

# MPLS

**le reti ottiche di nuova  
generazione per il supporto di  
traffico IP**

**Roberto Sabella**  
**Ericsson Lab Italy**

# Sommario

- ◆ Motivazioni per le reti ottiche di nuova generazione
  - necessità di dorsali Internet e di reti ottiche intelligenti
- ◆ Estensione del paradigma MPLS: il modello GMPLS
  - motivazioni per un piano di controllo basato sul modello MPLS
  - estensione dei protocolli di routing e di segnalazione
- ◆ Il paradigma MPAS: un piano di controllo basato su MPLS per la rete ottica
  - Analogie e differenze tra MPLS e le reti ottiche WDM
- ◆ Modelli di sviluppo: overlay, peer, o modelli ibridi ?
- ◆ Esempi caratteristici di reti ottiche intelligenti
- ◆ Conclusioni

# Requisiti per le dorsali Internet

## Elementi chiave

- ◆ Rapido e consistente sviluppo del traffico Internet
- ◆ Migrazione dei servizi verso IP (inclusi i servizi real time)
- ◆ Disponibilità della tecnica Multi-Protocol Label Switching

## Obiettivi

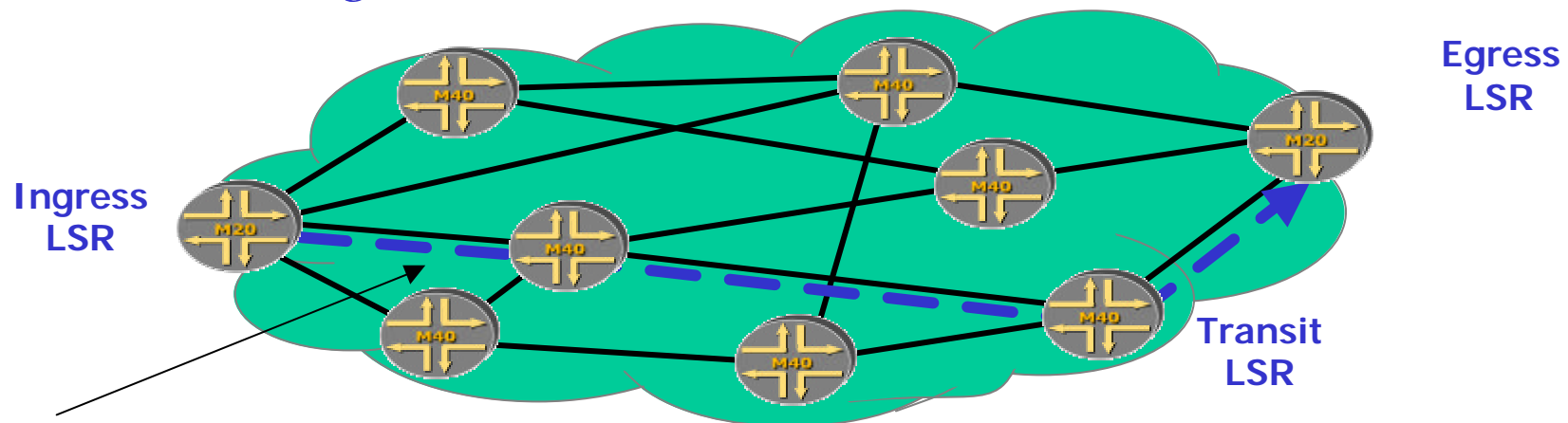
- ◆ Utilizzo più flessibile e ottimizzato della banda ottica
- ◆ Possibilità di supportare e gestire diverse QoS
- ◆ Sistemi di controllo e di gestione di rete semplici ed efficaci

# Motivazioni per le reti ottiche intelligenti

- Far fronte al consistente sviluppo del traffico IP, disponendo di canali ottici di comunicazione dove e quando sono richiesti, e con tempi brevi
- Necessità di un'allocazione dinamica delle risorse ottiche e di riconfigurazione nei casi richiesti (variazioni di traffico o di rete)
- Utilizzo della banda flessibile a bassi costi di esercizio
- Possibilità di gestire diverse QoS (anche diverse priorità e la pre-emption)
- Soluzioni di Traffic Engineering per un uso efficiente delle risorse di rete
- Supportare diverse strategie di protezione e ripristino a diversi livelli di granularità. Il ripristino a livello ottico è semplice e veloce (livello 1 non 3)
- Utilizzare i vantaggi offerti da topologie arbitrariamente magliate
- Sfruttare i vantaggi di cui sopra con un piano dati che non “comprende” i pacchetti

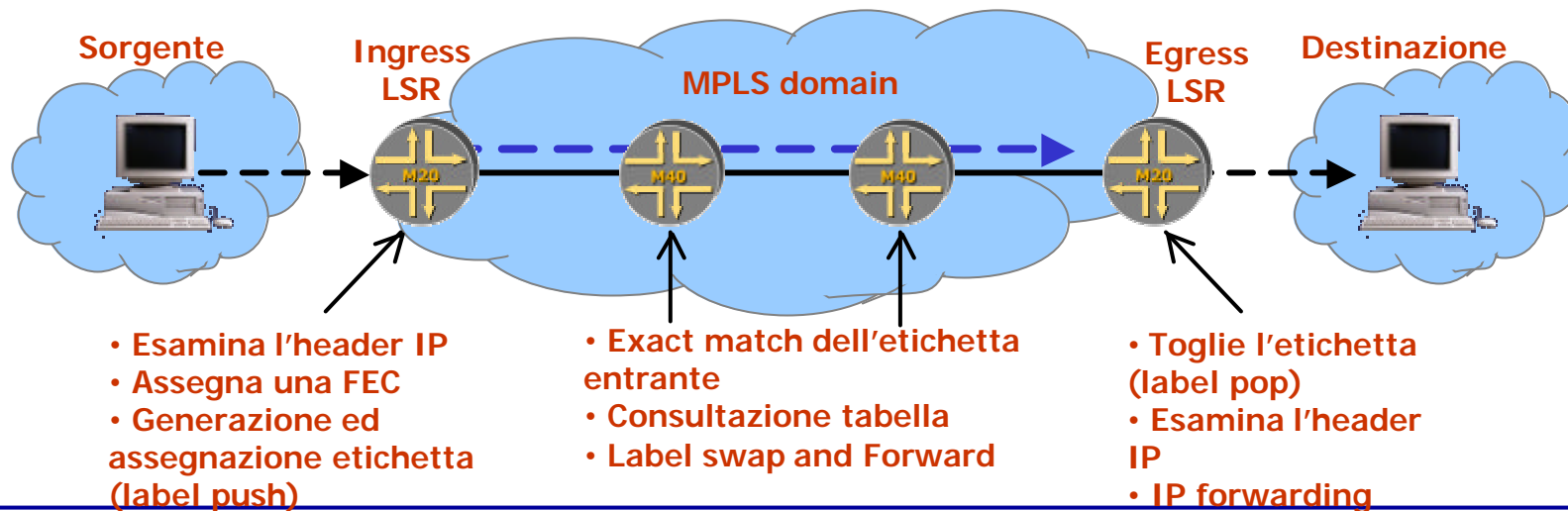
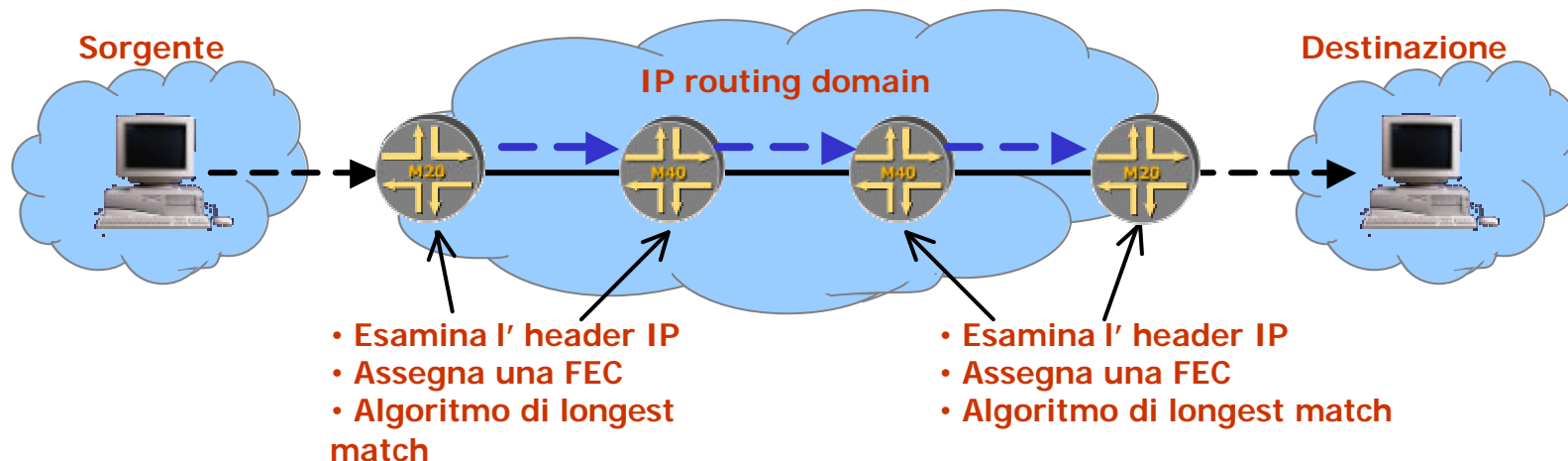
# MPLS: multi-protocol label switching

- **Label Switching Router (LSR)**
  - *realizza il packet forwarding attraverso il label switching*

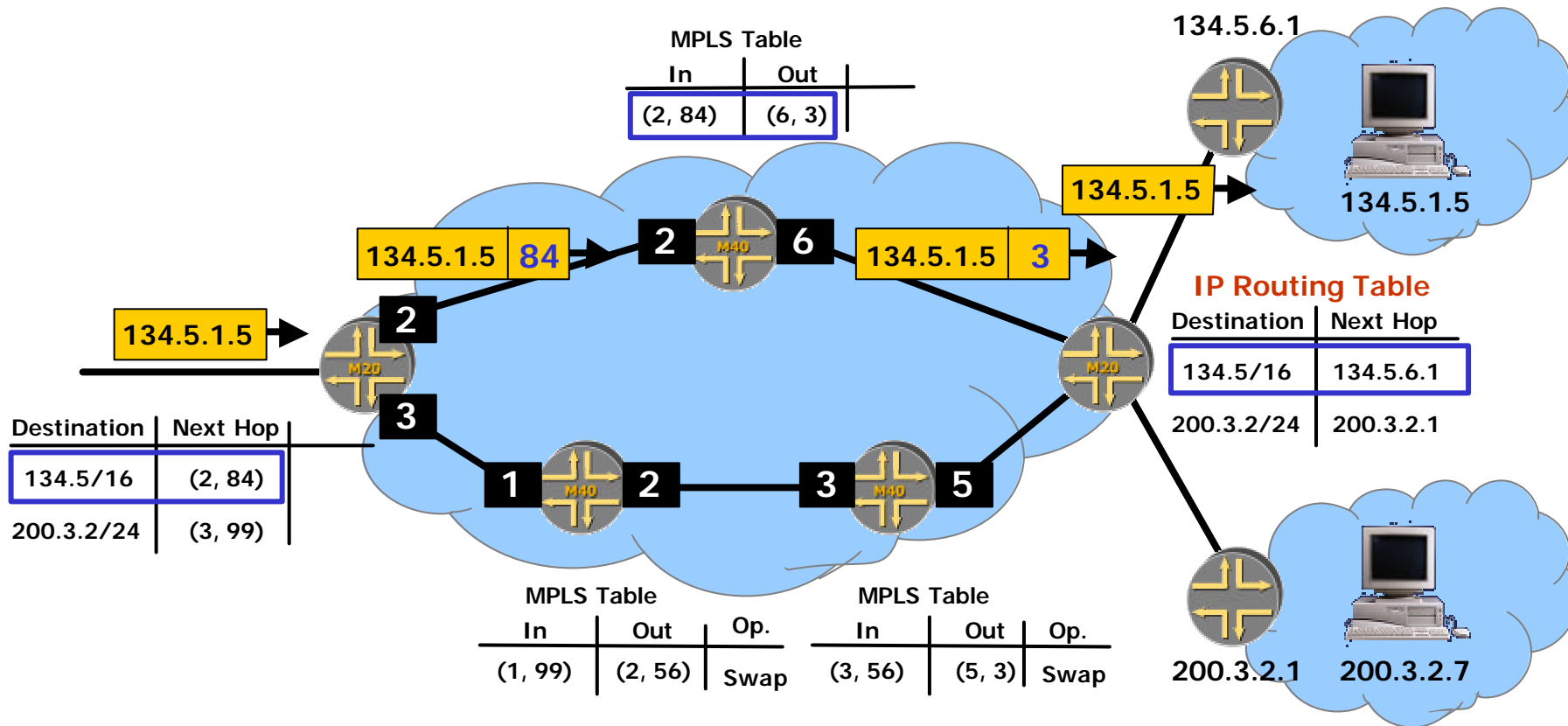


## Label Switched Path (LSP)

# MPLS vs IP forwarding



# MPLS Forwarding Example

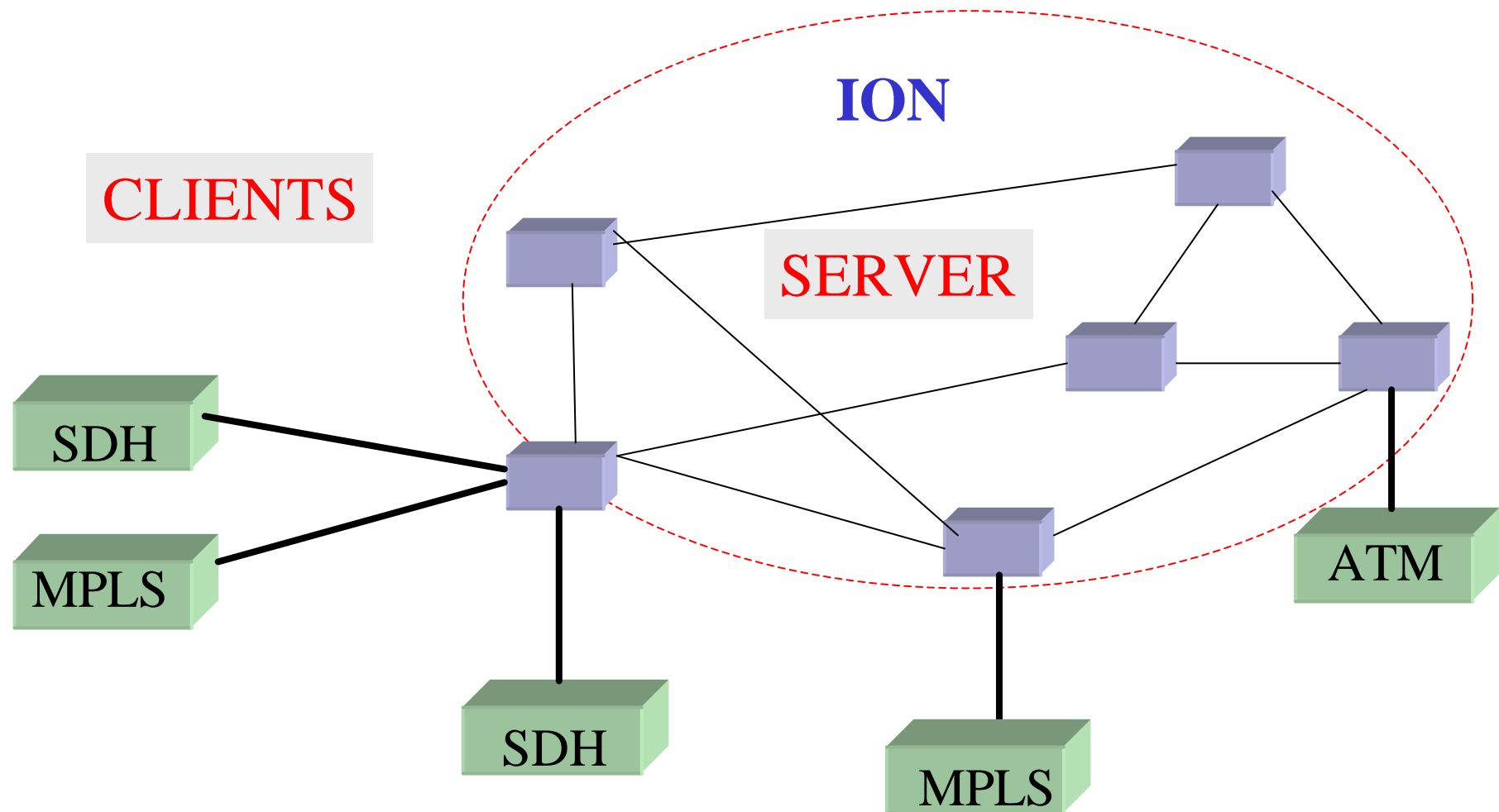


# Caratteristiche della tecnica MPLS

- **MPLS consente di supportare una commutazione “quasi a circuito” in un contesto di rete Internet: da un modello connection-less ad un uno connection-oriented**
- **Separazione tra il piano dati e il piano di controllo**
- **L’instaurazione di cammini su base vincolo è una possibilità fondamentale consentita da MPLS**
- **Flessibilità nel mappare il traffico in Label Switched Paths (LSPs)**
- **Possibilità di una struttura gerarchica con label-stacking**
  - **Si può ridurre il numero di LSP aggregandoli per livello gerarchico, garantendo la scalabilità**



# GMPLS: estensione del modello MPLS



# GMPLS: estensione dei protocolli di routing IGP

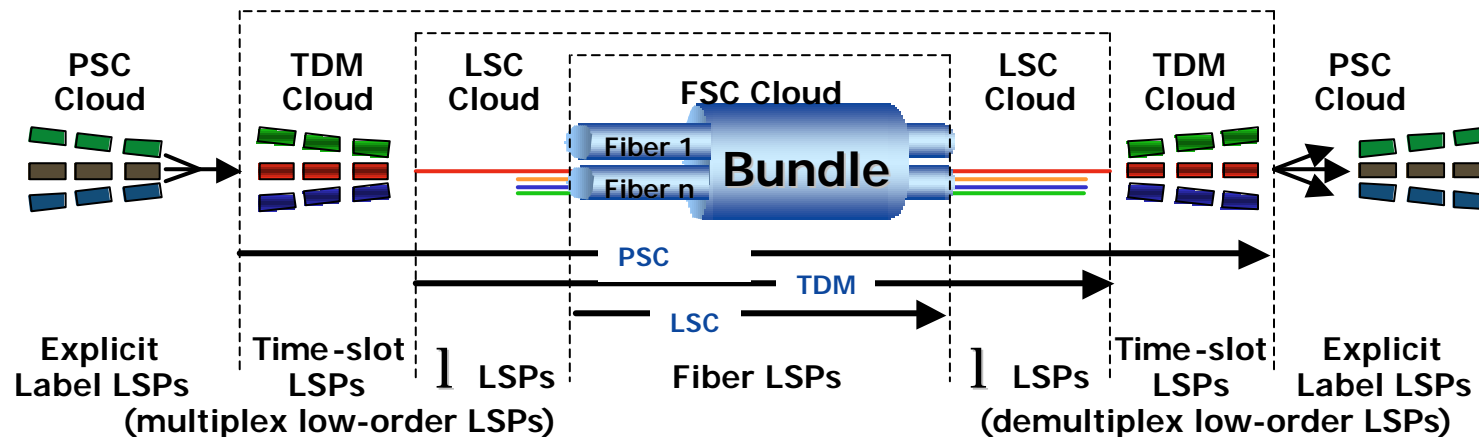
## Estensione di OSPF e ISIS per trasportare informazioni aggiuntive:

- Multiplazione relativa al link (es. 1, TDM, pacchetto)
- Tipo di codifica del link (es. SONET, SDH, GigE, etc...)
- Raggruppamento dei link che condividono lo stesso rischio (SRLG)
- Possibilità di protezione e ripristino relative al link
- Estensione del Constrained SPF:
  - Considerare i vincoli nell'instanziazione dei cammini
  - Calcolare diversi cammini
  - Calcolare cammini bi-direzionali

# GMPLS: estensione dei protocolli di segnalazione

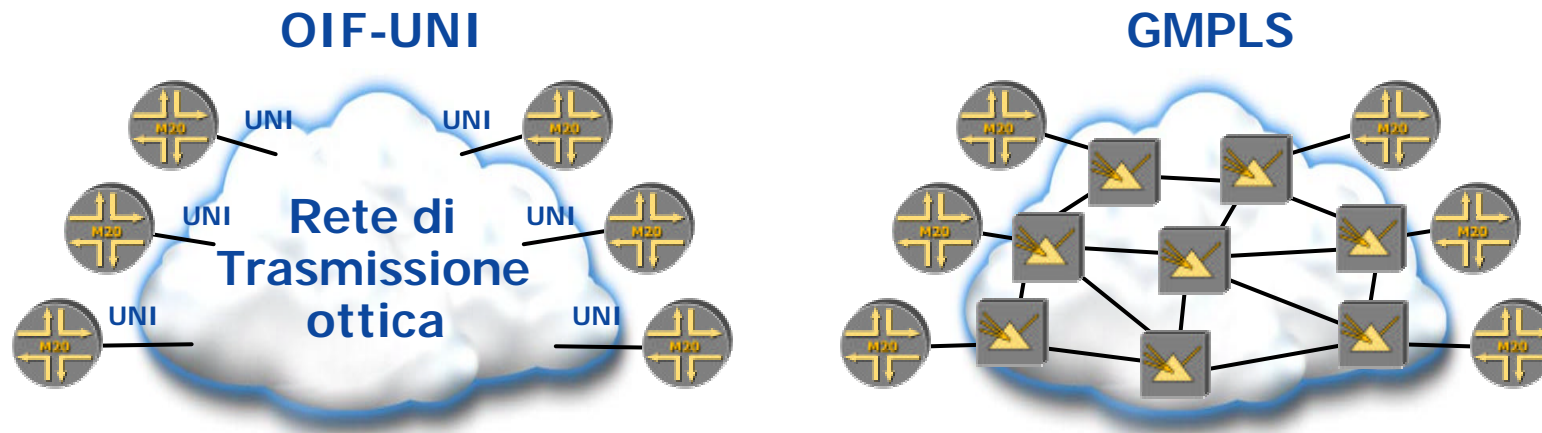
- **Generalizzazione della Label Request**
  - include il tipo di protezione per l'LSP
  - Include il tipo di codifica per l'LSP
- **Generalizzazione del Label Object per SONET, SDH, Wavelength, Wavebands, e Generic Labels**
- **Suggested Label**
- **Label Set**
  - Per fornire upstream node con controllo su alcune labels
- **Supporto di LSP bidirezionali**
- **Notifica veloce di guasti o altri eventi di rilievo**
- **Controllo di uscita**
  - Interfaccia di uscita
  - LSP splicing

# GMPLS: gerarchia degli LSP



- **LSP interfacce gerarchiche**
  - **Packet Switch Capable (PSC)** ← minima
  - **Time Division Multiplexing Capable (TDM)**
  - **Lambda Switch Capable (LSC)**
  - **Fiber Switch Capable (FSC)** ← massima

# GMPLS: l'interfaccia UNI



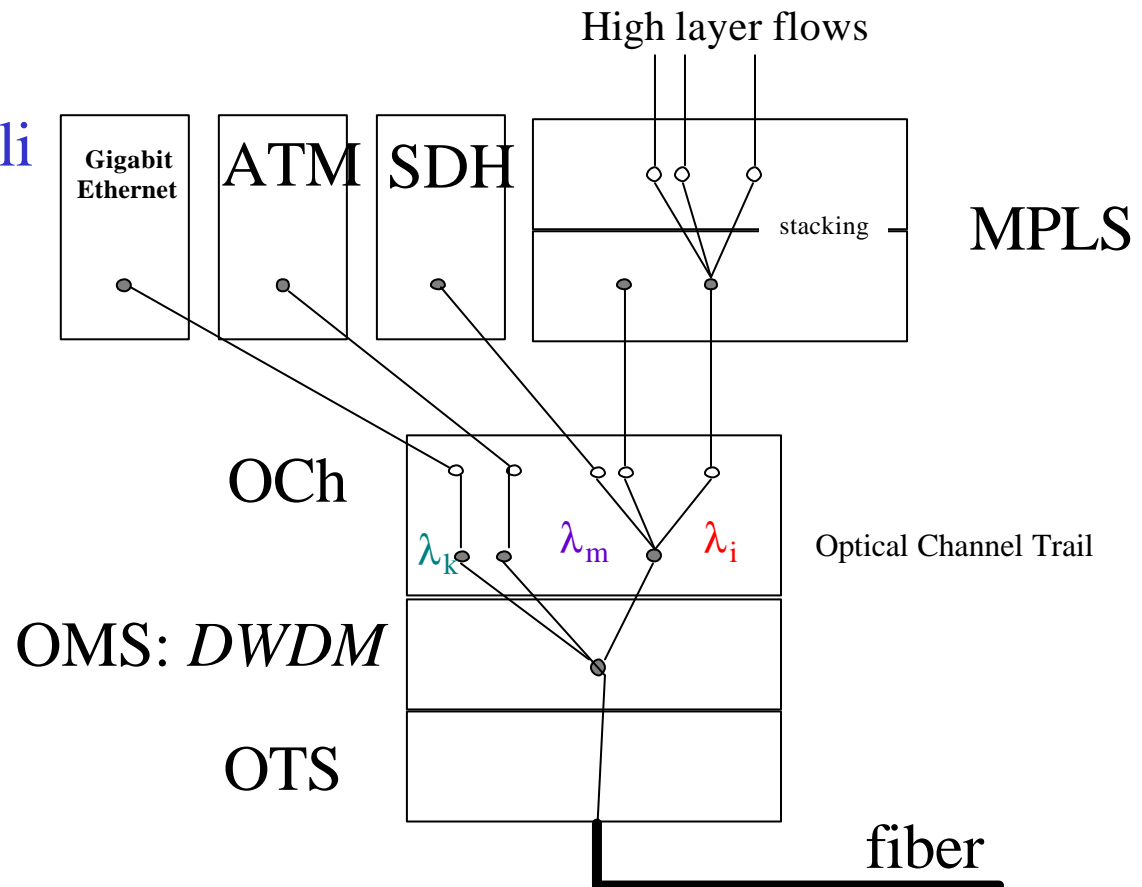
- Utilizza procedure e messaggi definiti per l'MPLS-TE e il GMPLS
- Caratteristiche:
  - Opera solo nel modo UNI (overlay model)
  - Creazione, modifica e abbattimento dei cammini ottici
  - Richiesta dello stato dei cammini ottici e relativa risposta
- Un solo protocollo di segnalazione supporta due differenti applicazioni
  - OIF UNI: richiesta di banda del cliente (topologia ottica nascosta)
  - GMPLS: service provider provisioning (topologia ottica evidente)

# OTN: architettura funzionale (G.872)

- La rete ottica gestisce gli OCh Trails

- Diversi flussi sulla stessa  $\lambda$

- Ripristino a livello dell' OCh Trail

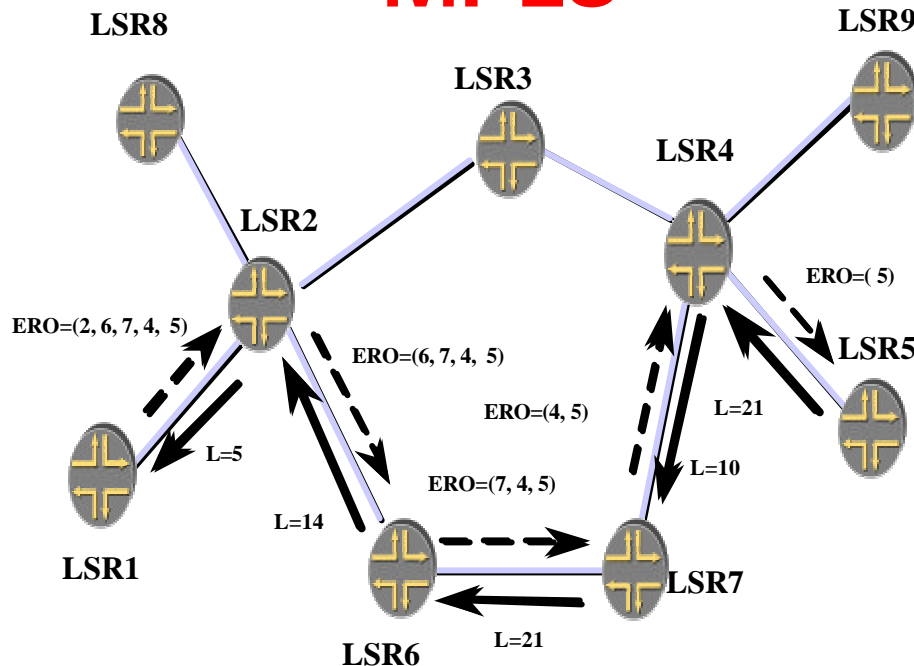


# Reti ottiche ed MPLS: analogie

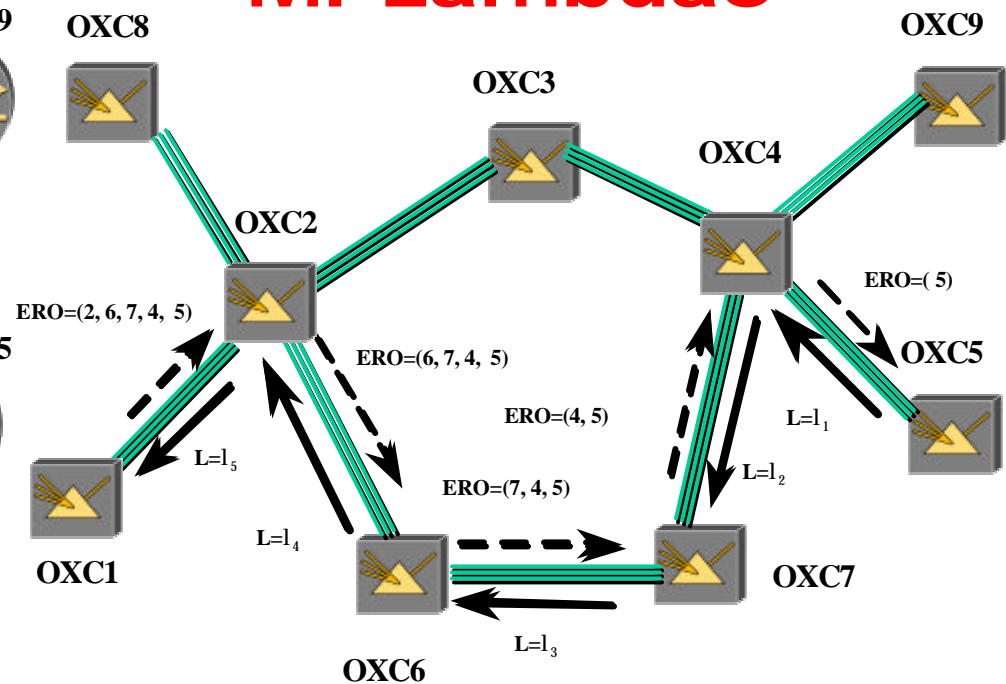
- Le funzionalità delle reti MPLS con constraint-based routing ben si adattano ai requisiti del piano di controllo degli OXC
  - Vedere slide sulle motivazioni
- Similarità tra cammini LSP ed channel trails ottici – astrazione di connessioni orientate al cammino
- Le operazioni degli OXC si adattano bene alle operazioni di forwarding basate sul label swapping realizzate dai routers:
  - OXC: <porta d'ingresso, l d'ingresso> a <porta d'uscita, l d'uscita>
  - Label Swapping: < porta d'ingresso, label d'ingressol> a < porta d'uscita, labe d'uscital>
- Il piano di controllo MPLS può gestire dispositivi, il piano di controllo dei quali non “comprende” pacchetti
  - Es. ATM Label Switching Routers
- Non è necessario realizzare operazioni di label push/pop
- Non è necessario supportare LSP multipunto-punto

# Eesmpio: MPLS vs MPLambdaS

## MPLS



## MPLambdaS



- ➔ RSVP Path message carried Explicit Route Object
- ← RSVP Resv message carries Label information (L)

- ➔ RSVP Path message carried Explicit Route Object
- ← RSVP Resv message carries Label information (L)



# Reti ottiche ed MPLS: **differenze**

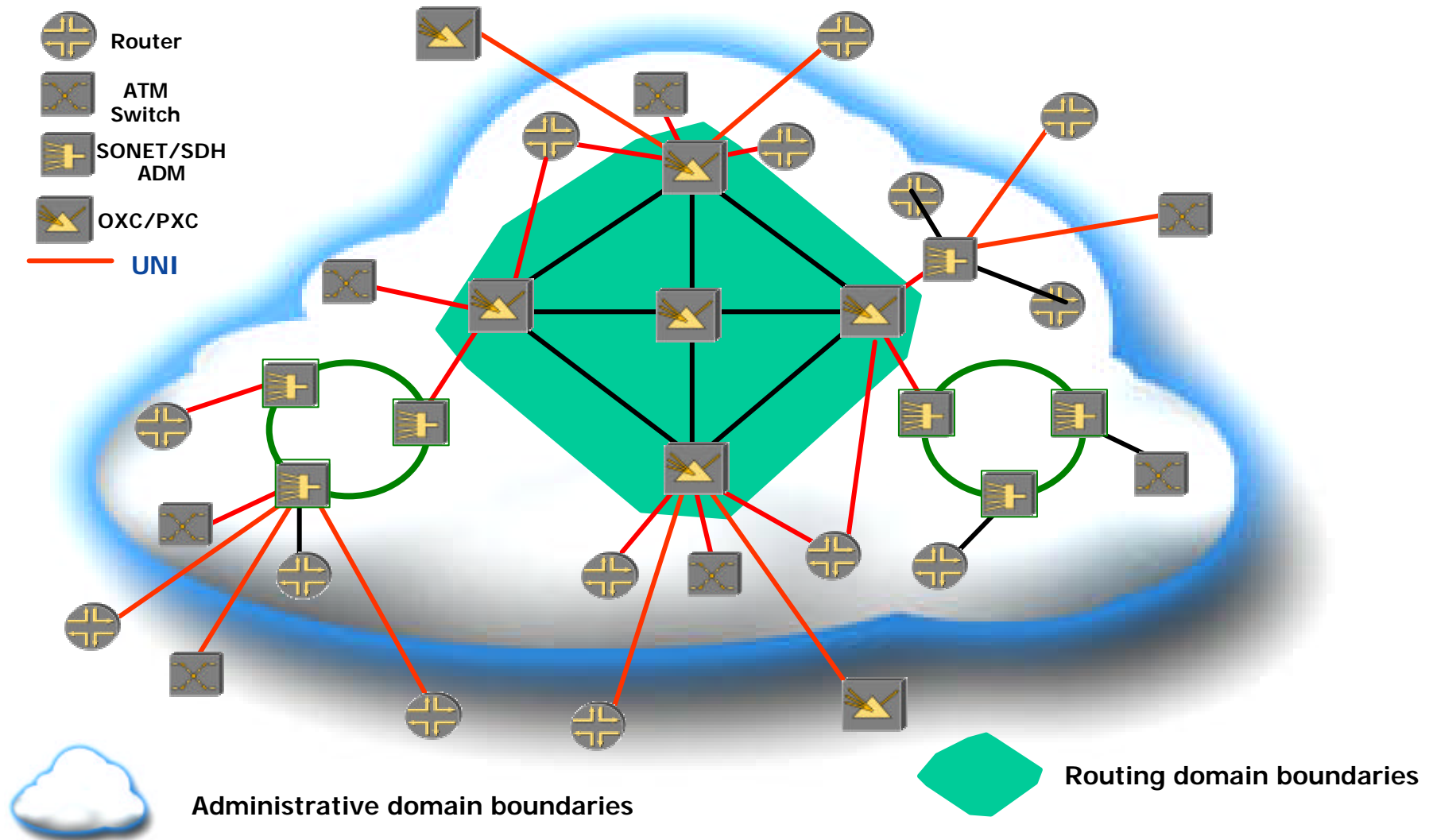
- |  |  |
|--|--|
| <ol style="list-style-type: none"><li>1. Il numero di label è, in principio, arbitrario</li><li>2. La banda è disponibile in un dominio continuo di valori per i traffic trunk</li><li>3. L'LSR svolge un processamento a livello di pacchetto nel piano dati</li><li>4. L'informazione di forwarding è elaborata esplicitamente negli LSR</li></ol> | <ol style="list-style-type: none"><li>1. Il numero di l è limitato</li><li>2. La banda è disponibile in un dominio discreto per gli i canali ottici (OCh)</li><li>3. L'OXC non svolge un processamento a livello di pacchetto nel piano dati</li><li>4. L'informazione di commutazione è implicita nella l e l'OXC svolge una commutazione su base l</li></ol> |
|--|--|

# Il principio del paradigma MPLS

**Adattare il modello MPLS con constraint-based routing come piano di controllo per la rete ottica Multi-Protocol L Switching**

- Non c'è bisogno di reinventare altri protocolli di routing e di segnalazione per gli OXC
- Facilitare un rapido sviluppo e la diffusione degli OXC
- Utilizza appieno le esperienze implementative e operative maturate con l'MPLS insieme con il constraint-based routing
- Aprire il mercato degli apparati che sono al momento realizzati con soluzioni proprietarie
- Supportare diverse tecnologie (es. routers, OXC, etc...)
- Aprire un ampio scenario di scelte architetture

# Modelli di sviluppo: Overlay



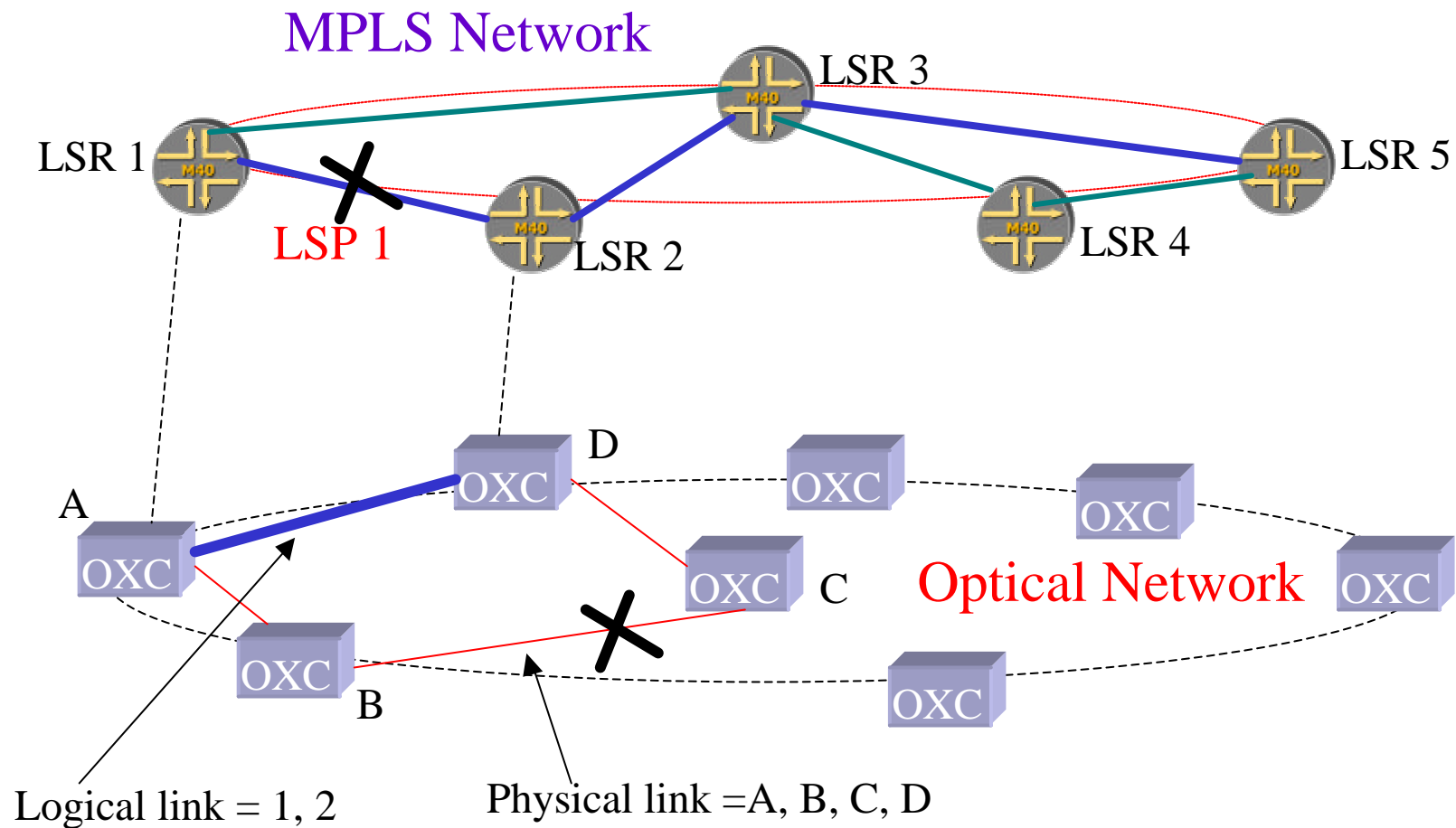
# Il modello overlay

- **Ogni istanza del piano di controllo (routing domain) è ristretta ad una singola tecnologia (es. solo OXC)**
  - even if the control plane is capable of supporting multiple technologies (e.g., OXCs, routers)
- **Diverse tecnologie richiedono diversi piani di controllo (o diverse istanze dello stesso piano di controllo)**
  - Una per tecnologia
  - Anche se il piano di controllo è lo stesso (es. MPLS constraint-based routing)
- **La UNI come interfaccia tra i piani di controllo (tra routing domains)**
  - scambio di informazioni (molto) limitato
  - esclude ogni informazione di routing

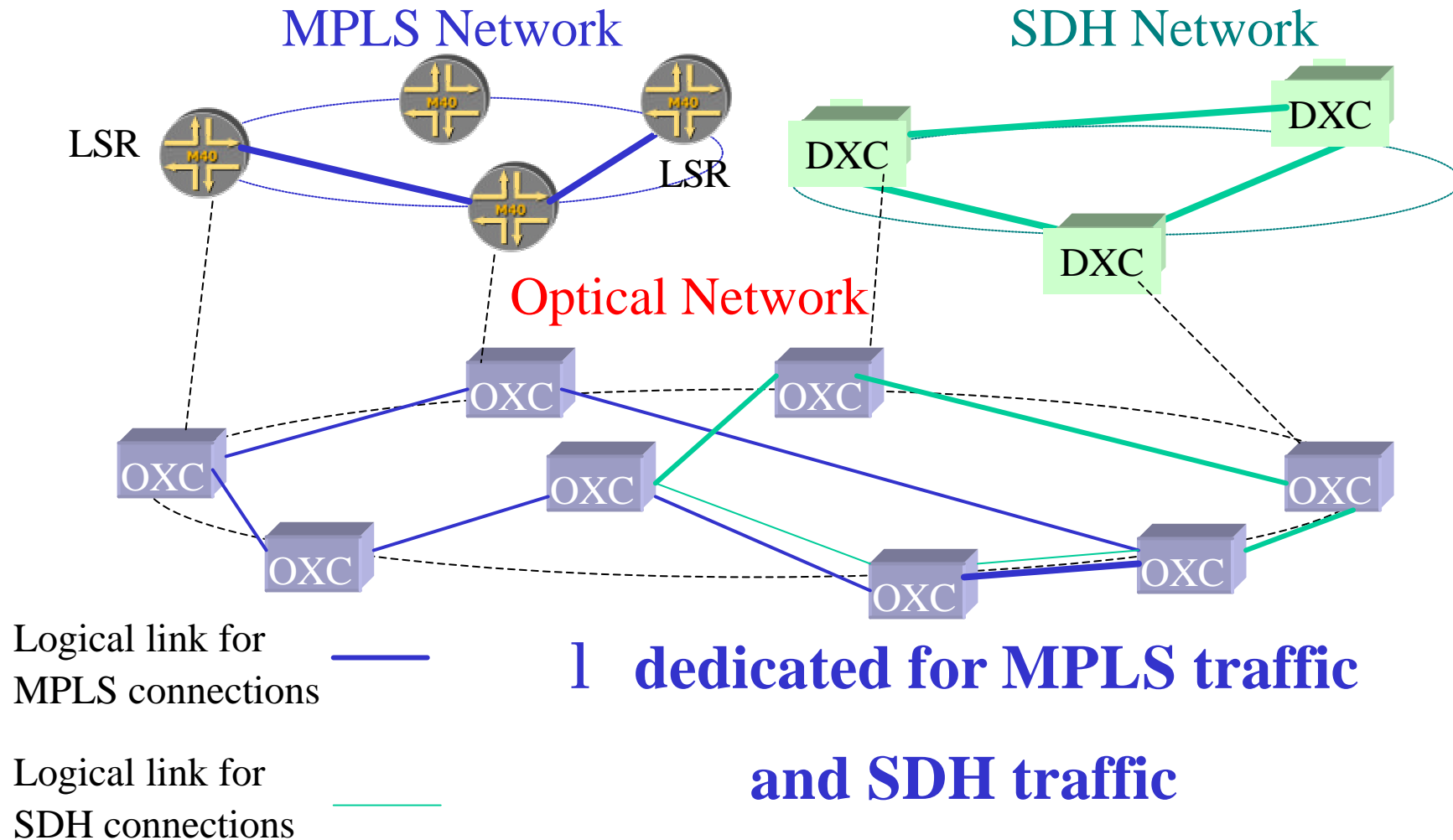
# Vantaggi del modello overlay

- Molto adatto ad un ambito costituito da diversi domini amministrativi
- Necessario quando una rete, pur amministrata da uno stesso dominio amministrativo, è troppo grande da essere gestita da un singolo routing domain
  - i sistemi odierni MPLS constraint-based routing possono supportare domini di grandi dimensioni (qualche centinaio di nodi)
- Molto adatto per piani di controllo privati o proprietari degli OXC
  - La rete ottica è vista come una nuvola
- Adatto per gestire reti di tipo “legacy” e multi-client

# OVERLAY MODEL



# More networks in the OVERLAY MODEL

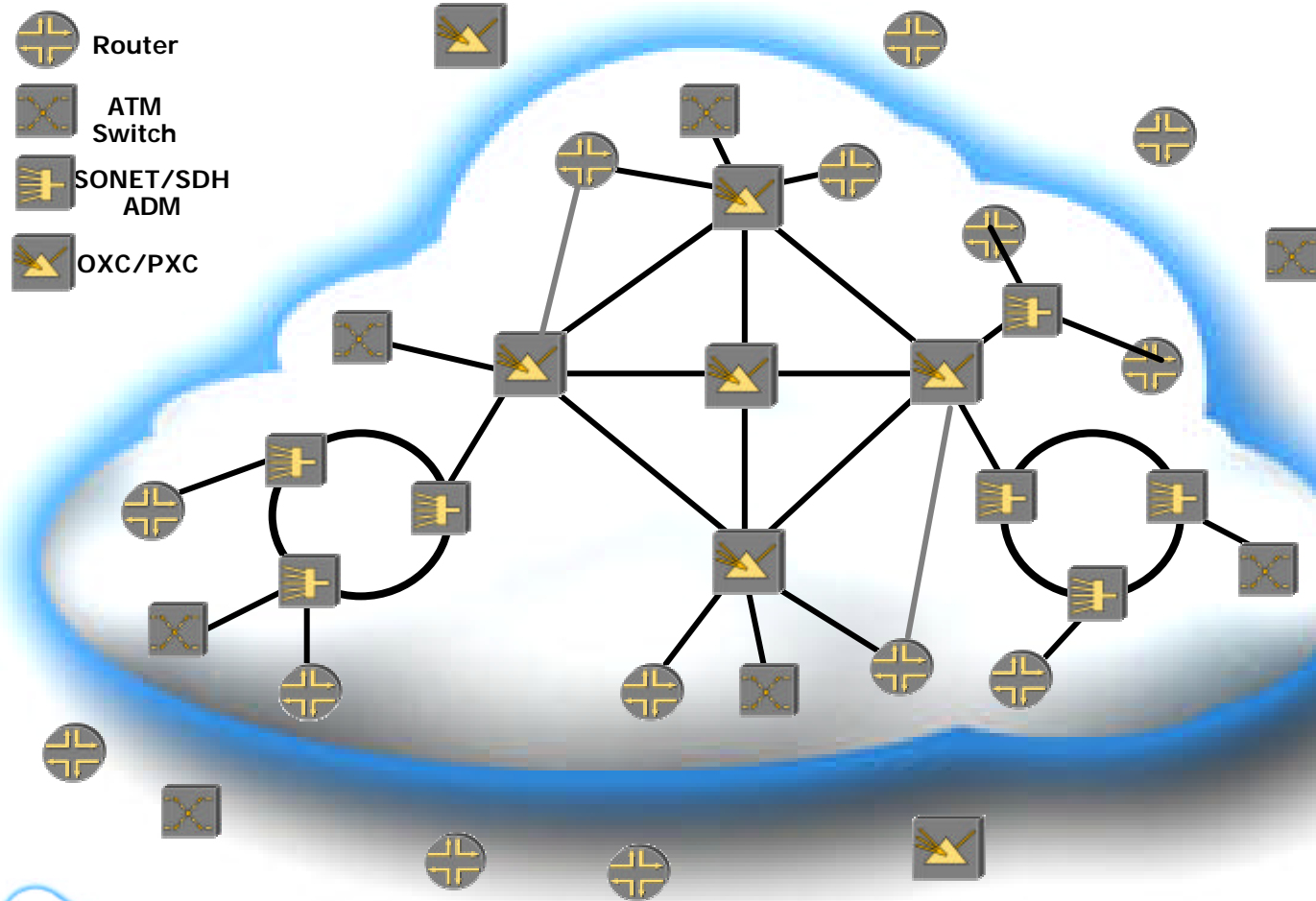
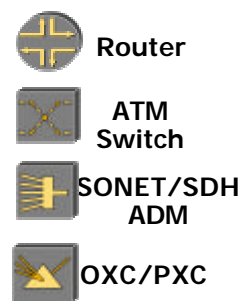


# Svantaggi del modello overlay

- **Complicato interlavoro tra la rete ottica e le reti client**
- **La scalabilità del piano di controllo è in funzione del numero di dispositivi gestiti: il modello overlay, in se, non è ne necessario ne sufficiente per garantirla**
- **Utilizzo meno efficiente delle risorse, dovuto alla non disponibilità delle informazioni necessarie che risultano nascoste ai confini del dominio**
- **La gestione dei guasti può essere più complicata:**
  - **Un singolo guasto nell'ambito di un dominio può causare multipli guasti, apparentemente non correlati, in altri domini**
- **Non scale bene con i protocolli di routing basati su IP**



# Modelli di sviluppo: Peer



Administrative AND routing domain boundaries

## Il modello Peer

- **Una singola istanza del piano di controllo può interessare diverse tecnologie (es. router e OXC)**
  - se il piano di controllo naturalmente supportare ogni tecnologia interessata
- **E' applicabile solo ad un singolo routing (administrative) domain**
  - che succede nei casi di ambiti costituiti da multipli domini ???

# Vantaggi del modello peer

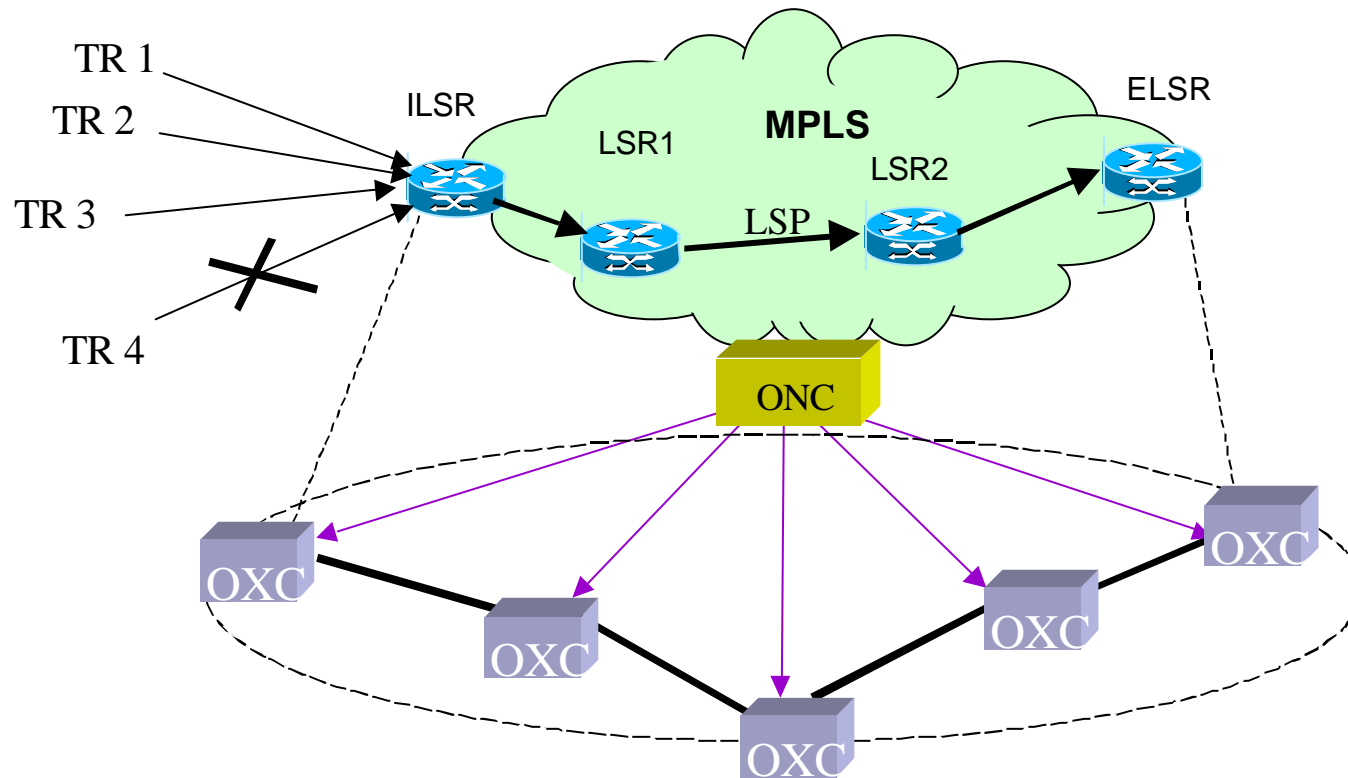
## Facilita la gestione di tecnologie miste

- Consente l'instanziamento di cammini consistente con una varietà di tecnologie
  - facile interlavoro tra le tecnologie
- Semplifica il coordinamento del controllo tra elementi di rete con differenti tecnologie (es. OXC e router)
- Utilizza in modo efficiente le risorse di rete in un ambito costituito da multiple tecnologie
- Semplifica la gestione dei guasti in un ambito composto da multiple tecnologie

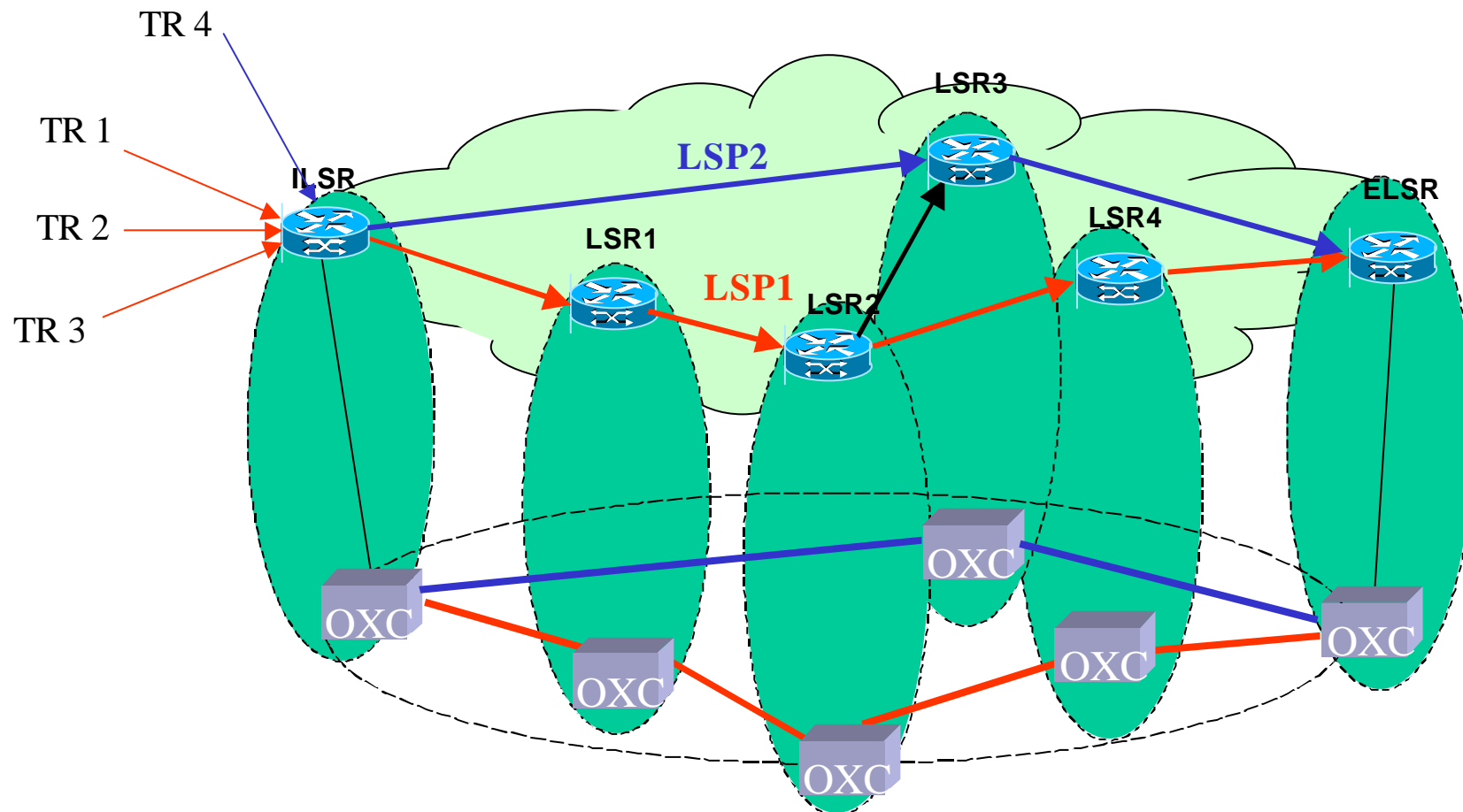
# Svantaggi del modello peer

- **Problemi nel caso si debbano supportare ambiti consistenti di multipli domini amministrativi**

# OVERLAY MODEL



# PEER MODEL



# Overlay o Peer? Possibili scenari

- **Overlay: fornire connessioni ad alta capacità (lightpath services)**
  - MPLS è una soluzione per il piano di controllo aperta, basata su standard, per gestire gli OXC
- **Peer: dare la possibilità agli ISPs di sviluppare in modo scalabile e modulare la propria infrastruttura di rete in modo flessibile (utilizzando router o OXC)**
  - MPLS rappresenta una soluzione integrata per il piano di controllo, in grado di gestire al tempo stesso router e OXC

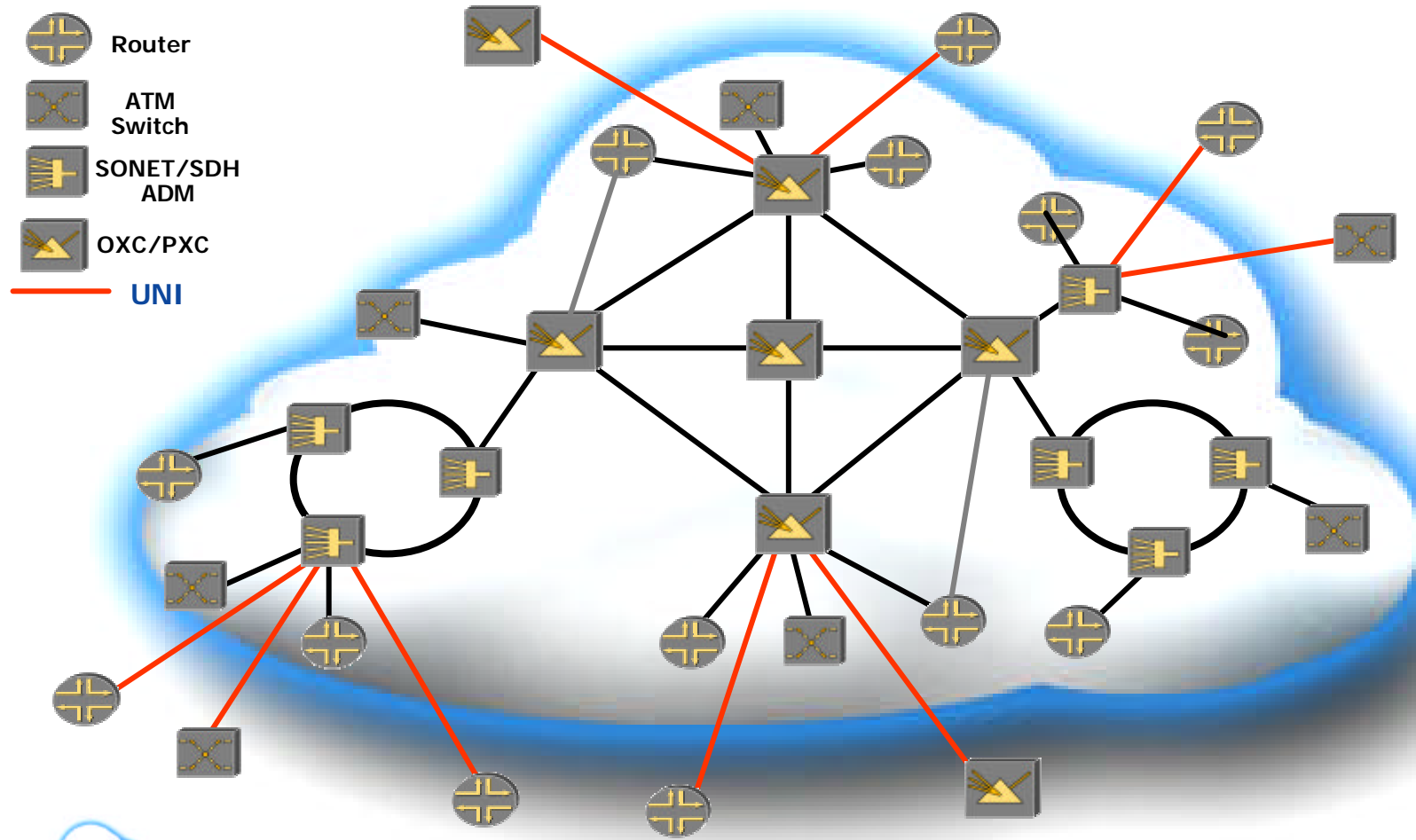
**Osservazione: MPLS supporta entrambi !**

# Modelli di sviluppo: soluzioni ibride

- I modelli overlay e peer rappresentano le due soluzioni estreme: sono possibili architetture ibride
- Come combinare i due modelli peer e overlay?
  - overlay: scelta vantaggiosa per supportare diversi domini amministrativi
  - peer: scelta vantaggiosa per gestire al meglio un singolo dominio caratterizzato da una molteplicità di tecnologie
- La soluzione ibrida consente di :
  - evitare le limitazioni dei modelli estremi
  - Combinare i benefici dei modelli estremi

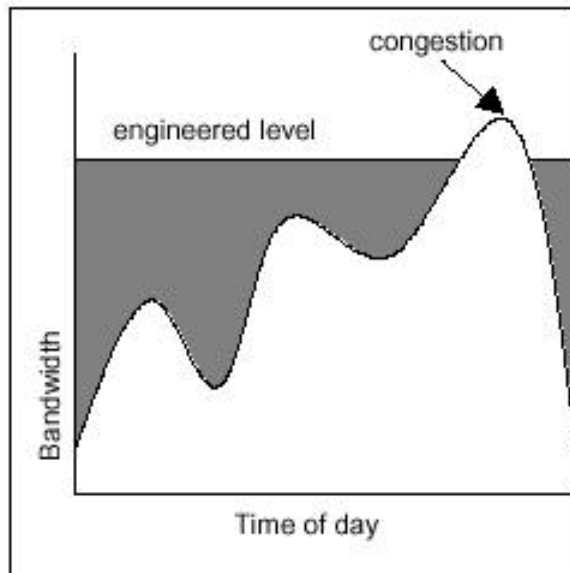


# La soluzione ibrida

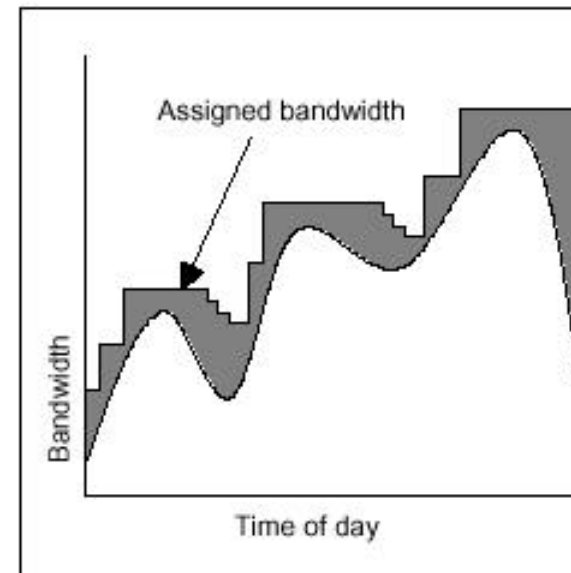


Administrative AND routing domain boundaries

# Soluzioni di Traffic Engineering



In una rete tipica si garantisce un “engineered level of service”, al fine di servire tutto il traffico o, come nella figura, gran parte di esso.



Livello di servizio di una rete con assegnazione dinamica delle risorse di banda. Le risorse sono ridistribuite per soddisfare le richieste al meglio.

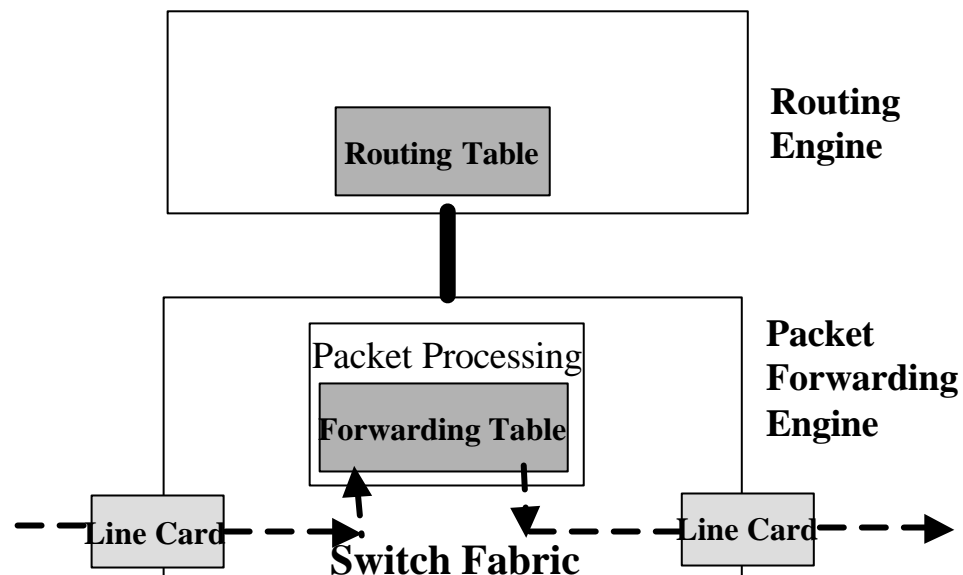
# Esempi di redistribuzione delle risorse

Soluzione ad azioni successive:

- Un controllore di rete rileva che il traffico supera una certa soglia preconfigurata e richiede di aumentare la banda assegnata al “path” che trasporta quel traffico
- Se non c’è la possibilità di aumentare la banda del path tra due nodi, il controllore tenterà di instaurare un nuovo path MPLS utilizzando differenti rotte a livello fisico
- Se le prime due azioni non hanno esito, un nuovo path ottico è richiesto e un certo numero di nuove risorse sono create

# Il routine engine

La tecnica MPLS consente la separazione tra il piano di controllo ed il piano di forwarding



**Obiettivo della separazione:**

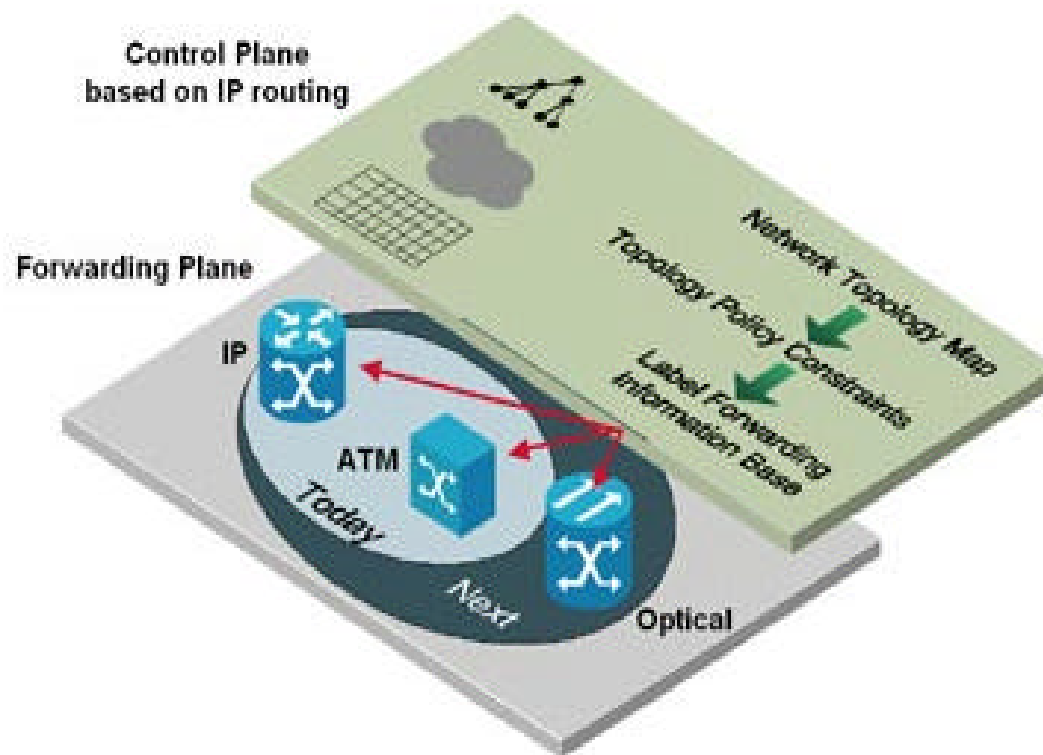
Garanzia che le instabilità del routing non hanno impatto sulle prestazioni di packet forwarding

# Caratteristiche del routing engine

## Consentire una varietà di meccanismi di protezione:

- **MPLS Fast Reroute:** fornisce un ripristino veloce nel caso di guasti di qualche link o router lungo un predeterminato path MPLS
- **Dual-router Automatic Protection Switching:** fornisce protezione nel caso di guasti di qualche link o di router
- **Virtual Router Redundancy Protocol:** fornisce una ridondanza tra host Ethernet utilizzando una singola rotta di default
- **MPLS Traffic Engineering and Automated Constraint-based Routing:** spostare il traffico da rotte “shortest path” calcolate dai protocolli IGP verso rotte meno congestionate attraverso la rete

# L'unicità del piano di controllo



- Fornire servizi avanzati come il “bandwidth on demand” o le Virtual Private Network (VPN)
- Il modello MPLS, basato su protocolli IP ed MPLS, consente di fornire soluzioni di Traffic Engineering di standard

# Unicità del piano di controllo: vantaggi

- Possibilità di disseminare l'informazione circa la topologia e le risorse disponibili della rete
- Constraint-based routing: supporta sia vincoli legati alla rete (congestione di link o nodi) che definiti dall'utente (grado di priorità, possibilità di pre-emption etc.)
- Possibilità di risolvere contese attraverso la pre-emption
- Possibilità di fornire diversi tipi di protezione gestendo path primary e secondari
- Abilità di utilizzare informazioni di livello 1 per rilevare guasti

# Stato dell'arte

Diverse manifatturiere stanno sviluppando soluzioni software per realizzare diverse funzionalità del concetto di “rete ottica intelligente”:

- traffic engineering
- constraint-based routing
- supportare diverse qualità di servizio



# Conclusioni

◆ Il paradigma MPAS permette la realizzazione concreta di architetture e protocolli per le reti ottiche di nuova generazione:

- fa uso dei vantaggi delle tecniche MPLS-Constraint-based routing per realizzare efficacemente soluzioni di Traffic Engineering
- consente di utilizzare al meglio le risorse di banda ottiche grazie ad un controllo “intelligente”
- permette il supporto di differenti classi di QoS
- fornisce diverse soluzioni architetture: dall’overlay al peer, a seconda delle necessità e del contesto

# Lecture suggerite

- ✓ B. Rajagopalan et al., “IP over Optical Networks: Architectural Aspects”, IEEE Communications Magazine, IEEE Communications Magazine, pp. 94-102, September 2000.
- ✓ D. Awduche, Y. Rekhter, “Multiprotocol Lambda Switching: Combining MPLS Traffic Engineering Control with Optical Crossconnects”, IEEE Communications Magazine, pp. 111-116, March 2001.
- ✓ A. Banerjee et al., “Generalized Multiprotocol Label Switching: an Overview of Routing and Management Enhancements”, IEEE Communications Magazine, pp. 144-150, January 2001.
- ✓ D. Awduche et al., “Requirements for Traffic Engineering over MPLS”, RFC 2702, IETF.
- ✓ D. Awduche et al., “A Framework for Internet Traffic Engineering”, draft-ietf-tewg-framework-04.txt, IETF.