



ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

# Virtualizzazione di rete

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

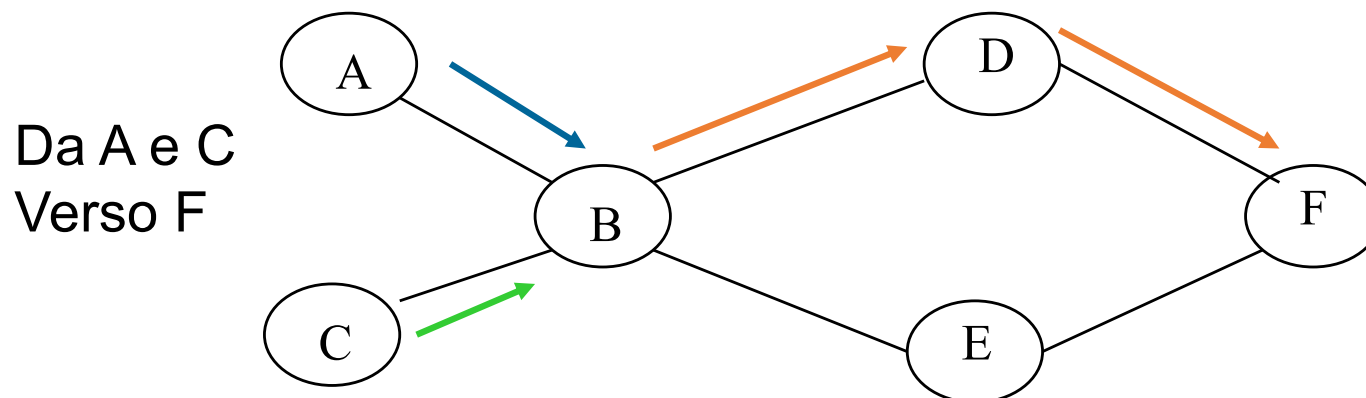


# Label switching: modo di trasferimento

- 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

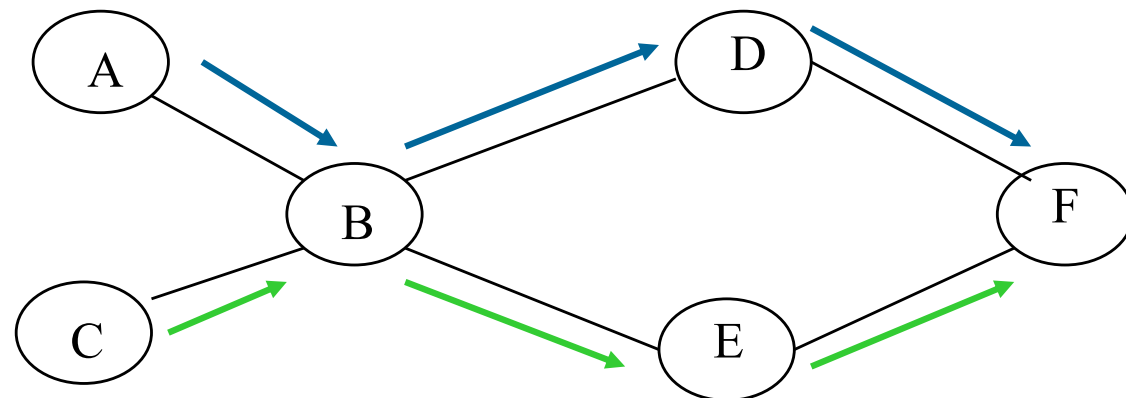
# Routing classico

- 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



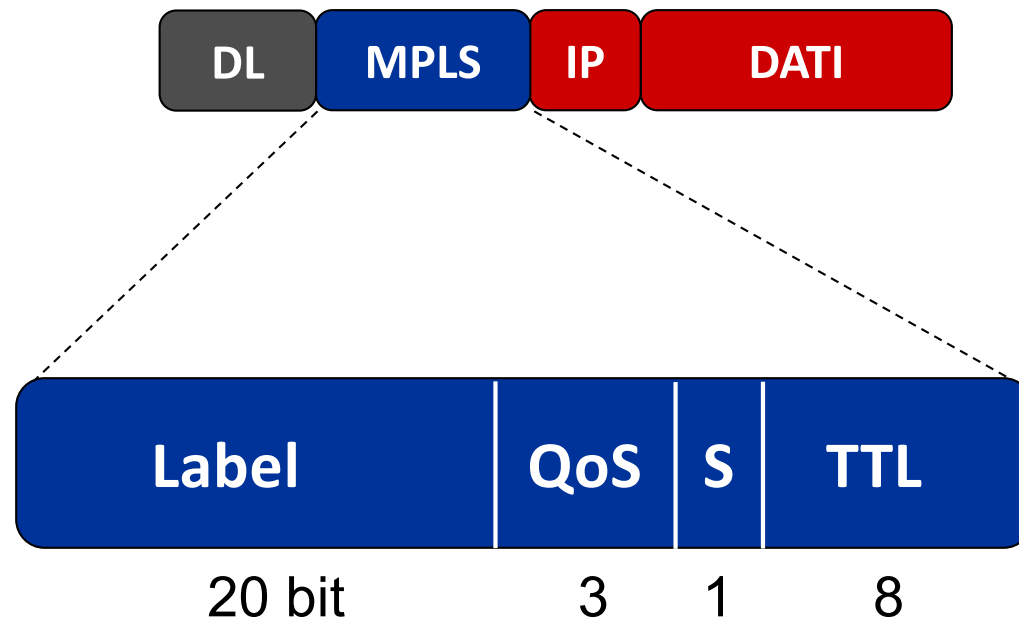


# MPLS

- 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

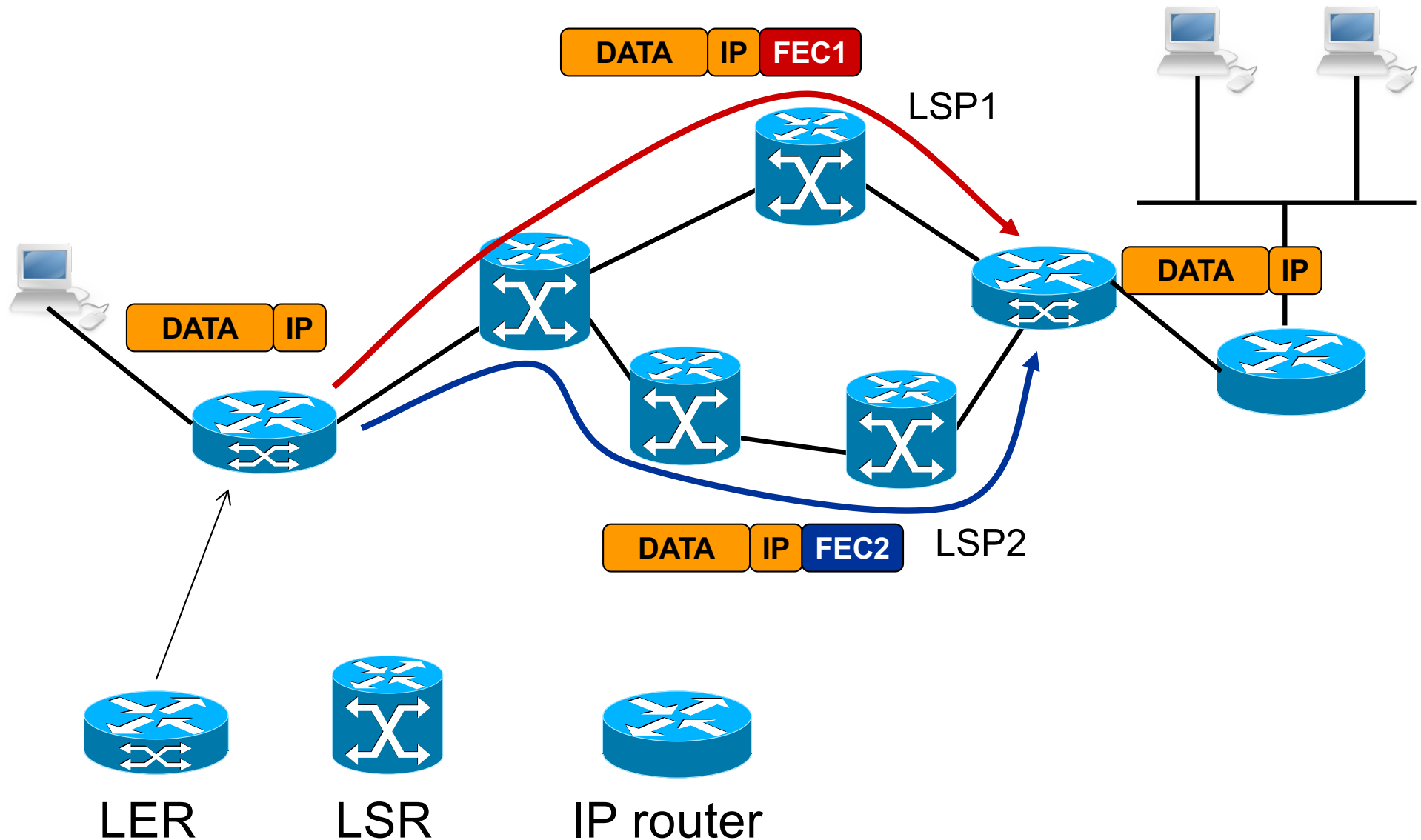
- In una rete tradizionale si deve valutare in ogni router la FEC di appartenenza di un pacchetto
  - Longest prefix match e scelta del next hop
- Sarebbe preferibile poter instradare i pacchetti senza valutare la FEC ad ogni hop
  - Si associa alla FEC una label all'ingresso del dominio MPLS nel LER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

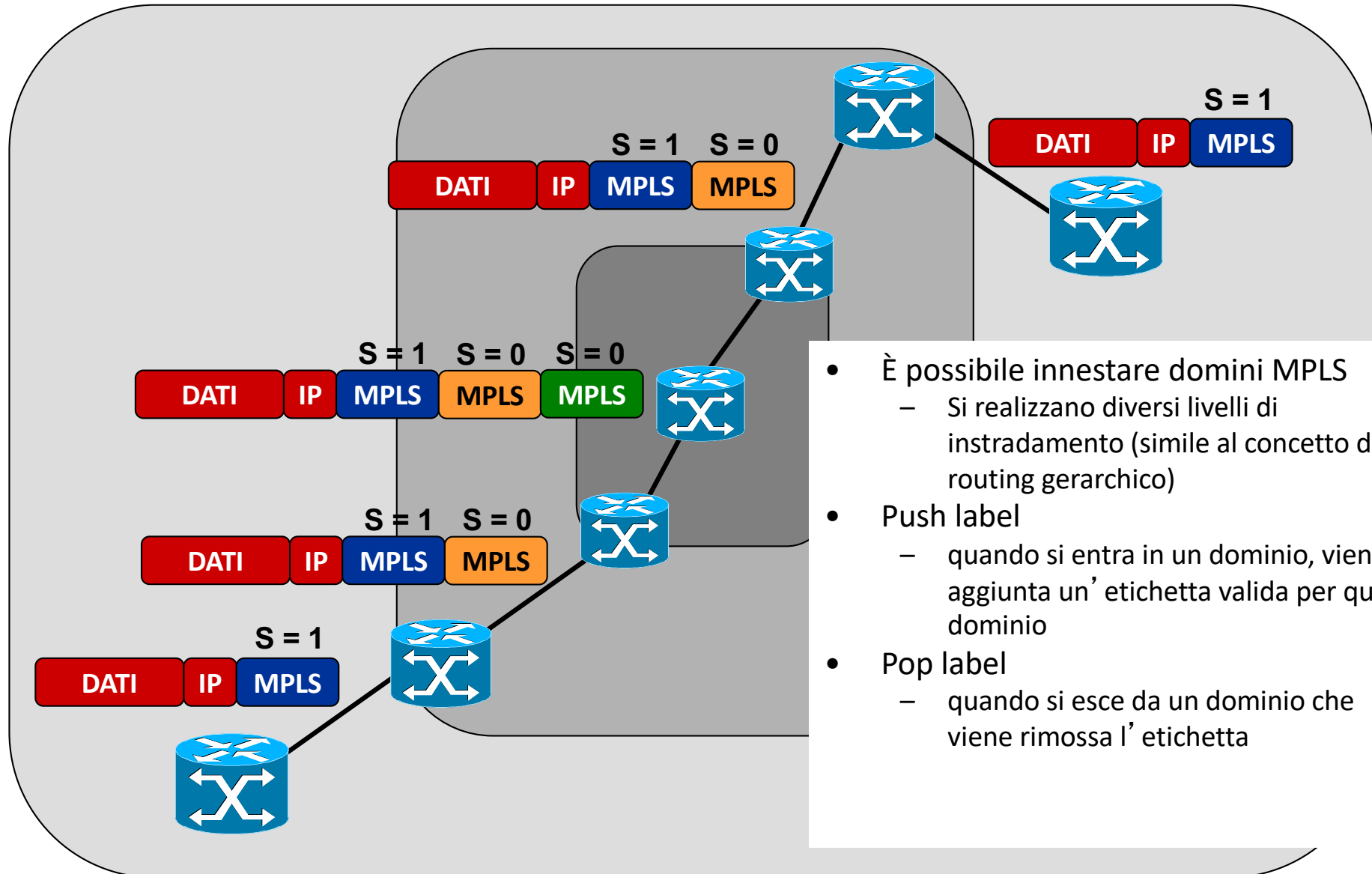




# Cosa c'è di nuovo nel label switching

- 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

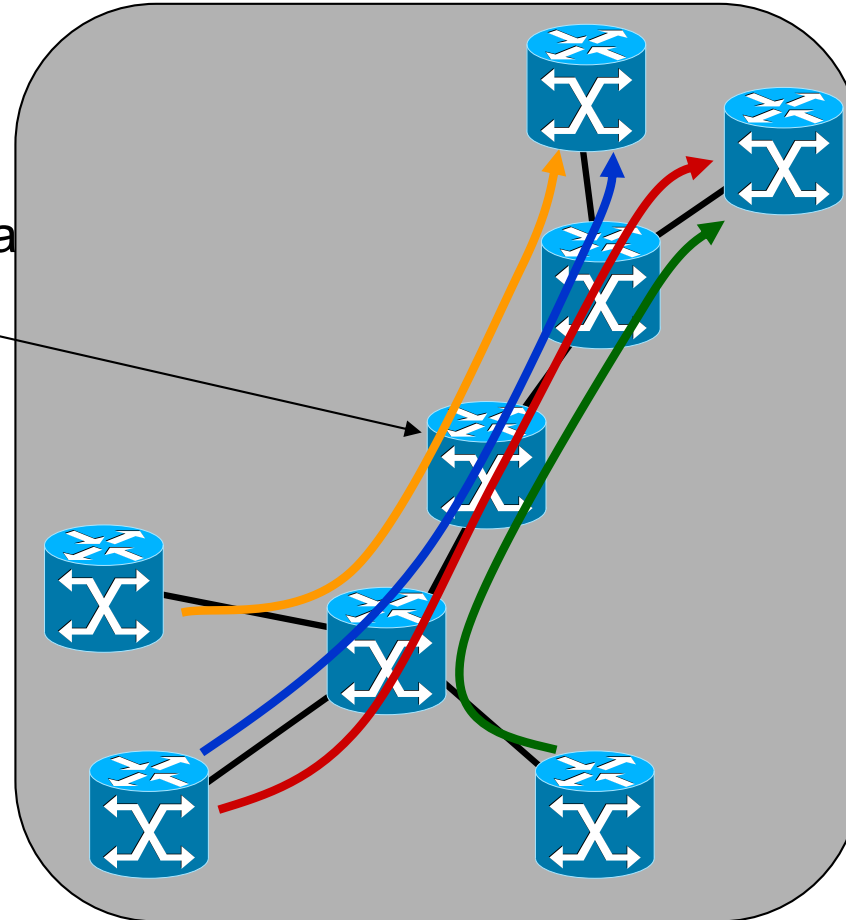


- È possibile innestare domini MPLS
  - Si realizzano diversi livelli di instradamento (simile al concetto di routing gerarchico)
- Push label
  - quando si entra in un dominio, viene aggiunta un' etichetta valida per quel dominio
- Pop label
  - quando si esce da un dominio che viene rimossa l' etichetta

# Label stacking



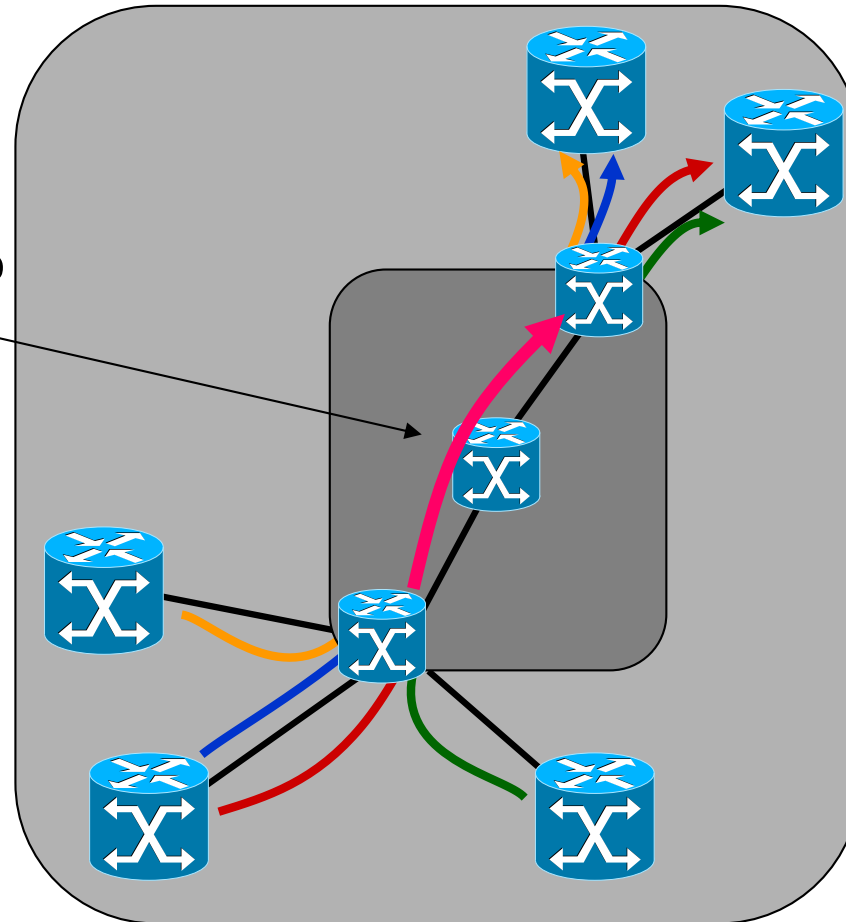
Deve avere in memoria  
tutte le FEC



# 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



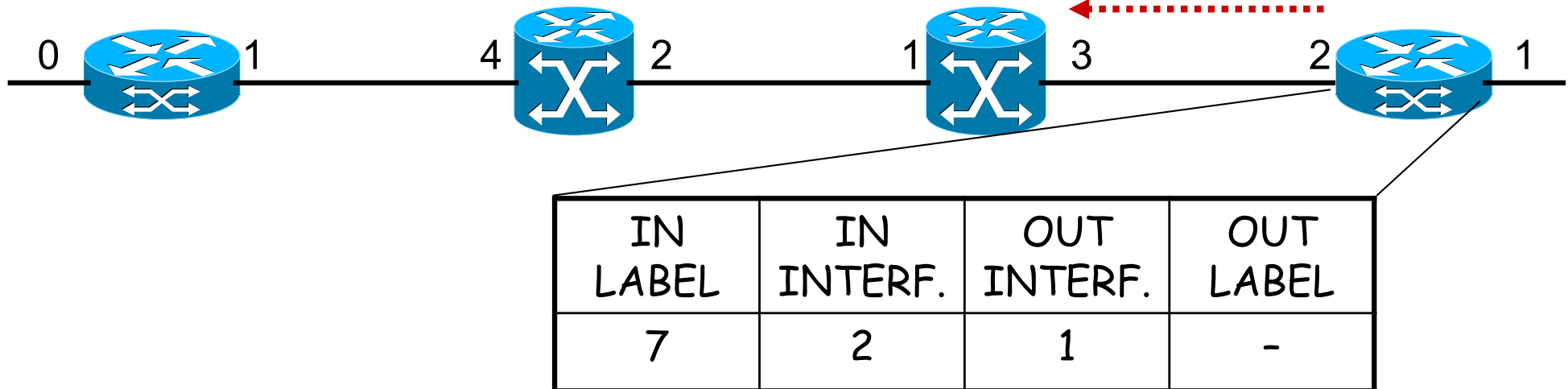
# Assegnazione delle label

- 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

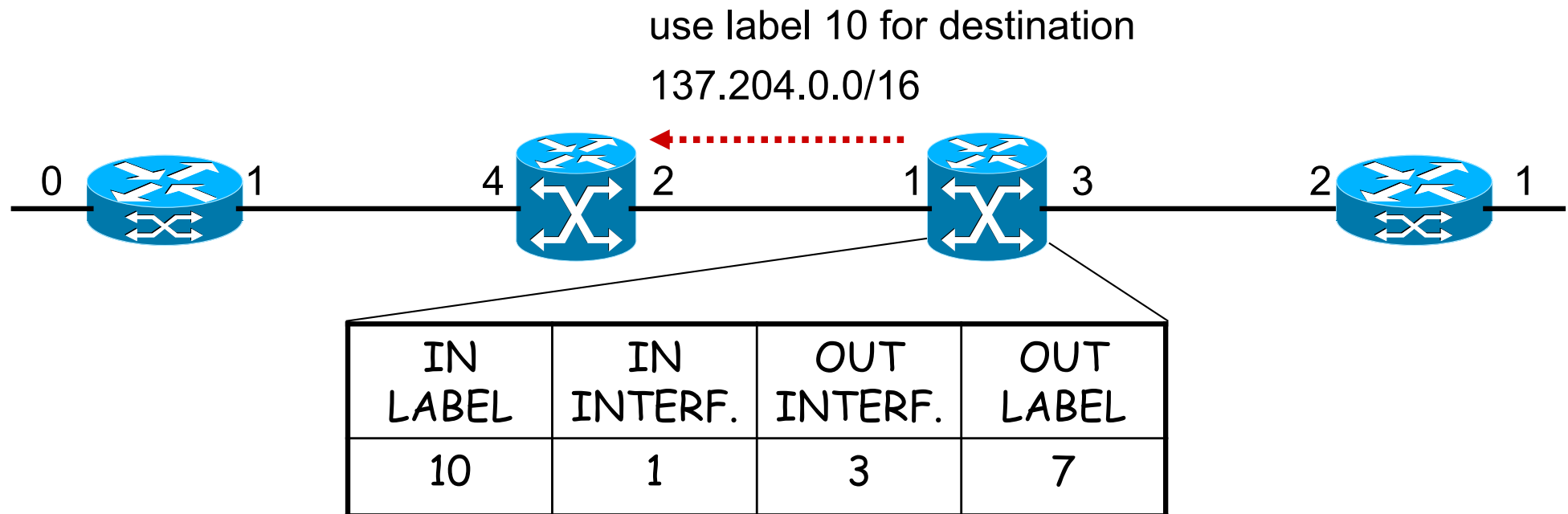


# Label allocation

use label 7 for destination  
137.204.0.0/16

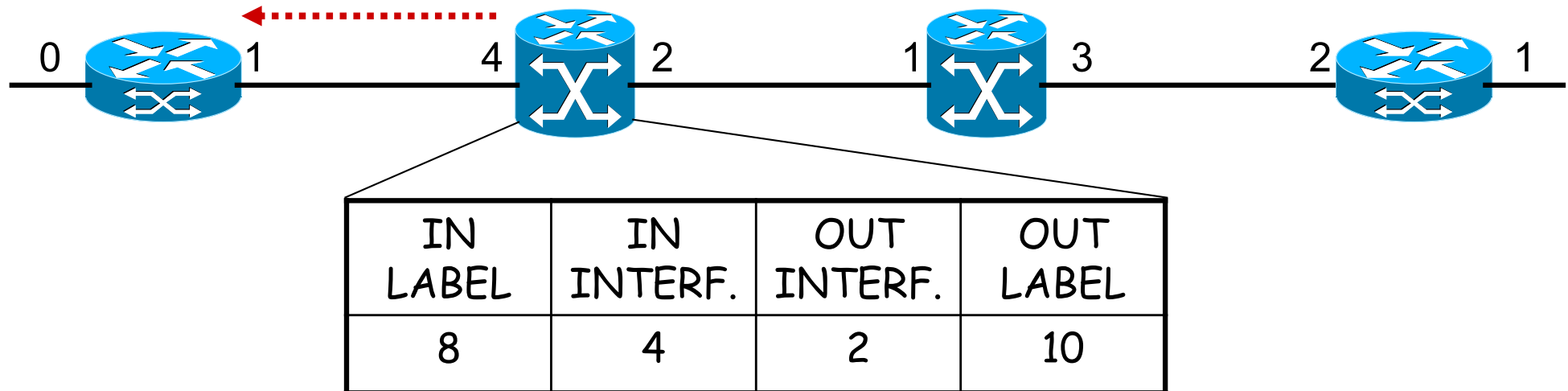


# Label allocation

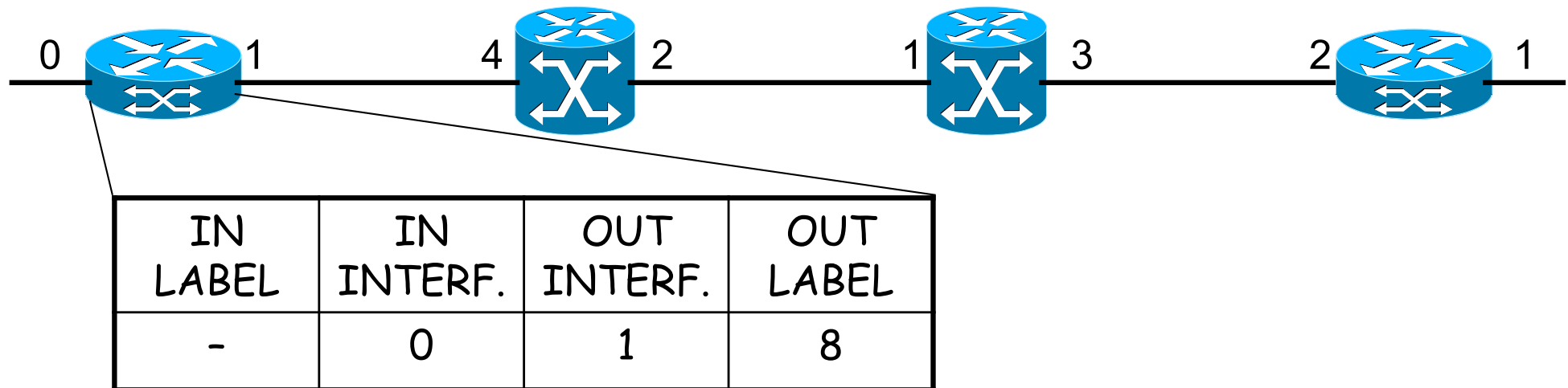


# Label allocation

use label 8 for destination  
137.204.0.0/16

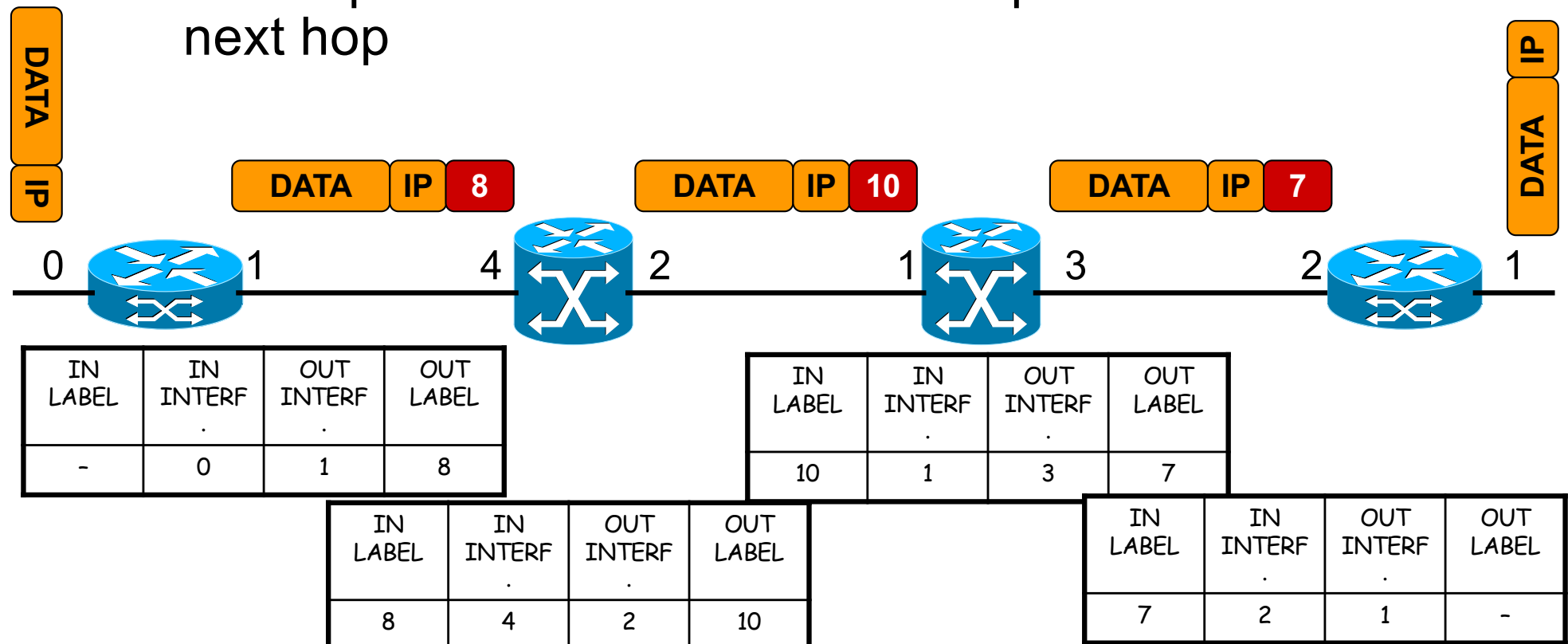


# Label allocation



# 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



# Allocazione delle label

- Le label sono una risorsa gestita dai LSR a valle di un link
- Le label sono allocate con due diverse modalità:
  - Downstream on demand allocation
  - Unsolicited downstream allocation
- Downstream on demand
  - L' allocazione viene richiesta dal LSR a monte
    - L' allocazione viene resa nota solamente al LSR richiedente
- Unsolicited downstream
  - L' allocazione avviene senza esplicita richiesta
    - L' allocazione viene notificata a tutti i LSR a monte di quello che esegue l' allocazione

# Label retention

- A seguito di unsolicited allocation dal LSR X si possono ricevere allocazioni su di un percorso non utilizzato dal LSR a monte
- Cosa fare in questo caso?
  - Liberal retention mode
    - Si tiene memoria dell'associazione e questa può essere immediatamente utilizzata se ad un certo punto si vuole instradare traffico attraverso X
    - Maggiore velocità di esecuzione
  - Conservative retention mode
    - Si cancella l'associazione e, in caso di bisogno, si deve eseguire un'allocazione on demand
    - Maggiore economia nella gestione delle label

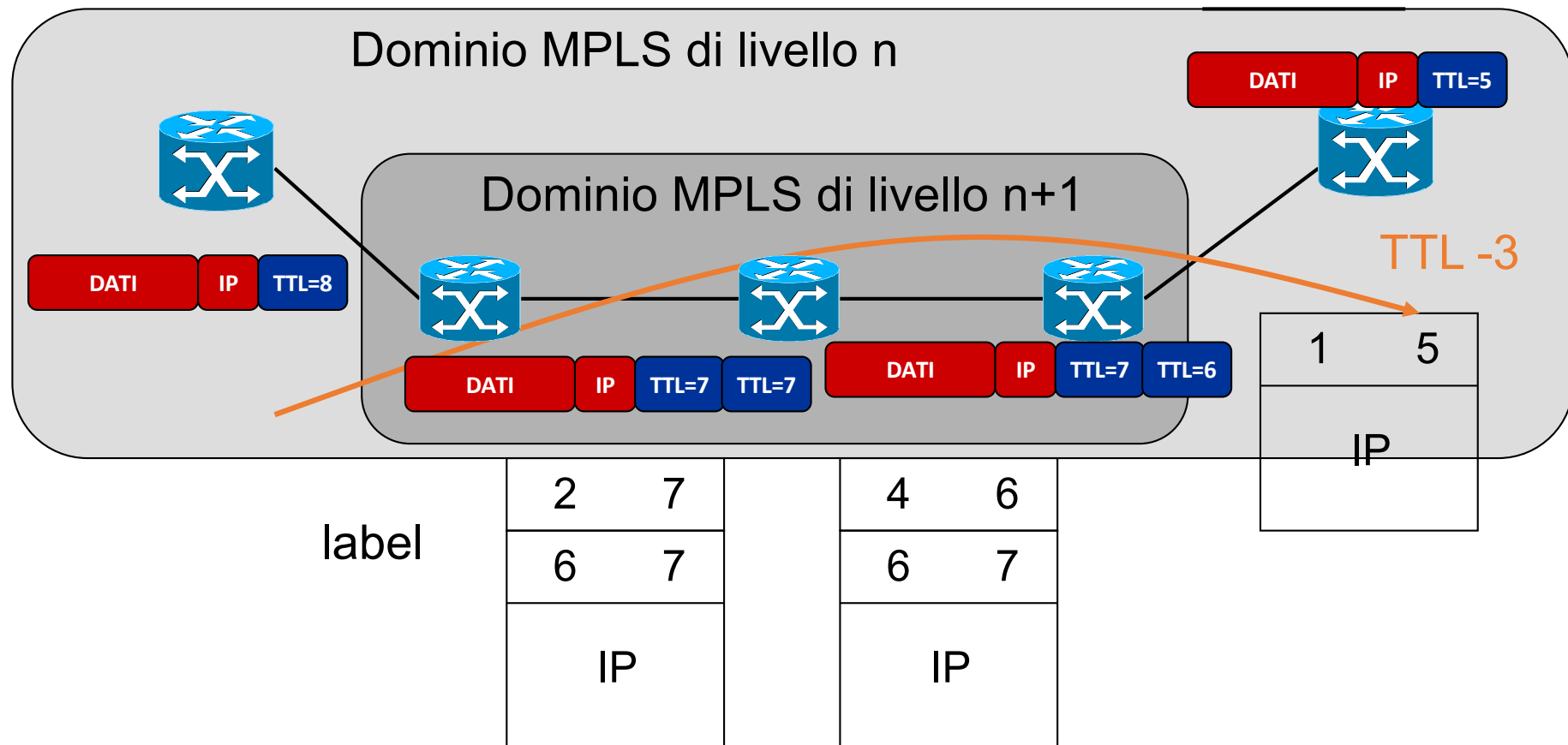


# Time To Live: TTL

- 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

