



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

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 aggiuntionali
 - packet filtering, QoS etc.
 - Supporta interfacce (piano dati) e protocolli (piano di controllo) di tipo diverso
- Switch
 - Instradamento semplice in funzione di indirizzi statici
 - Funzionalità limitate all' instradamento delle trame
 - Supporto per un numero limitato di interfacce e di protocolli
- *Considerando il traffico smaltito il rapporto costo/prestazioni in uno switch è migliore che in un router*



Obiettivi

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



Label Switching: obiettivo

- Scomposizione della funzione di instradamento in due componenti:
 - controllo
 - trasferimento
- 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



Principali vantaggi

- Mantenimento dei protocolli di routing IP standard (OSPF, BGP)
 - disponibilità
 - scalabilità
 - flessibilità
- Trasferimento veloce dei pacchetti
 - Possibilità di utilizzo di hardware sviluppati per altre tecniche di commutazione veloce (come ATM) per lo switch

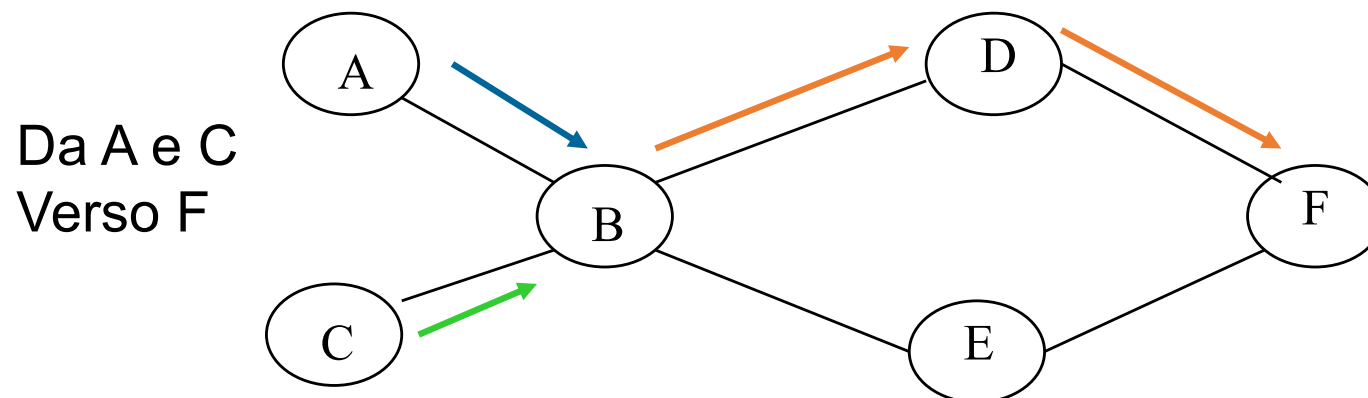


Label switching: modo di trasferimento

- Si adotta un modo di trasferimento con commutazione orientata alla connessione
- La commutazione si basa sul riconoscimento di un'etichetta (label) associata al datagramma
 - È un'entità breve e di lunghezza fissa
 - Non codifica gli indirizzi di rete
- La label è trasportata dal pacchetto
 - usando parte della intestazione di livello 2 (come in ATM)
 - inserendola tra l'intestazione dello strato di linea e l'intestazione dello strato di rete

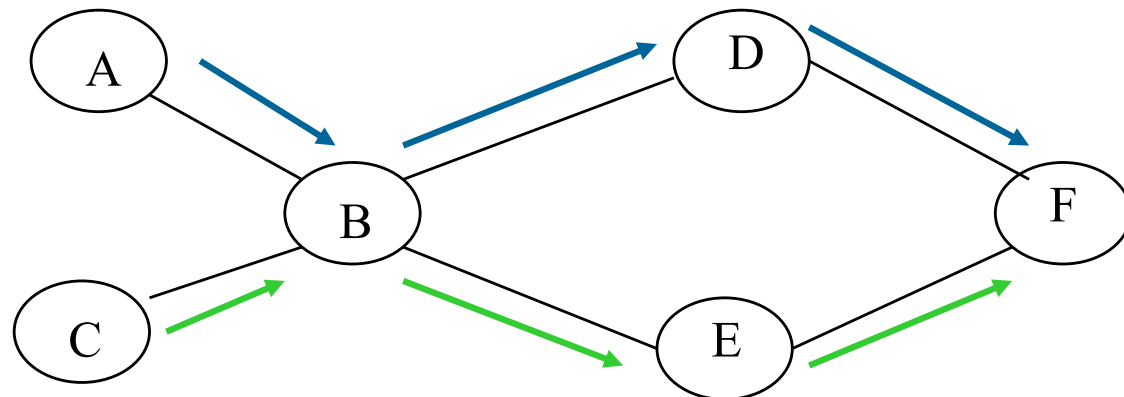
Routing classico

- 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



Ingegneria del traffico

- Utilizzando indicazioni esplicite è possibile ripartire i flussi di traffico su diversi percorsi
- E' possibile avere percorsi alternativi già pronti da utilizzare in caso di guasto
- Si parla in questo caso di ingegneria del traffico nella rete di trasporto
- Non è facile implementare questi principi con IP classico

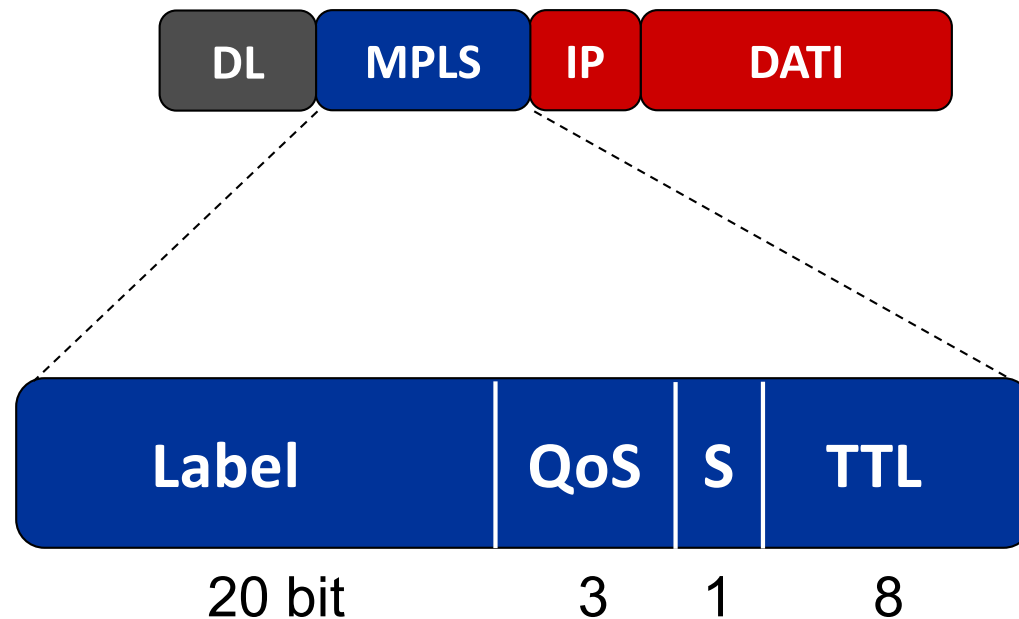


MPLS

- 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: 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
- **Exp**: 3 bit riservati per uso sperimentale
- **S**: usato per **label stacking** in reti MPLS gerarchiche
 - Se non ci sono ulteriori etichette
 - S = 1
 - Altrimenti
 - S = 0
- **TTL**: è il tempo di vita del pacchetto



Flusso di pacchetti

- 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.)

Forwarding Equivalence Classes (FEC)



- Insiemi disgiunti su cui vengono suddivisi i flussi di pacchetti in base a
 - Destinazione
 - Classe di traffico
- Next hop
 - 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



Nomenclatura

- Label-switching router (LSR)
 - Un router che supporta MPLS
- Label Edge Router (LER)
 - Router di interlavoro tra la rete esterna e il dominio MPLS
- Dominio MPLS
 - Gruppo di LSR interconnessi
- Il percorso attraverso uno o piu' LSR seguito dai pacchetti appartenenti ad una FEC si chiama Label-switched path (LSP)
- Binding
 - Associazione tra FEC e label
- Next hop
 - Nodo a valle del nodo corrente



Label Switch Router - LSR

- Un router capace di label switching viene detto label switch router o LSR
- Ciascun LSR mantiene una tabella di instradamento detta Label Forwarding Information Base (LFIB)
- 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
 - nuova label da associare a quel datagramma



Label Edge Router - LER

- Attribuisce ai pacchetti entranti dominio MPLS la label
- Toglie la label ai pacchetti uscenti
- 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



Label e FEC

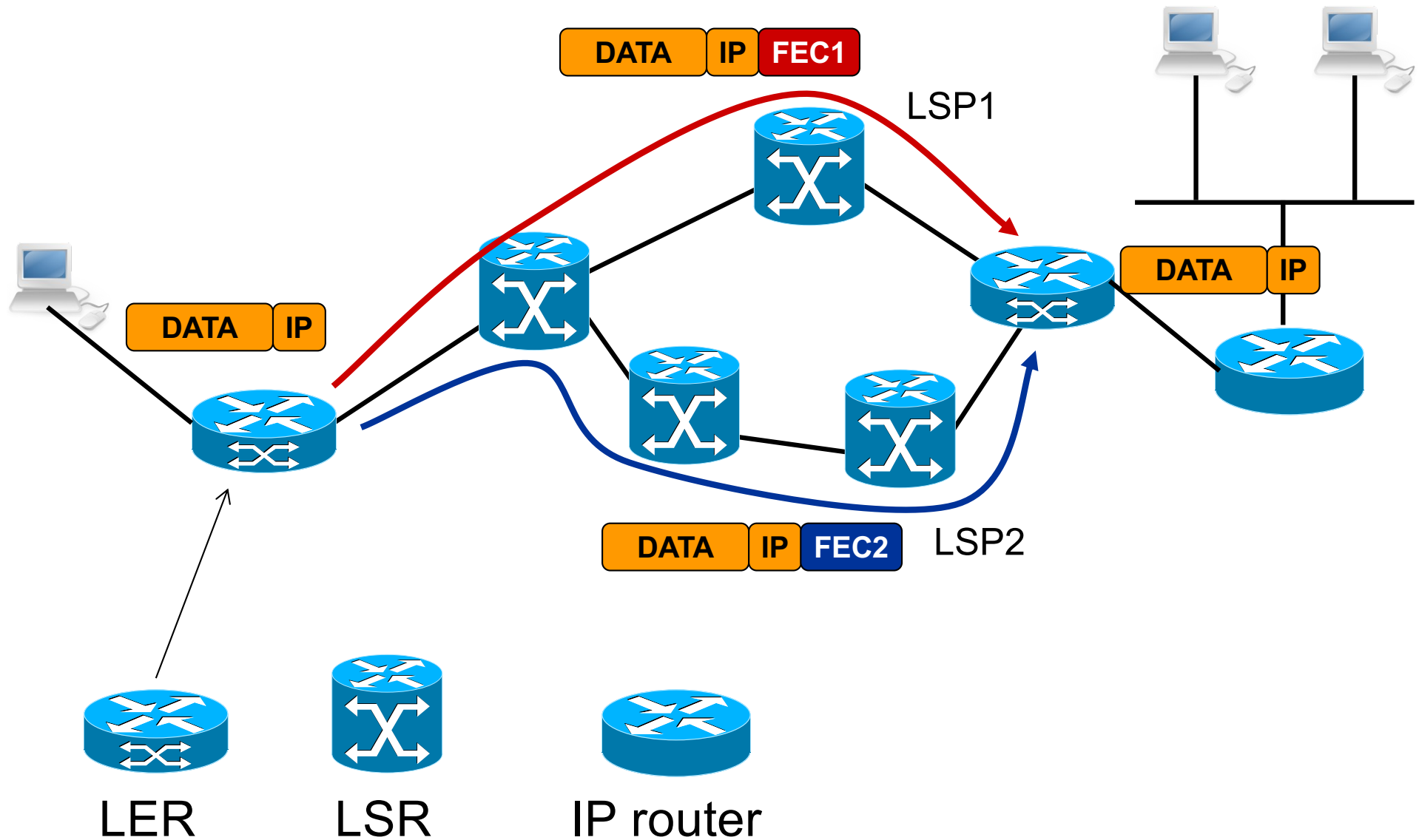
- In una rete tradizionale si deve valutare in ogni router la FEC di appartenenza di un pacchetto
 - Longest prefix match e scelta del next hop
- Sarebbe preferibile poter instradare i pacchetti senza valutare la FEC ad ogni hop
 - Si associa alla FEC una label all'ingresso del dominio MPLS nel LER
 - Tutti i LSR del dominio MPLS instradano i pacchetti identificati dalla stessa label nella medesima direzione



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
 - Prende una decisione d'instradamento sulla base di una label di livello gerarchico $< m$
 - Prende la decisione di instradamento in modo IP convenzionale senza utilizzare le label

Label switching

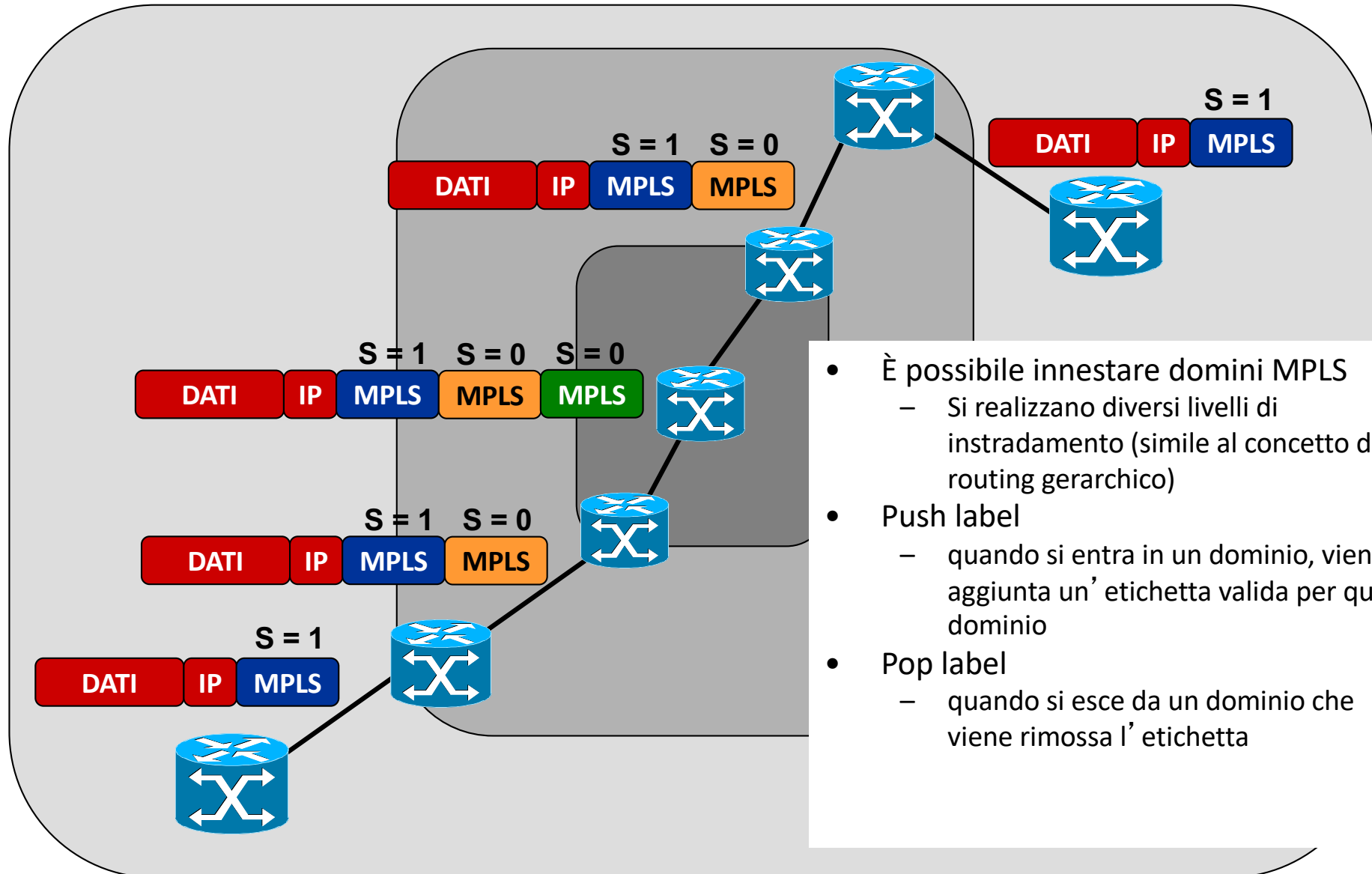




Cosa c'è di nuovo nel label switching

- Algoritmo di forwarding
 - Cambia da longest prefix match ad exact match
- 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
- Quindi:
 - Apparati 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

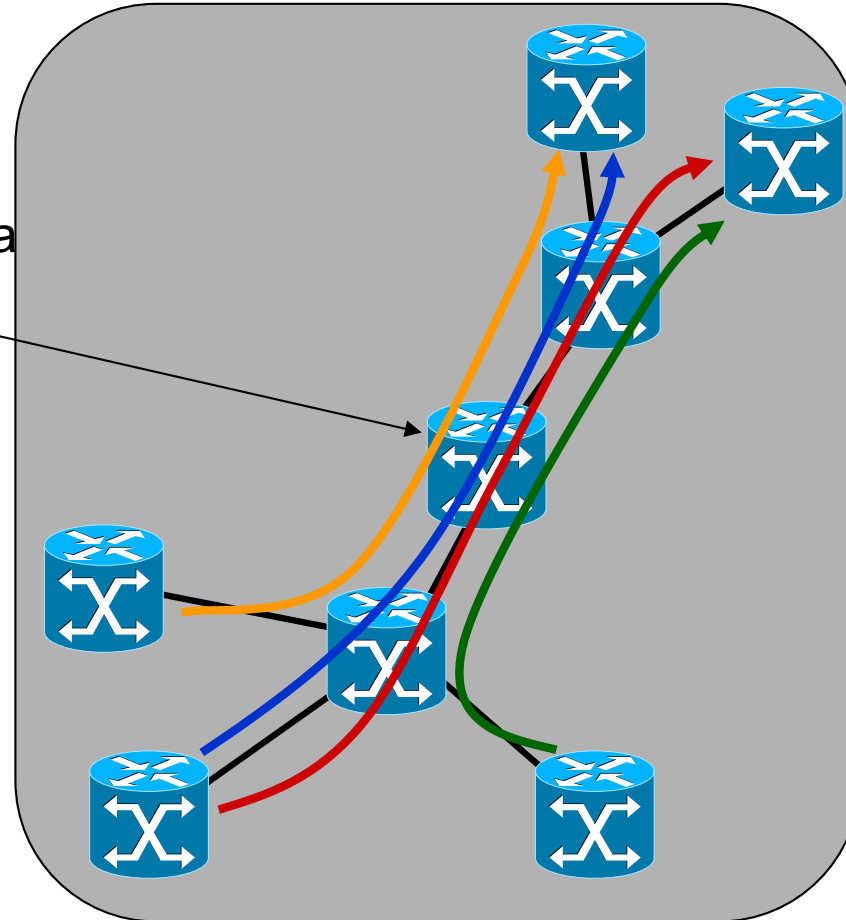
MPLS: label stacking



- È possibile innestare domini MPLS
 - Si realizzano diversi livelli di instradamento (simile al concetto di routing gerarchico)
- Push label
 - quando si entra in un dominio, viene aggiunta un' etichetta valida per quel dominio
- Pop label
 - quando si esce da un dominio che viene rimossa l' etichetta

Label stacking

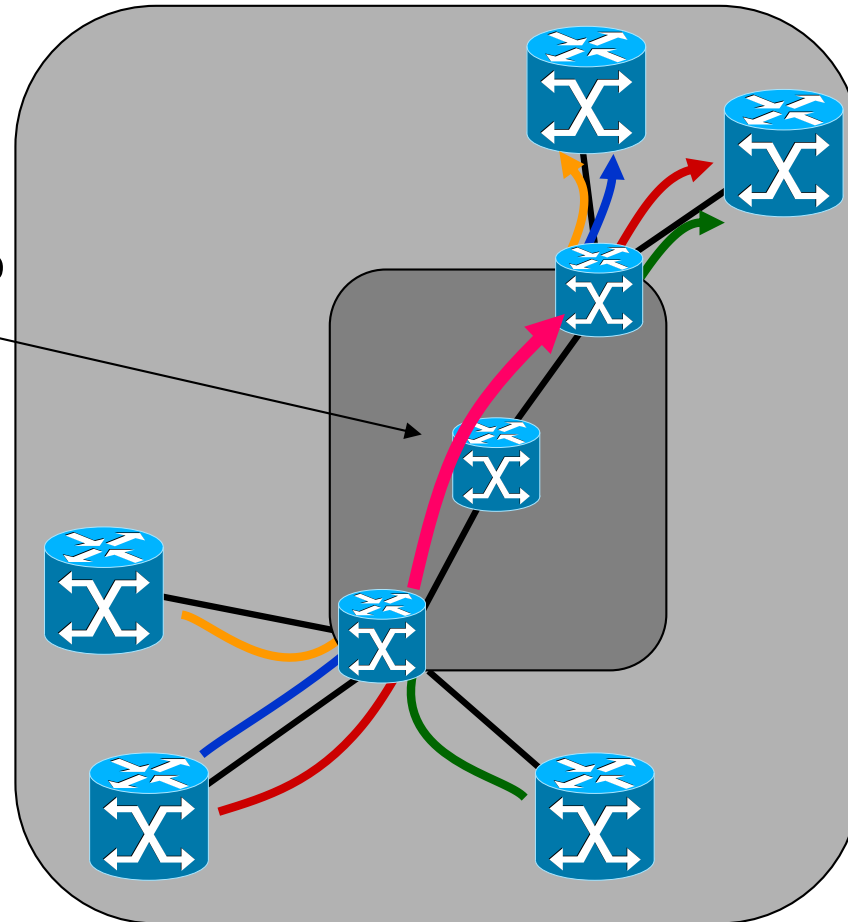
Deve avere in memoria
tutte le FEC



Label stacking



Tabella di instramento
più semplicer





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 a monte
 - Il LSR a monte deve etichettare i pacchetti appartenenti all' LSP in modo che il LSR a valle li riconosca correttamente
- Calcola il prossimo LSR di un LSP
 - Si basa sugli algoritmi e protocolli di routing tradizionali
- Concordare una label con il LSR a valle
 - Il LSR a valle deve correttamente riconoscere i pacchetti come appartenenti all' 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

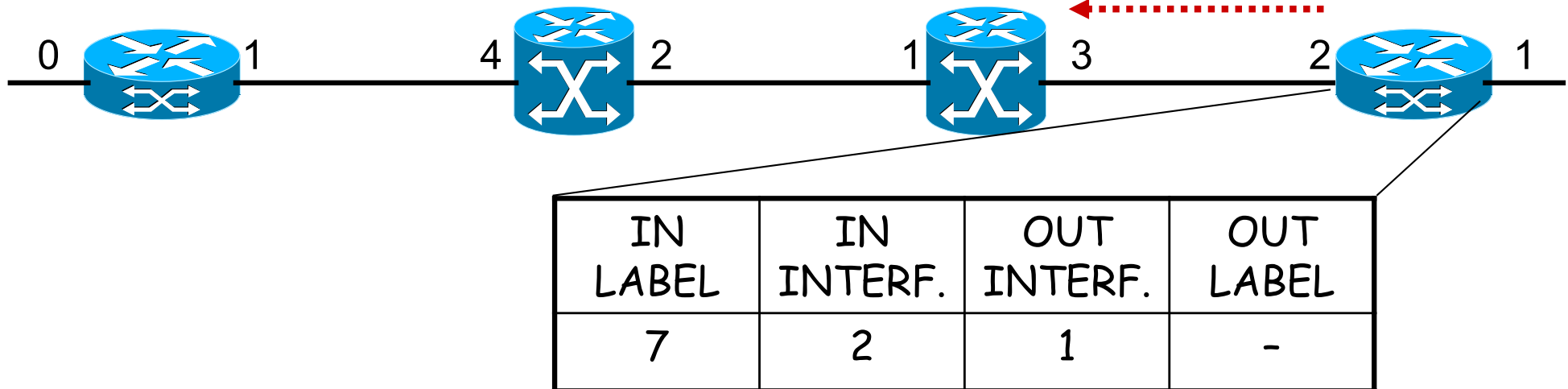


Assegnazione delle label

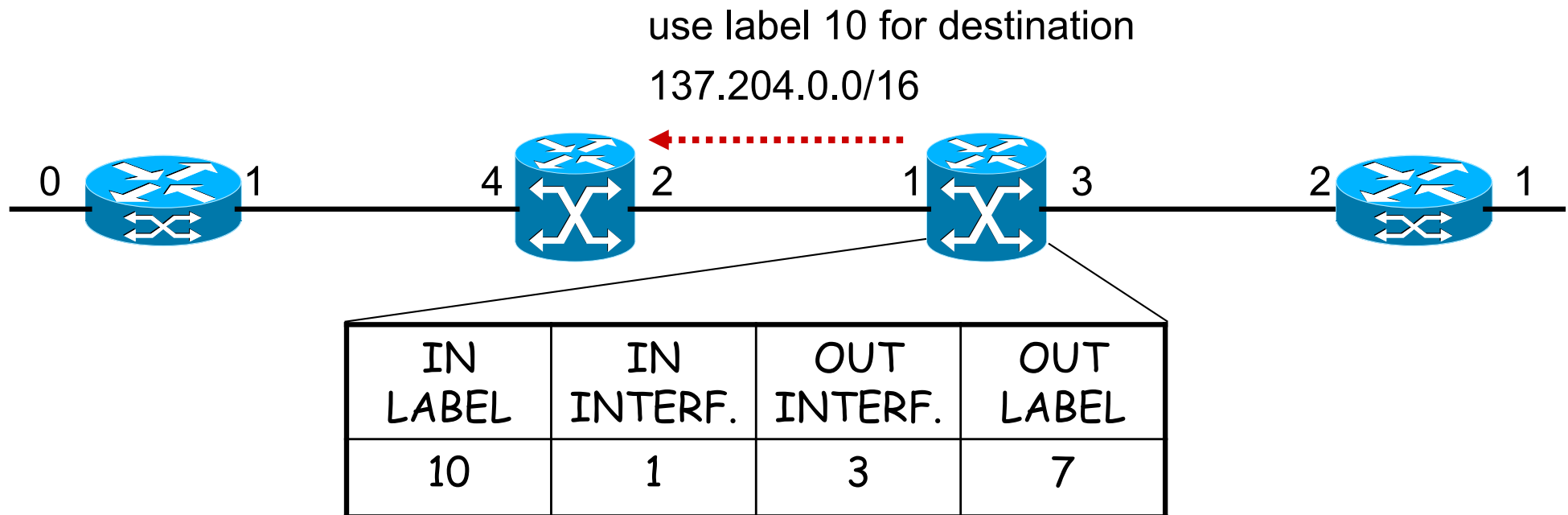
- Chi crea l'associazione fra label e FEC/LSP?
- Deve essere garantita l'unicità dell'assegnazione per evitare ambiguità
- L'associazione viene fatta *sempre* dal LSR a valle del collegamento
- Dipendentemente dall'implementazione le label possono essere uniche
 - per interfaccia
 - per LSR

Label allocation

use label 7 for destination
137.204.0.0/16

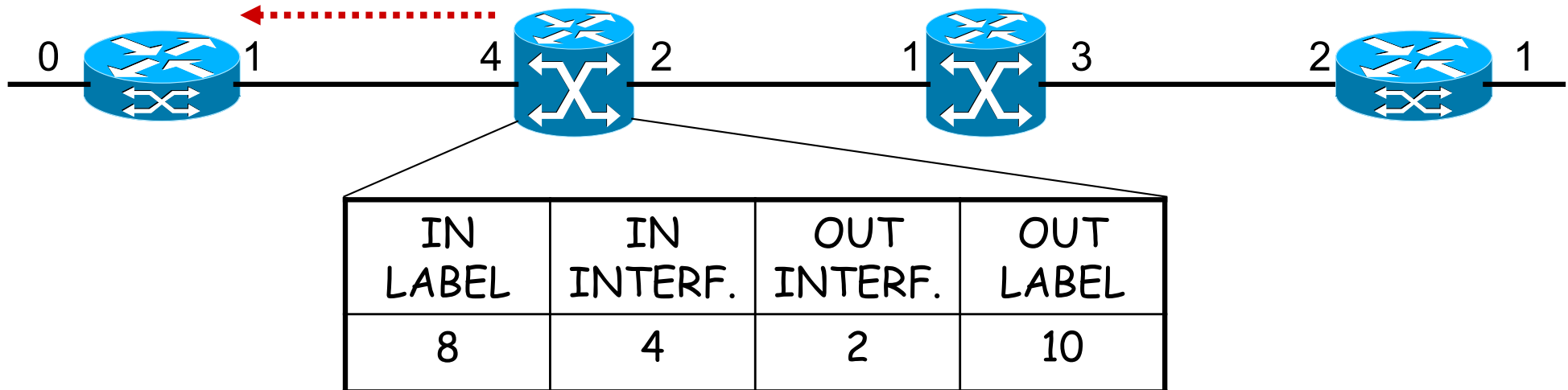


Label allocation

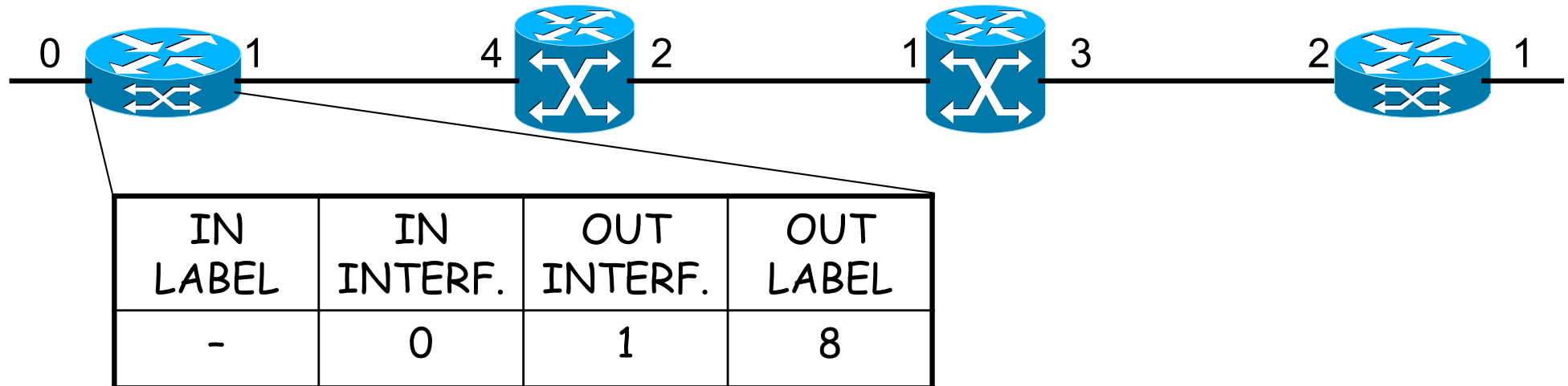


Label allocation

use label 8 for destination
137.204.0.0/16

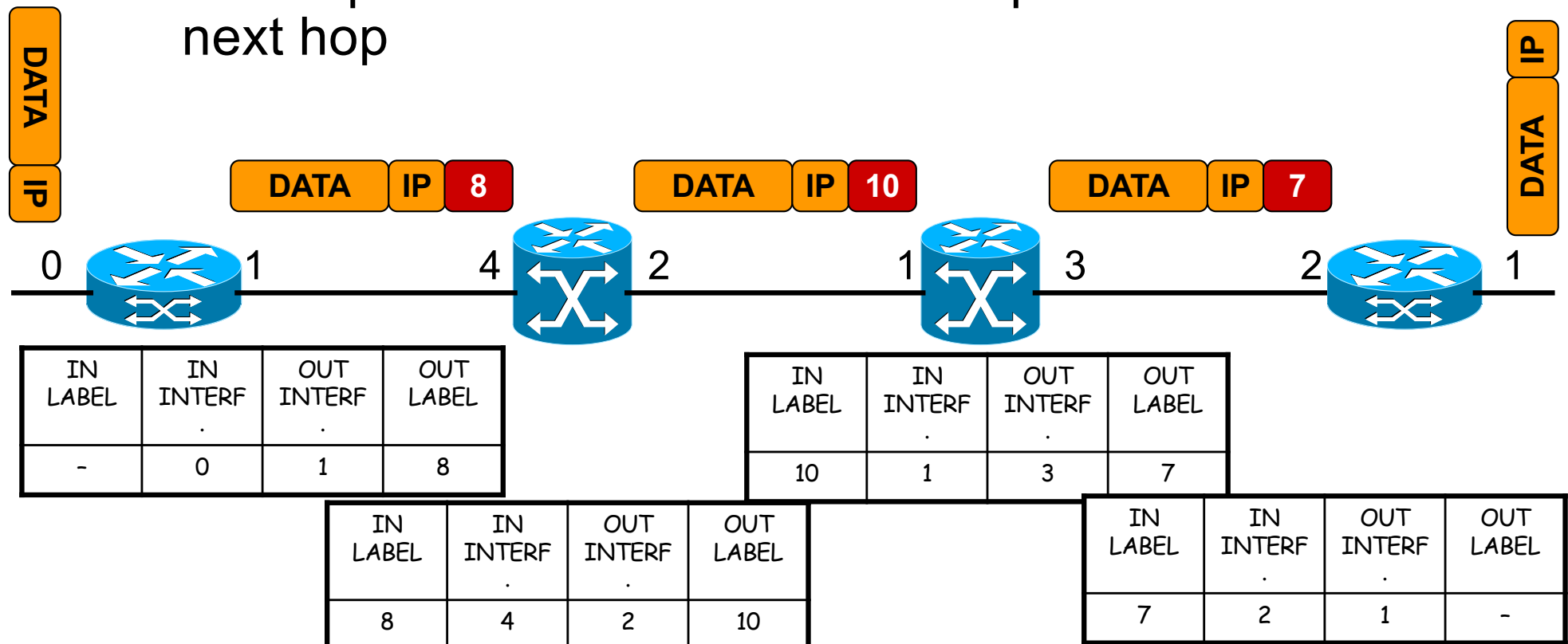


Label allocation



Label swapping

- IL 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

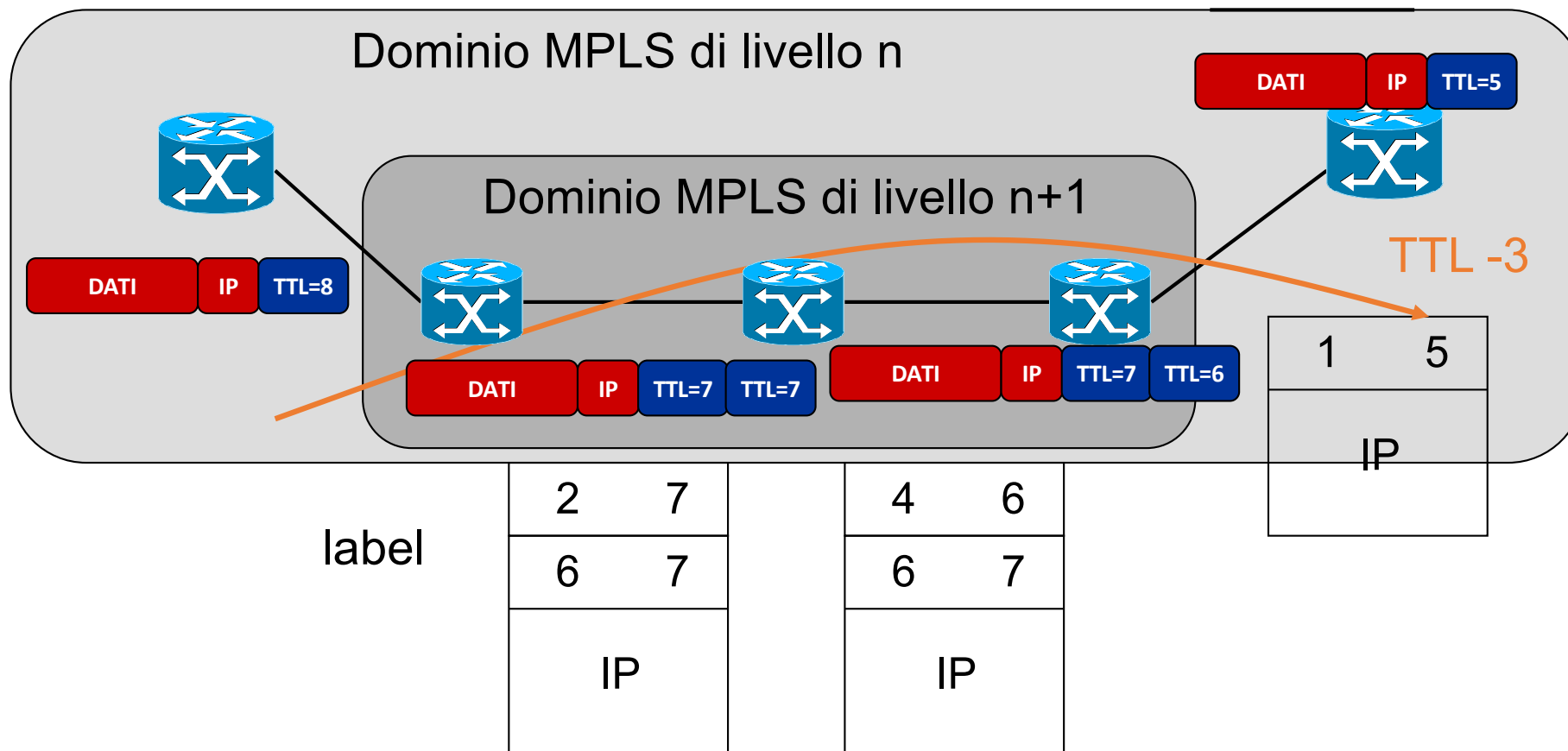




Time To Live: TTL

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

