezzo da pagare è un buffer di trasmissione più grande.



Sender è sopra, receiver è sotto, il diagramma è ruotato di 90° a sinistra dal solito

Come andiamo a garantire l'affidabilità in questo protocollo? *Tecniche per l'affidabilità*: Tecniche per l'affidabilità Vi sono 3 protocolli che garantiscono l'affidabilità a livello 2, usano il metodo ARQ (Automatic Repeat Request), che prevede la ritrasmissione del pacchetto dopp un tempo di timeout fino a quando il destinatario non ne abbia confermato la ricezione (con un ACK):

- Idle RQ (stop-and-wait ARQ)
- Continuous RQ (protocollo a finestra):
 - go-back-N
 - selective repeat

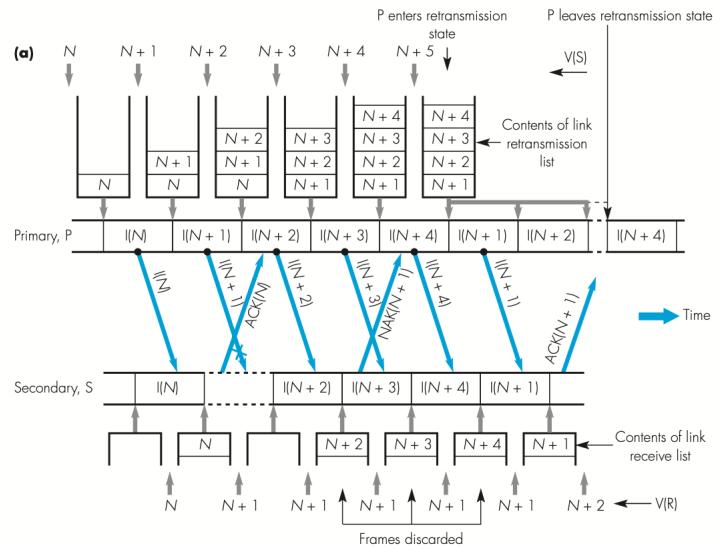
Idle RQ:

Se dopo un tempo $t_x > RTT$ l'ACK non è ancora arrivato, il mittente reinvia il frame. Ogni frame ha un numero progressivo (numero di sequenza) partendo da 0, così il ricevente può sapere se ha già ricevuto quel frame. Il ricevente in ogni caso risponde con l'ACK, anche se ha già il frame in arrivo.

Se il RTT è dominato dal tempo di trasmissione, il mittente non può migliorare di molto la velocità totale. Se invece domina il tempo di propagazione, il mittente può inviare k frame e ascoltare poi per gli ACK senza aspettare il primo ACK del ricevente per inviare un secondo frame.

Andiamo a vedere i modelli a finestra più nel dettaglio, si suddividono principalmente in 2:

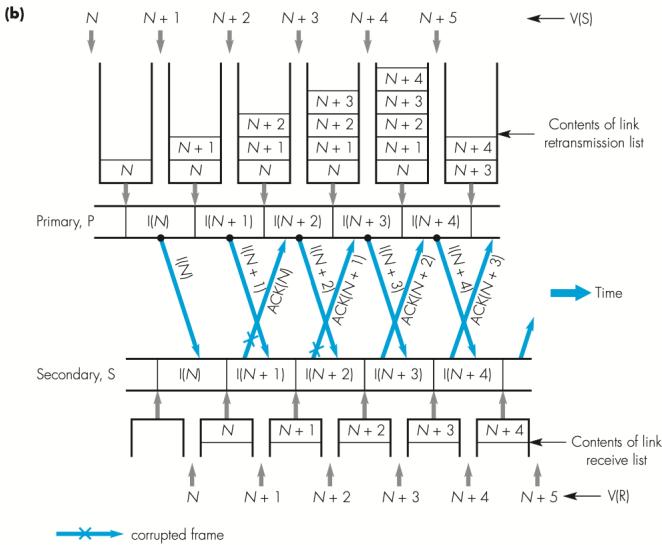
- Go-back-N: se il ricevitore riceve un frame fuori posizione, scarta tutti i frame successivi indipendentemente dalla correttezza, richiedendo la ritrasmissione da parte del trasmettitore a partire dell'ultimo frame corretto.



In questo esempio il frame $n + 1$ non arriva correttamente a destinazione, vengono quindi scartati i frame $n + 2, n + 3, n + 4$ in quanto il sender non ha modo di sapere che $n + 1$ non è arrivato.

Il receiver quindi manda il $NAK(n + 1)$, per richiedere la ritrasmissione a partire da $n + 1$. Al posto di implementare un NAK , riutilizziamo l'ACK, con indice l'ultimo frame corretto.

Il $NAK(n + 1)$ è sostituito con $AK(1)$. Il buffer di ricezione è grande 1, o n.



In questo esempio i problemi sorgono quando vengono inviati gli ACK.
Gli $ACK(n)$ e $ACK(n + 1)$ non arrivano, tuttavia arriva $ACK(n + 2)$.

Se ragioniamo con una logica selettiva, il sender dovrebbe reinviare i frame n e $n + 1$; se ragioniamo con una logica cumulativa il sender non reinvia niente in quanto comprende che fino a $n+2$ sono arrivate.

- Selected Repeat (ack cumulativo) (l'esempio sul libro ragiona con un ack selettivo): È come go-back-N, ma non si reinvianno tutti i frame ma solo quello errato. Serve quindi che il ricevitore abbia un buffer almeno di k elementi così da gestire gli altri frame in attesa del reinvio di quello errato.

Quando un frame (n) non arriva, il receiver inoltra un $AK(n)$ per segnalare che ha bisogno dei frame a partire del pacchetto ($n + 1$) (logica cumulativa). Il buffer di ricezione è grande quanto il buffer di trasmissione, ed è tenuta una copia di tutto ciò che è ricevuto correttamente.

In riepilogo:

- Go-Back-N	windowSender: k	windowReceiver: 1	nsequenzaMax: k+1
- Selected Repeat	windowSender:k	windowReceiver: k	nSequenzaMax: 2k
- IdleRQ:	windowSender: 1	windowReceiver: 1	nSequenzaMax: 2

Specifiche per protocolli basati su reti broadcast

Nelle reti broadcast, a differenza delle reti LAN, i frame sono inviati a tutte le stazioni. E' compito dunque delle singole stazioni droppare il frame non necessarii. Questo approccio garantisce il *fairness*, ma necessita di un alcuni meccanismi per garantire la sincronizzazione, e la gestione di un'eventuale perdita di token. La stazione delegata è chiamata stazione controllore.

I protocolli di accesso a canale condiviso sono suddivisi in base al tipo di accesso al canale condiviso, che può essere **deterministico** o **casuale**

Tuttavia da sistemi operativi sappiamo che un solo soggetto può entrare in sezione critica alla volta.

Dobbiamo andare ad implementare algoritmi di gestione per l'accesso condiviso:

- Token ring: un token è assegnato al soggetto che in quel momento è ha diritto di broadcast, quando il token è tornato al soggetto iniziale, sappiamo che il messaggio è stato inviato a tutti i soggetti. Il token è quindi rilasciato e dato alla prossima stazione.

Questo approccio garantisce il *fairness*, ma necessita di un alcuni meccanismi per garantire la sincronizzazione, e la gestione di un'eventuale perdita di token. La stazione delegata è chiamata stazione controllore.

- Aloha: è il primo protocollo probabilistico per l'accesso ad un canale probabilistico, basato su un modello broadcast (un satellite) (che ha un ping di 250ms). Tuttavia questo modello risulta particolarmente inefficiente, raggiungendo un picco del 18%. Gli errori/corruzioni sono risolti ritentando il trasferimento.

- CSMA-CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection): è un modello basato su cavi (il ping è quindi basso, così come il tempo di propagazione)(efficienza tra il 90 e il 95%). Il carrier verifica a priori che il canale sia vuoto, prima di inviare il frame. Più stazioni competono per l'accesso al canale; qualora il canale sia attualmente occupato, il nodo si mette in attesa prima di iniziare la trasmissione. Qualora la collisione sia rilevata, essa è gestita con l'algoritmo Binary Exponential Backoff, e la trasmissione è immediatamente fermata, diminuendo il tempo prima di un'eventuale ritrasmissione.

Il CSMA può avere più configurazioni, in particolare può essere 1-persistente (l'ascolto ed il tentativo di trasmissione è continuo) o non-persistente (i tentativi di ri-trasmissione avvengono dopo un tempo casuale).

Il tempo casuale è in un range BEB (Binary Exponential Backoff): viene scelto un numero casuale tra $2^i - 1$ (ove i è il numero di collisioni avvenute) e lo si moltiplica per $51.2\mu s$, ovvero lo slot di tempo minimo.

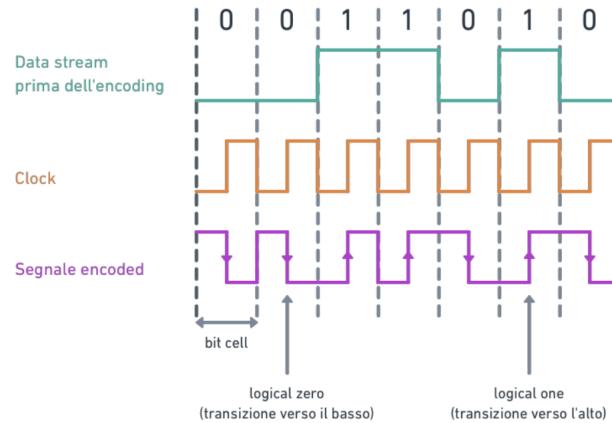
Il protocollo LAN è definito all'interno del documento *IEEE 802.3*, mentre il protocollo WIFI è definito nel *IEEE 802.11*.

Codifica di Manchester

In questa codifica imponiamo un cambiamento di stato per la codifica di 1 o 0:

- ogni bit valore 1 comporta una trasmissione in salita (da 0 a 1)
- ogni bit di valore 0 comporta una trasmissione in discesa (da 1 a 0)
- l'assenza di transizione è rappresentata dall'assenza di segnale

Siccome è possibile che due bit consecutivi siano di valore uguale, è necessario rendere possibile lo spostamento del valore all'alto o al basso senza emettere un output. Questa operazione di riposizionamento è chiamato *logical zero* (*spostamento verso il basso*) o *logical one* (*spostamento verso l'alto*) e dura mezzo periodo del clock.



L'obiettivo della codifica è quello di permettere sia il trasferimento di dati, ma anche del periodo del clock.

Ma come fa il ricevitore a distinguere effettivamente la durata del clock dalle transizioni di riposizionamento?

Introduciamo il formato frame delle trasmissioni LAN.

Formato frame LAN

Preamble	SFD	DA	SA	Type/Length	Dati	FCS
7 Byte	1 Byte	2:6 Byte	2:6 Byte	2 Byte	46:1500 Byte	4 Byte

- Preamble (preambolo) ha valore **10101010** e servono a "svegliare" gli adattatori del ricevente e a sincronizzare gli oscillatori con quelli del mittente
- SFD (Start Frame Delimiter) ha valore **10101011** (i due bit a 1 consecutivi indicano che il messaggio è importante) e svolte la stessa funzione del campo flag dell'HDLC
- DA (Destination MAC Address)
- SA (Source MAC Address)
- Type/Length indica la lunghezza del campo dati (veniva usato da PPP per scegliere il protocollo di livello 3)
- Dati che vengono paddati a 46 Byte qualora ne dovessero essere spediti di meno (per il discorso delle collisioni)
- FCS (Frame Check Sequence) o controllo a *ridondanza ciclica* (CRC) che è il risultato di un'operazione matematica sui bit contenuti nel frame a cui viene accodato, e viene ricalcolato dal destinatario che così compara i due per verificare eventuali errori

Il preambolo, in particolare, viene utilizzato per sincronizzare gli orologi del mittente e del destinatario.

Sottolivelli del livello 2: Il livello 2 è suddivisibile in 2 porzioni:

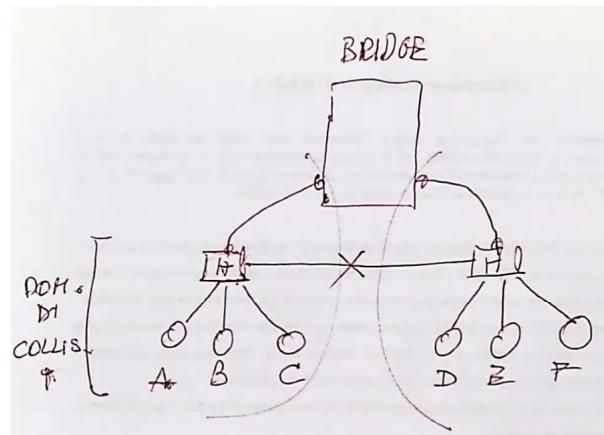
- LLC: Logical Link Control, ovvero la parte superiore Comune a tutti gli standard della famiglia IEEE 802
- MAC: Media Access Control, ovvero la parte inferiore

Domini di collisione

All'interno di una rete connessa con cavi, abbiamo una serie di componenti che insieme vanno a formare il dominio di collisione: ovvero il dominio di rete in cui i componenti competono per l'accesso alle canale.

- Hub: è un apparato passivo centro stella che riceve e ritrasmette i segnali (esegue una funzione di ripetitore), non interviene a livello due e non separata/crea domini di collisioni.
- Bridge: è un operatore attivo, esegue il compito di suddividere domini di collisione, dividendoli in due sottodomini. Esso è dotato di una scheda di rete con relativo indirizzo MAC, indirizza i pacchetti in entrata verso gli hub corretti, controllando che non siano corrotti.

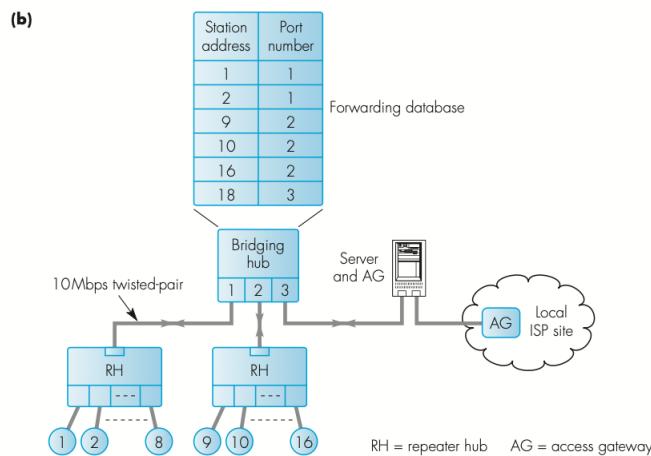
Consideriamo la seguente immagine:



Il dominio di collisione è separato dal bridge, le collisioni all'interno delle singole porzioni possono comunque avvenire

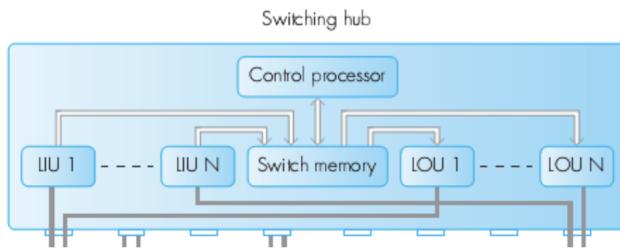
Quando un bridge riceve un pacchetto in entrata effettua un'operazione di "store and forward". Per instradare i pacchetti da un dominio ad un altro, il bridge utilizza una tabella di forwarding, se il pacchetto in entrata è indirizzato ad un nodo di un hub differente esso effettua un'operazione di forwarding.

- Bridging hub: ha una funzione simile al repeater, ovvero quello di fornire l'interconnessione tra più repeater hubs. La differenza fondamentale è che il bridging hub ha svolge anche una funzione di store, e controllo di errori prima dell'inoltro. La presenza di un bridging hub è ininfluente a due stazioni comunicanti, per questo vengono anche chiamati "transparent bridges".



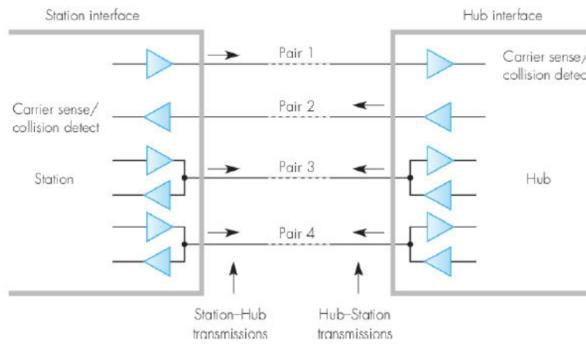
Il bridge mantiene anche un forwarding database o routing directory, che regista, per ogni porta, la porta di uscita (se presente). Se un frame ricevuto indirizza all'hub di ricezione, esso viene scartato, altrimenti viene forwardato secondo ciò che è presente all'interno della table. Se nella table non è mai stata caricata una entry, il pacchetto viene forwardato su tutti i canali presenti (operazione di flooding). La tabella è aggiornata dinamicamente, ma periodicamente deve essere anche flushata.

- Switch: è come un bridge, ma non utilizza CSMA/CD ma le porte di input/output sono punto a punto (non più broadcast). Lo switch gestisce frame che arrivano contemporaneamente su porte di input diverse. Ho solo bisogno di garantire che le frame siano del tipo di CSMA/CD per quando verranno inoltrate nei vari domini.



Ethernet a 100 Mbps o 100Base4T

100B4T è nato per incrementare la velocità di Ethernet portandola a 100Mbit/s utilizzando 4 cavi. Per fare ciò vengono utilizzate 4 coppie di cavi che consentono una trasmissione CSMA/CD bidirezionali.

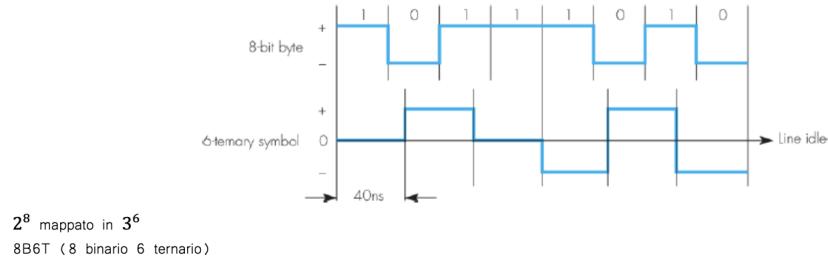


- I cavi 1, 3, 4 si occupano della trasmissione.

Il rimanente cavo è utilizzato per rilevare le collisioni. Ognuno dei 3 cavi ha una velocità di 25 Mbps.

A questa velocità tuttavia non è applicabile la codifica Manchester, si utilizza una codifica

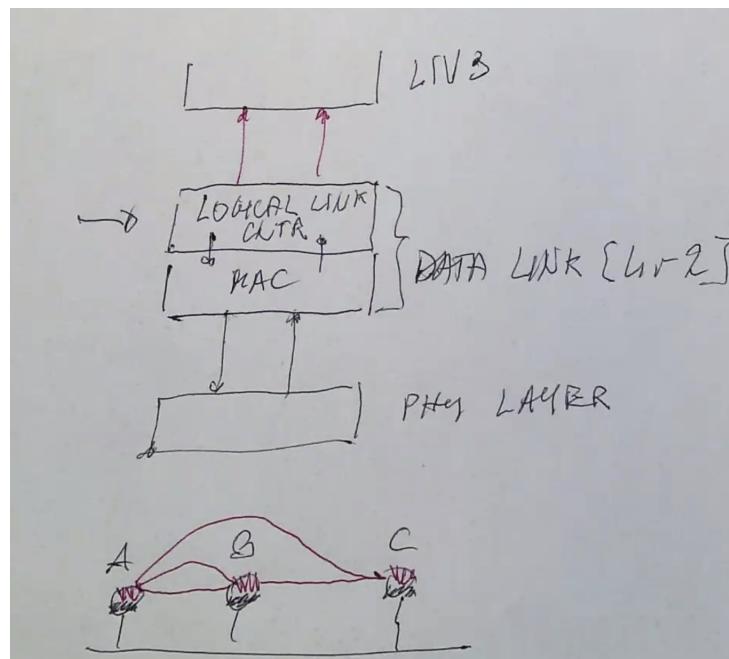
chiamata *8B6T* che converte 8 bit in simboli in base 3 applicando un cambiamento della fase del segnale che permette di trasferire dati a 100 Mbs



Logical Link Control

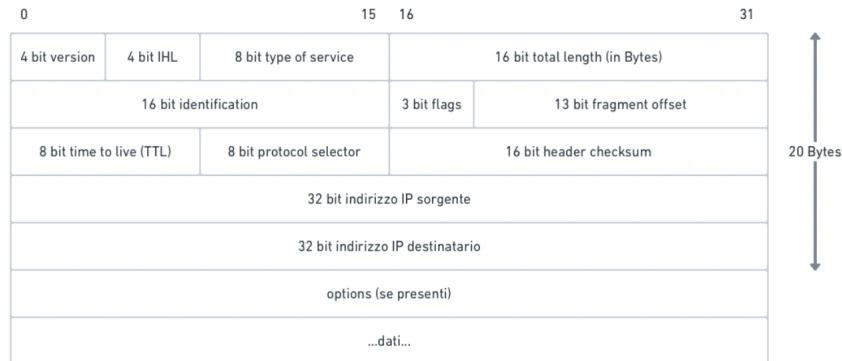
Come abbiamo specificato in precedenza, il livello 2, o mac layer, comunica con il physical layer attraverso l'interfaccia di scheda di rete.

Dobbiamo tuttavia sottolineare che il livello 2 ha un ulteriore sottolivello, ovvero il **logical link control**. Il logical link control è costituito da connessioni logiche punto a punto indipendenti dai servizi sottostanti, dotati di servizi di trasmissione best effort e servizi affidabili.



IP: protocollo a livello 3

I frame diventano pacchetti, e fornisce un servizio non affidabile. L'intstazione del pacchetto è organizzata in 5 parole da 32 bit, con un campo opzionale.



- Version, specifica la versione di IP (in questo caso 4) e istruisce quindi gateway, router e host su come interpretare il pacchetto
- IHL (Internet Header Length), la lunghezza dell'header può essere variabile (campo opzionale), in multipli di 32 bit. Il minimo è 5, il massimo è 15
- ToS (Type of Service), fornisce una priorità al pacchetto IP, cosicché i router possano instradarlo nel modo migliore
- Total Length, indica la lunghezza totale del pacchetto, compresa intestazione e dati. La dimensione massima è $2^{16} - 1 = 65535$
- Parola di 32 bit per la frammentazione dei pacchetti
 - Identification, identificatore del pacchetto originale, uguale per ogni pacchetto di un singolo messaggio
 - 3 bit Flags, composti da un bit riservato, uno DF (Don't Fragment) per indicare di farlo passare in una rete che lo può spostare intero e uno MF (More Fragment) a 1 quando devono essere inviati ancora dei pacchetti, a 0 quando è l'ultimo
 - Fragment offset, indica quanti bit sono già stati inviati dai frammenti precedenti; non vengono contati i bit ma gruppi di 8 Byte, massimizzando così l'uso di questi 13 bit (non esiste quindi un frammento più piccolo di 8 Byte). Indicizza $2^{13} = 8192$ gruppi di 8 Byte, quindi 65536 Byte (che è la maximum segment size di un segmento di livello 4)
- Parola di 32 bit per controllo
 - Time To Live (TTL), tempo massimo di vita di un pacchetto nella rete; se, scaduto questo tempo, il pacchetto non è stato consegnato, e va eliminato. Di solito indicato come numero di hop (Hop To Live)
 - Protocol Selector, indica il protocollo di livello 4 usato dal mittente, cosicché il

destinatario possa passarlo allo stesso protocollo

- Header Checksum, usato per efficienza operativa, poichè se la checksum è sbagliata evito subito di instradare il pacchetto (verifica integrità solo per la parte dell'intestazione, per questo il livello 4 ricalcolerà la CRC anche per il contenuto IP)

- Options, campo opzioni variabile, nel quale vengono specificate opzioni su: sicurezza, source routing, ...

L'IPv4 ha un'indirizzamento a 32 bit, quindi gli indirizzi sono 2^{32} , ogni macchina connessa ad internet internet è indirizzabile ad un indirizzo IP univoco.

Frammentazione e ricostruzione pacchetto IP

Supponiamo di dover trasferire un pacchetto di 7000 Byte da una LAN token ring attraverso internet fino ad un host di una LAN ethernet. Assumiamo che la quantità massima di trasmissione (MTU) sulla rete token ring sia di 4000 Byte, mentre quella ethernet di 1500 Byte. IP aggiunge altri 20 Byte di intestazione quindi:

- abbiamo a disposizione $4000 - 20 = 3980$ Byte per l'invio
- dobbiamo creare frammenti con payload multipli di 8 Byte per l'invio (attraverso un indice tengo conto di quanto ho inviato)
- vengono inviati due frammenti (3976 e 3024 Byte), che passano attraverso internet
- arrivano alla rete ethernet dove devono essere frammentati di più perché la quantità massima di trasmissione qui è di 1500 Byte ($1500 - 20 = 1480$ Byte)
- ogni pacchetto che arriva viene frammentato in altri 3 pacchetti ($1480 - 1480 - 1016$ Byte il primo, $1480 - 1480 - 64$ Byte il secondo)

I pacchetti non sono riframmentati da IP, ma la ricostruzione avviene a livello end-user.

Subnetting

I router non possono avere una tabella di routing contenente tutti gli host, dato che le classi di indirizzamento (sono troppi). Per mitigare questo problema ogni router di una sottorete conosce gli indirizzi degli host a lui collegati e quelli dei router a livello superiore. I router dei livelli superiori non tengono traccia di tutti gli indirizzi degli host delle sottoreti collegate, bensì si suddivide il net id, creando un subnet id (oltre il net id) che permette di verificare se un indirizzo fa parte di una delle sottoreti senza conoscerne gli host.

In pratica:

- il router controlla che il net id del destinatario sia uguale a quello delle sue sottoreti
 - se si, si controlla a quale sottorete inoltrare il pacchetto in base al subnet id
 - se no, il pacchetto non viene inoltrato nelle sottoreti collegate al router
- il router della subnet a cui arriva il pacchetto inoltrerà il pacchetto all'host corretto

Il subnet id è sempre ricavato da una parte della parte host dell'indirizzo. *Come facciamo a capire quanti bit sono stati assegnati al subnet id?* Viene utilizzata una *subnet mask*. Per capire a quale sottorete deve essere indirizzato il pacchetto, viene fatto un AND logico con la subnet mask, formata da tutti 1 nella porzione net id e subnet id e 0 altrove. Il subnet mask ci permette di aumentare la vita del protocollo IPv4, permettendo l'utilizzo di più indirizzi.

CIDR — classless inter domain routing

E' il contrario dell'indirizzamento a classe, gli spazi di indirizzamento sono organizzati in classi di indirizzamento per regione (Asia, Europa, America etc.) Per esempio la classe di indirizzamento per l'europea è

$$\begin{aligned}
 & 194.0.0.0 - 192.255.255.255 \\
 & 195.0.0.0 - 195.255.255.255 \\
 & 256 \text{ (primi 3)} * 256 = 65536 + 65536 = 131.072 \text{ possibili combinazioni} \\
 & 131.072 * 256 = 33.554.432 hosts, possibili indirizzi
 \end{aligned}$$

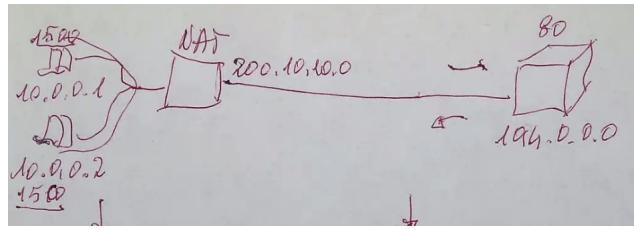
Una qualsiasi organizzazione può fare richiesta per l'assegnamento di un indirizzo base, con un range di indirizzi utilizzabili. Questo meccanismo è complementato dall'utilizzo del subnetting con le masks.

NAT — Network Address Translation

Ad ogni dispositivo collegato all'interno di una rete viene assegnato un indirizzo privato, che permette l'identificazione all'interno della rete. L'indirizzo NAT è pubblico, univoco in tutto il pianeta. Quando un host vuole comunicare con l'esterno, il servizio NAT rimpiazza l'indirizzo privato con un indirizzo pubblico all'interno della sottorete, e l'associazione è salvata all'interno di una tabella. All'interno della tabella sono salvate:

$< ip \text{ interno}, porta \text{ interna}, ip \text{ esterno}, porta \text{ esterna}, ip \text{ destinazione}, porta \text{ nat} >$

Questo meccanismo serve anche a proteggere le macchine interne dall'esterno, fungendo anche un compito di firewall.



Quando un server restituisce una reply, il pacchetto è complementato con la porta NAT associata al terminale che ha fatto la richiesta, il NAT svolge poi il matching per ricavare l'indirizzo privato.

Se un dispositivo interno (per esempio un sito web) volesse esporsi al pubblico, potremmo assegnergli un ip pubblico accessibile dall'esterno, o configurando una porta aperta (se per esempio è 80, sappiamo che è un sito web).

ARP — Address Resolution Protocol

Questo meccanismo a livello 2 si occupa di mappare un indirizzo IP ad un corrispondente indirizzo MAC Utilizzando un IP_b il protocollo ARP un host può comunicare con un altro host all'interno della rete un ARP request inviandolo a tutti in un broadcast request.

Quando un host con IP_a deve effettuare una comunicazione ad un host con IP_b , viene effettuata una *ARP Request*.

L'ARP Request è effettuata a tutti gli host all'interno della rete, e contiene

MAC sorgente, l' IP_a , l'indirizzo IP del destinatario

Attraverso questa trasmissione broadcast, se l'host è all'interno della rete viene effettuata una *ARP Reply*, destinato al MAC dell'host sorgente, contenente il proprio MAC.

Ogni volta che la richiesta MAC termina con successo, l'indirizzo MAC richiesto/invia viene salvato all'interno di una ARP Cache, che mappa gli indirizzi IP_i con gli indirizzi Mac_i .

RARP — Reverse ARP

E' una variante di ARP, utilizzato quando un host conosce il proprio MAC ma non conosce il proprio IP. Viene creata una tabella che contiene tutte le coppie MAC-IP degli host.

DHCP — Dynamic Host Configuration Protocol

E' un meccanismo utilizzato per richiedere ad un server DHCP un IP dinamico. I server possono essere k , quindi potenzialmente un client può ricevere k offerte da k server. Per selezionare lo specifico IP in una selezione di k offerti, il client utilizza una DHCP Request. La DHCP Request è validata da una DHCP ACK. I meccanismi su cui si basa sono:

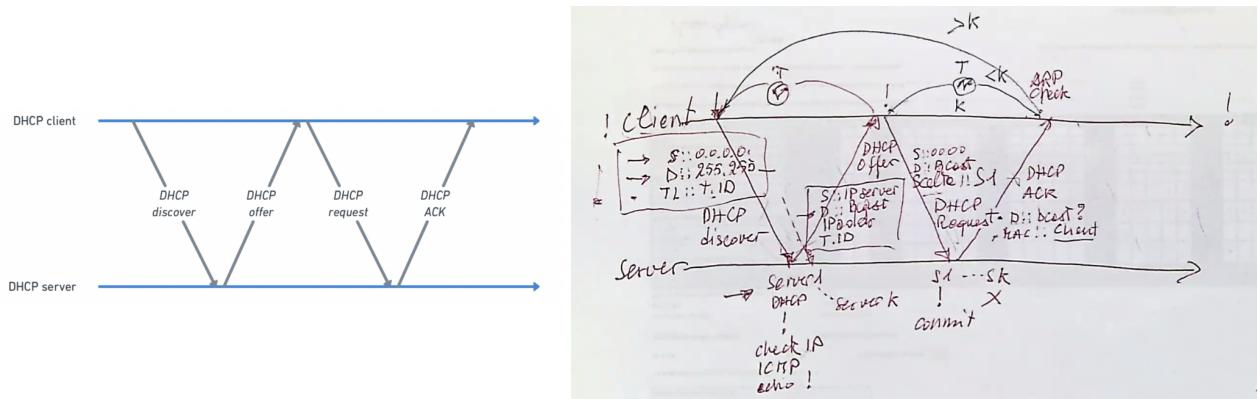
- DHCP Discover, il client invia a k server, attraverso un **segnale broadcast** con indirizzo (255.255.255.255) una richiesta per ottenere un IP dinamico. L'IP sorgente impostato è 0.0.0.0. Questo messaggio inoltre contiene un **transaction ID** (generato combinando il clock e il MAC del sorgente), che ha il compito di identificare univocamente la richiesta, oltre che associare la reply alla richiesta.

DHCP Discover = IP Source: 0.0.0.0 — Destination: 255.255.255.255 — T.ID: ID_1

- DHCP Offer, è la la reply del server che contiene:
Lo stesso transaction ID della Discover, un indirizzo IP proposto dal server per il client (non già associato), una subnet mask, ed il time-lease (ovvero il tempo d'utilizzo possibile). Per verificare che un IP non è già stato assegnato il server effettua un ping all'indirizzo, se non vi è una risposta l'indirizzo è disponibile.

DHCP Offer = T.ID = ID_1 — P.IP = IP_1 — Subnet Mask — T_{lease}

- DHCP Request, utilizzato da parte del client per accettare o meno l'IP proposto, viene inviato al server che ha proposto l'IP selezionato, tra k offerti
- DHCP ACK, utilizzato dal server per inviare un ACK di conferma



ICMP — Internet Control Message Protocol

E' un protocollo utilizzato per diagnosticare errori in cui un terminale all'interno di un sistema può incorrere. Le principali funzionalità sono: rilevare errori ,rilevare congestione nodi, verificare raggiungibilità nodi, notificare cambio percorso per raggiungere host fornire subnet mask della sottorete e misurare prestazioni dei link. Il formato dei pacchetti ICMP è il seguente:

0	8 9	16 17	32
Type	Code	Checksum	
Number of 32 bit words and their meaning depending on the values in the type and code fields			

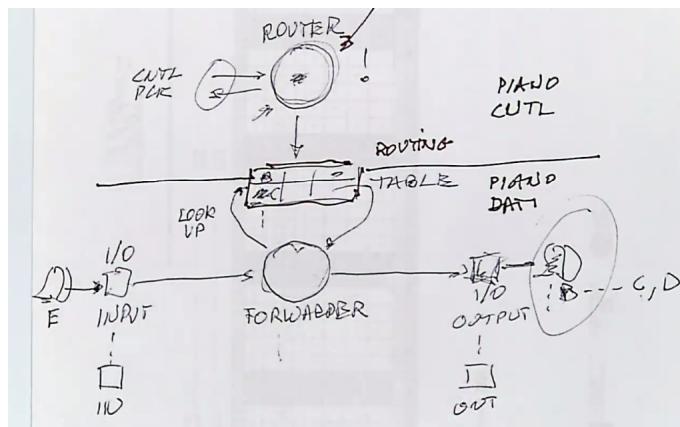
Il campo type va ad indicare il tipo di controllo che si vuole effettuare (destination unreachable, time exceeded, parameters error). Il campo code va a complementare il messaggio di informazioni aggiuntive, ad esempio il motivo.

Routing o Instradamento

I router, svolgono operazioni di controllo con il protocollo ICMP, e di forwarding (passaggio da una coda di entrata ad una coda di uscita). L'operazione di forwarding è svolta attraverso l'impiego di una tabella di instradamento.

La tabella di forwarding, o lookup table è una tabella che associa indirizzi IP di n hosts, e le varie porte di uscite del router su cui instradare il messaggio.

La lookup table è popolata dal *router*, attraverso un processo chiamato **routing**. A livello 2 viene chiamata forwarding table, mentre a livello 3 è chiamata routing table, rappresenta l'intersezione tra il piano dati ed il piano di controllo

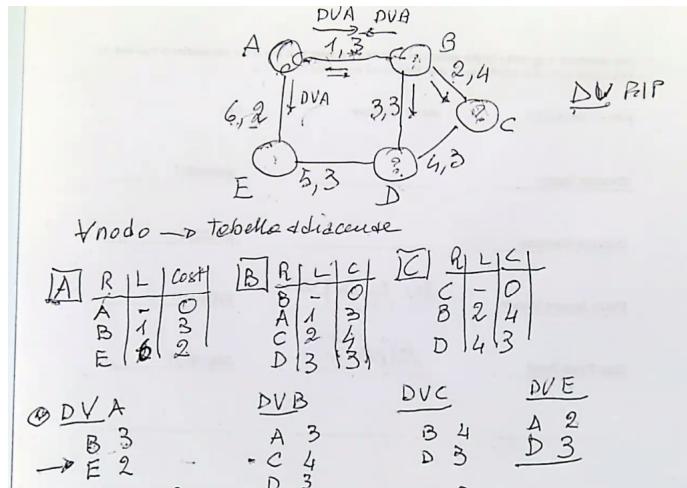


La tabella di instradamento è complementata con una tabella di distanza, chiamata *distance vector*

1 - Distance Vector

Il distance vector è una tabella che contiene il costo di ogni percorso per raggiungere gli altri host. In particolare vengono salvati i costi dei link, ovvero il numero di hop. I router

scambiano periodicamente informazioni riguardo alle proprie tabelle per tenerle aggiornate attraverso un processo chiamato triggered update (impostato) per avere sempre percorsi minimi. La struttura dati utilizzata per memorizzare i distance vector è la tabella di adiacenza



Bouncing effect e trigger update

Il bouncing effect è il caso in cui un collegamento si guasta, il router più vicino se ne accorge subito e nella sua tabella mette ∞ al costo per i nodi al di là di quel collegamento. Poi però un altro router gli invia la sua tabella, dove c'è ancora l'informazione per raggiungere quel nodo con il collegamento guasto e siccome il costo sarà minore di ∞ il primo router aggiorna la propria tabella erroneamente.

Una possibile soluzione è il trigger update, ovvero quando un router modifica la propria tabella a seguito di un imprevisto, invia a tutti l'aggiornamento senza aspettare il timer. Questa soluzione però non elimina del tutto il problema, perché il pacchetto di trigger update potrebbe non arrivare a destinazione.

Count to infinity

Sorge tuttavia un altro problema generato dal bouncing effect, ovvero il count-to-infinity. In un collegamento lineare tra A-B-C-D... se si guasta il collegamento tra A e B, B mette costo infinito ma C poi gli dice che può arrivarci passando tramite lui. Questo propagarsi dell'informazione sbagliata porta a stime di distanza (costo) sempre maggiori.

Una possibile soluzione a bouncing effect e count-to-infinity è lo split horizon, in cui ogni router propaga sempre ∞ come costo di raggiungimento di stazioni indirette che raggiungerebbe tramite la stazione a cui sta inviando l'informazione. Questa soluzione non elimina del tutto il problema, perché i pacchetti possono comunque perdere.

La soluzione per entrambi i problemi è usare il protocollo RIP

Funzionamento:

- per ogni entry della tabella di instradamento del router esiste un time. Se per 6 tempi di update (circa 30 secondi l'uno) non ho risposta, allora viene messa la entry a infinity
- si usa trigger update (c'è sempre il problema count-to-infinity)
- il costo di un link si indica con il numero di hop nell'intervallo 0:15, con 16 = ∞
- update storm (tempesta di update): può capitare che i timer scadano tutti insieme, quindi viene generato tantissimo traffico in rete, perciò ogni nodo genera il proprio update con un ritardo (0 - 5 secondi)

Link state routing

Invece di scambiare i vettori distanza, si scambiano i vettori di stato.

Tutti i nodi trasmettono i costi dei link a loro connessi (link state) non solo ai vicini ma in flooding a tutti gli altri. Un nodo diventa quindi indipendente dagli altri perché tutti hanno le informazioni dell'intera rete. Ci sono un sacco di nodi in più nel traffico di rete, ma questo metodo seleziona il percorso più veloce. Una volta determinata la tipologia della rete, ogni nodo calcola i cammini minimi verso ogni possibile destinazione con l'algoritmo di Dijkstra (Shortest Path First, SPF).

I pacchetti sono caratterizzati da:

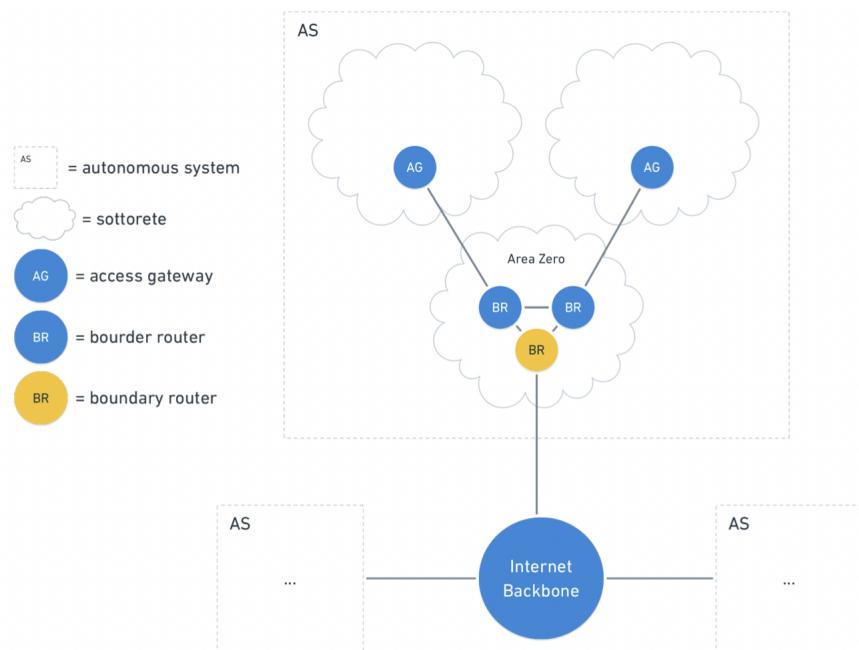
- numero di sequenza, in una topologia magliata, lo stesso link state può giungere da nodi diversi. Si ha quindi bisogno di un meccanismo per droppare i link state già ricevuti
- fattore di aging, usato per eliminare pacchetti che continuano a girare in rete (e accorgersi di eventuali loop). Può capitare che un pacchetto permanga troppo nella rete (TTL)

e sono più piccoli dei vettori distanza, perché contengono le informazioni dei soli nodi vicini, non di tutta la tabella di un router. Siccome vengono generati $O(n^2)$ messaggi nella rete per costruire le tabelle, si designa un router predefinito (designated router), a cui vengono inviati tutti gli stati e che poi calcolerà i cammini minimi e li manderà in flooding a tutti i suoi nodi ogni periodo di tempo (di solito solo se cambiano).

2 - OSPF — Open Shortest Path First

È il protocollo di internet definito nell'RFC 2328 che gestisce la gran parte dei problemi di routing con tecnica Link State. Opera:

- negli autonomous system (sistemi autonomi), composti da diverse sottoreti collegate a un'area zero.
- tra aree backbone (aree zero), aree più alte a livello gerarchico, che possono essere composte sia da router che da sottoreti. Nell'area zero ci sono speciali routers, chiamati AS boundary routers, che fungono da gateway tra la sottorete degli host e la internet backbone (dorsale internet), mentre i router che collegano le sottoreti all'area zero si chiamano border routers. Nell'area zero, per evitare problemi relativi al flooding, vi è un **designated router** che concentra su di sé gli aggiornamenti per le tabelle di routing e distribuisce poi le informazioni complete ai nodi vicini (vedi link state)



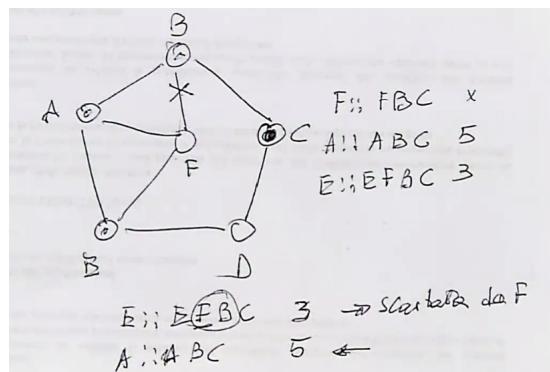
Le operazioni che vengono svolte durante l'OSPF sono:

- Hello, usato da un router per scoprire nuove reti/router adiacenti, scoprendo così il costo di un link
- Link State Update, inviato dal designated router ad intervalli periodici (o quando necessario, tipo cambiamento costi link, etc) che porta con sé le informazioni riguardanti le tabelle di routing, da far propagare agli altri router
- Link State ACK, ogni router valida un Link State Update con questo messaggio
- Database Description, viene usato per informare il ricevente del messaggio se è disponibile o meno un aggiornamento

- Link State Request, viene usato per richiedere un Link State Update da ogni router adiacente

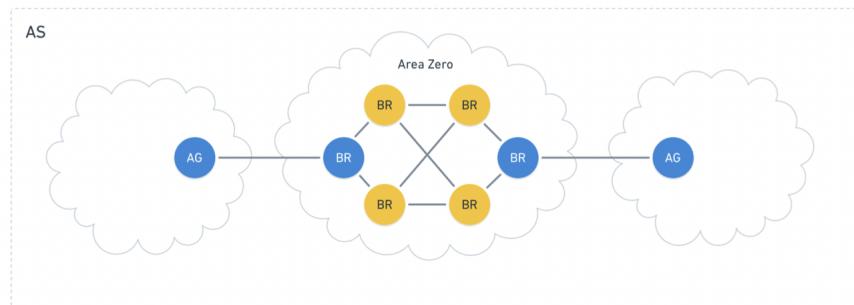
3 - BGP — Border Gateway Protocol

Un protocollo a livello 3, che tuttavia interagisce col livello 2 (TCP) attraverso la porta 179. Opera sfruttando un approccio simile al Distance Vector, che tuttavia viene modificato: al posto di mantenere solamente la destinazione, esplicita anche il l'intero cammino. Qualora un collegamento viene interrotto, conoscendo l'intera topografia del cammino siamo in grado di scartare il cammino, scegliendone uno alternativo.



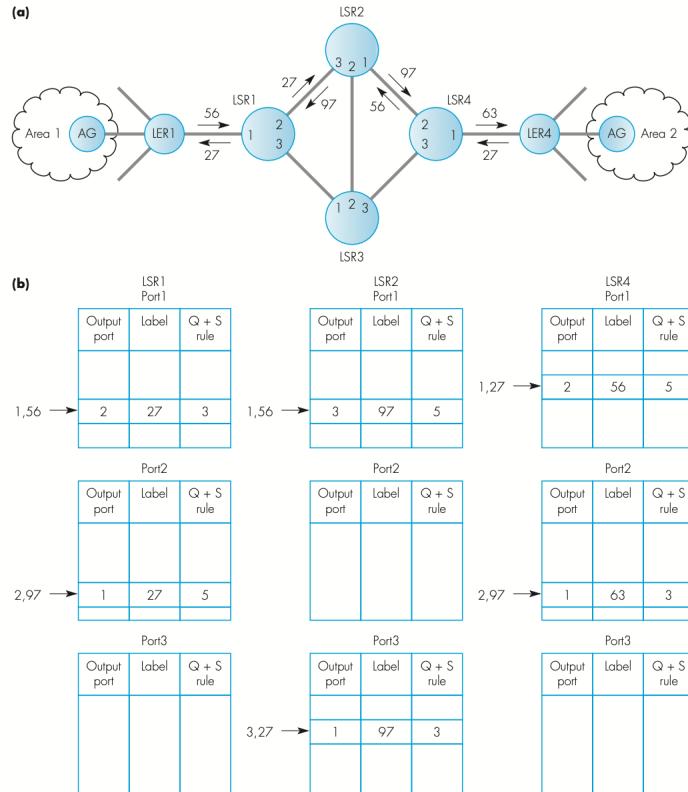
La sezione dei messaggi è ignorata

MPLS — Multi Protocol Label Switching



Questo protocollo va a sostituire l'OSPF, lo switching viene effettuato introducendo delle labels (etichette), alla quale vengono anche incorporate identifieri di priorità. I pacchetti in entrata non vengono modificati, la tupla IP ed il Payload sono mantenuti, ma vengono incorporati con un involucro utilizzato per svolgere l'operazione di tunneling

Una visione ad alto livello:

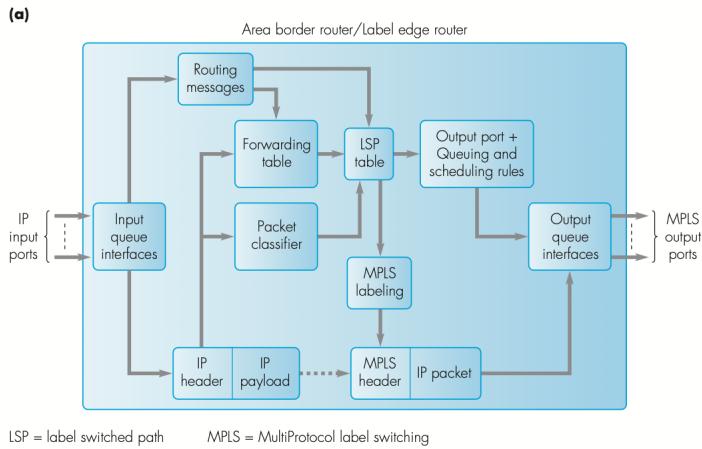


Il pacchetto in entrata in LER1 con etichetta 1, diventa l = 56 entra in LSR1 da porta 1 ed esce da porta 2 come indicato nella LSR table quando esce da LSR1, l = 27, entra in LSR2 ...

Il componente LER1 (label edge router) associa un header che viene utilizzato dagli altri LSR (label switch router) per inoltrare i package. Gli LSR mantengono una label switching table.

La label switching table contiene entries per ogni porta in entrata, ed ogni porta in uscita, così come labels da assegnare. Le labels cambiano ogni volta che il pacchetto passa per un LSR.

Label edge router



I pacchetti non vengono inoltrati secondo l'IP Header (passando per la forwarding table), ma secondo un MPLS header, che viene integrato all'IP packet. Il label edge router provvede ad aggiungere/rimuovere l'intestazione MPLS dalla testa dei pacchetti IP, poiché MPLS ha senso solo ad ogni hop. E' funzionale solo a velocizzare il processo di switching ma è ininfluente a livello di routing.



- Il campo COS va ad identificare la regola di scheduling
- Il campo label identifica la politica per il singolo hop, così come l'identificatore per la porta d'uscita.