

**Università di Genova**  
**Facoltà di Ingegneria**

*Telematica 2*

*1. Servizi Multimediali e  
Qualità del Servizio (QoS) su IP*  
**1.4. MPLS - GMPLS**

Prof. Raffaele Bolla

R. Bolla Telematica 2, n. o.

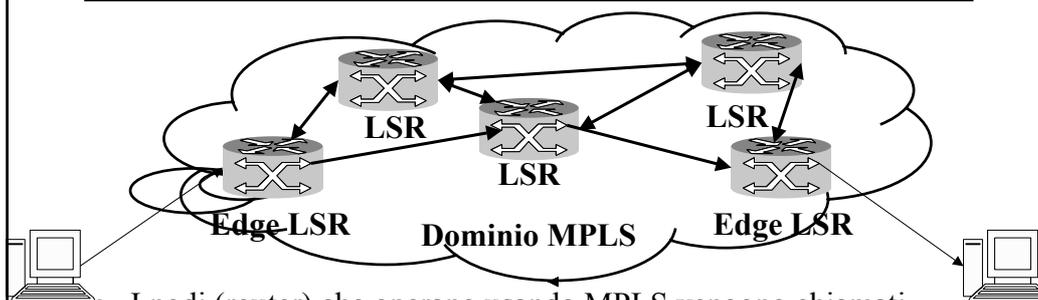
## **MPLS introduzione**

- MPLS (MultiProtocol Label Switching) è uno standard sviluppato dall'IETF con l'obiettivo di:
  - aumentare la velocità di trattamento del pacchetto all'interno dei nodi (relegando le funzioni più complesse ai bordi della rete);
  - agevolare l'allocazione di risorse, il *traffic engineering* e la realizzazione di particolari tipi di servizi.
  - Realizzare meccanismi veloci di protezione del traffico (*fast re-routing*).
- La specifica base è RFC 3031 (Gennaio del 2001).
- È il risultato dell'evoluzione di diverse tecnologie, tra le quali ricordiamo il *Tag Switching* di Cisco, l'*ARIS* di IBM, e il *Cell-Switched Router* di Toshiba.

## Funzionamento di massima

- MPLS architeturalmente si colloca in una sorta di livello intermedio (livello 2,5) fra il livello 3 di Rete (IP) ed il livello 2 di Linea.
- Si chiama “multi-protocol” perché, in linea di principio, è in grado di operare con qualunque protocollo di livello 3 (rete) anche se lo si applica tipicamente ad IP.
- Permette ai nodi che lo utilizzano di realizzare una commutazione su base “etichetta” e anche un instradamento tipo “Circuito Virtuale” su base flusso.

## Domini e LSR



- I nodi (router) che operano usando MPLS vengono chiamati **Label Switching Router (LSR)**
- La parte di rete che questi nodi compongono viene chiamata **Dominio MPLS (MPLS Domain)**
- I nodi al confine del Dominio, ossia i nodi che ricevono/trasmettono traffico all'esterno del Dominio vengono chiamati

## Funzionamento di massima

---

- L'idea di base è che una certa tipologia di pacchetti che raggiungono un **ELSR** debbano venir trasportati, all'interno del Dominio, tramite MPLS ad un altro ELSR.
- In corrispondenza di un indirizzo di destinazione e di un tipo di trattamento richiesto (QoS) viene definita una specifica **Forwarding Equivalent Class (FEC)**.
- Una **FEC** individua quindi un aggregato di pacchetti
  - diretto ad una stessa destinazione (intesa o come destinazione finale o come **ELSR**)
  - che devono avere lo stesso trattamento (QoS)

## Funzionamento di massima

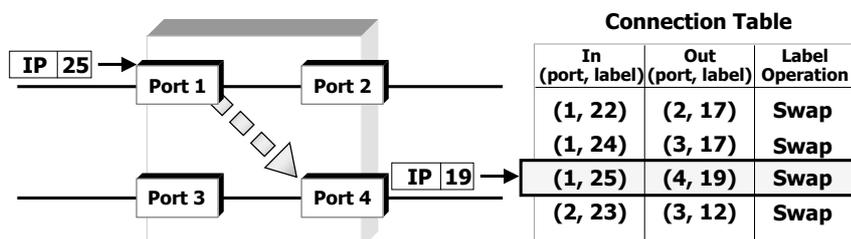
---

- Quanto un ELSR riceve un pacchetto IP :
  - compie una operazione di “Classificazione”, ossia in base a quanto contenuto nell'intestazione identifica l'eventuale FEC di appartenenza;
  - inserisce fra l'intestazione di livello 2 e il pacchetto IP una **Label**.
- Tale **Label**:
  - Identifica la FEC a cui il pacchetto appartiene
  - Ha una lunghezza costante e breve
  - Ha un significato “locale alla linea”

## Funzionamento di massima

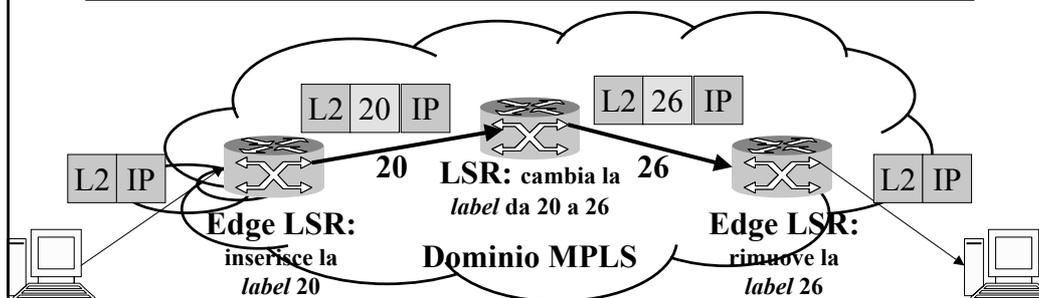
- Dall'ELSR di ingresso a quello di uscita tutte le operazioni di *forwarding* verranno effettuate utilizzando solo la **Label** e quindi l'intestazione del pacchetto IP non verrà più letta fino all'ELSR di destinazione.
- Gli LSR attraversati leggono la **Label**, trovano tramite essa in una tabella il FEC corrispondente ossia l'informazione sulla porta di uscita, la **Label** successiva ed il tipo di trattamento richiesto.
- L'ELSR di uscita (quindi l'ultimo nodo attraversato all'interno del Dominio MPLS) elimina la **Label** ed instrada il pacchetto nuovamente sulla base dell'indirizzo IP.

## Cmuutazione d'etichetta (label switching)



- Le label hanno un significato locale e possono essere riutilizzate nodo a nodo.

## Un esempio



- Il percorso effettuato dai pacchetti appartenenti ad uno specifico **FEC** viene chiamato **Label-Switched Path (LSP)**

## MPLS verso VC

- Due sono le differenze principali con un meccanismo a Circuito Virtuale tradizionale
  - Il livello di aggregazione; una FEC (e quindi una Label) aggrega in genere più flussi a partire dall'ELSR.
  - Non esiste una fase di *setup* del circuito attivata dalla sorgente, ma sono gli ELSR che attivano la procedura che introduce nelle tabelle di *forwarding* MPLS una nuova Label.

## Vantaggi del MPLS 1/2

---

- Rispetto al *forwarding* IP tradizionale il modo di procedere di MPLS ha diversi vantaggi:
  - La procedura di *forwarding* richiede solo l'ispezione di una etichetta (Label) di dimensioni ridotte e l'esplorazione di una tabella relativamente semplice:
    - la ricerca in tabella non richiede un *longest prefix matching*.
  - La tabella di instradamento di MPLS può contenere molte informazioni sulle modalità di trattamento del pacchetto, mentre l'IP tradizionale può solo far uso delle informazioni contenute nell'intestazione del pacchetto.
    - » L'uso di queste informazioni, per altro, non rallenta molto il processo di *forwarding* perché esse non devono essere estratte dall'intestazione del pacchetto.

## Vantaggi del MPLS 2/2

---

- Si posso definire percorsi che non siano decisi dinamicamente *hop-by-hop* ma scelti con opportune strategie di “Ingegneria del traffico”, questo permette di
  - » Migliorare l'utilizzo delle risorse di rete
  - » Realizzare protezioni veloci dei percorsi
  - » Agevolare la realizzazione di alcuni servizi (VPN)
  - » Ottenere un supporto efficace per la QoS.

## Struttura di MPLS

---

- MPLS prevede in sostanza tre passi fondamentali:
  - La definizione di una **FEC**
  - L'individuazione del percorso **LSP**.
  - La creazione (associazione al **FEC**) e distribuzione delle **Label** lungo il **LSP** (si osservi che questa operazione e la precedente si svolgono in modo parallelo e coordinato).
  - Il meccanismo di *forwarding* che comprende l'inserimento della **Label**, la commutazione sulla base di essa e la sua rimozione.

## Trattamento dei pacchetti negli LSR

---

- Le operazioni che vengono effettuate sul pacchetto in transito nei LSR in relazione alle **Label** sono sostanzialmente tre:
  - **Pushing**, ossia l'inserimento della **Label**, che viene realizzata dall'**ELSR** di ingresso.
  - **Swapping**, ossia conversione dell'etichetta, realizzata contestualmente all'operazione di commutazione
  - **Popping**, ossia l'eliminazione di etichetta, effettuata dall'ultimo o dal penultimo LSR

## Label e Label Binding

---

- Se  $R_s$  e  $R_d$  sono l'LSR sorgente e destinazione (intermedie) rispettivamente, possono accordarsi sul fatto che i pacchetti che  $R_s$  invierà a  $R_d$  con la **Label**  $L$  saranno legati al **FEC**  $F$ .
- Identificare una Label e assegnarla a una FEC significa realizzare un **Label Binding**
- $L$  sarà quindi la **Label** di uscita per  $R_s$  e la **Label** di ingresso per  $R_d$  per quanto concerne il **FEC**  $F$ .
- Il valore di  $L$  sarà assegnato da  $R_d$  per evitare assegnamenti doppi (rispetto a  $R_d$ ), ossia le Label vengono sempre assegnate dai router *downstream*.

## Minimizzazione della dimensione delle tabelle MPLS

---

- Per mantenere il vantaggio di avere una commutazione molto veloce, si deve cercare di mantenere piccole le tabelle MPLS, ossia minimizzare il numero di **Label** usate per nodo.
- Ridurre il numero di **Label** significa pure ridurre il traffico di segnalazione
- La riduzione del numero di **Label** è ottenuta in tre modi
  - *Aggregation*
  - *Label Merging*
  - *Label stack*

## Aggregation

---

- I **FEC** possono essere creati ogni volta che si vuole trattare un qualunque flusso di dati tramite MPLS
- I parametri che permettono di identificare nel **ELSR** i pacchetti appartenenti ad un **FEC** possono essere, in generale, di vario tipo.
- I più immediati sono i *net-prefix* contenuti nel campo indirizzo di destinazione di IP.
- In ogni caso, ci si può trovare nelle condizioni di avere **FEC** diversi i cui flussi devono fare lo stesso percorso (quindi hanno lo stesso LSP).
- In questa situazione sarebbe opportuno non trattare questi flussi tramite **Label** diverse

## Aggregation

---

- MPLS prevede la possibilità di associare più **FEC** ad una singola **Label** definendo una l'operazione di  
*Aggregation*  
che è realizzata derivando dai **FEC** aggregati un nuovo **FEC** “unione”.
- La decisione di chi deve realizzare la **Aggregation** e tra quali **FEC** è lasciata ai singoli LSR.

## Label Merging

---

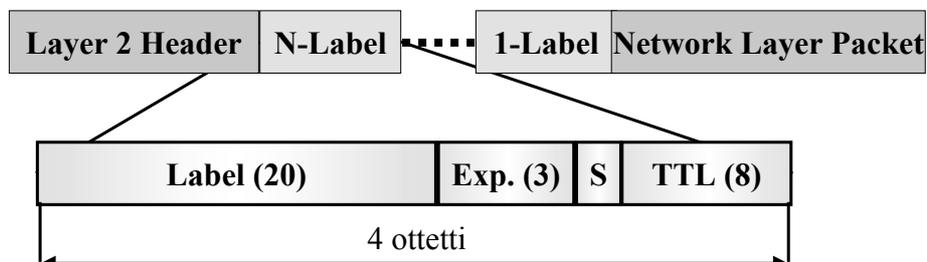
- Un altro caso che può presentarsi è l'avere pacchetti associati allo stesso **FEC** che arrivano ad un nodo con **Label** differenti (perché provenienti da **LSR** diversi).
- In questo caso è prevista la funzione di **Label Merging** tramite la quale un LSR può associare la stessa **Label** di uscita ai due flussi.
- Questa capacità non è imposta dallo standard a tutti i nodi.

## Label stack

---

- Le **Label** possono essere più di una per singolo pacchetto
- Una sequenza di **Label** viene indicata come **Label Stack**.
- Il **Label Stack** permette di realizzare una struttura gerarchica di instradamento/commutazione:
  - Il Dominio MPLS può essere suddiviso in sotto-domini ed i sotto-domini possono essere a loro volta suddivisi a più livelli.
  - Ogni sotto-dominio ha una **Label** specifica.
  - Il pacchetto entra nel Dominio con una singola **Label** e “guadagna” una nuova **Label** per ogni livello di sotto-dominio a cui accede.
  - All'uscita da ogni sottodominio viene eliminata la **Label** corrispondente.

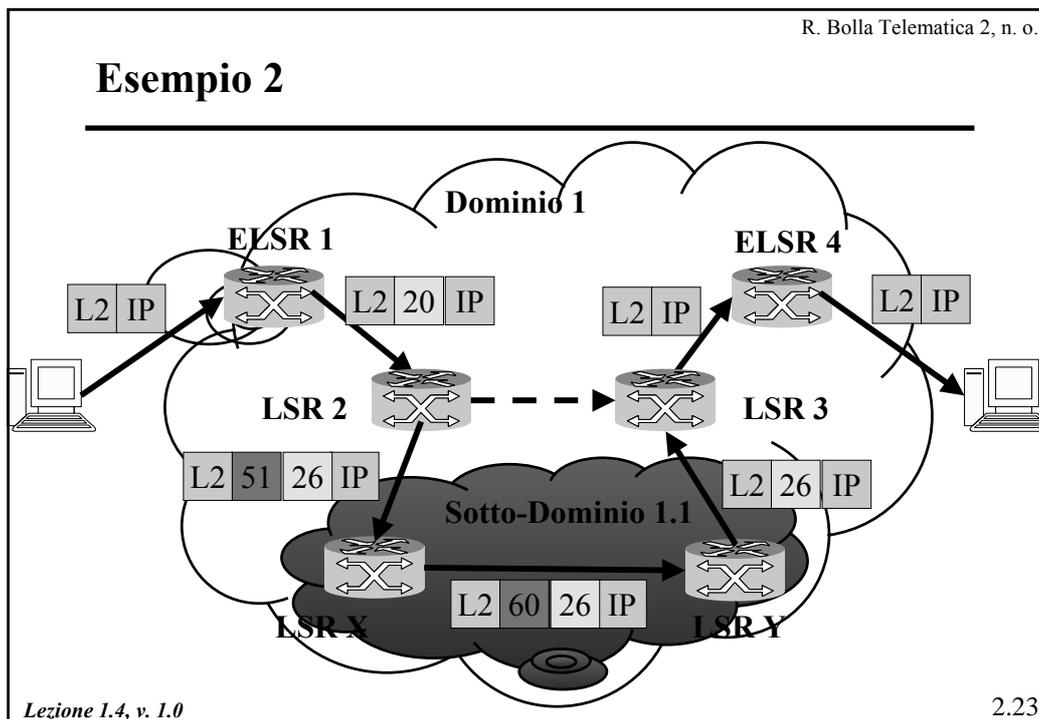
## Label



- **Label** (20 bits): l'etichetta vera e propria
- **Experimental** (3 bits): riservati per la sperimentazione
- **S** (1 bit): *Bottom of stack*, vale 1 se si tratta dell'ultima Label (1), vale 0 in tutti gli altri casi.
- **TTL** (8 bit): ci si copia al nodo di ingresso il TTL IP, il campo viene poi decrementato di 1 ogni LSR attraversato ed alla fine il valore viene inserito nel pacchetto IP.

## Label Popping

- Esiste un ulteriore modo per velocizzare le operazioni.
- Conviene fare il *popping* al penultimo LSR (***Penultimate Popping***), perché:
  - All'ultimo nodo il *forwarding* viene eseguito sulla base del pacchetto IP e quindi l'osservazione della Label è inutile
  - Lasciarlo significa costringere il nodo a cercare nella tabella MPLS per scoprire che deve eliminare la Label e quindi usare IP
- Non sempre si può fare il *Penultimate Popping* in quanto non è detto che l'LSR sia in grado di accorgersi di essere il penultimo del LSP.



R. Bolla Telematica 2, n. o.

## Selezione del percorso (LSP)

- La selezione del percorso avviene sfruttando le informazioni di instradamento fornite dai protocolli tradizionali (OSPF).
- Il metodo più immediato è quello di legare le **FEC** e i relativi **LSP** ai net-id o net-prefix IP.
- In pratica significa generare una **FEC/Label** e creare un corrispondente **LSP** per ogni linea della tabella d'instradamento IP del **LSR**.
- In questo caso l'aggregazione e la gerarchia potrebbe essere attivata seguendo l'aggregazione degli indirizzi IP.
- In alternativa la selezione del percorso può venir guidata in modo specifico.

Lezione 1.4, v. 1.0 2.24

## Selezione del percorso (LSP)

---

- Ci sono due modalità per identificare il **SLP**
  - **Hop-by-Hop**  
In questo caso ogni nodo associa ad una **FEC/Label** un *next-hop* in modo indipendente, basandosi per esempio sul protocollo di instradamento in uso (la sceglie sulla base del prefisso IP di destinazione collegato alla **FEC**).
  - **Explicit Routing**  
E' in sostanza una forma di *source-routing* in cui l'**ELSR** di ingresso può stabilire a priori il percorso. La differenza sostanziale dal *source-routing* IP è che non richiede una complessa e lenta elaborazione dell'intestazione. Il percorso può essere scelto per configurazione o dinamicamente e può essere di tipo "loose" o "strict".

## Controllo di un LSP

---

- Quando i **FEC** vengono fatti corrispondere a un prefisso di rete, si può procedere in due modi per l'attivazione delle **Label**:
  - **Independent LSP Control**  
appena un nodo riconosce la presenza di un **FEC** (tramite la modifica indotta da un protocollo di instradamento della tabella IP) autonomamente realizza un **Label Binding** con i suoi *peer*.
  - **Ordered LSP Control**  
il **Label Binding** può essere attivato solo dal **ELSR** di uscita (eventualmente "inizializzato" da quello di ingresso) o da un LSR che ha già ricevuto un *binding* dal suo *next-hop* per quel FEC.

## Distribuzione delle Label

---

- La richiesta per un *binding* Label/FEC può partire sia da un LSR *upstream* (sorgente) che *downstream* (destinazione).
- L'assegnazione deve essere fatto in direzione *downstream* (a partire dalla destinazione)
- Un LSR *upstream* segnala al LSR *downstream* *binding* tramite uno specifico protocollo
- La segnalazione si realizza fra coppie (*peer*) di LSR.

## Distribuzione delle Label

---

- Sono previsti quattro possibili protocolli per la distribuzione di Label
  - **Label Distribution Protocol (LDP)**: usato per le FEC create in corrispondenza di indirizzi IP unicast.
  - **RSVP, Constraint-based Routing LDP (CR-LDP)**: usati per assegnare Label per il Traffic Engineering e prenotazione di risorse.
  - **Protocol Independent Multicast (PIM)**
  - **BGP**: usato per Label esterne all'*autonomous system* (per esempio nelle VPN).

## Distribuzione delle Label

---

- Le richieste in downstream di Label *binding* possono avvenire in due modi:
  - **Downstream on demand**: su richiesta di un LSR al suo *next-hop*
  - **Unsolicited Downstream**: un LSR può segnalare ai suoi predecessori un *binding* anche se questo non è stato esplicitamente richiesto

## Instaurazione del LSP

---

- Due alternative:
  - **Independent LSP Control**  
Ogni LSR, nel momento in cui riconosce la presenza di un nuovo FEC (per esempio in corrispondenza di un aggiornamento della tabella di instradamento IP da parte di un IGP) assegna una nuova **Label** e la distribuisce ai *peer*. Questo metodo non è attuabile con un **Explicit Routing**.
  - **Ordered LSP Control**  
In questo caso l'**LSR** assegna l'etichetta solo se:
    - » è l'**ELSR** di uscita (finale) per quel FEC;
    - » se riceve per quel FEC un LSR in *downstream*.

## Tunneling

---

- E' noto che in IP è possibile e a volte necessario realizzare un "tunneling".
- Tale *tunneling* avviene attraverso l'incapsulamento di un pacchetto IP in un altro pacchetto IP.
- MPLS permette di realizzare un *tunneling* IP in modo più efficiente, associando un FEC al traffico da trasportare e definendo il nodo di uscita come ELSR di destinazione.
- Sono previste due tipologie di *tunnels*
  - *Explicitly routed*
  - *Hop-by-hop*

## Applicazioni di MPLS

---

- MPLS può essere usato per
  - gestire la QoS.
  - realizzare in modo più efficiente ed efficace una rete Diffserv
  - applicare tecniche di *Traffic Engineering* alle reti IP
  - realizzare in modo efficace un servizio di Virtual Private Network.

## Traffic Engineering (TE)

---

- Il TE consiste nella ottimizzazione delle prestazioni di reti operative.
- In linea generale implica l'applicazione di tecnologie e principi scientifici concernenti la misura, la modellizzazione, la caratterizzazione e il controllo del traffico IP per raggiungere degli obiettivi di performance predefiniti.
- L'obiettivo principale è rendere più efficienti e affidabili le operazioni di rete ottimizzando contemporaneamente l'uso delle risorse e le prestazioni del traffico.
- MPLS fornisce degli strumenti per applicare tecniche di TE alle reti IP per quanto concerne la misura e il controllo.

## Obiettivi del TE

---

- Si possono classificare in due insiemi principali:
  - Orientati al traffico  
Si tratta principalmente di migliorare la QoS dei flussi di traffico
    - » Nel caso BE principalmente la perdita.
    - » Nel caso di più classi di servizio anche il ritardo.
  - Orientati alle risorse  
Si tratta di ottimizzare l'uso delle risorse, in particolare la gestione efficiente della banda, evitando di trovarsi in condizioni in cui parte delle risorse sono sovraccariche e parte sotto-utilizzate.

## Obiettivi del TE

---

- Dal punto di vista del traffico l'obiettivo complessivo potrebbe essere riassunto come:
  - minimizzazione della congestione “prolungata”**
- La congestione si presenta in genere in due casi:
  - Risorse inadeguate rispetto al carico offerto.
  - **Flussi di traffico distribuiti in modo inefficiente nella rete.**
- Il primo caso può essere affrontato usando due metodi (applicabili anche contemporaneamente):
  - Espansione della capacità
  - Meccanismi di controllo di congestione su traffici elastici (controllo dei tassi, controllo di flusso a finestra, gestione delle code, controllo dello *scheduling*, ...)

## Traffic Engineering (TE)

---

- Il secondo caso può essere affrontato dal TE.
- Il TE dovrebbe in pratica fornire le funzionalità di un meccanismo di controllo retroazionato adattativo composto da:
  - Un insieme di elementi di rete interconnessi
  - Un sistema di *monitoring* delle prestazioni della rete
  - Un insieme di strumenti di gestione delle configurazioni
- L'ingegnere del traffico stabilisce una politica di controllo, osserva il sistema tramite il *monitoring*, applica delle azioni di controllo per guidare la rete nello stato desiderato in accordo con la politica definita.
- Le azioni possono essere prese in risposta ad uno stato corrente o sulla base di previsioni ottenute tramite modelli previsionali.

## Traffic Engineering (TE)

---

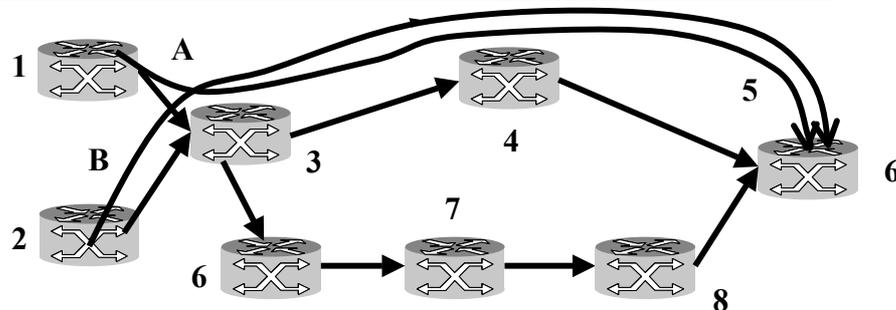
- Le azioni di controllo dovrebbero comprendere:
  - La modifica dei parametri di gestione del traffico (parametri di *scheduling*, di *queue management*, ...)
  - La modifica di parametri associati al routing (metriche, costi, percorsi)
  - La modifica di attributi e vincoli associati alle risorse.
- Il livello di intervento manuale dovrebbe essere ridotto al minimo.

## Perchè MPLS per il TE

---

- In linea di principio gli IGP (Interior Gateway Protocol) potrebbero essere lo strumento più naturale per l'applicazione delle tecniche di TE.
- Nella pratica non sono adatti a fornire un supporto adeguato ed anzi sono spesso fonte di inefficienze perché:
  - Sono basati su meccanismi *shortest path* che generano spesso condizioni di uso inefficiente delle risorse
  - Usano metriche semplici ed additive che non tengono conto della disponibilità di banda e delle caratteristiche del traffico
- E quindi il risultato è che generano condizioni di congestione quando
  - Gli *shortest path* di più flussi convergono su una singola linea/interfaccia
  - Un flusso viene instradato verso una linea/interfaccia che non ha sufficiente banda disponibile.

## Perchè MPLS per il TE



- Sulla base degli algoritmi di instradamento tradizionali lo *shortest path* porta spesso ad una sotto-utilizzazione delle linee.

## Perchè MPLS per il TE

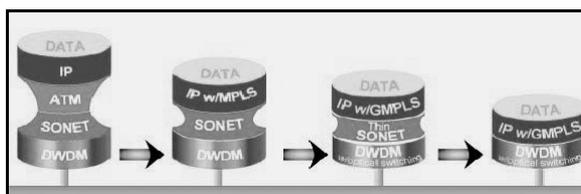
- La soluzione “tradizionale” con la quale si è fino ad oggi operato è stato quello di utilizzare IP over ATM o IP over Frame-relay.
- In pratica si utilizzano i VP (*Virtual Circuit*) ATM per creare delle topologie virtuali fra router indipendenti dalla rete fisica effettivamente presente. Tali topologie virtuali sono considerate dagli IGP come reali (ossia un VP appare al router come una linea fisica).
- Questo modo di operare tramite un *overlay model* ha diversi vantaggi:
  - Permette di realizzare tramite VC un routing vincolato
  - Permette la configurazione di percorsi su base amministrativa
  - Permette la aggregazione di percorsi
  - Da un supporto per il CAC, *policing* e *shaping*.

## Perchè MPLS per il TE

- In questo senso MPLS può essere applicato al posto di ATM e Frame-relay, con evidenti vantaggi quali ad esempio:
  - il livello di integrazione con IP;
  - la possibilità di automatizzare gli interventi di TE;
  - il minor impegno in termini di complessità e segnalazione introdotto.

## Evoluzione delle reti di trasporto

- Gli obiettivi prospettici sono
  - ridurre al minimo la stratificazione (divenuta eccessiva), portando il livello IP direttamente sul livello ottico.
  - Integrare il controllo del piano ottico con quello di rete in modo da ottenere massima flessibilità ed efficienza.
- MPLS è una soluzione migliore rispetto ad ATM ma:
  - Non permette di interagire con il piano ottico (a livello di fibre e WDM)
  - Non permette di gestire una transizione verso uno *stack* composto solo dal piano ottico e da MPLS/IP



## Piani di rete

- E' necessario quindi trovare un meccanismo per far interagire il piano ottico nel suo complesso (incluso SDH/Sonet) con MPLS/IP
- Questo significa "far parlare" fra loro Router e apparati ottici.
- Più in dettaglio i "piani" da far inter-agire sono quattro.

## Caratteristiche dei diversi piani di rete

Dominio di commutazione	Tipo di traffico	Schema di inoltro	Esempio di apparati	Nomenclature
Pacchetto, cella	IP, Asynchronous Transfer Mode (ATM)	Datagram, virtual channel connection (VCC)	IP router, ATM switch	PSC Packet Switch Capable
Tempo	TDM/SONET-SDH	Time slot in cicli periodici	Digital Cross-connect System (DCS), ADM	TDM capable
Lunghezza d'onda	Trasparente	Lambda	DWDM	LSC Lambda Switch Capable
Spazio fisico	Trasparente	Fibra, linea	OXC	FSC Fiber Switch Capable

## Interazione fra piano ottico e livello di rete (IP)

---

- Ci sono diversi modelli per gestire le interazioni fra le due parti della rete:
  - Modello Overlay
  - Modello Peer
  - Modello Ibrido

## Modello Overlay

---

- Due piani di controllo indipendenti per gestire
  - L'instradamento IP/MPLS
  - L'instradamento a livello ottico
- Le interazioni fra i due piani sono limitate ai punti di confine fra router e apparati ottici
- I meccanismi d'instradamento IP/MPLS non hanno visibilità sulla topologia ottica e quindi non intervengono nella instaurazione dei cammini ottici
- I router vengono considerati come *client* dal dominio ottico
- Questo approccio è simile a quello adottato nelle reti IP/ATM

## Modello Peer

---

- Prevede un solo piano di controllo
- Si ha un solo dominio amministrativo su cui operare, che comprende il nucleo ottico ed i router ad esso connessi
- Non si ha nessuna distinzione tra router e apparati ottici
- Tutti gli apparati sono a conoscenza della topologia completa della rete

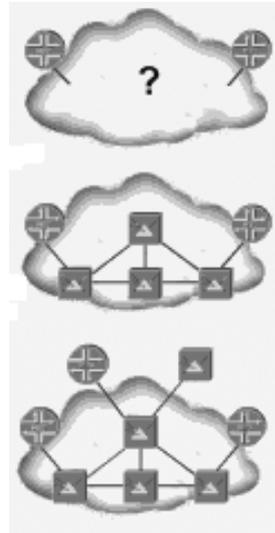
## Modello Ibrido

---

- Combina i modelli Overlay e Peer
  - Via di mezzo tra due estremi
  - Vantaggi di entrambi i modelli
- Supporta la presenza di più domini amministrativi (qualità derivata dal modello Overlay)
- Prevede un solo piano di controllo per livello IP/MPLS e ottico nello stesso dominio (qualità derivata dal modello Peer)

## Interazione fra piano ottico e livello di rete (IP)

- Modello Overlay
- Modello Peer
- Modello Ibrido



## Generalized MPLS (GMPLS)

- IETF ha proposto una estensione di MPLS (GMPLS) che
  - Fornisce un piano di controllo comune agli apparati ottici e ai router.
  - Ha come riferimento il modello Peer
  - Gestisce Label e LSP su 4 livelli
    - » *Fiber-switched Capable (FSC)*
    - » *Lambda-switched Capable (LSC)*
    - » *Time Division Multiplexing Capable (TDM)*
    - » *Packet-switched Capable (PSC)*
  - E' definito nella RFC 3471.

## Estensioni degli “altri” protocolli

---

- Non è sufficiente la “semplice” estensione di MPLS
- Altri protocolli correlati con MPLS devono essere estesi per supportare il piano ottico:
  - Protocolli di routing : OSPF e IS-IS
    - » Bisogna notificare la disponibilità delle risorse ottiche
    - » E’ richiesta una elevata scalabilità
  - Protocolli di segnalazione: RSVP-TE e CR-LDP
    - » Gli LSP devono essere specificati attraverso il nucleo ottico
- Deve essere introdotto un nuovo protocollo: LMP (Link Management Protocol)

## Modifiche ai protocolli di routing

---

I protocolli di routing devono conoscere la topologia della rete ottica e diffondere le informazioni sulla disponibilità di risorse a router e OXC, per far questo sono necessarie alcune estensioni

- Gerarchia LSP
- *Link bundling*
- *Unnumbered links*
- *Forwarding adjancency*

## Gerarchia LSP

---

- La presenza degli LSP si estende anche ai livelli più bassi, rispetto a IP/MPLS
- Gli LSP iniziano e terminano sempre su interfacce dello stesso tipo
- Gerarchia delle interfacce per gli LSP
  - Fiber Switch Capable (highest)
  - Lambda Switch Capable
  - TDM Capable
  - Packet Switch Capable (lowest)

## Gerarchia LSP

---

- Nel *link state* database di OSPF ed IS-IS è possibile annidare un LSP all'interno di LSP di altri livelli gerarchici.
- Aumenta la scalabilità del sistema.
- Ad esempio: un path MPLS può essere inserito all'interno di un LSP ottico, lasciando a disposizione degli altri LSP la banda dell'LSP ottico rimanente.

### ***Link bundling***

---

- Il *Link State DataBase (LSDB)* si compone di tutti i link della rete e corrispondenti attributi; essendo il numero di link fisici in una rete ottica (fibre e lambda) potenzialmente molto maggiore rispetto al numero di link del livello IP, ne consegue che le dimensioni del LSDB potrebbero diventare eccessive.
- GMPLS consente il *bundling* di link fisici paralleli in un unico collegamento logico.

### ***Unnumbered link***

---

- In GMPLS sarebbe impossibile identificare ogni link con un indirizzo IP:
  - Per questioni di scalabilità, il numero di link può essere molto grande
  - Gli indirizzi IP sono una risorsa preziosa
- Vengono utilizzati i link “unnumbered”, identificati da un ID unico all’interno della rete, dato dalla coppia <Router ID, link number>
- Gli unnumbered link sono supportati sia dai protocolli di routing che di segnalazione

### ***Forwarding adjacency***

---

- Un nodo può annunciare un LSP al protocollo di *routing* interno
- IGP informa i router (*flooding*) della presenza del LSP (*forwarding adjacency*), come se fosse un nuovo link fisico
- LSP viene inserito nel LSDB del protocollo di routing interno
- Un secondo nodo può utilizzare la *forwarding adjacency* come se fosse un link “tradizionale”, per instaurare un nuovo LSP

### **Modifiche ai protocolli di segnalazione**

---

- *Suggested label*
- *Bidirectional LSP*
- Messaggi di notifica

### ***Suggested label***

---

- Consente al nodo *upstream* di suggerire una Label al nodo *downstream* (la distribuzione delle label in RSVP avviene nel verso contrario).
- Una configurazione anticipata, ottenuta attraverso un'etichetta suggerita, permette al nodo *downstream* di ridurre i tempi di latenza per riconfigurare un path.
- E' fondamentale nei casi di *restoration* (importanti nel dominio ottico), in cui i *path* hanno bisogno di essere ristabiliti molto rapidamente.

### **LSP bidirezionali**

---

- GMPLS, a differenza di MPLS, supporta LSP bi-direzionali
- Si presuppone che gli LSP abbiano in entrambe le direzioni gli stessi requisiti di ingegneria del traffico, includendo la protezione e la *restoration* come pure gli stessi requisiti di risorse.

## Messaggio di notifica

---

- Fornisce un meccanismo per informare i nodi non adiacenti di problemi lungo il cammino.
- E' presente solo in RSVP-TE.
- Non rimpiazza il messaggio d'errore usuale di RSVP, si distingue da esso perché consente di essere indirizzato ad un nodo specifico e non necessariamente al precedente o al successivo.

## Traffico di controllo e traffico dati

---

- Nel piano ottico il traffico di controllo viaggia “fuori linea”.
- Ossia è trasportato da canali separati da quelli usati dal traffico utente.
- La gestione di tali canali è affidata ad un protocollo specifico chiamato **Link Management Protocol (LMP)**

Issue	GMPLS Solution(s)	Protocol(s)	Notes
Switching diversity	Generalized label	Signaling: RSVP-TE, CR-LDP	LSP to start and end on the same type of device
Forwarding diversity	Logical or physical separation of control and data	All	Signaling and routing to travel out of band
Configuration	Suggested label Bidirectional LSPs	Signaling	Expedite LSP set-up
Scalability	Forwarding adjacency Link bundling Hierarchical LSPs	Routing and signaling: OSPF-TE, IS- IS-TE	Lower link database size Bandwidth scalability
Reliability	Protection and restoration •(M:N, 1+1) •Shared-risk link group for path diversity	•LMP •Routing: OSPF- TE, IS- IS-TE	Simulate SONET bidirectional line-switched ring (BLSR), unidirectional path-switched ring (UPSR) User disjoint route for back-up
Efficient use of network resources	•Hierarchical LSP •Unnumbered links	Signaling/routing	Save on excess use of scarce IP addresses

## Cosa succede durante l'instaurazione di un LSP (1/2)

1. LMP notifica a RSVP e OSPF le informazioni riguardanti il canale di controllo e il TE-link.
2. GMPLS estrae gli attributi dalla configurazione e richiede a RSVP di segnalare uno o più path, specificati dagli indirizzi del TE link.
3. RSVP riconosce il TE link locale, la corrispondente adiacenza di controllo, il canale di controllo ed i parametri di trasmissione (gli indirizzi IP). Richiede a LMP di allocare risorse per il TE link con gli attributi specificati.

## Cosa succede durante l'instaurazione di un LSP (2/2)

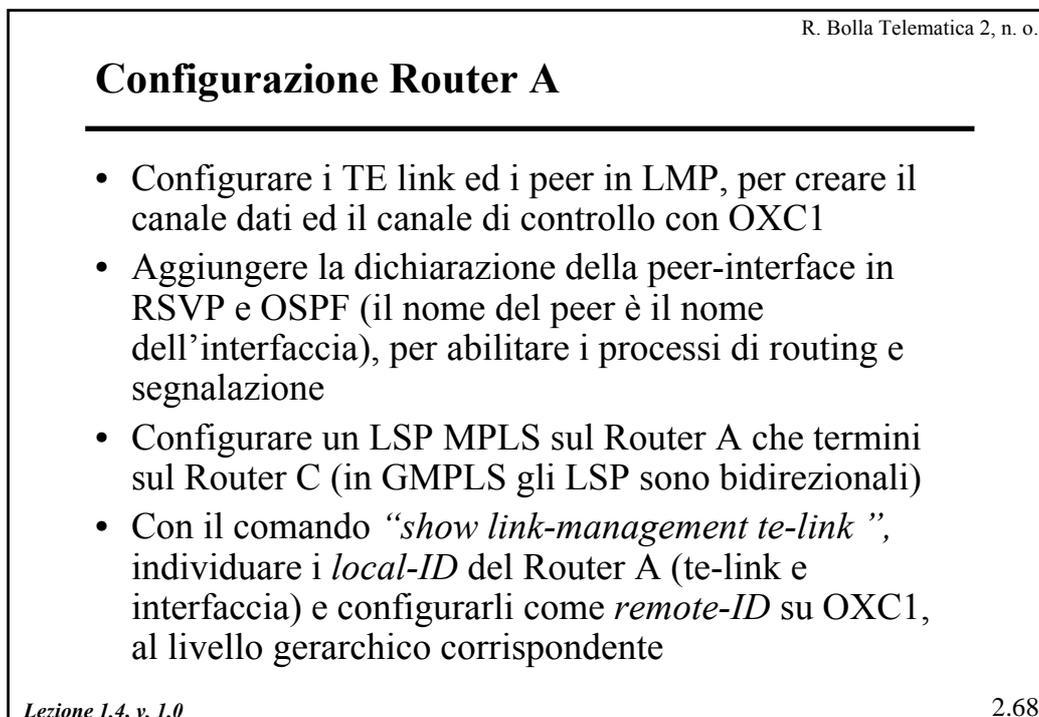
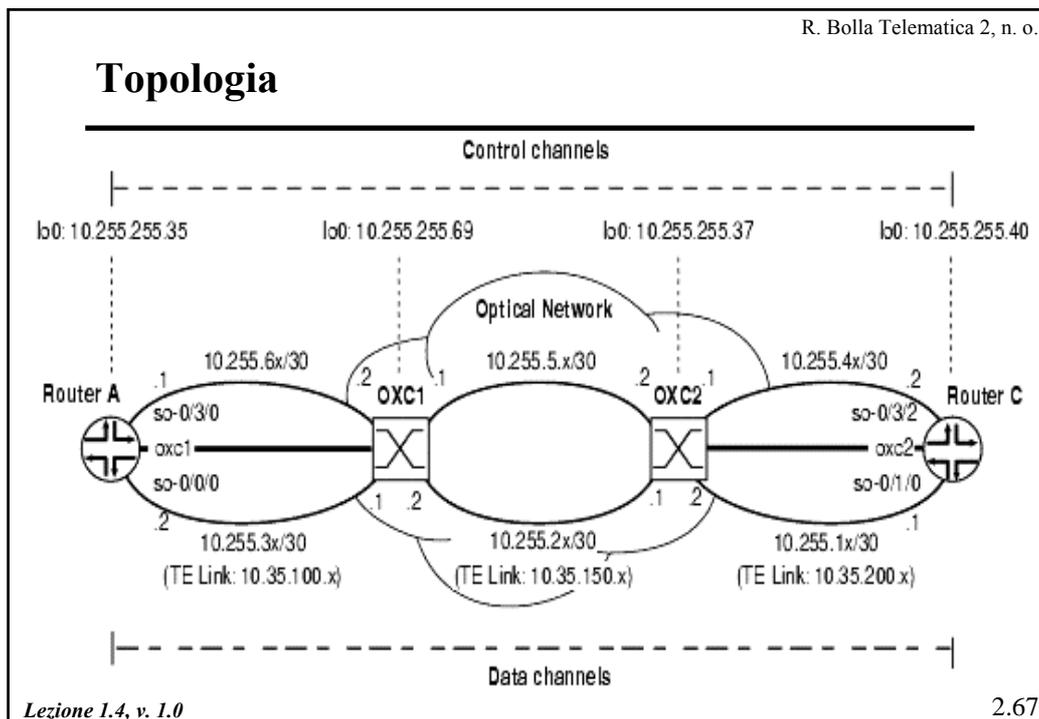
---

4. Se LMP trova le risorse richieste, allora la label viene allocata e RSVP manda un PathMsg hop-by-hop al router di destinazione.
5. Il target router riceve il PathMsg e richiede che LMP allochi una risorsa, se l'allocazione della label va a buon fine, allora invia un messaggio ResvMsg.
6. Se la segnalazione ha successo, il cammino ottico viene instaurato.

## Configurazione GMPLS

---

- Configurazione dei LMP Traffic Engineering Link
- Configurazione dei LMP Peers
- Configurazione delle interfacce dei peer in OSPF e RSVP
- Stabilire le informazioni riguardanti gli LSP GMPLS
- Definire gli LSP GMPLS
- Identificare i *Local Identifiers* e configurare i *Remote Identifiers*



```

interfaces {
  so-0/0/0 {
    description "Data channel to OXC1";
    encapsulation ppp;
    unit 0 {
      family inet {
        address 10.255.3.2/30 {
          destination 10.255.3.1;           // OXC1 address
        }
      }
      family mpls;
    }
  }
  so-0/3/0 {
    description "Control channel to OXC1";
    encapsulation ppp;
    unit 0 {
      family inet {
        address 10.255.6.1/30 {
          destination 10.255.6.2;         // OXC1 address
        }
      }
      family mpls;
    }
  }
  lo0 {
    unit 0 {
      family inet {
        address 10.255.255.35/32;}}}}

```

```

protocols
  rsvp {
    interface all;
    interface so-0/3/0.0 {
      disable;
    }
    peer-interface oxc1;
  }
  mpls {
    label-switched-path gmpls-lsp1 {
      to 10.255.255.40;           // LSP to Router C
      // Router C loopback
      lsp-attributes {
        signal-bandwidth stm-1;
        switching-type fiber;
        gpid ppp;
      }
      primary path-lsp1;
    }
    path path-lsp1 {
      10.35.100.1 strict; # This example does not disable CSPF,
      10.35.150.1 strict; # so this step is optional.
      10.35.200.1 strict;
    }
    interface all;
  }

```

```

ospf {
  area 0.0.0.0 {
    interface lo0.0;
    interface Exp0.0 {
      disable;
    }
    peer-interface oxc1;
  }
}
link-management { //      configure TE link e TE peer
  te-link te-oxc1 {
    local-address 10.35.100.2;
    remote-address 10.35.100.1;
    remote-id 8256;
    interface t3-3/3/0:0 {
      local-address 10.35.100.2;
      remote-address 10.35.100.1;
      remote-id 65536;
    }
  }
  peer oxc1 {
    address 10.255.255.69;
    control-channel so-0/3/0.0;
    te-link te-oxc1;      }}}

```

R. Bolla Telematica 2, n. o.

## Configurazione OXC (1/2)

---

- Su OXC1, completare la configurazione del canale di controllo e del TE-link, da instaurare con Router A
- Fare riferimento alle istruzioni del vendor dell'apparato per configurare un TE-link sull'OXC
- Abilitare il peering LMP con Router A, configurare i *local-ID* di Router A come *remote-ID* su OXC1
- Cercare i local-ID di OXC1 e configurarli come remote-ID su Router A

## Configurazione OXC (2/2)

---

- Configurare *TE-link* e canale di controllo tra OXC1 e OXC2
- Il *TE-link* va configurato con indirizzamento 10.35.150.x/30, su una rete fisica con indirizzamento 10.255.2.x/30
- Il canale di controllo viene configurato sul link 10.255.5.x/30
- Su OXC2, va configurato un *TE-link* verso il Router C
- Va abilitato il peering LMP con Router C
- Configurare i local-ID del Router C come remote-ID su OXC2; trovare i local-ID di OXC2 e configurarli come remote-ID sul Router C

## Configurazione Router C (1/2)

---

- Configurare il TE-link, il peer LMP, e la definizione del canale di controllo con OXC2. Come nel caso di Router A, gli indirizzi locale e remoto del TE-link non sono correlati agli indirizzi delle interfacce fisiche
- Configurare RSVP, MPLS e OSPF per le corrispondenze del canale di controllo configurate sul Router A
- Non viene configurato nessun LSP, è sufficiente l'LSP bidirezionale configurato su Router A; fare attenzione al *switching-type fiber* (che impone di *default* la bidirezionalità)

## Configurazione Router C (2/2)

- RSVP è abilitato su tutte le interfacce del *router*, ma OSPF e RSVP formano adiacenze tra *peer* su interfacce virtuali e non su interfacce fisiche; quindi RSVP deve essere disabilitato sull'interfaccia fisica so-0/3/2, su cui è attestato il canale di controllo.
- Dopo l'abilitazione di LMP su *Router C* e *OXC2*, visualizzare i *local-ID* e configurarli come *remote-ID* sui rispettivi apparati

```

interfaces {
  so-0/3/2 {
    description "Control channel to OXC2";
    encapsulation ppp;
    unit 0 {
      family inet {
        address 10.255.4.2/30 {
          destination 10.255.4.1; // OXC2 address
        }
      }
      family mpls;
    }
  }
  so-0/1/0 {
    description "Data channel to OXC1";
    encapsulation ppp;
    unit 0 {
      family inet {
        address 10.255.1.1/30 {
          destination 10.255.1.2; // OXC2 address
        }
      }
      family mpls;
    }
  }
}

```

```

lo0 {
  unit 0 {
    family inet {
      address 10.255.255.40/32;}}}}
  rsvp {
    interface all;
    interface so-0/3/2.0 {
      disable;
    }
    peer-interface oxc2;
  }
  mpls {
    interface all;
  }
  ospf {
    area 0.0.0.0 {
      interface fxp0.0 {
        disable;
      }
      interface lo0.0;
      peer-interface oxc2;
    }
  }
}

```

```

link-management {
  //configure TE link e TE peer
  te-link te-oxc2 {
    local-address 10.35.200.1;
    remote-address 10.35.200.1;
    remote-id 41060;
    interface so-0/1/0 {
      local-address 10.35.200.1;
      remote-address 10.35.200.2;
      remote-id 22278;
    }
  }
  peer oxc2 {
    address 10.255.255.37;
    control-channel so-0/3/2.0;
    te-link te-oxc2;
  }
}
}
}

```