

1) Efficienza nel forwarding dei pacchetti: MPLS utilizza etichette per instradare i pacchetti, riducendo il tempo di elaborazione rispetto alla ricerca basata su indirizzi IP. Questo rende il processo più rapido e scalabile, specialmente per le reti di grandi dimensioni

2) Integrazione di servizi multipli: MPLS supporta la combinazione di reti Layer 2 e Layer 3, consentendo l'utilizzo di protocolli come Frame Relay, ATM e IP all'interno della stessa rete. Questo semplifica l'infrastruttura e riduce i costi operativi per i provider di servizi.

3) Traffic Engineering: Con MPLS è possibile ottimizzare l'uso della rete definendo percorsi specifici per determinati tipi di traffico. Ciò permette una gestione efficiente della congestione e l'ottimizzazione delle risorse di rete.

4) Qualità del Servizio (QoS): MPLS permette di assegnare priorità al traffico, garantendo prestazioni affidabili per applicazioni sensibili alla latenza, come VoIP e video in streaming.

5) Supporto per VPN: MPLS è ideale per creare VPN scalabili e sicure. Le etichette utilizzate segregano il traffico tra diverse aziende, garantendo un livello di isolamento e sicurezza superiore rispetto al semplice IP.

6) Rerouting rapido: MPLS è in grado di gestire percorsi alternativi in caso di guasti o congestione della rete, garantendo maggiore affidabilità e disponibilità rispetto all'IP tradizionale.

VANTAGGI MPLS rispetto IP Tradizionale



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Forwarding = Processo di Trasferimento di un Pacchetto da Interfaccia di Ingresso a Interfaccia di Uscita in un Router
Routing = Processo di Determinazione del Percorso migliore che un pacchetto deve seguire per raggiungere la Destinazione Finale

Tecnologia da Rete di Trasporto (essendo Tabella di Routing IP troppo grandi, diminuisce efficienza)

Commutazione di etichetta: MPLS

Franco CALLEGATI

Dipartimento di Informatica: Scienza e Ingegneria

Router e switch

• Router

- Instrada i datagrammi IP

- Longest prefix match

- Shortest path routing

- Spesso implementa funzioni aggiuntive

- packet filtering, QoS etc.

- Supporta interfacce (piano dati) e protocolli (piano di controllo) di tipo diverso

Instradano i datagrammi IP basandosi su algoritmi avanzati, come il Longest Prefix Match (scelta della route più specifica basata sulla lunghezza del prefisso di rete). Usano tecniche come il Shortest Path Routing per calcolare il percorso più breve per un pacchetto.

Spesso offrono servizi avanzati come il packet filtering (filtraggio dei pacchetti) e il supporto per la QoS (Quality of Service), per garantire priorità a certi tipi di traffico.

Possono lavorare con interfacce diverse (es. Ethernet, fibra ottica, DSL) e supportano diversi protocolli sia a livello di piano dati (trasporto dei dati) sia a livello di piano di controllo (gestione delle decisioni di instradamento).

• Switch

Si occupano di un instradamento più semplice, basato su indirizzi statici (come indirizzi MAC per il livello 2 del modello OSI).

- Instradamento semplice in funzione di indirizzi statici

- Funzionalità limitate all'instradamento delle trame

- Supporto per un numero limitato di interfacce e di protocolli

Sono progettati principalmente per l'instradamento delle trame a livello locale (Livello 2 OSI). Offrono meno funzionalità rispetto ai router, poiché non gestiscono protocolli di instradamento avanzati. Sono più limitati nel supportare un grande numero di interfacce o protocolli complessi.

• *Considerando il traffico smaltito il rapporto costo/prestazioni in uno switch è migliore che in un router*

Considerando il volume di traffico smaltito, il rapporto costo/prestazioni di uno switch è generalmente migliore di quello di un router. Questo è dovuto alla semplicità dello switch e alla sua efficienza nella gestione del traffico locale senza l'overhead di funzionalità avanzate.

In sintesi, i router sono più complessi e versatili, ideali per reti più grandi e scenari che richiedono funzionalità avanzate, mentre gli switch offrono una soluzione più economica ed efficiente per reti locali (LAN).

Obiettivi

MPLS rappresenta la risposta a questo obiettivo:

- Efficienza simile a quella di uno switch: MPLS utilizza etichette anziché analizzare i pacchetti IP, rendendo più rapido il trasferimento dei dati.
- Supporto per IP: Anche se MPLS gestisce le etichette, supporta completamente il trasporto di datagrammi IP.
- Costo/Prestazioni: Grazie alla riduzione del carico computazionale e al miglior utilizzo delle risorse, MPLS offre un equilibrio ottimale tra costo e prestazioni.



L'obiettivo è combinare la potenza degli instradamenti IP con la velocità ed economicità degli switch

Fornire trasferimento di datagrammi IP nella rete di trasporto al livello costo/prestazioni di uno switch

Label Switching: obiettivo

L'obiettivo principale è migliorare l'efficienza e la velocità del processo di instradamento separando due aspetti chiave

- Scomposizione della funzione di instradamento in due componenti:

- controllo
- trasferimento

Nel contesto di MPLS:

Piano di controllo: Usa protocolli come LDP o RSVP-TE per distribuire etichette e configurare percorsi.

Piano di trasferimento: Si occupa del forwarding dei pacchetti basandosi esclusivamente sulle etichette MPLS, ignorando il tradizionale processo di routing basato su IP.

- La componente di *controllo* si basa sui protocolli di rete convenzionali e meccanismi di associazione delle etichette

- La componente di *trasferimento* si basa su hardware veloce e identificazione basata su etichette dei flussi informativi

Questa parte si occupa del trasferimento effettivo dei pacchetti lungo la rete, basandosi sulle etichette associate. È ottimizzata per operazioni veloci grazie all'uso di hardware specializzato, come ASIC (Application-Specific Integrated Circuits).

L'identificazione dei pacchetti avviene tramite etichette anziché esaminare gli indirizzi IP, riducendo la complessità computazionale e migliorando la velocità.

Questa parte si occupa di decidere come i pacchetti devono essere instradati all'interno della rete. Usa protocolli di rete convenzionali come OSPF, BGP o LDP (Label Distribution Protocol) per determinare i percorsi.

Implementa i meccanismi di associazione delle etichette, assegnando a ogni flusso (FEC - Forwarding Equivalence Class) un'etichetta specifica. Questo processo associa i flussi di traffico a percorsi predefiniti, riducendo la necessità di analisi successive.



Principali vantaggi

→ MPLS associa un'etichetta (label) ai percorsi calcolati.

- **Mantenimento dei protocolli di routing IP standard (OSPF, BGP)**

MPLS non richiede l'abbandono dei protocolli di routing standard. Al contrario, li integra per determinare i percorsi migliori nella rete (MPLS non definisce un proprio meccanismo per scoprire la topologia di rete o determinare i percorsi. Si affida ai protocolli di routing IP standard).

- disponibilità → L'uso di protocolli standard come OSPF (Interior Gateway Protocol) e BGP (Exterior Gateway Protocol) garantisce affidabilità e supporto globale, poiché sono ampiamente adottati e ben testati.
- scalabilità → Questi protocolli sono progettati per scalare in reti di grandi dimensioni, come le WAN o le dorsali di provider Internet.
- flessibilità → La combinazione di MPLS con questi protocolli permette alla rete di adattarsi rapidamente ai cambiamenti (es. variazioni di topologia o carico).

- **Trasferimento veloce dei pacchetti** →

Il forwarding dei pacchetti MPLS è molto più rapido rispetto al routing IP tradizionale, poiché si basa su etichette preassegnate piuttosto che su una complessa analisi degli indirizzi IP.

- **Possibilità di utilizzo di hardware sviluppati per altre tecniche di commutazione veloce (come ATM) per lo switch**

→ La rete può instradare pacchetti sulla base di semplici operazioni sull'etichetta MPLS, riducendo il carico computazionale sui router.



Label switching: modo di trasferimento

Si utilizza un metodo di trasferimento dei dati che prevede la creazione di un percorso predefinito tra il mittente e il destinatario prima dell'invio dei dati stessi. Prima di trasmettere i dati, viene stabilita una connessione logica o fisica tra le parti coinvolte.

Si adotta un modo di trasferimento con commutazione orientata alla connessione

MPLS utilizza un approccio orientato alla connessione per il trasferimento dei pacchetti.

Prima che un pacchetto possa essere instradato, viene stabilito un percorso specifico chiamato Label Switched Path (LSP). Il percorso è predefinito e non richiede una decisione dinamica per ogni pacchetto, riducendo la latenza e aumentando l'efficienza.

La commutazione si basa sul riconoscimento di un'etichetta (label) associata al datagramma

La label sostituisce la necessità di analizzare gli indirizzi IP per decidere il percorso. Ogni router lungo il percorso (Label Switch Router - LSR) usa la label per determinare il prossimo nodo di instradamento.

- È un'entità breve e di lunghezza fissa
- Non codifica gli indirizzi di rete

Che cos'è una label:
È un identificatore univoco e di lunghezza fissa, assegnato a ogni pacchetto all'ingresso della rete MPLS.

Le label sono numeri brevi (solitamente 20 bit) che non contengono informazioni sull'indirizzo IP o sulla rete di destinazione.

La label è trasportata dal pacchetto

- usando parte della intestazione di livello 2 (come in ATM)

In alcune tecnologie (come ATM o Frame Relay), la label può essere integrata nell'intestazione del livello 2.

- inserendola tra l'intestazione dello strato di linea e l'intestazione dello strato di rete

In MPLS, la label è inserita tra l'intestazione del livello 2 (ad esempio Ethernet) e l'intestazione del livello 3 (ad esempio IP). Questo metodo è noto come shim header, un'intestazione aggiuntiva specifica per MPLS.

Quando un pacchetto entra nella rete MPLS:

Il router d'ingresso (Label Edge Router, LER) assegna una label basata sulla destinazione IP del pacchetto e sul percorso MPLS preconfigurato (LSP).

Ogni router successivo (LSR) usa solo la label per decidere il prossimo hop, aggiornando la label secondo la tabella di commutazione.

All'uscita dalla rete MPLS, il router di uscita rimuove la label e instrada il pacchetto verso la destinazione utilizzando il tradizionale instradamento IP.



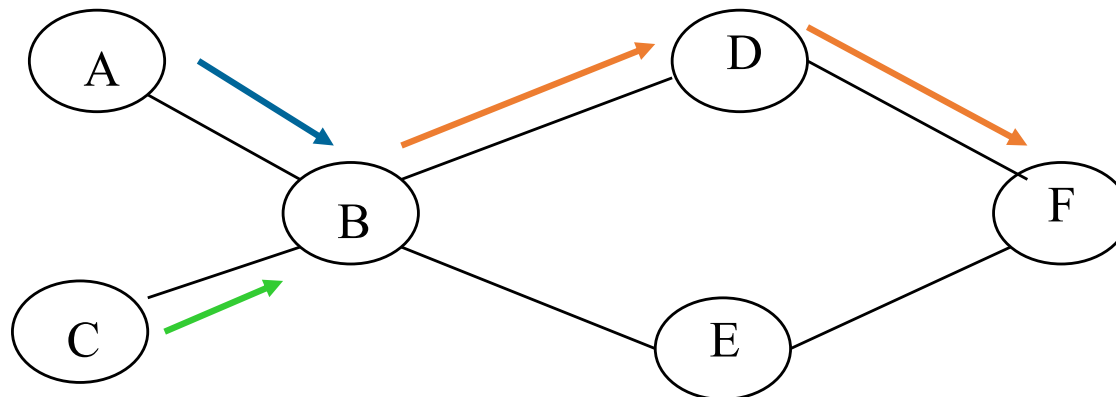
Routing classico

- Nei router IP convenzionali la decisione di instradamento è presa solo sulla base dell'indirizzo IP
- Con routing convenzionale tutti i pacchetti verso una certa destinazione seguono lo stesso percorso
 - Il percorso è quello riconosciuto di lunghezza minima dall'algoritmo di routing

Con il routing tradizionale, tutti i pacchetti destinati alla stessa rete o nodo seguono sempre lo stesso percorso.

Se il percorso è congestionato o presenta problemi, i pacchetti non possono essere facilmente deviati verso un altro percorso. Non c'è flessibilità per fare "traffic engineering" (es. bilanciamento del carico su più percorsi).

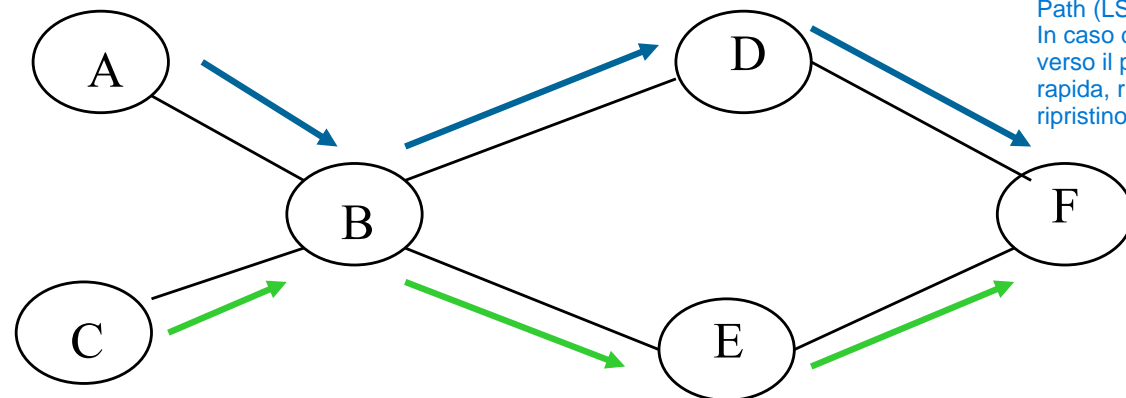
Da A e C
Verso F



Anche se ci sono altri percorsi possibili, questi non vengono utilizzati perché non sono il più breve o ottimale secondo l'algoritmo. Questo può portare a congestione sul percorso scelto.

Ingegneria del traffico

- Utilizzando indicazioni esplicite è possibile ripartire i flussi di traffico su diversi percorsi → Invece di instradare tutto il traffico verso una destinazione su un unico percorso (come avviene nel routing IP classico), l'ingegneria del traffico permette di ripartire il traffico su percorsi multipli, ottimizzando l'uso della rete.
- E' possibile avere percorsi alternativi già pronti da utilizzare in caso di guasto L'ingegneria del traffico consente di configurare percorsi alternativi (backup o ridondanti) che possono essere attivati immediatamente in caso di guasto del percorso primario.
- Si parla in questo caso di ingegneria del traffico nella rete di trasporto L'ingegneria del traffico si concentra sull'ottimizzazione dell'uso delle risorse di rete (es. larghezza di banda, latenza) nella parte di trasporto della rete, dove transitano grandi volumi di traffico.
- Non è facile implementare questi principi con IP classico MPLS è progettato per superare queste limitazioni: Permette la definizione esplicita dei percorsi. Supporta il Traffic Engineering, consentendo la creazione di LSP ottimizzati per vari scenari di traffico.



Grazie alla separazione tra piano di controllo e piano di trasferimento, i percorsi alternativi possono essere preconfigurati come Label Switched Path (LSP) di backup. In caso di guasto, la commutazione verso il percorso alternativo è rapida, riducendo il tempo di ripristino (failover).

MPLS è indipendente dal livello sottostante (livello 2) e dal livello superiore (livello 3), il che lo rende estremamente versatile e adatto a reti complesse e diversificate.

MPLS

Ogni pacchetto che entra in una rete MPLS riceve una label.
Questa label:

Guida il trasferimento: I pacchetti vengono inoltrati in base all'etichetta, senza dover analizzare ogni volta l'indirizzo IP.
Gestisce le risorse: La label può essere utilizzata per assegnare priorità (QoS), riservare larghezza di banda e ottimizzare il traffico lungo percorsi specifici (LSP - Label Switched Path).



- MultiProtocol Label Switching è definito da IETF per implementare il label switching
- La label viene utilizzata sia per il trasferimento sia per la gestione delle risorse
- Una stessa modalità di trasferimento viene fornita per servizi diversi (unicast, multicast, unicast con diversa QoS)
- E' una soluzione multiprotocollo
 - Rispetto allo strato di rete
 - Rispetto allo strato di linea

MPLS permette di gestire vari tipi di traffico con la stessa infrastruttura. Consente di ottimizzare la rete per esigenze diverse, mantenendo una gestione uniforme e semplificata.

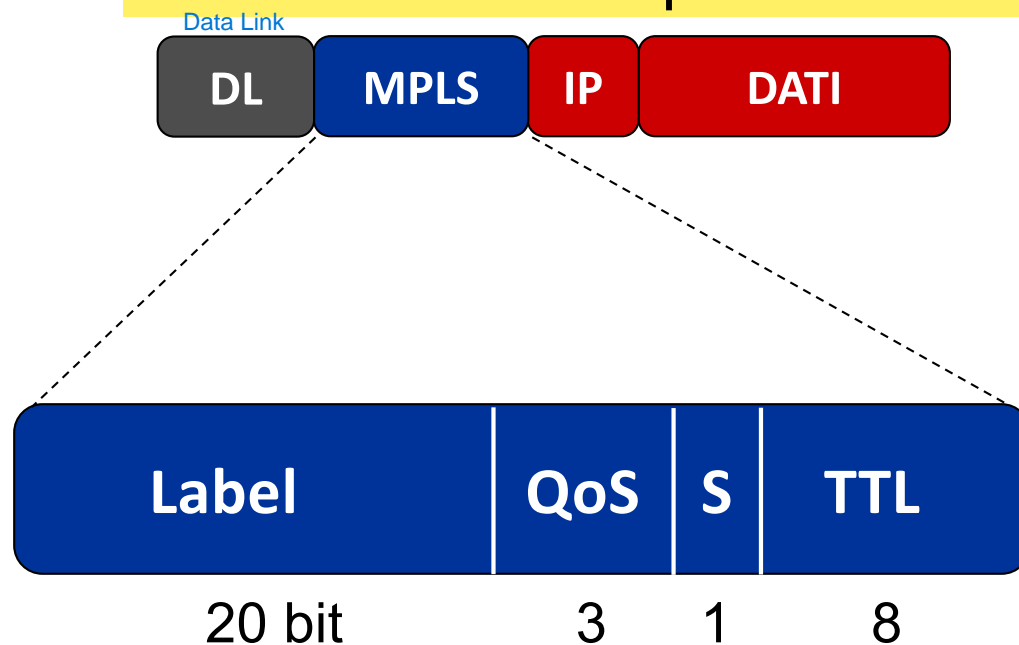
MPLS è progettato per essere compatibile con diversi protocolli e tecnologie

Strato di rete: Supporta protocolli di rete come IPv4, IPv6, o protocolli meno comuni.

Può operare su diverse tecnologie di livello 2 (es. Ethernet, Frame Relay, ATM).

MPLS: posizionamento delle etichette

- La label è una entità breve e di lunghezza fissa
- Non codifica gli indirizzi di rete
- E' trasportata assieme al pacchetto, tipicamente inserita tra l'intestazione del protocollo di linea e l'intestazione del protocollo di rete



- **Label**: è l'etichetta vera e propria utilizzata per identificare il percorso del pacchetto.
- **Exp**: 3 bit riservati per uso sperimentale
- **S**: usato per **label stacking** in reti MPLS gerarchiche Indica se il pacchetto contiene altre label
 - Se non ci sono ulteriori etichette
 - S = 1 Questo è l'ultimo livello dello stack di etichette.
 - Altrimenti
 - S = 0 Ci sono ulteriori etichette sopra questa.
- **TTL**: è il tempo di vita del pacchetto

Indica il numero massimo di hop che il pacchetto può attraversare nella rete MPLS. È decrementato a ogni hop per evitare che i pacchetti restino bloccati nella rete indefinitamente.

Un flusso di pacchetti è una sequenza di datagrammi inviati da una sorgente a una destinazione, che condividono alcune caratteristiche comuni. Questo concetto permette di raggruppare i pacchetti che devono essere trattati in modo simile nella rete.



Flusso di pacchetti

Il concetto di flusso (flow) permette di raggruppare pacchetti simili, semplificando la gestione del traffico e garantendo un trattamento uniforme lungo il percorso.

Per far parte dello stesso flow, i datagrammi devono avere tutte e tre le caratteristiche in comune. Questo perché un flow rappresenta una connessione logica e continua tra una sorgente e una destinazione, trattata in modo uniforme lungo il percorso.

- Viene definito il concetto di **flusso** (flow)
- Un flow è una sequenza di datagrammi inviati da una particolare sorgente a una particolare destinazione e accomunati da:
 - Medesimo instradamento (route)
 - Uniformi richieste di qualità di servizio
 - Insieme delle politiche di gestione richieste nei router (priorità ecc.)

Tutti i pacchetti appartenenti allo stesso flow seguono lo stesso percorso nella rete.

Tutti i pacchetti di un flow condividono gli stessi requisiti di QoS (Quality of Service)

I pacchetti di un flow vengono trattati nello stesso modo da tutti i router lungo il percorso:
Stessa priorità: Ad esempio, pacchetti con priorità alta ricevono sempre precedenza.
Stesso comportamento di forwarding: Garantisce che il flusso sia gestito coerentemente in tutta la rete.

Unicità: Un flusso è specifico tra una sorgente e una destinazione.

Trattamento uniforme: Tutti i pacchetti del flusso seguono lo stesso percorso e condividono le stesse regole di gestione

Un flow specifico può far parte di una FEC, ma una FEC può contenere pacchetti di flussi diversi, purché condividano le stesse regole di gestione.

Flusso di pacchetti (Flow): Rappresenta una connessione specifica e continua tra due entità.
FEC: Un raggruppamento logico di pacchetti che condividono caratteristiche di instradamento e trattamento, ma non sono necessariamente collegati a un singolo flow.

Forwarding Equivalence Classes (FEC)



Le FEC sono gruppi (o insiemi disgiunti) di pacchetti che la rete decide di trattare nello stesso modo. Tutti i pacchetti che appartengono a una stessa FEC: Seguono lo stesso percorso nella rete e Ricevono lo stesso trattamento.

- Insiemi disgiunti su cui vengono suddivisi i flussi di pacchetti in base a

- Destinazione
- Classe di traffico

La rete decide di classificare i pacchetti in base a criteri specifici, come:

Destinazione: Tutti i pacchetti che devono raggiungere una certa rete o un nodo.

Classe di traffico: Pacchetti con esigenze simili (es. traffico VoIP con priorità alta o traffico normale con priorità bassa).

Questi pacchetti vengono messi in insiemi disgiunti, cioè gruppi separati che non si sovrappongono. Un pacchetto appartiene a una sola FEC.

- Next hop

Il next hop è semplicemente il prossimo router o nodo a cui inviare i pacchetti della FEC. Tutti i pacchetti di una FEC vanno nello stesso next hop, perché condividono le stesse caratteristiche.

- Indirizzo del nodo successivo: è l'elemento fondamentale che caratterizza una classe di equivalenza

- In una rete IP classica i datagrammi in ingresso al router:

- Vengono associati ad una FEC
- Instradati nella medesima direzione

Nelle reti tradizionali:

Ogni pacchetto viene analizzato separatamente per decidere dove deve andare.

Anche se alla fine i pacchetti con la stessa destinazione finiscono sullo stesso percorso, questo succede per caso e non per una classificazione predefinita come avviene con le FEC in MPLS.



Nomenclatura

LSR è responsabile del "Label Switching", ossia la commutazione dei pacchetti in base alla label. È completamente indipendente dall'indirizzamento IP durante il forwarding.

Label-switching router (LSR)

- Un router che supporta MPLS

Si trova all'interno del dominio MPLS e il suo compito principale è:

- Leggere le etichette (label) dei pacchetti MPLS.
- Determinare il prossimo hop (next hop) utilizzando una tabella di forwarding basata sulle etichette.
- Sostituire la label con una nuova (se necessario) e inoltrare il pacchetto.

Label Edge Router (LER)

- Router di interlavoro tra la rete esterna e il dominio MPLS

Si occupa di gestire il traffico che entra o esce dalla rete MPLS:

Quando un pacchetto entra: Il LER assegna una label al pacchetto in base alla sua destinazione o classe di traffico (FEC).

Quando un pacchetto esce: Il LER rimuove la label e consegna il pacchetto alla rete IP tradizionale.

Dominio MPLS

→ È l'insieme di tutti i router MPLS (LSR e LER) che partecipano alla rete MPLS.

All'interno del dominio, i pacchetti sono instradati utilizzando label, anziché indirizzi IP.

Il dominio MPLS è come una "rete interna" che sfrutta MPLS per il forwarding efficiente.

- Gruppo di LSR interconnessi

Il percorso attraverso uno o più LSR seguito dai pacchetti appartenenti ad una FEC si chiama Label-switched path (LSP)

→ È il percorso predefinito che i pacchetti appartenenti a una specifica FEC seguono all'interno del dominio MPLS. Questo percorso è formato da una sequenza di router LSR e LER. Tutti i pacchetti della stessa FEC seguono lo stesso LSP. I router lungo il percorso usano le etichette per inoltrare i pacchetti senza analizzare l'indirizzo IP.

Binding

- Associazione tra FEC e label

→ È il processo di associazione tra una FEC e una label. Quando un pacchetto entra nel dominio MPLS, il LER lo assegna a una FEC e gli associa una label. Questo permette al pacchetto di essere instradato lungo il percorso predefinito (LSP) senza ulteriori analisi.

Next hop

- Nodo a valle del nodo corrente

→ È il prossimo router a cui un pacchetto deve essere inoltrato. Ogni LSR nel dominio MPLS usa la label del pacchetto per determinare il "next hop" tramite una tabella di forwarding MPLS. Questo consente di evitare analisi IP e velocizza il processo di instradamento.

Il compito principale di un LSR è:

- Leggere la label del pacchetto.
- Determinare il "next hop" (prossimo router a cui inoltrare il pacchetto).
- Aggiornare la label, se necessario, con una nuova label che corrisponde al prossimo segmento del percorso (LSP - Label Switched Path).



Label Switch Router - LSR

- Un router capace di label switching viene detto label switch router o LSR

Gestisce i pacchetti in base alle etichette (label). Instrada i pacchetti da un'interfaccia di ingresso a un'interfaccia di uscita utilizzando la label associata al pacchetto.

- Ciascun LSR mantiene una tabella di instradamento detta Label Forwarding Information Base (LFIB)

che è una sorta di "mappa" per instradare i pacchetti MPLS.

- LFIB contiene:

- elenco delle label attive

- la label è di fatto la entry nella LFIB

- interfaccia sulla quale va inviato un datagramma con una certa label

→ La LFIB specifica su quale interfaccia inviare il pacchetto in base alla label. Questo permette di indirizzare il pacchetto verso il router successivo (next hop).

- nuova label da associare a quel datagramma

Prima di inoltrare il pacchetto, la label attuale può essere sostituita da una nuova label. Questa nuova label corrisponde alla successiva fase del percorso MPLS.

Label Edge Router - LER

- **Attribuisce ai pacchetti entranti dominio MPLS la label**

Attribuire una label ai pacchetti in ingresso al dominio MPLS.

- **Toglie la label ai pacchetti uscenti**

Rimuovere la label dai pacchetti in uscita dal dominio MPLS.

- **Quando un LER riceve un pacchetto dall'esterno**

- **Determina la FEC e il next hop**
- **Se il next hop è un LSR viene determinata la label da aggiungere al pacchetto**
- **Invia il pacchetto al next hop**

Analizza il pacchetto (indirizzo IP, classe di traffico, ecc.).

Assegna il pacchetto a una FEC (Forwarding Equivalence Class).

Aggiunge una label al pacchetto che rappresenta la FEC.

Lo invia al primo router MPLS (LSR) nel dominio, instradandolo sul corretto Label-Switched Path (LSP).

Pacchetti in uscita (dal dominio MPLS verso una rete esterna):

1) Il pacchetto arriva al LER con una label associata.

2) Rimuove la label: Poiché la rete esterna non usa MPLS, il pacchetto viene "ripulito" dalla sua label.

3) Inoltra il pacchetto: Instrada il pacchetto alla destinazione finale nella rete esterna utilizzando tecniche di routing IP tradizionale.



Nelle reti IP tradizionali, ogni router lungo il percorso deve: Analizzare l'indirizzo IP del pacchetto. Determinare a quale FEC appartiene il pacchetto (es. destinazione o priorità QoS). Decidere il next hop utilizzando il Longest Prefix Match (la tecnica che cerca la rete più specifica nell'indirizzo IP). Svantaggi: Ogni hop deve ripetere il processo di analisi della FEC. Questo rallenta l'instradamento e aumenta la complessità.

Label e FEC

- In una rete tradizionale si deve valutare in ogni router la FEC di appartenenza di un pacchetto
 - Longest prefix match e scelta del next hop

Soluzione: La FEC viene determinata solo all'ingresso del dominio MPLS.

- Sarebbe preferibile poter instradare i pacchetti senza valutare la FEC ad ogni hop
 - Si associa alla FEC una label all'ingresso del dominio MPLS nel LER
 - Tutti i LSR del dominio MPLS instradano i pacchetti identificati dalla stessa label nella medesima direzione

Gli LSR si limitano a leggere la label e a decidere il next hop in base a questa.

Rete tradizionale:

Ogni router rianalizza il pacchetto, determinando la FEC e il next hop a ogni passaggio.
Questo rallenta l'instradamento.

Rete MPLS:

La FEC viene valutata una sola volta, all'ingresso del dominio MPLS.

Una label rappresenta la FEC e permette agli LSR di instradare rapidamente i pacchetti, senza analizzare l'indirizzo IP o riconsiderare la FEC.



Label Switched Path - LSP

- Un Label Switched Path è una sequenza di routers tale che

- Inizia con un LER che inserisce (push) la prima label a livello gerarchico m
- Tutti i LSR intermedi che commutano i pacchetti sulla base della label di livello m
- Termina con un LSR/LER che

Questo router analizza il pacchetto IP. Determina la FEC a cui appartiene. Inserisce (push) una label MPLS al pacchetto. La label identifica il percorso che il pacchetto seguirà nella rete MPLS.

Non analizzano l'indirizzo IP. Commutano (instradano) i pacchetti basandosi unicamente sulla label.

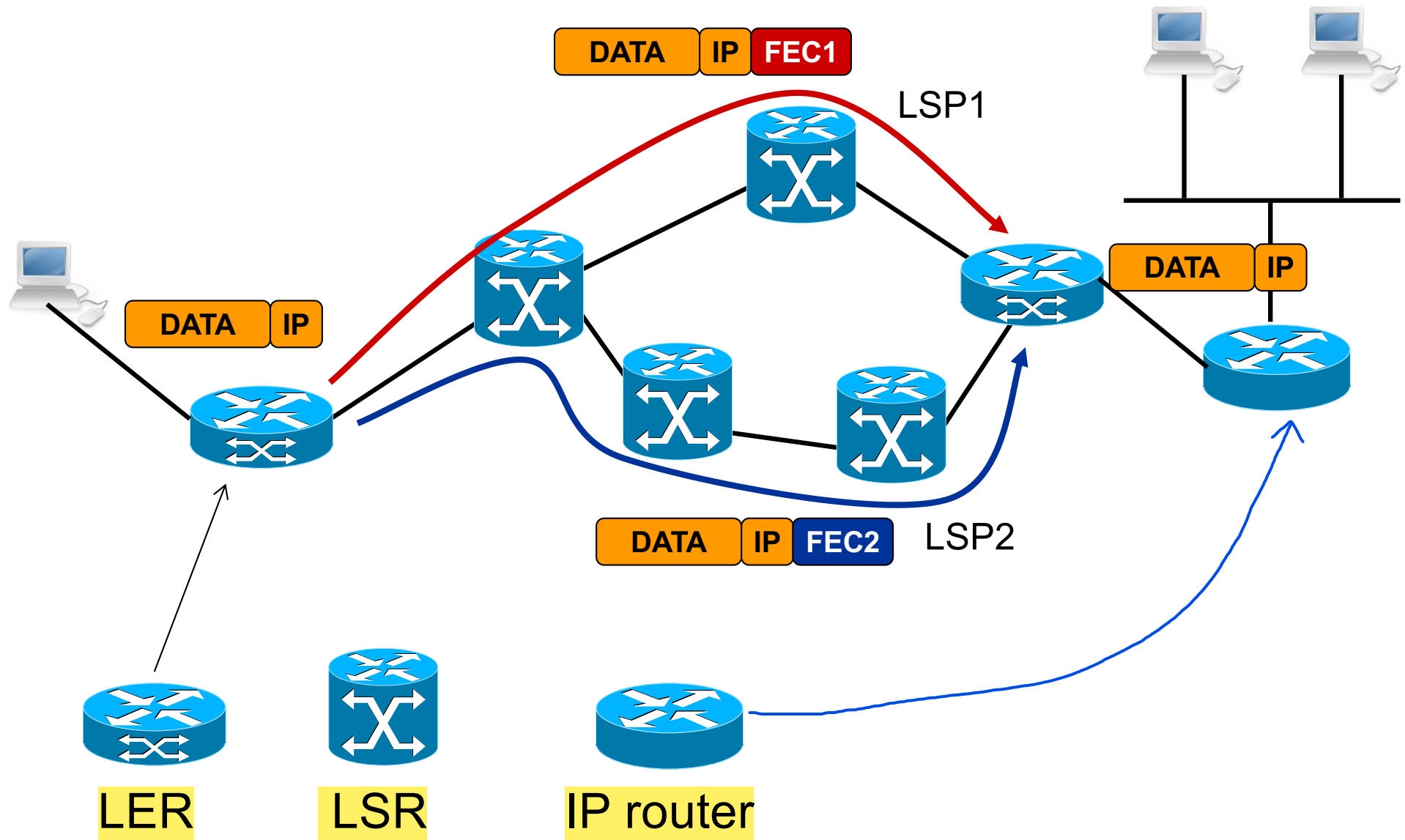
- Prende una decisione d'instradamento sulla base di una label di livello gerarchico $< m$

Continuare l'instradamento basandosi su una label di livello inferiore, nel caso di una gerarchia MPLS.

- Prende la decisione di instradamento in modo IP convenzionale senza utilizzare le label

Rimuovere la label MPLS e instradare il pacchetto verso una rete esterna (in modalità IP tradizionale).

Label switching





Cosa c'è di nuovo nel label switching

rispetto al tradizionale instradamento IP.

- Algoritmo di forwarding
 - Cambia da longest prefix match ad exact match

Invece di cercare un prefisso IP, il router cerca direttamente una corrispondenza esatta con la label associata al pacchetto. Questo semplifica e velocizza il processo di instradamento, poiché la label è già specifica e univoca.

- Algoritmo di routing
 - Può essere lo stesso delle reti IP standard
 - Il percorso che il pacchetto segue è lo stesso del caso in cui MPLS non venisse applicato

L'algoritmo di routing utilizzato dai router MPLS può essere lo stesso delle reti IP standard (ad esempio OSPF, IS-IS o BGP). Questi protocolli continuano a determinare i percorsi tra sorgenti e destinazioni, ma il forwarding effettivo è delegato alle label.

Il percorso che un pacchetto segue in una rete MPLS è lo stesso che seguirebbe in una rete IP tradizionale, ma con un'efficienza maggiore grazie all'uso delle label.

- Quindi:
 - Apparecchi che non implementano l'instradamento IP possono commutare datagrammi IP con la tecnica MPLS;
 - Devono essere equipaggiati con protocolli di routing IP e algoritmi per realizzare il label swapping

Apparecchi che non implementano completamente l'instradamento IP (come switch o router semplificati) possono essere utilizzati per commutare pacchetti IP se supportano MPLS.

Gli apparecchi devono essere equipaggiati con:

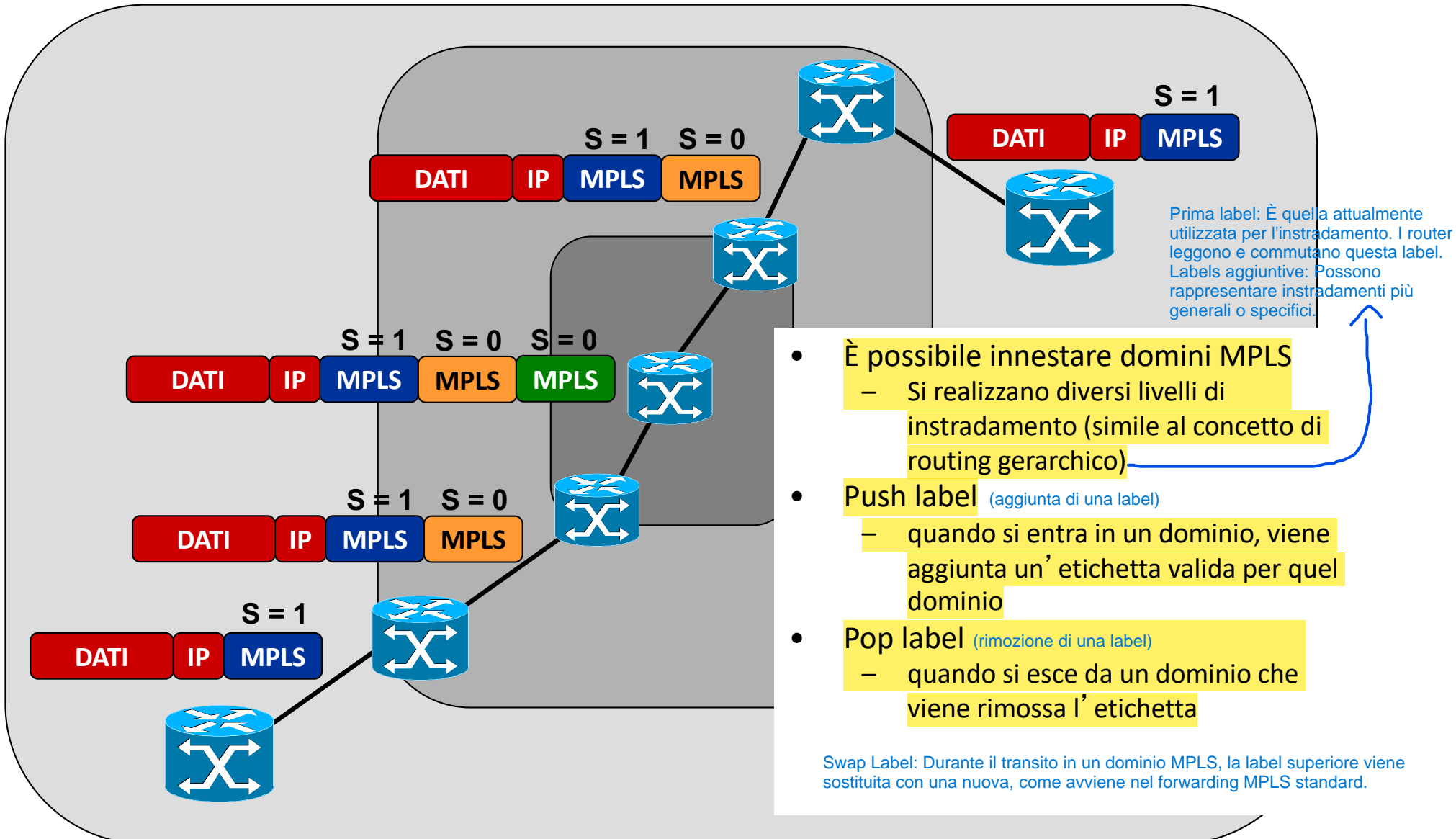
Protocolli di routing: Per scoprire i percorsi e comunicare con altri router.

Algoritmi di label swapping: Per gestire le label (inserire, sostituire o rimuovere) e commutare i pacchetti di conseguenza.

Il label stacking è una funzionalità di MPLS che permette di aggiungere più etichette (labels) a un pacchetto, creando una pila (stack). Ogni etichetta nella pila rappresenta un livello di instradamento o un dominio MPLS specifico. Scopo principale: Supportare scenari complessi, come instradamenti attraverso domini MPLS multipli o gerarchici. Gestire routing su più livelli (es. backbone globale e sottoreti locali).



MPLS: label stacking

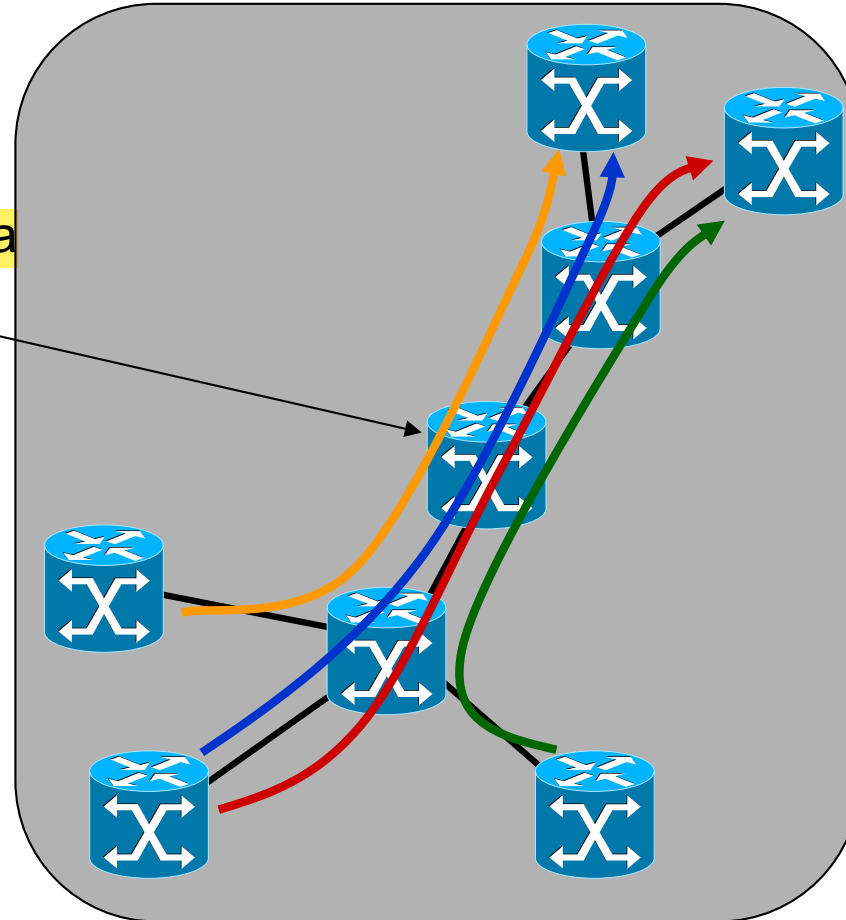


Label stacking



Deve avere in memoria
tutte le FEC

Se il router centrale non avesse in memoria
tutte le FEC:
Non potrebbe sapere cosa significa la label L1.
Non saprebbe a quale FEC corrisponde e non
potrebbe fare il label swapping corretto.

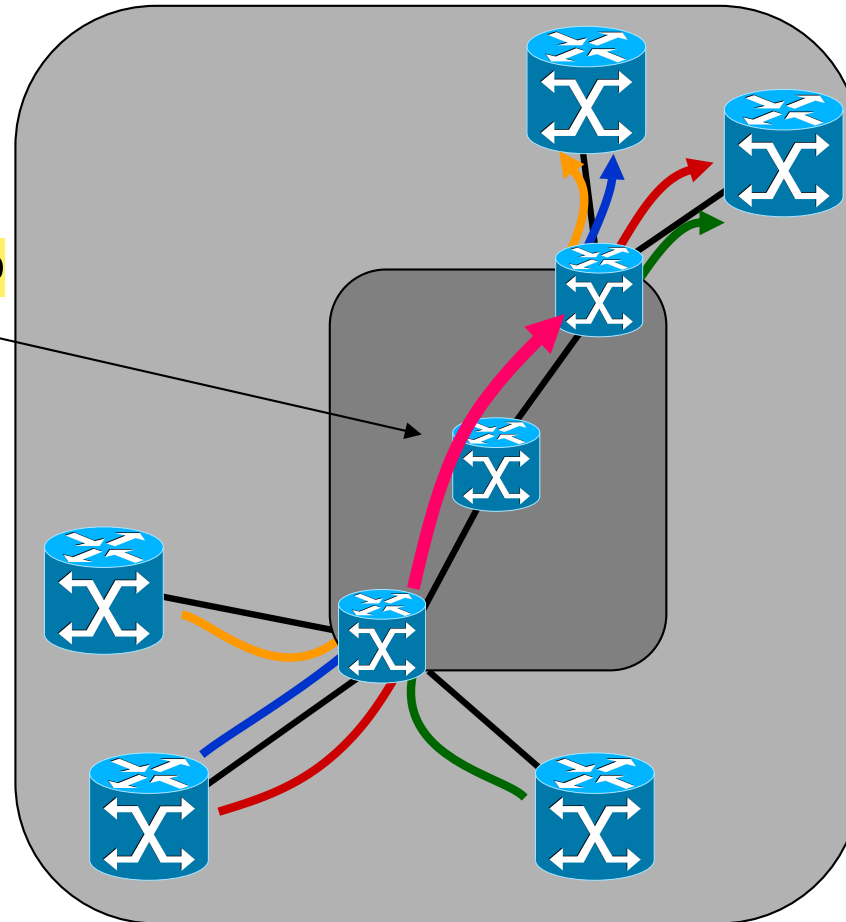


Senza il label stacking, un router dovrebbe gestire tabelle molto grandi per distinguere ogni FEC e associare ogni pacchetto a un percorso specifico.

Label stacking



Tabella di instradamento
più semplice



Il label stacking rende le tabelle di instradamento più semplici perché:

- Riduce il numero di FEC che ogni router deve conoscere.
- Consente un'astrazione gerarchica, dove ogni livello gestisce solo la label a esso associata.
- Diminuisce la complessità delle decisioni di forwarding, migliorando la scalabilità e l'efficienza della rete MPLS.



Gestione delle label nel LSR

- Associa una label ad ogni LSP (label binding)
 - Riconosce i pacchetti che appartengono alla medesima FEC
 - Associa ai pacchetti la label del LSP a cui appartiene la FEC

- Concorda le label con il LSR ^(che invia pacchetti) a monte
 - Il LSR a monte deve etichettare i pacchetti appartenenti all' LSP in modo ^(che riceve pacchetti) che il LSR a valle li riconosca correttamente

Il LSR a monte deve assegnare correttamente le etichette ai pacchetti per l'LSP, garantendo che i router successivi (a valle) possano interpretarli e inoltrarli correttamente. Questa fase prevede una comunicazione per assicurare la compatibilità delle label tra i nodi.

- Calcola il prossimo LSR di un LSP
 - Si basa sugli algoritmi e protocolli di routing tradizionali

- Concordare una label con il LSR ^(che riceve pacchetti) a valle
 - Il LSR a valle deve correttamente riconoscere i pacchetti come appartenenti all' LSP

L'LSR a valle deve riconoscere correttamente i pacchetti basandosi sulla label ricevuta e associarli al corretto LSP.

- La label di ingresso e quella di uscita per un LSP non devono necessariamente essere uguali
 - Mappatura fra label di ingresso e label di uscita

Assegnazione delle label

L'associazione tra una label e una FEC (Forwarding Equivalence Class) o un LSP (Label Switched Path) viene creata dal router che riceve i pacchetti. Questo router (LSR a valle) assegna una label a una determinata FEC/LSP per garantire che i pacchetti appartenenti alla stessa classe vengano instradati correttamente.

- Chi crea l'associazione fra label e FEC/LSP?

- Deve essere garantita l'unicità dell'assegnazione per evitare ambiguità

È fondamentale che ogni label assegnata a una FEC/LSP sia unica

- L'associazione viene fatta *sempre* dal LSR a valle del collegamento

(che riceve pacchetti)

L'LSR a valle (il router che riceve i pacchetti) è responsabile di creare l'associazione tra una FEC/LSP e una label. Questo principio è essenziale per standardizzare l'assegnazione delle label lungo il percorso e garantire coerenza tra i router MPLS.

Le label possono essere assegnate con diverse modalità:

- Dipendentemente dall'implementazione le label possono essere uniche

- per interfaccia

Ogni interfaccia del router può avere un set di label uniche. Ciò significa che le stesse label possono essere riutilizzate su interfacce diverse.

- per LSR

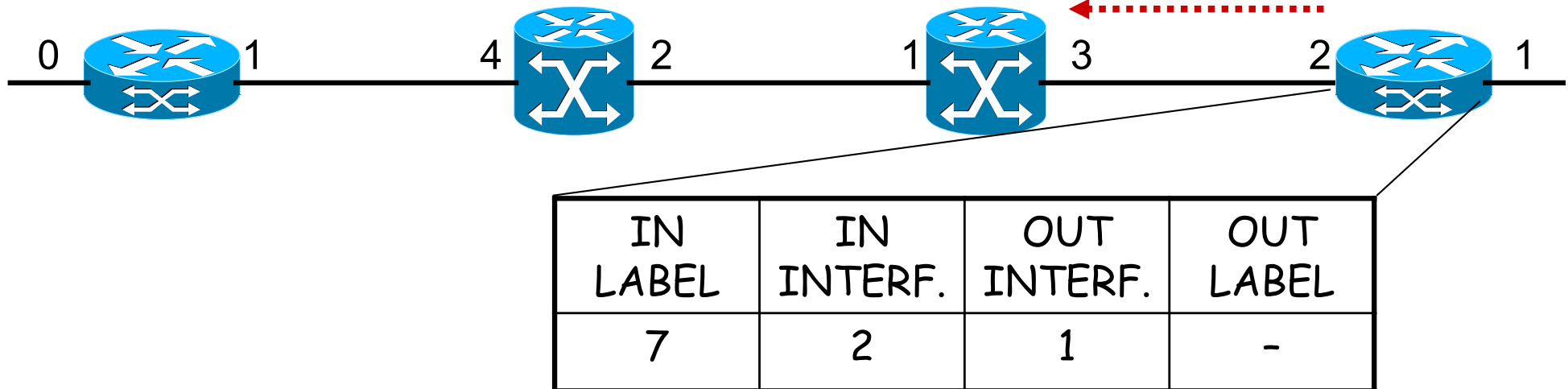
Le label sono globalmente uniche all'interno di un singolo router. In questo caso, una label non può essere duplicata, indipendentemente dall'interfaccia.

LSR a valle: È il router situato più vicino alla destinazione finale del pacchetto nel percorso di instradamento. Una volta effettuata l'associazione da parte del LSR a valle, il LSR a valle comunica questa informazione al LSR a monte, ovvero il router precedente nel percorso. Questo processo garantisce che il LSR a monte utilizzi l'etichetta corretta quando invia pacchetti al LSR a valle.

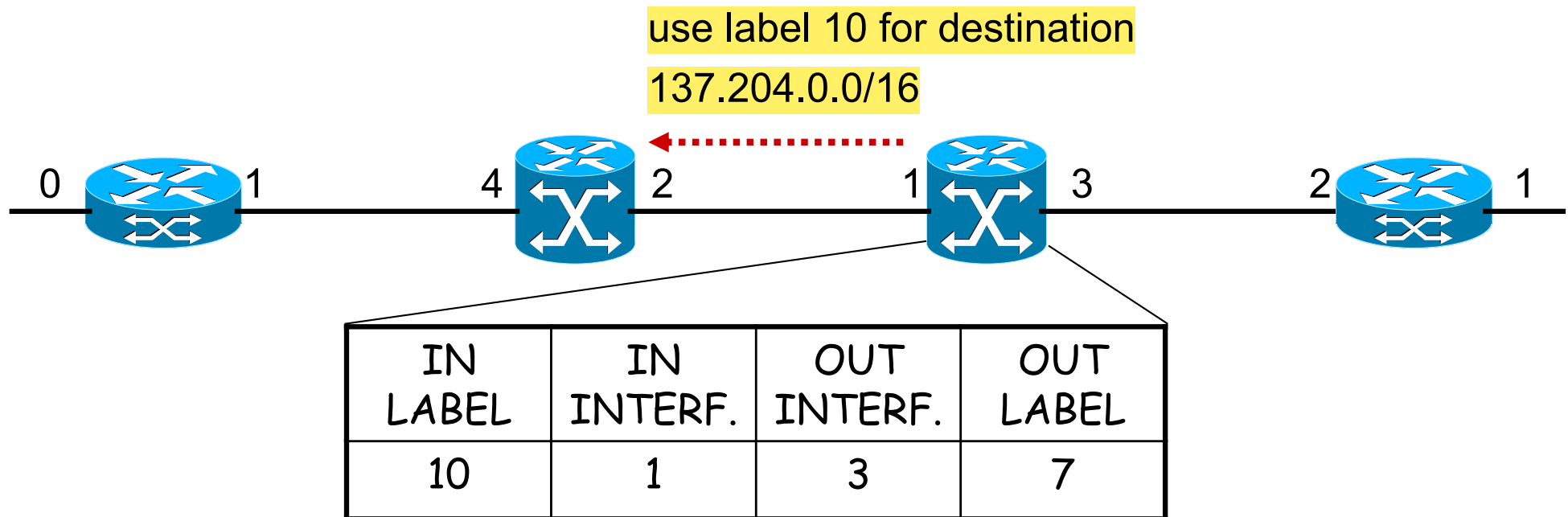
Label allocation



use label 7 for destination
137.204.0.0/16



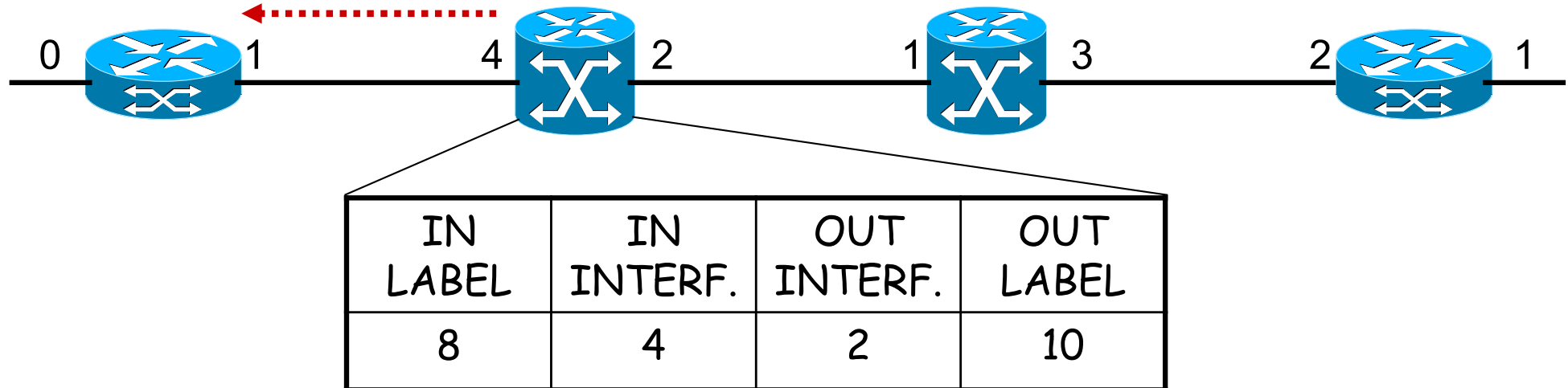
Label allocation



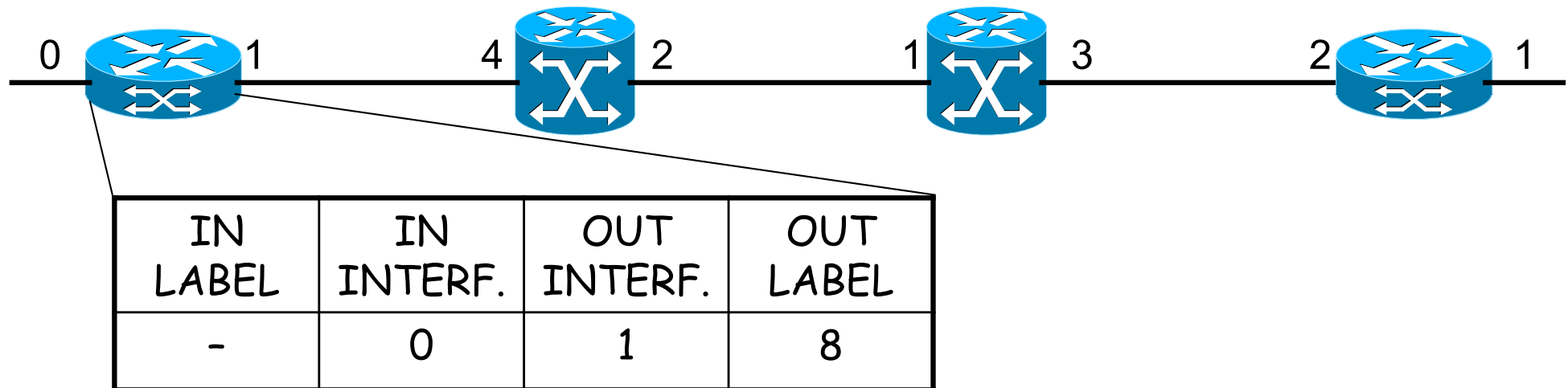
Label allocation

use label 8 for destination

137.204.0.0/16



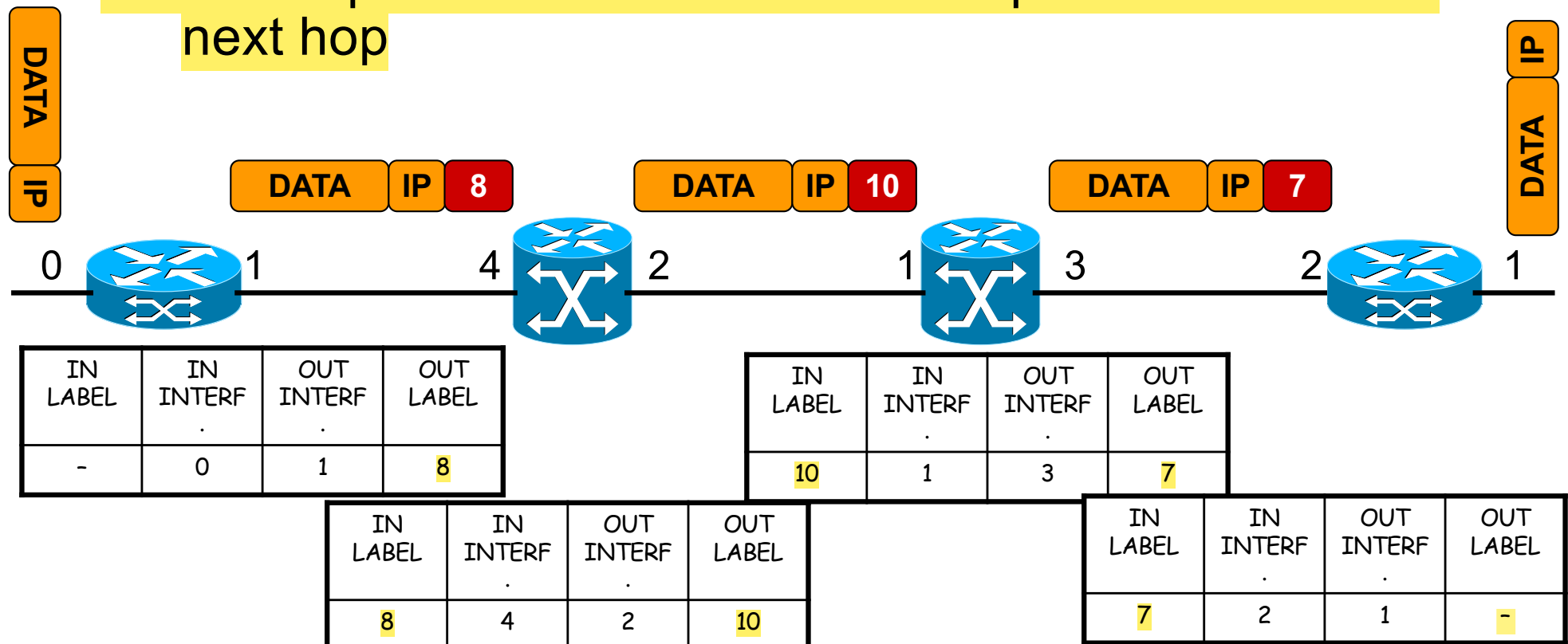
Label allocation



Label swapping

Il Label Swapping è il processo mediante il quale un router LSR (Label Switching Router) riceve un pacchetto, legge la label di ingresso, la sostituisce con una nuova label di uscita, e inoltra il pacchetto verso il prossimo hop.

- IL LSR riceve un datagramma:
 - estrae la sua label di ingresso
 - cerca nella LFIB la entry relativa a quella label
 - sostituisce la label di ingresso con la label di uscita
 - invia il pacchetto sulla interfaccia specificata verso il next hop



Time To Live: TTL

- TTL fa parte dell'intestazione IP ➔

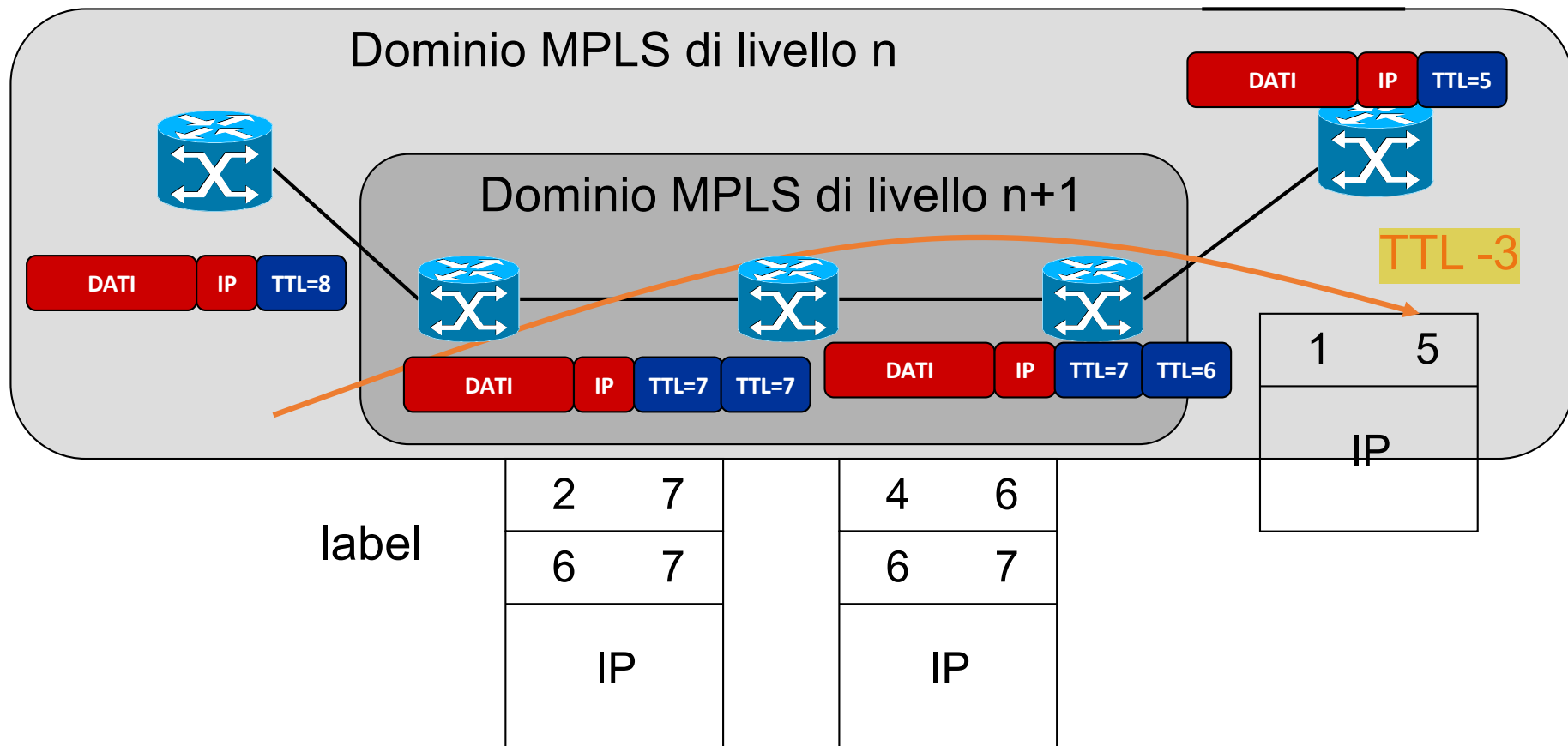
Quando un pacchetto IP entra nella rete MPLS, il suo valore TTL viene copiato nella label MPLS. Questo consente al valore TTL di essere gestito anche all'interno della rete MPLS.

- Quando un datagramma emerge da una rete di trasporto MPLS il campo TTL dovrebbe avere un valore che tiene conto del numero di LSR attraversati

Il valore TTL aggiornato nella label MPLS viene copiato nuovamente nell'intestazione IP. Ciò garantisce che il pacchetto possa continuare il suo viaggio nella rete IP mantenendo il conteggio del numero totale di hop (inclusi quelli nella rete MPLS).

- TTL viene inserito nella label MPLS
 - Ha lo stesso valore del TTL di IP all'ingresso del primo LSR
 - Viene decrementato ad ogni attraversamento di un LSR
 - Viene copiato nell'intestazione IP al momento di ritornare ad un normale router

Esempio





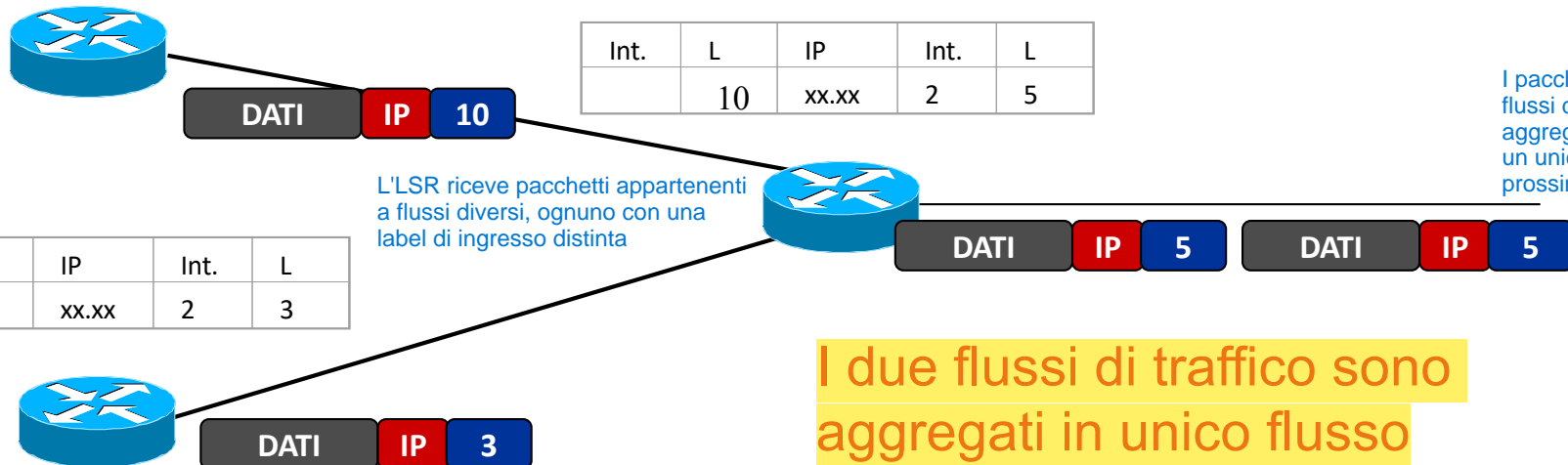
Aggregazione (label merging)

- Se l'allocazione della label non dipende dall'interfaccia nel caso di unsolicited allocation:
 - Può accadere che due o più flussi di traffico siano aggregati in un unico flusso a valle di un certo LSR

L'immagine mostra un esempio di aggregazione delle label (label merging), dove la unsolicited allocation permette di unificare più flussi di traffico.

Int.	L	IP	Int.	L
1	3	xx.xx	3	10

Int.	L	IP	Int.	L
2	6	xx.xx	2	3



L'aggregazione delle label si verifica quando:

- Due o più flussi di traffico, ognuno identificato da una label distinta, vengono aggregati in un unico flusso con una sola label di uscita.
- Questo processo avviene quando l'assegnazione della label non dipende dall'interfaccia di ingresso, nel caso di una configurazione di unsolicited allocation.

I due flussi di traffico sono aggregati in unico flusso

La LFIB (Label Forwarding Information Base) associa le label di ingresso a una singola label di uscita comune per i due flussi.