

25 ottobre 2024

La Galassia del Routing IP

Il cuore dell'Internet



XV[^] puntata - Servizi MPLS

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 Una panoramica sui servizi MPLS ...

#2 Architettura di routing BGP *core-free*

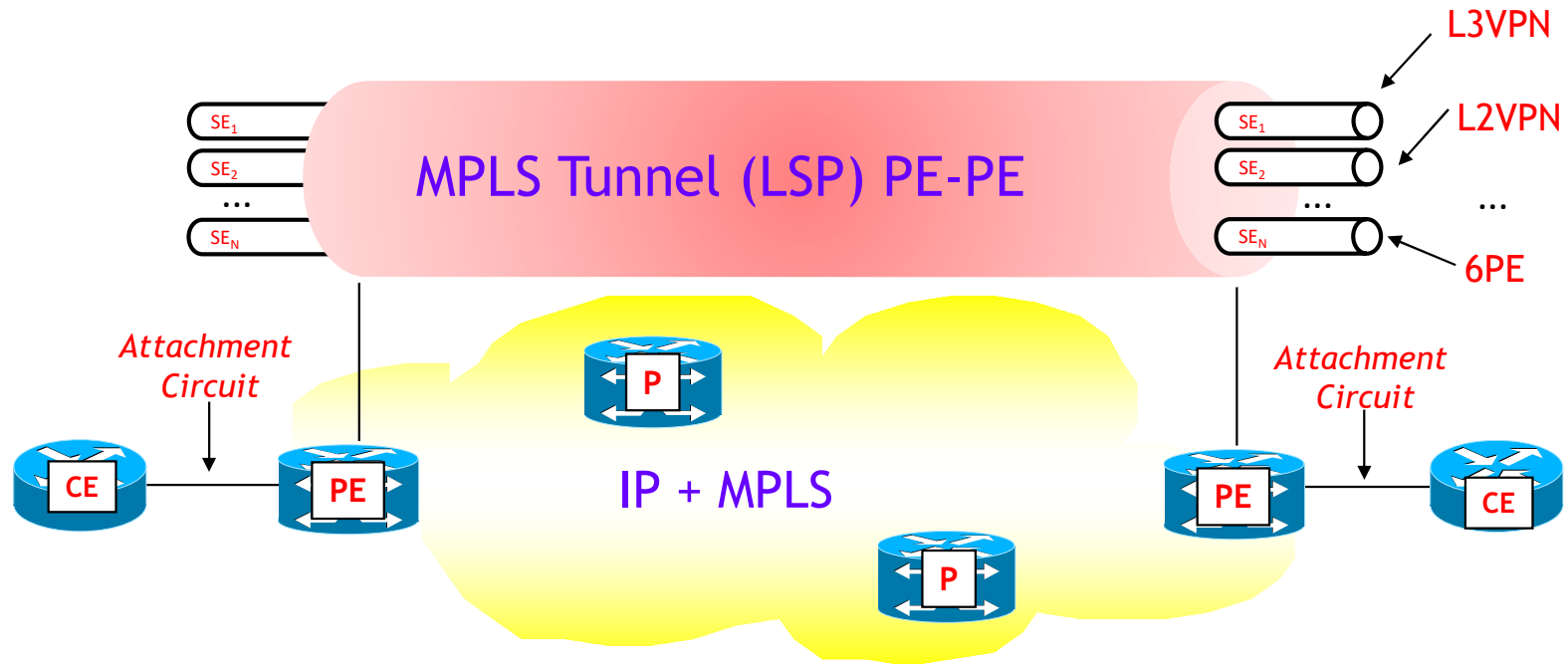
#3 I servizi L3VPN

#4 I servizi L2VPN

#5 I servizi di trasporto IPv6

#6 *Case study*

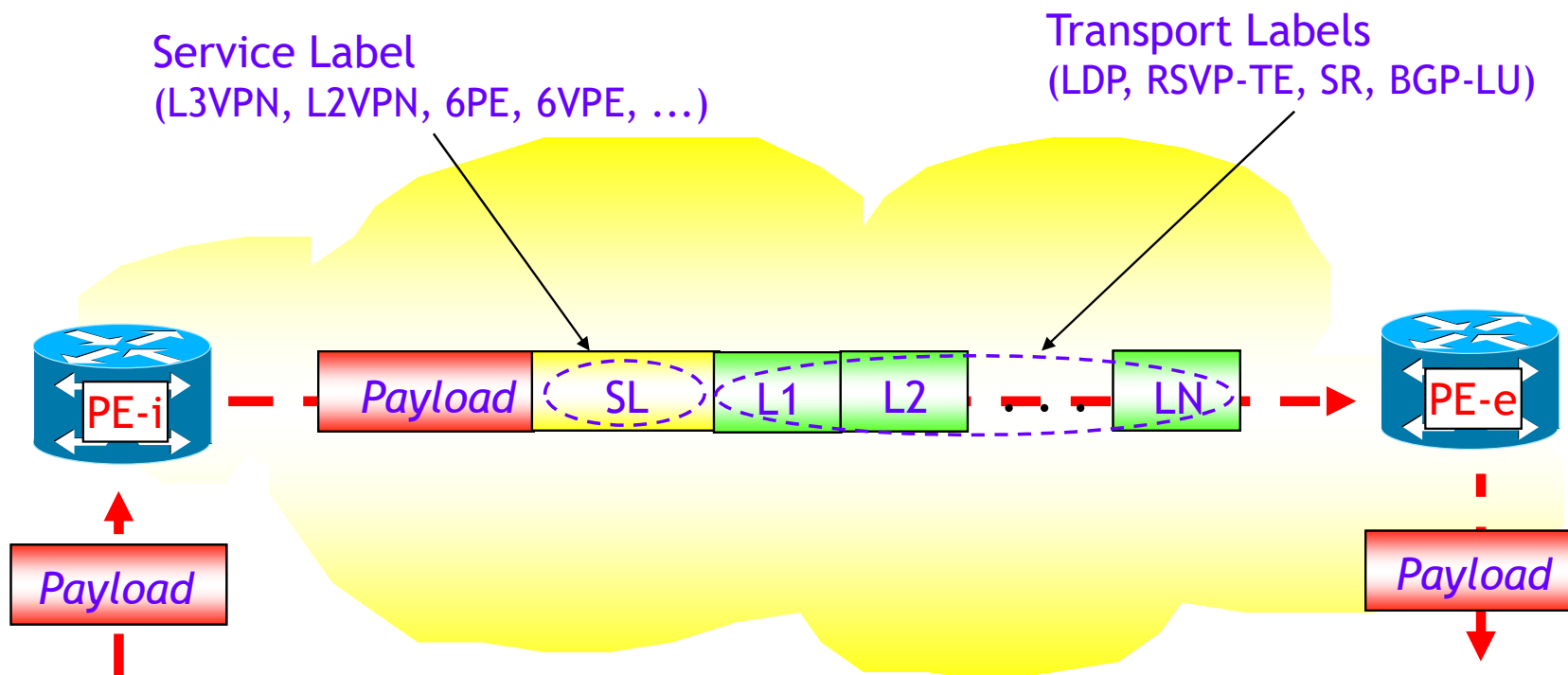
Un tunnel (LSP) per tutti i servizi



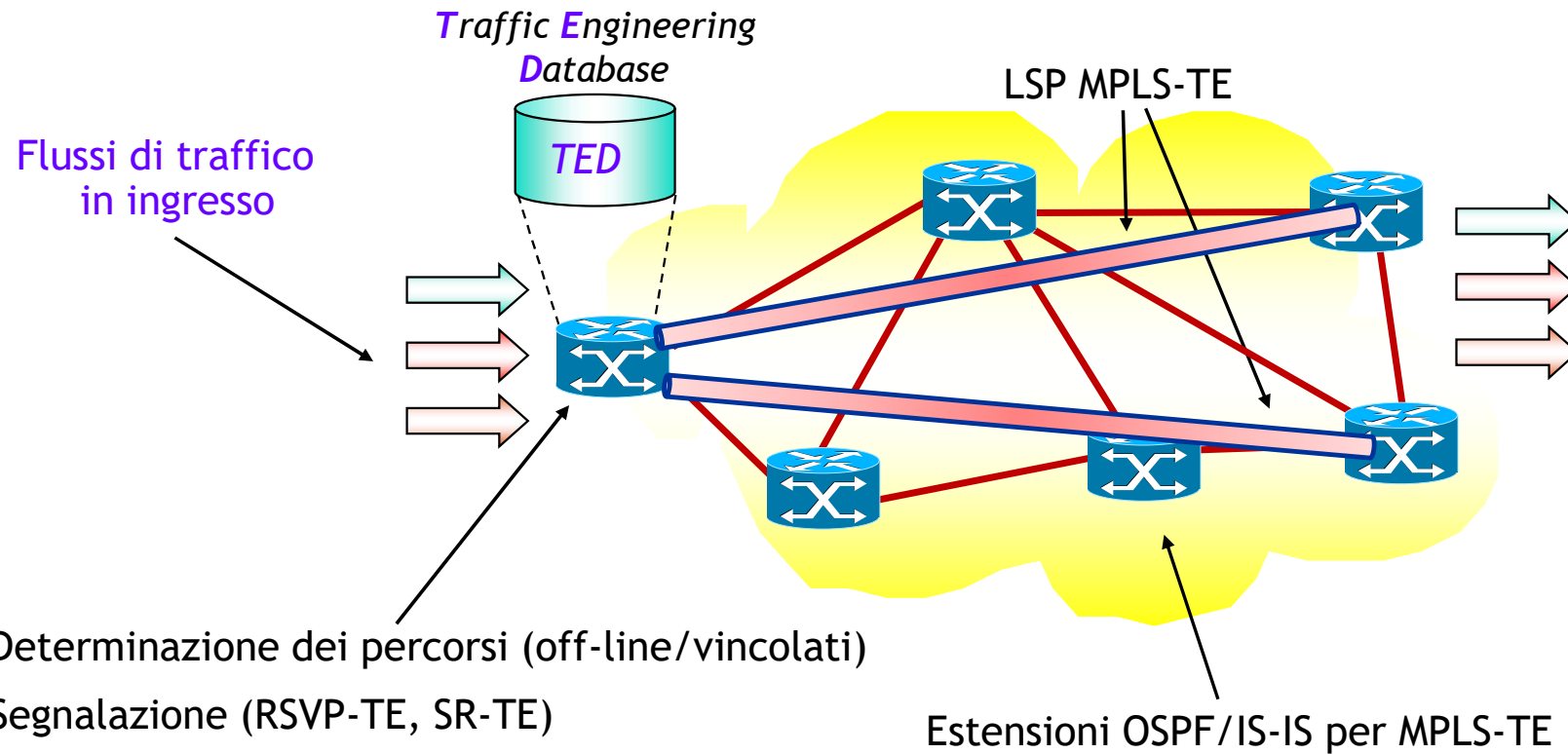
- **CE:** Customer Equipment
- **PE:** Provider Edge
- **P:** Provider (transit router)

La service label ...

- È una “**istruzione**” per il PE di uscita a svolgere un determinato servizio
 - Viene **annunciata** dal PE di uscita al PE di ingresso (tipicamente via BGP, a parte una eccezione)

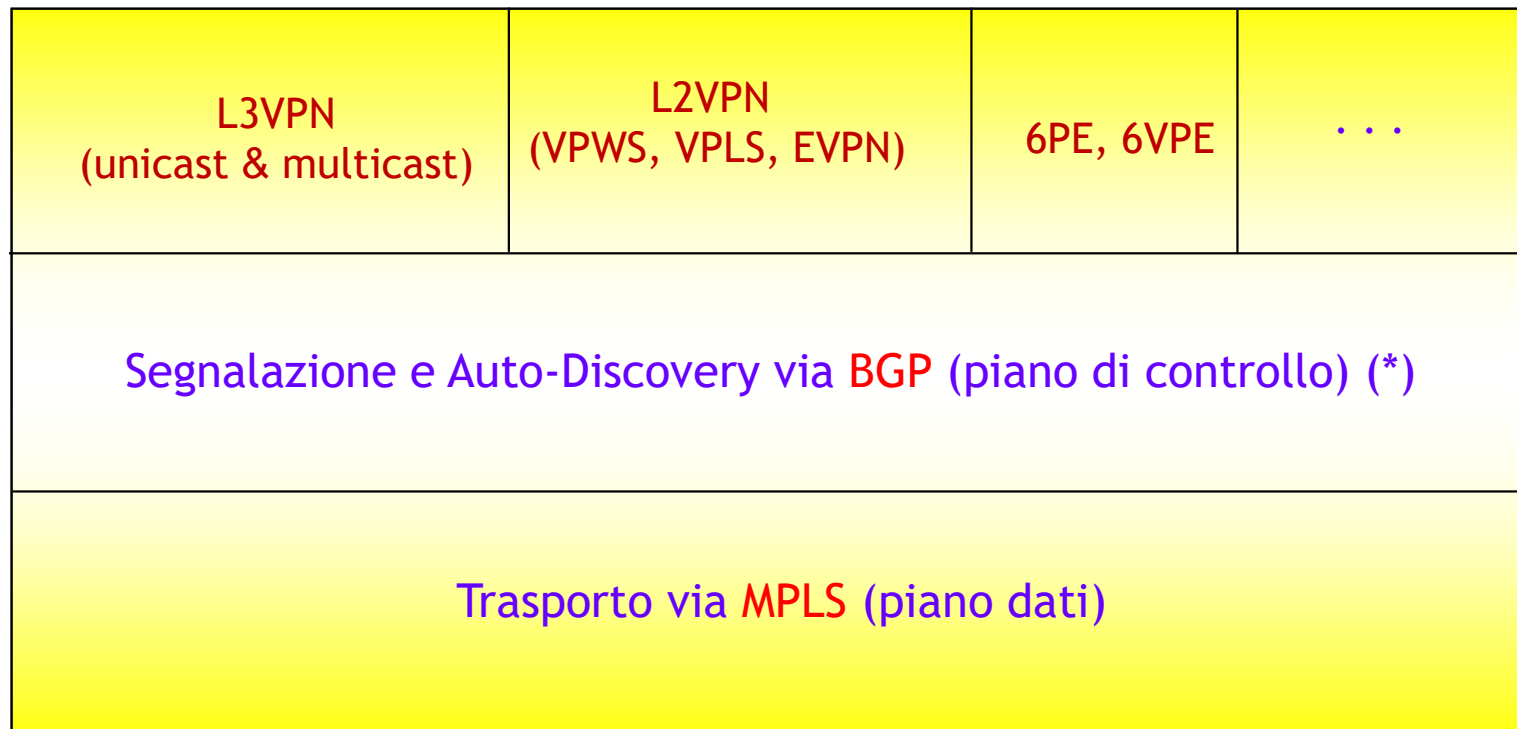


Il servizio MPLS Traffic Engineering



- Determinazione dei percorsi (off-line/vincolati)
- Segnalazione (RSVP-TE, SR-TE)

I servizi BGP/MPLS



(*) ad eccezione dei servizi L2VPN punto-punto (pseudowire)

Di cosa parlerò ...

#1 Una panoramica sui servizi MPLS ...

#2 Architettura di routing BGP *core-free*

#3 I servizi L3VPN

#4 I servizi L2VPN

#5 I servizi di trasporto IPv6

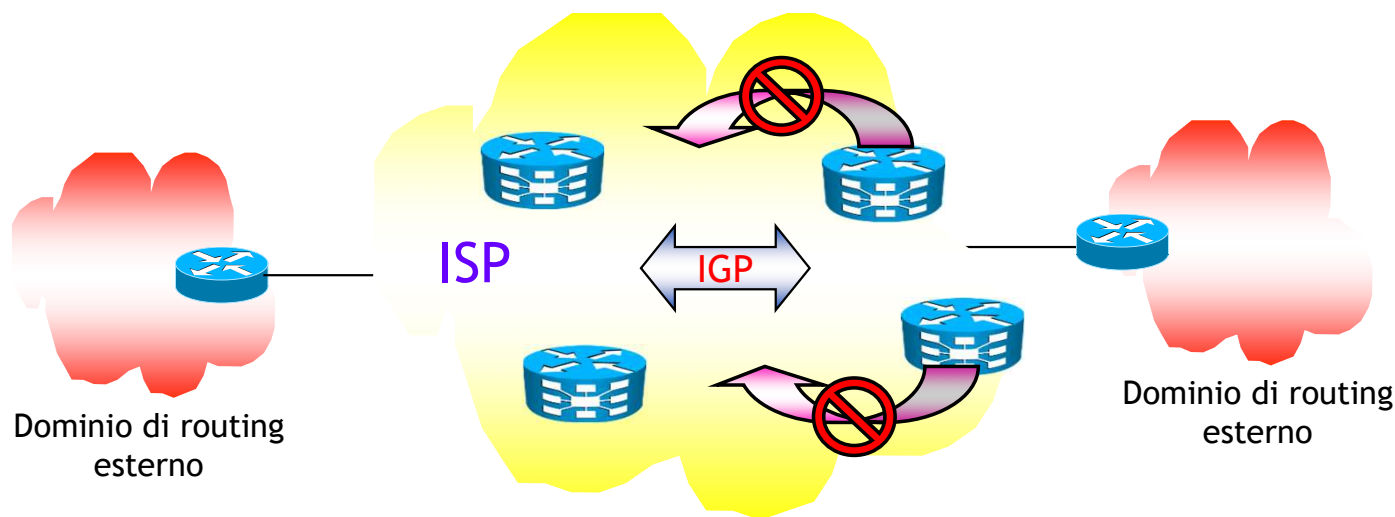
#6 *Case study*

Architettura di routing generale (1/2)

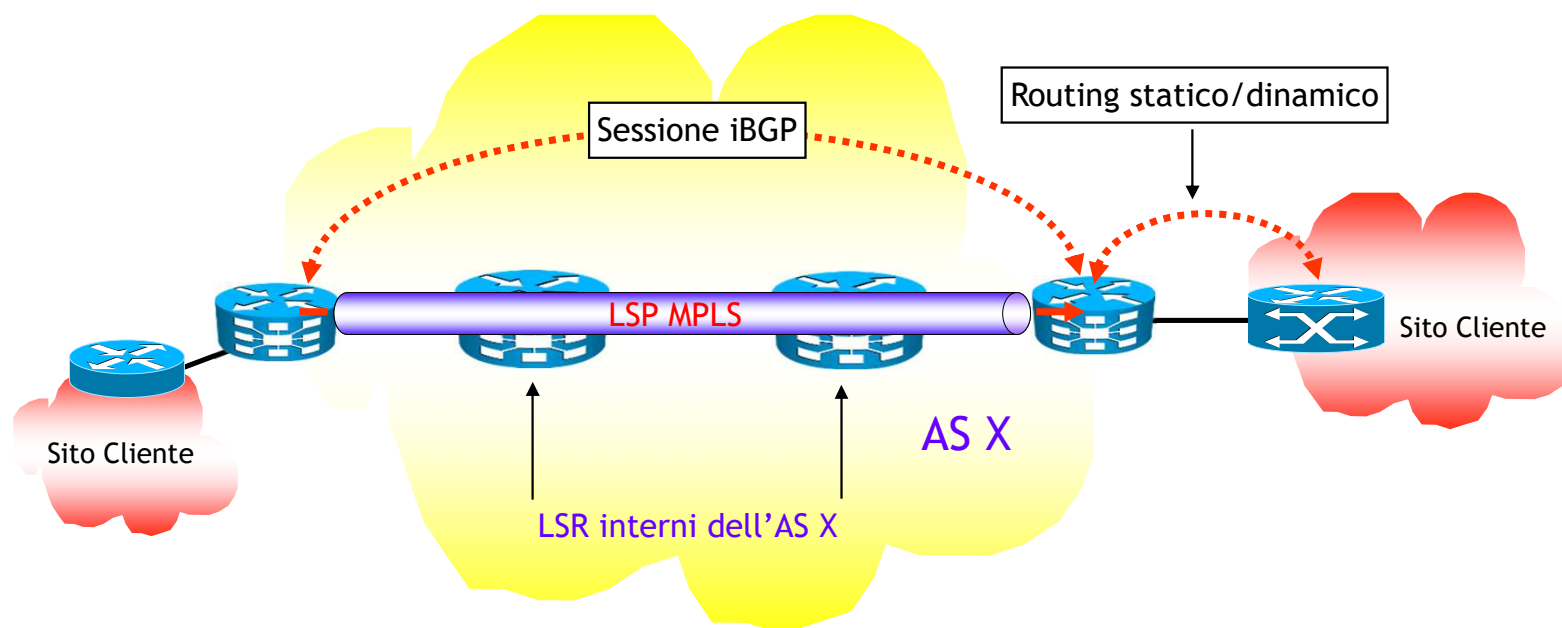
- Le moderne reti degli ISP utilizzano una **architettura di routing basata su un protocollo IGP e su sessioni iBGP**
 - Si utilizzano **protocolli IGP di tipo *Link-State* (OSPF o IS-IS)**
- **Ruolo del protocollo IGP**
 - Gestire i percorsi **tra i soli router dell'ISP** (in particolare tra interfacce di Loopback dei router di *edge*)
- **Ruolo delle sessioni iBGP**
 - Importare all'interno della rete le informazioni di routing **esterne all'AS**
 - Reti dei Clienti
 - Reti di Clienti di altri ISP

Architettura di routing generale (2/2)

- Regola fondamentale: **redistribuire i prefissi esterni all'AS nel processo BGP e non nel processo IGP**
 - I protocolli IGP non sono stati progettati per gestire grosse quantità di prefissi
 - **Possibili conseguenze** della redistribuzione dei prefissi esterni in IGP
 - Tempi convergenza molto lunghi
 - Occupazione di memoria molto elevata
 - Nessun protocollo IGP è in grado di gestire la “*Full Routing Table*” ($\approx 1M$ righe previste a fine 2024)

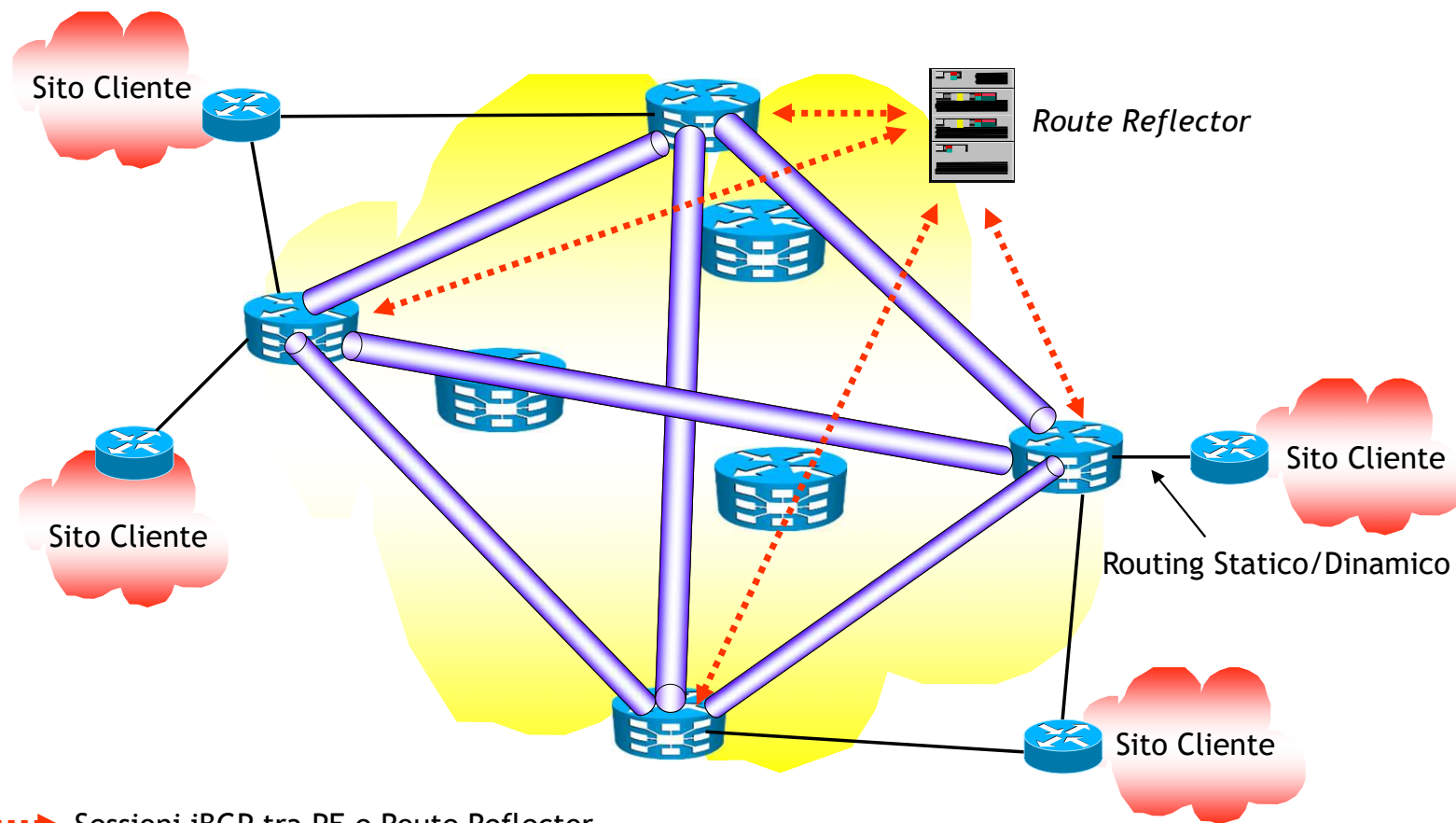


Architettura di routing BGP/MPLS (1/2)



- L'idea chiave: **eliminare il BGP dai LSR interni (architettura *BGP core-free*)**
 - Vantaggi
 - Sessioni iBGP solo PE-PE (tipicamente realizzate via *Route Reflector*)
 - Risparmio di memoria e maggiore velocità di *forwarding* sui LSR interni (router P)
 - Maggiore velocità di convergenza del protocollo IGP

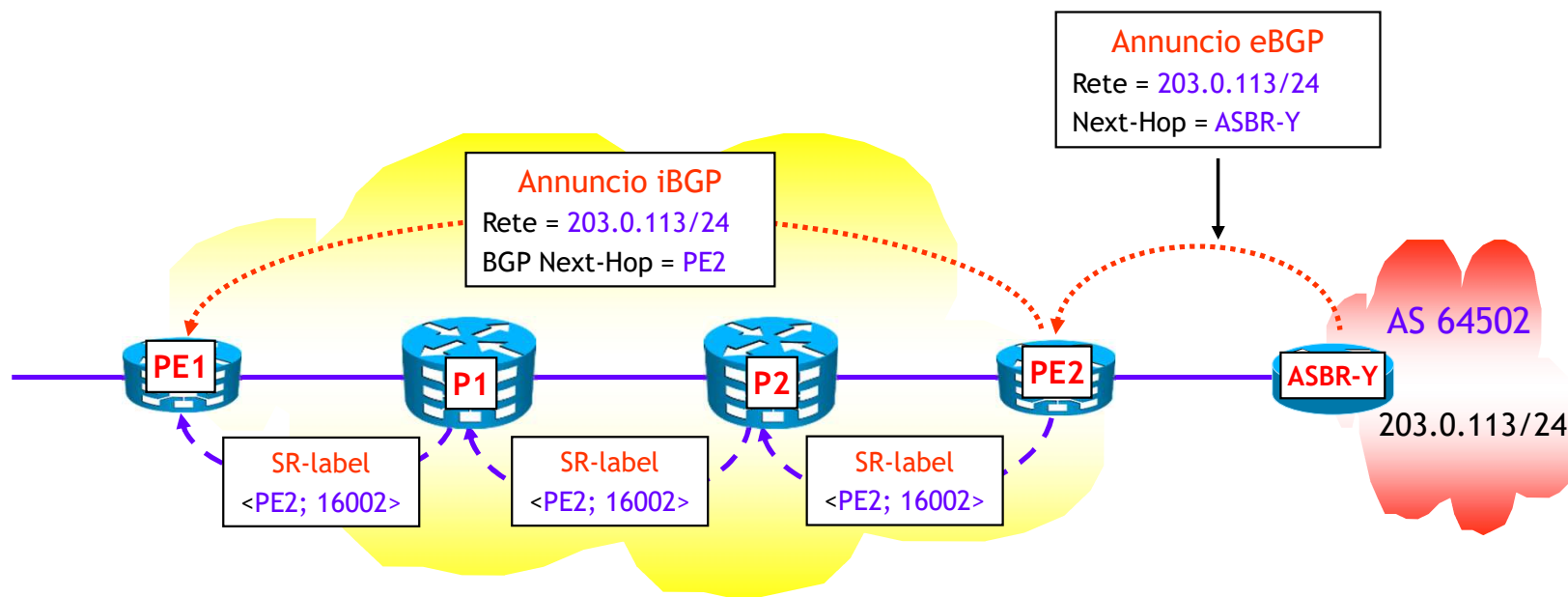
Architettura di routing BGP/MPLS (2/2)



← - - - - - → Sessioni iBGP tra PE e Route Reflector

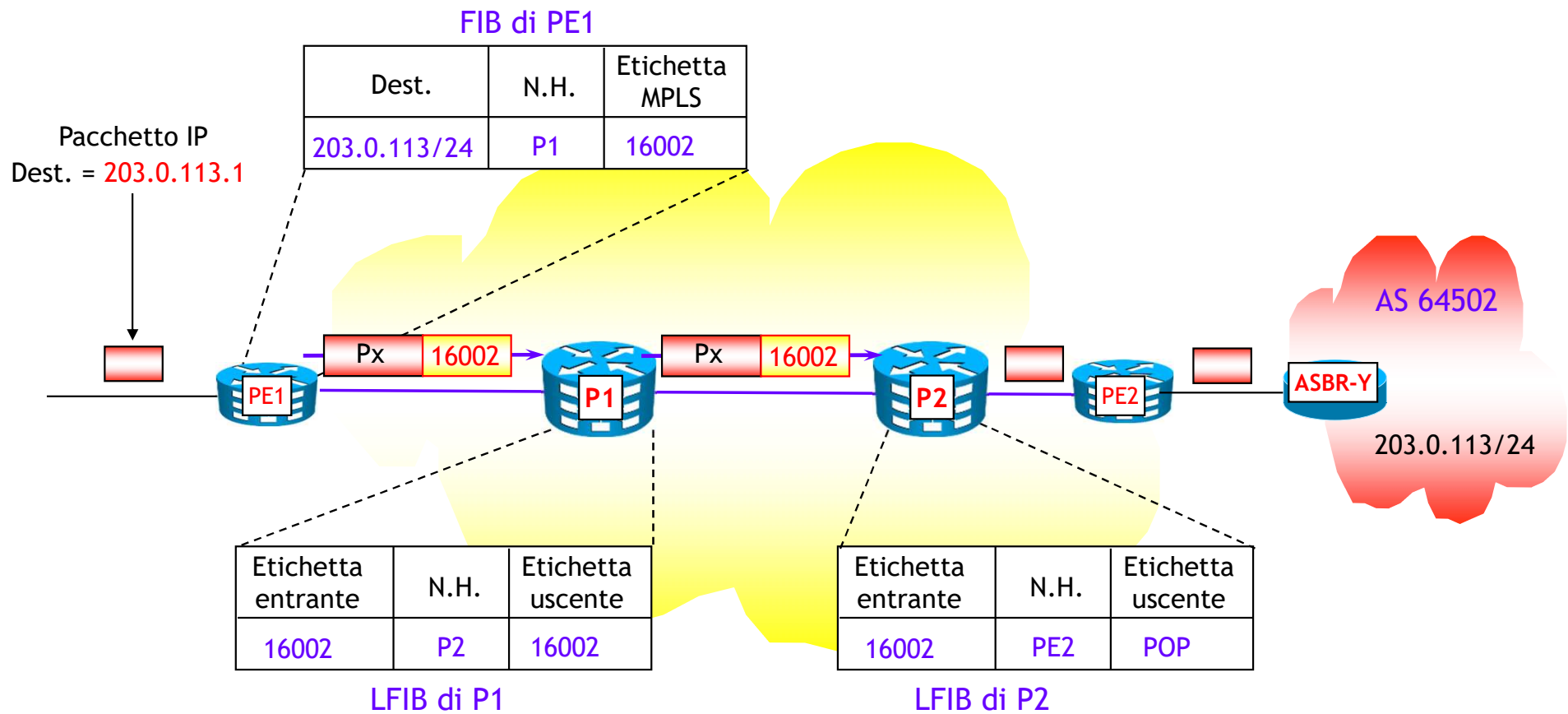
— — — — — LSP MPLS PE-PE

Funzionamento: piano di controllo



- Regola fondamentale: per gli annunci BGP, MPLS non associa alcuna etichetta alla rete annunciata ma utilizza sul piano dati il LSP MPLS che termina sul *BGP Next-Hop*

Funzionamento: piano dati



Di cosa parlerò ...

#1 Una panoramica sui servizi MPLS ...

#2 Architettura di routing BGP *core-free*

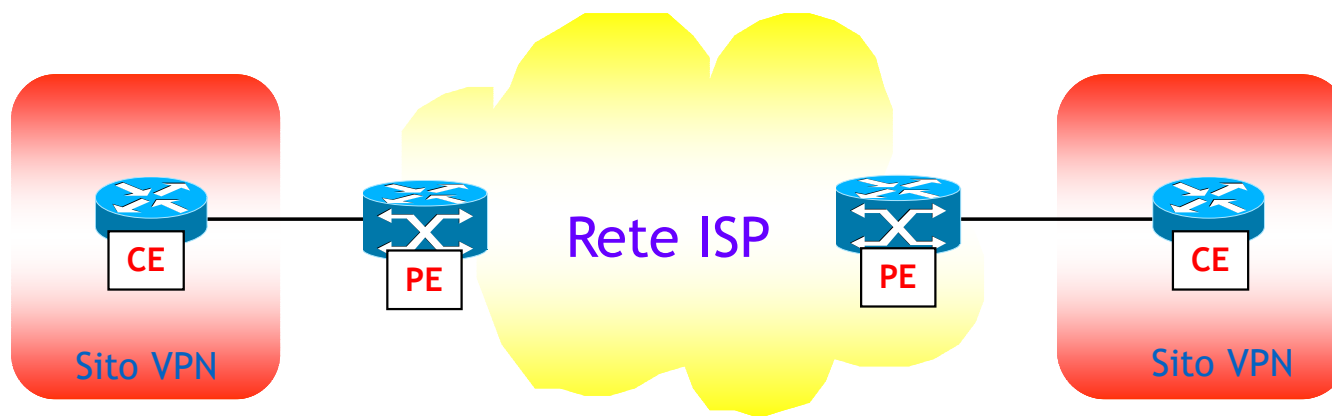
#3 I servizi L3VPN

#4 I servizi L2VPN

#5 I servizi di trasporto IPv6

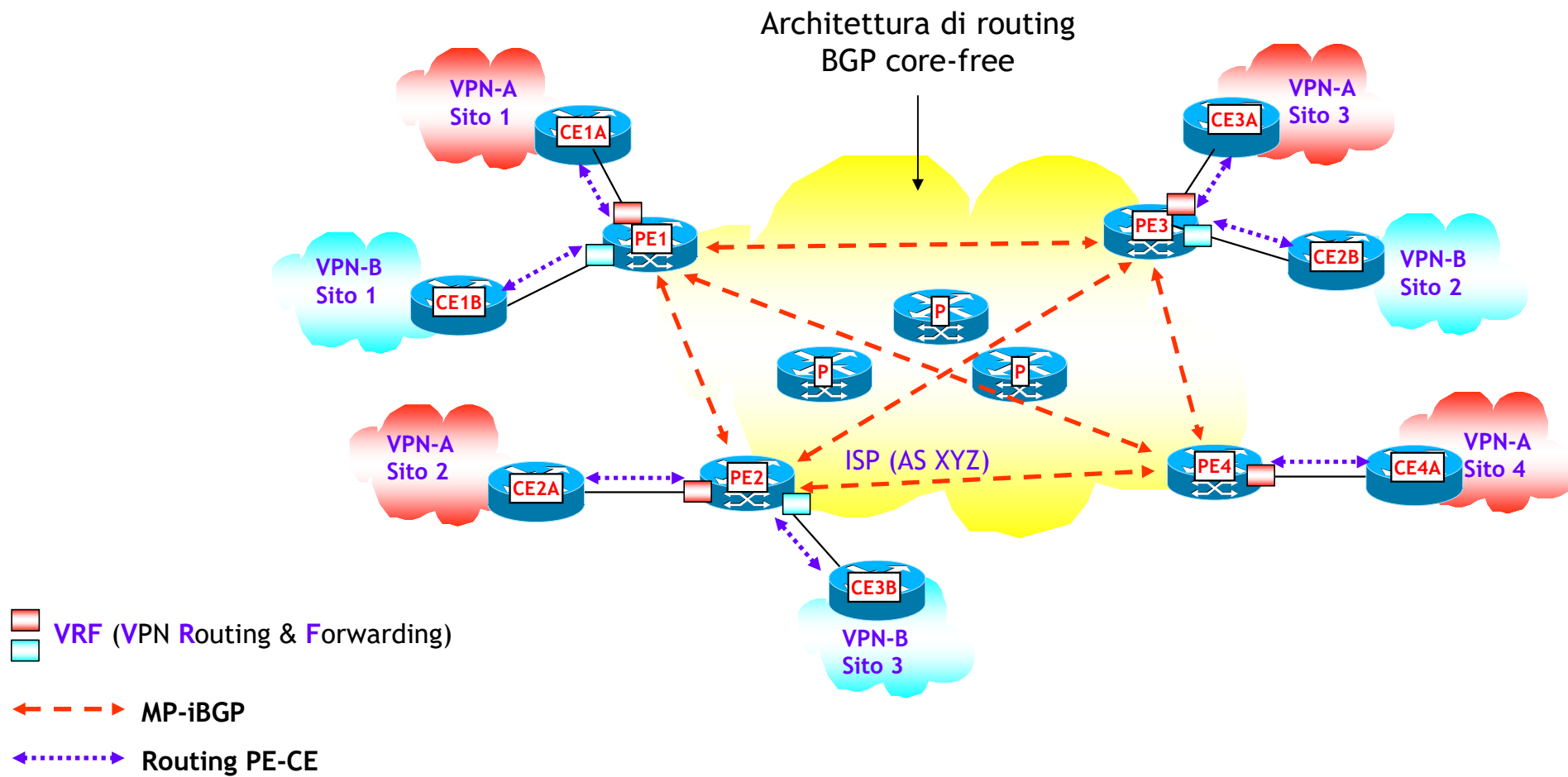
#6 *Case study*

Caratteristiche

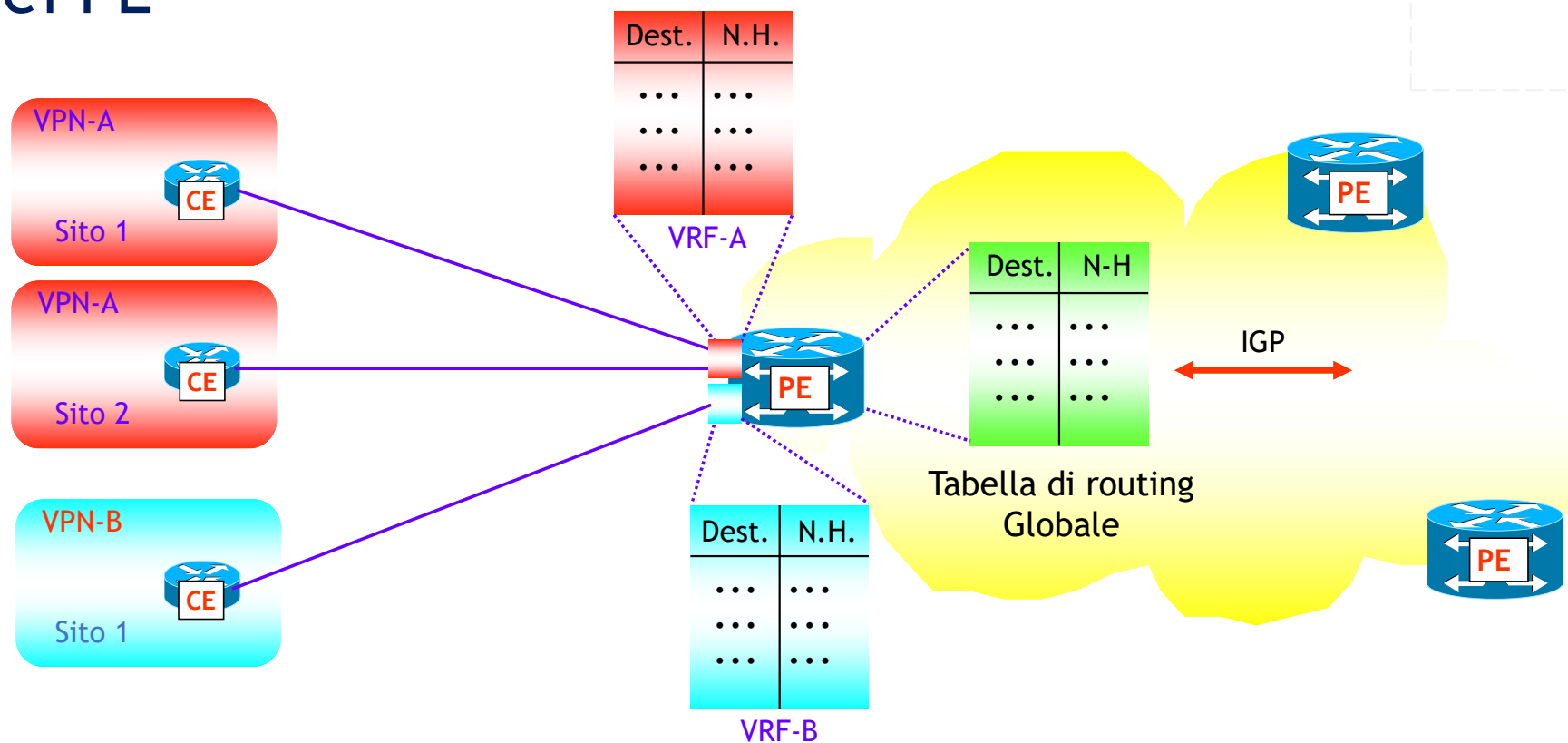


- Le Reti Private Virtuali BGP/MPLS sono basate su un *modello peer-to-peer*
 - Superano i problemi di scalabilità e di gestione dei piani di numerazione dei Clienti
- Vantaggi
 - Architettura standard (RFC 4364, aggiornamento della RFC 2547bis)
 - Semplicità e flessibilità di realizzazione delle VPN (es. possibilità di realizzare svariate topologie)
 - Possibilità di utilizzo di piani di numerazione arbitrari

Visione logica

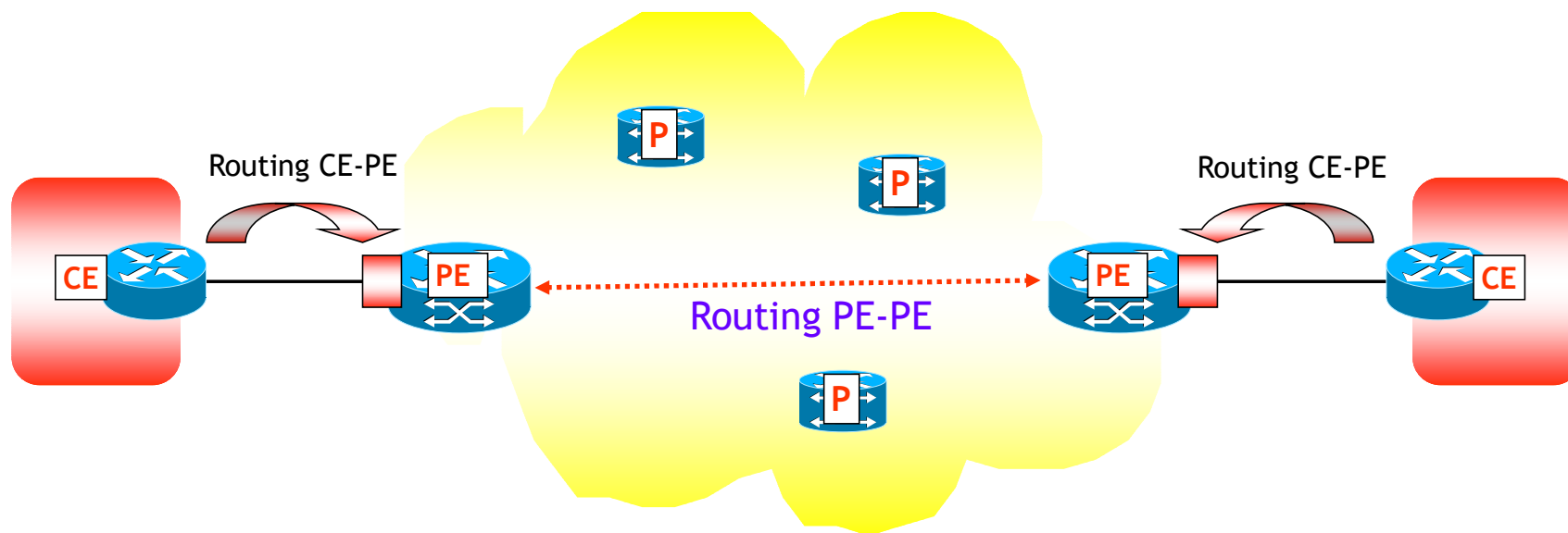


Le RIB nei PE



- Due tipi di tabelle di routing
 - Tabella di routing **globale**
 - Tabelle di routing associate alle **VRF**

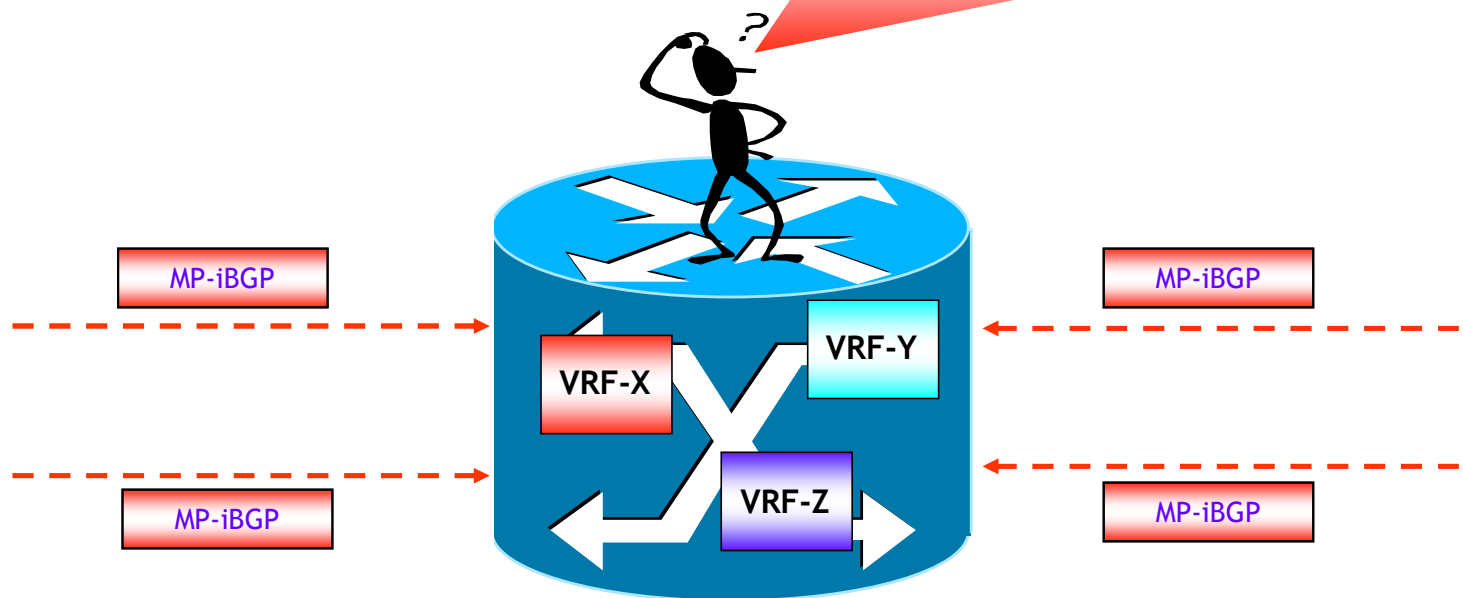
Popolazione delle VRF (1/2)



- Routing **CE-PE**: qualsiasi (Statico, RIP, OSPF, BGP, ecc.)
- Routing **PE-PE**: **MP-iBGP** = Multi Protocol-internal **BGP**

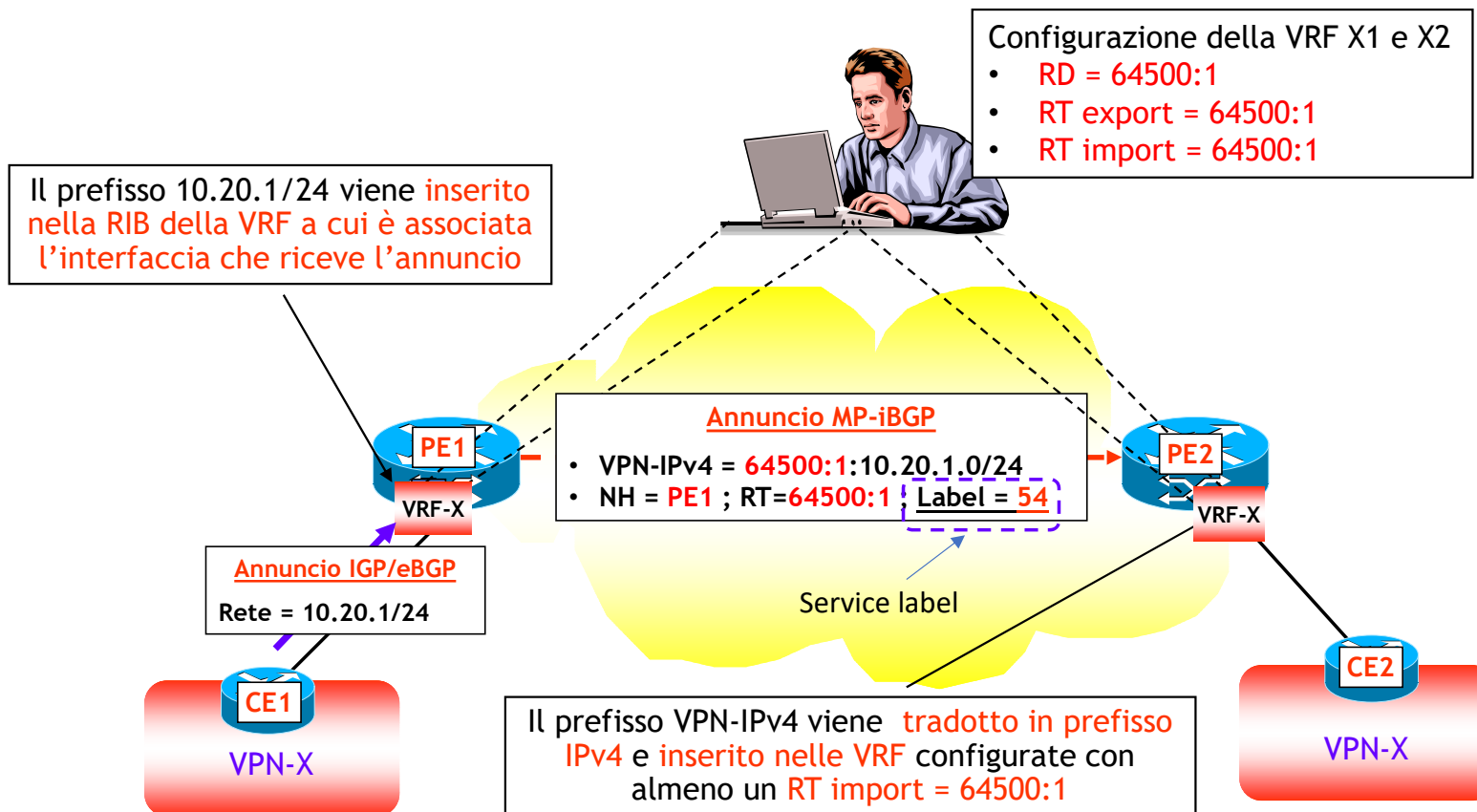
Popolazione delle VRF (2/2)

Mamma mia quanti problemi!!!
Come distingo prefissi identici di diverse VPN?
Come faccio a sapere in quale VRF memorizzare i prefissi?
Per fortuna che ci sono i [Route Distinguisher](#) e i [Route Target](#)!!!



---> Sessione MP-iBGP

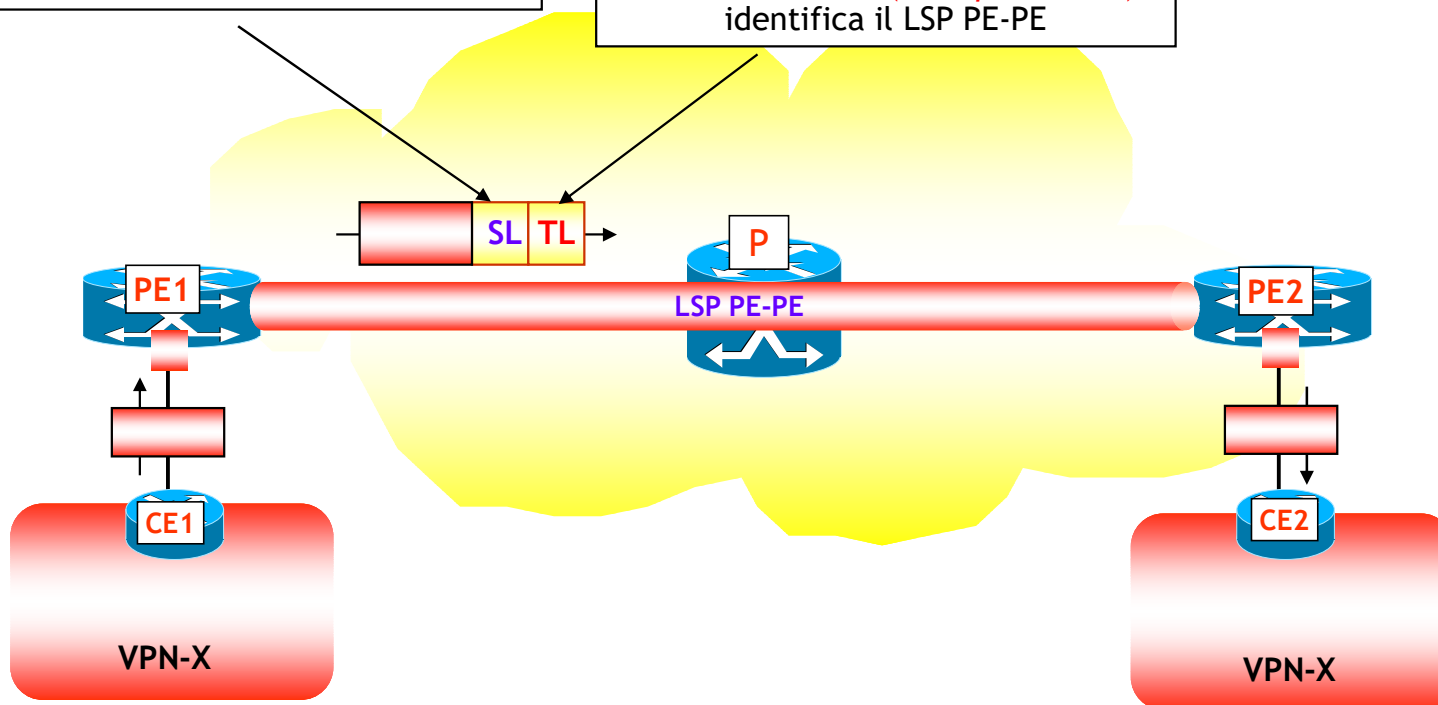
Popolazione delle VRF: esempio



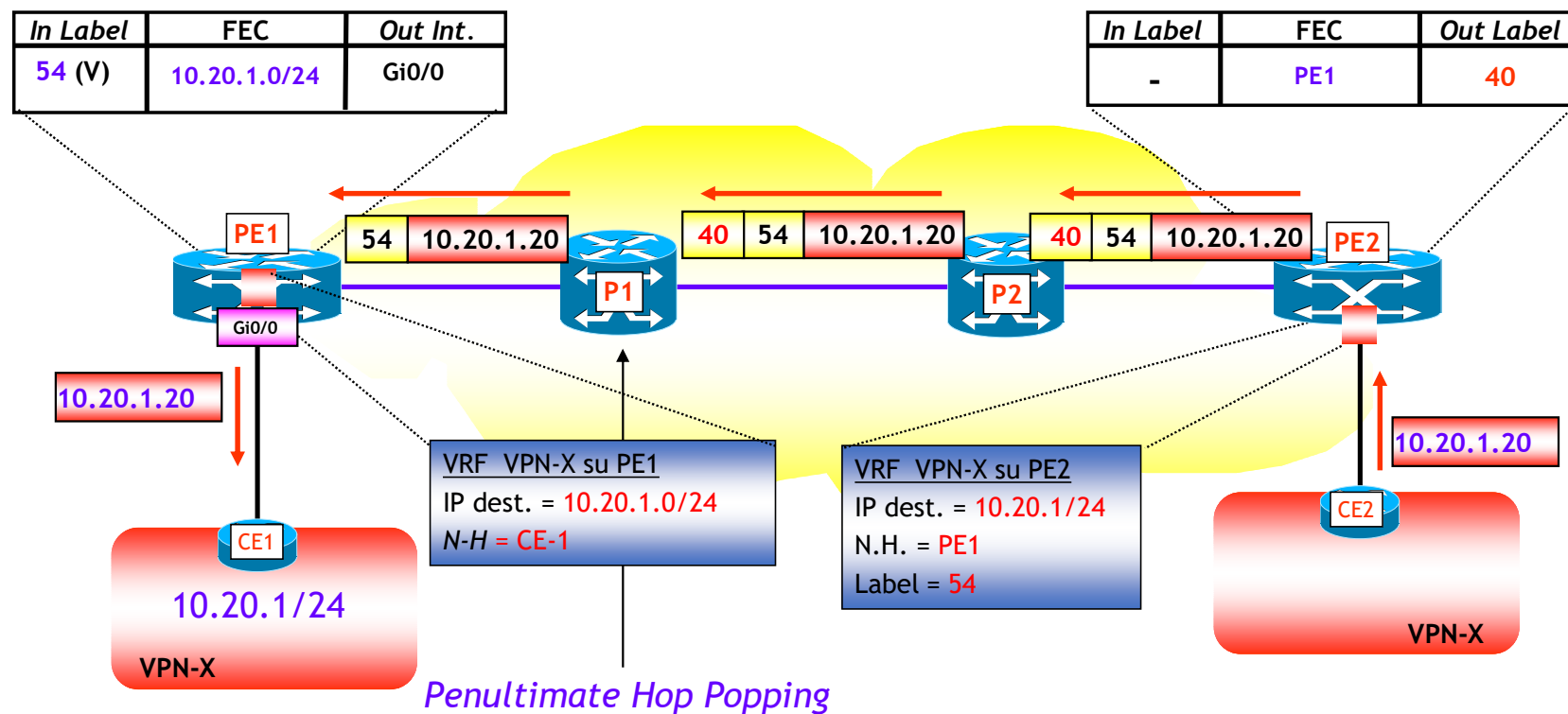
Il piano dati

Etichetta **interna (Service label)**: serve al PE di destinazione per decidere a quale VPN appartiene il pacchetto

Etichetta **esterna (Transport label)**: identifica il LSP PE-PE



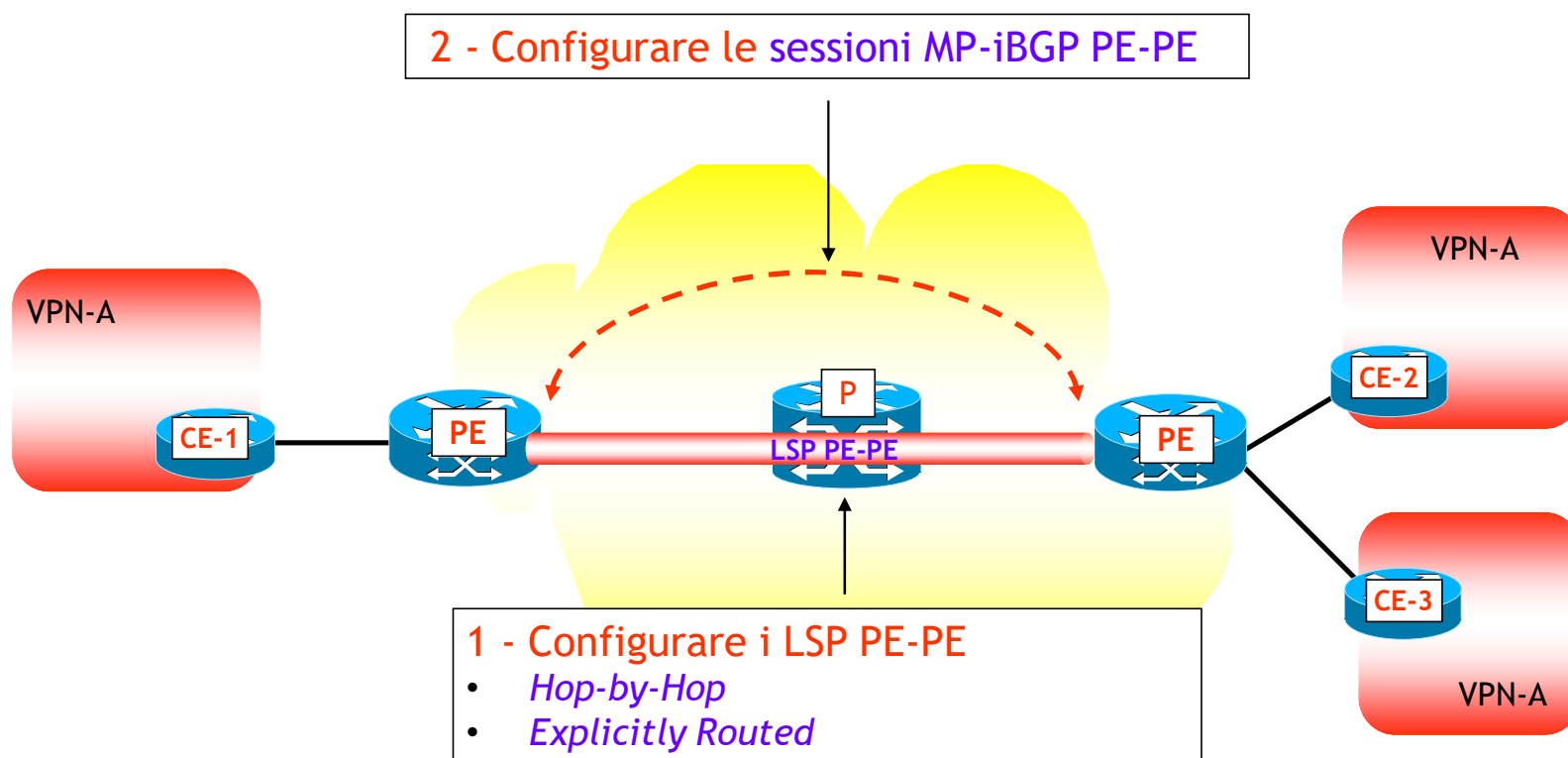
Il piano dati: esempio



- NOTA: l'etichetta interna (*Service label*) è segnalata da PE1 a PE2 via MP-iBGP

Realizzazione di un servizio L3VPN (1/2)

- A livello di **rete dell'ISP**

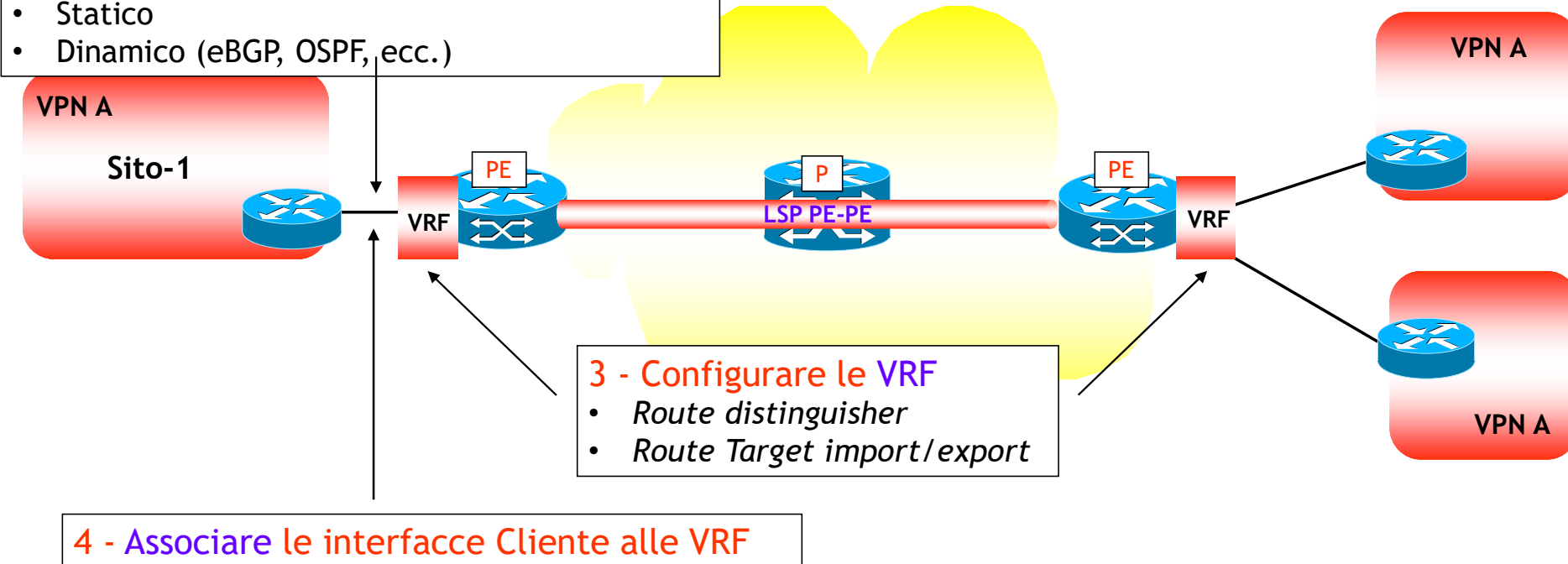


Realizzazione di un servizio L3VPN (2/2)

- Lato **Cliente**

5 - Configurare il routing PE-CE

- Statico
- Dinamico (eBGP, OSPF, ecc.)



Di cosa parlerò ...

#1 Una panoramica sui servizi MPLS ...

#2 Architettura di routing BGP *core-free*

#3 I servizi L3VPN

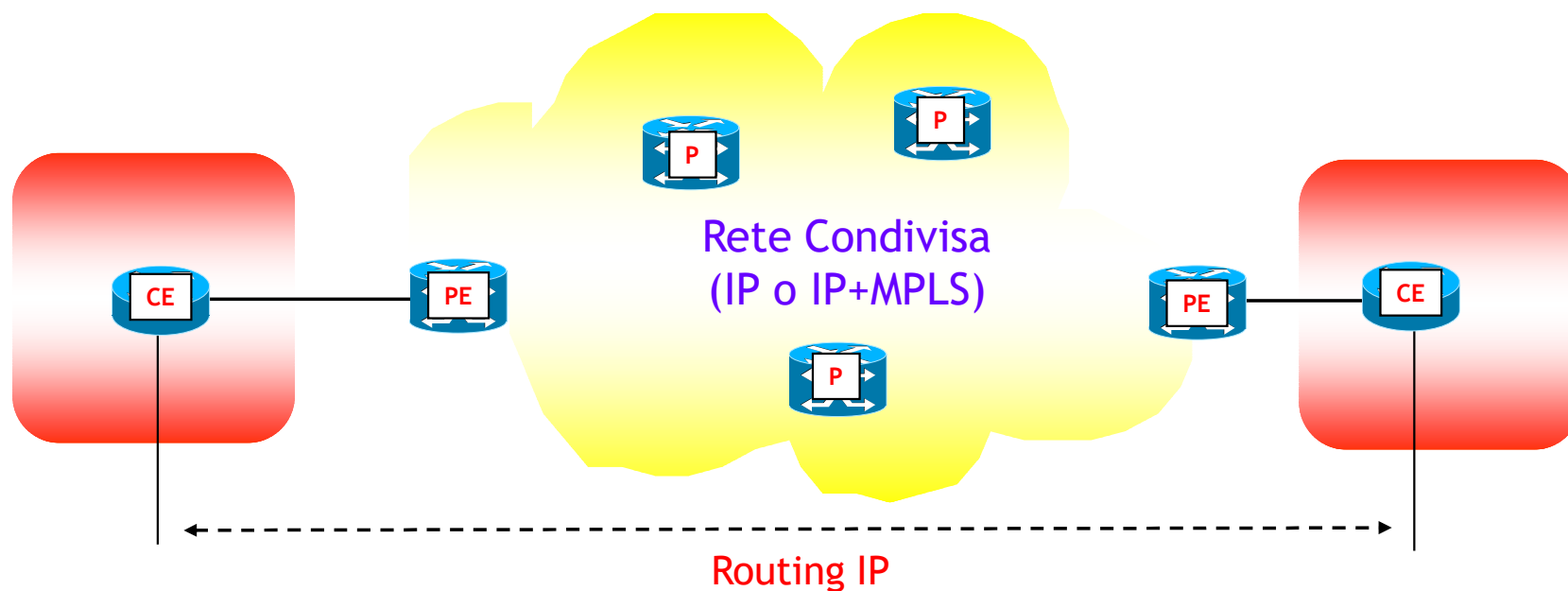
#4 I servizi L2VPN

#5 I servizi di trasporto IPv6

#6 *Case study*

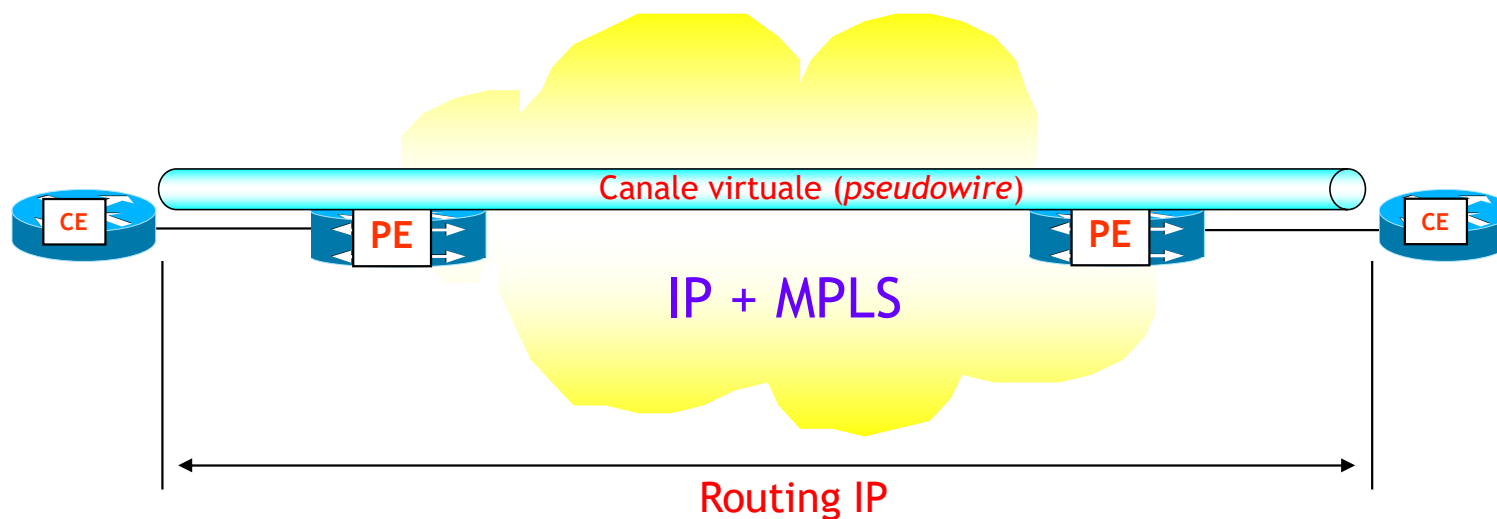
Back to the Future?

- DEFINIZIONE: una VPN di Livello 2 (L2VPN) è una VPN di tipo *overlay*, dove la rete condivisa è IP+MPLS o IP-only
 - Il trasporto su reti IP-only utilizza tecniche di *Tunneling IP* come L2TPv3



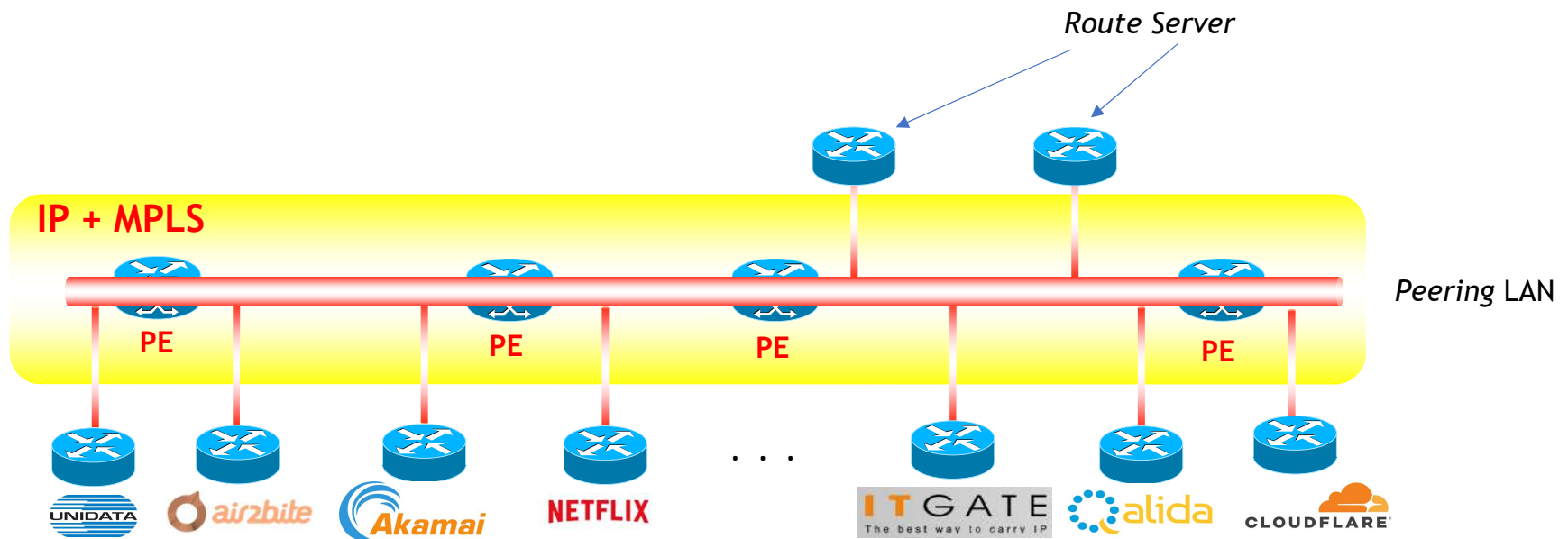
I servizi L2VPN punto-punto

- Sono servizi di emulazione di circuito (**punto-punto**)
 - Consentono il trasporto di qualsiasi Livello 2: **Ethernet**, **ATM**, **Frame Relay**, **PPP**, etc.
 - Terminologia IETF: **VPWS** (Virtual Private Wire Service)
 - Terminologia MEF: **E-Line**

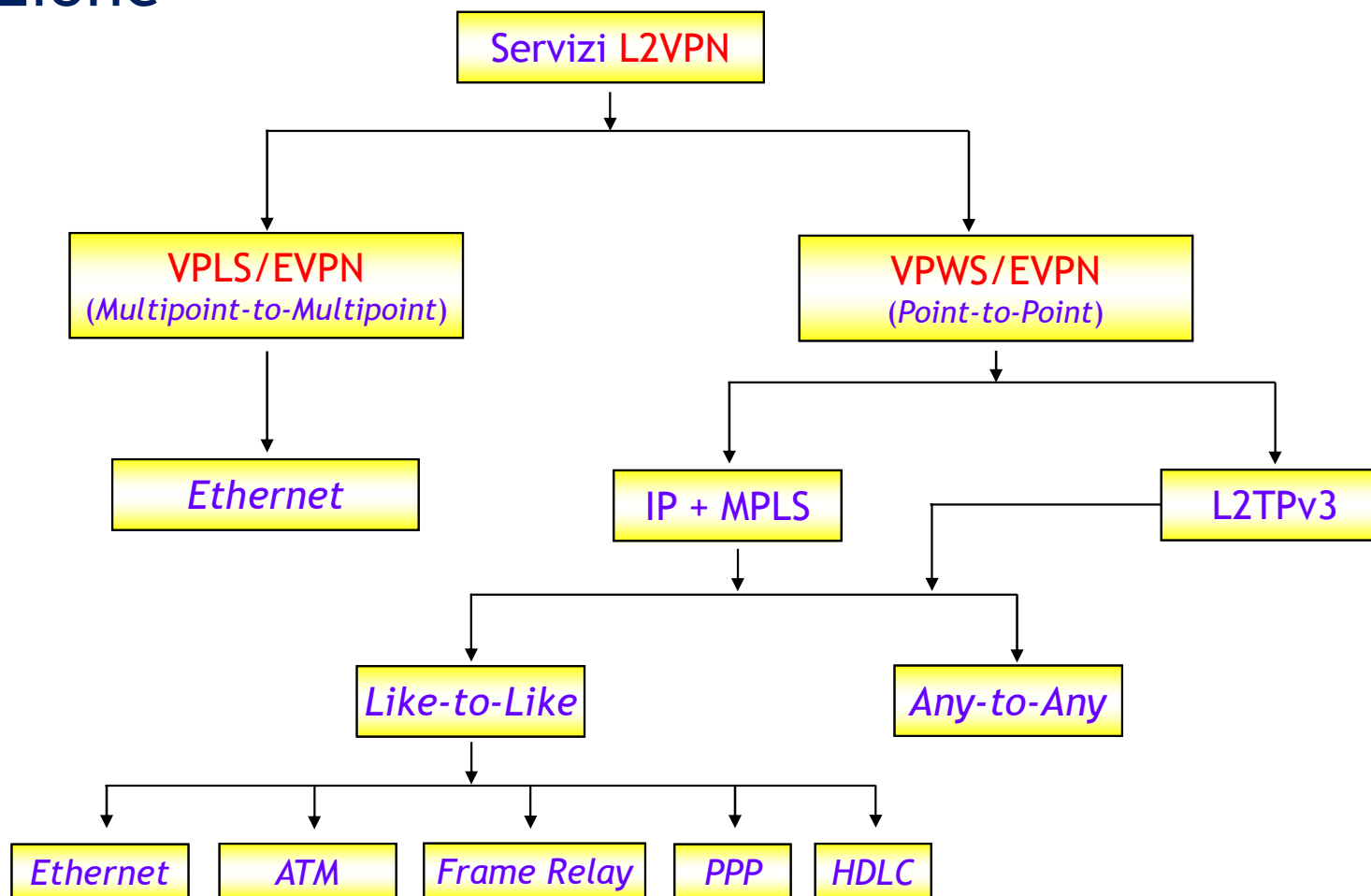


I servizi L2VPN multipunto-multipunto

- Sono servizi di emulazione LAN Ethernet (**multipunto-multipunto**)
 - Terminologia IETF: **VPLS** (Virtual Private Lan Service) / **EVPN** (Ethernet VPN)
 - Terminologia MEF: **E-LAN**

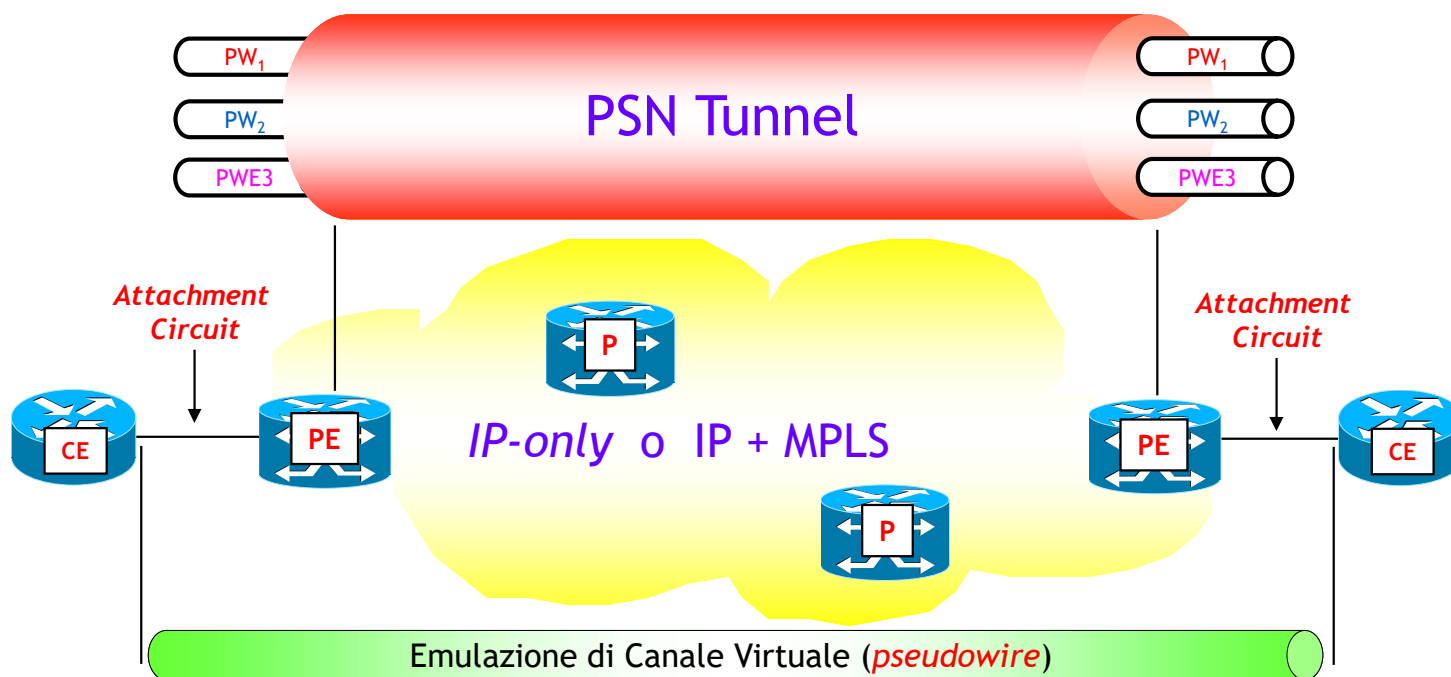


Classificazione

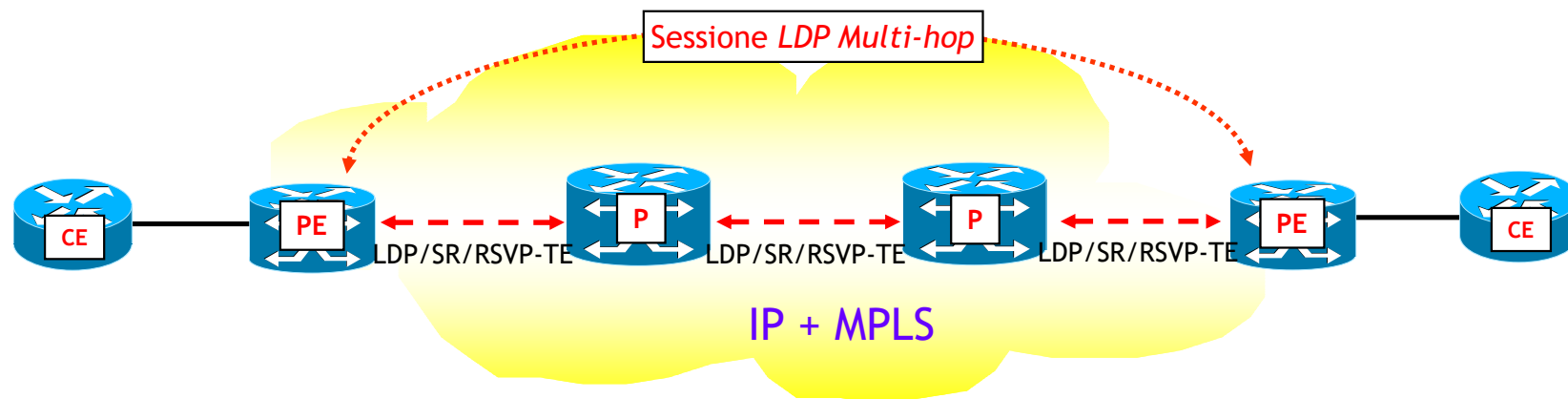


Il modello *pseudowire*

- **PSN Tunnel**: è un canale di collegamento tra due PE della rete dell'ISP
 - Nelle reti IP/MPLS è un LSP MPLS PE-PE
- **PW_x**: è un canale virtuale (*pseudowire*) che trasporta le trame L2 scambiate dai CE

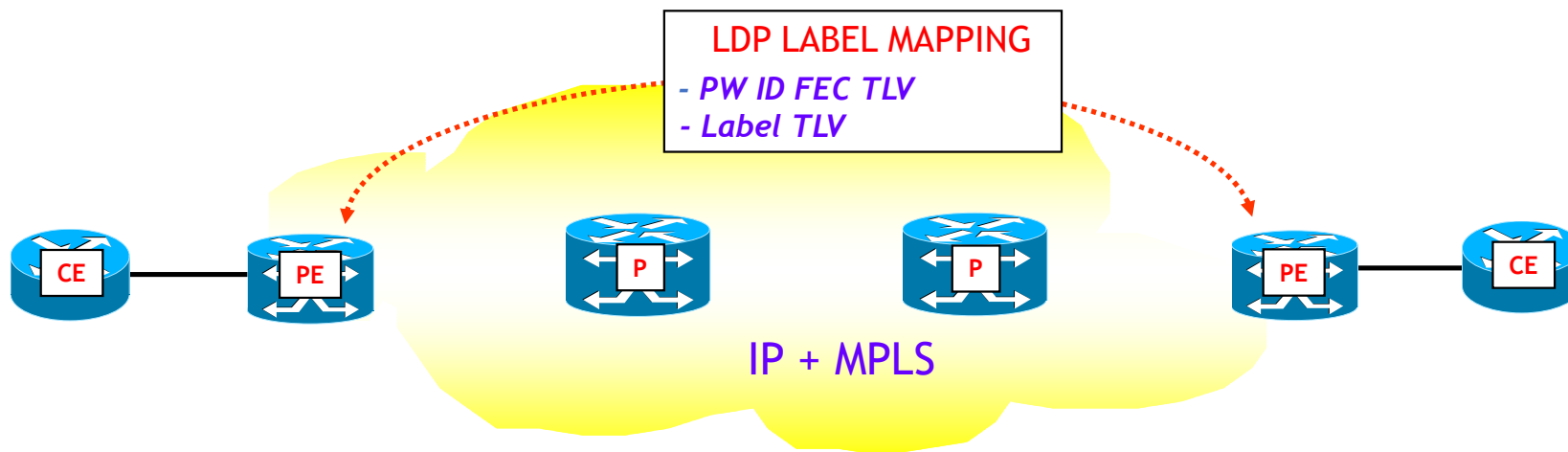


Segnalazione su reti IP+MPLS (1/3)



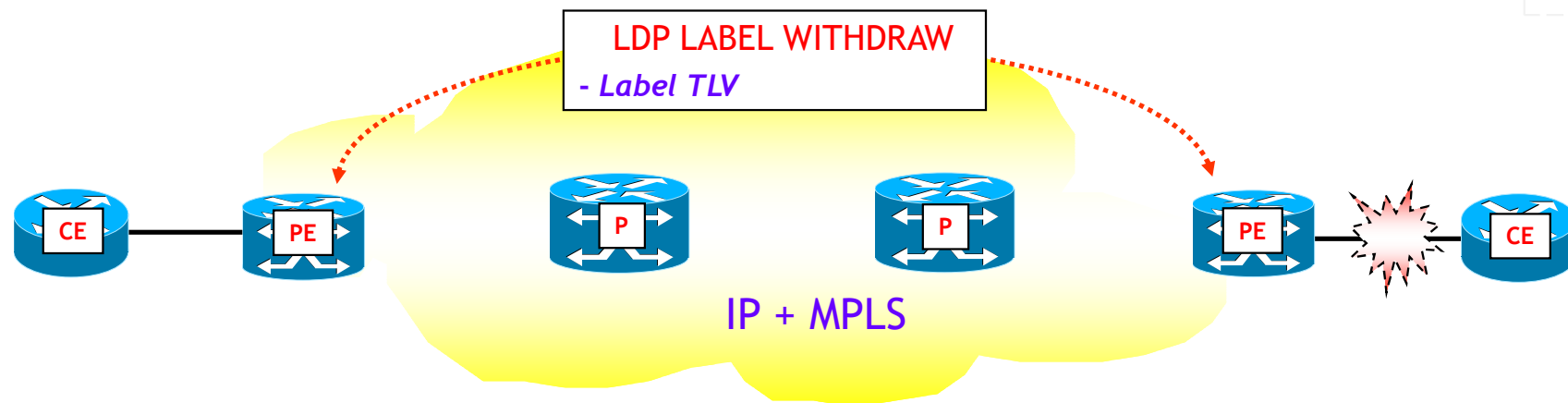
- Ogni *pseudowire* è identificato da una *Service Label MPLS*
 - Le etichette che identificano gli *pseudowire* (*VC Label*) vengono segnalate via sessione *LDP Multi-Hop* tra i PE
- Le etichette del *PSN Tunnel* sono segnalate via LDP, SR o RSVP-TE
- **IMPORTANTE:** la stessa sessione *LDP Multi-Hop* può essere utilizzata per la segnalazione di più *pseudowire*

Segnalazione su reti IP+MPLS (2/3)



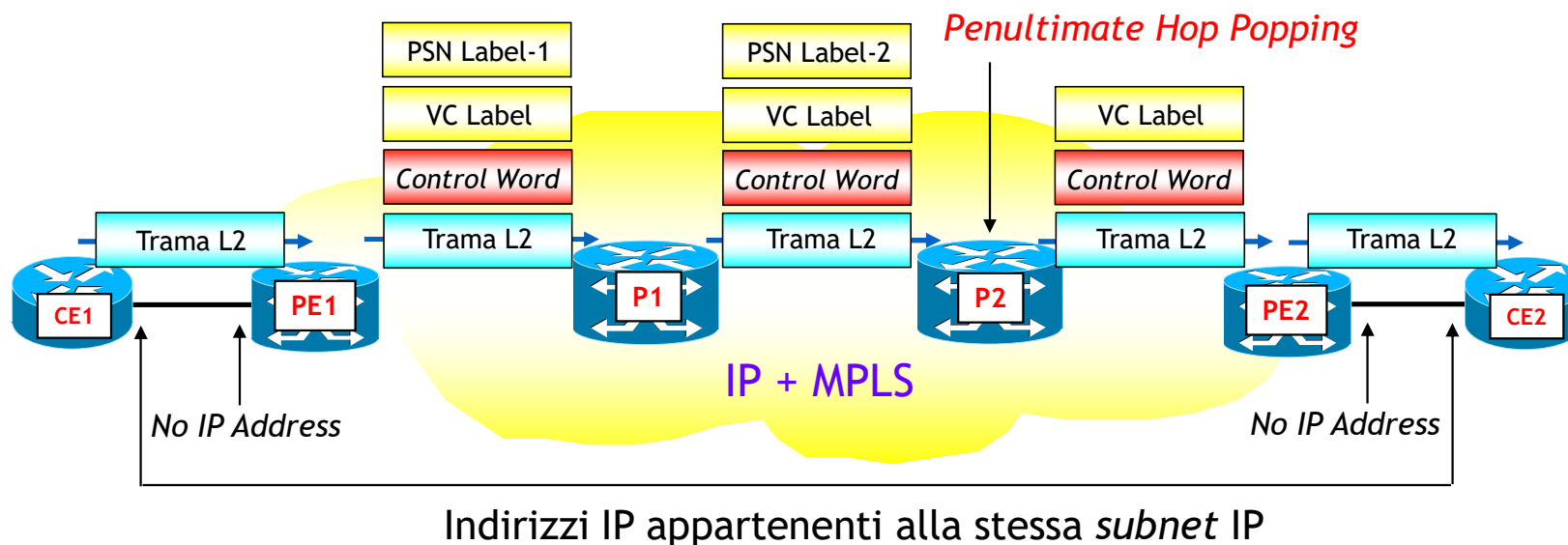
- Le *VC Label* vengono comunicate attraverso messaggi **LDP LABEL MAPPING** contenenti due moduli TLV
 - *Pseudowire Identifier (PW ID) FEC TLV*
 - Contiene, tra le altre informazioni, il tipo di PW (Ethernet, PPP, ATM, ecc.)
 - *Label TLV*
 - Contiene l'etichetta associata allo PW

Segnalazione su reti IP+MPLS (3/3)



- Quando un PE rileva un evento che porta a un fuori servizio di un *Attachment Circuit* **ritira la VC label associata allo pseudowire**
 - Il ritiro avviene attraverso un messaggio **LDP LABEL WITHDRAW**
 - Nel caso di più *pseudowire* sulla stessa interfaccia fisica è possibile ritirare tutte le *VC Label* associate a tutti i PW

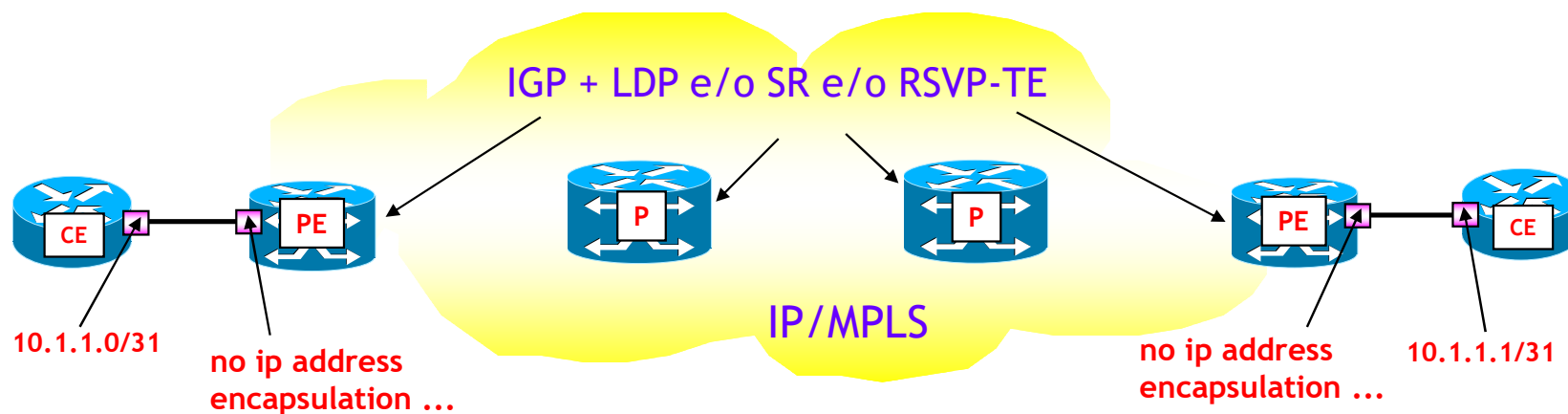
Piano dati: etichette MPLS e *Control Word*



- *PSN Label (Transport Label)*: sono le etichette MPLS che identificano i *PSN Tunnel (LSP PE-PE)*
- *VC Label (Service Label)*: è l'etichetta che identifica lo *pseudowire*
- *Control Word*: campo di 32 bit inserito tra la *VC Label* e la trama L2

Realizzazione di *pseudowire*

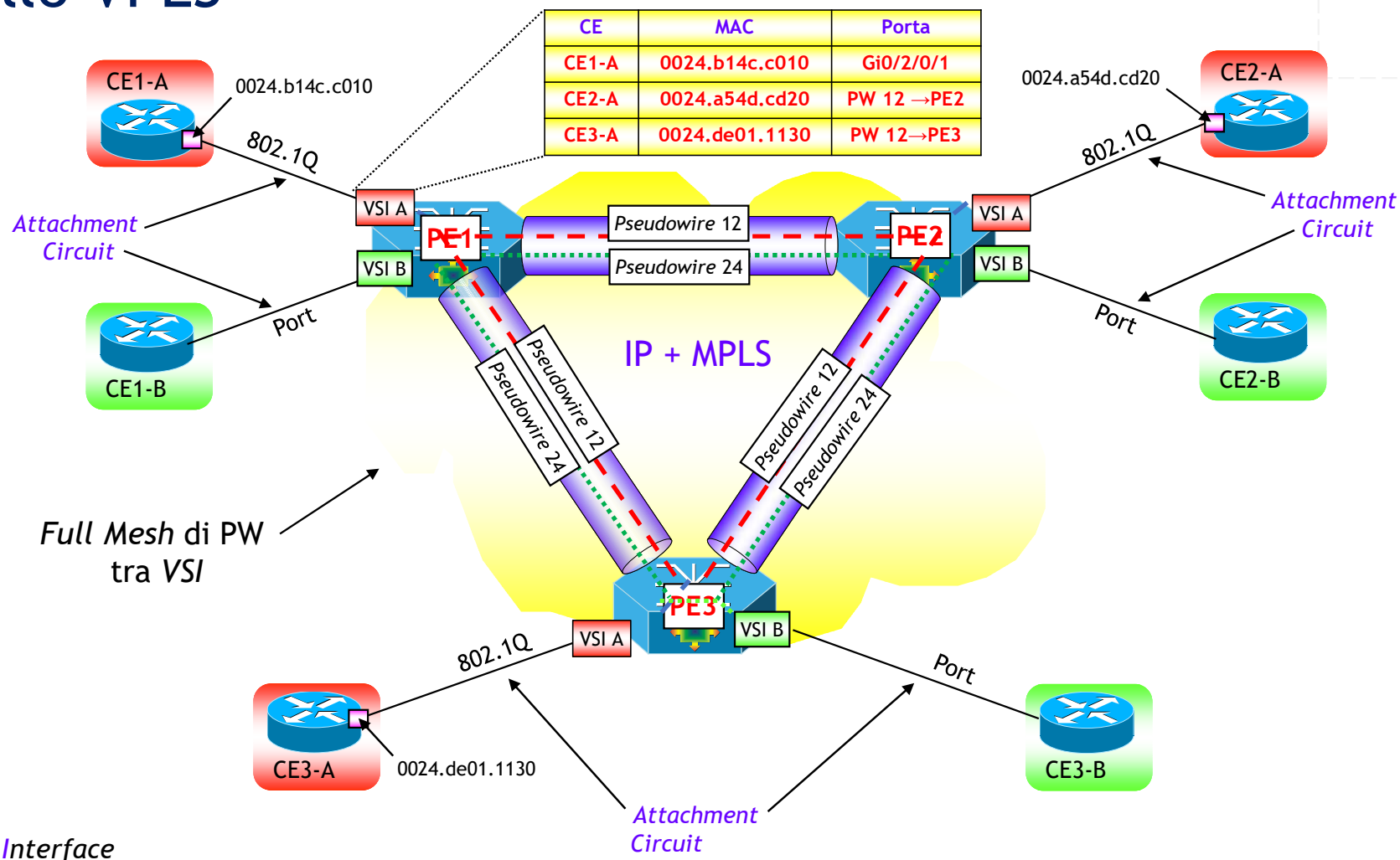
- Configurare all'interno della rete IP/MPLS
 - Un protocollo IGP
 - Una maglia completa di LSP MPLS PE-PE (via LDP e/o SR e/o RSVP-TE)
- Alle interfacce dei PE dove terminano gli AC
 - Non va assegnato **alcun indirizzo IP**
 - Va definito il **tipo di incapsulamento L2** (se previsto)
- Sulle interfacce (fisiche o logiche) dei router CE collegate ai router PE, agli estremi del PW, **vanno assegnati indirizzi IP appartenenti alla stessa subnet IP**



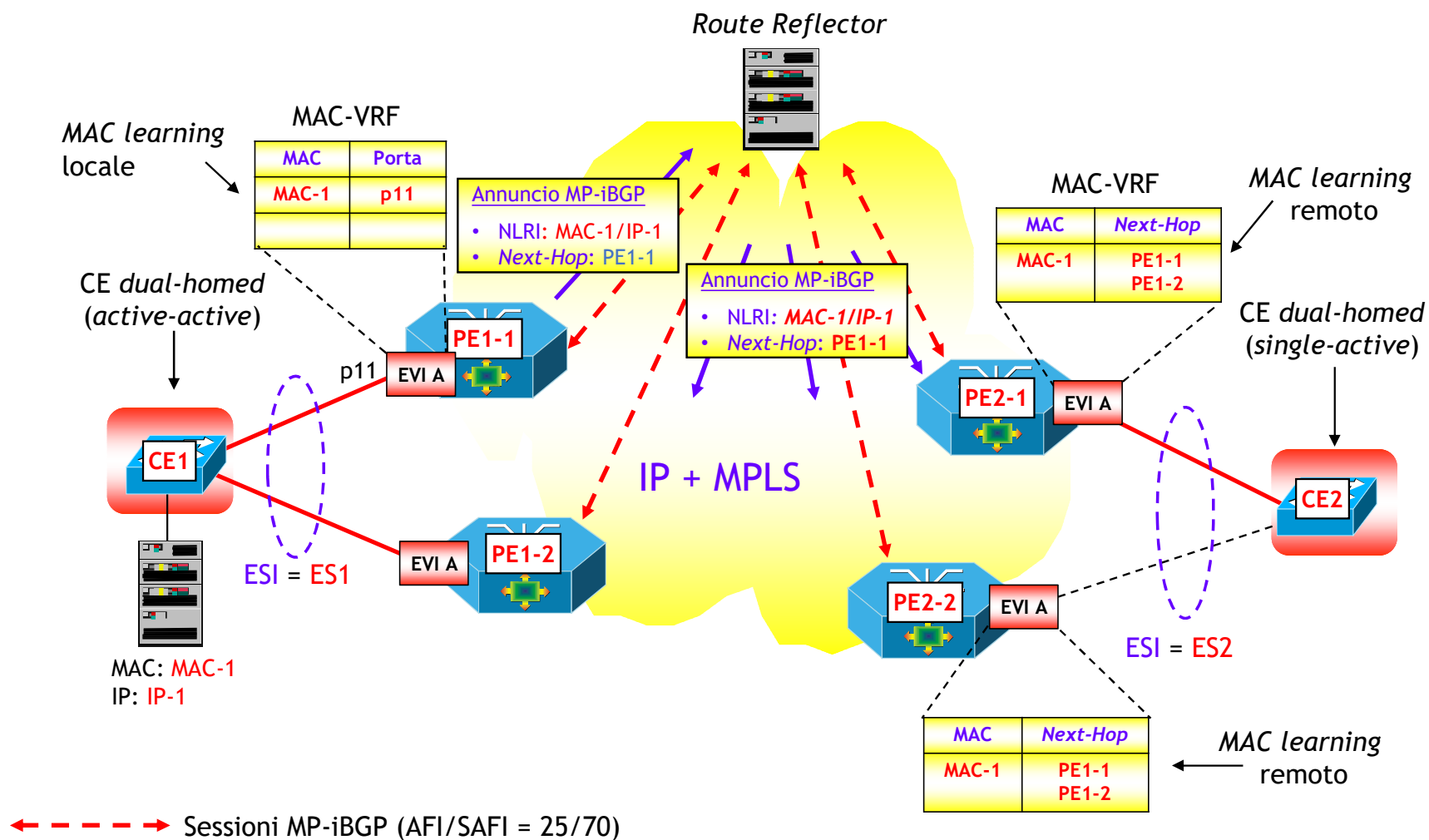
Servizi di emulazione LAN Ethernet (multipunto-multipunto)

- Definiscono una architettura per la fornitura di **servizi Ethernet *Multipoint-to-Multipoint*** su una rete IP/MPLS
- **Due modelli alternativi**
 - **VPLS (Virtual Private LAN Service)**: modello «storico», basato su due standard alternativi
 - RFC 4761: *Virtual Private LAN Service (VPLS) Using BGP for Auto-Discovery and Signaling*
 - RFC 4762: *Virtual Private LAN Service (VPLS) Using Label Distribution Protocol (LDP) Signaling*
 - **EVPN (Ethernet VPN)**: modello più complesso basato sulla segnalazione BGP e piani dati diversi
 - RFC 7432 - *BGP MPLS-Based Ethernet*: **piano dati MPLS**
 - RFC 7623 - *Provider Backbone Bridging Combined with Ethernet VPN (PBB-EVPN)*: **piano dati MAC-in-MAC**, anche noto come **PBB (Provider Backbone Bridge)**, definito dallo standard IEEE 802.1ah.
 - RFC 8365 - *A Network Virtualization Overlay Solution Using Ethernet VPN (EVPN)*: **piano dati generico utilizzato nelle Overlay Virtual Network (es. VXLAN, NVGRE, Geneve)**

Il modello VPLS

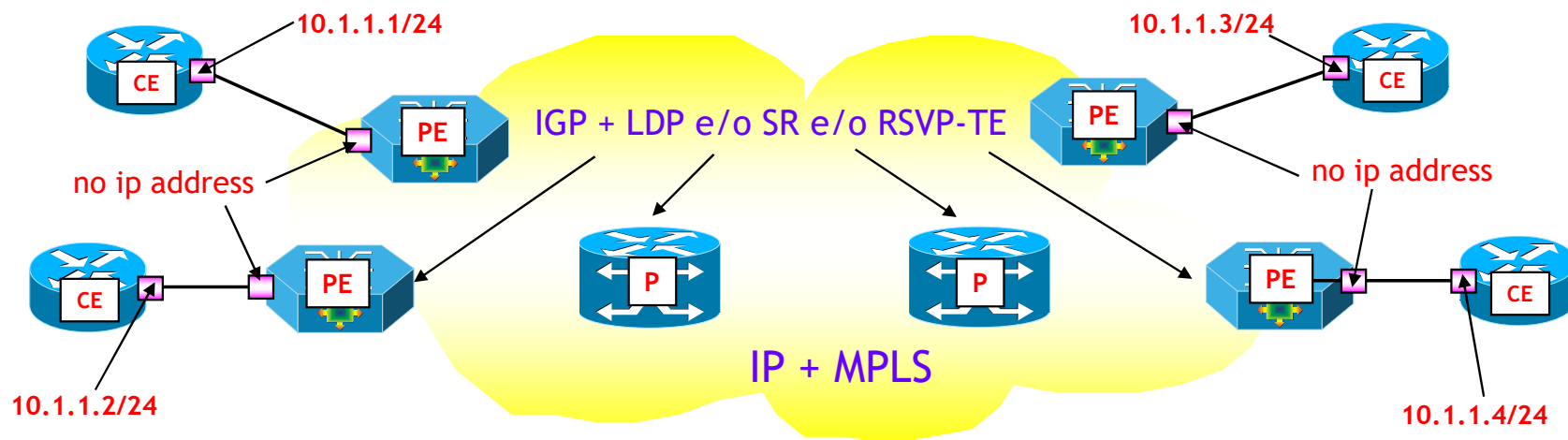


Il modello EVPN



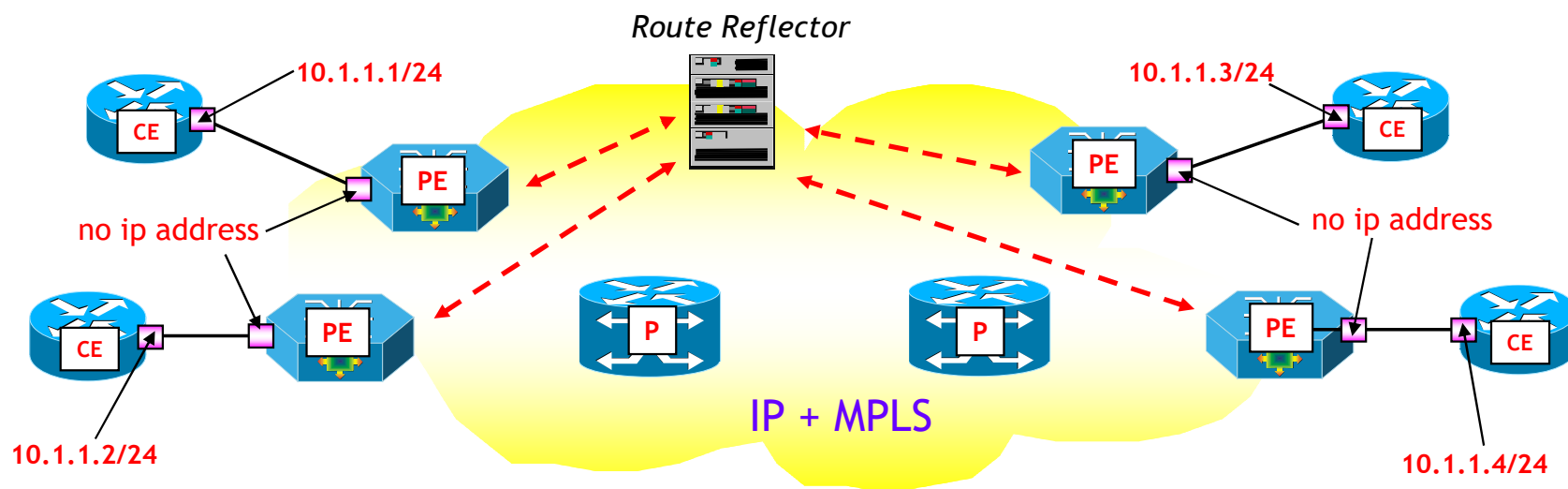
Realizzazione di un servizio di emulazione LAN (1/2)

- Configurare all'interno della rete IP/MPLS
 - Un **protocollo IGP** (OSPF o IS-IS)
 - Una **maglia completa di LSP MPLS PE-PE** (LDP e/o SR e/o RSVP-TE)
- Alle interfacce dei PE dove terminano gli AC non va assegnato **alcun indirizzo IP**



Realizzazione di un servizio di emulazione LAN (2/2)

- Configurare i protocolli per il piano di controllo
 - VPLS: solo LDP/solo BGP/segnalazione LDP+Autodiscovery via BGP
 - EVPN: maglia completa di sessioni MP-iBGP (AFI/SAFI=25/70) tra PE



Di cosa parlerò ...

#1 Una panoramica sui servizi MPLS ...

#2 Architettura di routing BGP *core-free*

#3 I servizi L3VPN

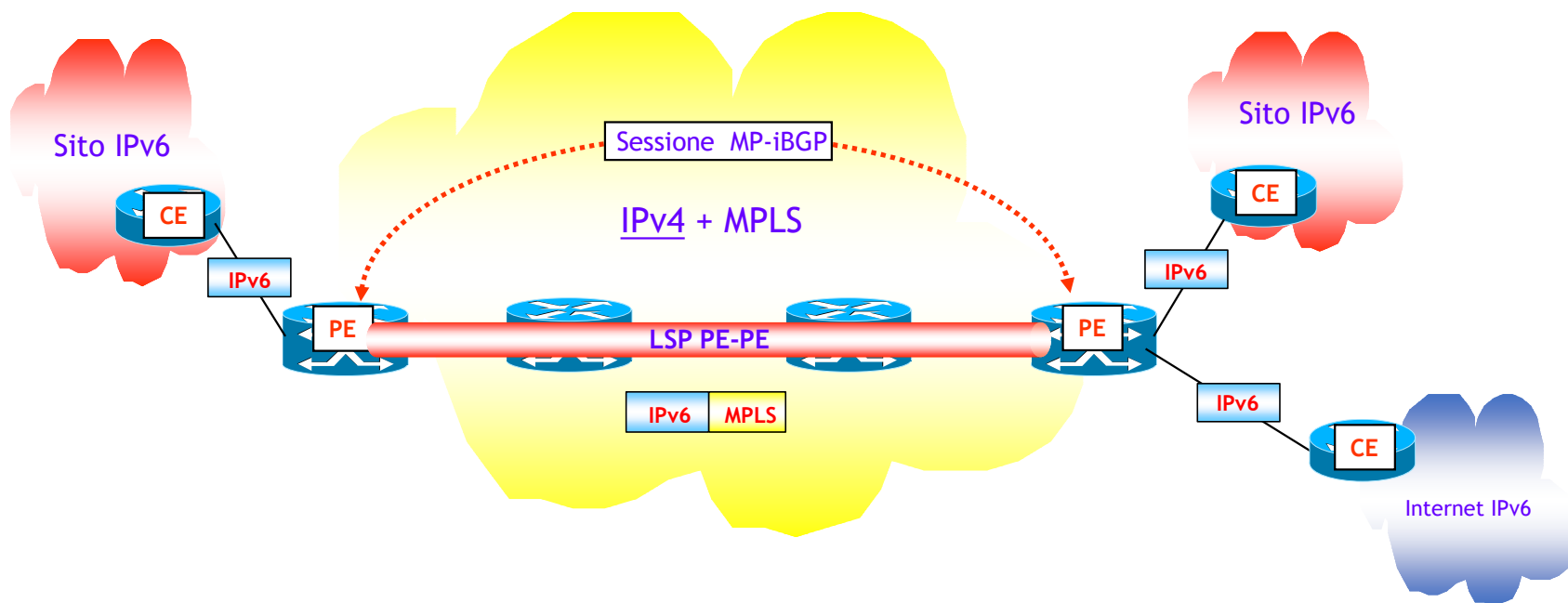
#4 I servizi L2VPN

#5 I servizi di trasporto IPv6

#6 *Case study*

I servizi di trasporto IPv6

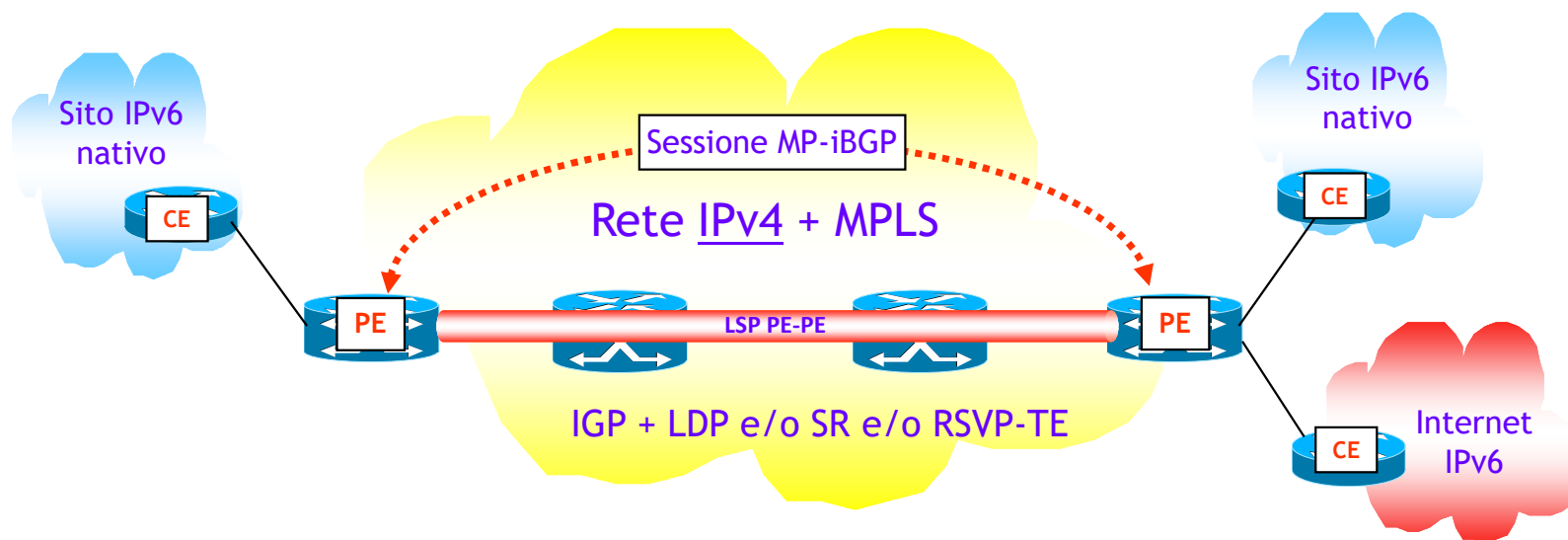
- MPLS è **multiprotocollo**, perciò può trasportare anche pacchetti IPv6
- Il grande vantaggio: **un singolo backbone IPv4 per trasportare qualsiasi tipo di traffico (L2/L3)**
- Due servizi base
 - **6PE**: trasporto di pacchetti IPv6 su un backbone IPv4 + MPLS (e quindi **riutilizzo del backbone esistente**)
 - **6VPE**: L3VPN IPv6



Il servizio 6PE

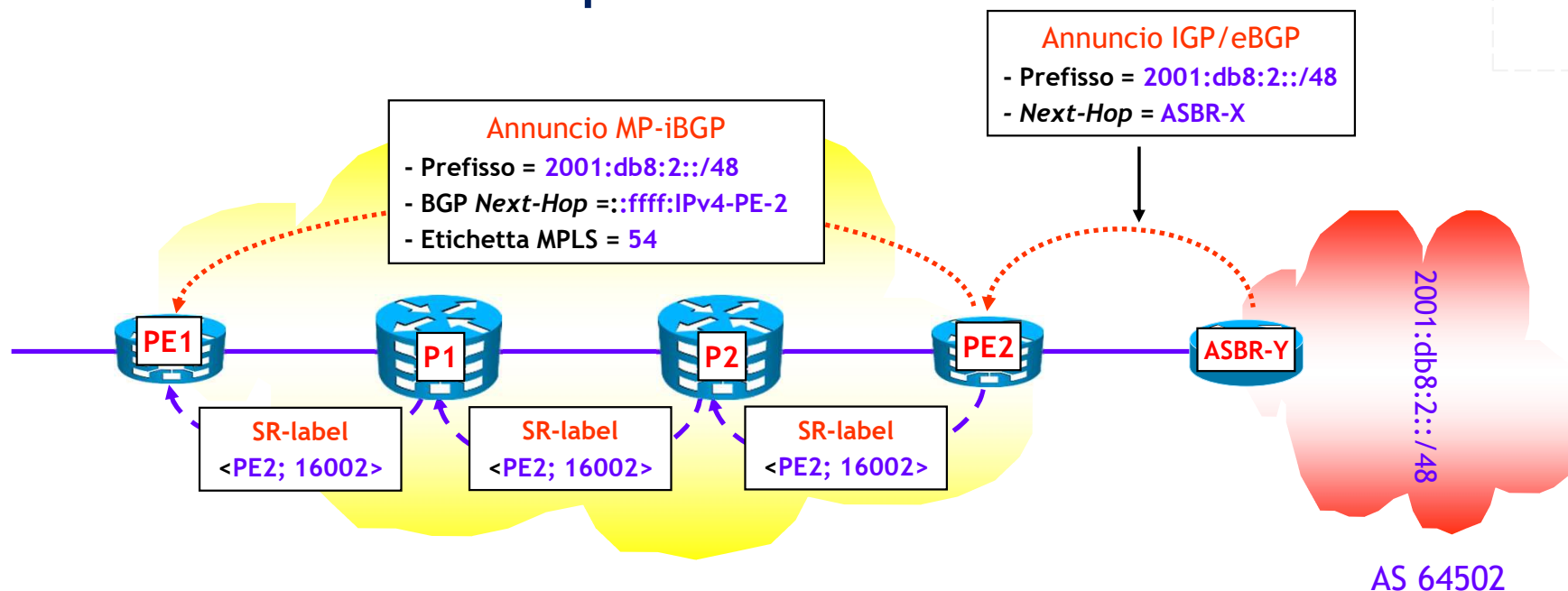
- 6PE è una tecnica di *tunneling* standard che riutilizza le reti IPv4+MPLS che adottano l'architettura di routing BGP/MPLS
 - Non richiede alcuna configurazione aggiuntiva lato backbone
 - Modello di funzionamento simile alle VPN IP BGP/MPLS e agli *Pseudo-wire*
 - Standardizzato nella RFC 4798 - *Connecting IPv6 Islands over IPv4 MPLS Using IPv6 Provider Edge Routers (6PE)*, Febbraio 2007
- Vantaggi
 - Riutilizzo di una infrastruttura esistente e ampiamente collaudata
 - 6PE è un servizio aggiuntivo offerto da un backbone IPv4+MPLS
 - Scalabilità
 - A differenza degli altri meccanismi di *Tunneling*, non richiede la configurazione di *tunnel* sui router del cliente, ma la configurazione specifica di 6PE riguarda i soli router PE della rete dell'ISP
 - Stessa offerta di servizi degli altri meccanismi di *tunneling* (accesso all'Internet IPv6, connessione di siti IPv6 nativi, ecc.)

Il piano di controllo



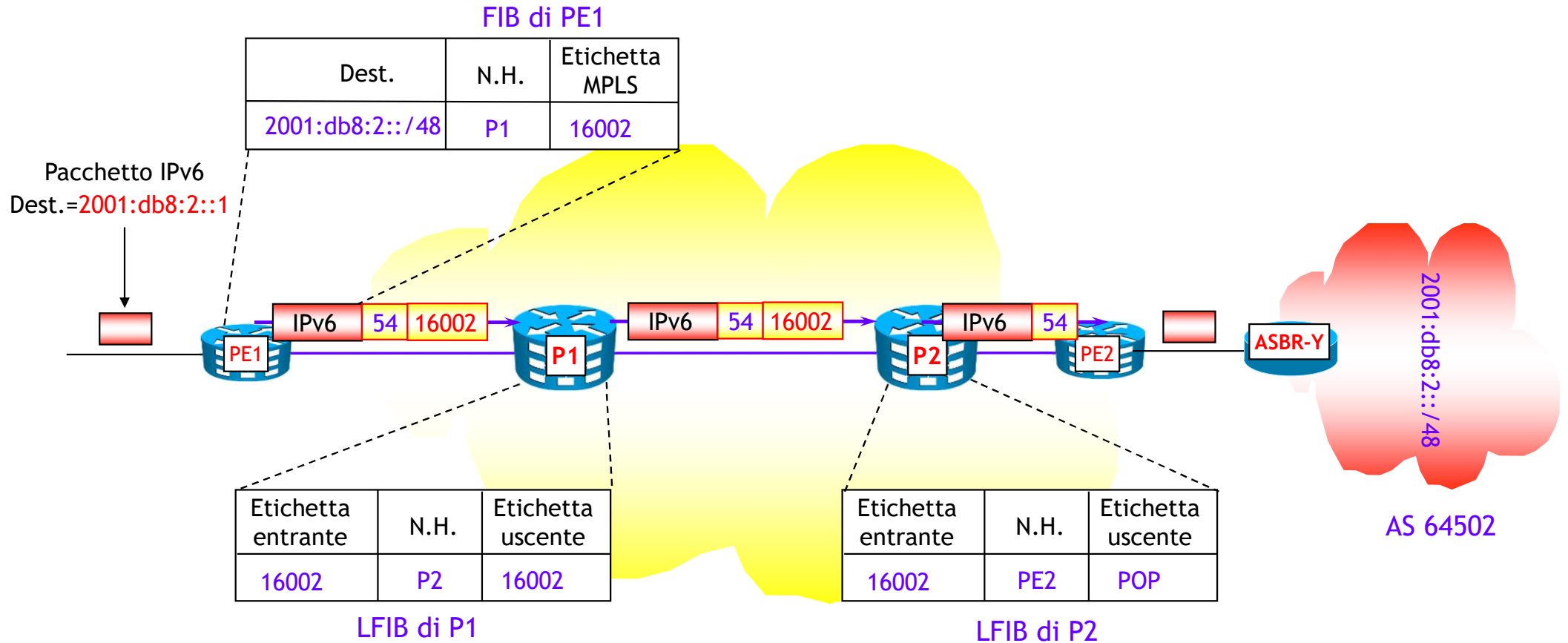
- Il piano di controllo utilizza **tre protocolli**
 - Un **protocollo IGP** (IS-IS o OSPF) per la creazione di percorsi ottimi tra PE
 - Un **protocollo per la distribuzione delle etichette MPLS** (LDP e/o SR e/o RSVP-TE) per l'associazione di etichette MPLS ai percorsi creati attraverso il protocollo IGP
 - L'**estensione multiprotocollo del BGP** (MP-BGP) per l'annuncio dei prefissi IPv6 e le etichette MPLS associate a questi prefissi

Piano di controllo: esempio



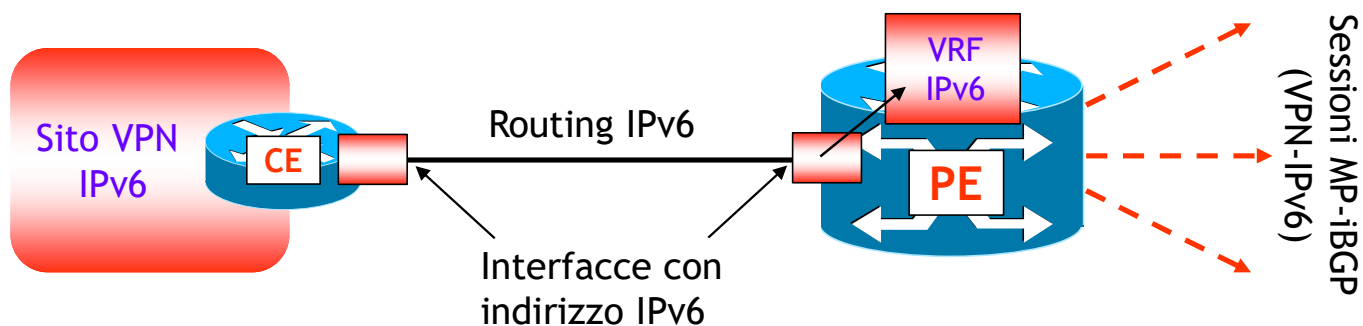
- Gli annunci MP-iBGP trasportano sia l'informazione sul prefisso che una etichetta MPLS associata al prefisso (*address-family IPv6+Label*)
 - La famiglia di indirizzi *IPv6+Label* viene negoziata dai *BGP peer* tramite la *BGP Capability* «*Multiprotocol BGP*» con AFI/SAFI = 2/4

Piano dati: esempio



Il servizio 6VPE

- Stesso identico modello di funzionamento delle L3VPN IPv4 BGP/MPLS
 - Presenza delle VRF
 - Stessi parametri di configurazione con identico formato: *Route Distinguisher*, *Route Target*
 - Utilizzo di MP-iBGP per l'annuncio dei prefissi **VPN-IPv6**
 - Piano dati identico
- (Piccole) differenze
 - **PE dual stack** (IPv6 richiesto solo lato Clienti IPv6)
 - **Routing IPv6** PE-CE



Di cosa parlerò ...

#1 Una panoramica sui servizi MPLS ...

#2 Architettura di routing BGP *core-free*

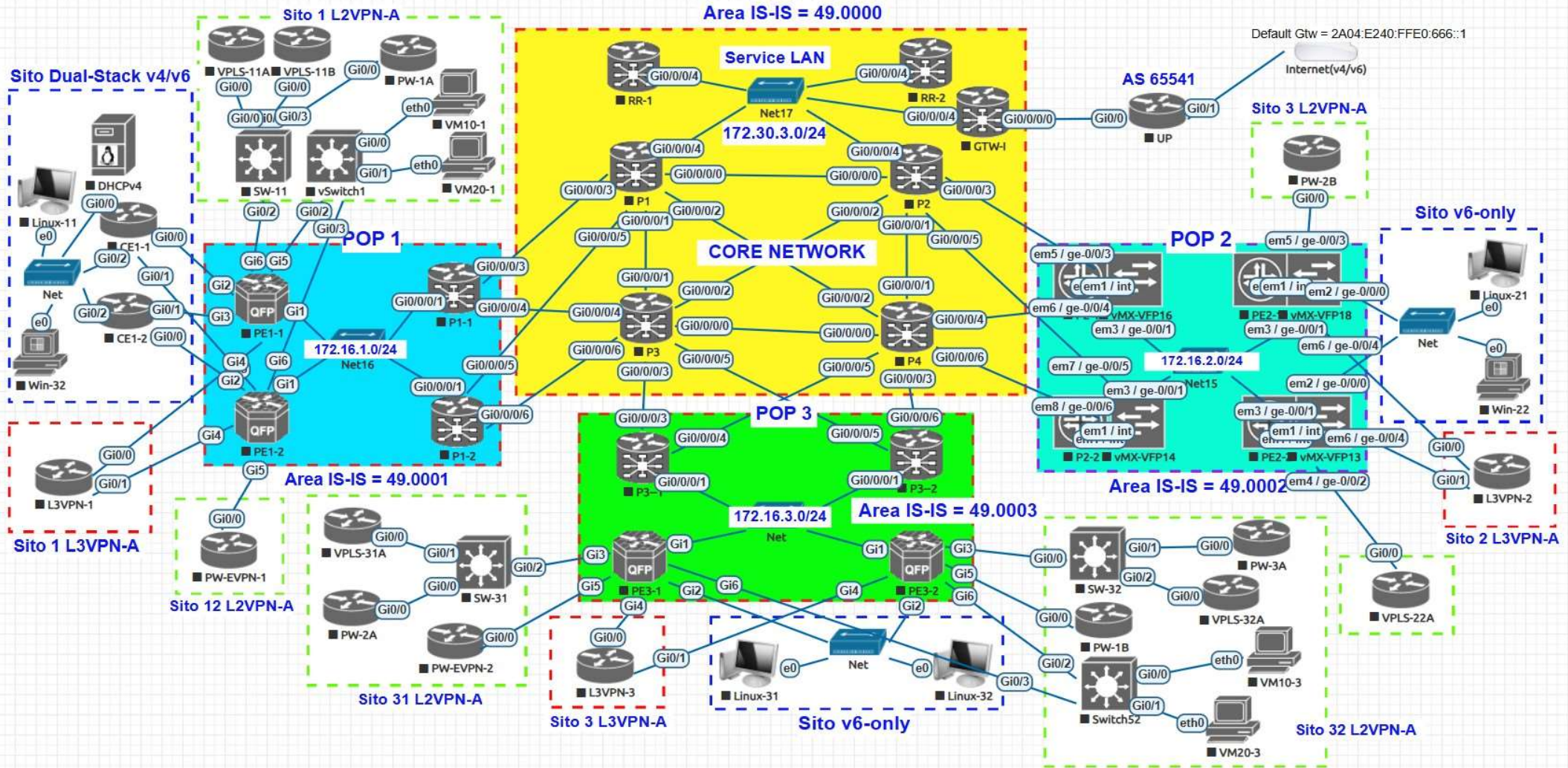
#3 I servizi L3VPN

#4 I servizi L2VPN

#5 I servizi di trasporto IPv6

#6 *Case study*

Topologia della rete



Obiettivi del *case study*

- Realizzare un backbone BGP *core-free*
 - Protocollo IGP utilizzato: IS-IS
 - Maglia completa di LSP MPLS PE-PE realizzata attraverso il protocollo IGP e il Segment Routing
 - Maglia completa di sessioni MP-iBGP realizzata con l'ausilio di due *Route Reflector*
- Realizzare una L3VPN unicast IPv4 *any-to-any*
- Realizzare alcuni pseudowire
- Realizzare un trasporto IPv6 verso l'Internet IPv6

Ultima Diapositiva (finalmente ...)



Grazie per l'attenzione...