

In figura 1 è mostrata la topologia utilizzata per la configurazione del nostro LSP P2MP:

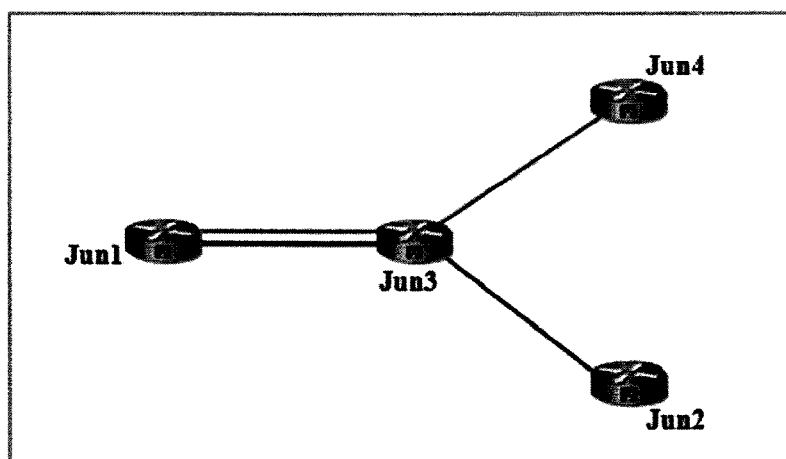


Figura 10 – Topologia utilizzata per l’LSP P2MP

Nel descrivere la configurazione si assume che già esistano due LSP point to point come illustrato in figura 1. Per configurare un LSP point-to-multipoint è necessario configurare l’LSP primario dall’ *ingress router*¹⁸, tale operazione è sufficiente dato che per default l’LSP secondario (ovvero quello che trasporta il traffico verso l’egress router) di un LSP point-to-multipoint è segnalato dinamicamente utilizzando il CSPF e non richiederà alcuna configurazione.

Andiamo a vedere allora la configurazione dell’LSP primario, in cui, rispetto alla configurazione convenzionale degli LSP, sarà necessario specificare anche un *path name* per l’LSP point-to-multipoint primario includendo la dichiarazione P2MP: nel nostro caso il nome scelto è **multi_lsp**.

Quello che occorre fare è andare ad elencare sull’ *ingress router* (Juniper 1) tutte le destinazioni del nostro LSP P2MP: per far ciò, una volta creato un Label Switched Path (in questo caso chiamato *label-switched-path multi_to_J2*), si è utilizzata l’istruzione *set to ind*, dove *ind* rappresenta l’indirizzo di destinazione del primo egress router (nel nostro caso Juniper 2).

Implementazione del Virtual Private LAN Service (VPLS)

Come abbiamo visto nel terzo capitolo, i possibili ruoli svolti dai diversi routers in un VPLS e le relative configurazioni possono essere:

- **Customer Edge routers (CE):** su di essi non è prevista alcuna configurazione strettamente legata al VPLS ma è necessaria solo la implementazione di Virtual LAN, oltre ovviamente ai normali protocolli di instradamento;

¹⁸ Per ingress router si considera il primo nodo di rete “ingresso” del dominio MPLS.

- **Provider Edge routers (PE):** tali routers sono i responsabili del servizio VPLS e su di essi risiede tutta la configurazione riguardante tale servizio, oltre ai protocolli per la segnalazione (BGP) e l'MPLS;
- **Provider routers (P):** sono completamente trasparenti al VPLS e su di essi va configurato solamente l'MPLS.

Si può dire quindi che l'elemento fondamentale di un VPLS è senza alcun dubbio il Provider Edge e nel nostro caso si è deciso di usare un router Juniper M10 e un Juniper M10i come PE.

I Provider routers (e i Customer Edge routers) non necessitano di particolari configurazioni relative al VPLS e si è deciso di non implementare alcun Provider router.

La tipologia implementata per le nostre sperimentazioni prevede un'istanza VPLS (denominata "vplsSte") in cui sia i PE che i CE sono dei routers Juniper;

Il protocollo per la comunicazione tra i CE e i PE è l'OSPF e per motivi di semplicità si è considerato un'unica area per tutti i routers coinvolti.

L'implementazione di un servizio VPLS richiede la gestione di diverse dinamiche di routing e il controllo dell'interazione di differenti protocolli al fine di assicurare un corretto funzionamento.

Nel seguito si riporteranno tutte le configurazioni necessarie per una corretta implementazione di un'istanza VPLS tra i due CE (nel nostro caso Juniper 3 e Juniper 1).

Configurazione del VPLS

Essendo l'elemento portante di un servizio VPLS, sul Provider Edge risiede la maggior parte delle configurazioni, riguardanti sia la implementazione della particolare istanza, sia i diversi protocolli, quali MPLS e BGP.

Nella seguente figura è mostrata la topologia del vplsSte e le interfacce coinvolte:

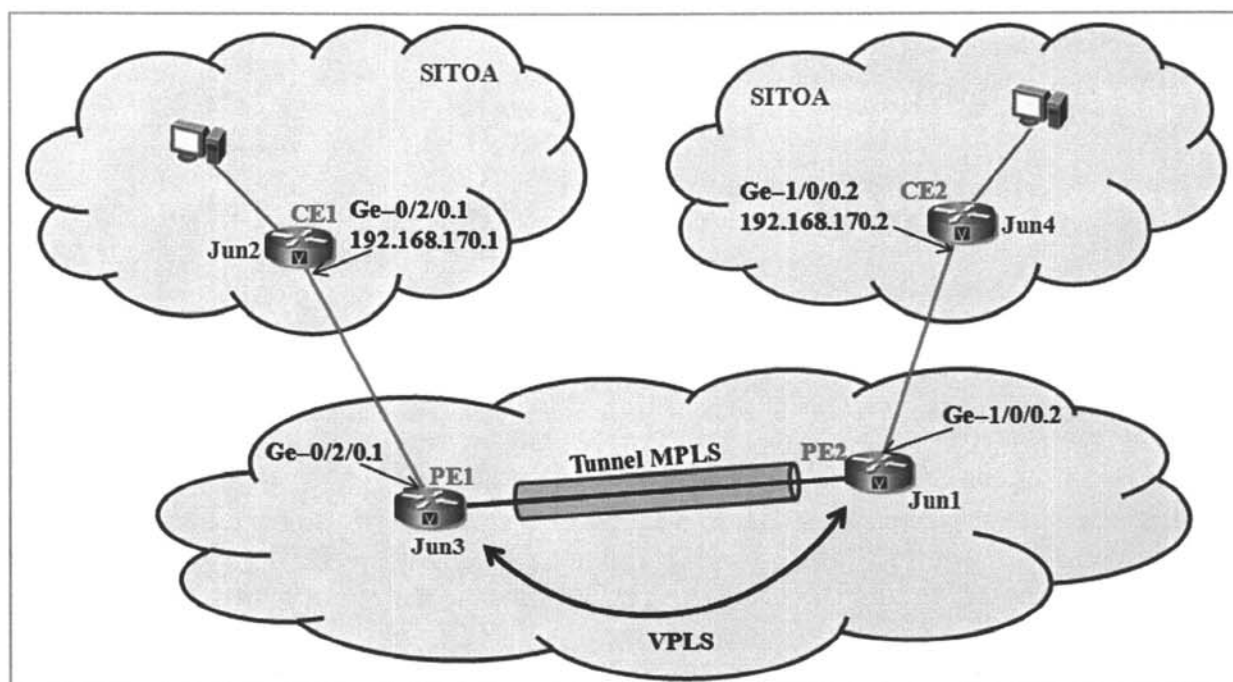


Figura 11 – Topologia del vplsSte

Una volta implementato il VPLS e i diversi protocolli necessari al corretto funzionamento, la naturale prosecuzione è stata quella di verificarne l'attivazione e il corretto funzionamento. Tali verifiche vengono effettuate direttamente sui router tramite degli appositi comandi.

Prove di cambio canale

Come server e client per le nostre prove abbiamo utilizzato due comuni pc, il server (di indirizzo 192.168.105.1) collegato a Juniper 2 (tramite l'indirizzo IP 192.168.105.2) e il client (192.168.114.1) collegato a Juniper 4 (tramite l'indirizzo 192.168.114.2). Per trasmettere e ricevere un flusso video in modalità multicast abbiamo utilizzato il già citato programma **VLC media player**.

Per quanto riguarda la trasmissione, dopo aver aperto tale programma abbiamo scelto dal menù di selezione uno dei video disponibili: nel nostro caso si trattava di 5 filmati di circa 20Mb ciascuno tratti da programmi televisivi in onda sulle reti nazionali quali Raiuno, Raidue, Raitre, Canale5 e Rete4. Tra le opzioni avanzate abbiamo spuntato la casella Trasmetti/Salva e, nelle impostazioni, una volta spuntata l'opzione UDP, abbiamo inserito l'indirizzo multicast (224.0.114.2 nell'esempio in figura) e la porta interessata alla trasmissione del canale. Abbiamo inoltre settato il TTL (Time To Live), ovvero il numero di segmenti di rete sui quali può viaggiare il datagramma prima di essere scartato, al valore 15.

Lo schema seguito per la scelta degli indirizzi multicast e delle porte è stato il seguente:

CANALE	INDIRIZZO MULTICAST	PORTA
Raiuno	224.0.114.2	1234
Raidue	224.0.114.3	1235
Raitre	224.0.114.4	1236
Canale5	224.0.114.5	1237
Rete4	224.0.114.6	1238

Figura 12 – Settaggio delle opzioni del VLC in trasmissione

In ricezione sono state aperte sul client una o più finestre di VLC (a seconda del tipo di prova effettuata). L'iter per poter catturare il flusso video è stato il seguente: dal menù file si è scelta l'opzione apri flusso di rete, dopodiché, una volta spuntata la dicitura UDP/RTP Multicast, sono stati inseriti l'indirizzo multicast e la porta del canale richiesto.

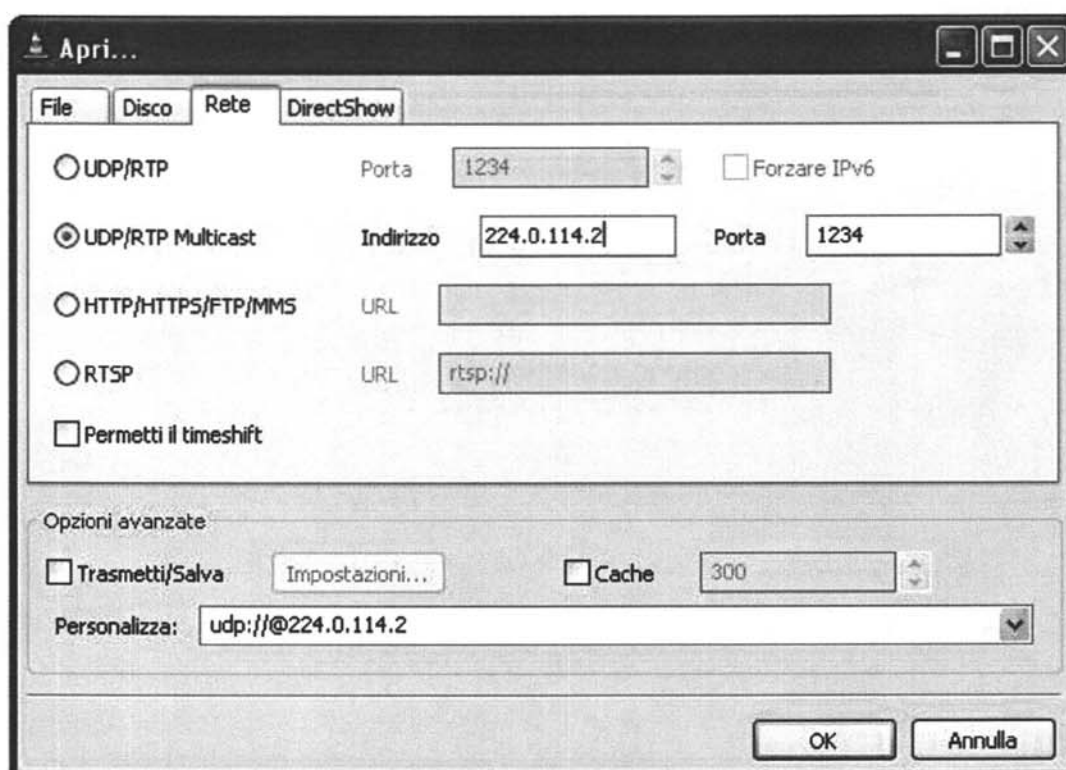


Figura 13– Settaggio delle opzioni del VLC in ricezione

A questo punto, per poter fare le nostre prove, abbiamo utilizzato sul pc client il software per l'analisi di protocollo **Wireshark** (precedentemente chiamato **Ethereal**) avente la funzione di "packet sniffer" (letteralmente *annusa-*

pacchetti). Una volta avviato e selezionata l'opzione *capture* dal menu interfaces, tale programma ha consentito il monitoraggio del flusso di pacchetti. Il nostro compito è stato quello di effettuare il cambio canale (nel nostro caso dal filmato "targato" Raiuno a quello "targato" Raidue) sulla finestra dell'VLC aperta sul flusso di indirizzo multicast 224.0.114.2 passando così al flusso di rete di indirizzo multicast 224.0.114.3. Tutto questo dopo circa 10 secondi dall'inizio della cattura da parte del Wireshark.

Per comprendere il modo in cui è stata ottenuta la misura del cambio canale, è necessario parlare del Group of pictures (Gop), ovvero del gruppo di fotogrammi (frame) che costituisce l'unità operativa dello standard MPEG-2. Si tratta in pratica di 12 fotogrammi nel formato PAL e ciascun Gop è formato da un determinato insieme di I-Frame (il primo frame o frame principale), B-Frame e P-Frame. Nel caso PAL la successione dei 12 fotogrammi del Gop è: IBBPBBPBBPBB. Dopo l'ultimo B-Frame inizia un nuovo Gop con una struttura identica. Questo è stato il punto fondamentale per riuscire ad individuare con esattezza i tempi del cambio canale, poiché solo la ricezione di un I-frame permette al ricevente di iniziare a visualizzare le immagini.

Dall'analisi del traffico dei pacchetti abbiamo puntato l'attenzione sui messaggi scambiati tra server e client per mezzo del protocollo IGMP (Group Management Protocol) che gestisce i gruppi multicast IP.

I possibili formati dei messaggi IGMP sono i seguenti:

- I router utilizzano il messaggio IGMP **Membership Query** per richiedere alle subnet le informazioni sui membri attivi nei vari gruppi
- I membri di un gruppo utilizzano il messaggio IGMP **Membership Report** per dichiarare la propria appartenenza ad uno specifico gruppo (riferendo l'indirizzo multicast del gruppo in questione tramite l'interfaccia di rete su cui hanno ricevuto la query) e quindi per richiedere la ricezione del flusso di dati
- I membri di un gruppo utilizzano il messaggio IGMP **Leave Group** per abbandonare un gruppo e terminare la ricezione di quel particolare flusso di dati.

Per calcolare quindi i tempi del cambio canale abbiamo fatto riferimento a due dati:

- Il tempo in cui il client fa richiesta di abbandono del gruppo inviando un messaggio IGMP **Leave Group** al server
- Il tempo in cui il server invia al client il secondo I-Frame (avente come destinazione l'indirizzo multicast del nuovo canale) e successivo al messaggio IGMP di **Membership Query**: viene preso in considerazione il secondo fotogramma principale perché in questo modo si ha la certezza che sia arrivato tutto il primo Gop e che sia possibile ricostruire l'immagine.

Il tempo del cambio canale è stato calcolato come semplice differenza tra questi due tempi.

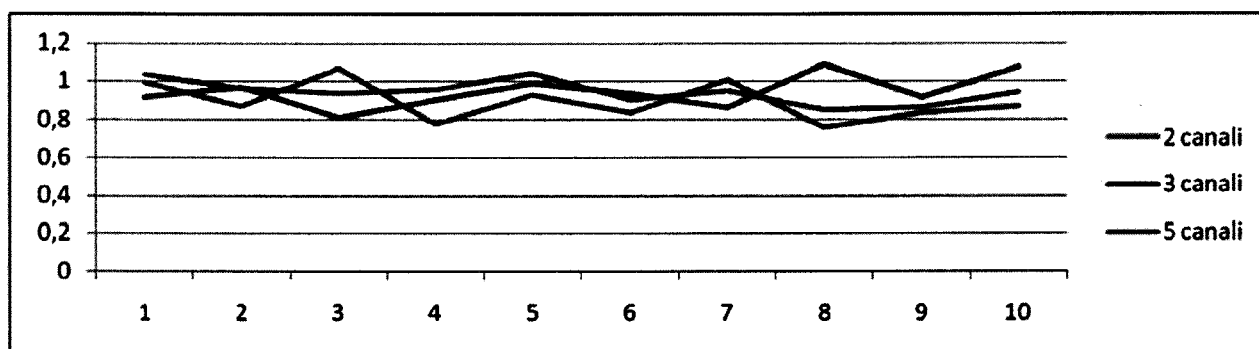
Le prove di cambio canale sono state effettuate sulla base di due diversi criteri:

- al variare del numero dei canali (nel caso di assenza di “carico” sulla rete)
- considerando il caso di rete carica

Le prove di cambio canale senza carico sulla rete sono state di tre tipi:

- 10 prove con 2 canali in trasmissione ed un solo canale in ricezione
- 10 prove con 3 canali in trasmissione e 2 canali in ricezione
- 10 prove con 5 canali in trasmissione e 4 canali in ricezione

Il seguente grafico mostra un confronto tra i 3 andamenti delle prove a rete “scarica” (A, B e C) :



Prove di cambio canale senza carico

La prova a “carico” è stata effettuata andando a “stressare” il CE2, ovvero il CE impegnato nello scambio dei messaggi IGMP con il client, inserendo un flusso di traffico di 1Gbit/s con l’ausilio di un generatore di traffico chiamato **Smartbits 6000** della **Spirent Communications**.

L’obiettivo era infatti quello di monitorare eventuali modifiche dei tempi di cambio canale in presenza di router “sotto sforzo”.

In particolare si è trattato di:

- 10 prove con 5 canali in trasmissione e 4 canali in ricezione con flusso a 1 Gbit/s su CE2

Dai dati rilevati sono stati calcolati poi i tempi medi di cambio canale, che andiamo a riportare qui di seguito:

- (2 canali) : $T_m = 892$ ms
- (3 canali) : $T_m = 921$ ms
- (5 canali) : $T_m = 943$ ms

D. (5 canali e carico su CE2): $T_m = 994$ ms

Quello che salta subito all'occhio è che all'aumentare del numero di canali interessati al servizio IPTV, e quindi all'aumentare delle richieste di fruizione del servizio, aumentano anche i tempi medi di cambio canale, e questo sicuramente è dato dal fatto che il router CE2 è chiamato a dover gestire più richieste contemporaneamente.

Nel caso di carico sul CE2 (D) questi tempi medi aumentano ancora di più, ma, comunque, siamo in presenza di valori paragonabili a quelli ottenibili nelle classiche modalità di fruizione TV: in particolare, da normativa TR-126 del DSL Forum, i tempi di cambio canale per il Digitale Terrestre sono compresi tra 1-2,5 sec e per il satellitare tra 2-4 sec.

Qualità del Servizio (QoS)

Quando si parla di nuovi servizi, in particolar modo real-time, è doveroso considerare la QoS.

Poggiando le sue basi sul protocollo MPLS, il VPLS ne eredita certamente tutte le caratteristiche ed è naturale pensare ad un trattamento della QoS che si rifaccia ad esso.

Nel nostro caso è stata utilizzata un'unica istanza VPLS e, considerando gli elementi partecipanti ad essa e il modo in cui sono connessi, si ha che:

- I Customer Edge sono connessi ai Provider Edge per mezzo di VLAN. In questo tratto la QoS è gestita a livello 2 con lo standard 802.1p, con il settaggio dei bit di priorità da parte dei CE;
- I PE sono interconnessi tramite tunnel MPLS e quindi la QoS è implementata tramite il campo EXP della label;
- i PE eseguono un mappaggio tra i bit di priorità dei frame in ingresso e i bit del campo EXP dei pacchetti in uscita.

In questo modo si ha un comportamento complessivo simile a quello del DiffServ¹⁹, in cui si esegue una classificazione e un marcamento ai bordi (in questo caso i CE) e un rilancio dei pacchetti, secondo alcune regole, all'interno (in questo caso i PE).

Avendo già implementato un'istanza VPLS adatta per supportare tale tipologia di traffico, il Service Provider non deve far altro che assicurarsi che l'utente si attesti sullo specifico VPLS, ovvero, considerando che i CE sono connessi ai PE per mezzo di VLAN, sulla Virtual LAN corretta. Si ha quindi un trattamento della QoS che può definirsi "su base VLAN", nel senso che ciò che discrimina una tipologia di traffico rispetto ad un'altra è proprio la VLAN.

¹⁹ Differentiated Service (RFC 2574), si tratta di una tecnica che permette di differenziare il traffico in classi di servizio sfruttando il campo ToS (Type of Service) del pacchetto IP.

Tra i Customer Edge e i Provider Edge vi è quindi una VLAN e pertanto la QoS viene gestita al livello 2 tramite lo standard 802.1p, discriminando i pacchetti secondo dei livelli di priorità.

Tra i Provider Edge di un VPLS il trasporto di un frame viene effettuato per mezzo del protocollo MPLS e quindi la gestione della QoS è stata effettuata andando a scrivere i bit del campo EXP della label MPLS.

Le modalità di configurazione dei PE, dei CE e delle istanze VPLS, sono identiche a quelle riportate all'inizio del capitolo e pertanto verranno riportate solo quelle relative alle Classi di Servizio.

Implementazione

In questo paragrafo si andranno a vedere nel dettaglio le righe di configurazione e se ne spiegherà il significato e i motivi che hanno portato alle scelte effettuate.

Dal punto di vista del Customer, la QoS deve essere garantita a partire dal primo apparato e quindi dal CE e, pertanto, per dare un senso logico alla descrizione, si inizierà con il descriverne l'implementazione nei CE e successivamente si vedrà quella relativa ai PE. Essendo le configurazioni identiche, si riporteranno solo quelle relative ad un CE e ad un PE.

Configurazione della QoS in un Customer Edge

Come abbiamo visto nel nostro caso il Customer Edge è il primo router che li flusso di traffico incontra.

Per prima cosa questo esegue una classificazione dei pacchetti entranti e li assegna ad una determinata Classe di Servizio. La classificazione viene effettuata secondo diversi criteri, come ad esempio andando ad esaminare il campo DS ovvero il campo EXP o, ancora, il campo Priority di una VLAN Tag.

E' ovvio che ciò è possibile se il pacchetto da classificare è stato precedentemente marcato; nel caso qui considerato, i pacchetti in ingresso al CE provengono da normali PC che non hanno la possibilità di effettuare alcun tipo di marcamento. Si è provveduto allora a classificare il traffico a seconda dell'interfaccia di ingresso.

Il marcamento viene effettuato, ovviamente, sull'interfaccia di uscita del CE, cioè quella che lo collega al PE. Nel nostro caso, essendo il CE collegato al PE per mezzo di una VLAN, ciò viene fatto a livello 2 e precisamente si va a scrivere nei 3 bit del campo User Priority della VLAN Tag, secondo le specifiche dello standard IEEE 802.1p.

Nella direzione opposta, il traffico risulta, chiaramente, già marcato e l'unica operazione da effettuare è quella riguardante la classificazione: l'interfaccia coinvolta è ancora quella che collega il CE al rispettivo PE e, in particolare, la classificazione viene effettuata sulle unità logiche su cui sono implementate le VLAN.

Configurazione della QoS in un Provider Edge

Per quanto riguarda invece la configurazione dei PE, per la classificazione bisogna considerare che il PE è collegato tramite VLAN al CE e tramite tunnel MPLS all'altro PE.

Pertanto, si ha:

- una classificazione a livello 2, esaminando il campo Priority della VLAN Tag del frame Ethernet proveniente dal CE;
- una classificazione dei pacchetti provenienti dal PE remoto, esaminando il campo EXP della label MPLS.

Occorre quindi impostare questi due tipi di classificazione sulle interfacce opportune.

Per quanto riguarda il marcamento è importante sottolineare l'importanza del comando `rewrite-rules`, tramite il quale viene specificata la particolare regola da utilizzare.

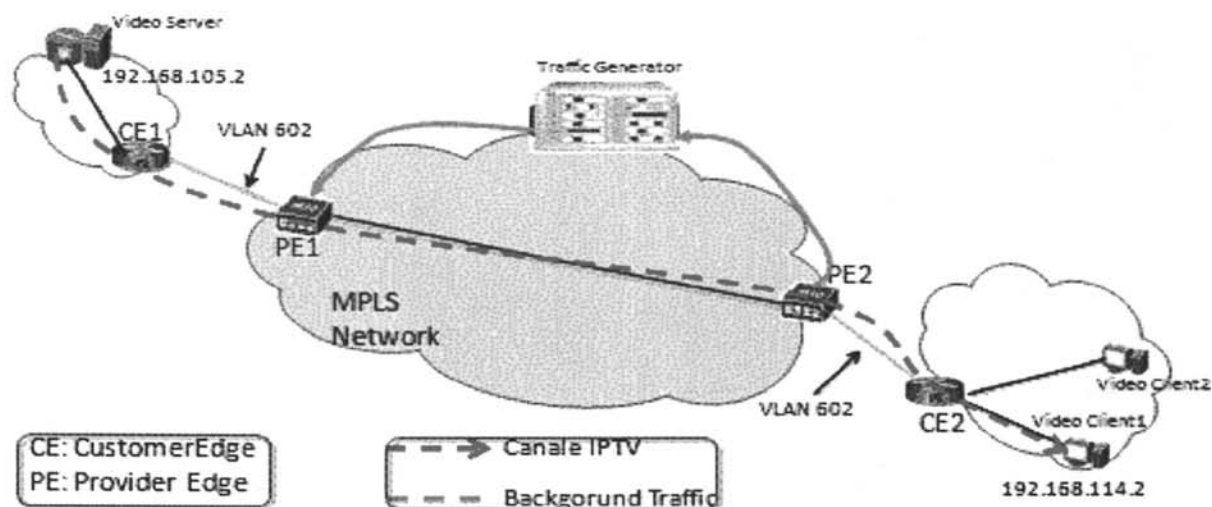
Per il tratto PE-PE è stato implementato il tunnel MPLS: nella relativa configurazione l'istruzione più significativa è quella riguardante l'impostazione della classe di servizio, ovvero *class-of-service <valore>*, in cui il parametro da impostare è il valore decimale dei tre bit del campo EXP, dove i primi due definiscono la classe di servizio.

Infine, anche sul Provider Edge si sono configurati gli schedulers e si è eseguita l'opportuna mappatura con le classi di servizio.

Prove di QoS

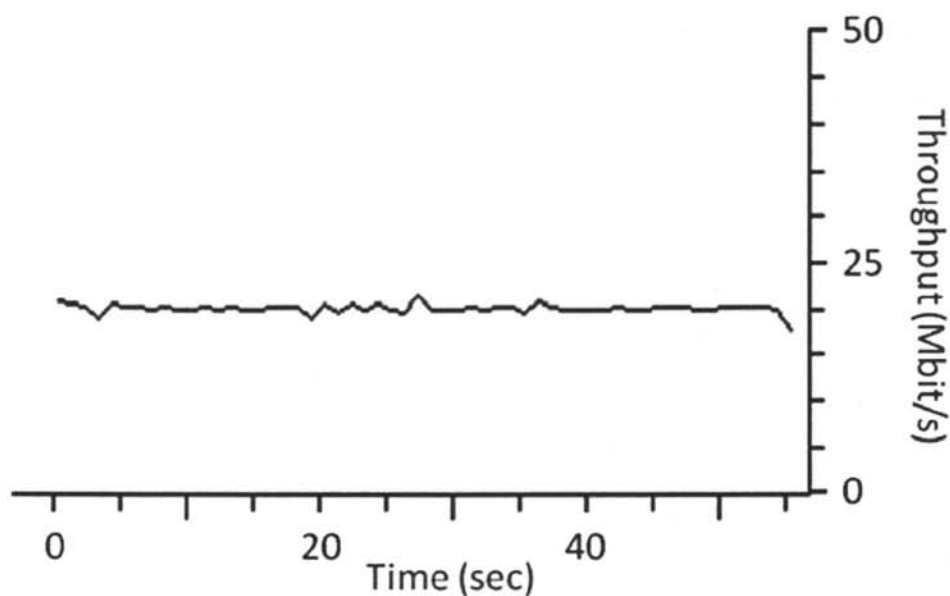
La prova di qualità del servizio di cui ci siamo occupati è consistita nella trasmissione dal server al client di un video ad Alta Definizione di 20 Mbit/s (come nelle prove di cambio canale) associato ad una qualità Gold, in presenza di *Background traffic* a 1 Gbit/s associato ad una qualità Best-Effort. Il nostro scopo è stato quello di verificare la qualità di ricezione del video in tale situazione di carico, dato che il flusso di traffico ha ovviamente delle caratteristiche che richiedono la garanzia di certe prestazioni.

Per congestionare il tratto di rete tra i due PE (in figura) anche qui è stato utilizzato il generatore di traffico **Smartbits 6000**:



Configurazione del VPLS per la prova di QoS

Come mostrato nella seguente figura, quello che è stato monitorato in uscita è l'andamento del throughput del canale al variare del tempo:



Throughput in uscita

Come si può notare, e come ci si aspettava, nonostante la congestione, il flusso con qualità di servizio Gold non subisce evidenti perdite di pacchetti (throughput costante a 20Mbit/s), garantendo così una buona fruizione di un servizio IPTV.

E' stata inoltre effettuata una prova visiva su 10 spettatori che non ha rilevato la presenza di anomalie sulla visione del filmato ricevuto: ciò ha confermato il fatto

che la tecnologia VPLS consente di gestire efficacemente la QoS di un servizio IPTV.

La TV ad alta definizione

La trasformazione del sistema televisivo dall'analogico al digitale è in pieno svolgimento: avviata a metà degli anni Novanta con la televisione via satellite e ormai completata su tale piattaforma, sta attualmente riguardando in modo cruciale la televisione terrestre con un calendario di transizione che in tutta Europa dovrà concludersi entro il 2012. In tale tabella di marcia l'Italia è ben posizionata, con il suo calendario di switch-off per aree geografiche e con l'aver appena completato, il 31 ottobre u.s., in Sardegna la più grande zona europea "all digital". Benefici fondamentali della trasformazione sono un utilizzo molto più efficiente della banda trasmissiva, grazie alle tecnologie di compressione digitale dei contenuti audiovisivi, e una migliore qualità del segnale ricevuto, grazie a nuovi sistemi di modulazione idonei per segnali digitali. L'introduzione delle tecniche digitali ha anche dato luogo ad altre piattaforme di diffusione televisiva, in particolare la televisione mobile, la IPTV e la Web-TV.

Un altro importante fenomeno riguarda la progressiva sostituzione dei televisori a tubo catodico con televisori a schermo piatto, che consentono risoluzioni e dimensioni di quadro impensabili fino all'inizio di questo decennio. In Italia, risultano ad oggi installati circa dieci milioni di televisori a schermo piatto, vale a dire quasi un quarto del parco totale degli apparati televisivi presenti nelle abitazioni. Proprio la disponibilità di tali apparati stimola, a causa della resa tecnica non ottimale dei contenuti televisivi tradizionali sui nuovi schermi piatti, l'aspettativa di contenuti di migliore qualità tecnica e di maggiore risoluzione.

Le nuove tecnologie di radiodiffusione televisiva digitale rendono operativamente realizzabile ciò che i nuovi televisori a schermo piatto già rendono appetibile e praticamente inevitabile: il passaggio alla televisione ad Alta Definizione (HDTV).

La televisione ad alta definizione (HDTV), caratterizzata da un formato panoramico (16/9) e dotata di un dettaglio delle immagini fino a 5 volte maggiore di quella a definizione standard che abbiamo conosciuto per oltre mezzo secolo

E' indubbio che la HDTV è destinata, nel giro di pochi anni, a diventare la televisione a definizione "normale" di domani, considerato anche che si affacciano all'orizzonte – con iniziative di sperimentazione in laboratorio ma con prospettive di commercializzazione tra non prima di un decennio da oggi - nuove tecnologie come la SHV (Super Hi Vision).

Si tratta di un passaggio epocale che comporta enormi cambiamenti nell'intera filiera televisiva, nell'industria, nel mercato degli apparati di ricezione televisiva, ed anche sul consumatore finale, con conseguente necessità di armonizzare norme tecniche da adottare a livello Paese, onde garantire la ricevibilità di qualsiasi programma televisivo da parte di qualsiasi apparato d'utente (decoder o

televisore con ricevitore digitale integrato), con particolare riguardo alle problematiche di compatibilità durante il periodo di transizione.

Presentazione della Conferenza del 20 novembre 2008

L'Associazione **HD Forum Italia**, che riunisce attualmente diciotto aziende e organismi di primo piano del settore italiano delle telecomunicazioni, opera ormai da due anni per la promozione e lo sviluppo armonico dell'Alta Definizione nel Paese. Nel corso del 2008 la sua attività è stata dedicata in modo speciale alla realizzazione di due volumi complementari, lo **HD-Book Vol.1 (DTT)**, rivolto all'industria, e la **Guida all'Alta Definizione**, rivolta agli utenti. Sarà la prima di queste due pubblicazioni al centro di questa conferenza annuale organizzata da HD Forum Italia. Un particolare accento viene posto sull'essere l'Alta Definizione sia un'esperienza di fruizione sia una tecnologia di presentazione dei contenuti audiovisivi, disponibile su tutte le piattaforme di diffusione: il satellite, il terrestre, l'IPTV e i cosiddetti *Package Media* (BluRay, digital tapes, etc.). A questo proposito, HD-Book Vol. 1 (DTT) è solo la prima pubblicazione dell' HD Book Collection, una serie coordinata di volumi specificamente dedicati ad ognuna delle suddette piattaforme.

HD-Book Vol.1 (DTT) intende coordinare le molte opzioni possibili per la fabbricazione degli apparati di ricezione ad alta definizione: STB e TV integrati su piattaforma digitale terrestre, in base a norme tecniche internazionali, con l'obiettivo di garantire semplicità di fruizione e compatibilità tra contenuti (HD e SD) trasmessi dai broadcaster italiani verso i ricevitori compatibili. Le opzioni tecniche considerate interessano, in particolar modo, le tecniche di codifica, le risoluzioni e i formati di visualizzazione, il trattamento del segnale audio, il supporto di servizi ausiliari per non udenti (ad esempio teletext e sottotitolazione real-time e differita) e non vedenti (audio descrittivo, dialogue norm, ecc.), vari automatismi di numerazione e gestione dei canali rilevati durante la sintonia iniziale e una modalità visionamento dei programmi in HDTV opportunamente "ridotta in scala" per utilizzo su apparati tradizionali (televisori e videoregistratori PAL).

La **Guida all'Alta Definizione**, che sarà oggetto di presentazione in un evento successivo a quello ora in programma per lo HD Book, è stata concepita per utenti di media cultura generale e desiderosi di scegliere e utilizzare al meglio i loro apparati di fruizione della HDTV. A tale pubblicazione potrà far seguito una guida ancora più semplice ed essenziale per una più vasta popolazione di lettori, quasi con caratteristiche da brochure come quelle disponibili presso le fiere o i punti vendita di elettronica di consumo. Dopo aver introdotto le caratteristiche principali delle trasmissioni e dei ricevitori HD, il volume offrirà delle linee-guida per orientarsi in un mercato caratterizzato dalla presenza di produttori multinazionali, dal ruolo ultracompetitivo di offerte "low-cost" e da un tasso elevato di rinnovo dei prodotti offerti. E' infatti essenziale, per una stabilità dell'ecosistema dell'audiovisivo, che l'utente sia messo in grado di acquistare un apparato valido per una durata temporale ragionevolmente compatibile con la spesa che egli è disposto a sostenere.

Con circa quindici interventi di rappresentanti, istituzionali e industriali, di tutta la filiera di regolamentazione, pianificazione, sperimentazione, produzione e fruizione dell'audiovisivo, la Conferenza sarà un'opportunità per fare il punto sulle principali questioni relative lo sviluppo della televisione digitale di oggi, e sulle prospettive di affermazione dell'Alta Definizione nei prossimi anni.

Il programma sarà allietato dalla proiezione di filmati ad Alta Definizione tratti dal glorioso repertorio delle origini, in quanto l'Italia, tramite la RAI, è stata all'avanguardia nella sperimentazione e produzione di programmi ad Alta Definizione già in epoca pre-digitale, da interventi di due Maestri delle riprese e della fotografia che parteciparono a tali sperimentazioni e dalla proiezione di filmati HD di assoluto livello e di recentissima produzione.

L'intento della sperimentazione è stato quello di riprodurre il tempo di fuori servizio a seguito di un ripristino mediante l'uso di tecniche standard come ad esempio il Fast Reroute MPLS (50 ms ca.) o non standard come il Wavelength Alternative Path selection [1] (20 ms ca.) e successivamente di valutarne gli effetti sulle trasmissioni video di tipo IPTV utilizzando diversi codec (MPEG2 e H264) e diversi formati (PAL 720x576 e FULL HD 1920x1080i,p).

Sperimentazioni IPTV HD sul test bed

Riprendiamo il test bed per vedere alcune specifiche sperimentazioni fatte sulla TV HD su protocollo IP.

Per effettuare le misure è stata realizzata l'architettura di rete di figura 1.

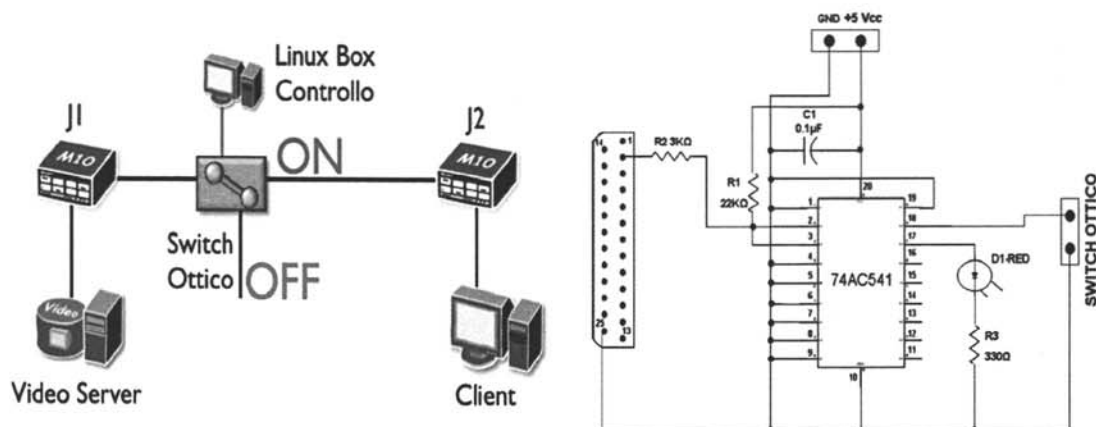


Figura 1 - Test Bed e schema elettrico del circuito pilota dello switch

Il tempo di fuori servizio è stato realizzato mediante l'uso di uno switch ottico connesso come interruttore nel link di collegamento tra J1 e J2.

La linux box, utilizzata come console, pilota la commutazione dello switch tramite la porta parallela.

Il fuori servizio viene così definito: $T_{SET} + T_{SWITCH}$ dove T_{SWITCH} è il tempo di commutazione dello switch, T_{SET} invece è il tempo impostato nel programma C della linux box per realizzare il fuori servizio.

In figura 1 è inoltre riportato lo schema elettrico utilizzato per comandare lo switch ottico dalla linux box.

L'esatto valore dei tempi in gioco è stato valutato tramite un oscilloscopio a tempo reale connesso all'ingresso di J2.

Nella figura 2 è riportato l'andamento del segnale ottico registrato per la valutazione del tempo T_{SWITCH} ottenuto settando a 0 il T_{SET} .

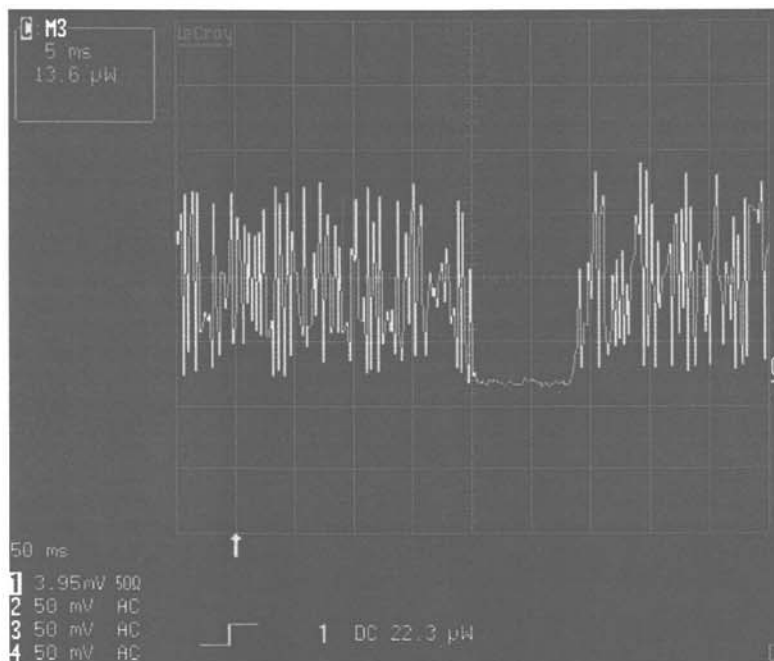


Figura 2 - Valutazione del solo tempo di switch: circa 8 ms

Ottenuto questo primo risultato abbiamo potuto valutare la bontà del programma in C da noi realizzato per riuscire a creare dei tempi di fuori servizio rispettivamente di 20 e 50 ms. E' stato quindi impostato il T_{SET} prima a 12 ms e successivamente a 42 ms, i risultati sono mostrati in figura 3 e figura 4.

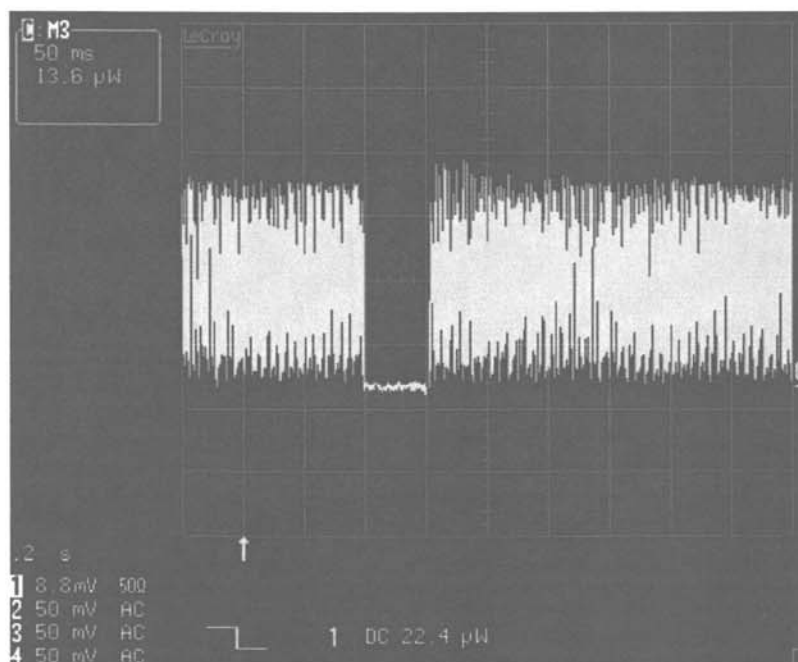


Figura 3 - 50 ms di interruzione

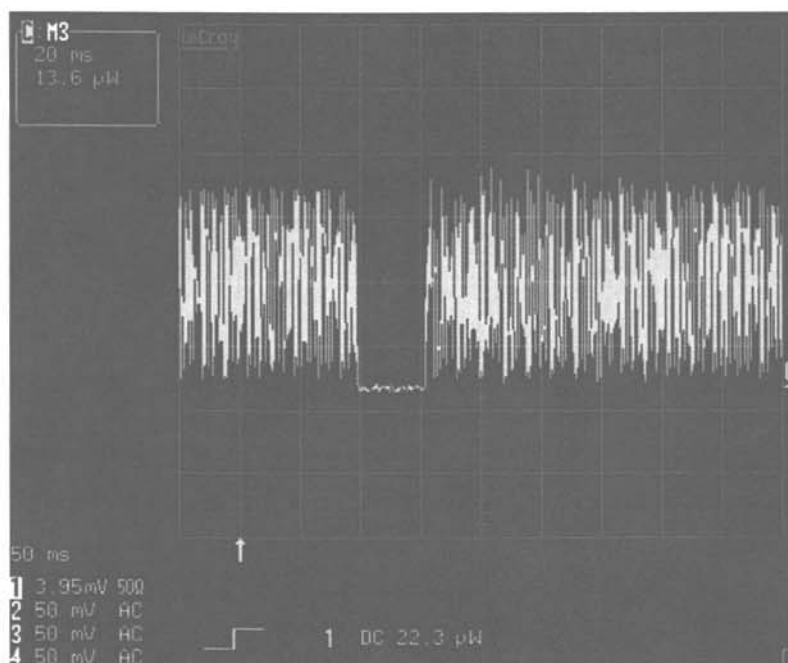


Figura 4 - 20 ms di interruzione

Verificato quindi che i tempi di fuori servizio creati dall'apparato assemblato fossero validi, si è proceduto con l'analisi qualitativa dei flussi video. Ci si è avvalsi del software VLC (Video Lan Client) per lo streaming e la riproduzione del video rispettivamente sulla macchina server e su quella client. Lato client si è proceduto con la registrazione del flusso in ingresso per una successiva valutazione degli effetti dell'impairment ricreato, sia dal punto di vista del video che dal punto di vista della semplice cattura dei pacchetti UDP ricevuti. Questa ultima operazione è stata effettuata tramite il software WireShark (sniffer software).

Per le prove sono state utilizzate tre sorgenti video:

- Standard definition MPEG2 720 x 576 codificato a circa 5500 Kbps, 25 fps
- High definition MPEG2 1920 x 1080i codificato a circa 18000 Kbps, 30 fps
- High definition H264 1920x1080p codificato a circa 15000 Kbps, 30 fps

Va precisato che la compressione nei formati video comporta la trasmissione in sequenza di Group of Pictures (GOP) contenenti mediamente 12 frame di video. Di questi solo uno trasporta l'informazione intera (frame I), gli altri 11 (B e P) trasportano informazioni non complete che vengono poi integrate mediante tecniche di predizione.

La natura degli errori ricreata in laboratorio è quindi simile dal punto di vista strettamente quantitativo, ma l'effetto visivo sarà differente nei casi in cui i frames intaccati saranno frames interi o semiframe. Un'ulteriore variante è data dalla natura del codec utilizzato, l'h264 è sensibilmente più robusto ad impairment di tipo packet loss rispetto all'mpeg2 in quanto è corredato da tecniche di protezione più avanzate. La quantità di dati persa sarà poi diversa per ogni tipo di bitstream a parità di tempo di fuori servizio.

Vediamo di seguito l'analisi svolta in funzione dei differenti tre casi considerati:

**Standard definition mpeg2 720 x 576 codificato a circa 5500 Kbps,
25 fps**



Figura 5 - SD interruzione di 20 ms