

15 Marzo 2013

Università degli Studi di Trieste

Ingegneria delle
Telecomunicazioni

Laureando Giovanni Gobbesso

Relatore : Fulvio Babich

Correlatore : Francesco Fabbro

Sistemi Ottici WDM: il caso della rete pubblica regionale del Friuli Venezia Giulia

Sintesi del Percorso di Studio

- ProgettoERMES
- WDM (Wavelength Division Multiplexing)
 - Obiettivi del lavoro di tesi
 - ✓ Dimensionamento anello di Udine
 - ✓ Progetto “sbraccio” di Cividale
- Conclusioni
- Riferimenti Bibliografici

ERMES – Excellent Region in a Multimedia European Society

Infrastruttura in Fibra Ottica nell'intera regione FVG

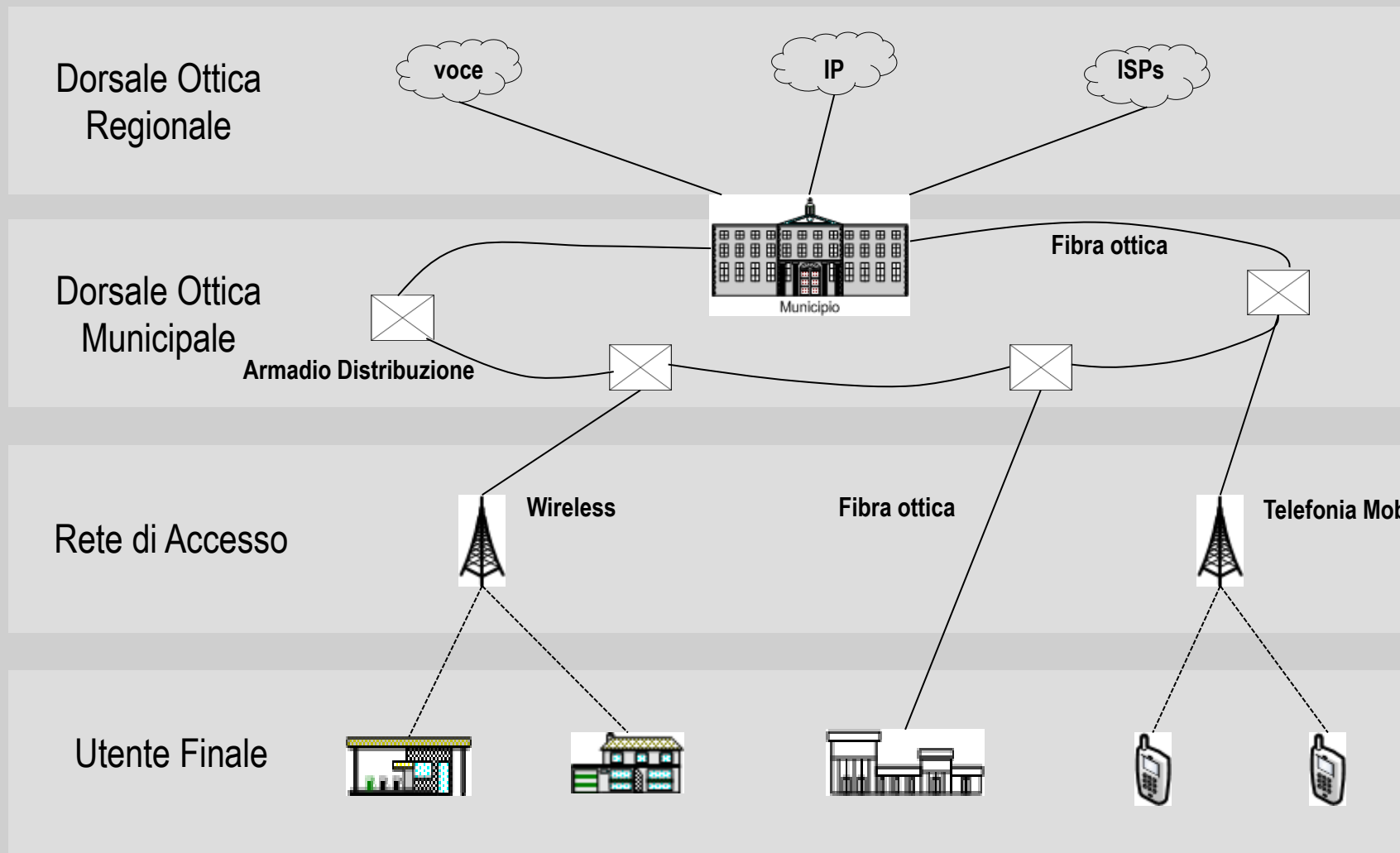
Fruitori:

- Sedi Comunali
- Sedi Ospedaliere
- Zone Industriali
- Futuro prossimo, tramite operatori TLC, al cittadino

Scopi:

- Abbattimento del Digital Divide
- Offerta di servizi multimediali ad alta velocità al cittadino e alle sedi comunali
- Servizio Telematico Ospedaliero

Topologia Della Rete

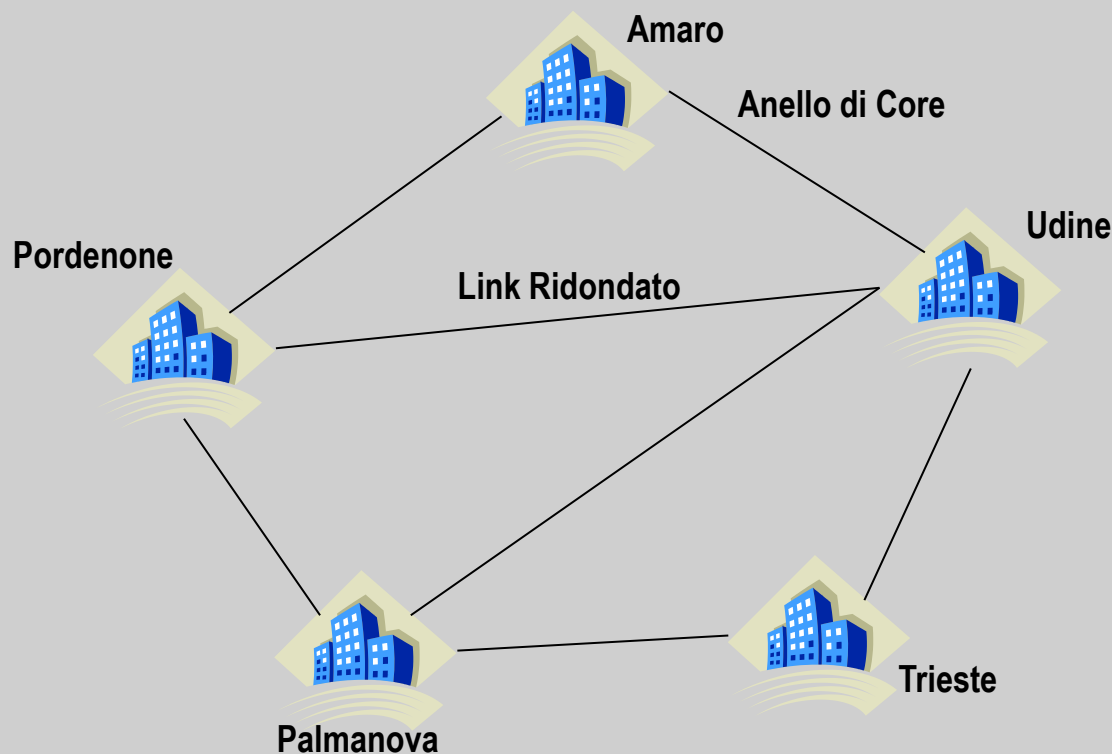


Definizioni Infrastrutture Fisiche

- Centro Stella (Nodo di Rete) : centro di gestione della rete
- POP : Sede di “spillamento” cavo dorsale e installazione apparati rete
- Sede Comunale : sede principale collegata alla sede POP
- Siti : sedi secondarie collegate alla sede POP
- Sede Ospedale : sede di primaria importanza dotata d’attestazione cavo di dorsale

Architettura Fisica

Area dei Nodi di Rete - Core



Collegamenti Core:

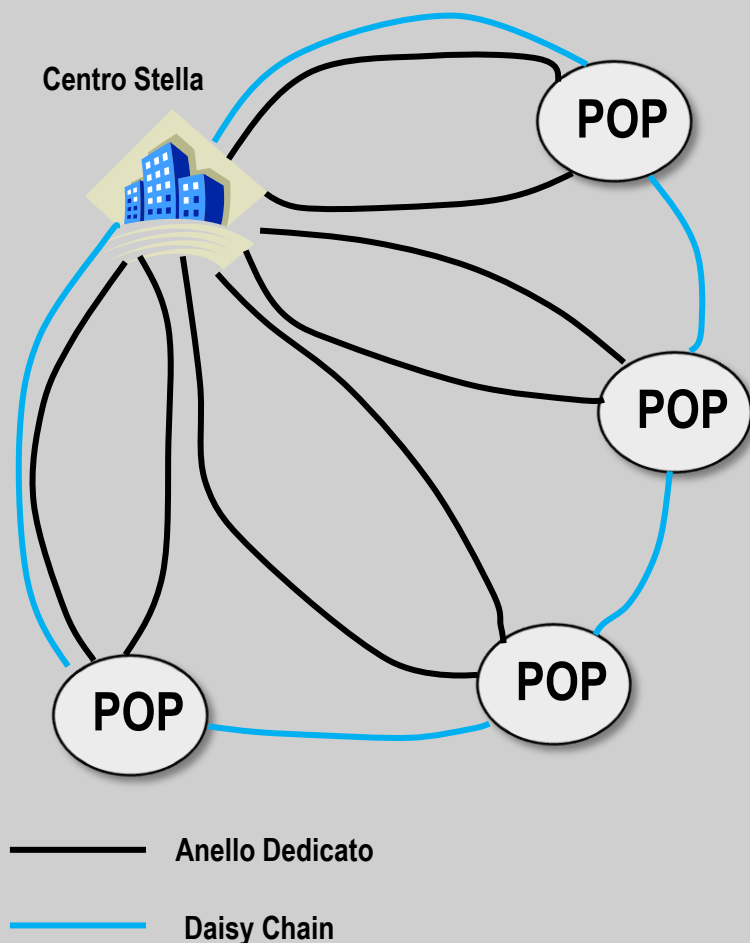
- Amaro – Udine
- Udine – Trieste
- Trieste – Palmanova
- Palmanova – Pordenone
- Palmanova – Amaro

Collegamenti Ridondati :

- Udine – Palmanova
- Udine – Pordenone

Architettura Fisica

Area di Dorsale - Backbone



- Ogni POP ha doppia via fisica dedicata, ognuna composta da coppia di fibre, con Centro Stella
- POP collegati tra loro in Daisy Chain, inizialmente utilizzata per test, in futuro per traffico di monitoraggio

Architettura Fisica

Area di Distribuzione

I Siti delle utenze della pubblica Amministrazione verranno raggiunti tramite:

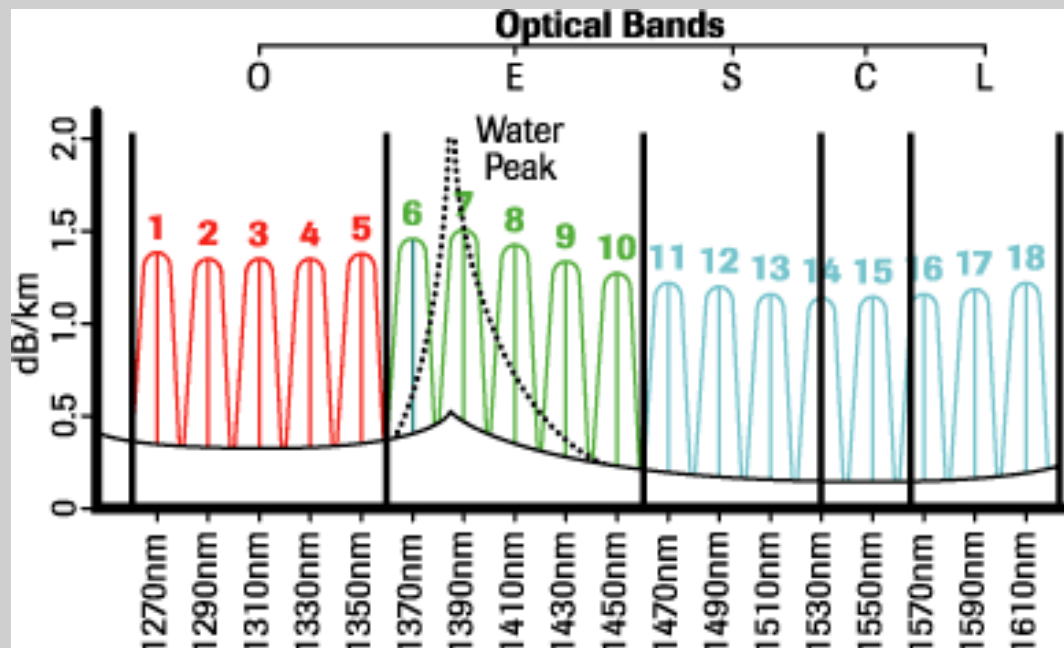
- Fibra per $D > 100$ metri
- Cavi UTP (rame) per $D < 100$ metri
- Accesso Wireless tecnologia Hyperlan se non cablabili

Wavelength Division Multiplexing

Multiplicazione di Frequenza nel campo dell'ottico

Altissime Frequenze, viene fatto riferimento alle lunghezze d'onda in nm : 1550 nm \approx 193 THz

Elevate Capacità di Trasporto Dati, fino a 1 Tbit/s in commercio



Coarse - Wavelength Division Multiplexing (CWDM)

Possibilità di sfruttare 18 canali; generalmente utilizzati solo 16

Spaziatura tra canali di circa $20 \text{ nm} \approx 2,5 \text{ THz}$

Utilizzo in banda O,E,S,C,L

Utilizzate per Reti Metropolitane ($\approx 80 \text{ km}$ senza rigenerazione)

Costo non eccessivamente elevato

Dense - Wavelength Division Multiplexing (DWDM)

Possibilità di sfruttare fino a 160 canali

Differenti Spaziature dai 100 GHz fino a $12,5 \text{ GHz}$

Utilizzo in Terza Finestra, banda C, L e S

Utilizzate per Reti a Lunga Distanza ($> 600 \text{ km}$ senza rigenerazione)

Costo elevato

Obiettivi dello Studio Progettuale

Dimensionamento di un anello di Udine

Valutato sulle specifiche del progettoERMES

Analisi dei dispositivi in commercio

Valutazione dei margini in potenza da introdurre nel dimensionamento

Valutazione di eventuali stadi amplificatori

Progettazione “Sbraccio” di Cividale

Valutato sulle specifiche del progettoERMES

Analisi dei dispositivi in commercio

Valutazione delle possibili architetture e configurazioni

Proposte di soluzioni immediatamente realizzabili

Valutazione dimensionamento tramite SW

Power Budget

$$P_{TXdBm} - P_{SensdBm}$$

E' la "dotazione" di potenza spendibile per la gestione delle attenuazioni e dei margini di sistema

Loss Budget

Ogni attenuazione e possibile degrado del segnale è ricondotto ad una perdita equivalente

Le attenuazioni possono essere introdotte da :

- Fibra
- Giunzioni
- Connettori
- Dispositivi Ottici

Il degrado del segnale può essere introdotto da dispersioni lineari e non lineari in fibra

Analisi Dispositivi

SFP Small Form Factor Pluggable – Transceiver Ottici

Trasmittitore

Laser DFB

Valutato il valor massimo e valor minimo tra i valori trovati per le potenze in Tx

$$P_{TXMin} = 0 \text{ dBm}$$

$$P_{TXMax} = 5 \text{ dBm}$$

Degrado del segnale introdotto e non sempre valutato nei Data Sheet :Extinction Ratio.

Altre forme di degrado dipendenti, per esempio dalla Temp, valutati nel range di valori fornito dai Data Sheet

Ricevitore

Fotorivelatore PIN o APD

Valutato il valor massimo ed il valor minimo tra i valori trovati per le sensibilità in Rx

$$P_{SensMin} = - 12 \text{ dBm}$$

$$P_{SensMax} = - 32 \text{ dBm}$$



Attenuazioni

$$\alpha_{fibra} = 0,22 \text{ dB/Km}$$

Specifiche per ogni Link

$$\alpha_{conn} = 0,25 \text{ dB a connettore}$$

La fibra G656 attenua 0,22 dB/km in terza finestra

$$\alpha_{giunti} = 0,05 \text{ dB a giunto}$$

Un giunto ogni 3,5 km ; più giunto suppletivo per eventuale sbraccio

$$\alpha_{dispositivo} = 1,5 \text{ dB}$$

Supposti 2 connettori per link

Supposta presenza un dispositivo ottico in RX

Loss Budget

Alla luce della stesura dei requisiti

$$\alpha_{fibra} \times l_{fibra} + \alpha_{conn} \times n_{conn} + \alpha_{giunti} \times n_{giunti} + \alpha_{filtro} \times n_{filtri}$$

Margine di Sistema

Pesati su Fibra Ottica di Riserva e su Effetti Dispersione

Aggiunta del 3%, calcolo attenuazione introdotta su fibra più lunga

$$M_{3\%} = l_{fibra3\%} \times \alpha_{fibra}$$

Valutazione effetti di dispersione lineare a cui viene fatta corrispondere una penalty.

Penalty = La potenza che sarebbe necessaria aggiungere al sistema per ripristinare le condizioni ottimali di funzionamento

Dispersioni non lineari trascurabili. Presenti solo in configurazioni particolari, con grande impiego di potenza trasmessa

Con caratteristiche della rete presenza Dispersione Cromatica e Dispersione Polarizzazione.

Margine di Sistema

Dispersioni Lineari in Fibra e Extinction Ratio

Dispersione Cromatica

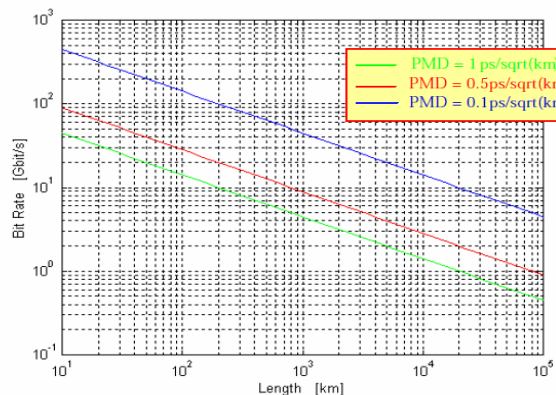
Valutata la sua presenza in forma minima. E' stata commisurata una penalty da aggiungere nel loss budget

$$P_{disp.crom} = -10 \log_{10} \left(1 - \frac{1}{2} (\pi B_r)^2 D^2 \right)$$

Dispersione di Polarizzazione

Ogni impulso si accoppia in modo casuale con le due propagazioni ortogonali presenti. In ricezione due immagini dello stesso impulso con velocità differenti.

Per i requisiti definiti possono essere percorsi oltre i 10^5 km senza che si avverta il disturbo.



Extinction Ratio

Rapporto tra potenza assegnata alla bit 1 e potenza al bit 0. Penalty associabile alla qualità del Tx

$$\delta_{\epsilon}(r_{\epsilon}) = \frac{(r_{\epsilon} + 1)}{(r_{\epsilon} - 1)}$$

Dimensionamento

$$P_{Tx} - P_{Rx} \geq \alpha_{fibra} \times L_{Max_reale} + \alpha_{conn} \times n_{conn} + \alpha_{giunti} \times n_{giunti} + \alpha_{filtro} \times n_{filtri} + M$$

Valutazioni Eseguite

	Potenza Trasmissione	Sensibilità Ricevitore
Soluzione I	Minima	Minima
Soluzione II	Massima	Massima
Soluzione III	Minima	Massima
Soluzione IV	Massima	Minima

Definita Lunghezza Massima Reale di Tratta

$$L_{Max_reale} = \frac{[Power\ Budget] - \alpha_{conn} \times n_{conn} - M - \alpha_{filtro}}{\alpha_{fibra} + \alpha'_{giunti}} \quad \alpha_{giunti} = \frac{L_{Max_reale}}{3,5\ km} \times 0,05 = \alpha'_{giunti} L_{Max_reale}$$

Stadio Amplificatore

Alcune Tratte della Soluzione I e IV necessitano Amplificazione

E' stato utilizzato un EDFA all'uscita del trasmettitore in regime di moderata saturazione per limitare la presenza dell'ASE al ricevitore.

ASE trascurabile ma associato ad una Penalty μ_N per avere un margine associato al rumore

$$P_{Tx} - P_{Rx} > \alpha_{fibra} \times l_{fibra} + \alpha_{conn} \times n_{conn} + \alpha_{giunti} \times n_{giunti} + \alpha_{filtro} \times n_{filtri} - G_{ampl} + \mu_N + M$$

Conclusioni

Delle 4 soluzioni considerate → Potenza trasmittiva minore = Necessità d'amplificazione per tratte più distanti

Possibilità di raggiungere la gran parte dei comuni senza amplificazione

L'obbiettivo sarebbe calibrare le potenze del trasmettitore conformemente al range di sensibilità del rivelatore

Con dispositivi in dotazione è possibile allestire una rete senza grosso investimento

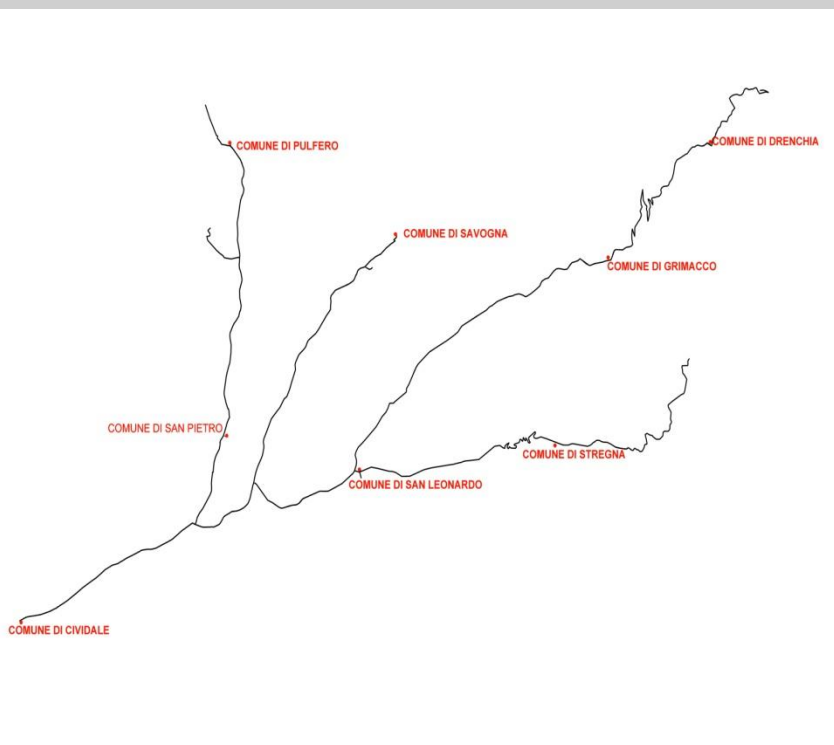
La soluzione studiata è riproducibile in tutta la rete viste le distanze in gioco

Progettazione ad Alto Livello

Caso di Studio

Lo sbraccio di Cividale

- Strutturare una configurazione di Rete per servire i comuni in zona montana
- Necessità di fornire banda larga, almeno 1 Gbps
 - Sfruttare tecnologia già presente
 - Risparmio massimo di fibra ottica
 - Implementazione di tecnologia CWDM
- Necessità di flusso dati + flusso segnalazione
- Struttura replicabile nelle altre zone montane
- Massimo risparmio economico ed alta scalabilità



Dispositivi a Disposizione

Udine

Router Cisco 7609

Chassis con disponibilità di 9
slot

Supporto Standard Ethernet :
10/100, Gigabit Ethernet e 10
Gigabit Ethernet

Cividale

Switch Ethernet Cisco
ME6524

24 ingressi Gigabit Ethernet
in downlinks

8 ingressi Gigabit Ethernet in
uplinks

Pop

Switch Cisco ME3750

24 ingressi in rame 10/100
Mbps Ethernet

2 ingressi Gigabit Ethernet

Due ottiche SFP CWDM 1 Gbit/s

- 1550 nm
- 1570 nm

Valutazione Tecnologie e Dispositivi CWDM

Analisi e studio delle tecnologie di rete e delle strutture di rete

Scelta del Vendor : MicroTLC

Vari apparati supportanti il CWDM e ampia possibilità di progettazione logica della rete

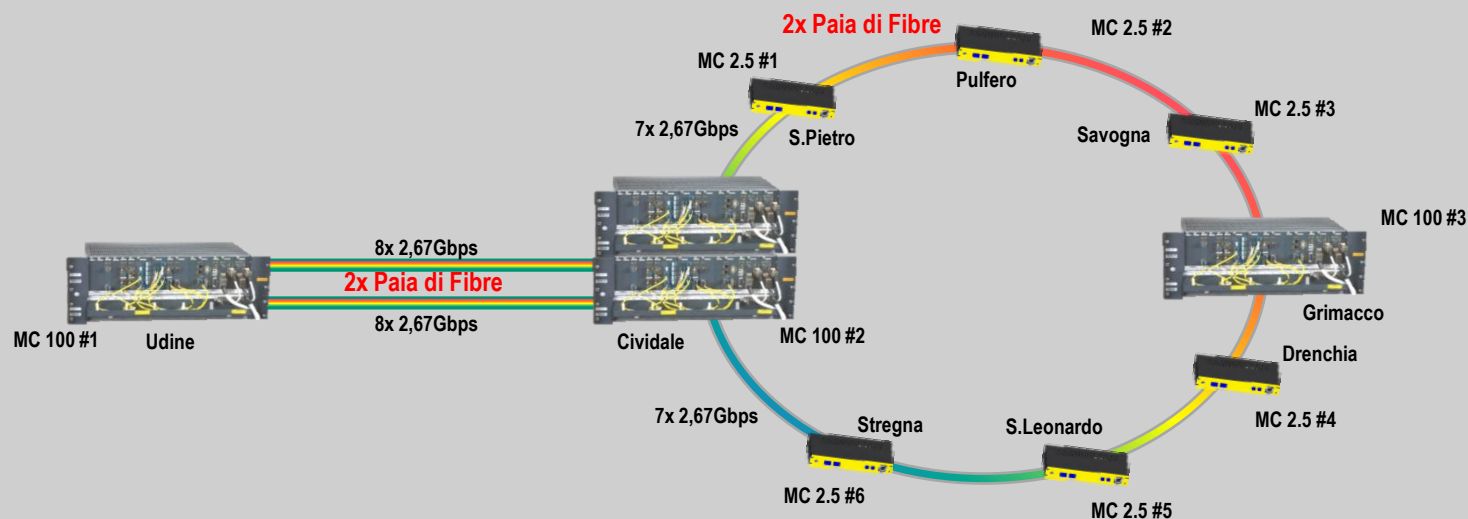
Tutte le soluzioni validate in termini di potenza via software **CityCT**®

Tre differenti soluzioni progettuali atte a

- Risparmio fibra ottica
- Predisposizione alla Scalabilità
- Risparmio in termini di lunghezze d'onda
- Utilizzo tecnologie a disposizione

Soluzione I

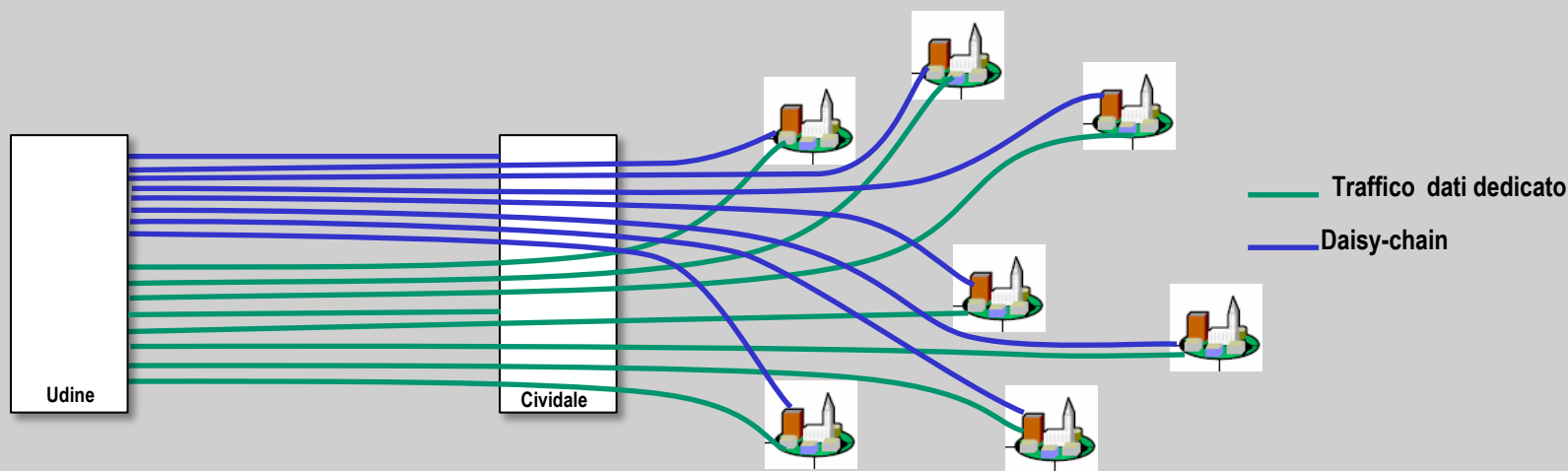
Configurazione



- Implementato Mini Ring per POP dello Sbraccio
- Portate 8 lambda con CWDM da Udine ai vari POP
 - 2 coppie di fibre impiegate in tutta la rete
 - Portati 2,6 Gbps CWDM per POP

Soluzione I

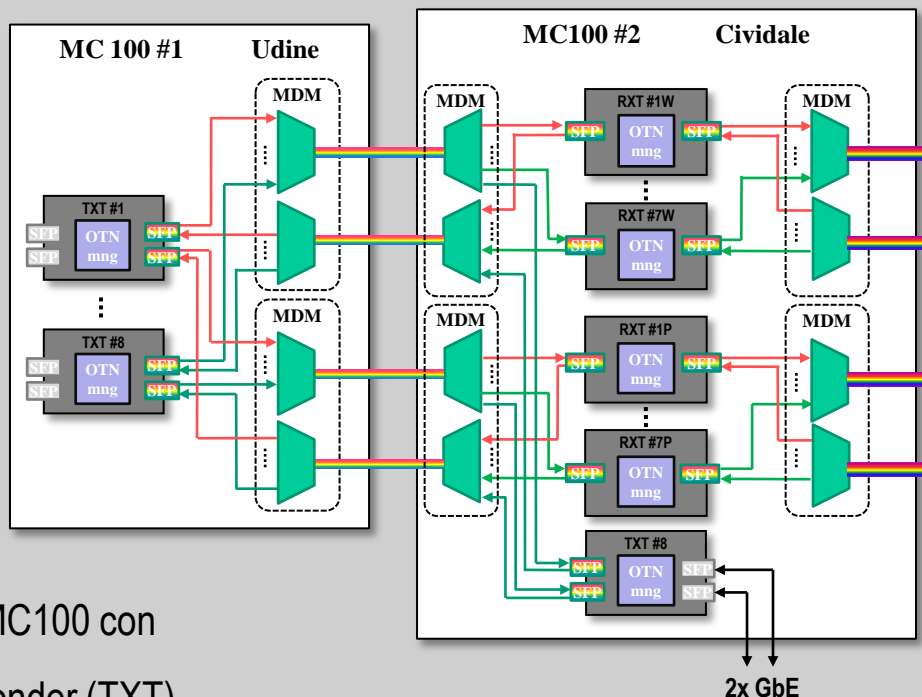
Configurazione Logica



- Traffico dati come punto – punto tra Centro Stella e POP
- Daisy Chain come punto – punto tra Centro Stella e POP
- Estrazione tramite filtro passivo delle lambda in ogni POP

Soluzione I

Link Udine - Cividale



A Udine MC100 con

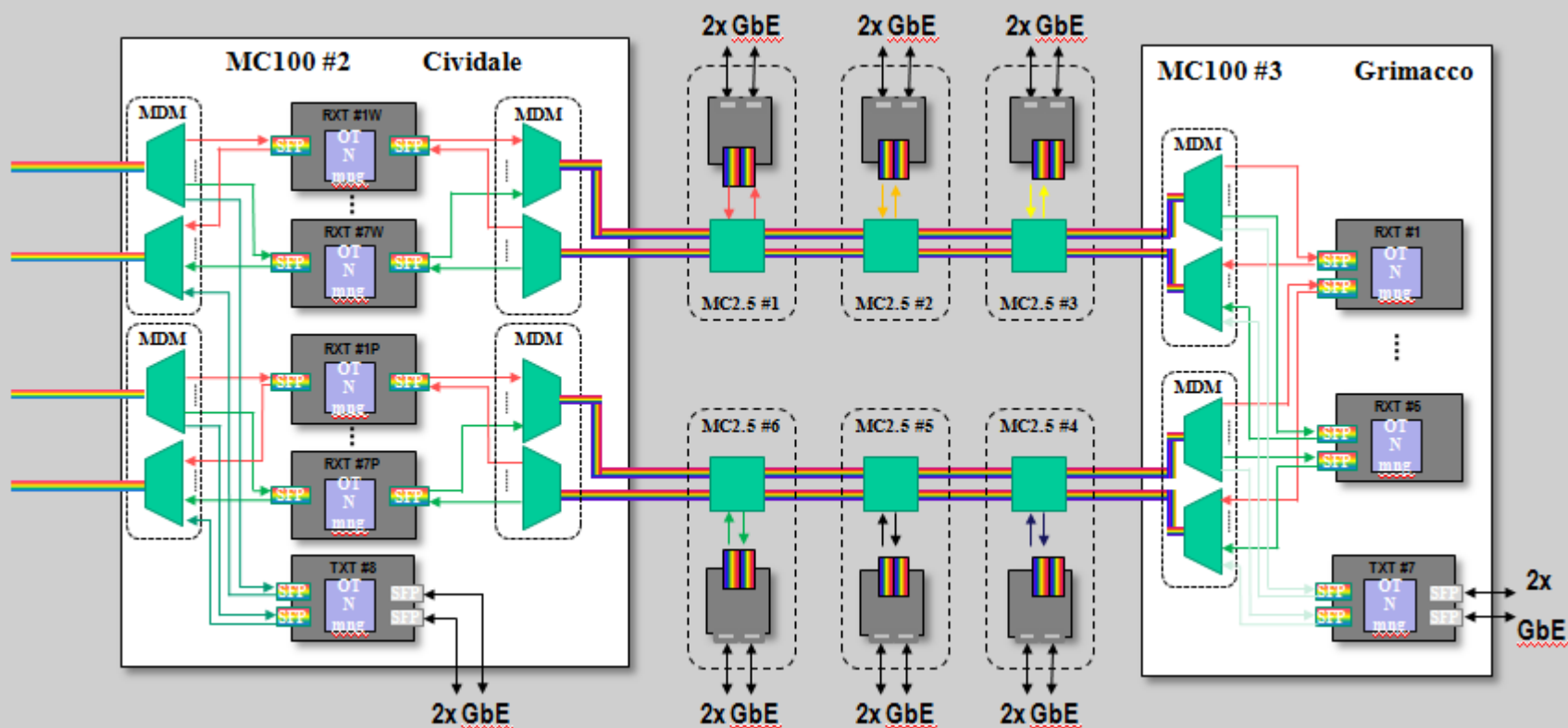
- 8 Transponder (TXT)
- Ogni TXT 2 SFP CWDM da 2,6 Gbps (andata + ritorno) + 2 SFP da 1 GE
- 2 Mux/DeMux (MDM)

A Cividale MC100 con

- 14 Rigeneratori (RXT) + 1 Transponder
- Ogni RXT/TXT ha SFP CWDM da 2,6 Gbps (andata + ritorno) + 2 SFP da 1 GE
- 4 Mux/DeMux

Soluzione I

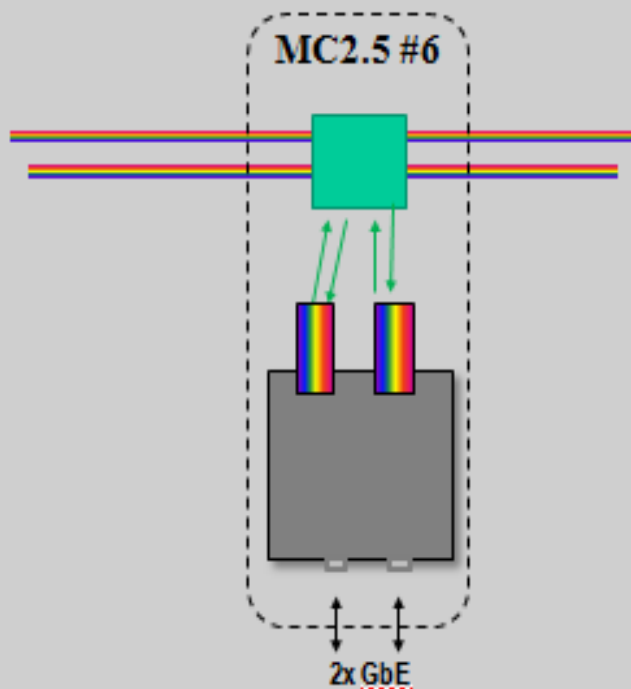
Link Cividale – POP Sbraccio



- Prevista rigenerazione a Cividale per alcuni POP
- Filtri passivi MC2.5 nei POP dello sbraccio
- Rigenerazione a Grimacco per 3 POP (andata/ritorno) causa fibra passante

Soluzione I

POP Sbraccio

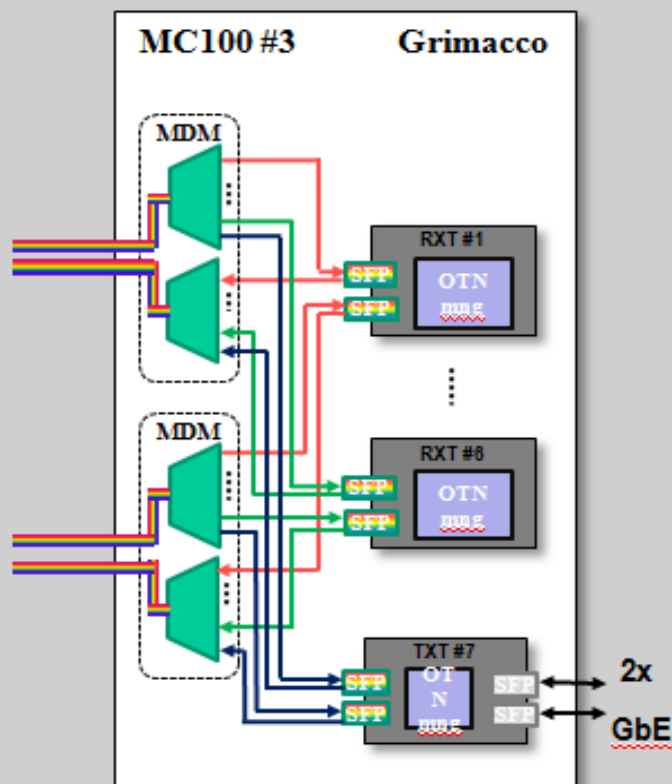


In ogni POP è presente nel MC2.5

- Filtro passivo per estrazione lambda
- 2 SFP CWDM della lambda assegnata al POP (working e protection)
- 2 SFP 1 GE interfacciate col client Cisco

Soluzione I

POP Grimacco

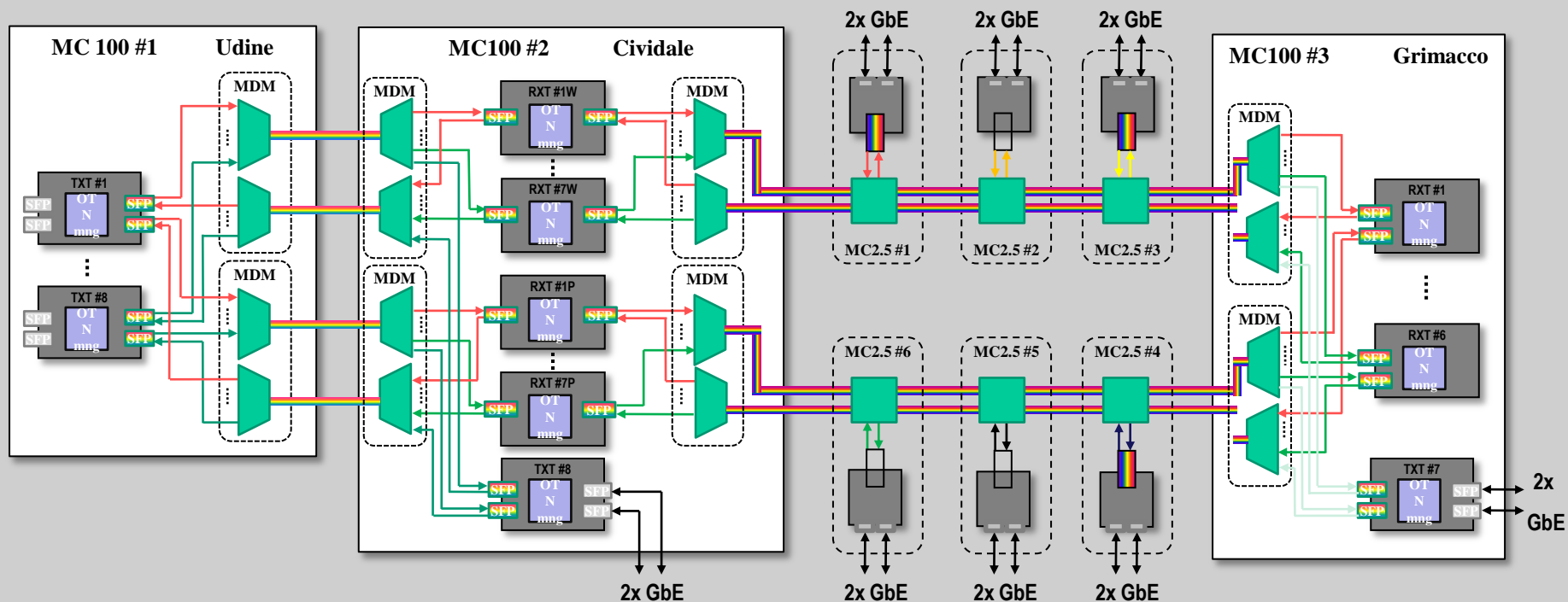


Nel POP di Grimacco è previsto stadio rigeneratore

- 3 rigeneratori previsti per POP su fibra d'andata
- 3 rigeneratori previsti per POP su fibra di ritorno
- 2 Mux/DeMux
- 12 SFP CWDM per lambda rigenerate
- 2 SFP CWDM della lambda assegnata al POP (andata/ritorno)
- 2 SFP 1 GE interfacciate col client Cisco

Soluzione I

Configurazione Completa



Utilizzo doppia coppia di fibre per tutta l'architettura

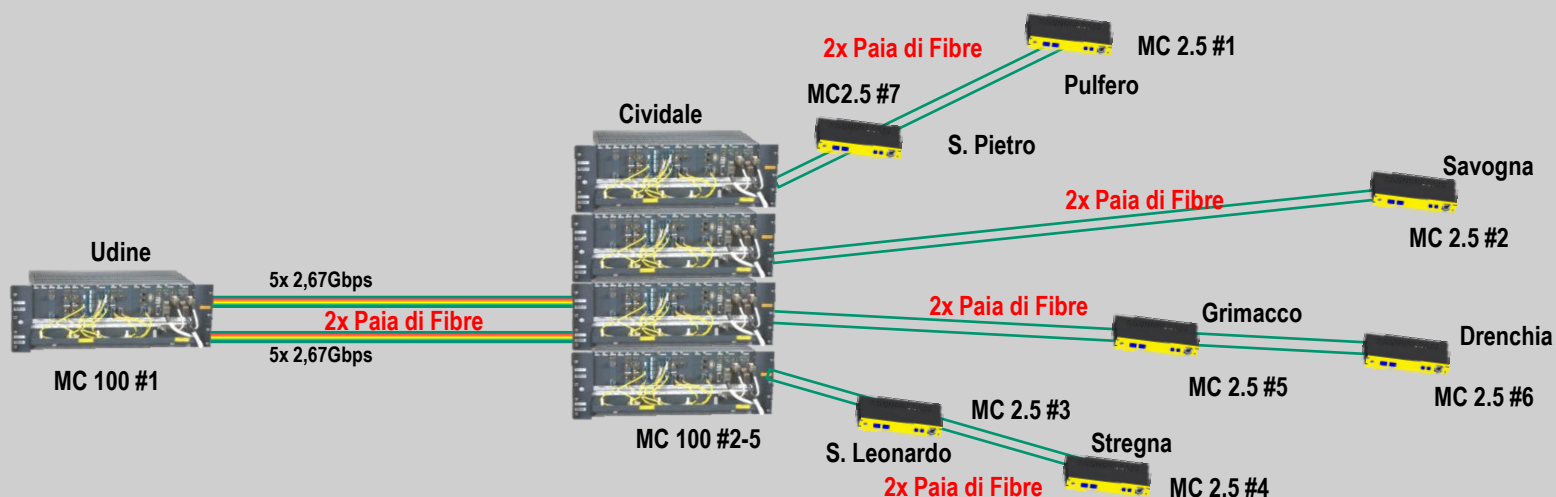
Utilizzo di 8 lambda CWDM

Utilizzo dei dispositivi già in possesso come client dei dispositivi CWDM

Necessità di numerosi apparati e dispositivi ottici

Soluzione II

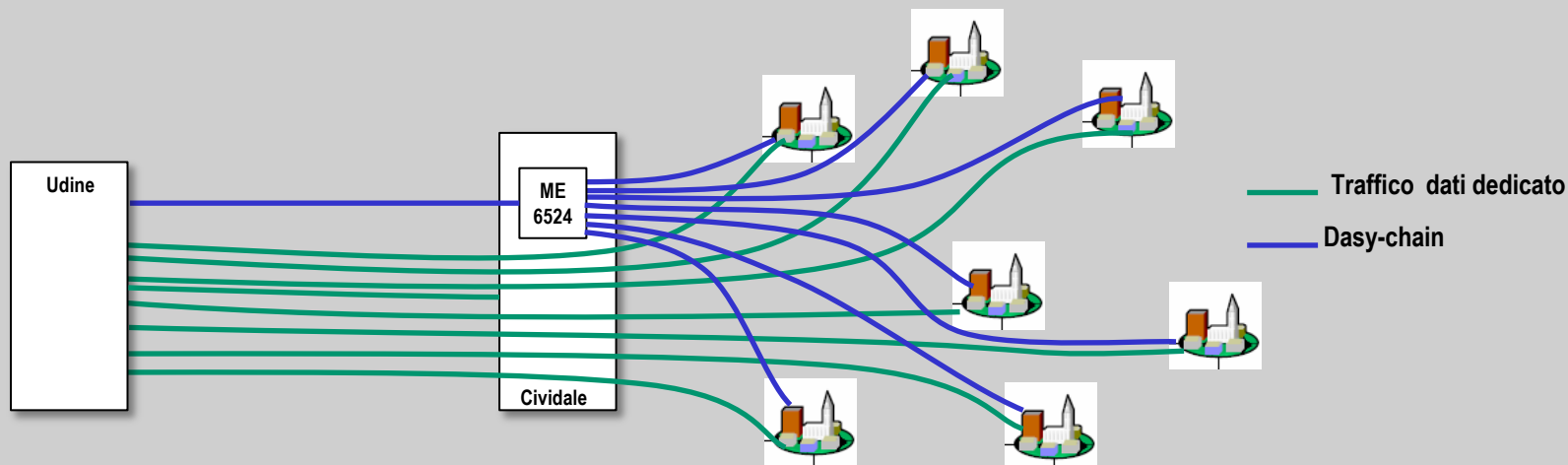
Configurazione



- Implementati rami uscenti da Cividale per POP dello sbraccio
 - Portate 5 lambda con CWDM da Udine a Cividale
- 2 coppie di fibre tra Udine e Cividale – 2 coppie di fibre per ogni vallata
 - Portati 2,6 Gbps CWDM per POP

Soluzione II

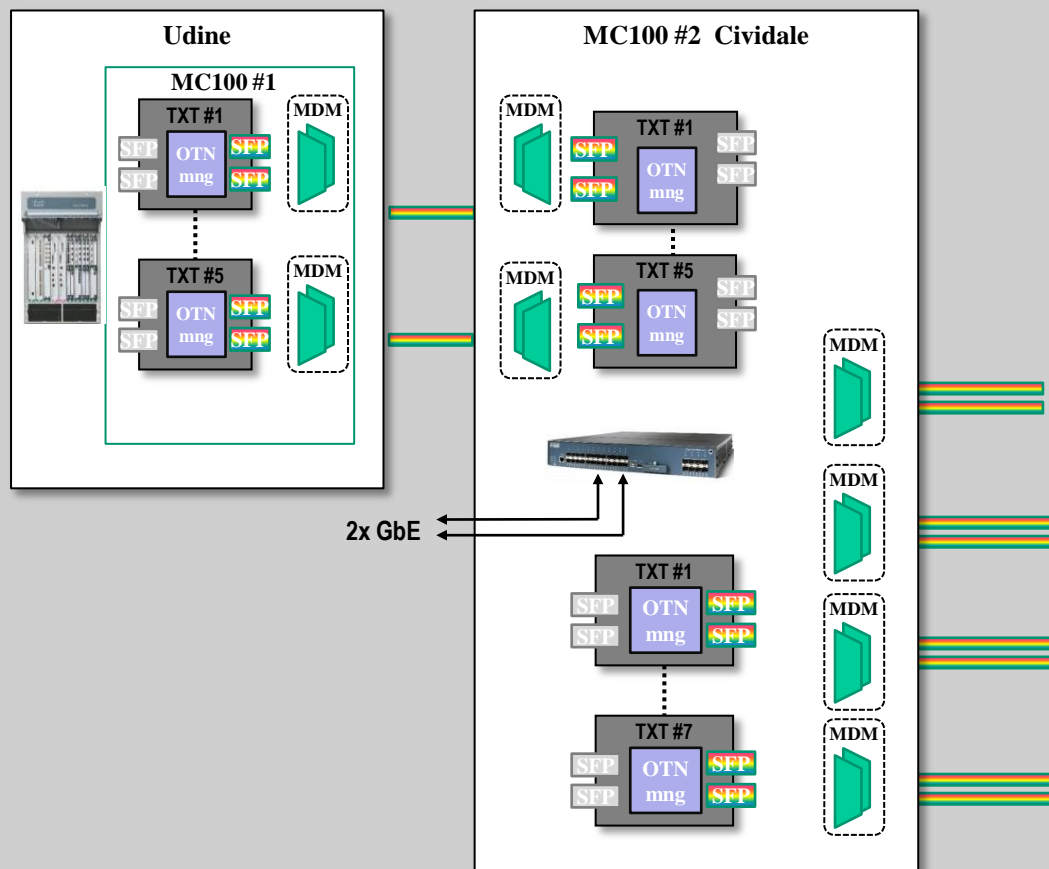
Configurazione Logica



- Traffico dati come punto – punto tra Centro Stella e POP
 - Daisy Chain aggregata a Cividale su Cisco ME6524
- Estrazione tramite filtro passivo delle lambda in ogni POP

Soluzione II

Link Udine - Cividale



A Udine MC100 con

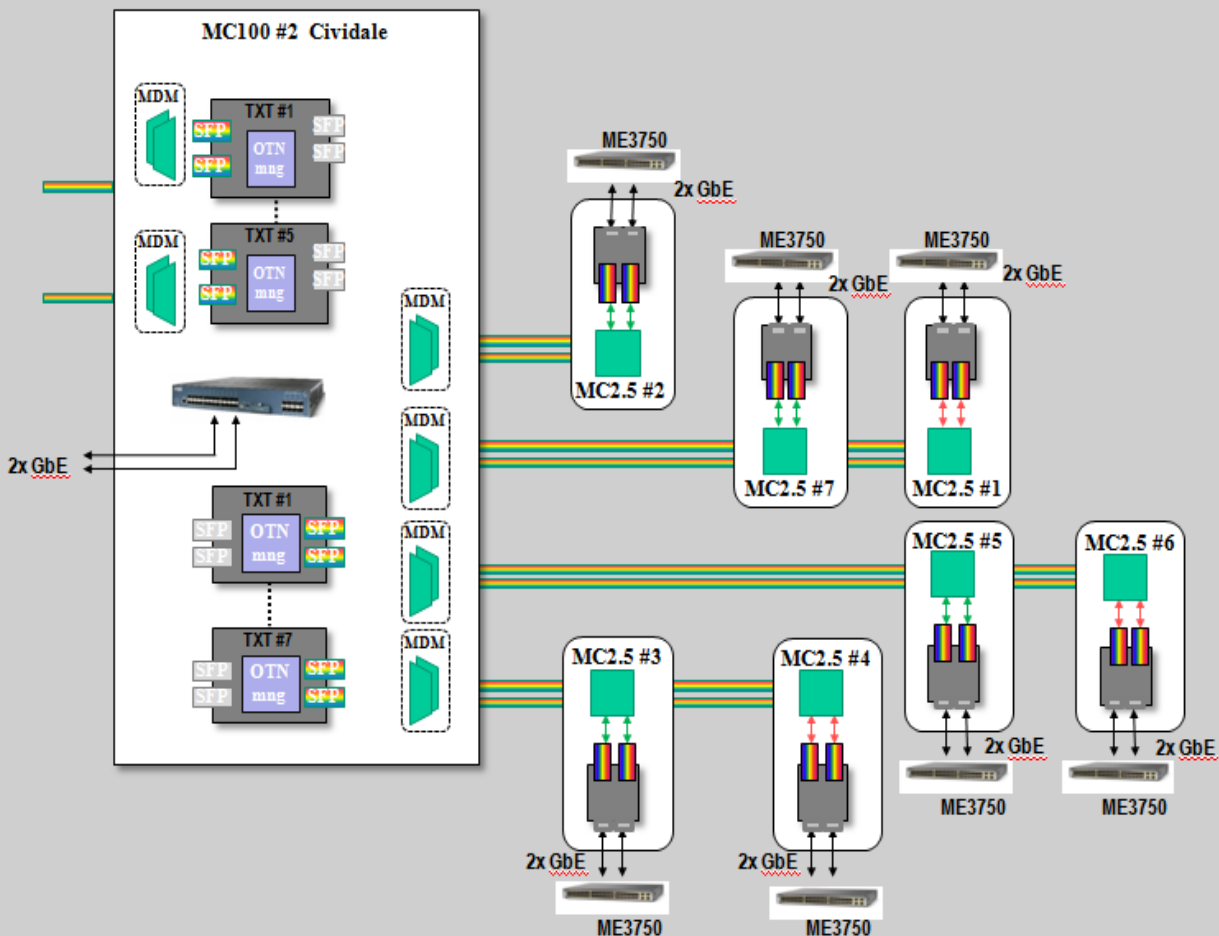
- 5 Transponder (TXT)
- Ogni TXT 2 SFP CWDM da 2,6 Gbps (andata + ritorno) + 2 SFP da 1 GE
- 2 Mux/DeMux (MDM)

A Cividale MC100 con

- 12 Transponder
- Ogni TXT dotato di 2 SFP CWDM da 2,6 Gbps (andata + ritorno) + 2 SFP da 1 GE
- 10 Mux/DeMux

Soluzione II

Link Cividale – POP Sbraccio



Nei POP delle vallate:

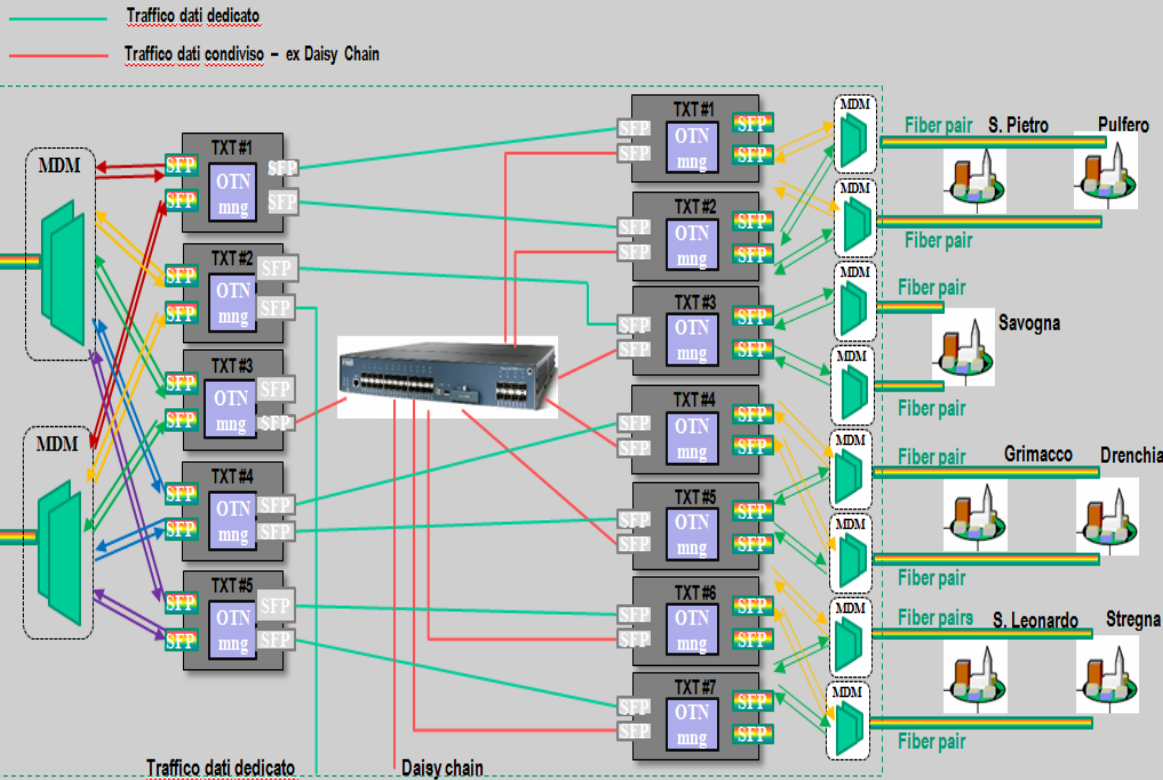
- Filtro passivo per estrazione lambda
- 2 SFP CWDM della lambda assegnata al POP (working e protection)
- 2 SFP 1 GE interfacciate col client Cisco

Novità introdotta :

Vengono separati in due flussi indipendenti i dati dalla segnalazione e i dati di informazione tramite le SFP 1 GE, a Cividale il flusso di segnalazione aggregato in un'unica lambda sfruttando ME6524

Soluzione II

Dettaglio POP Cividale



Nel Cisco ME6524 aggregati flussi segnalazione tramite SFP GE

In uscita verso Udine un unico flusso da 1 GE per dati segnalazione

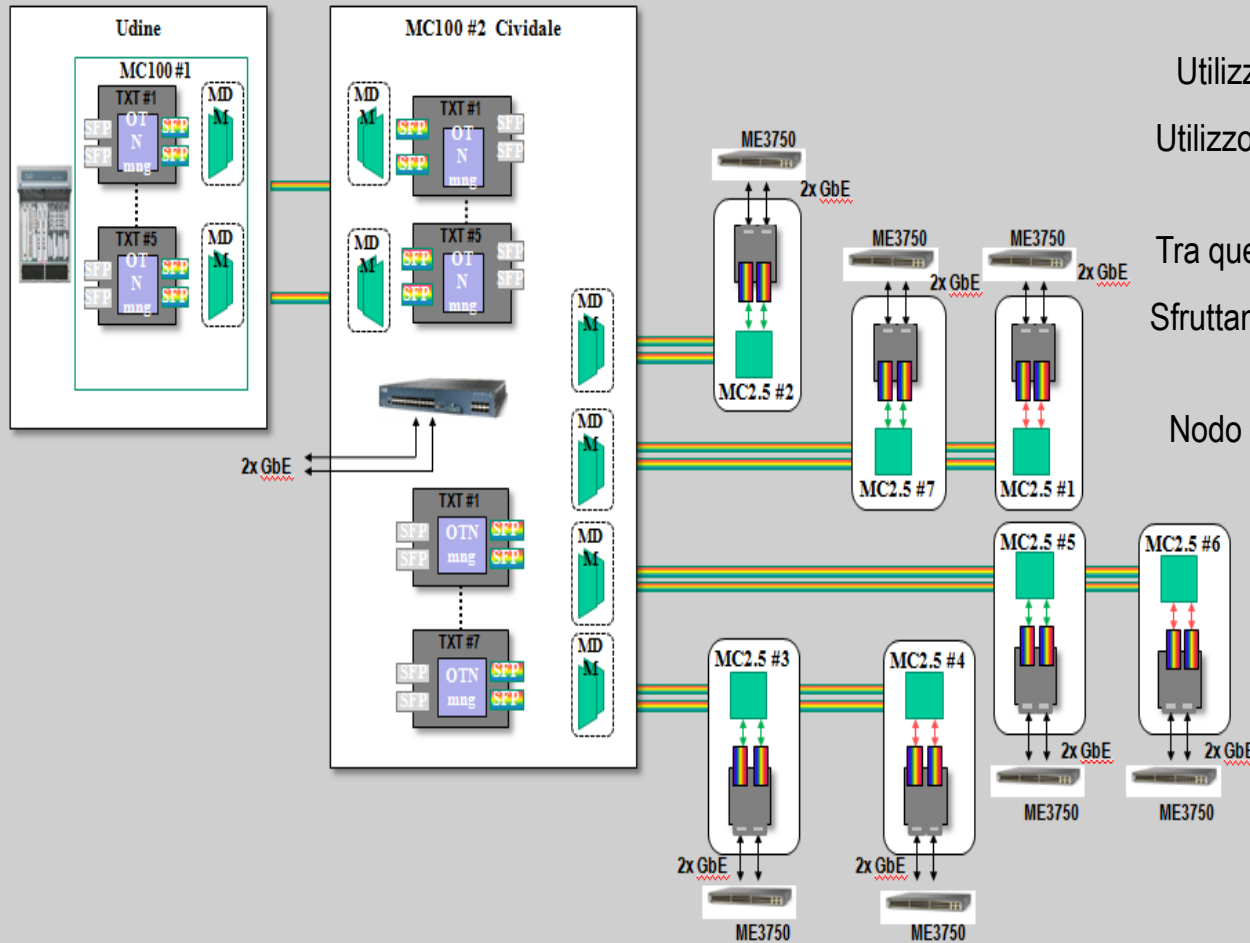
I flussi dati provenienti da sbraccio vengono aggregati da transponder su un'unica lambda

Tramite Mux vengono multiplexati in un'unica coppia di fibre

Una coppia di fibre dedicata per ramo di vallata, CWDM di due lambda

Soluzione II

Configurazione Completa



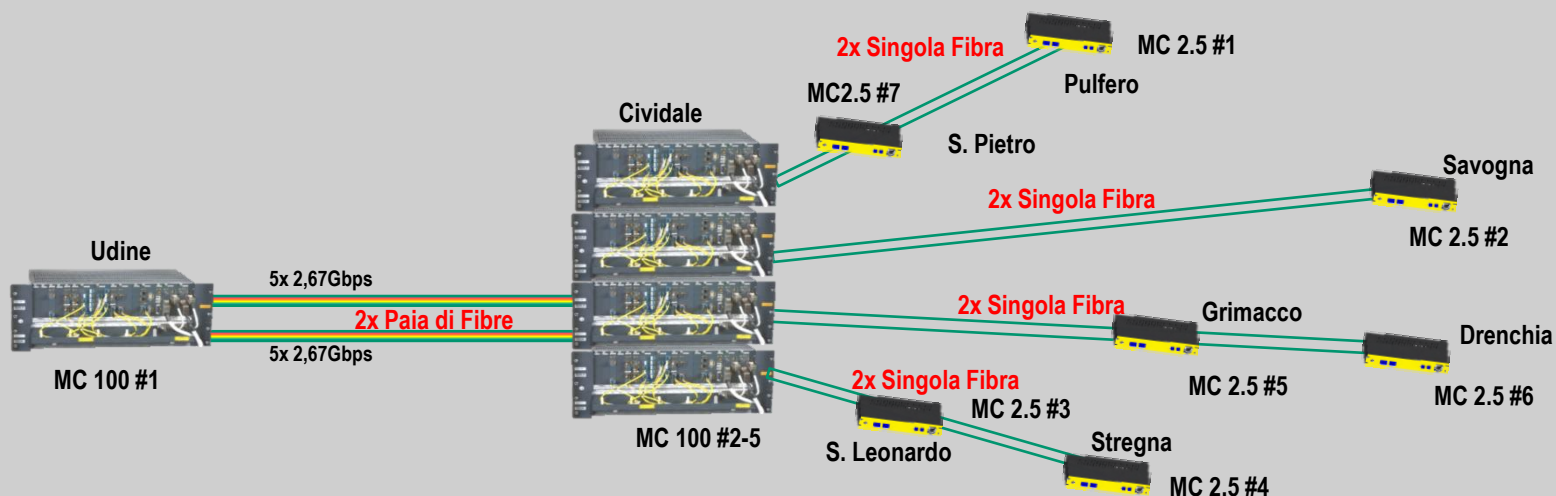
Utilizzo doppia coppia di fibre tra Udine e Cividale
Utilizzo di 5 lambda CWDM da 2,6 Gbps tra Udine e Cividale

Tra queste 1 GE di ex daisy chain + 1 GE inutilizzato
Sfruttamento dei dispositivi in possesso come client a dispositivi MicroTLC

Nodo di Cividale ME6524 sia come client sia come aggregatore flusso dati segnalazioe

Soluzione III

Configurazione

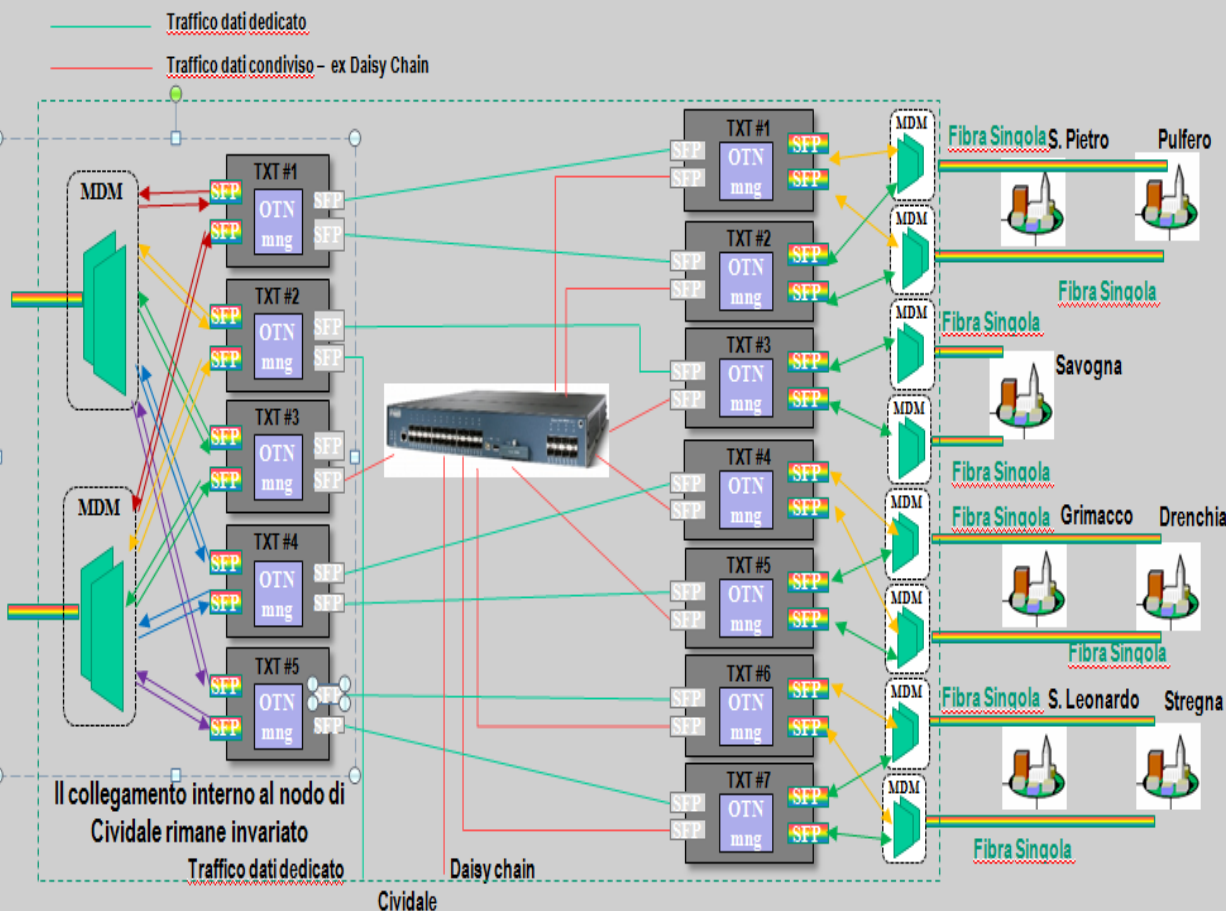


Identica a soluzione precedente

- Portate 5 lambda con CWDM da Udine a Cividale
 - 2 coppie di fibre tra Udine e Cividale
 - Portati 2,6 Gbps CWDM per POP
- NOVITA' : Utilizzo per trasmissione simultanea downlink e uplink su singola fibra

Soluzione III

Dettaglio POP Cividale



Nel Cisco ME6524 anche in questo caso aggregati flussi segnalazione tramite SFP GE

In uscita verso Udine un unico flusso da 1 GE per dati segnalazione

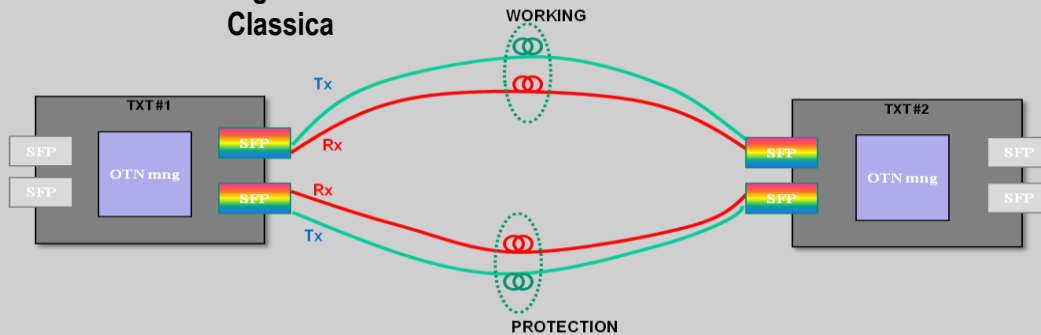
I flussi dati provenienti da sbraccio vengono aggregati da transponder su un'unica lambda

Tramite l'installazione su ogni SFP di un Power Optical Splitter è possibile l'utilizzo di una sola fibra per trasmissione e ricezione - dimezzamento delle fibre ottiche utilizzate

Soluzione III

Configurazione SFP + Power Splitter Ottico

Configurazione
Classica



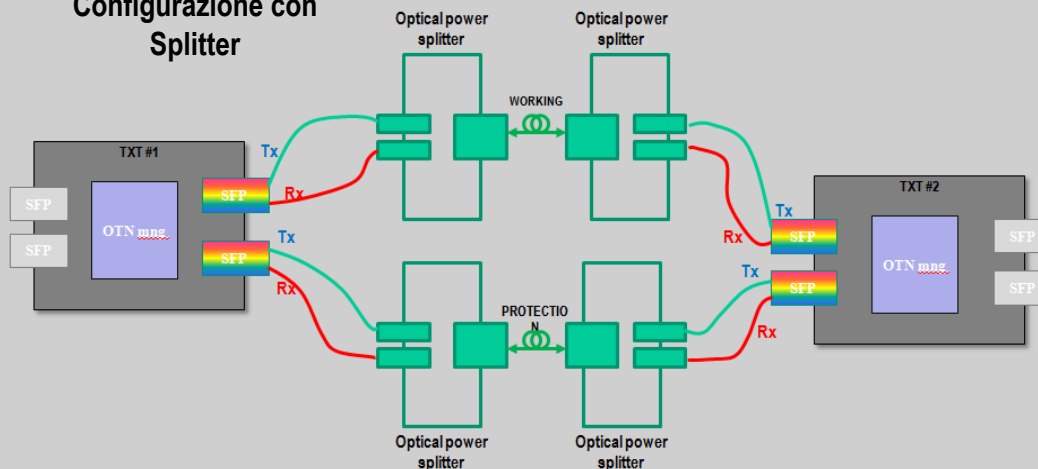
Power Optical Splitter è una tecnologia ancora in fase di evoluzione

Validata per distanze < 30 km

Permette dimezzamento della fibra ottica utilizzata

In fibra viene assegnata metà potenza di quella disponibile a segnale in downlink e metà segnale uplink

Configurazione con
Splitter



Conclusioni

Soluzione I

microcity 100	Prezzo Unitario	Quantità	Prezzo Totale
shelf completo protetto	4056	4	
transponder 2 GE protetto	1923	30	
terminatore ottico MC 2.5			
MC 2.5 2x GE protetto	2100	6	
OTTICHE			
Ottiche CWDM	1000	72	
Ottiche 1 GE	500	32	
			174514

Massima spesa economica

Massimo numero di dispositivi ed apparati

Massimo risparmio di fibre ma doppia ringenerazione

Soluzione II

microcity 100	Prezzo Unitario	Quantità	Prezzo Totale
shelf completo protetto	4056	5	
transponder 2 GE protetto	1923	17	
terminatore ottico MC 2.5			
MC 2.5 2x GE protetto	2100	7	
OTTICHE			
Ottiche CWDM	1000	48	
Ottiche GigaBit Ethernet	500	58	
			144671

Minima spesa economica

Ottimizzazione utilizzo lambda

Architettura organizzata per sbracci

Ulteriore protezione con separazione rami

Soluzione III

microcity 100	Prezzo Unitario	Quantità	Prezzo Totale
shelf completo protetto	4056	5	
transponder 2 GE protetto	1923	10	
transponder 2 GE protetto singola fibra	2421	7	
terminatore ottico MC 2.5			
MC 2.5 2x GE protetto	2550	7	
OTTICHE			
Ottiche CWDM	1000	48	
Ottiche GigaBit Ethernet	500	58	
			151307

Spesa economica contenuta

Ottimizzazione utilizzo lambda

Architettura organizzata per sbracci

Risparmio di fibre sbraccio ottimizzato

Sviluppi Futuri

Per tutte le soluzioni:

Possibilità di aumentare capacità con semplice sostituzione SFP CWDM

Possibilità passaggio futuro a DWDM

Possibilità di concessione a terzi fibra in zone montane

Modellizzazione replicabile su altre zone della rete

Per Soluzione I nel nodo di Grimacco già pronta a future espansioni in maniera massiva

**Vi ringrazio
per l'attenzione**

Bibliografia

- **P.Agrawal Govind – Fiber Optic Communication Systems 4th Edition, The Institute of Optics University of Rochester, Rochester NY**
- **D.Licursi, F.Longhi – ProgrammaERMES : Progetto di Alto Livello della Rete Logica, Documento Tecnico INSIEL s.p.a., Ottobre 2009**
- **G.Farrell – Introduction to System Planning and Power Budgeting, Dublin Institute of Technology, School of Electronics and Communication Engineering**
- **H.P.Hsu – Single Wavelength Bidirectional Optical Fiber Communication Link, United States Patent, Patent Number : 5317440, Date of Patent : May 31, 1994**
- **R.Gaudino, P.Poggiolini – Sistemi in Fibra Ottica, Politecnico di Torino, Dipartimento di Elettronica**
- **Knowledge Factory Lab – Wavelength Division Multiplexing, Documentazione Tecnica, 2010**