http://www.darkmoon.it

Videogiochi, hardware, software.

Questo documento, prodotto da Orsetto, è distribuito da www.darkmoon.it su concessione dell'autore

Cenni su Reti di Telecomunicazioni DWDM

Ció che racconteró di seguito sono cenni generici che spaziano delle nozioni di base delle reti di TLC, alla tecnologia di trasmissione DWDM[1], passando attraverso la trasmissione TDM[2]. Cercheró di spiegare pregi e difetti, come se ci trovassimo al bar, senza scomodare formuloni di fisica o le equazioni di Maxwell che governano il mondo delle TLC: anche perché sono cosí arrugginito sulla teoria pura che darei saggio delle mie lacune sparse e ben distribuite!

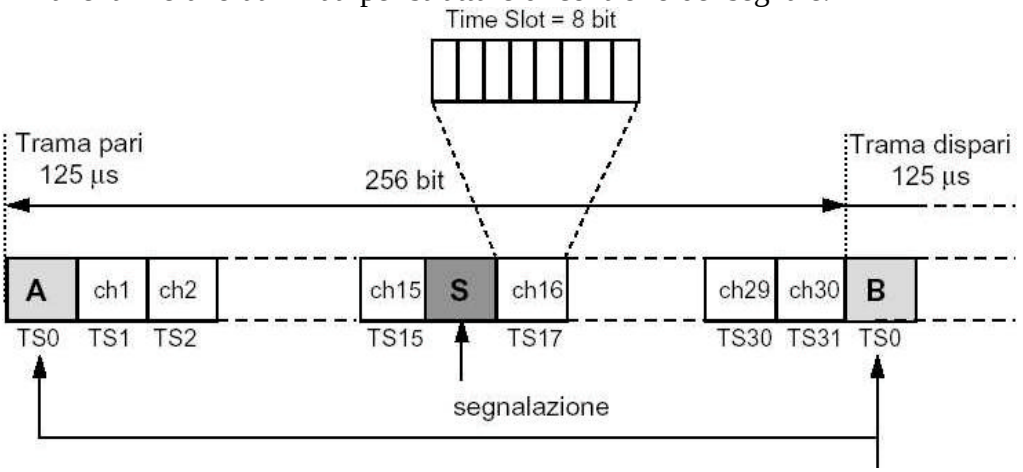
Per chi si avventura a leggere, quindi, vorrei puntualizzare che cercheró di essere il meno tecnico possibile, perché mi piacerebbe che chiunque sia in grado capire come si possano scambiare grandi quantitá di dati in formato digitale e per fare ció purtroppo dovró omettere alcuni particolari oppure utilizzare paragoni magari non troppo consoni: quindi se avete giá delle nozioni di base, probabilmente riuscirete a cogliere alcuni tratti che vorrei definire "licenze poetiche"…

Spero di riuscire nel compromesso di non dare troppe cose per scontate e di non scendere troppo in dettagli che sarebbero utili solo agli "addetti ai lavori".

Forse non esagero se affermo che il "tam-tam" della giungla é un primo e rudimentale sistema di comunicazione, insieme ai segnali di fumo dei Pellerossa, ma se iniziassi da questi due sistemi, ci impiegherei un po' troppo tempo, quindi facciamo un bel balzo avanti, verso il finire degli anni '80, quando la crescita delle utenze telefoniche, dei fax, dei primi telefoni radiomobili e delle reti di computer private geograficamente distribuite (e anche altre necessitá) iniziarono e far capire che le infrastrutture e le tecnologie dell'epoca, stavano invecchiando con una velocitá preoccupante e bisognava introdurre qualcosa di nuovo.

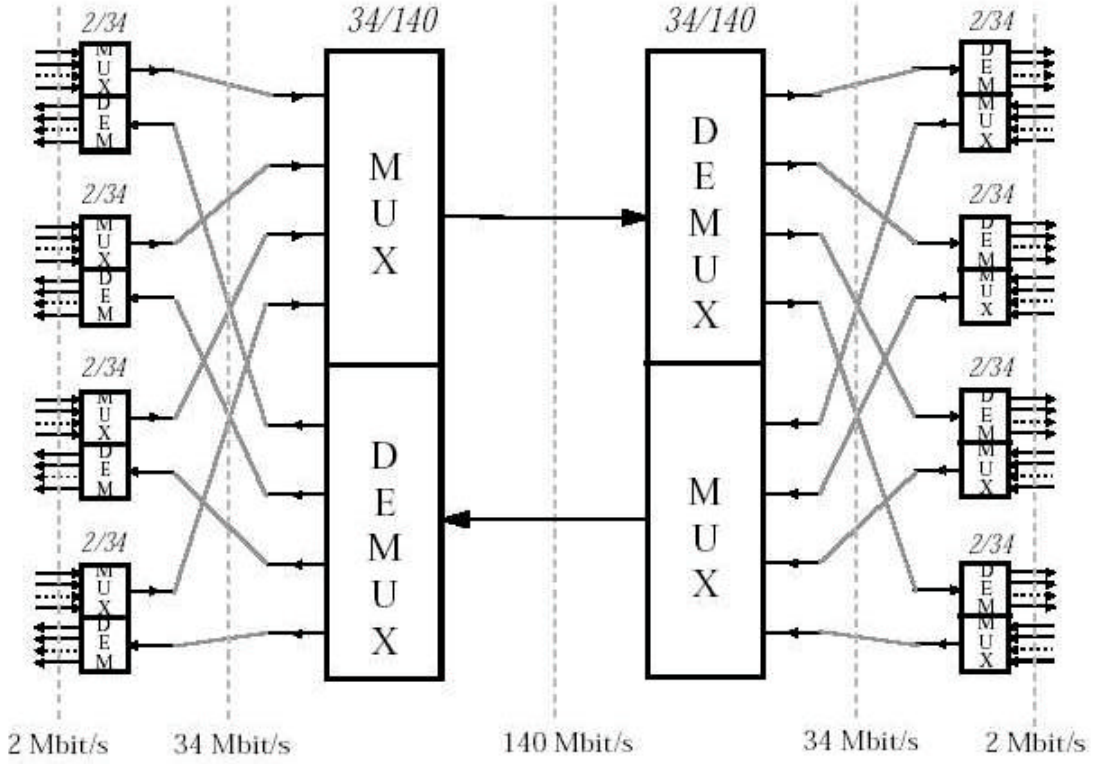
All'epoca non era molto utilizzata la fibra ottica come mezzo, perché molto costosa e poco conosciuta, mentre erano molto utilizzate le connessioni su cavi di rame.

Il protocollo di comunicazione utilizzato era il PDH[3] che consente di gestire flussi fino a 140Mb/s composti da flussi a 34Mb/s che a loro volta sono generati da streams a 2Mb/s.
I segnali PDH sono, quindi, basati sulle famose connessioni a 2Mb/s che potevano ospitare teoricamente 32 canali ma in realtá genericamente soltanto 30 ospitavano dei segnali a 64Kb/s perché i rimanenti 2 erano utilizzati per strutture di controllo del segnale.



Quando alle reti PDH, che fino a quel momento erano il massimo stato dell'arte, venne richiesto di trasportare una quantitá di informazioni ben superiore a quella prevista al momento della loro definizione, manifestarono alcune gravi limitazioni:

- rigiditá della struttura del segnale e costi troppo elevati per le reti TLC:
ogni volta che si creava l'esigenza di estrarre un flusso tributario di primo livello a 2Mb/s da segnale tributario di terzo livello a 140Mb/s, occorreva demultiplexare prima in tutti i rispettivi segnali 34Mb/s di secondo livello poi quelli di primo livello, prelevare il segnale 2Mb/s di interesse e poi multipexare nuovamente ad un livello alla volta nei livelli superiori.
- capacitá di gestione della rete assai limitate perché nella trama PDH non erano previsti canali spare di servizio.
- bassissima interoprebilita' tra gli apparati di produttori diversi, perché ognuno stava iniziando a sviluppare tecnologie proprietarie per abbattere le limitazioni ormai conclamate.



Come dicevo sul finire degli anni '80, precisamente nel Novembre 1988, vennero approvate le prime specifiche dell'SDH[4]: un nuovo standard internazionale pensato per le reti di telecomunicazioni ottiche ad alta capacitá.
Chi vuole farsi un po' di cultura tecnica potrá trovare materiale in internet sapendo che esse furono approvate dall'ITU-T e vennero catalogate con i nomi G.707, G.708 e G.709: per gli addetti del settore le famose "**G**"!

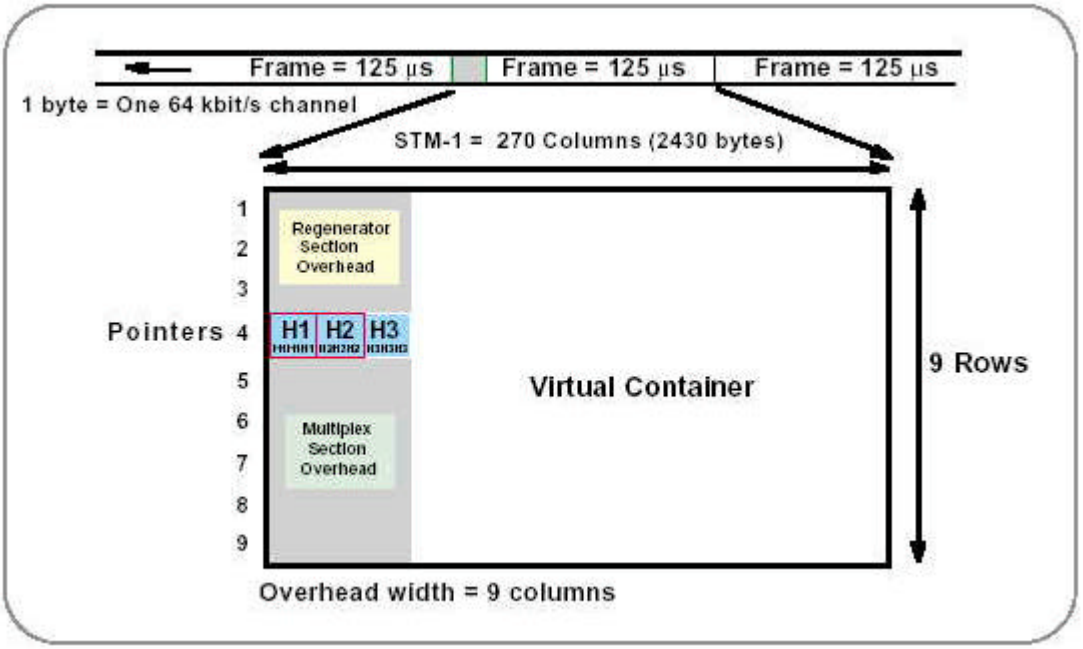
Questi standars definivano i rates di trasmissione, il formato del segnale, le strutture di multiplazione e le modalitá di mappaggio dei segnali tributari cioé i segnali PDH oppure i nuovi ATM nonche' Gigabit Ethernet e Fibre Channel[5].

Lo standard SDH, forte delle esigenze di gestione remotizzata sugli apparati presenti in campo, in modo da limitare al massimo gli interventi umani a meno di problemi di natura Hw, consente di avere un certa banda dedicata, per ospitare delle solide strutture di controllo.

In breve con SDH si riuscí a semplificare le tecniche di multiplazione e demultiplazione estraendo ed inserendo i tributari di velocitá piú bassa senza demultiplare/multiplare l'intera trama e si estese la capacitá di gestione e manutenzione della rete: si gettarono le basi per crescere in modo modulare tenendo sotto controlli i costi diretti delle infrastrutture.

Ma proviamo a brevemente a capire come funziona l'SDH senza dettagliare troppo perché altrimenti occorre veramente molto tempo.

Il segnale SDH é un flusso seriale di byte sempre sincrono rispetto a tutti i nodi (apparati) presenti in rete e l'unitá base di trasmissione é l'STM-1[6]: una matrice di bytes (frame) composta da 9 righe e 270 colonne.



Proviamo a fare qualche calcolo per sapere di quali velocitá stiamo parlando.
Sapendo che la velocitá di trasmissione base di un segnale STM1 e' 8.000 frames al secondo (1 ogni 125 micro secondi) e che una frame (alias matrice completa) e' composta da 9*270 bytes, cioé 19.440 bits, otteniamo 155.520.000 bits/s cioé 155,52Mb/s.

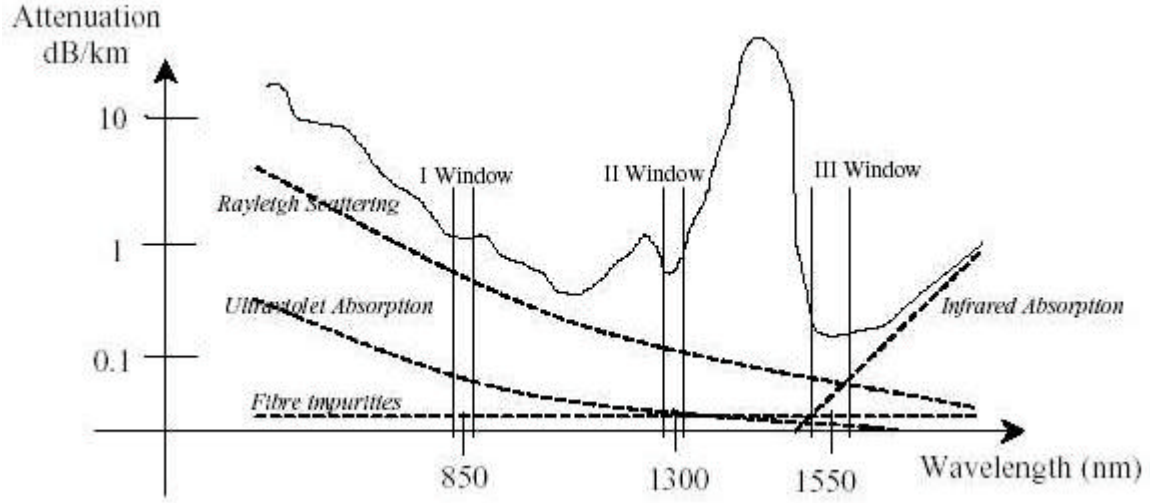
Le prime 9 colonne della matrice base sono la sezione di OverHead contenente le famose informazioni di servizio, che volutamente non dettaglio, mentre le rimanenti 261 sono definite il Virtual Container (VC) progettato per trasportare i segnali tributari intatti all'interno di una rete SDH.

Il modulo base STM1 cresce verso l'alto con un fattore 4 quindi abbiamo STM4 (622,08Gb/s), STM16 (2488,32Gb/s), STM64 (9953,28Gb/s) ed oggi siamo arrivati all'STM256 (39813,12Gb/s) praticamente 40Gb/s!

I segnali SDH, come a suo tempo furono i PDH, sono TDM, quindi la crescitá della capacitá trasmissiva é strettamente legata alla velocitá di trasmissione quindi alla qualitá dei materiali ed alla tecnologia disponibile, e mi spiego meglio.
E' intuitivo capire che nel 1988 si gettarono la basi fino per arrivare agli attuali 40Gb/s, ed oltre nel futuro, ma soltanto l'evoluzione della tecnologia ha permesso di salire progressivamente nei rates.
All'inizio degli anni '90 i trasmettitori laser, ed i corrispettivi ricevitori, non erano all'altezza degli attuali, infatti essi lavoravano con una lunghezza d'onda nell'intorno degli 850nm, zona

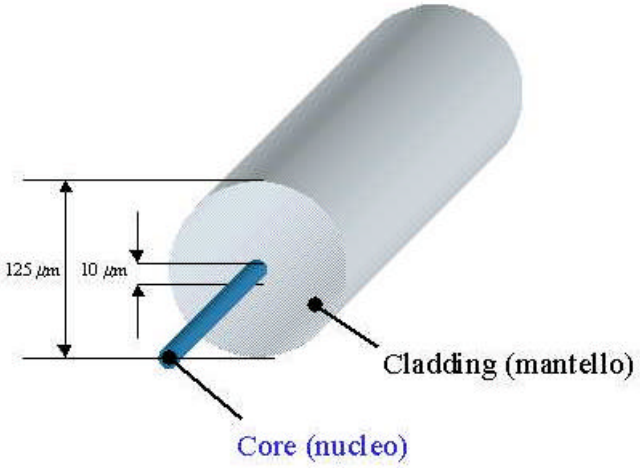
chiamata prima finestra, poi migliorarono e si posizionarono nella seconda finestra a 1.310nm con frequenze di lavoro piu' elevate, fino ad arrivare all'attuale terza finestra con 1.550nm.

L'utilizzo di laser in terza finestra fu anche una necessitá trasmissiva, perché si scoprí che in quella porzione di spettro, la fibra ottica ha un valore di attenuazione al chilometro molto basso, cioé oppone il minor resistenza al passaggio della luce al suo interno.



In generale in tutti i settori, fino a quando la tecnologia non permette di salire oltre, perché ci vogliono ulteriori studi dei materiali oppure affinamenti produttivi, bisona pensare di sfruttare al meglio ció di cui si dispone. Nelle TLC si pensó di provare la strada della divisione della lunghezza d'onda del segnale piuttosto che cercare di incrementare a velocitá del singolo segnale.
Per fare un esempio molto attuale, basta pensare a ció che accade con i processori dei PC, anche se a dire il vero nei servers enterprise la scalata al multiprocessor é presente ormai da decine di anni: non avendo piú grandi margini per salire in frequenza, i produttori stanno pensando il modo per fare operare in parallelo piu' processori a basso costo.

Passiamo ora a spendere due parole sulla fibra ottica: quando si parla di fibra ottica possiamo immaginare di avere a che fare con un "tubo", anche se questa analogia é molto riduttiva .



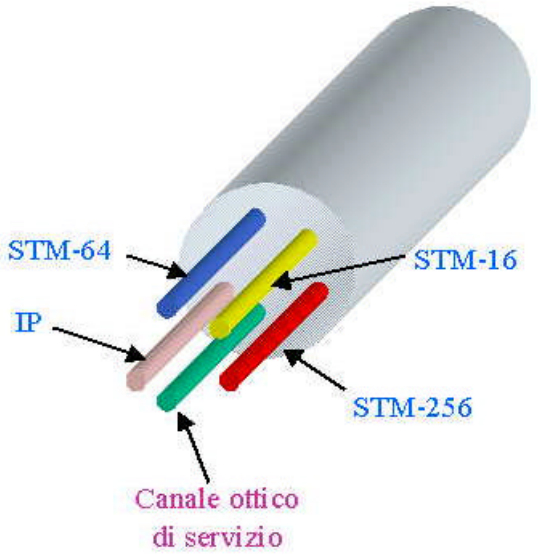
Un tubo in generale viene utilizzato per convogliare qualche fluido, e ne esistono di vari tipi a seconda proprio di ció che si deve trasferire: plastico o metallico, resistente alle alte o basse temperature, a sezione tonda oppure ovale, di diametro piccolo o grande e cosí via.

Parlando di capactá trasmissiva, al momento si puó tranquillamente affermare che non é ancora stata esattamente determinata quale sia la massima capacitá di banda trasmissiva delle fibre ottiche, anche se continuando a sfruttarla si sono visti e studiati fenomeni e limitazioni fisiche poi superate. Immaginiamo, quindi, che il tubo che andremo ad utilizzare non ha una dimensione massima fissa, ma é "elasticizzato" quindi riusciamo a far entrare tutto ció che si vuole.

La fibra ottica é un sottile e fragile filamento vetroso di pochissimi micron di diametro chiamato nucleo (core) armato di un mantello (cladding) che oltre a preservarlo dall'invecchiamento e da rotture accidentali serve a guidare il segnale luminoso all'interno del nucleo, analogamente ai tubi, a seconda di come é stato realizzato e la caratteristiche finali, puó avere moltissimi nomi G.652, G.653, G.655 o G.655 Leaf e cosí via.
Per adesso, peró, basta sapere che la fibra ottica é il mezzo di trasporto, per i dettagli esiste come per il resto del mondo DWDM, una mole di informazioni che non possono essere riportate in modo semplice, come ho accennato prima, ci sono regole fisiche ed anni di studi e ricerca non ancora terminati su questi materiali che sono ancora in divenire.

La fibra ottica puó essere multi-mode oppure single-mode, esse differiscono principalmente per la dimensione del nucleo vetroso all'interno: al momento quando citeró la parola fibra, daró per scontato che sia single-mode, cioé la piú utilizzata e performante.

Siccome pensando alla fibra ottica, siamo portati a credere che essa abbia un capacitá di banda trasmissiva pressoché infinita, risultó facile pensare ad un sistema che fosse in grado di trasmettere su una unica fibra piú canali di differenti lunghezza d'onda, oppurtunamente spaziate in modo che non si disturbino reciprocamente, per poi filtrare ed estrarre dalla fibra la sola frequenza di interesse.
Immaginate di inserire una fascio di piccole cannuccie all'interno di un solo tubo che, essendo elastico, ci permette di inserirne a nostro piacimento.



Se facciamo mente locale le trasmissioni nell'etere funzionano allo stesso modo: le radio o le televisioni trasmettono dei segnali elettromagnetici nell'ambiente che poi tramite la nostra televisione o walkman andiamo ad estrarre e convertire in segnale audio, video o entrambi.

Ogni volta che si cercó di incrementare l'uso della banda trasmissiva messa a disposizione dalla fibra (aggiungendo una cannuccia), si sono incontrati fenomeni fisici fino a quel

momento sconosciuti o sottovalutati che divennero i fattori limitanti di scelte successive o adirittura soluzioni a problemi trovati in passato e rimasti irrisolti.
Tanto per elencare alcuni dei fenomeni di cui soffre la fibra ottica, per dovere di cronaca senza spiegere di cosa si tratta, posso citare la dispersione modale, la dispesrione cromatica, gli effetti non lineari sulla propagazione del segnale, la dispersione di polarizzazione o il rumore introdotto dagli amplificatori di segnale.

Per solleticare la curiositá, invece, posso anticipare che, nelle reti TLC in tecnologia DWDM, sono attualmente giá presenti dei sistemi che trasportano fino a 1.28Tb/s, e sono prossimi a prendere la scena degli apparati in grado di arrivare fino ad un massimo di 6.4Tb/s, si avete letto bene l'unitá di misura non c'é stato alcun errore ho scritto "Terabit al secondo".

Vediamo, in linea generale, come funziona un sistema DWDM: si puó pensare che il cuore sia un cristallo che se colpito da una serie sorgenti luminose (emettitori laser dei vari canali con frequenze differenti) é in grado di concentrarli in un unico punto, immaginate di giocare con una lente sotto il sole che se messa opportunamente a fuoco concentra in un solo piccolissimo punto la luce che riceve.
Bene, il piccolo punto dove vengono concentrati tutti i canali in ingresso, é il centro della fibra (il nostro tubo), adesso dobbiamo capire come si puó portare a spasso la luce raccolta.

Se torniamo all'analogia tra le fibre ottiche ed un tubo, allora possiamo immaginare che la luce concentrata (l'energia emessa dai laser e raccolta dalla lente) sia un flusso d'aria all'interno del tubo, e per fare viaggiare l'aria convogliata basti un semplice ventolone opportunamente posizionato e dimensionato.
Ogni ventolone all'interno del tubo, consente di dare una maggiore spinta all'aria in movimento, fino al successivo ventolone e da lí al successivo ancora e cosí via.

La ventole sono gli amplificatori ottici, e da questo paragone si possono evincere i pregi ed i difetti che vengono introdotti a fronte di un incremento di potenza trasmessa.
Gli amplificatori, come le ventole, aumentano la portata di aria ma possono introdurre dei distrurbi come l'amplificazione del rumore di fondo e disturbi nella propagazione, se cercano di dare troppa potenza al segnale in ingresso. Immaginate la distorsione del suono prodotto se aumentate il volume di ascolto di un brano musicale ed il supporto di partenza o qualche componente non é in grado di reggere l'incremento di potenza.

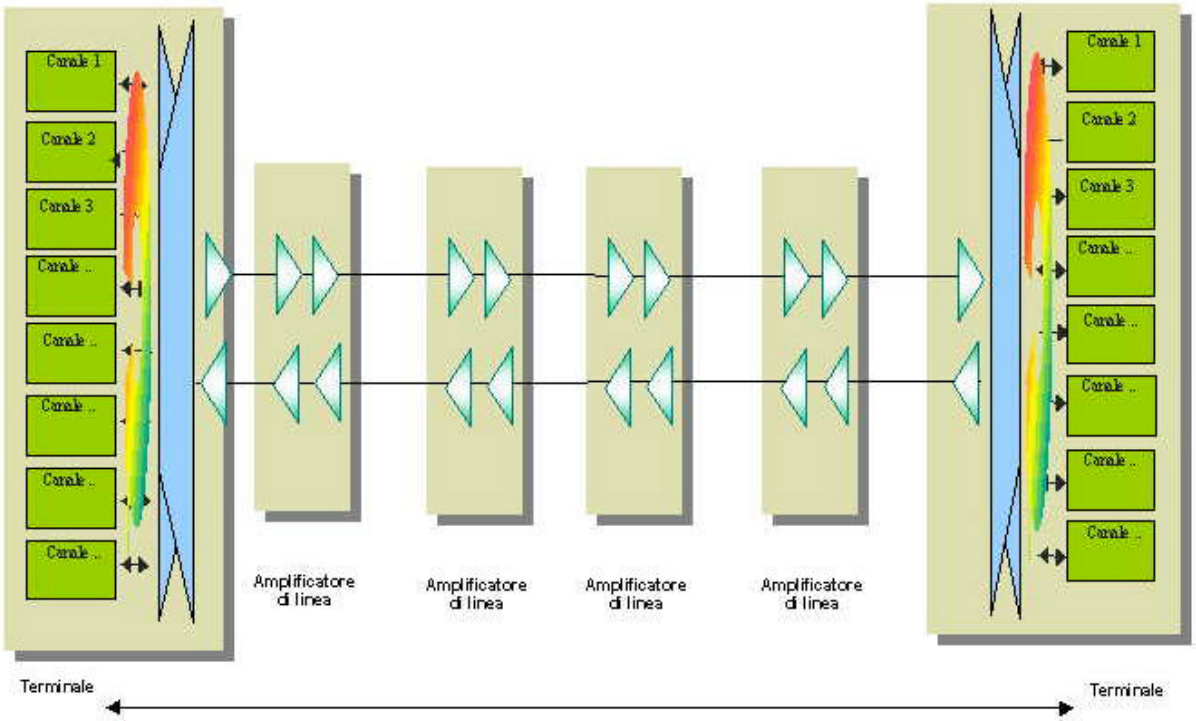
Spesso gli amplificatori per incrementare la potenza, limitando l'introduzione di disturbi, necessitano di lavorare in coppia dove il primo ha funzione di preamplificazione ed é chiamato "primo stadio" e il secondo amplificatore incrementa la potenza del segnale ed é chiamato "secondo stadio", tra i due stadi solitamente si inserisce un modulo che corregge il ritardo del segnale dovuto alla dispersione cromatica chiamato DCF[7].
Tornando all'utilizzo delle ventole, con un esempio pratico, immaginiamo che per diminuire l'effetto turbolenza generato da una ventola, ne utilizzassimo due controrotanti con una sezione di tubo piú piccola tra le due ventole in modo che si crei una maggiore pressione ed una maggiore velocitá per ovviare ad eventuali ed indesiderate "rotazioni" del flusso di aria all'interno del tubo.

L'aria cosí convogliata non puó essere trasportata all'infinito, prima o poi occorre suddividere nuovamente i flussi prima che siano stati introdotti troppi disturbi (… ed i nostri bei download da casa caschino tutti inesorabilmente perché si sono persi in una tratta DWDM), cosí i

segnali ottici necessitano di una rigenerazione elettrica prima di essere nuovamente inseriti e trasportati in un sistema DWDM.

Al termine della corsa, i flussi ottici convogliati all'interno della fibra andranno a colpire un prisma gemello a quello che eseguí il mux, e magicamente verranno estratti tutti i segnali introdotti, come i colori ed i riflessi che vengono emessi da un brillante quando colpito dai raggi del sole.

Se uniamo tutte le informazioni fino a qui raccontate dovremmo riuscire anche a iniziare a capire il diagramma funzionale di un Link DWDM riporato di seguito:



La letteratura afferma che i segnali ottici in terza finestra riescono a coprire al massimo quattro distanze tipiche a seconda delle quattro configurazioni tipiche utilizzate, ed io mi allineo per evitare di dover affrontare e chiarire le eventuali eccezioni:

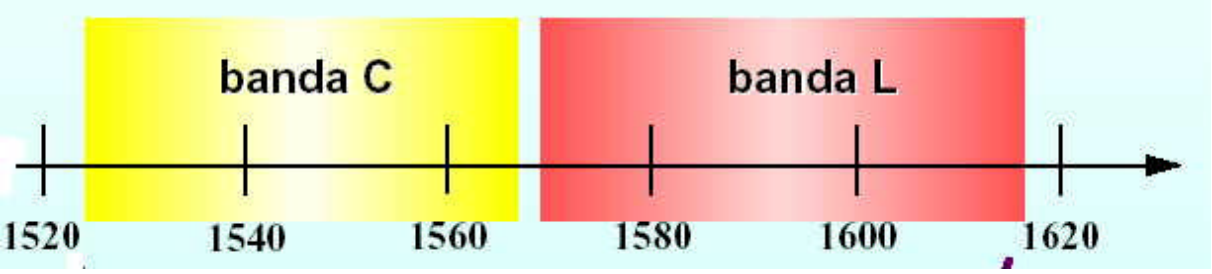
- configurazione Metro: pochi Km:
  utilizzata in ambito urbano o sub-urbano, ha costi di realizzazione bassi.
- configurazione Long Haul: circa 600/800 Km:
  utilizzata per realizzare dorsali in ambito regionale/nazionale, i costi di realizzazione medio-bassi.
- configurazione Extra Long Haul: fino a 1.500/1.600 Km:
  utilizzata per link nazionali/internazionali, i costi iniziano a essere medio-alti.
- configurazione Ultra Long Haul: fino a 4.000/5.000 Km:
  utilizzata per backbone di carattere internazionale/continentale, i costi di realizzazione sono elevati.

É bene ricordare che la massima distanza coperta é il massimo stato della tecnologia, ma non é il meglio che si puó instalare, perché ognuna delle configurazioni sopra citate, ha una ragione di esistere ed un ben preciso campo di applicazione, e costi di realizzazione che da una tipologia verso la precedente puó oltrepassano il semplice raddoppio.
Come al solito i costi devono fare ponderare molto bene a quale disegno di rete affidarsi.

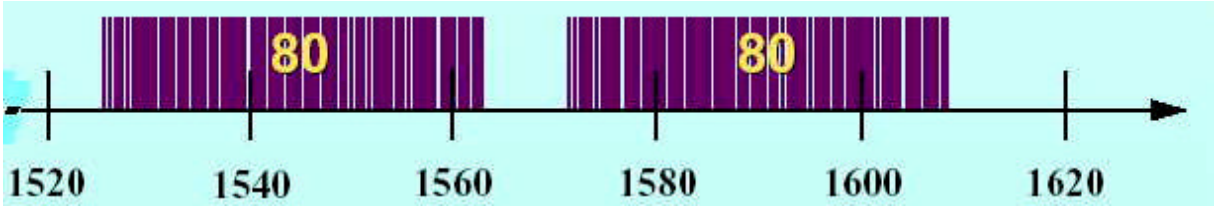
Da notare che non é possibile migrare da una tipologia ad un'altra in modo non distruttivo, senza essere prima smantellata, quindi con la totale perdita dell'entuale traffico "vivo" trasportato.

Ed ora parliamo dei famosi canali e qui dovró essere un po' piú tecnico perché sará necessario introdurre normative internazionali, numeri e non solo, per spiegare cosa sono.

Secondo normative internazionali (ITU-T G.692), sono disponibili 160 canali, spaziati tra loro di 50GHz, divisi tra C-Band[8] e L-Band disponibili per l'utilizzo nei link DWDM.



Quindi nello spettro ottico troveremo canali con frequenze da 196,00THz/1.529,55nm a 186,95THz/1.603,601nm piú un canale di supervisione (il famoso segnale di servizio) posizionato a 198,50THz/1.510,00nm al di fuori dalla banda di amplificazione.



I canali sono introdotti nello spettro ottico prelevando un qualsiasi tipo di segnale ottico a qualsiasi rate e con qualsiasi lunghezza d'onda, da unitá particolari che definiró per semplicitá "transponder".
I transponders sono delle unitá che hanno due interfacce ottiche: una sul lato esterno (lato cliente) ed una sul lato interno dello spettro ottico (lato linea). Essi prelevano un segnale ottico sul lato cliente sul quale viene aggiunta una porzione di overhead, come accadeva nei segnali SDH, e lo riportano sul lato linea con una ben determinata frequenza prevista dalla tabella G.692.
Ovviamente dal lato linea al lato cliente eseguono il processo inverso.

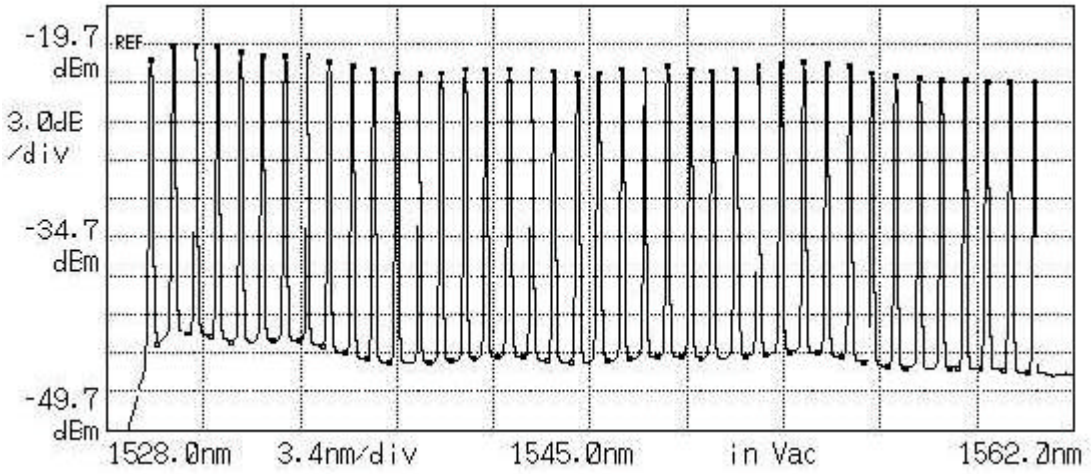
Essi sono totalmente trasparenti al segnale in ingresso e non apportano alcuna modifica, immaginate che siano dei salumieri che tagliano un salame, lo imbustino e lo spediscano dall'altra parte del mondo dovo un loro omologo apre le buste e magicamente ricompone i salami cosí com'erano prima di essere stati affettati.

La carta nella quale vengono avvolte le fette di salame, é l'overhead di trasporto: anche la carta é coperta da uno standad ITU-T chiamato G.709.
Oltre alla possibilitá di avere un maggiore controllo e gestione del segnale come nell'SDH, esso aggiunge una funzionalitá molto particolare chiamata FEC[9].
Il FEC sono una serie di bytes che tramite un algoritmo ben preciso, permettono di fare recover di alcuni bits ricevuti con errore: in pratica é come se su una vettura venisse caricata

un tanica aggiuntiva di carburante per avere maggiore autonomia e coprire distanze superiori a quelle previste inizialmente in fase progettuale.
L'algoritmo di FEC é in grado di correggere totalmente tassi di errore fino a 10e-5 (un bit ogni 100.000 trasmessi), in caso di errori distribuiti e non a burst.

Letto in numero assoluto questo risultato sembra una barzelletta ma non é cosí perché non bisogna mai farsi ingannare dai numeri: un tasso di errore di 10e-5 é un risultato eccellente se paragonato ai rates trasportati che abbiamo in gioco nell'ordine dei 10Gb/s.
Tanto per aggiungere un'informazione ulteriore, i sistemi DWDM per essere omologati ed accettati dai carrer, non devono introdurre tassi di errore superiori a 10e-12 ai segnali in essi trasportati (1 bit ogni 1.000 miliardi di bits trasportati!)

Per essere meno astratto possibile, di seguito inserisco una figura ricavata da una schermata catturata da un OSA[10], praticamente un analizzatore di spettro ottico che lavora come una scanner e rileva tutti i segnali presenti all'interno della fibra (le cannuccie all'interno del tubo).



Ogni "guglia" rapppresenta un canale ed é il segnale utile, mentre il "panettone" sul quale appoggiano tutte le guglie é il rumore di fondo introdotto dagli amplificatori.

Possiamo quindi notare che l'OSA ha trovato 40 canali in C-Band, spaziati tra loro di 100GHz: un sistema a 40 canali dove non é presente il canale supervisore (dovrebbe trovarsi appena alla sinistra a 1.510nm), quindi non é una configurazione reale, ma solo uno studio.

Da notare che tutti i canali hanno la potenza massima allineata su un valore comune, questo é indispensabile, perché se cosí non fosse, ad ogni amplificazione, i canali con potenza marcatamente superiore agli altri, assorbirebbero una quantitá di energia maggiore rispetto agli altri canali.
Nella situazione limite precedente, al termine del link DWDM, si correrebbe il rischio di perdere tutto ció che si trasporta, perché i canali con potenza piú elevata arriverebbero distorti mentre gli altri "annegherebbero" nel rumore di fondo perché non avrebbero piú un rapporto segnale/rumore sufficiente per essere identificati (l'altezza della guglia é cosí bassa che non piú possibile identificare il segnale).

Cercando un paragone con la vita reale, immaginiamo di trovarci in una sala d'aspetto affollata in compagnia di un gruppetto di amici e se si vuole portare avanti una discussione accorre mantenere un tono ed un volume omogeneo.
I canali che raccolgono troppa potenza, sarebbero come degli interlocutori che parlano cosí forte da farci percepire solo un fastidioso rumore ad un volume esagerato, mentre i canali che si perdono nel rumore di fondo, sarebbero una persona che parla ad un volume troppo basso ed il brusio di fondo della sala copre la sua voce.

L'allineamento delle potenze dei segnali presenti nello spettro ottico (in fibra) é fondamentale in un sistema DWDM e di norma é gestito in modo automatico, e viene chiamato equalizzazione.
L'equalizzazione automatica puó non essere presente nei sistemi a basso costo come Metro oppure Long Haul, peró é sempre eseguita al momento della messa in opera e periodicamente come verifica del processo di invecchiamento della fibra.

Arrivato qui mi fermo, non potrei continuare oltre senza fare ricorso ad infromazioni cosí particolare e tecniche che potrebbero essere scamabiate solo dagli addetti ai lavori.

Fino ad ora ho raccontato di sistemi molto potenti ma anche in generale piuttosto complessi e costosi, ma quali benefici puó introdurre un sistema DWDM in una rete TLC?

Beh, sembrerá strano, visto che un link composto da questi "oggettini", come ho giá anticipato, é costoso e puó arrivare fino a qualche milione di Euro, ma principalmente per costi:

- primo tra tutti un operatore o carrier non deve spendere ulteriori soldi nella posa di ulteriori fibre, che ha un costo al chilometro elevatissimo, basta smantelare delle vecchie connessioni tra apparati con rate inferiori e riutilizzarli;
- pochi operatori hanno un reale bisogno di tutta la banda trasmissiva messa a disposizione dai link DWDM, cosí facendo si mettono al riparo da eventuali ed improvvise esigenze di ulteriore banda a basso costo parché l'infrastruttura é giá presente;
- ammettendo di avere sufficienti fibre stese, sempre in termini di costi, sarebbe un investimento titanico creare una dorsale utilizzando apparati a corta distanza, proprio per il numero di nodi che bisognerebbe installare, quindi maggior numero di siti di rigenrazione lungo le strade da mantenere con energia elettrica, vigilanza e manutenzione generica.
- infine in caso di ridisegno topologico per la distribuzione dei segnali sul territorio, i tributari (transponders) non sono correlati ai segnali in ingresso, quindi si evita di dover sostituire l'hardware nel caso di aggiornamenti di rete.

---

[1] **DWDM** : Dense Wavelengh Division Multiplexing
[2] **TDM** : Time Division Multiplexing
[3] **PDH** : Plesiochronous Division Multiplexing
[4] **SDH** : Synchronous Digital Hirerarcly
[5] **ATM, Gigabit Ethernet e Fibre Channel** : segnali dati
[6] **STM** : Synchronous Transmission Module
[7] **DCF** :Dispertion Compensation Fibre
[8] **C-Band** e **L-Band** : porzioni di spettro ottico che coprono rispettivamente le frequenze da 192,05THz/1.560,01nm a 196,00THz/1.529,55nm e da 186,95THz/1.603,601nm a 190,90THz/1.570,416nm.
[9] **FEC** : Forward Error Correction
[10] **OSA** : optical spectrum analiser