

L'EVOLUZIONE DELLA TECNICHE BASATE SU ETHERNET

La progressiva migrazione del trasporto di tutti i servizi con tecnologie a pacchetto, crea la necessità di individuare il modo migliore per realizzare questa convergenza. Sebbene non ci siano dubbi sul fatto che l'Internet Protocol (IP) sarà la base di tutti i nuovi servizi, questo protocollo non è in grado da solo di garantire sufficienti livelli di QoS.

Ethernet sta emergendo come nuova tecnologia per il trasporto e la commutazione di servizi IP, soprattutto per il suo basso costo, per la sua semplicità di esercizio (soluzione Plug and Play) e per la sua naturale compatibilità con sistemi largamente diffusi a livello di reti locali. Anche Ethernet però, fornendo un servizio connection-less, non soddisfa i requisiti di una tecnologia carrier class. Finora gli utilizzi di Ethernet come tecnologia di trasporto hanno fatto affidamento sul supporto di altri protocolli per sopperire alle funzionalità assenti: si pensi per esempio a Ethernet over MPLS o Ethernet over SDH/SONET. Per questa ragione ITU-T e IEEE sono a lavoro da anni per rendere Ethernet indipendente dalle tecnologie usate finora come supporto .

Il Metro Ethernet Forum (MEF) ha specificato le caratteristiche che dovrebbe avere un Carrier Ethernet Service:

- ✚ Servizi standardizzati
- ✚ Scalabilità
- ✚ Affidabilità
- ✚ Quality of Service
- ✚ Service Management

In questo articolo vedremo l'evoluzione che la tecnica Ethernet ha avuto nel tempo e i vari protocolli che si sposano con essa, da quelli ben consolidati come l'MPLS, alla sua evoluzione (GMPLS) a quelli di nuova generazione come il T-MPLS, il PBT e il VPLS.

L'evoluzione della tecnica ETHERNET

Se si volge uno sguardo indietro nel tempo, si può affermare che *Ethernet* fu progettata per essere una semplice tecnologia per reti *LAN*. Grazie alla sua *economicità* e alla *semplicità* di installazione, ebbe subito un gran successo fino a diventare la tecnologia dominante in ambito LAN.

Venendo ai giorni nostri, Ethernet sta diventando molto attraente anche nell'ambito di reti più vaste come le *MAN*. I *Network Service Providers* hanno scoperto che grazie alle caratteristiche di tale tecnologia, quali la *velocità*, *l'ampia interoperabilità* e *l'economicità*, possono ridurre i costi e allo stesso tempo incrementare la propria offerta di servizi.

La recente espansione di Ethernet nelle infrastrutture di rete è stata possibile grazie a diversi cambiamenti che hanno riguardato vari aspetti tra cui la QoS e la scalabilità.

Dal punto di vista della clientela, l'utilizzo di Ethernet nelle MAN è stato incentivato dalla richiesta di interconnettività di diversi siti di una stessa azienda. Queste connessioni sono state, fino ad ora, realizzate utilizzando principalmente linee dedicate o le tecniche *Frame Relay* e *ATM*, garantendo una robusta e affidabile interconnessione. Il problema principale è la doppia conversione da Ethernet a tali tecnologie nel tratto che va dalle LAN verso le reti dei Service Providers e viceversa, che risulta essere complessa e poco conveniente economicamente, limitando altresì la capacità della rete e la scalabilità in termini di banda. Questa situazione ha portato all'adozione di Ethernet nelle MAN incrementando la capacità e la scalabilità ma enfatizzando i limiti degli apparecchi Ethernet per ciò che riguarda i tempi di ripristino e OAM (cioè di Operations, Administration & Maintenance: termine utilizzato per indicare, in generale, processi, attività, strumenti, riguardanti le operazioni, l'amministrazione e la gestione di un sistema).

Il *Metro Ethernet Forum (MEF)*, costituito da un consorzio di 65 membri comprendente Service Providers, costruttori di apparati di rete e altri, ha coniato il termine *Carrier Ethernet* per rappresentare l'insieme di attributi necessari affinché Ethernet possa essere impiegata nelle reti MAN al fine di sostituire le esistenti tecnologie e continuando a preservare le sue caratteristiche di *basso costo*, *semplicità* e *flessibilità*.

Carrier Ethernet è evoluta molto rapidamente fino ad essere impiegata non solo per il trasporto di servizi commerciali per la clientela business ma anche per servizi *Triple Play* e *wireless* per quella residenziale. Ethernet sta diventando la principale tecnologia per ottenere la convergenza delle reti.

Le nuove caratteristiche definite dal MEF sono:

- **QoS:** la tipologia di gestione delle code adottata dalla tecnologia Ethernet non è adeguata a garantire una certa banda end-to-end e a rispettare SLA in una rete carrier. Il garantire una certa banda richiede una *hard QoS* che permetta ai Service Providers di stabilire delle connessioni che rispettino gli SLA;
- **Tempi di ripristino:** il tempo di ripristino consentito in ambienti *enterprise* è dell'ordine dei secondi e spesso anche dei minuti. Lo *Spanning Tree Protocol (STP)*, definito dallo standard IEEE 802.1D e utilizzato al fine di ottenere topologie prive di loop in reti LAN) utilizzato nelle reti Ethernet è indicato per evitare il formarsi di loop ma non porta vantaggi in termini di *restoring*. Per essere in grado di rimpiazzare tecnologie come SDH/SONET, Carrier Ethernet deve consentire tempi di ripristino che non superino i 50 msec;
- **Service Management:** nelle reti metropolitane basate su Carrier Ethernet, estese per decine di km e con migliaia di utenti, il bisogno di sofisticate OAM è evidente. Carrier Ethernet incorpora tecniche di gestione superiori a quelle esistenti sia nel lato *enterprise* sia nelle infrastrutture di rete;
- **Scalabilità:** Ethernet ha delle limitazioni nella scalabilità per supportare un crescente numero di utenti, di end point, servizi, ecc. Carrier Ethernet fornisce strumenti e metodi per risolvere tali aspetti.

Uno dei protocolli che sta guidando l'evoluzione della rete è il Multi Protocol Label Switching (**MPLS**) che pur non fornendo soluzioni per ognuno degli aspetti prima riportati, fornisce tuttavia garanzia di banda e di ritardo, la possibilità di implementare il Traffic Engineering (TE) e meccanismi di protezione che consentono una *restoration* al di sotto dei 50 ms, come avviene in reti SDH/SONET.

Il TE attuato tramite MPLS permette di considerare una topologia di rete magliata nelle reti Ethernet, evitando i protocolli di tipo Spanning Tree (protocolli STP) e i loro lenti meccanismi di ripristino, fornendo inoltre VPN di strato 2 fortemente scalabili e **VPLS (Virtual Private Lan Service)** che verranno descritti successivamente.

In sintesi dunque si può dire che oggi vi sono tecnologie protocollari, come MPLS, che permettono di costruire una *rete Ethernet* a livello di trasporto, contribuendo così alla crescita della popolarità di *Ethernet nelle MAN* e, potenzialmente, all'interno della backbone (ovvero nelle WAN).

Il protocollo MPLS

E' necessario osservare come il protocollo MPLS non si collochi in uno strato specifico della pila protocollare TCP/IP: esso viene, infatti, considerato come protocollo di strato 2/3.

Grazie a questa sua caratteristica, MPLS è in grado di instradare traffico IP già etichettato per mezzo di altri protocolli di routing, indipendentemente da quali essi siano.

Nel protocollo IP i router devono prendere decisioni diverse per ogni pacchetto entrante da instradare. Quando un pacchetto arriva ad un router, questi deve consultare la sua tabella di instradamento per trovare il *next hop* verso cui rilanciarlo. Tale decisione viene presa sulla base dell'indirizzo di destinazione, presente nell'*header* IP del pacchetto stesso (il meccanismo di ricerca all'interno della tabella di instradamento è conosciuto come *longest prefix match lookup*). Per costruire la propria *routing table*, ogni router utilizza opportuni protocolli IP. Poiché i pacchetti vengono inviati tenendo conto solo dell'indirizzo di destinazione, i flussi di pacchetti che viaggiano verso la medesima destinazione vengono aggregati. In una prospettiva di *traffic engineering*, questo tipo di instradamento può risultare sub-ottimo, sebbene dal punto di vista di un router questo aspetto rappresenti una valida soluzione. Risulta infatti più facile effettuare un *load balance* nella rete qualora vi siano molti flussi di piccola portata, piuttosto che pochi flussi molto consistenti.

Per utilizzare al meglio le risorse di rete, occorrono allora altri meccanismi a supporto dei protocolli di instradamento IP, che diano la possibilità di aggregare il traffico in flussi di dimensioni appropriate e di instradare esplicitamente tali flussi attraverso la rete.

Una tecnica utilizzata dai più importanti ISP (*Internet Service Provider*) consiste nello sfruttare lo strato 2 di rete (come *ATM* o *FR*) per effettuare operazioni di controllo e di gestione delle risorse.

Questa tecnica, definita "***overlay solution***", fa sì che la *backbone* IP risulti costituita da una fitta maglia di circuiti, evitando l'aggregazione che si manifesta nell'instradamento *hop-by-hop* che avviene sulla base dell'indirizzo di destinazione; i flussi vengono instradati individualmente, sfruttando la topologia di strato 2 ed è possibile implementare anche funzioni di *traffic engineering*.

L'aspetto negativo di questo approccio è la sua difficile scalabilità ed il fatto che anche un singolo link-failure, può causare la caduta di dozzine di VC (*Virtual Circuit*), forzando così il riutilizzo dei protocolli di instradamento IP.

Tale problema può essere risolto coordinando opportunamente le funzioni degli strati 2 e 3 (lo strato IP) della rete.

Questa soluzione è rappresentata dal **protocollo MPLS**, che coniuga gli aspetti di garanzia delle prestazioni di rete, degli aspetti di QoS e di gestione del traffico propri del *label swapping* di strato 2, con gli aspetti di scalabilità e flessibilità dell'instradamento di strato 3.

Il protocollo MPLS si basa fundamentalmente sul meccanismo di assegnazione di etichette di lunghezza prefissata da parte dei router che si trovano alle estremità del dominio, evitando così di instradare i pacchetti per mezzo delle loro intestazioni.

In particolare, attraverso tale protocollo il percorso che il pacchetto deve seguire all'interno del dominio MPLS viene deciso nel momento in cui esso entra all'interno del dominio stesso. I nodi lungo il percorso, detti **transit router**, non prendono alcuna decisione di instradamento per lo specifico pacchetto, ma utilizzano l'etichetta come indice per ricercare nella routing table quale sia il next-hop.

Nel momento in cui un router riceve un pacchetto, prima di rilanciarlo ne cambia l'etichetta, sostituendola con una adatta per essere inviato verso il prossimo router nel percorso. Questo è l'aspetto che identifica l'architettura MPLS, ovvero la *separazione tra il piano di controllo e il piano di forwarding* all'interno degli elementi che effettuano la commutazione.

Il piano di controllo si occupa delle funzioni di coordinazione, come ad esempio la segnalazione, volta a trovare e ad attivare percorsi che possano essere usati per trasportare il traffico nella rete, mentre il piano dati consiste nelle componenti di rilancio (*forwarding elements*) che attuano le semplici operazioni di commutazione di etichetta (*label switching*).

E' proprio in tal modo che diventa possibile effettuare un instradamento esplicito ed un trattamento differenziato dei pacchetti, attraverso semplici meccanismi di gestione dei router interni al dominio.

In sintesi, il protocollo MPLS (*Multi Protocol Label Switching*) è stato sviluppato per operare indipendentemente dal tipo di protocolli di strato 2 e 3 utilizzati nella rete, come espresso dal "*Multi Protocol*" nel suo acronimo. La dicitura "*Label Switching*" indica invece che il meccanismo di rilancio dei pacchetti usato da MPLS è di tipo "*a commutazione di etichetta*".

Il domino MPLS

Nella RFC 3031 del Gennaio 2001, il dominio MPLS viene definito come “ *un insieme contiguo di nodi che operano instradamento e rilancio di tipo MPLS*”. Questo dominio è tipicamente gestito e controllato da un amministratore.

Si tratta di una definizione molto simile a quella di AS (*Autonomous System*) utilizzato nel routing IP, ovvero un insieme di routers collegati tra loro, che si trovano usualmente sotto un unico controllo di tipo gestionale ed amministrativo.

Il dominio MPLS può essere suddiviso in ***MPLS core*** e ***MPLS edge***: il *core* è costituito da router che hanno, come unici adiacenti, nodi in grado di supportare MPLS, mentre l' *edge* è costituito invece da nodi che vedono come *neighbour* elementi di rete che possono o meno supportare MPLS. I router nel dominio MPLS sono generalmente chiamati LSR (*Label Switched Routers*). In particolare i nodi interni sono chiamati ***transit LSR***, mentre i nodi di frontiera sono chiamati ***LER (Label Edge Routers)***.

Il nodo di ingresso ad un percorso, per un pacchetto che transita all'interno del dominio MPLS, viene definito ***ingress LER*** qualora tale nodo sia un LER; se invece un nodo è l'ultimo di un percorso interno al dominio, allora esso viene definito ***egress LER***. Occorre notare che tali termini sono applicati considerando la direzione di un flusso nella rete: infatti un nodo può essere contemporaneamente sia un ingress che un egress LER, in base al verso del flusso.

Sempre riguardo le terminologie in un dominio MPLS, si utilizzano i termini “***router upstream***” e “***router downstream***” per indicare in quale ordine i router vengono attraversati. Indicando con LSR1 un router di upstream e con LSR2 il router in downstream per LSR1, il traffico transiterà secondo la direzione LSR1-LSR2.

Di seguito è riportato un esempio di *dominio MPLS*.

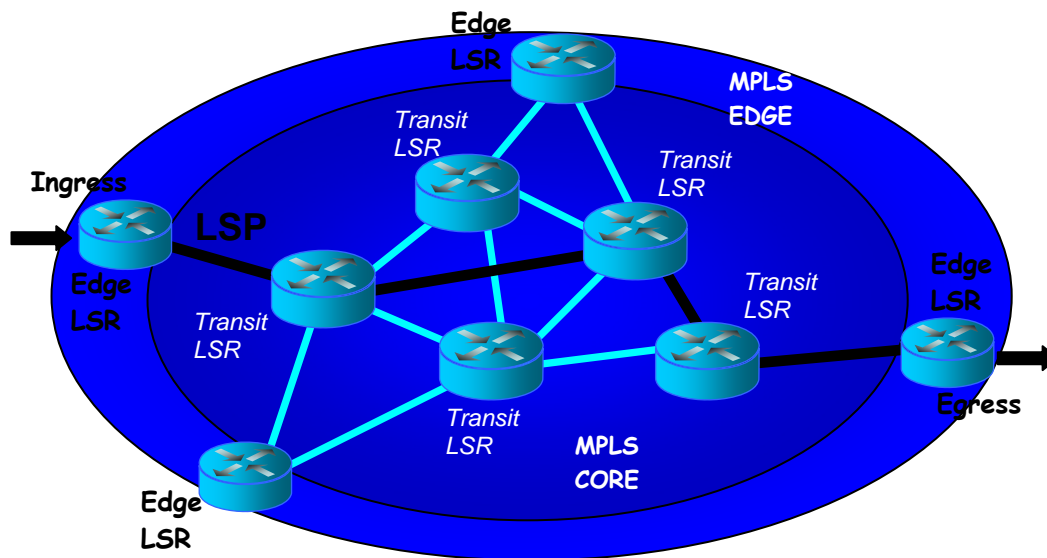


Figura 1: Dominio MPLS

Il Traffic Engineering

Il protocollo MPLS viene oggi utilizzato soprattutto per funzioni di *Traffic Engineering (TE)*, per cercare cioè di rendere efficiente il meccanismo di instradamento del traffico.

Le reti IP sono in grado, in un certo senso, di gestirsi da sole. Un *host*, utilizzando il protocollo **TCP** (*Transmission Control Protocol*), è in grado di adattare il suo rate di emissione, in base alla banda disponibile sul percorso verso il destinatario. Se la topologia di rete dovesse cambiare, i routers reagirebbero ai cambiamenti e calcolerebbero i nuovi percorsi verso la destinazione. Questo aspetto ha reso la rete Internet di tipo TCP/IP, una robusta rete di comunicazione. Tuttavia la robustezza non implica che la rete si comporti in maniera efficiente. I protocolli di tipo IGP (Interior Gateway Protocol: protocollo di routing utilizzato all'interno di un Autonomous System) utilizzati oggi come OSPF ed ISIS, calcolano il percorso più breve verso la destinazione e i routers instradano il traffico consultando le routing table, costruite per mezzo di tali calcoli. Ciò implica che i flussi di traffico

provenienti da sorgenti distinte, ma con stessa destinazione, possano essere aggregati nel transito attraverso un router ed inviati quindi verso lo stesso percorso; in tal modo, un link potrebbe risultare congestionato, mentre altri link nella rete potrebbero essere sottoutilizzati.

Inoltre ciò può portare ad una situazione in cui il traffico più sensibile ai ritardi, come il traffico voce, venga instradato su un percorso (il più breve) ad alta propagazione del ritardo invece che su uno a bassa latenza.

Da qui si capisce come vi sia l'esigenza di poter gestire il traffico in base alle sue caratteristiche e ai diversi requisiti di QoS. Il Traffic Engineering consente appunto di controllare come il traffico fluisce attraverso la rete, al fine di ottimizzare l'utilizzo delle risorse e le prestazioni stesse della rete.

Il protocollo MPLS può essere utilizzato come strumento di traffic engineering per dirigere il traffico in una rete in modo più efficiente rispetto all'originale instradamento di tipo SPF (Shortest Path First), effettuato da IP.

Forwarding Equivalence Class

La FEC viene definita nella RFC3031 come “*un gruppo di pacchetti IP che vengono rilanciati con la stessa modalità (ovvero sullo stesso path e con lo stesso trattamento di forwarding)*”.

La FEC individua una classe di equivalenza: i flussi di traffico che vengono aggregati in MPLS vengono chiamati FEC, per cui esiste una FEC per ogni pacchetto entrante nel dominio, che non sia ancora stato etichettato.

Occorre notare che i pacchetti non vengono attribuiti ad una FEC necessariamente in base alla considerazione del loro *destination address* come avviene in IP, ma tale meccanismo di assegnazione avviene sulla base di parametri quali la sorgente di emissione del pacchetto, il DSCP (DiffServ Code Point), le caratteristiche di QoS deducibili dagli headers dei pacchetti.

In base al tipo di informazioni utilizzate per associare un pacchetto ad una FEC, si possono avere FEC più o meno selettive. Se ad esempio la classificazione fosse basata sul *five-tuple* (insieme di informazioni costituito da indirizzo IP della sorgente e della destinazione, le porte di sorgente e destinazione TCP ed UDP, ed il numero di protocollo), si avrebbero molte classi di equivalenza, in

numero sicuramente maggiore di quelle ottenute con una classificazione basata solo sull'indirizzo IP di destinazione.

In MPLS l'etichetta da assegnare ai pacchetti entranti nel dominio viene precalcolata, ovvero le FEC vengono determinate precedentemente attraverso decisioni di Traffic Engineering. Questo meccanismo si contrappone all'approccio secondo cui il traffico viene aggregato e classificato sulla base del flusso di dati rilevato. Inoltre l'assegnazione di un particolare pacchetto ad una specifica FEC viene effettuata un'unica volta, non appena il pacchetto entra all'interno della rete attraverso l'ingress LSR: questa è la differenza più rilevante rispetto al convenzionale instradamento IP, dove l'header del pacchetto viene invece analizzata ad ogni hop.

Label Switched Path

Quando un pacchetto IP attraversa un dominio MPLS, esso segue un percorso predeterminato in base alla FEC in cui è stato collocato dall'ingress LSR. Tale percorso viene chiamato **Label Switched Path (LSP)**. Poiché tali LSP sono unidirezionali, per avere una comunicazione duplex (ossia bidirezionale) occorre attivare due LSP.

I pacchetti IP entranti in un dominio MPLS (tramite l'*ingress LSR*) vengono classificati in una FEC e inviati verso il LSP corrispondente alla FEC considerata. Dunque, in conclusione, la FEC *agisce come filtro, definendo quali pacchetti IP debbano essere instradati su un particolare LSP*. In particolare *un LSP può trasportare più di una FEC*.

Dopo l'associazione di un pacchetto con una FEC, ad esso viene inserita una *header MPLS* in modo da poterlo rilanciare verso il *next hop*. I *transit LSR* a valle dell'*ingress LSR*, dovranno analizzare solamente la *header MPLS* del pacchetto, per decidere dove instradarlo.

Vantaggi della tecnica MPLS

I vantaggi della tecnica MPLS sono principalmente:

- Una veloce e semplice modalità per la classificazione e il rilancio dei pacchetti;

- a differenza di IP, l'instradamento, deciso mediante l'attribuzione di una etichetta, può basarsi non solo sull'indirizzo di destinazione ma anche su altri fattori, quali congestione, prestazioni, politiche di gestione, ecc;
- un efficace meccanismo di tunneling.

Le ultime due caratteristiche risultano molto utili, soprattutto per “ingegnerizzare” una core network.

Altrettanto, se non più, importanti sono la possibilità di realizzare Virtual Private Network (VPN), la flessibilità e la capacità di evoluzione che offre tale tecnologia.

DA MPLS A GMPLS

L'emergere dei sistemi di trasporto ottici ha drasticamente incrementato la naturale capacità delle reti ottiche ed ha consentito la circolazione di nuove e sofisticate applicazioni.

ADM, OXC e DWDM sono solo alcuni dei dispositivi e delle tecniche che compongono una rete ottica, e costituiscono gli elementi portanti per sostenere la crescita del traffico dati in costante aumento.

La complessità e la diversità riscontrate nella gestione di questi dispositivi hanno portato l'IETF ad estendere l'insieme dei protocolli MPLS al fine di avere dispositivi che commutino anche nel dominio del tempo, in quello della lunghezza d'onda e dello spazio (commutazione di fibra).

Caratteristiche principali

Nell'architettura GMPLS, i Label Switched Router (LSR) comprendono dispositivi che instradano secondo diverse grandezze, per cui le interfacce presenti su di essi possono essere classificate in:

- ✓ **PSC** (*Packets Switch Capable*): l'instradamento si basa sul contenuto dell'*header* del pacchetto;
- ✓ **LSC** (*Layer Switch Capable*): l'instradamento avviene tramite il contenuto del *frame*;

- ✓ **TDM** (*Time Division Multiplex Capable*): l'instradamento si basa sull'informazione contenuta in un *time-slot*;
- ✓ **LSC** (*Lambda Switch Capable*): l'instradamento avviene in base alla lunghezza d'onda;
- ✓ **FSC** (*Fiber Switch Capable*): l'instradamento è effettuato nel dominio dello spazio.

È nato così il GMPLS che fornisce un piano di controllo comune per operare attraverso i differenti tipi e livelli di reti. L'insieme dei protocolli IP che gestiscono e controllano gli LSP vengono modificati ed estesi all'interno del GMPLS.

Il GMPLS è diventato uno standard nel *networking* ottico di prossima generazione proprio perché esso è in grado di fornire il ponte necessario fra lo strato IP e quello ottico consentendo alle reti di essere interoperabili e scalabili. Mediante l'utilizzo di tale protocollo si è ottenuta una semplificazione dell'architettura di rete perché si è riusciti ad avere una maggiore integrazione delle funzionalità di controllo e gestione.

Il GMPLS semplifica le operazioni e l'amministrazione, segnando una riduzione dei costi delle operazioni oltre a fornire un'ampia gamma di scenari di impiego. L'IETF ha standardizzato diverse modifiche richieste dai protocolli di *routing* e di segnalazione allo scopo di adattarsi alle peculiarità degli *switch* fotonici:

1. Un nuovo protocollo **LMP** (*Link Management Protocol*) progettato per risolvere i problemi legati alla gestione dei *link* nelle reti ottiche che utilizzano *switch* fotonici;
2. Miglioramenti al protocollo OSPF per notificare la disponibilità di risorse ottiche all'interno della rete e tecniche per migliorare la scalabilità.

Il GMPLS si pone come obiettivo l'estensione di un unico piano di controllo a tutti gli strati componenti la rete Internet; la rete che si viene così a prospettare avrà caratteristiche di flessibilità, elevata interoperabilità, forte robustezza ed elevate prestazioni tanto nell'infrastruttura di trasporto quanto in quella di accesso.

L'architettura GMPLS è costituita essenzialmente da 2 blocchi:

- **Control plane**, che è diviso a sua volta in **signaling plane** (a cui appartengono i protocolli di segnalazione) e **routing plane** (a cui appartengono i protocolli di *routing*).
- **Forwarding plane**: che associa ad una destinazione l'interfaccia su cui il pacchetto deve essere ritrasmesso per raggiungerla.

Il GMPLS differisce dal MPLS perché supporta tipi aggiuntivi di commutazione e per questo motivo sono state estese alcune funzioni di base del MPLS e, in alcuni casi, sono state aggiunte ulteriori funzionalità per soddisfare le nuove esigenze.

Il concetto di *Generalized Label* è un'estensione del concetto di MPLS *label*, infatti permette la rappresentazione non solo di *label* associate ad un determinato *datapacket* ma anche di *label* che identificano una singola fibra in un *bundle*, una singola lunghezza d'onda in una fibra, un insieme di *time slot* all'interno di una fibra.

Il Transport MPLS (T-MPLS)

Per diversi anni, l'ITU-T ha mostrato interesse nel cercare di adattare il protocollo MPLS alle reti "carrier class": il risultato è il **Transport MPLS (T-MPLS)**.

Il T-MPLS è una evoluzione del tradizionale MPLS ed è stato pensato per essere utilizzato nelle reti di trasporto. Esso fornisce una tecnologia a pacchetto di tipo *connection-oriented* basata su MPLS e in linea con le reti di trasporto a circuito, delle quali segue gli stessi modelli architetturali, gestionali e operativi.

A differenza del MPLS, non supporta modalità *connectionless* ed ha lo scopo di essere meno complesso e più facilmente gestibile.

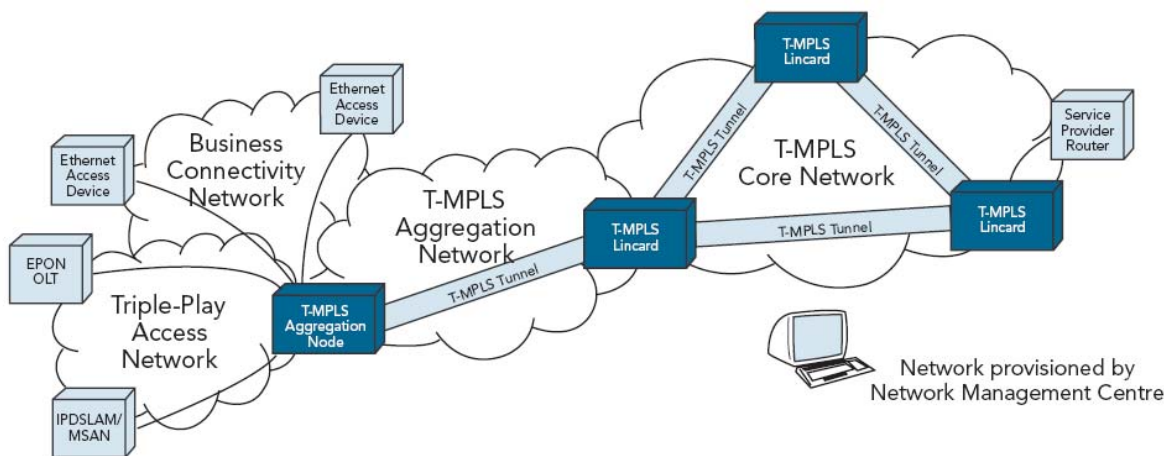


Figura 2: Applicazioni T-MPLS

Il punto di vista dei “Carriers”

Oggi il mercato delle telecomunicazioni è in continua evoluzione, con nuovi servizi che stanno emergendo, sia per clientela business, come Ethernet, IP VPN, VoIP, videoconferenze, sia per clientela residenziale, come Triple Play, IPTV.

Molti *carriers* sono convinti che le odierne reti IP e IP/MPLS saranno molto costose, soprattutto in termini di OPEX (Operational EXpenditure: Spese Operative), se dovranno essere scalate per supportare alti volumi di traffico dovuti all’introduzione di nuovi servizi. Sicuramente IP/MPLS è una potente tecnologia in ambito *core network* per raggiungere la tanto auspicata convergenza tra le reti ma la maggior parte dei carriers sostiene che essa sia intrinsecamente più complessa di quello che essi vorrebbero e che sia poco efficiente per quanto riguarda i costi. Tutto ciò sta portando ad un grande interesse verso soluzioni Carrier Ethernet, che promettono semplicità e bassi costi.

Tuttavia è opinione diffusa e consolidata che ancora per molti anni le esistenti reti SDH/SONET saranno ancora largamente impiegate e per questo motivo i carriers stanno ponendo la loro attenzione su soluzioni Ethernet Over SDH/SONET. Inoltre essi hanno anche bisogno di reti che siano in grado di supportare il traffico mobile. Per tali motivi, una integrazione, e semplificazione di MPLS, con le reti SDH/SONET è certamente desiderabile, in special modo se con ciò si può evitare una maggiore complessità e possono essere mantenuti i vantaggi propri delle reti di trasporto.

Gli standards

L'ITU-T Study Group 15 ha iniziato il processo di standardizzazione del T-MPLS nel 2005, con l'obiettivo di identificare degli attributi del MPLS necessari e sufficienti per avere una rete di trasporto a pacchetto orientata alla connessione.

All'inizio del 2006, l'ITU-T ha rilasciato tre documenti riguardanti T-MPLS, che, dopo varie revisioni sviluppate in cooperazione con IETF e MFA Forum, hanno ricevuto la finale approvazione alla fine dello stesso anno.

I tre documenti sono:

- *G.8110.1: Architecture of Transport MPLS (T-MPLS) Layer Network;*
- *G.8112: Interface for the Transport MPLS(T-MPLS) Hierarchy (TMH);*
- *G.8121: Characteristics of multi-protocol label switched (MPLS) equipment functional blocks.*

L'intenzione dell'ITU-T era riutilizzare, ove possibile, gli standard già esistenti, riducendo al minimo lo sviluppo di nuovi.

Caratteristiche principali

Operando un confronto con il classico MPLS, il T-MPLS presenta delle differenze tra le quali spiccano:

- l'utilizzo di LSP bidirezionali, al contrario del MPLS in cui i LSP sono unidirezionali;
- non è prevista la possibilità di effettuare il PHP, cioè il Penultimate Hop Popping (modalità che prevede la rimozione della label al router che precede l'egress router);
- non è prevista la possibilità di effettuare LSP Merging, secondo cui tutto il traffico transitante su un certo cammino verso la stessa destinazione utilizza la stessa label. Infatti se da un lato tale opzione favorisce la scalabilità della rete, dall'altro rende difficoltose, se non

impossibili, le operazioni di OAM e Performance Monitoring (PM), essendo la sorgente del traffico ambigua. Pertanto si perderebbe la natura *connection oriented* legata al T-MPLS;

- non è prevista la possibilità di implementare l'opzione ECMP (Equal Cost Multiple Path: modalità che prevede la possibilità di instradare il traffico in un LSP attraverso diversi cammini).

In linea di principio, T-MPLS può trasportare qualsiasi tipo di servizio a pacchetto, non solo Ethernet ma anche IP, MPLS stesso, ecc.

Prospettive future

Le reti di trasporto giocano un ruolo fondamentale per i carriers. Le piattaforme dei servizi si basano su link affidabili e stabili tra i vari nodi, e la rete di trasporto si occupa di fornire e gestire tali collegamenti.

In particolare, reti di trasporto a pacchetto sono necessarie al fine di supportare le Next Generation Networks, fornire maggiore flessibilità e efficienza della tecnica SDH, e trasportare economicamente tutti i servizi a pacchetto.

T-MPLS deve pertanto possedere le caratteristiche proprie delle tradizionali rete di trasporto, tra le quali meritano sicuramente di essere citate:

- alta scalabilità, in quanto ci si aspetta che tale rete duri per diversi anni;
- efficienza a livello di costi, in particolare un basso costo-per-bit e un basso costo-per-km;
- trasparenza, in quanto i servizi non devono essere alterati durante il trasporto;
- sicurezza;
- alta QoS;
- semplicità di gestione;
- interoperabilità, ottenendo così uno scenario multi-vendor e multi-operator.

Queste, e altre, caratteristiche possono racchiudersi in unico termine: *Carrier Class*.

Packet Backbone Transport

Di recente è stato proposto il **PBT (Packet Backbone Transport)**, che mira a soddisfare le esigenze dei Carrier, utilizzando varie tecnologie Ethernet già esistenti e conservandone al contempo la semplicità.

Durante i primi tentativi d'uso di Ethernet come tecnologia carrier class, sono state effettuate alcune modifiche allo standard IEEE 802 originale, tra cui:

- 🚦 IEEE 802.1Q VLAN
- 🚦 IEEE 802.1ad Q-in-Q double tagging.
- 🚦 IEEE 802.1ah MAC-in-MAC.

Le VLAN (Virtual LAN), che sono oggi uno dei servizi più richiesti, a causa della limitatezza del VID (VLAN identifier) (12 bit) sono limitate a 4094.

Con il double tagging è possibile migliorare la scalabilità perché si possono definire due VLAN tag: il C-TAG, che trasporta il C-VID, che identifica il customer e il S-TAG che trasporta il S-VID, che identifica l'istanza di servizio. All'interno della rete di trasporto viene utilizzato solo il S-TAG, consentendo così di isolare la Provider Network dalla Customer Network. Per evitare i loop, si utilizza l'algoritmo Spanning Tree Protocol (algoritmo calcola il minimo numero di link che connettono due nodi senza creare loop). Il limite di 4094 rimane però valido per il S-VID.

MAC-in-MAC migliora l'isolamento e aumenta la scalabilità rispetto al double-tagging. In IEEE 802.1ah si introduce la distinzione tra C-MAC (Customer MAC) e B-MAC (Backbone MAC): in questo modo si riduce il numero di MAC address che devono essere imparati all'interno della rete di trasporto nella quale viene utilizzato unicamente il B-MAC. E' stata proposta anche l'introduzione di un ulteriore l'I-TAG che contiene il I-SID (24 bit) per estendere il numero di istanze di servizio definibili. All'interno della rete si usa ancora lo Spanning Tree Protocol e la procedura di Flooding come nelle normali reti Ethernet. Grazie al flooding, quando ad una porta di uno switch entra un frame Ethernet con indirizzo MAC sconosciuto, questo viene inoltrato in tutte le porte tranne in quella da cui è arrivato. Questo sistema consente la rapida distribuzione dei frame anche quando non tutti i MAC sono stati imparati (MAC learning) da tutti gli switch della rete.

L'evoluzione del frame Ethernet è mostrata nella figura seguente.

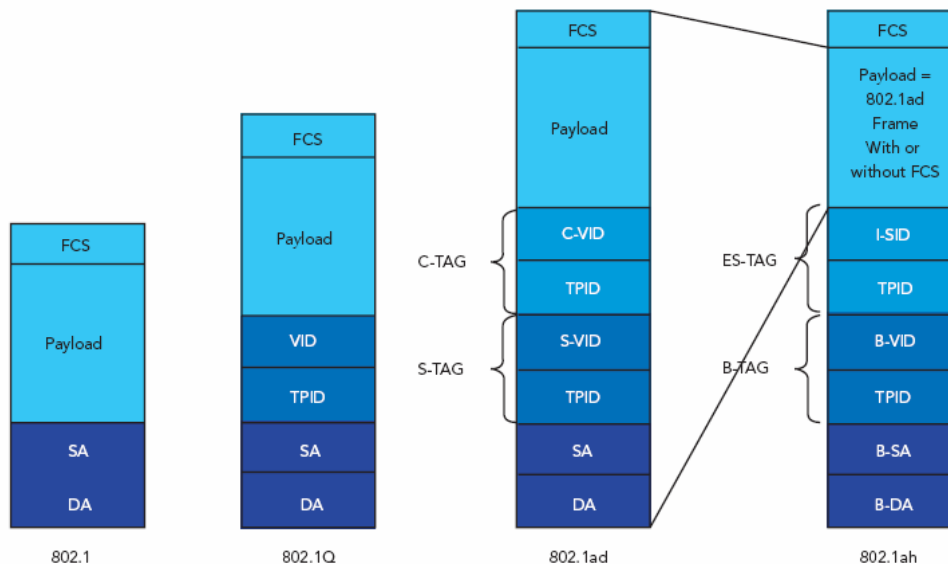


Figura 3 Evoluzione del frame Ethernet




Queste modifiche però rischiavano di far perdere ad Ethernet il vantaggio della semplicità quindi il PBT cerca di utilizzare quanto più possibile Ethernet Standard, utilizzando le caratteristiche aggiuntive solo quando strettamente necessario, per garantire scalabilità e isolamento.

Packet Backbone Transport fornisce un servizio di trasporto *connection-oriented* e le connessioni sono stabilite tramite un Network Management System piuttosto che tramite un protocollo di segnalazione.

Questa tecnologia utilizza Switch capaci di Independent VLAN Learning, il forwarding viene effettuato sulla base della coppia (VID, Destination-MAC), ma il MAC learning viene disabilitato e quando arriva un frame con indirizzo sconosciuto non si usa il flooding, ma viene semplicemente scartato. La Forwarding Table viene riempita staticamente dal Network Management System. Si usano VID distinti per individuare diversi percorsi verso una destinazione, in modo da garantire protezione in caso di guasto ed entrambi i percorsi sono precalcolati. Il PBT prevede l'invio di

pacchetti OAM (Operation Administration Maintenance), che seguono gli stessi percorsi dei pacchetti dati.

Packet Backbone Transport è in grado di trasportare client differenti con requisiti diversi in termini di banda, perdite, jitter e latency, come:

-  Ethernet
-  Pseudo-Wire
-  pacchetti OAM

Poiché il PBT è basato su Ethernet questo può essere trasportato su qualunque tecnologia di livello inferiore che supporti Ethernet.

Il PBT però è ancora in fase di definizione e non è ancora stato standardizzato.

A. Valente, L. Rea, V. Polidori