

18 ottobre 2024

La Galassia del Routing IP

Il cuore dell'Internet



XIV[^] puntata - Segment Routing

Tiziano Tofoni

Note di *Copyright*

- Questo insieme di diapositive è protetto dalle leggi sul *copyright* e dalle disposizioni dei trattati internazionali. Il titolo ed i *copyright* relativi alle diapositive (ivi inclusi, ma non limitatamente, ogni immagine, fotografia, animazione, video, audio, musica e testo), in accordo con gli artt. 12 e seguenti della Legge 633/1941, **sono di proprietà dell'autore Tiziano Tofoni** (di seguito 'l'autore').
- Le diapositive **possono essere utilizzate esclusivamente per scopi di studio nell'ambito dei corsi tenuti dall'autore.**
- Ogni altra utilizzazione o riproduzione (ivi incluse, ma non limitatamente, le riproduzioni su supporti ottici/magnetici, su reti di calcolatori o stampate) in toto o in parte **è vietata, se non esplicitamente autorizzata per iscritto, a priori, da parte dell'autore.**
- L'informazione contenuta in queste diapositive è ritenuta essere accurata alla data della pubblicazione. Essa è fornita per scopi meramente didattici e non per essere utilizzata in progetti di impianti, prodotti, reti, ecc. In ogni caso essa è soggetta a cambiamenti senza preavviso. **L'autore non si assume alcuna responsabilità per il contenuto di queste diapositive** (ivi incluse, ma non limitatamente, la correttezza, completezza, applicabilità, aggiornamento dell'informazione).
- In ogni caso non può essere dichiarata conformità all'informazione contenuta in queste diapositive.
- In ogni caso **questa nota di *copyright* non deve mai essere rimossa e deve essere riportata anche in utilizzi parziali.**

Di cosa parlerò ...

#1

Due parole su MPLS ...

#2

Distribuzione delle associazioni <FEC, etichetta>

#3

Segment Routing: principi generali

#4

Migrazione LDP → SR

#5

Dalla teoria alla pratica...

#6

Case study

Un po' di storia ...

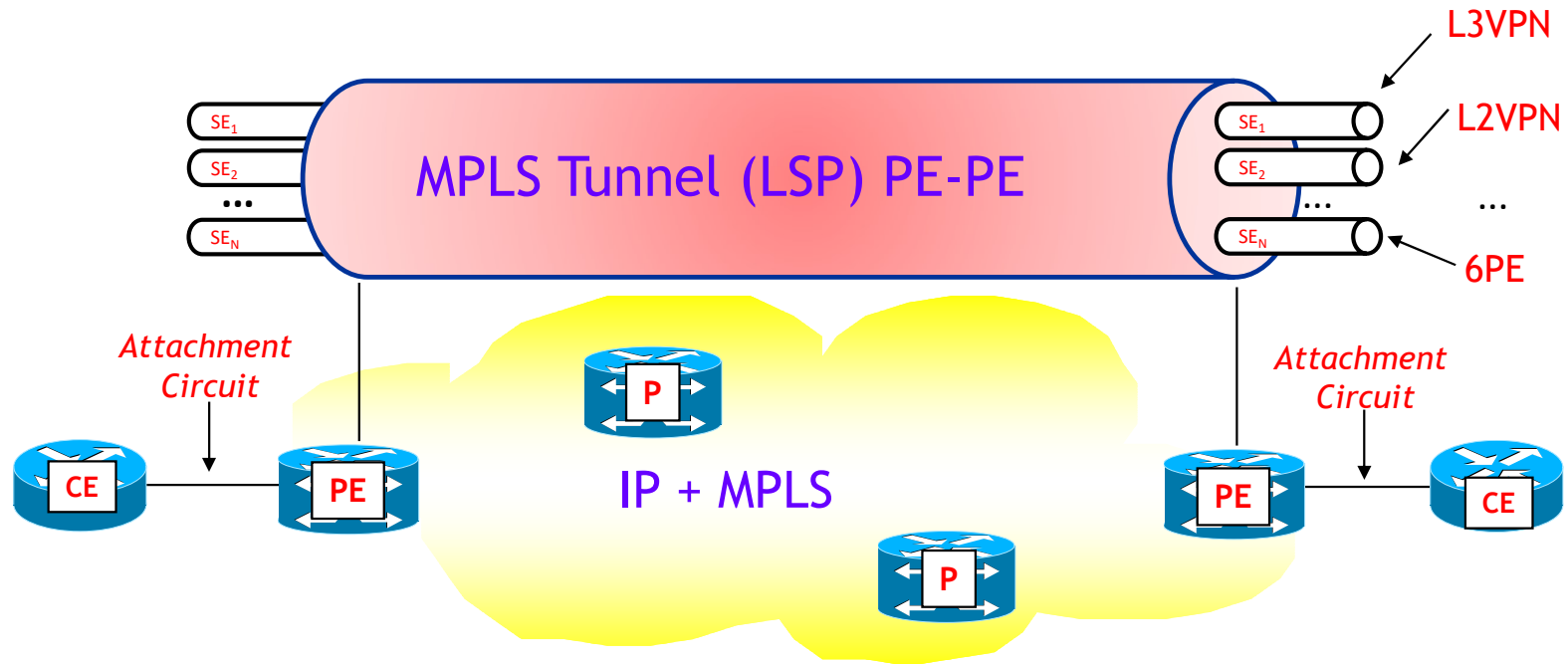
- Perché MPLS?
 - Far evolvere il modello tradizionale di routing IP verso nuove funzionalità di gestione del traffico (es. *MPLS Traffic Engineering*)
 - Permettere la realizzazione di reti IP più scalabili
 - Ampliare l'offerta dei servizi di rete (es. L3VPN, L2VPN, trasporto di IPv6, ecc.)

MPLS



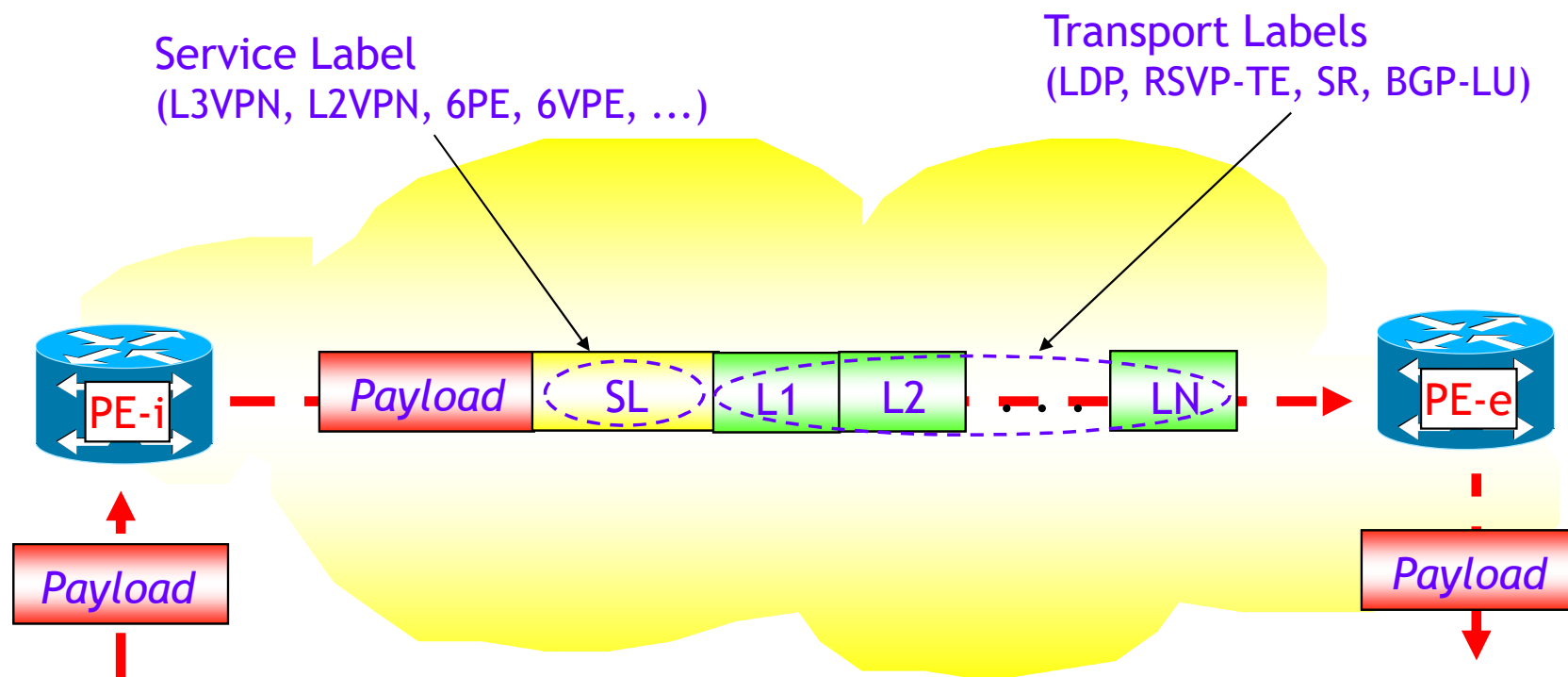
Multi
Protocol
Label
Switching

Un tunnel (LSP) per tutti i servizi

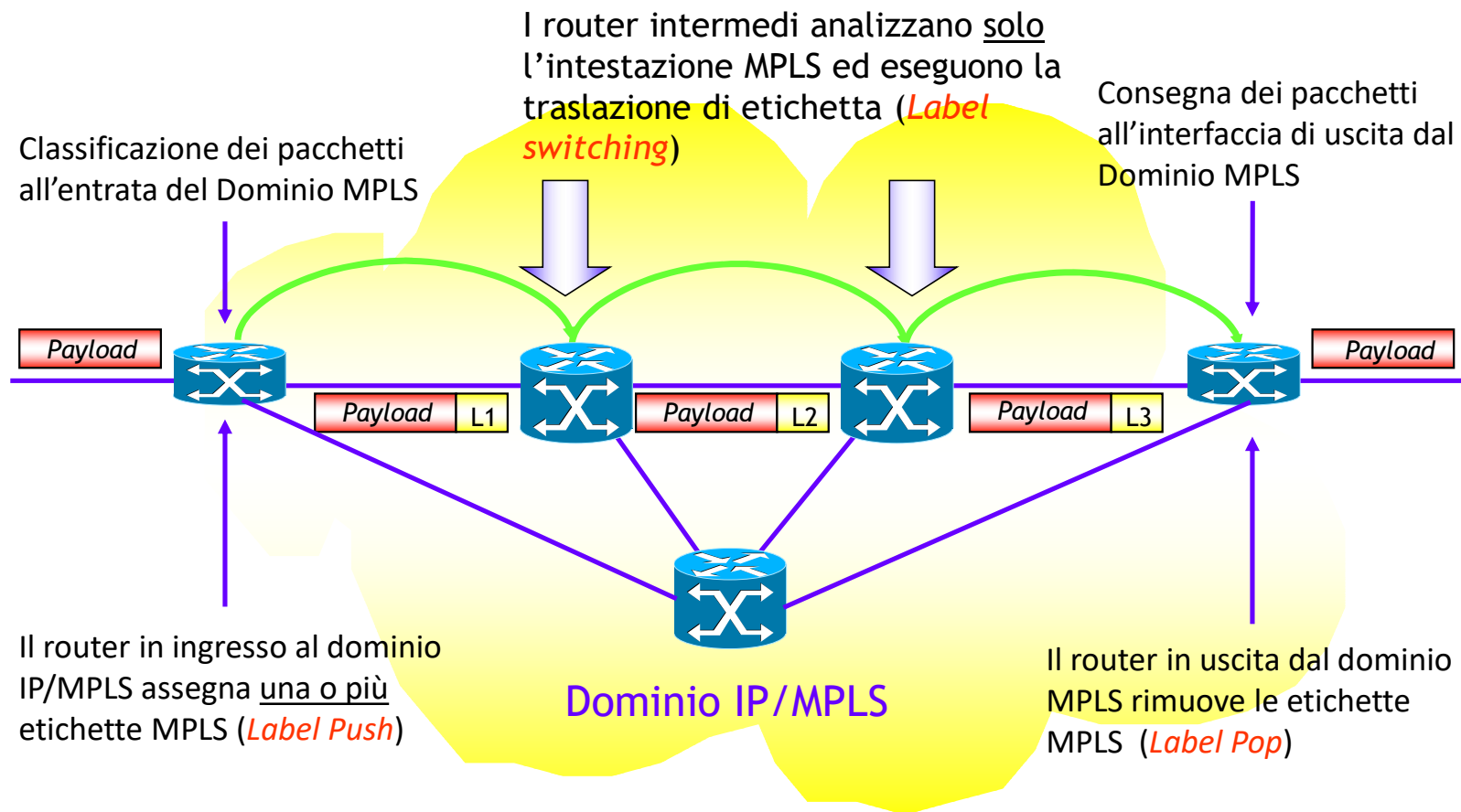


- **CE:** Customer Equipment
- **PE:** Provider Edge
- **P:** Provider (transit router)

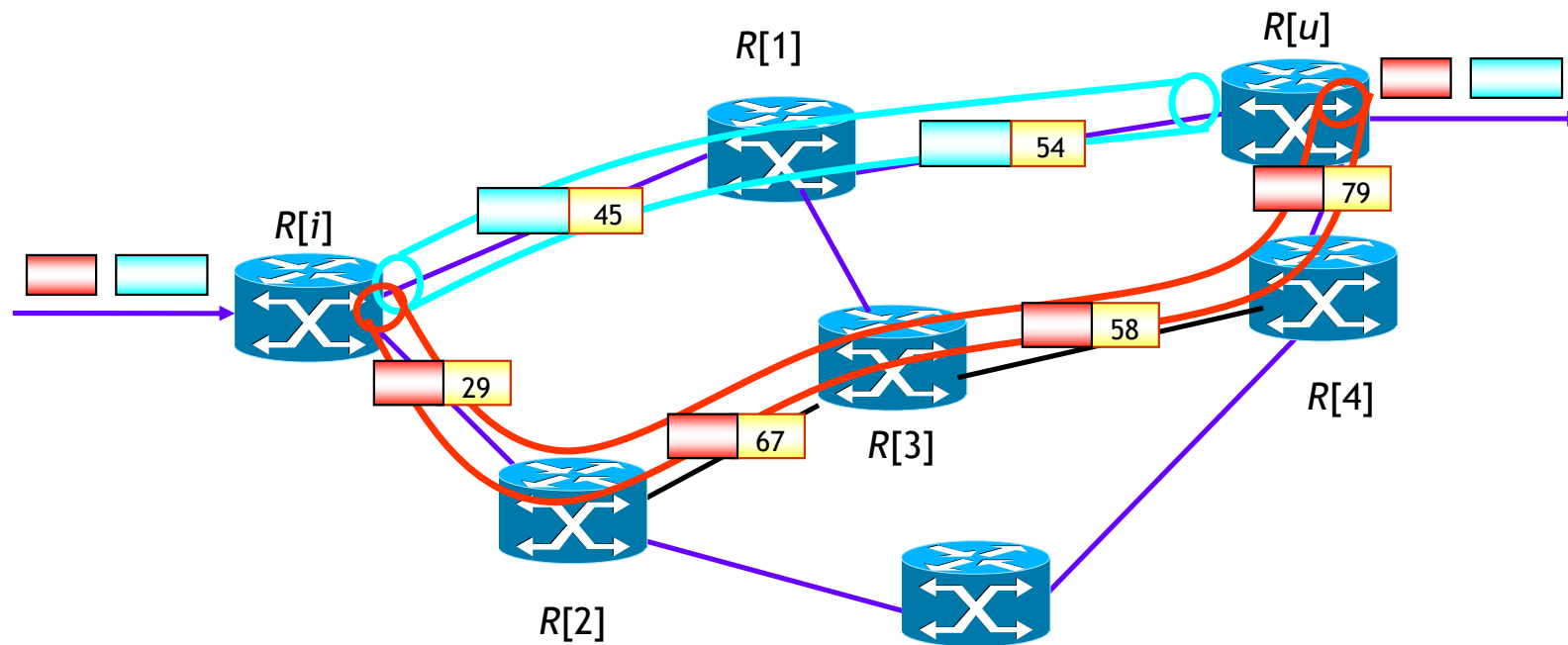
Le etichette MPLS ...



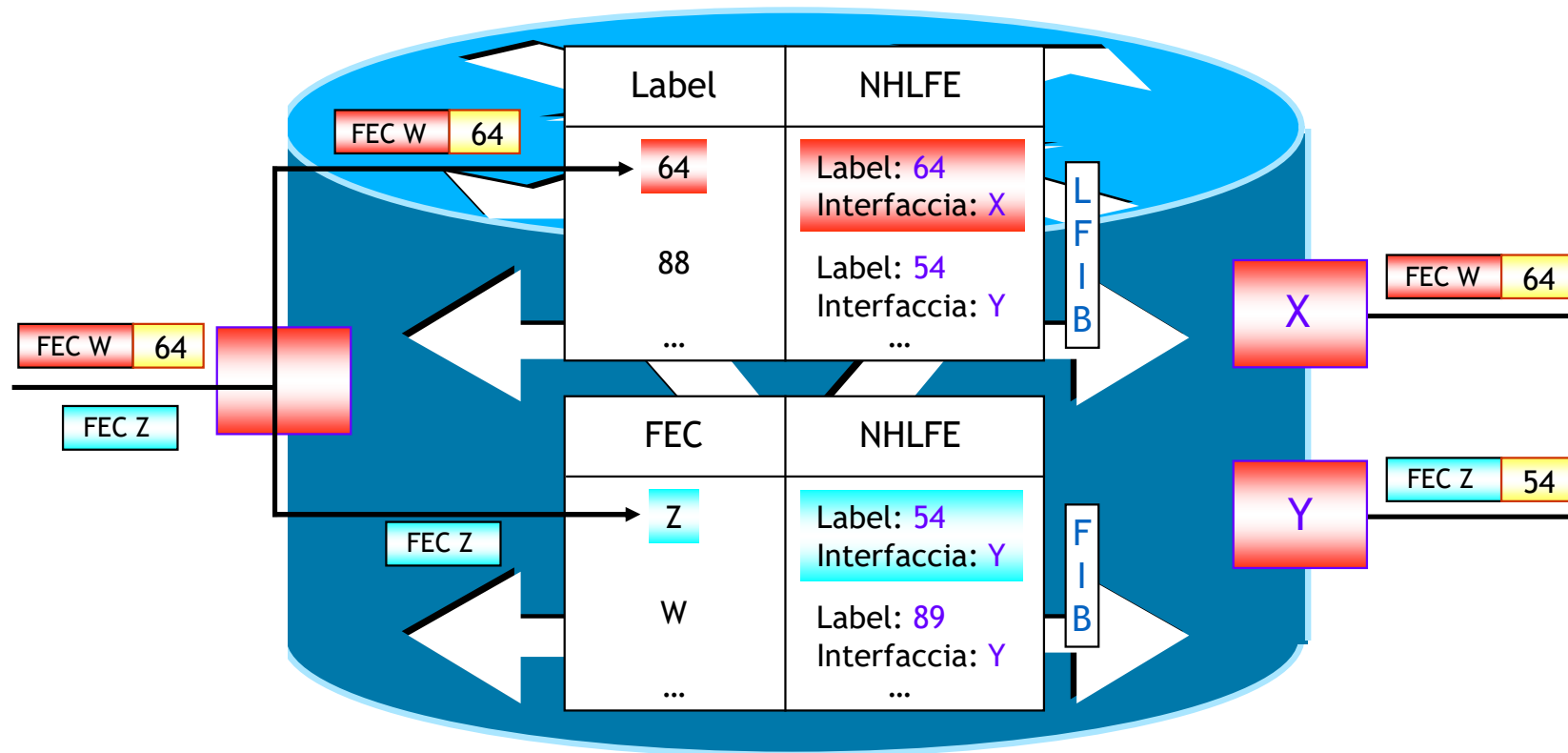
Il paradigma chiave: *Label Switching*



I percorsi MPLS (Label Switched Path)



Il forwarding dei pacchetti MPLS



Di cosa parlerò ...

#1

Due parole su MPLS ...

#2

Distribuzione delle associazioni <FEC, etichetta>

#3

Segment Routing: principi generali

#4

Migrazione LDP → SR

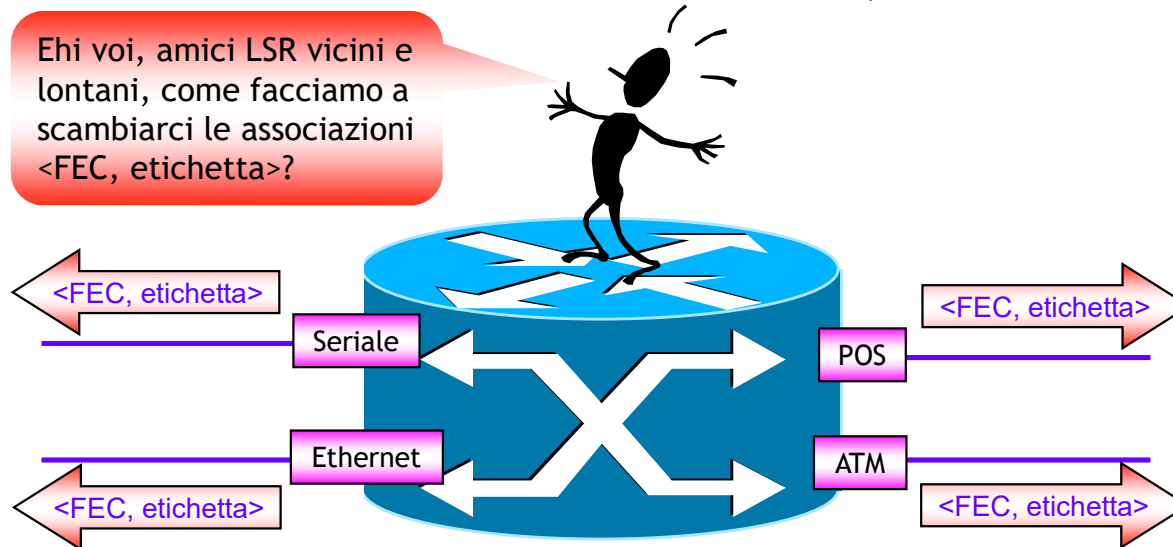
#5

Dalla teoria alla pratica...

#6

Case study

Distribuzione delle associazioni <FEC, etichetta>

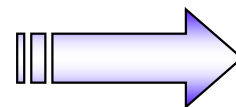


- Lo standard MPLS (RFC 3031) **non prevede un unico protocollo** per la distribuzione delle associazioni <FEC, etichetta>
- Sono stati definiti in ambito IETF quattro protocolli standard:
 - **LDP** (RFC 5036, all'origine RFC 3036): utilizzato **per LSP Hop-by-Hop**
 - **BGP-LU** (BGP- Label Unicast): estensione del **BGP** (RFC 3107): per il trasporto di **etichette associate a prefissi IPv4/v6**
 - **RSVP-TE** (RFC 3209): utilizzato **per LSP espliciti (LSP MPLS-TE)**
 - **Segment Routing MPLS (SR-MPLS)**: utilizzato per tutti i tipi di LSP

Il protocollo LDP

- IETF ha definito un **protocollo standard** per la distribuzione delle associazioni <FEC, etichetta> per la realizzazione di LSP *Hop-by-Hop*

LDP

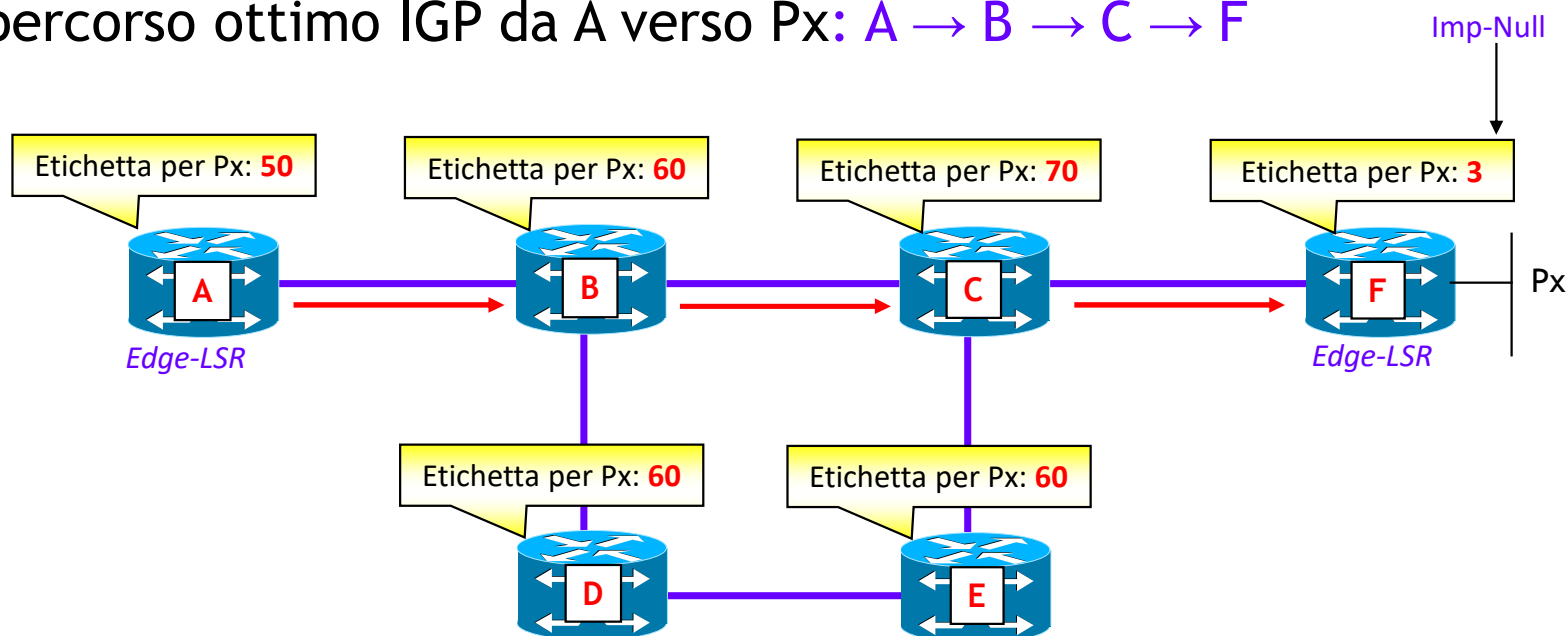


*Label
Distribution
Protocol*

- Caratteristiche principali
 - Standard (RFC 5036)
 - Meccanismo di *discovery*
 - **Affidabilità** delle sessioni (utilizza connessioni **TCP**)
 - **Estendibilità** (utilizza moduli TLV)

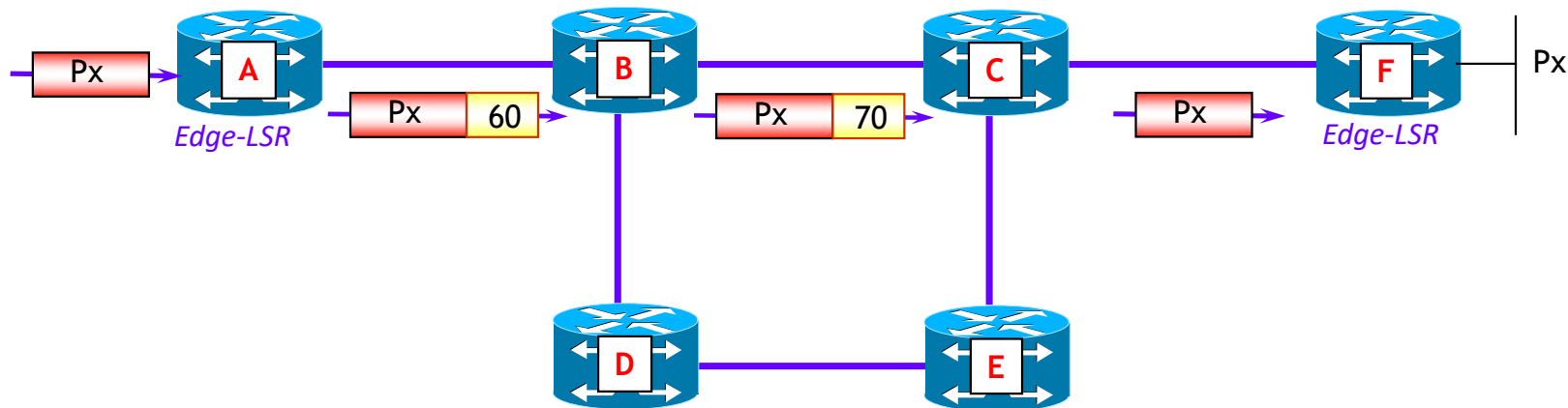
Come funziona LDP: esempio (1/3)

- La rete Px, direttamente connessa all'*Edge-LSR* F viene annunciata a tutti i router del dominio MPLS
- Ipotesi: percorso ottimo IGP da A verso Px: $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow F$



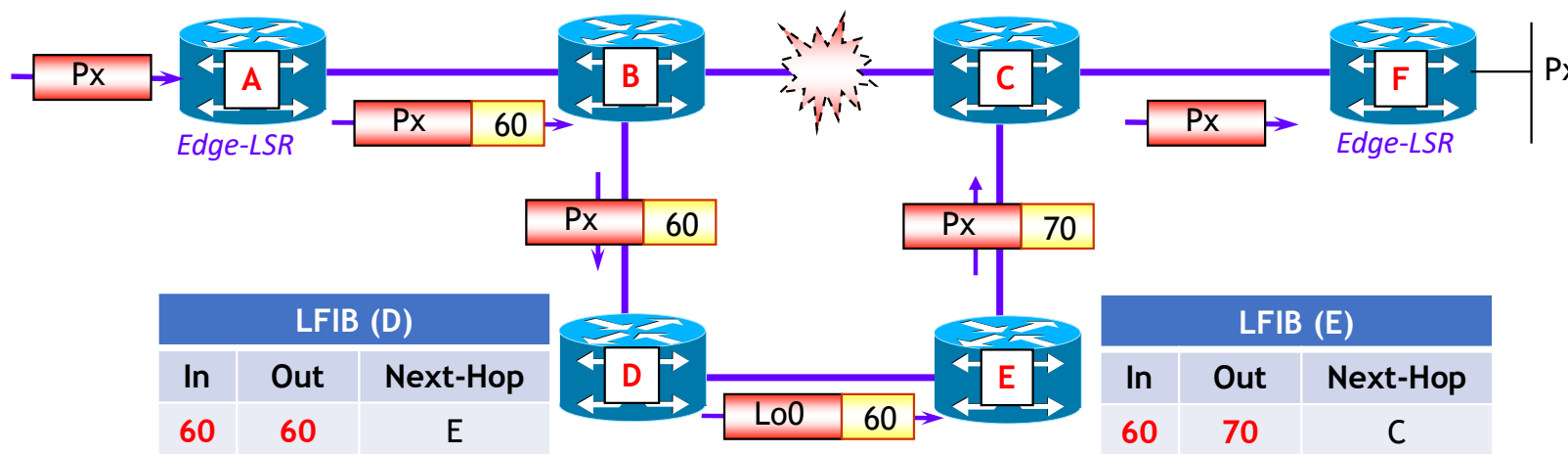
Come funziona LDP: esempio (2/3)

FIB (A)			LFIB (B)			LFIB (C)			FIB (F)		
Net	Next-Hop	Label	In	Out	Next-Hop	In	Out	Next-Hop	Net	Next-Hop	Label
Px	B	60	60	70	C	70	POP	F	Px	Conn.	-



Come funziona LDP: esempio (3/3)

FIB (A)			LFIB (B)			LFIB (C)			FIB (F)		
Net	Next-Hop	Label	In	Out	Next-Hop	In	Out	Next-Hop	Net	Next-Hop	Label
Px	B	60	60	60	D	70	POP	F	Px	Conn.	-



Di cosa parlerò ...

#1

Due parole su MPLS ...

#2

Distribuzione delle associazioni <FEC, etichetta>

#3

Segment Routing: principi generali

#4

Migrazione LDP → SR

#5

Dalla teoria alla pratica...

#6

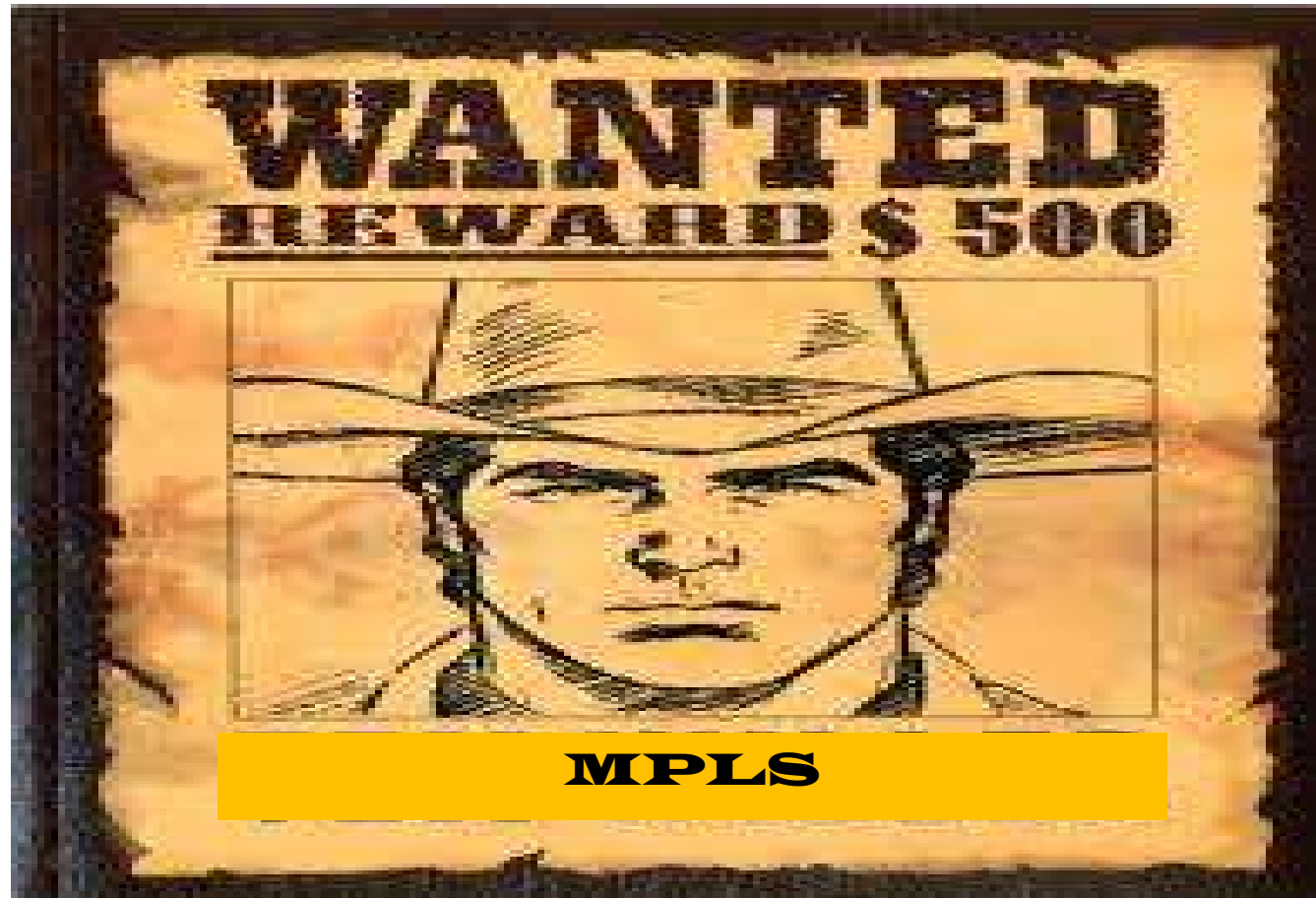
Case study

Il mito ...

**MPLS is dead
(long live to MPLS ...)**

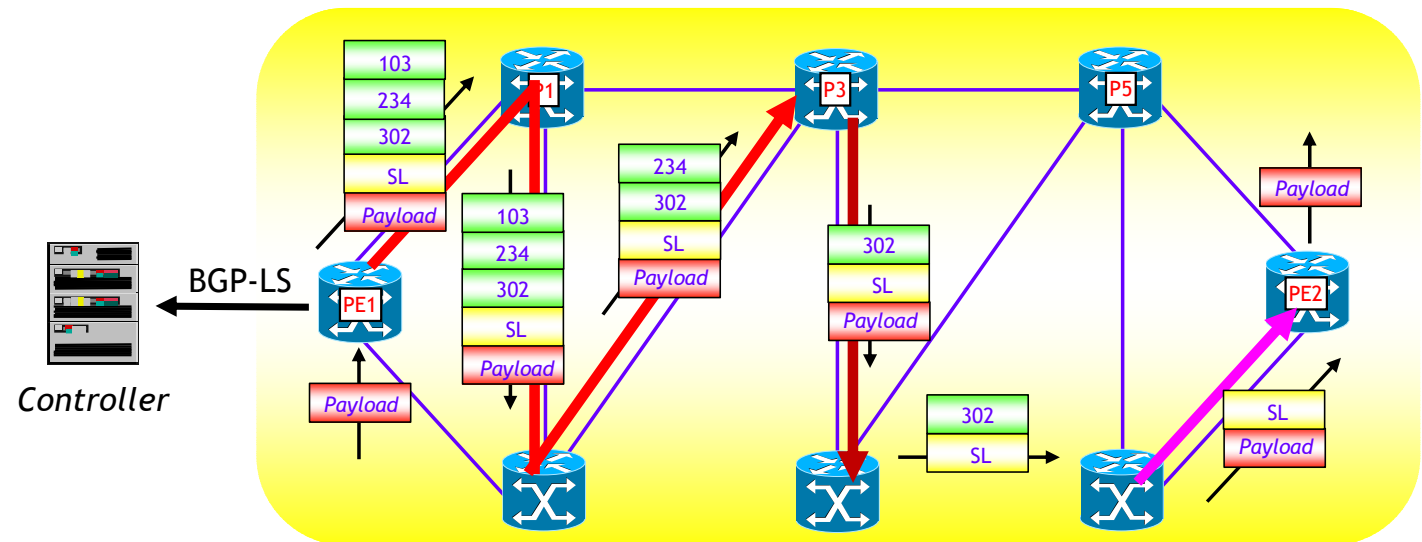
I presunti killer di MPLS (così si dice in giro ...)

- *Segment Routing*
- SD-WAN



Cosa è il *Segment Routing*?

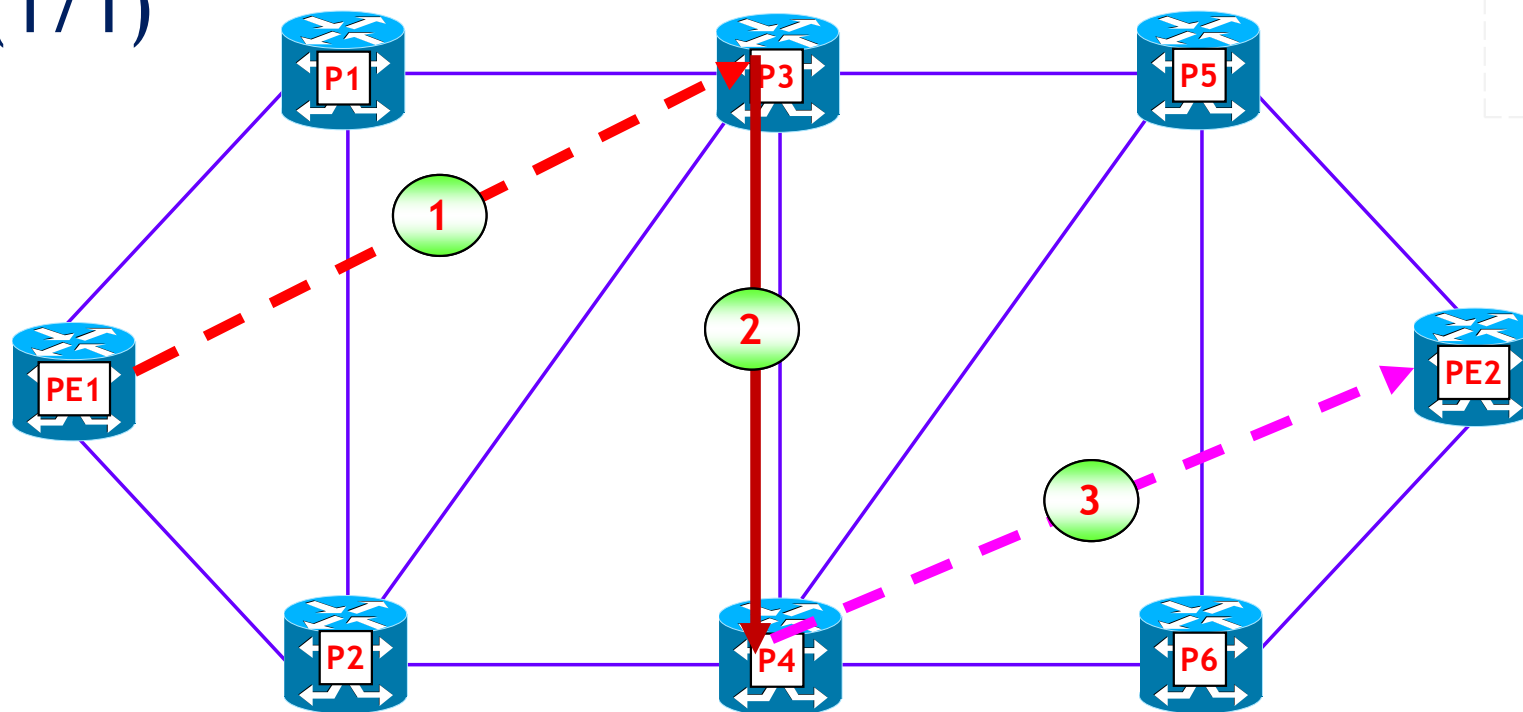
- *Segment Routing* è una variante moderna del (vecchio) *source routing*
- In una rete che utilizza il *segment routing*, il nodo di ingresso del traffico può aggiungere una intestazione costituita da una o più etichette MPLS o indirizzi IPv6
 - ogni etichetta MPLS o indirizzo IPv6 costituisce una "istruzione" di instradamento per i nodi attraversati dal pacchetto
- Due versioni disponibili
 - SR over MPLS (SR-MPLS)
 - SR over IPv6 (SRv6)



SR-MPLS: il paradigma chiave...

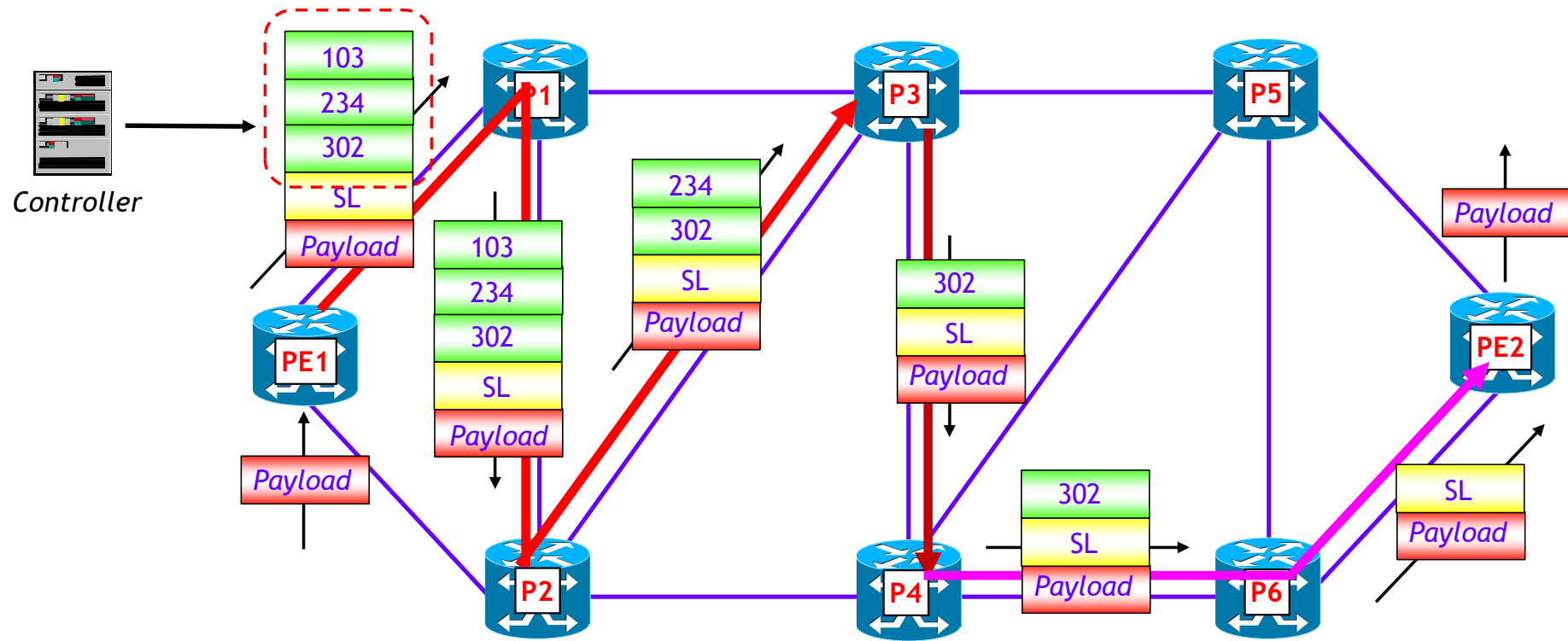
- Idea base: aggiungere ai pacchetti che entrano in un dominio MPLS una *Service Label* (se necessaria) e quindi una pila di *Transport Label* che consenta di instradare i pacchetti secondo un percorso desiderato
- Ogni *Transport Label* identifica un **segmento** della rete
 - Un prefisso destinazione
 - Un semplice nodo della rete
 - Un *link* (o meglio, adiacenza del protocollo IGP, che deve essere necessariamente IS-IS oppure OSPF)
 - ecc.
- Due tipi di segmenti
 - **Locali**: il router che genera e annuncia un segmento locale è l'unico che installa la relativa etichetta nella LFIB
 - **Globali**: ogni router del dominio MPLS assegna (localmente) una etichetta a un segmento (globale) e tutti gli altri router installano l'etichetta nella propria LFIB

Esempio (1/1)



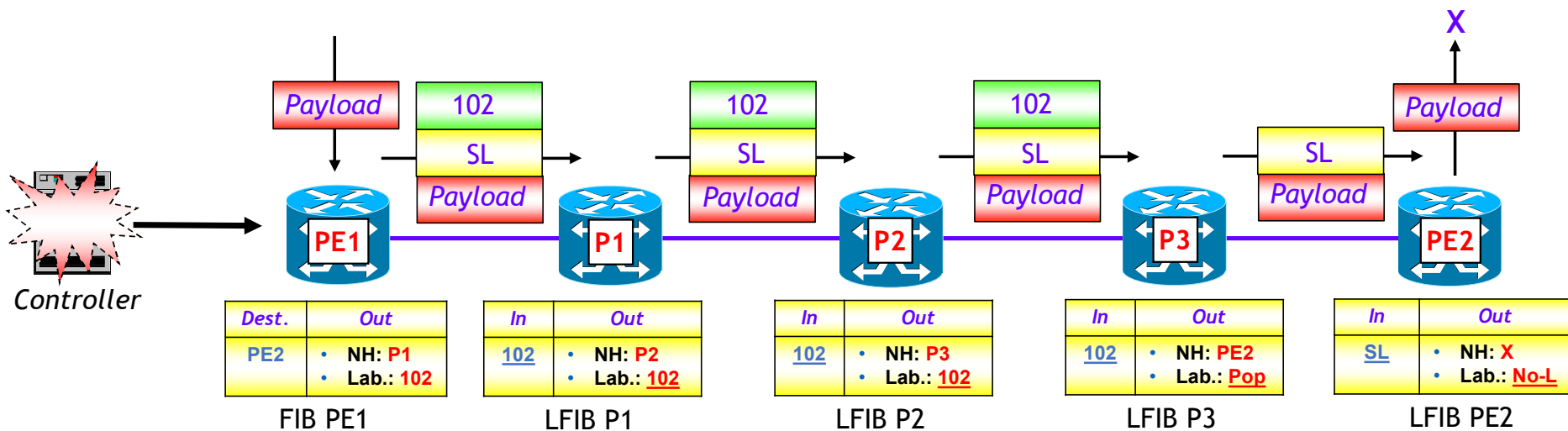
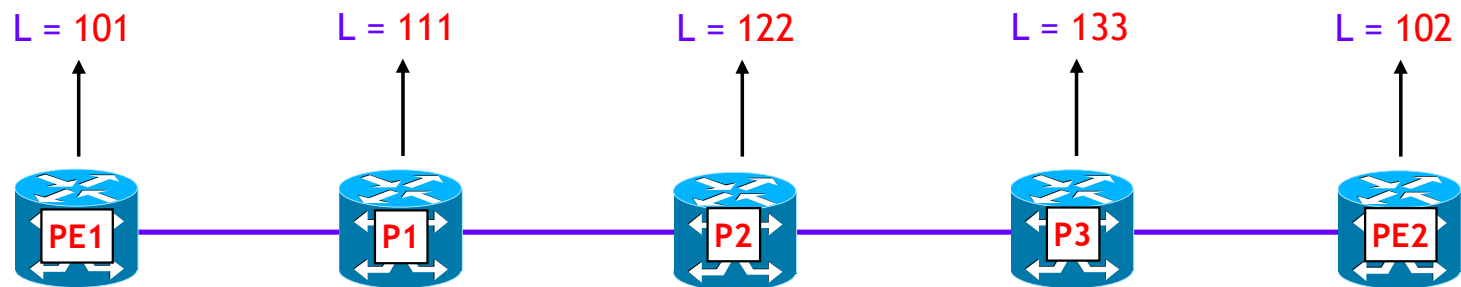
- Il percorso PE1→PE2 è costituito da tre segmenti
 - PE1→P3: segmento globale
 - P3→P4: segmento locale
 - P4→PE2: segmento globale

Esempio (2/2)

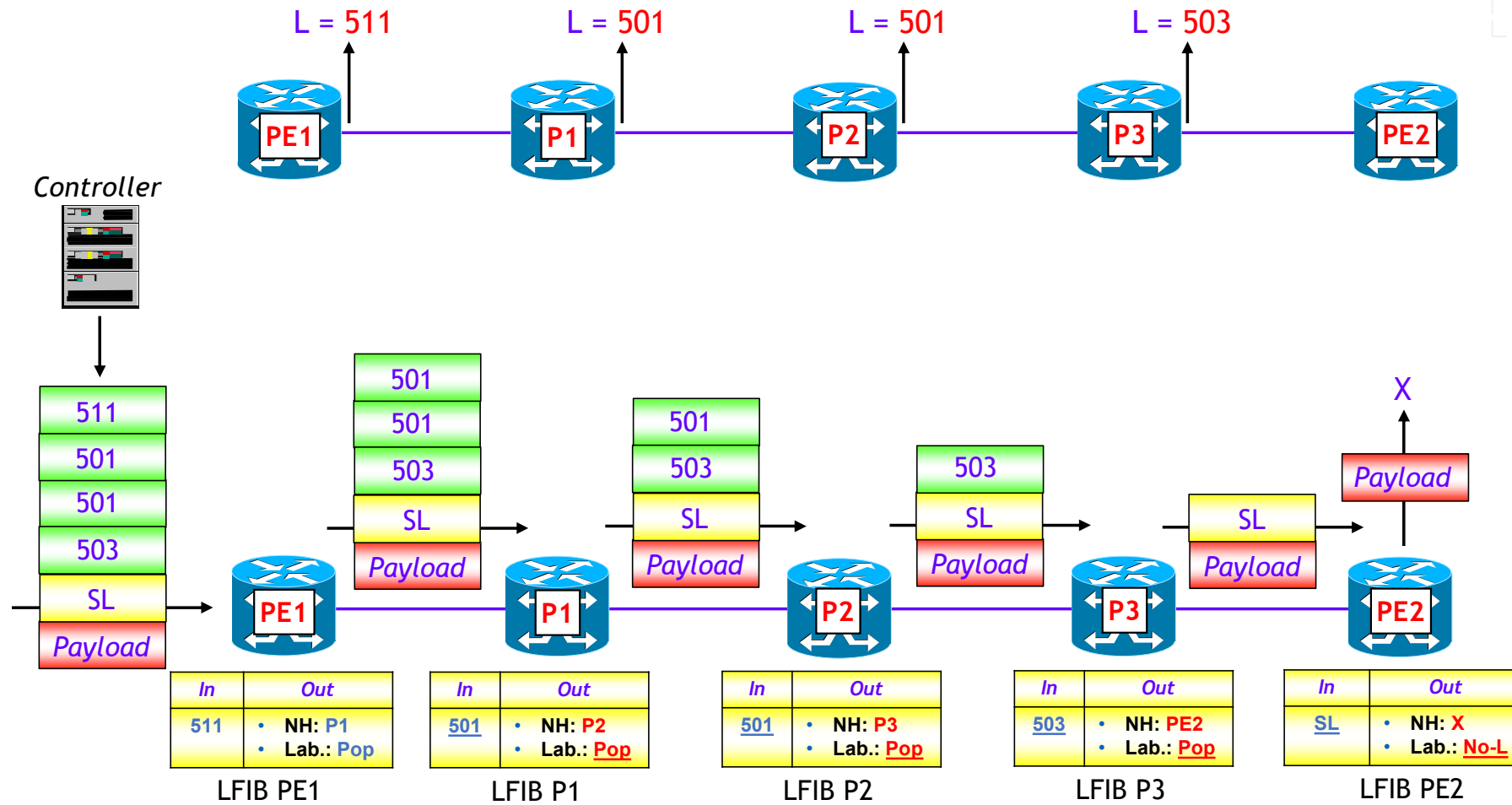


SL Service label

Esempio: solo segmenti globali



Esempio: solo segmenti locali



Allocazione delle etichette

- L'allocazione delle etichette associate ai **segmenti globali** è vincolata all'univocità su tutto il dominio SR
 - Due qualsiasi segmenti globali **devono necessariamente avere etichette diverse**
- Per i **segmenti locali** la strategia è simile a LDP (etichette allocate localmente)
- Due tipi di segmenti molto utili:
 - **IGP-node**: sono segmenti *globali* che identificano un nodo della rete
 - **IGP-adjacency**: sono segmenti *locali* che identificano un'adiacenza IGP unidirezionale, o anche un insieme di adiacenze

Segment Routing Global Block

- Per rispettare il vincolo di univocità delle etichette associate ai segmenti globali di tipo *IGP-node*, SR utilizza l'artificio dei “**blocchi di etichette globali**” (**SRGB**, **Segment Routing Global Block**).
 - Ogni nodo alloca **localmente** un blocco di etichette per l'utilizzo globale
 - Come *best practice* è bene che tutti i nodi utilizzino lo stesso identico blocco
- Un SRGB è identificato da due parametri: **base** e **ampiezza**.
 - La base rappresenta la **prima etichetta**, l'ampiezza il **numero di etichette allocabili**.
 - Esempio: se base = 16.000 e ampiezza = 8.000, le etichette allocabili globalmente sono tutte quelle appartenenti all'intervallo [16.000, 23.999].
- Per garantire l'univocità dell'etichetta MPLS, per ciascun nodo si definisce via configurazione, un **Node-SID**, e quindi l'etichetta associata al nodo viene automaticamente presa pari a “**base + Node-SID**”

• **NOTA IMPORTANTE:** i *Node-SID* assegnati devono essere **diversi da nodo a nodo**

Distribuzione delle etichette

- La distribuzione delle etichette avviene attraverso una **estensione dei protocolli IS-IS e OSPF**
 - RFC 8667 - *IS-IS Extensions for Segment Routing*, Dicembre 2019
 - Estensione IS-IS: utilizza nuovi **moduli TLV**
 - RFC 8665 - *OSPF Extensions for Segment Routing*, Dicembre 2019
 - Estensione OSPF: utilizza nuovi **LSA opachi**
- Esempio: annuncio dei segmenti di tipo *IGP-node*
 - Non viene annunciata l'etichetta in valore assoluto, ma **i due parametri del SRGB (base e ampiezza) e il Node-SID**

Un'applicazione importante: TI-LFA

- IP FRR **non garantisce una copertura 100% per qualsiasi topologia**
 - Il grado di copertura **dipende fortemente dalla topologia**
 - Esempio: in una topologia a quadrato non è mai possibile raggiungere il 100% di copertura
- Anche l'estensione *Remote LFA* non garantisce il 100% di copertura per tutte le topologie
- Soluzione ideale
 - Garantire una copertura al 100% per qualsiasi topologia di rete
 - Utilizzare percorsi di *backup* ottimali
- Protezione **TI-LFA (Topology Independent-LFA)**
 - Garantisce una **copertura al 100% per qualsiasi topologia di rete**
 - Utilizzo come *backup* dei *percorsi post-convergenza*
 - **Utilizzo del *Segment Routing* per veicolare il traffico sui percorsi post-convergenza**

LDP, RSVP-TE, SR: confronto

	<i>LDP</i>	<i>RSVP-TE</i>	<i>Segment Routing</i>
Supporto <i>Traffic Engineering</i>	No	Si	Si, ma con controllore centralizzato
Necessità di supporto dal protocollo IGP	No	No	Si
Supporto <i>LSP P2MP</i>	Si	Si	Non ancora
Supporto <i>LSP MP2MP</i>	Si	No	Non ancora
Semplicità configurazione	Si	Si, con <i>auto-tunnel</i>	È necessario assegnare <i>Node-SID</i> univoci
Carico del piano di controllo	Basso	Stato per-LSP, <i>Soft-State</i>	Basso
<i>Label</i> deterministiche	No	No	Solo per segmenti globali
Integrazione con <i>controller SDN</i>	N/A	Si (via <i>PCEP</i>)	Si (via <i>PCEP</i>)

In conclusione ...

- SR-MPLS è una semplice semplificazione del piano di controllo MPLS
 - SR-MPLS **non ha alcun impatto sui servizi MPLS!!!**
- Vantaggi
 - Nessuna necessità di protocolli aggiuntivi come LDP e/o RSVP-TE, le etichette MPLS sono annunciate attraverso estensioni dei protocolli IGP (OSPF o IS-IS)
 - Nessuna necessità di funzionalità aggiuntive come LDP-IGP *synchronization*
 - Consente una migliore protezione del traffico tramite **TI-LFA**
- Svantaggi
 - Pianificazione dei *Node-SID*, che vanno definiti e configurati manualmente (non necessario con LDP)

Di cosa parlerò ...

#1

Due parole su MPLS ...

#2

Distribuzione delle associazioni <FEC, etichetta>

#3

Segment Routing: principi generali

#4

Migrazione LDP → SR

#5

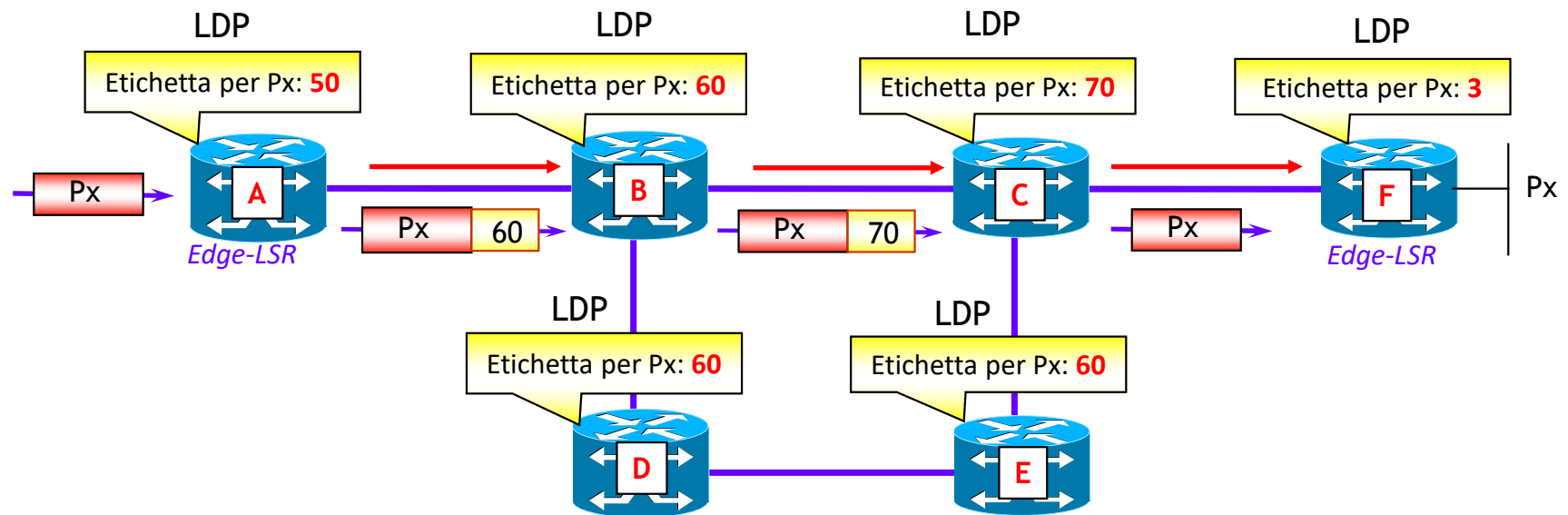
Dalla teoria alla pratica...

#6

Case study

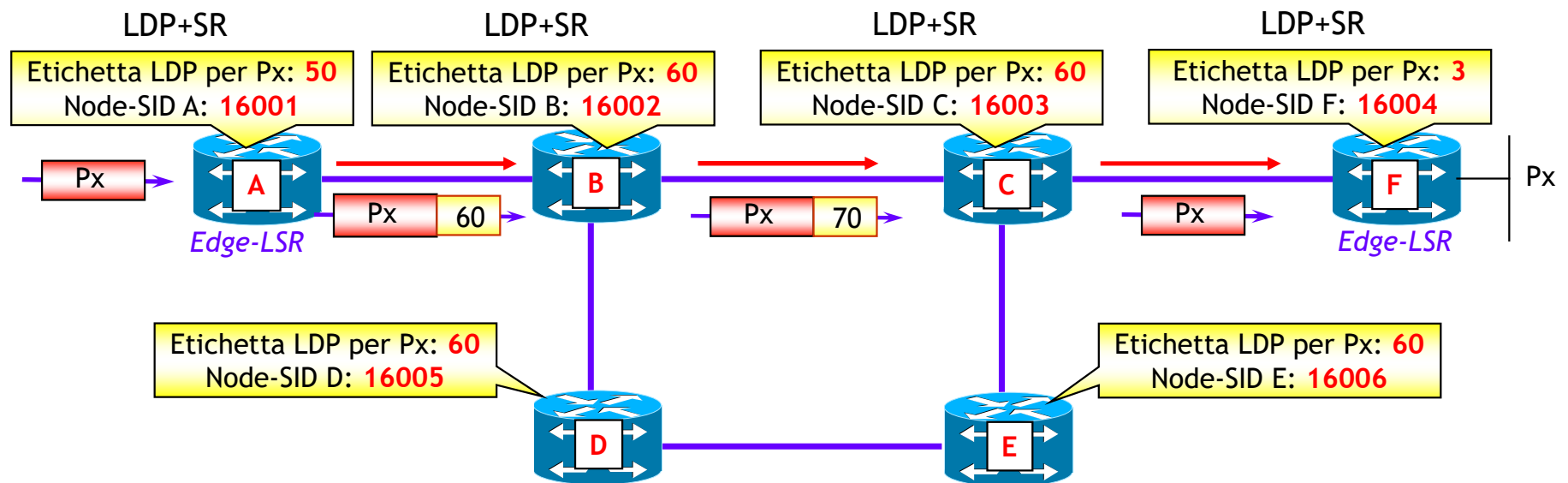
Stato iniziale

- IPOTESI: la rete utilizza per la distribuzione delle associazioni <FEC, etichetta> il solo protocollo LDP



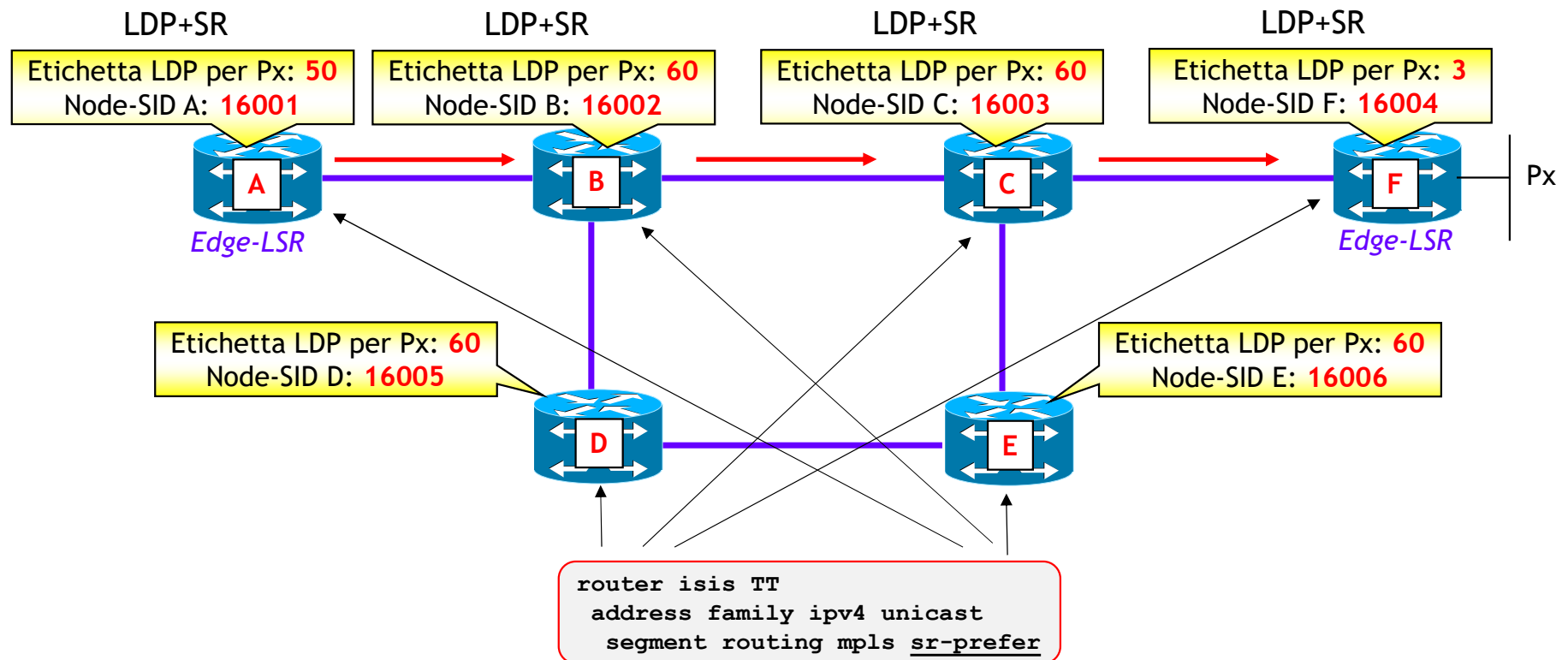
Attivazione del *Segment Routing*

- Primo passo: **attivare su tutti i router il *Segment Routing***
 - **NOTA BENE:** accertarsi preliminarmente che tutti i router supportino il *Segment Routing*
 - L'ordine con cui viene attivato il *Segment Routing* sui router è ininfluente
- Di default i router continuano ad utilizzare le etichette LDP



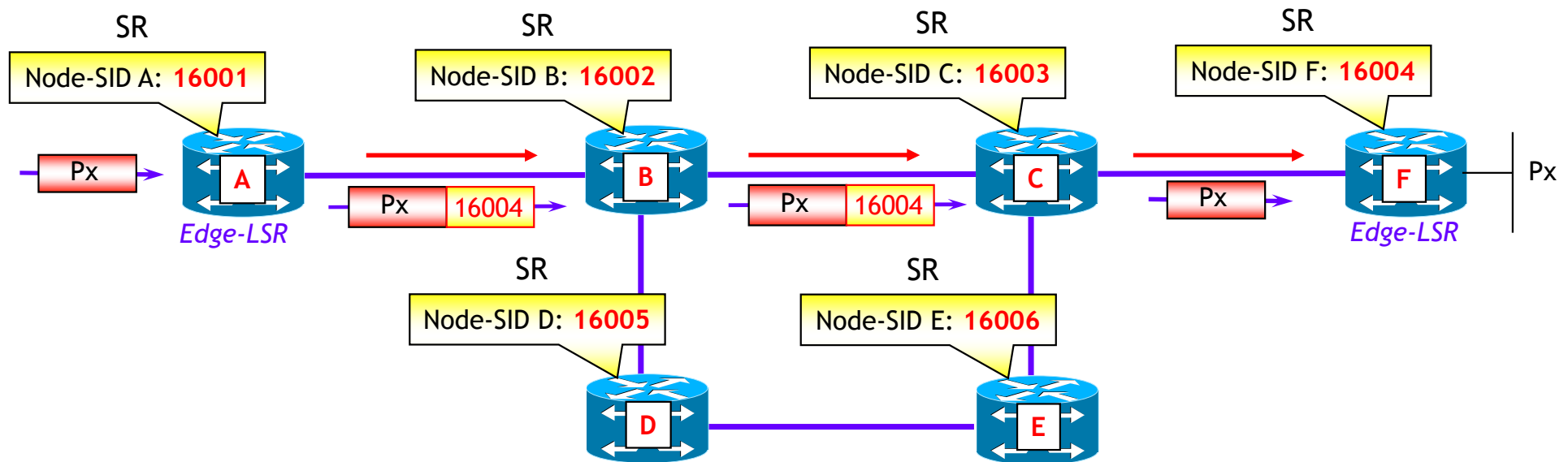
Attivazione del *Segment Routing*

- Secondo passo: su tutti i router **cambiare l'ordine di preferenza (da LDP a SR)**
 - L'ordine con cui viene fatto sui singoli router è ininfluente



Eliminazione di LDP

- Terzo passo: su tutti i router **eliminare LDP**
 - L'ordine con cui viene fatto sui singoli router è influente



Di cosa parlerò ...

#1

Due parole su MPLS ...

#2

Distribuzione delle associazioni <FEC, etichetta>

#3

Segment Routing: principi generali

#4

Migrazione LDP → SR

#5

Dalla teoria alla pratica...

#6

Case study

Definizione del SRGB

- IOS XR

- Default: base = 16.000 - Ampiezza = 8.000

```
RP/0/RP0/CPU0:PE(config)# router {ospf | isis} nome-istanza
RP/0/RP0/CPU0:PE(config-isis)# segment-routing global-block base base+range-1
```

- JunOS

- Default: base = 0 - Ampiezza = 4.096

```
[edit protocols ospf | isis]
source-packet-routing {
  srgb start-label base index-range ampiezza;
}
```

- **Best practice:** utilizzare lo stesso SRGB su tutti i router

- Etichette «riconoscibili»
- Semplifica il *troubleshooting*
- Semplifica le operazioni del *controller*

Abilitazione del SR e definizione del Node-SID

- IOS XR (OSPF)

```
RP/0/RP0/CPU0:PE(config)# router ospf nome-istanza
RP/0/RP0/CPU0:PE(config-ospf)# area area-ID
RP/0/RP0/CPU0:PE(config-ospf-ar)# segment-routing mpls
RP/0/RP0/CPU0:PE(config-ospf-ar)# interface Loopback N
RP/0/RP0/CPU0:PE(config-ospf-ar-if)# prefix-sid {index indice | absolute Node-SID}
```

- IOS XR (IS-IS)

```
RP/0/RP0/CPU0:PE(config)# router isis nome-istanza
RP/0/RP0/CPU0:PE(config-isis)# address-family ipv4 unicast
RP/0/0/CPU0:P1-1(config-isis-af)# segment-routing mpls
RP/0/0/CPU0:P1-1(config-isis-af)# exit
RP/0/0/CPU0:P1-1(config-isis)# interface Loopback N
RP/0/0/CPU0:P1-1(config-isis-if)# address-family ipv4 unicast
RP/0/0/CPU0:P1-1(config-isis-if-af)# prefix-sid {index indice | absolute Node-SID}
```

Esempio (IS-IS)

```
router isis TT
 address-family ipv4 unicast
  metric-style wide
  segment-routing mpls
 !
 address-family ipv6 unicast
  metric-style wide
  segment-routing mpls
 !
 interface Loopback0
  passive
  address-family ipv4 unicast
   prefix-sid index 11
  address-family ipv6 unicast
   prefix-sid index 4011
```

Abilitazione delle metriche estese

Abilitazione del piano di controllo SR IPv4/IPv6 e del piano dati SR-MPLS su tutte le interfacce parte dell'istanza IS-IS

Definizione del Prefix-SID IPv4 (valore assoluto 16011)

Definizione del Prefix-SID IPv6 (valore assoluto 20011)

Esempio (OSPF)

```
router ospf TT
router-id 192.168.1.1
segment-routing mpls
!
area 0
interface Loopback0
passive enable
prefix-sid index 11
```

Abilitazione del piano di controllo SR e del piano dati SR-MPLS su tutte le aree OSPF

Definizione del Prefix-SID (valore assoluto 16011)

Abilitazione di TI-LFA

```
router isis TT
  address-family ipv4 unicast
    metric-style wide
    segment-routing mpls
  !
  interface Loopback0
    address-family ipv4 unicast
    prefix-sid index 11
  !
  interface GigabitEthernet 0/0/0/0
    address-family ipv4 unicast
    fast-reroute per-prefix ti-lfa
  !
  interface GigabitEthernet 0/0/0/1
    address-family ipv4 unicast
    fast-reroute per-prefix ti-lfa
```

Abilitazione di TI-LFA

Abilitazione di TI-LFA: esempio

- Solo con IP FRR

```
RP/0/0/CPU0:PE1-1# show isis fast-reroute summary
. . . .

```

	Critical Priority	High Priority	Medium Priority	Low Priority	Total
Prefixes reachable in L2					
All paths protected	0	0	0	1	1
Some paths protected	0	0	0	0	0
Unprotected	0	0	9	17	26
Protection coverage	0.00%	0.00%	0.00%	5.56%	3.70%

- Con TI-LFA

```
RP/0/0/CPU0:PE1-1# show isis fast-reroute summary
. . . .

```

	Critical Priority	High Priority	Medium Priority	Low Priority	Total
Prefixes reachable in L2					
All paths protected	0	0	0	1	1
Some paths protected	0	0	0	0	0
Unprotected	0	0	9	17	26
Protection coverage	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%

Di cosa parlerò ...

#1

Due parole su MPLS ...

#2

Distribuzione delle associazioni <FEC, etichetta>

#3

Segment Routing: principi generali

#4

Migrazione LDP → SR

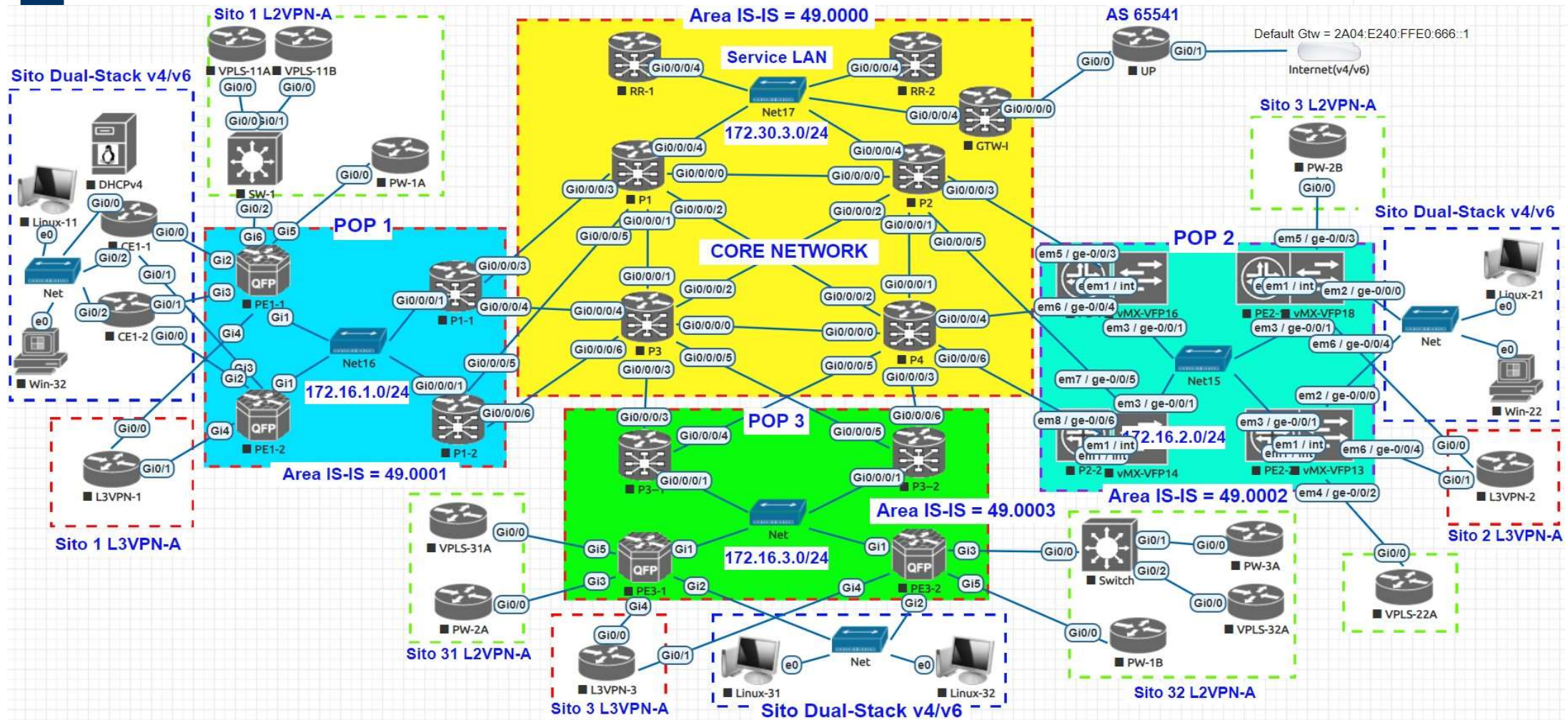
#5

Dalla teoria alla pratica...

#6

Case study

Topologia della rete



Obiettivi del *case study*

- Abilitare il Segment Routing
 - La rete iniziale utilizza per la distribuzione delle etichette MPLS il classico protocollo LDP
 - Protocollo IGP utilizzato: IS-IS
 - Definizione manuale dei *Node-SID*
 - Nessun *controller* esterno
- Mostrare la migrazione LDP → SR
- Abilitare TI-LFA

Ultima Diapositiva (finalmente ...)



Grazie per l'attenzione...