

VERSO NUOVE RETI DI TRASPORTO: CARRIER ETHERNET

(TOWARD NEXT TRANSPORT NETWORK: CARRIER ETHERNET)

Sommario: la continua crescita del traffico dati e il sorgere di servizi di nuova generazione stanno portando ad una ridefinizione delle odierne reti di telecomunicazioni, passando dalla commutazione di circuito a quella a pacchetto. In questo scenario Ethernet viene vista come futura tecnica da impiegare nelle reti di trasporto.

In questo articolo si descrivono le principali tecniche "Carrier Ethernet", descrivendo dapprima le evoluzioni compiute da Ethernet al fine di diventare una tecnica Carrier Class, dalla sua struttura originale fino al Provider Backbone Transport (PBT); viene poi descritto il Transport MPLS (T-MPLS), evoluzione di MPLS per le reti di trasporto. In conclusione viene presentato un piccolo confronto tra le due tecniche descritte.

1. Introduzione

Il sorgere di nuovi servizi con richieste sempre più crescenti di banda sta portando ad un forte rinnovamento delle attuali reti di telecomunicazioni, nate per il trasporto di traffico (analogico) voce e poi adattate per il traffico dati. In particolare, è necessario considerare un'evoluzione della rete che possa soddisfare i requisiti in termini di banda e che sia in grado di offrire funzionalità di Qualità del Servizio (in seguito QoS, Quality of Service). A tale scopo negli ultimi anni è sempre più marcata la tendenza verso nuove reti interamente basate sulla commutazione di pacchetto.

In particolare, sono in via di sviluppo nuove tecniche che permettano un trasporto efficiente dei nuovi servizi unitamente ad esigenze di economicità e di semplicità. In questa ottica i Telecom Operators e i Service Providers stanno abbandonando ormai l'utilizzo di reti a commutazione di circuito (circuit-switched) spingendosi verso reti in cui è previsto l'impiego di tecnologie Ethernet,

Abstract: the constant growth of data traffic and the rise of new generation services are leading to a new Telecommunication networks, from circuit switched network to packet-switched network. In this scenario, Ethernet is the future transport technology.

In this article, we describe the main "Carrier Ethernet" techniques. At first, we provide an overview of Ethernet and his recent evolutions to become a Carrier Class technique; then we briefly describe Transport MPLS (T-MPLS), a new evolution of MPLS for transport network. At last, we provide a short comparison between these techniques.

Multi Protocol Label Switching (MPLS), Generalized MPLS (GMPLS) e IP E' in questo contesto che vanno ad inserirsi il Provider Backbone Transport (PBT) e il Transport-MPLS (T-MPLS).

2. Provider Backbone Transport

Nata come tecnologia per reti LAN (Local Area Network) di limitata estensione, Ethernet sta riscuotendo sempre più consensi come futura tecnica di trasporto anche in ambito di reti metropolitane (Metro Area Network, MAN). Grazie alle sue caratteristiche in termini di economicità, semplicità, velocità e alla sua diffusione su scala mondiale, tale tecnica viene infatti vista come una candidata ideale per offrire servizi di nuova generazione mantenendo tuttavia costi limitati.

Il Metro Ethernet Forum (MEF), un consorzio costituito da 65 membri comprendente Service Providers, manifatturiere e altri, ha coniato il termine Carrier Ethernet per indicare l'insieme di attributi che Ethernet deve possedere affinché

possa essere impiegata come tecnica di trasporto.

I principali problemi di Ethernet sono quelli che riguardano la scalabilità e le operazioni di OAM (Operations, Administration, Maintenance), tra cui la rivelazione di guasti e il ripristino. In particolare, Ethernet deve implementare tutte quelle caratteristiche richieste per un impiego su larga scala come tecnologia di trasporto, deve essere cioè quella che si dice una tecnologia Carrier Class.

In particolare, l'origine delle sue limitazioni è la sua natura "connection-less" che rende non immediata la sua "espansione" dalle LAN alle MAN. Processi come il MAC Learning e il Flooding, tipici di questa tecnica, lavorano bene in reti semplici e di estensione limitata, ma appena queste diventano più grandi e complesse, tali processi possono generare elevati volumi di traffico con la conseguente possibilità di congestione.

Inoltre, Ethernet risulta essere troppo lenta in fase di ripristino (lentezza dovuta ad un particolare protocollo utilizzato, lo Spanning Tree Protocol), comportando così un'interruzione di servizio che può essere limitata in reti LAN, ma che può diventare assai più lunga in reti MAN, rendendo così impossibile il trasporto di servizi real-time.

Questi problemi sono simili a quelli incontrati anni fa con IP e risolti con l'introduzione dell'MPLS, che permette di avere dei tunnels di tipo "connection-oriented" nella rete e fornire così tutte quelle funzionalità in termini di resiliency, traffic engineering e QoS. Allo stesso modo allora si è cercato di rendere connection-oriented Ethernet.

In questa ottica va ad inserirsi il Provider Backbone Transport (PBT), una nuova tecnica interamente basata su Ethernet, introdotta dai maggiori enti mondiali di standardizzazione (IEEE; IETF; ITU). Nella sua forma più semplice, il PBT offre dei tunnels che rendono possibile il trasporto di servizi con la giusta risposta ai requisiti imposti - in termini di QoS, traffic engineering e OAM - dalle diverse richieste di servizio.

Il PBT è basato su alcuni standard come VLAN Tagging, Provider Bridging (PB) e Provider Backbone Bridging (PBB). Tali tecniche sono state introdotte via via, andando ad "arricchire" Ethernet e costruendo così una struttura gerarchica al fine di utilizzare tale tecnologia per il trasporto differenziato dei diversi servizi.

Il VLAN (Virtual LAN) Tagging, definito dallo standard IEEE 802.1Q, prevede l'aggiunta, all'interno dell'intestazione della trama Ethernet, di un apposito tag di 12 bits, detto VLAN Tag o Q-Tag (da qui la lettera Q nella sigla dello standard). Tramite questo campo aggiuntivo è possibile partizionare, a livello logico, la rete arrivando a definire 4094 VLAN distinte (identificate da $2^{12}=4094$ VLAN Tag distinti). Questa tecnica costituisce il primo esempio di struttura gerarchica introdotta in una rete Ethernet al fine di facilitarne la gestione e migliorarne le prestazioni.

Per superare le limitazioni, in termini di scalabilità, dovute al numero limitato di VLAN implementabili, si è deciso di aggiungere un ulteriore campo, sempre di 12 bits, realizzando la tecnica Provider Bridging (IEEE 802.1 ad), detta comunemente "Q-

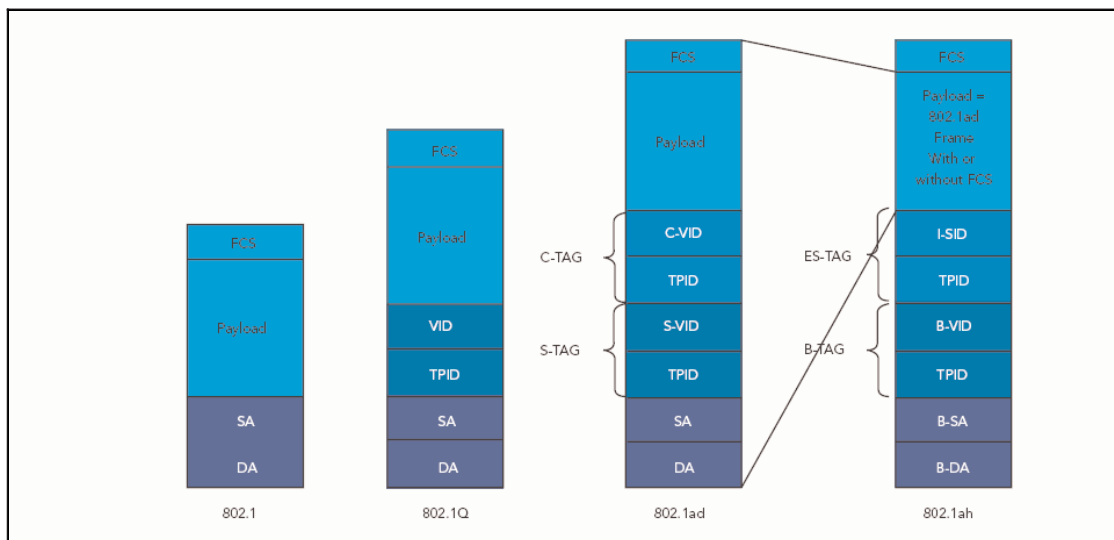


FIGURA 1: EVOLUZIONE DI ETHERNET

in-Q” in quanto prevede due Q-Tag. Il campo più esterno consente ad un Service Provider di discriminare tra le differenti Customer Network per mezzo dei diversi identificativi S-VID (Service-VID) delle differenti Service VLAN. La Tag più interna, che corrisponde alla Q-Tag originaria dello standard IEEE 802.1Q, serve per identificare, grazie al Customer-VID (C-VID), diverse VLAN all’interno di una stessa Customer Network. Con il PB, quindi, si possono gestire 4094 Customer Network, numero questo che risulta essere insufficiente per applicazioni in reti metro/regional.

Allo scopo di ottenere una maggiore scalabilità è stato sviluppato il Provider Backbone Bridging (IEEE 802.1 ah), chiamato anche “MAC-in-MAC”, in cui il frame prodotto dal PB viene incapsulato mediante l’aggiunta di un Service MAC Header. In pratica si aggiunge un’altra intestazione formata dai campi B-SA (Backbone-Source Address), B-DA (Backbone-Destination Address), B-VID (Backbone-VID) e I-SID (Service ID). In pratica, quindi, in un dominio PBB il rilancio dei frames viene effettuato sulla base della intestazione più esterna, andando a valutare i campi B-VID e B-DA. Inoltre è prevista la presenza di una Tag addizionale, la I-SID, un’etichetta di 24 bit che consente di supportare un massimo (teorico) di 16 milioni (2^{24}) di utenti, rimuovendo pertanto le limitazioni in termini di scalabilità incontrate nel Q-in-Q.

Il PBT, conosciuto anche con il nome di PBB-TE

(Traffic Engineering), introduce il concetto di “tunneling” in Ethernet e più precisamente nel PBB.

In Ethernet (incluse le evoluzioni viste), il forwarding dei frames avviene sulla base del VLAN ID e del Destination MAC Address, dove il VID identifica un particolare dominio (loop-free) su cui rilanciare determinati frames.

L’idea alla base del PBT prevede un diverso significato (utilizzo) del (B-)VID: in un contesto siffatto esso identifica infatti diversi paths verso una certa destinazione. In questo modo un VID assume significato solo insieme ad un D-MAC e ora è la combinazione VID+MAC address ad essere unica a livello globale. In pratica si creano dei tunnels la cui etichetta è rappresentata dal VID+MAC address.

Nel PBT un certo numero di VID vengono riservati per scopi di tunneling e le relative tabelle di instradamento non sono più popolate tramite i processi di learning e flooding, ma vengono riempite per mezzo di un management o control plane. Così facendo le informazioni per il rilancio dei frames non sono più “imparate” dai nodi ma vengono acquisite in maniera diretta (dal management plane), rendendo così possibile implementare dei percorsi pre-calcolati nella rete.

3. Transport-MPLS

Nel protocollo IP i router devono prendere

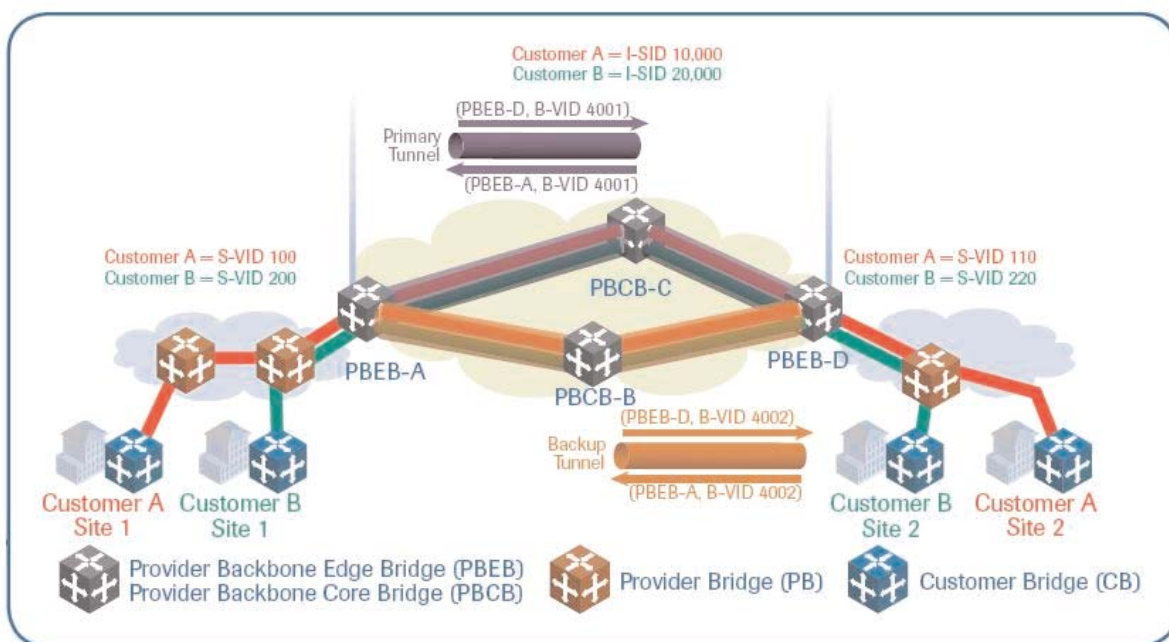


FIGURA 2: PROVIDER BACKBONE TRANSPORT

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 rappresenta 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 possibile soluzione è rappresentata dal protocollo MPLS (Multi Protocol Label Switching), che coniuga gli aspetti di garanzia delle prestazioni di rete, di QoS e di gestione del traffico con gli aspetti di scalabilità e flessibilità tipici dell'instradamento di strato 3.

Il protocollo MPLS si basa fondamentalmente 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".

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.

L'ITU-T 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.

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

- l'utilizzo di Label Switched Paths (LSP) bidirezionali, al contrario dell'MPLS in cui gli LSP sono unidirezionali. In questo modo vengo-

no implementati due LSP (in direzioni opposte) che attraversano gli stessi nodi e gli stessi link;

- non è prevista la possibilità di effettuare il PHP¹ ;
- non è prevista la possibilità di effettuare LSP Merging, secondo cui tutto il traffico transigente 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 ECMP².

Un altro aspetto chiave del T-MPLS è senza dubbio la completa separazione tra data plane e control plane; in particolare per quest'ultimo è prevista l'adozione del GMPLS al fine di ottenere una piena flessibilità nella gestione della rete e della segnalazione.

In linea di principio, andandosi a collocare nelle strato delle reti di trasporto T-MPLS può comportarsi da "service-layer" per qualsiasi tipo di servizio a pacchetto, come Ethernet, IP, MPLS stesso, ecc.

4. Confronto tra PBT e T-MPLSE

In questo paragrafo si effettuerà una comparazione tra le due tecniche mostrate precedentemente.

A livello di piano di controllo entrambe le tecniche prevedono una separazione da quello dati. In particolare nel PBT è previsto un control plane centralizzato mentre nel T-MPLS la tendenza è verso l'utilizzo del GMPLS. E' d'obbligo comunque far notare che alcuni studi sono in corso per l'adozione del GMPLS anche nel PBT.

Per quanto riguarda la "natura" di queste due tecniche, esse sono ovviamente connection oriented e prevedono un instradamento pre-determinato.

L'aspetto della resiliency è quello in un certo

senso più critico. Nel PBT è prevista la protezione globale (edge to edge) del path (1+1 protection path) settando a priori un "backup path", ma non una protezione contro i node failure o i link failure. In particolare si fa riferimento allo standard ITU G.8031 Ethernet Protection Switching.

T-MPLS definisce i suoi meccanismi di protezione con riferimento alle raccomandazioni ITU-T G.8131/Y.1382 (T-MPLS linear protection switching con le opzioni 1+1, 1:1 e 1:N) e ITU-T G.8132/Y.1383 (T-MPLS ring protection switching). In T-MPLS non è inoltre possibile utilizzare il Fast ReRoute dell'MPLS in quanto questa tecnica prevede l'uso del merging degli LSP, disabilitato per default.

Appare ovvio come passi avanti vanno fatti per ciò che riguarda questi aspetti.

Un'importante limitazione di entrambe le tecniche è poi quella che, ad oggi, riguarda l'impossibilità di effettuare connessioni multicast. In uno scenario dove servizi come IPTV (in particolare in modalità Live) e il cosiddetto Gaming sembrano avere interessanti prospettive, tale aspetto deve certamente essere risolto e sono tuttora in corso studi per aggiornamenti in tal senso.

Per quanto riguarda la qualità (in termini soprattutto di banda), sia il PBT che il T-MPLS prevedono una pre-allocazione di banda per un determinato path, approccio, questo, sicuramente più performante ma più costoso in termini di scalabilità e dinamicità.

Come visto in precedenza, sia il PBT che il T-MPLS prevedono il concetto di tunneling, differendo sostanzialmente nel metodo di gestione delle etichette. Nel PBT, un path è identificato da una label che rimane invariata nel percorso end-to-end; nel T-MPLS, invece, persistono quelle procedure di swapping (sostituzione), pushing e popping, tipiche dell'MPLS, che fanno sì che una label non sia univoca in un LSP, ma cambi ad ogni nodo. In sostanza, dunque, l'idea è l'emulazione dei circuiti, secondo quanto avviene nelle odierne tecniche di trasporto.

Infine volendo effettuare una valutazione sull'economicità di tali tecniche, si può dire che, in linea di principio, le tecniche in questione, essendo di strato 2, sono implementabili su switch: mentre per il PBT ciò sembra essere naturale (essendo

¹ Penultimate Hop Popping: modalità che prevede la rimozione della label al router che precede l'egress router

² Equal Cost Multiple Path: modalità che prevede la possibilità di instradare il traffico in un LSP attraverso diversi cammini.

basata interamente su Ethernet), per il T-MPLS questo non appare così ovvio. Tali apparati, poi, dovranno assicurare la piena interoperabilità tra questi protocolli e le reti già esistenti e ciò comporterà una maggiore complessità e un costo maggiore di quello dei normali switch. Rimane da stabilire quanto consistente sarà tale incremento di costo che in ogni caso dovrebbe rimanere ben al di sotto di quello dei router.

Volgendo uno sguardo allo scenario italiano, in cui c'è una forte migrazione dall'analogico verso il digitale (particolarmente in ambito televisivo), queste tecniche appaiono affascinanti grazie alla possibilità di trasportare informazione in una rete (potenzialmente) più economica.

In conclusione, si può dire che il PBT e il T-MPLS sono due promettenti tecniche per l'evoluzione verso reti che siano "tutte a pacchetto". Esse poggiano le loro basi su tecnologie mature e ampiamente affermate (Ethernet e MPLS), cercando di conservarne le qualità ed eliminando quegli aspetti che ne limitano l'applicabilità in un contesto di trasporto.

Ponendole in competizione, la nostra prima sensazione è che il T-MPLS abbia più possibilità di prevalere sul mercato, ma il PBT, se riuscirà a migliorare alcuni aspetti riguardo la resilienza, può avere buone possibilità, grazie alle caratteristiche ereditate da Ethernet.