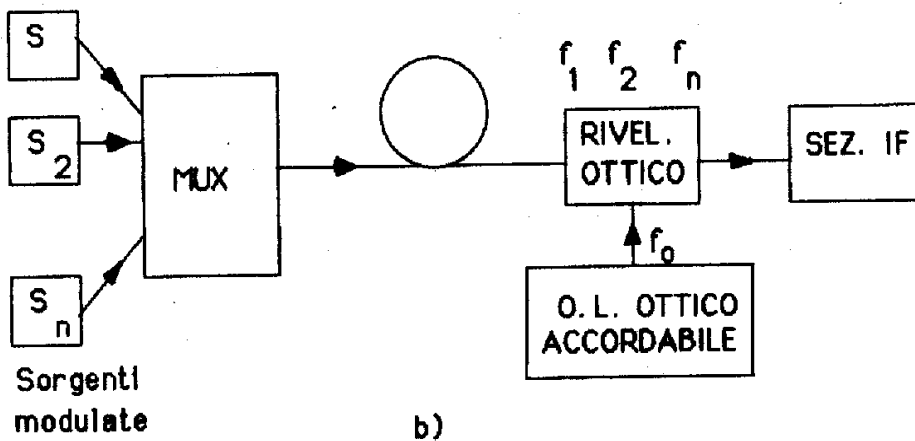
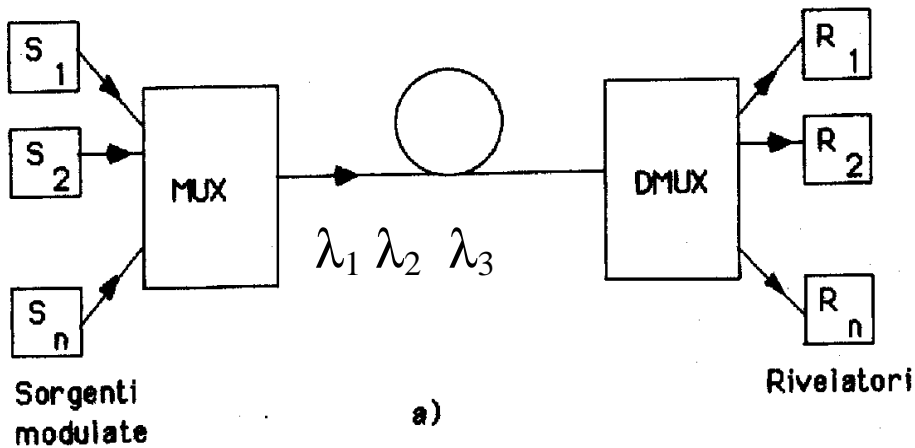


SISTEMI A MULTIPLAZIONE DI LUNGHEZZA D'ONDA  
WDM (Waveguide Division Multiplexing) E DI FREQUENZA  
FDM (Frequency Division Multiplexing)

Si sfrutta meglio la grande larghezza di banda della finestra ottica a 1,5  $\mu\text{m}$  mandando più frequenze sulla stessa fibra ciascuna modulata da un segnale numerico a elevata bit rate (2,10, 40 Gbps).



Sistemi di trasmissione multicanale

- a) moltiplicazione di lunghezza d'onda (WDM)
- b) moltiplicazione di frequenza (FDM)

I canali ottici così ottenuti possono essere commutati nei **nodi** della **rete di trasporto tutta ottica** che si può realizzare.

In ricezione un sistema di separazione delle portanti invia i canali ai diversi rivelatori.

E' possibile realizzare una separazione delle portanti mediante sistemi filtranti passivi o mediante sistemi eterodina o omodina tipici dei sistemi coerenti.

## SISTEMI WDM (Waveguide Division Multiplexing)

Nel sistema di trasporto SDH ( Synchronous Digital Hierarchy) e nel sistema SONET (Synchronous Optical NETWORK) si operano delle moltiplicazioni TDM basate su moduli di trasporto chiamati STM

SONET		SDH	Velocità (Mbit/s)
Elettrico	Ottico	Ottico	Lordo
STS-1	OC-1		51.84
STS-3	OC-3	STM-1	155.52
STS-9	OC-9	STM-3	466.56
STS-12	OC-12	STM-4	622.08
STS-18	OC-18	STM-6	933.12
STS-24	OC-24	STM-8	1244.16
STS-36	OC-36	STM-12	1866.24
STS-48	OC-48	STM-16	2488.32
STS-192	OC-192	STM-64	9953.28

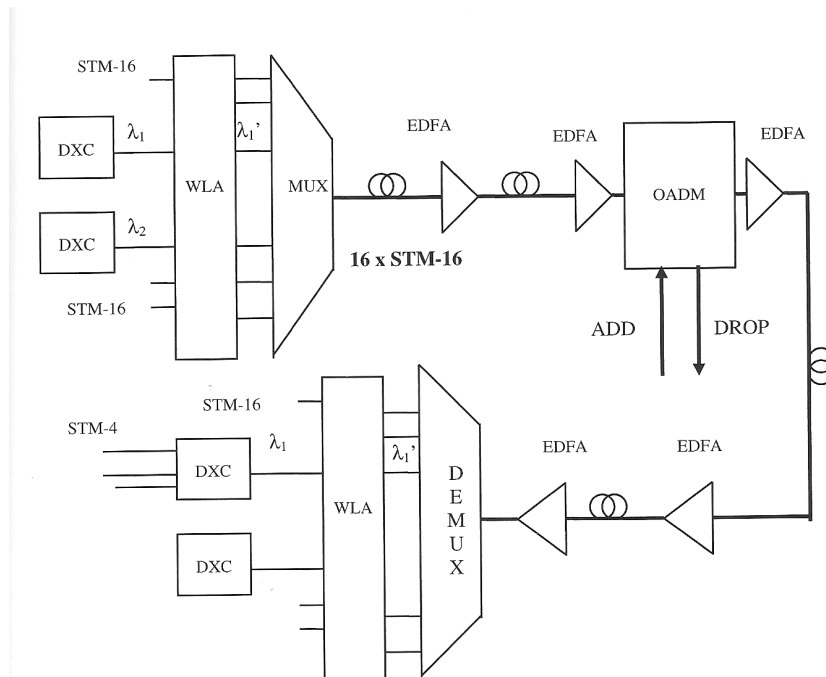
Si è inoltre sviluppata La tecnica ATM (Asynchronous Transfer Mode) ed il traffico Internet con tecnologia IP

Per cui c'è la necessità a livello ottico di introdurre nell'architettura di rete un livello ottico di trasporto indipendente dal segnale trasportato

La caratteristica di questa rete di trasporto è la **trasparenza** cioè la capacità di trasportare segnali generati da client diversi (SDH, ATM,IP)

Si è così realizzato un sistema multicanale ottico in cui le portanti ottiche modulate da segnali TDM

Costituiscono dei canali che viaggiano su una stessa fibra e possono essere commutati e instradati a livello ottico



DXC (Digital Cross Connect) sono permutatori numerici  
 ADM ( Add-Dropp Multiplexer) sono multiplatori inseritori estrattori  
 EDFA ( Erbium Doped Fiber Amplifiers) sono amplificatori ottici  
 WLA (WaveLength Adapter)

NUMERO CANALE	FREQUENZA ASSOLUTA [ THz ]	LUNGHEZZA D'ONDA [ nm ]
60	196	1529,551
59	195,9	1530,332
58	195,8	1531,113
57	195,7	1531,896
56	195,6	1532,679
55	195,4	1534,248
54	195,3	1535,033
53	195,2	1535,82
52	195,1	1536,607
\	\	\
\	\	\
\	\	\
20	192	1561,417
19	191,9	1562,23
\	\	\
1	190	1577,853

Abbastanza diffusi sono i collegamenti a 16  $\lambda$  operanti a 2.5 Gbit/s che usano prevalentemente i canali dispari dal 23 al 37 (Banda Rossa: in analogia al visibile) e dal 43 al 57 (Banda Blu). Si hanno così 200 GHz di separazione fra i canali.

La canalizzazione adottata prevedeva un distanziamento di 200 GHz ma si è passati presto ai 100 GHz con i sistemi DWDM (Dense Waveguide Division Multiplexing)

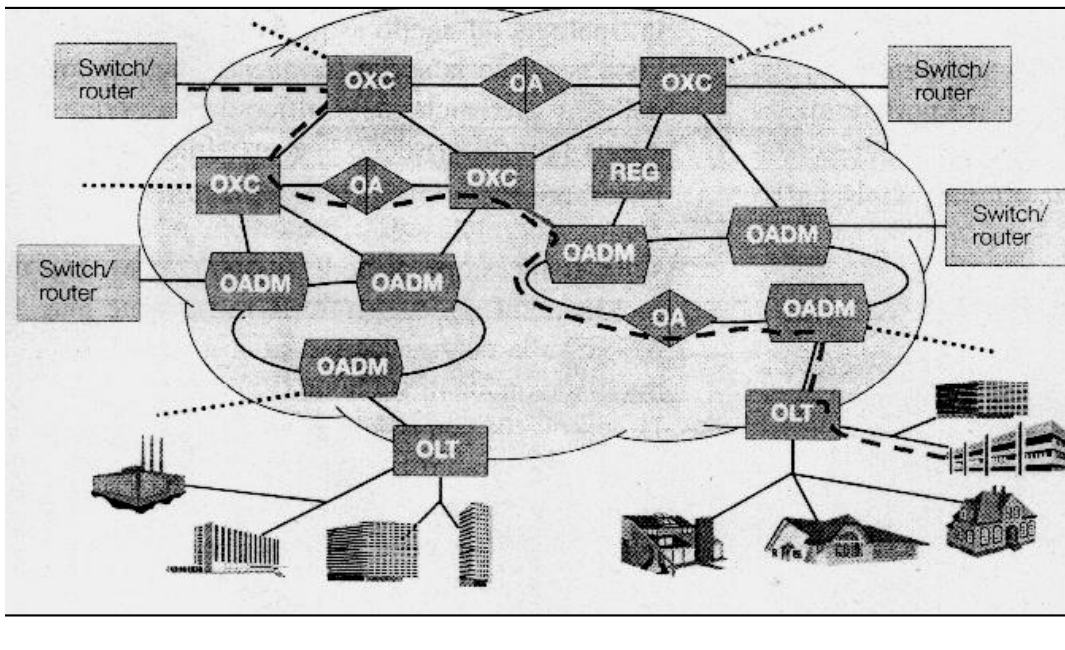
Le prestazioni degli attuali sistemi consentono 10 (40) Gbit/s di frequenza di cifra su ogni canale per un numero di canali che ormai può essere di 40 anche 128 canali

All'aumentare del numero dei canali cresce la potenza ottica in fibra e si verificano fenomeni non lineari tra cui il FWM ( Four Wave Mixing) che è un'interazione non lineare che si verifica a causa della dipendenza dell'indice di rifrazione dall'intensità dell'onda che vi si propaga. La miscelazione di onde a frequenze  $f_i, f_j, f_k$ , danno onde a frequenze  $f_{ijk} = f_i + f_j - f_k$

Nei sistemi multicanale il FWM limita le prestazioni non solo perché parte della potenza viene persa ma anche perché la comparsa di nuove frequenze causa interferenze sui canali molto simile al fenomeno della intermodulazione nel caso elettrico.

Particolarmente dannose le interferenze sul canale del segnale che danno una interazione di tipo coerente

## RETI OTTICHE



La rete ottica si presenta come una struttura composta da nodi connessi tra loro da collegamenti ottici dove canali a diversa lunghezza d'onda trasportano segnali di tipo "client" in un flusso aggregato

Le funzionalità primarie della rete sono **multiplazione, trasporto e instradamento** a livello ottico.

OA è un amplificatore ottico

OXC (Optical Cross Connect) è un permutatore ottico (convertitori, matrici di connessione)

OADM è un Add and Drop Multiplexer ottico

OLT è un terminale di linea ottico (multiplexatori, demultiplexatori, amplificatori)

REG è un rigeneratore (oggi ancora optoelettronico)

Per il trasporto si usano tecniche **WDM (o DWDM Dense Waveguide Division Multiplexing)** che consistono nell'uso di una fibra da parte di più canali a diversa lunghezza d'onda

e tecniche **OTDM Optical Time division Multiplexing** che permettono di trasmettere N canali diversi sulla stessa fibra alla stessa frequenza

Le reti ottiche possono essere pensate costituite da due parti

-la rete ottica di trasporto (OTN Optical Transport Network)

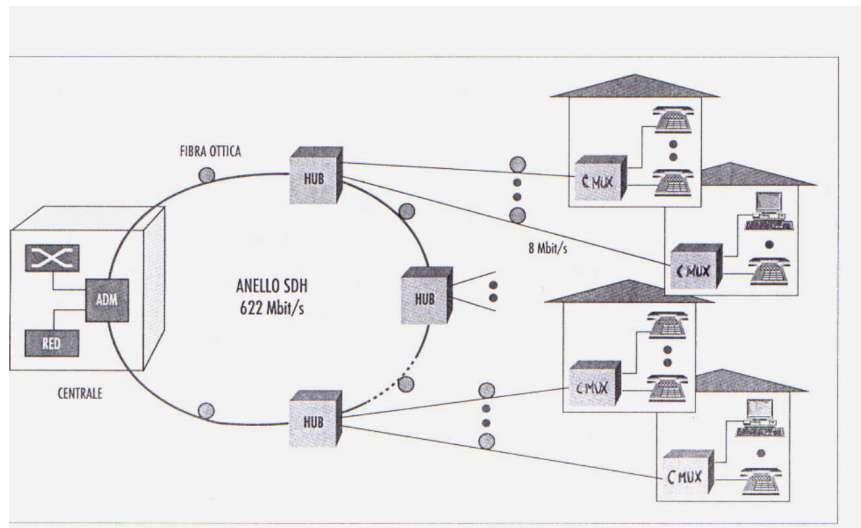
-la rete ottica di accesso

## LA RETE OTTICA DI ACCESSO

Questa rete presenta architetture molto diverse

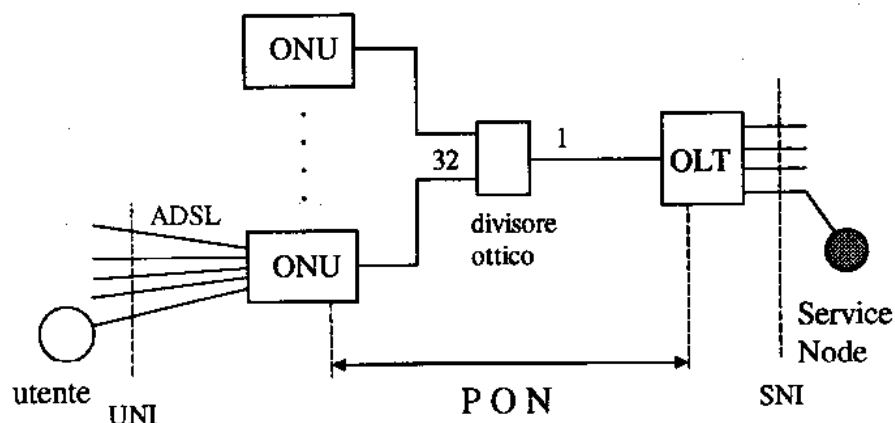
**FFTC Fiber to the Curb** ( fino al marciapiede)

**FFTB Fiber to the Building** Terminazioni ottiche interne all'edificio



La rete prevede un anello nella sezione primaria. Dagli HUB(multiplicatori sincroni) dell'anello si dipartono i collegamenti verso gli utenti. I C-MUX sono multiplicatori che raccolgono i canali di utente.

Un altro tipo di rete di accesso è la PON (**Passive Optical Network**)



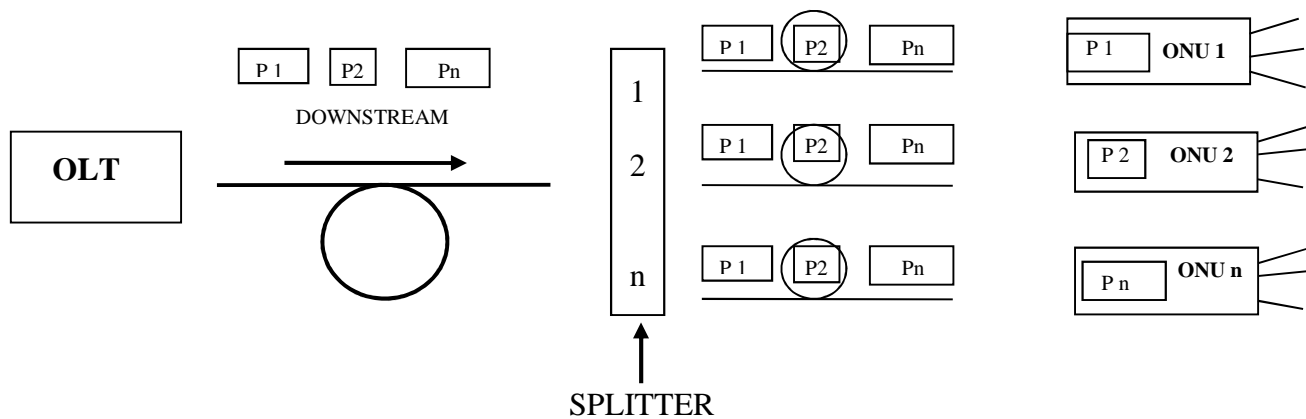
La PON è pensata come una rete di distribuzione realizzata mediante un divisore ottico a 1 ingresso e 32 uscite fra centrali urbane o meglio fra terminazioni della rete di trasporto denominate OLT(Optical Line Termination) e 32 centraline denominate ONU(Optical Network Unit) da cui possono diramarsi le terminazioni ADSL

## RETI PON

Una terminazione detta OLT (Optical Line Termination) è collegata alla rete di trasporto da una parte ed alla rete di distribuzione dall'altra. Nel collegamento downstream (dalla OLT verso utenti) i segnali vengono distribuiti in modalità broadcast mediante un divisore ottico (splitter) a tutte le ONU (Optical Network Unit) ciascuna delle quali preleva i dati a lei indirizzati

Le ONU sono situate generalmente in corrispondenza di armadi di distribuzione a loro volta collegate verso gli utenti da reti ancora in rame; Potrebbero essere doppiati o cavi coassiali, ma è prevista anche la possibilità di spingere le ONU sempre più vicino all'utente fino a realizzare soluzioni che vengono indicate come FTTB (fiber to the Building) o FTTH (fiber to the Home). Secondo un altro standard vengono chiamate ONT (Optical Network Termination)

Come indicato in figura nel collegamento downstream il segnale, costituito da un flusso continuo di dati organizzati secondo i diversi protocolli di traffico, viene inviato dalla OLT ad un divisore ottico (splitter) con tipicamente un ingresso e n uscite (n=8,16, 32...) verso le ONU che prelevano i dati destinati ai loro utenti (indicati con P1 P2 Pn)



In direzione upstream (da ONU verso OLT) si realizza una moltiplicazione TDM (Time Division Multiplexing) per cui a ogni ONU viene assegnato da parte della OLT un intervallo temporale (slot) in cui trasmettere

È stato proposto un altro tipo di PON, la WDM PON che realizza la separazione delle ONU mediante l'assegnazione di portanti diverse secondo lo schema indicato in figura. In questo sistema si ricorre alla moltiplicazione DWDM per trasportare molte lunghezze d'onda su un'unica fibra, aumentando così enormemente la banda sia in upstream che in downstream

