



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 addizionali
 - 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

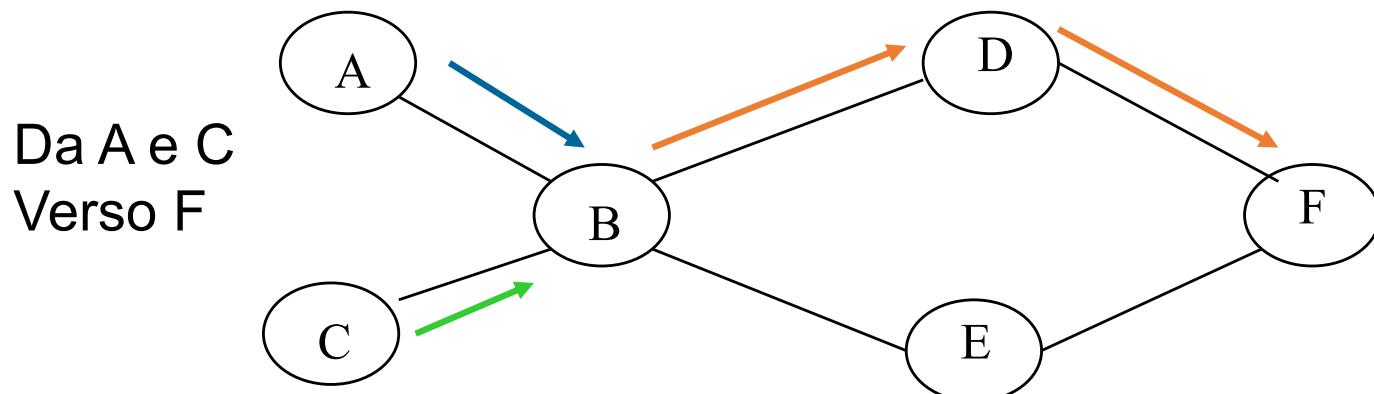


Label switching: modo di trasferimento

- 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

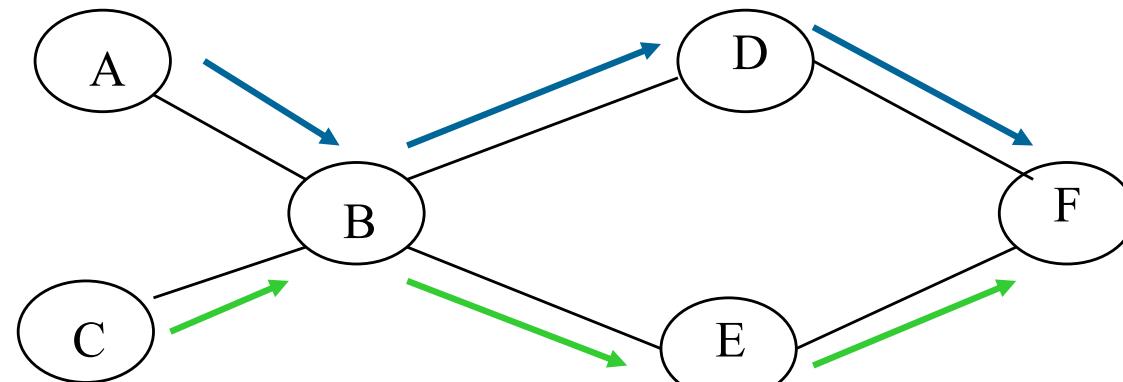
- Nei router IP convenzionali la decisione di instradamento è presa solo sulla base dell' indirizzo IP
- Con routing convenzionale tutti i pacchetti verso una certa destinazione seguono lo stesso percorso
 - Il percorso è quello riconosciuto di lunghezza minima dall' algoritmo di routing





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





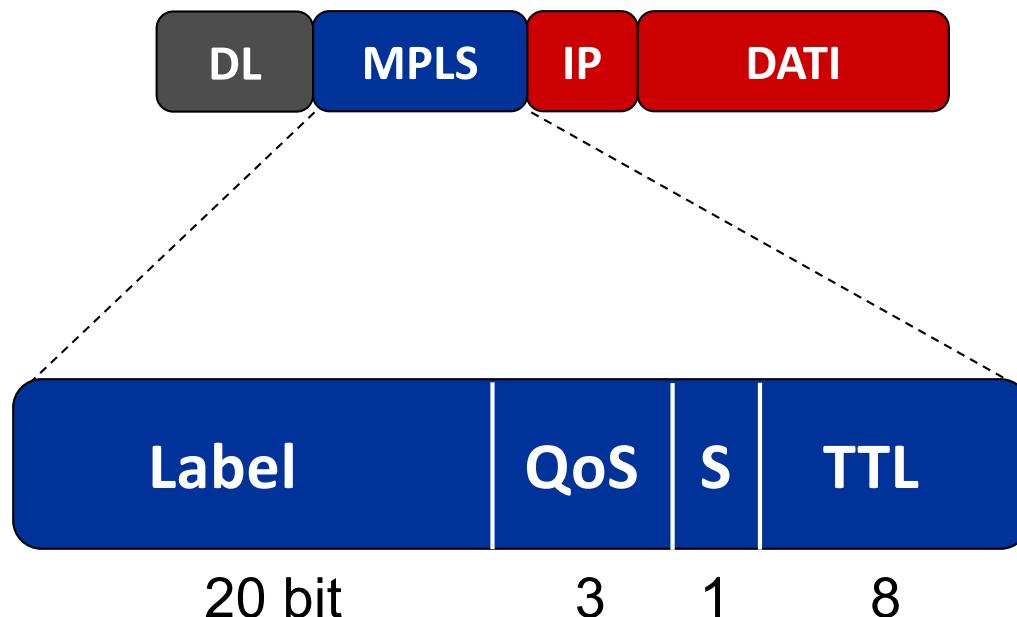
MPLS

- 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-swicthed 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

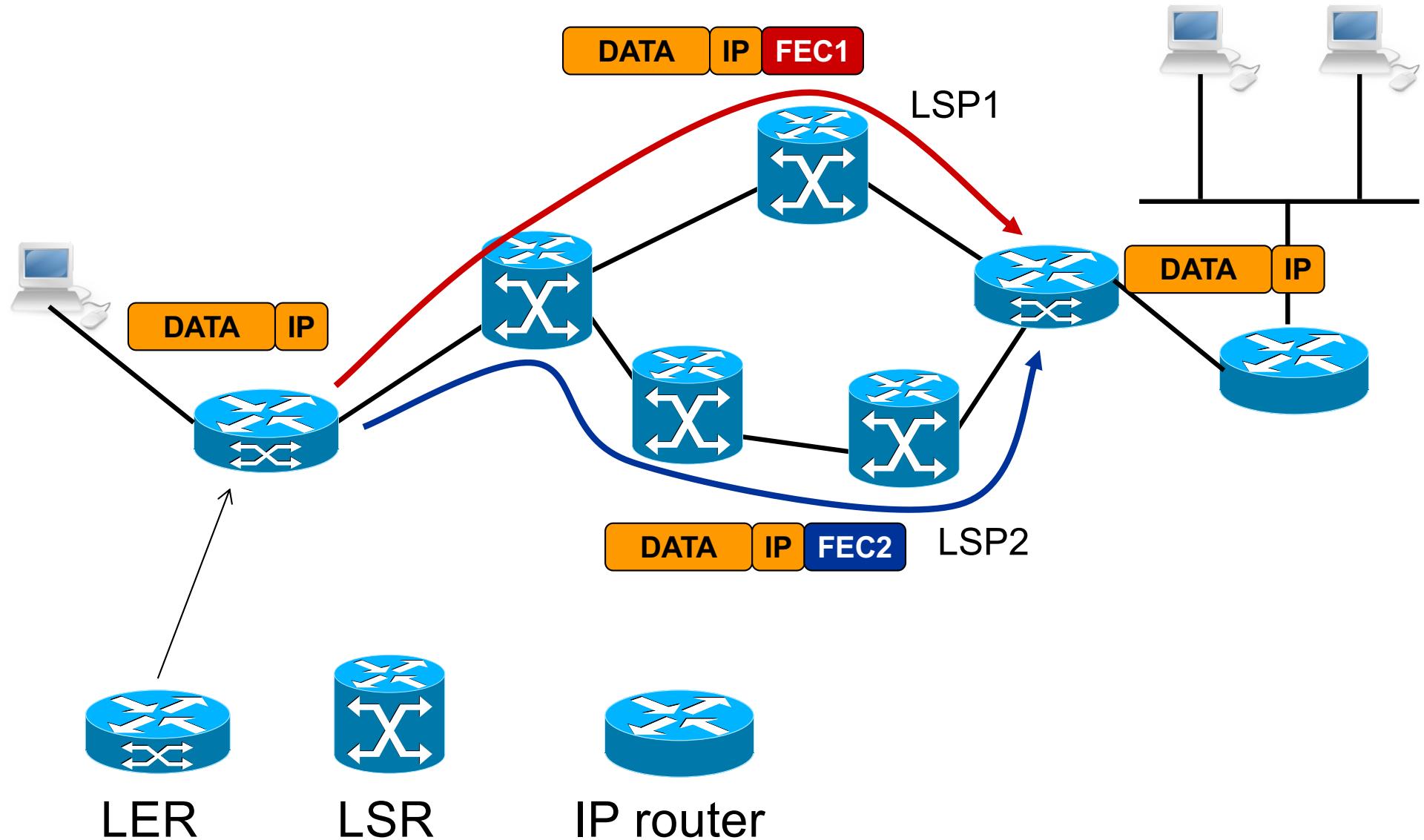


Label Switched Path - LSP

- 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

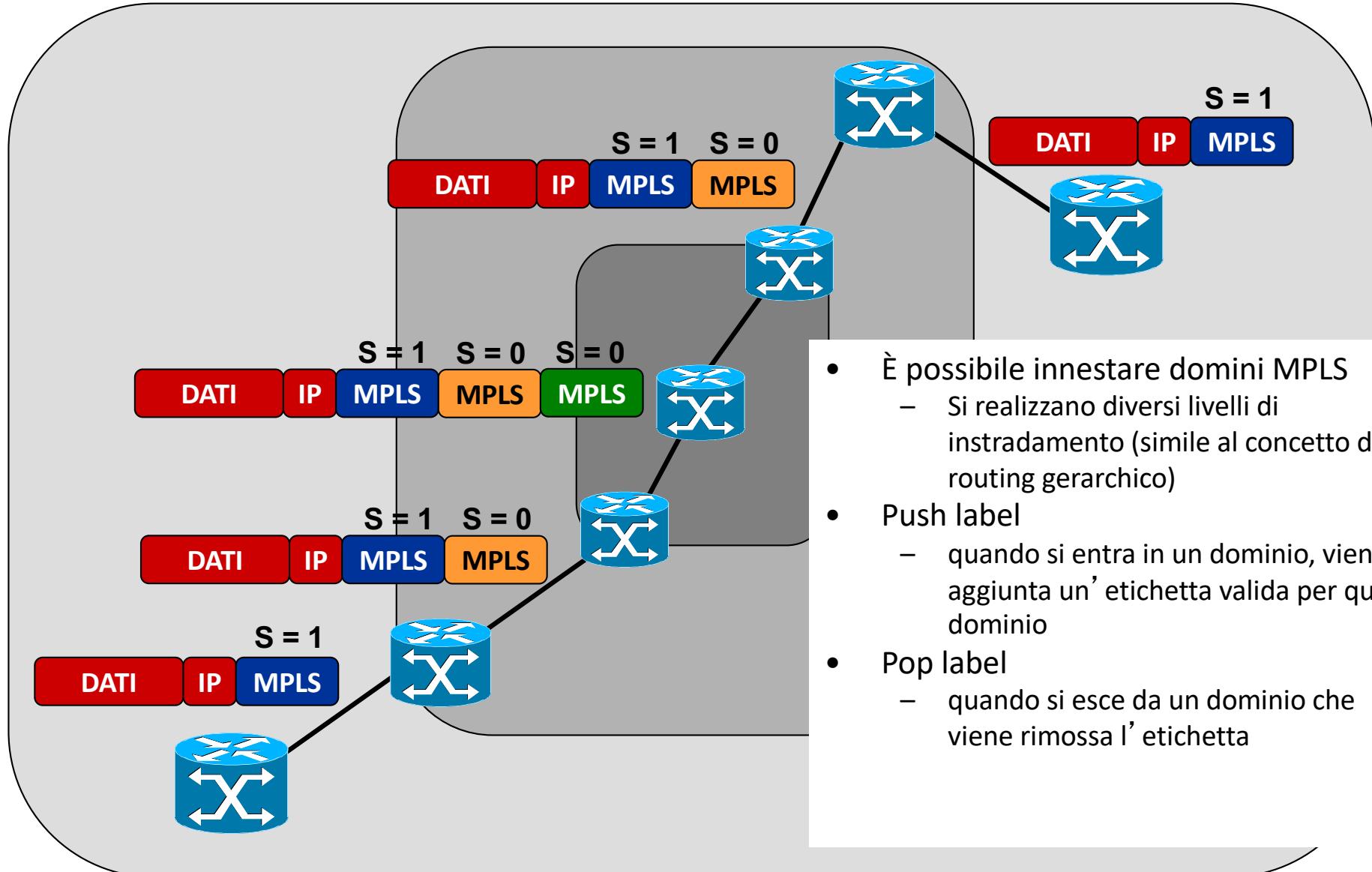




Cosa c'è di nuovo nel label switching

- 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

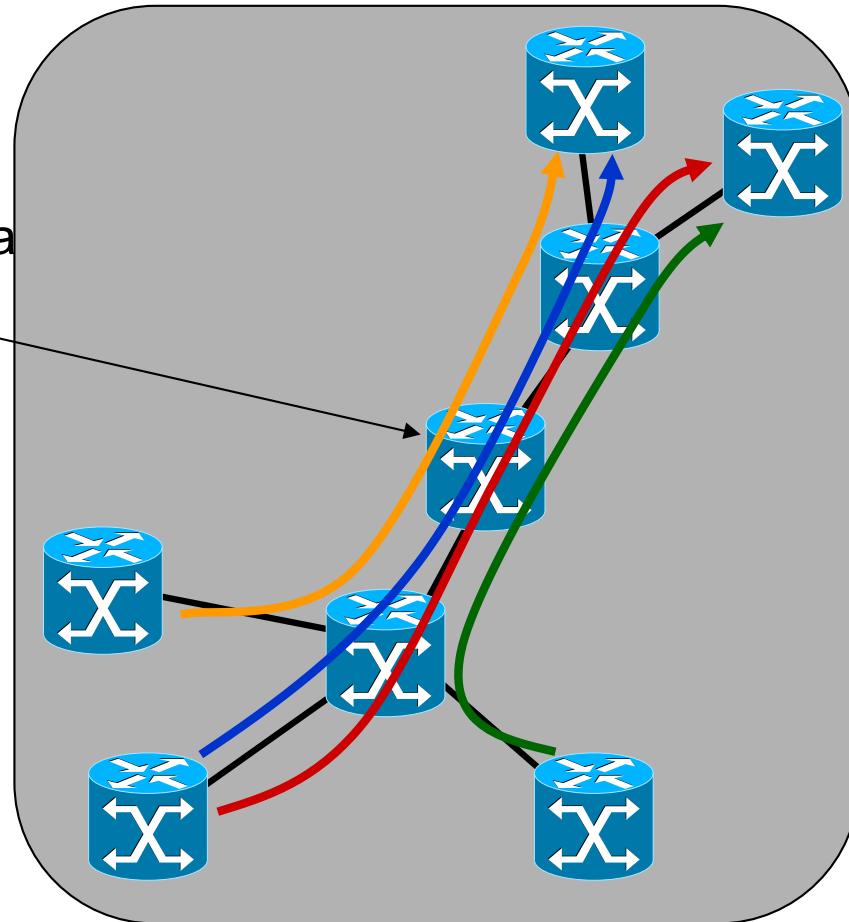
MPLS: label stacking





Label stacking

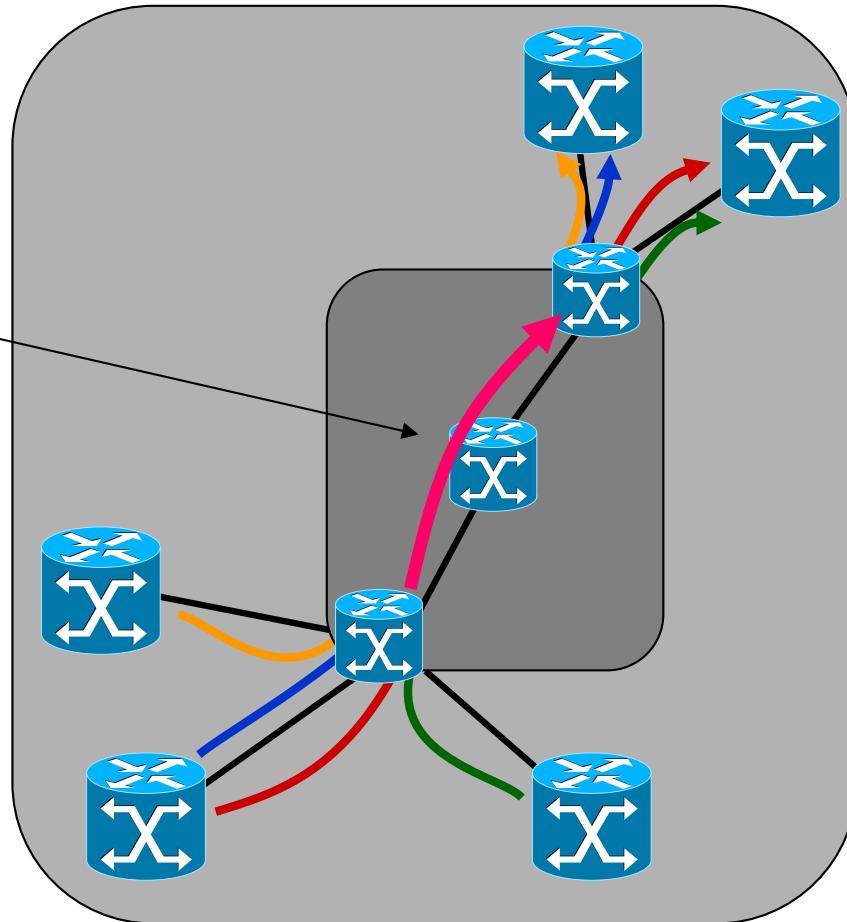
Deve avere in memoria
tutte le FEC





Label stacking

Tabella di strumento
più semplice





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

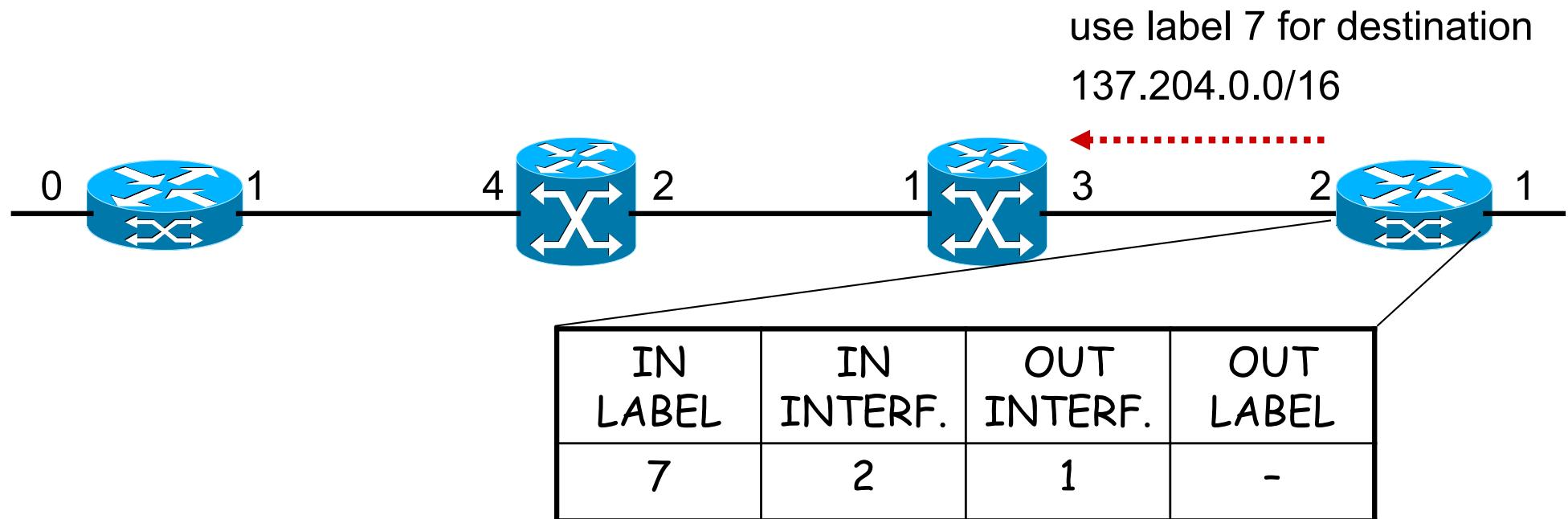


Assegnazione delle label

- 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

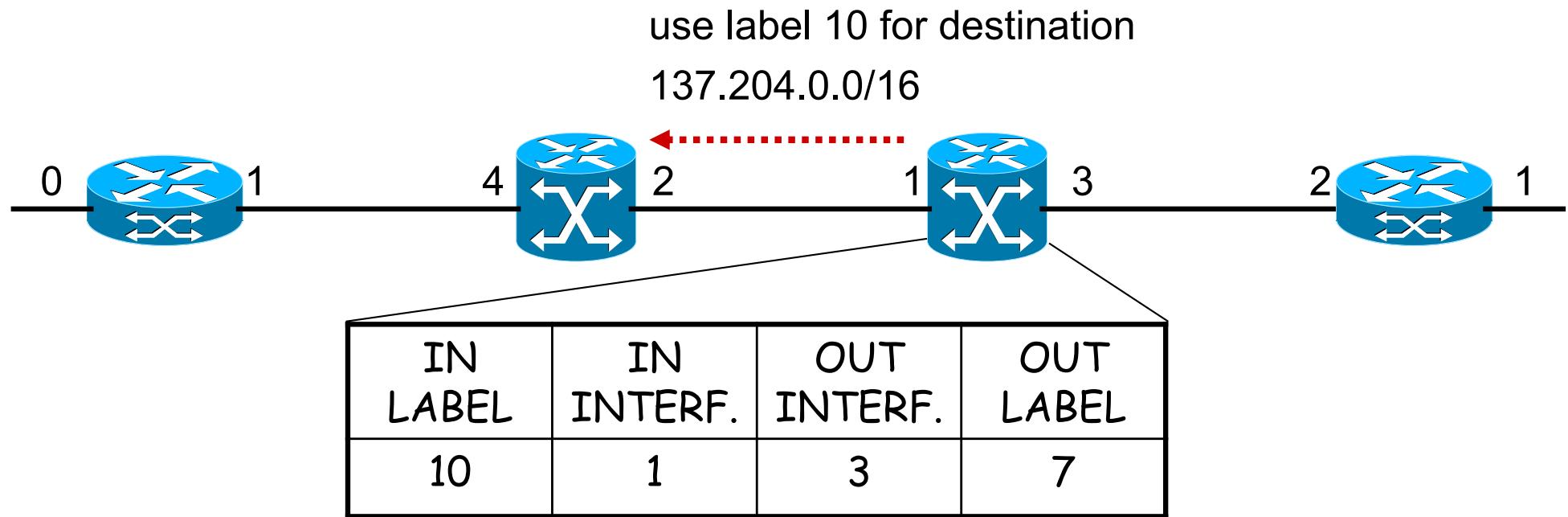


Label allocation





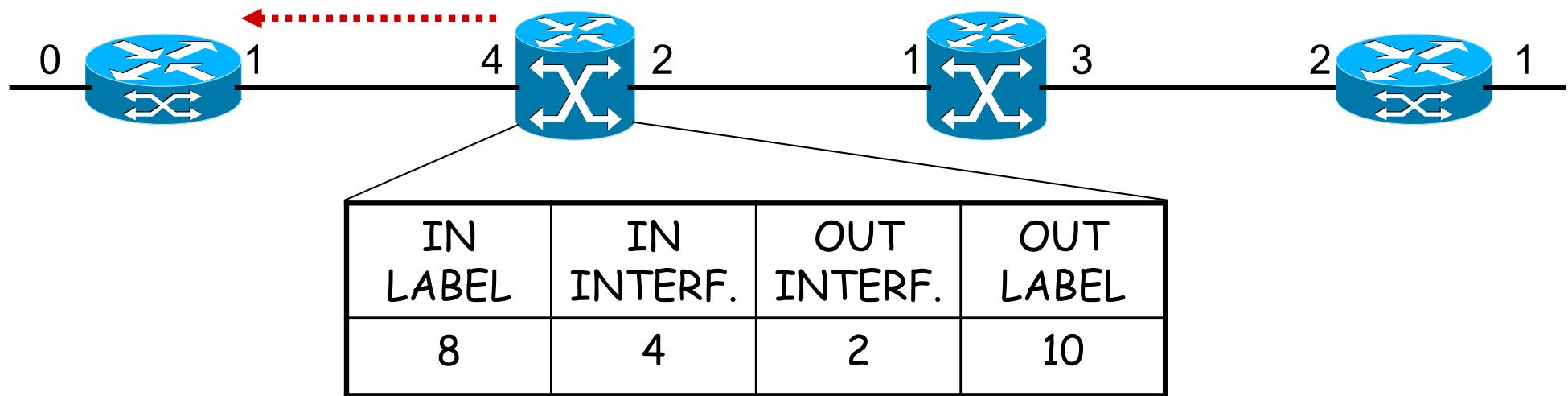
Label allocation





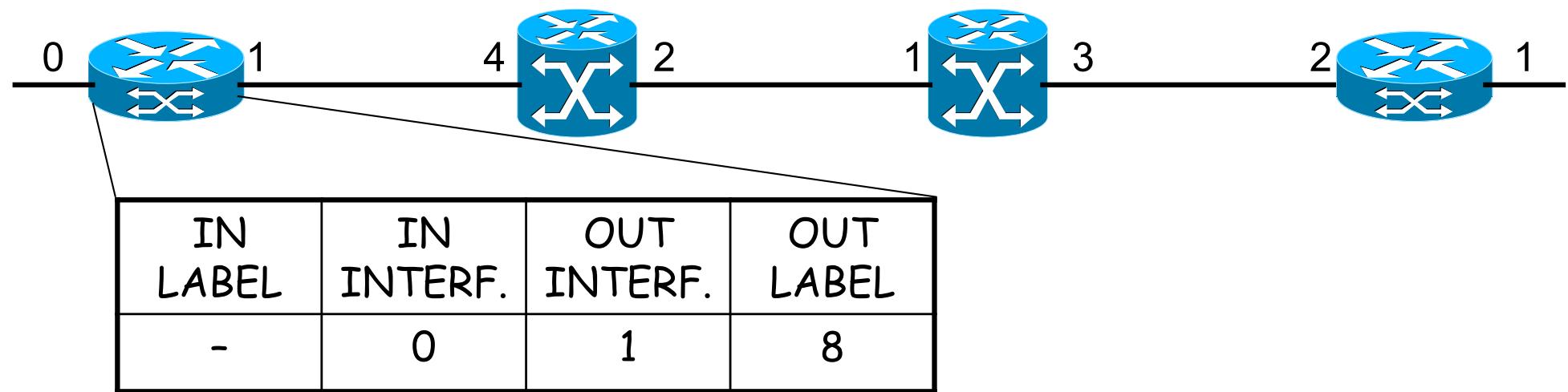
Label allocation

use label 8 for destination
137.204.0.0/16





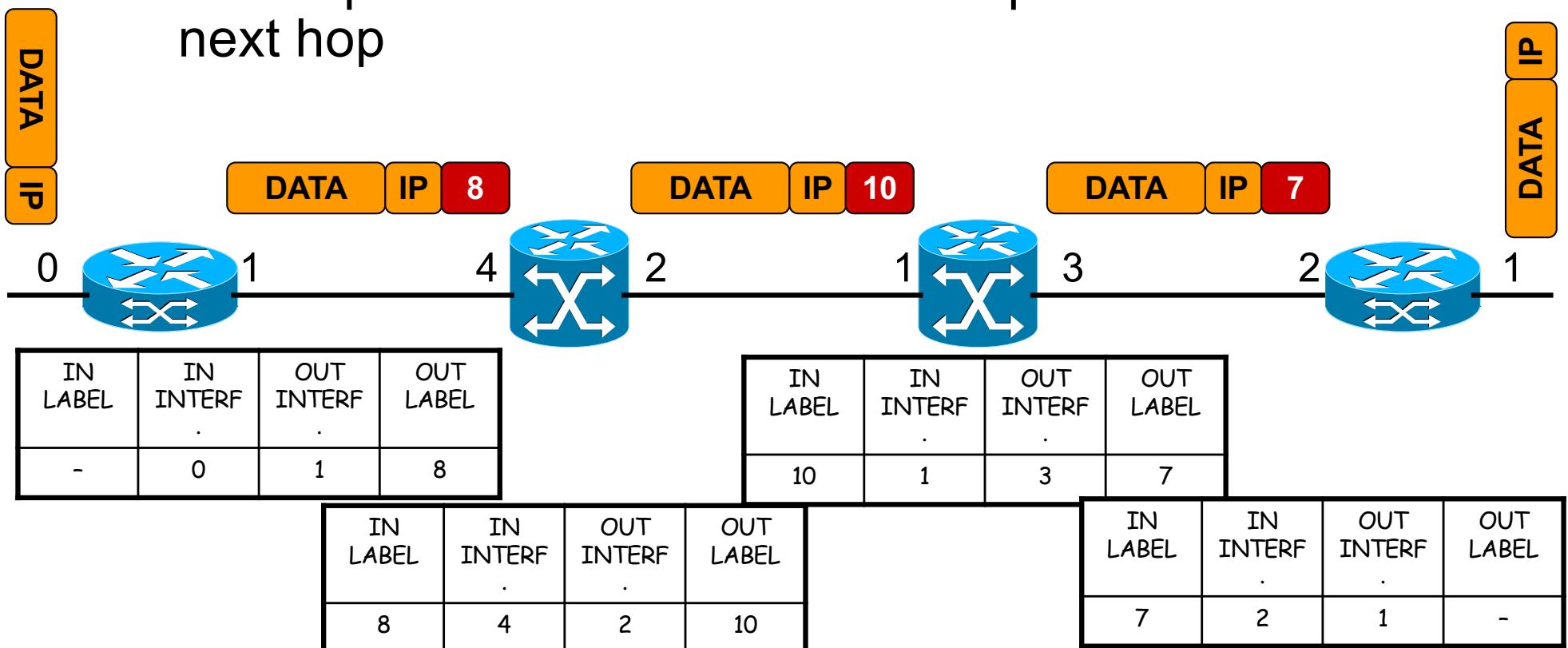
Label allocation





Label swapping

- IL LSR riceve un datagramma:
 - estraе 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



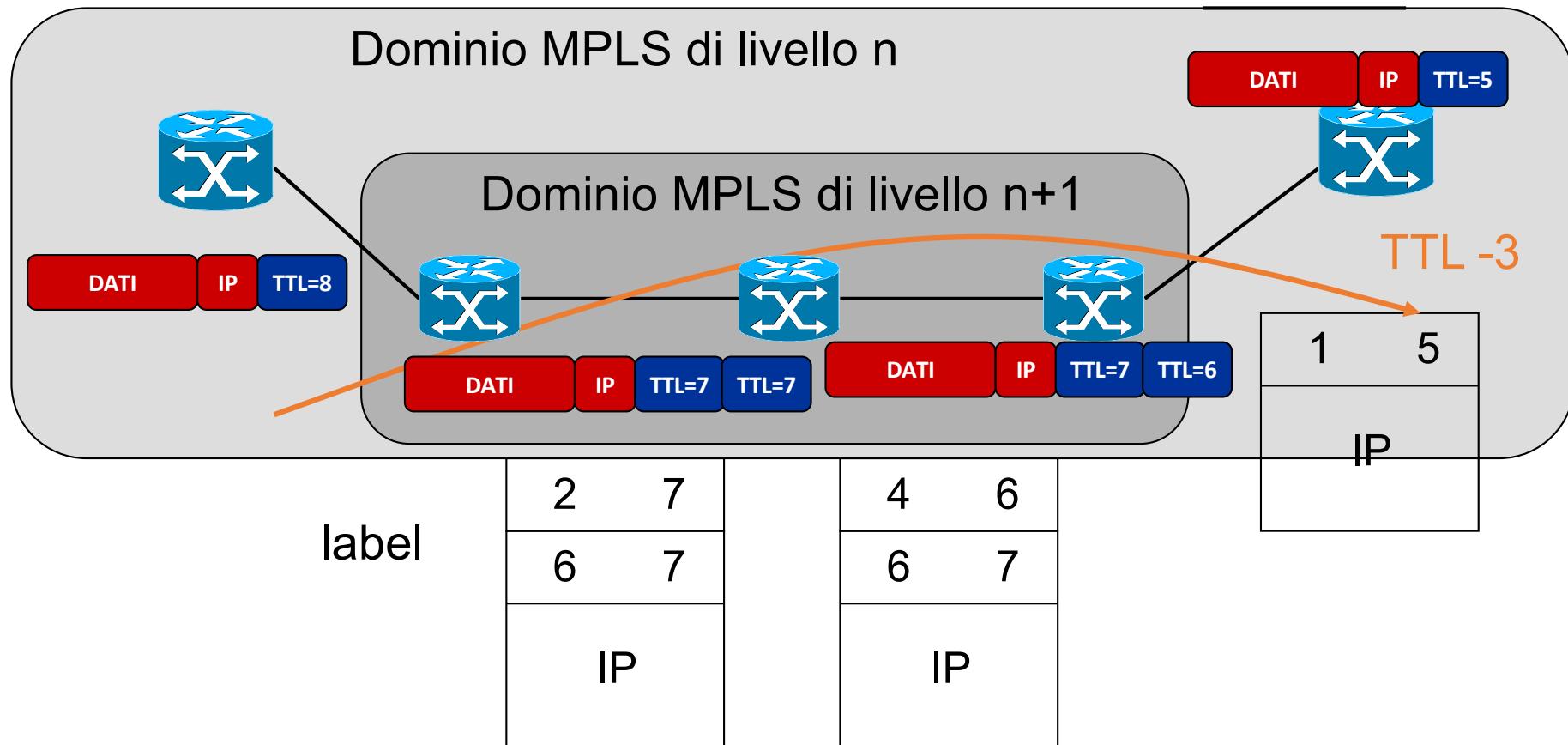


Time To Live: TTL

- 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 attraverso 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

