



Il ruolo delle infrastrutture TLC nella Transizione Digitale

L'architettura della rete di accesso attiva

Ing. Alfonso Conte

Responsabile Fixed Access Engineering di Rete di Open Fiber

Roma, 23 Maggio 2025



Agenda

- ☐ **Architettura di rete FTTH attiva**
- ☐ **Sistemi GPON e NGPON1**
- ☐ **Evoluzioni**



Architetture FTTH



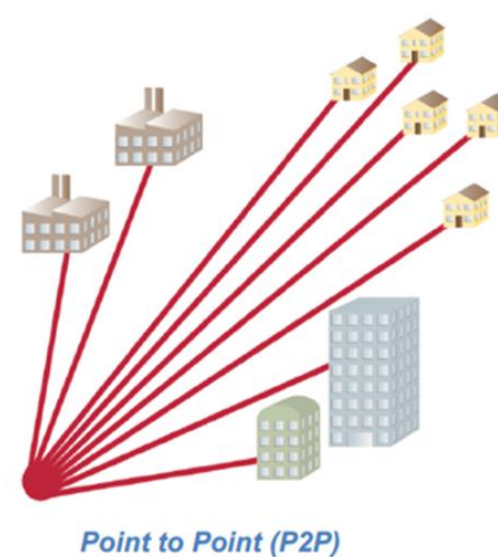
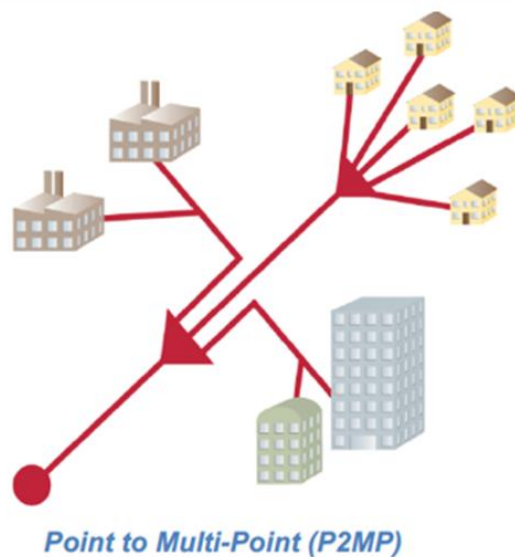
Punto-Multipunto (P2MP)

Rete ottica passiva PON (Passive Optical Network), basata su topologia ad albero della rete di distribuzione, con più livelli di diramazione, realizzata mediante l'uso di ripartitori ottici passivi (beam splitter)



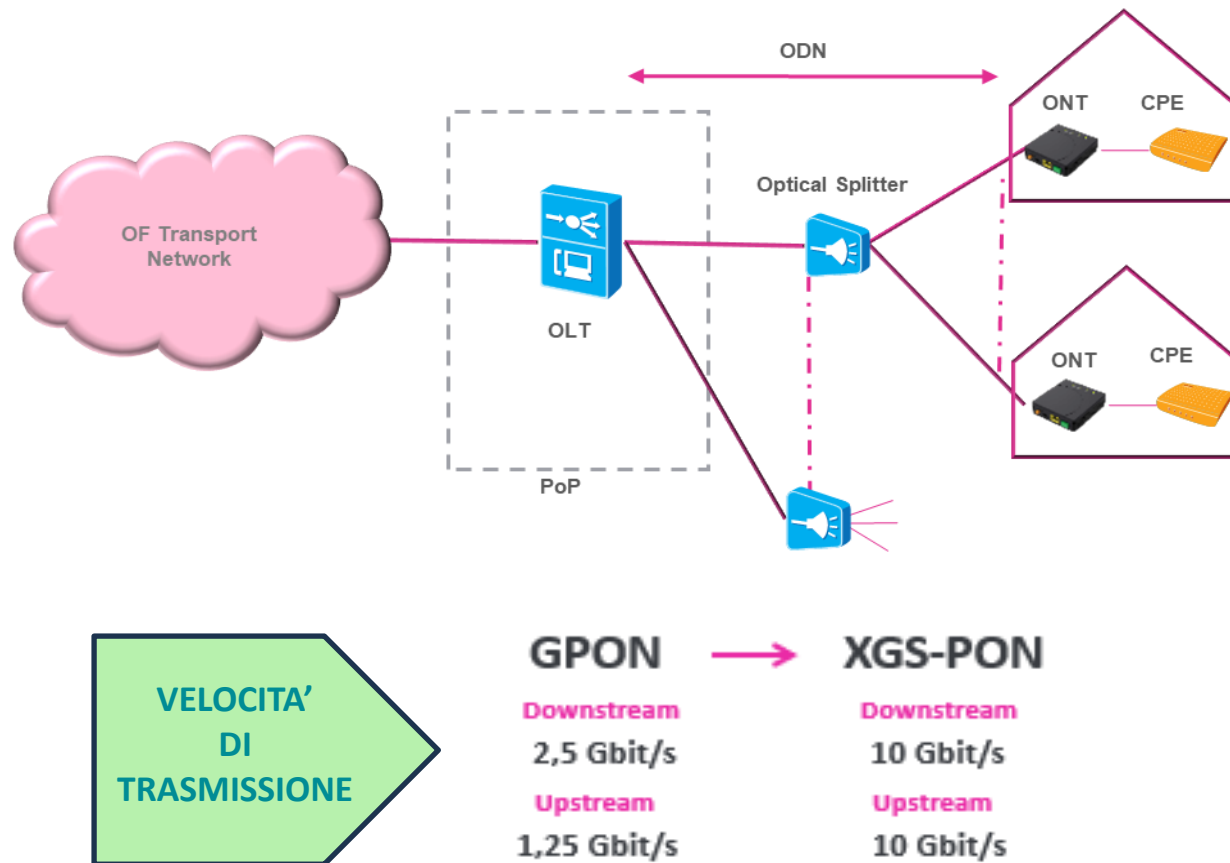
Punto-Punto (P2P)

Rete in singola fibra dedicata che connette la sede d'utente alla centrale locale





Architettura FTTH P2MP attiva di OF



OLT

Optical Line Terminal: apparato attivo di terminazione, di proprietà OF, situato nel PoP, che coordina la trasmissione upstream e downstream dei segnali sulla ODN ed aggrega il traffico per consegnarlo agli Operatori tramite la rete di trasporto. La soluzione con schede **Combo AnyPON** in A&B e AG consente l'attivazione dei servizi GPON e XGS contemporaneamente sulla stessa rete PON solo diversificando le ONT.

ONT

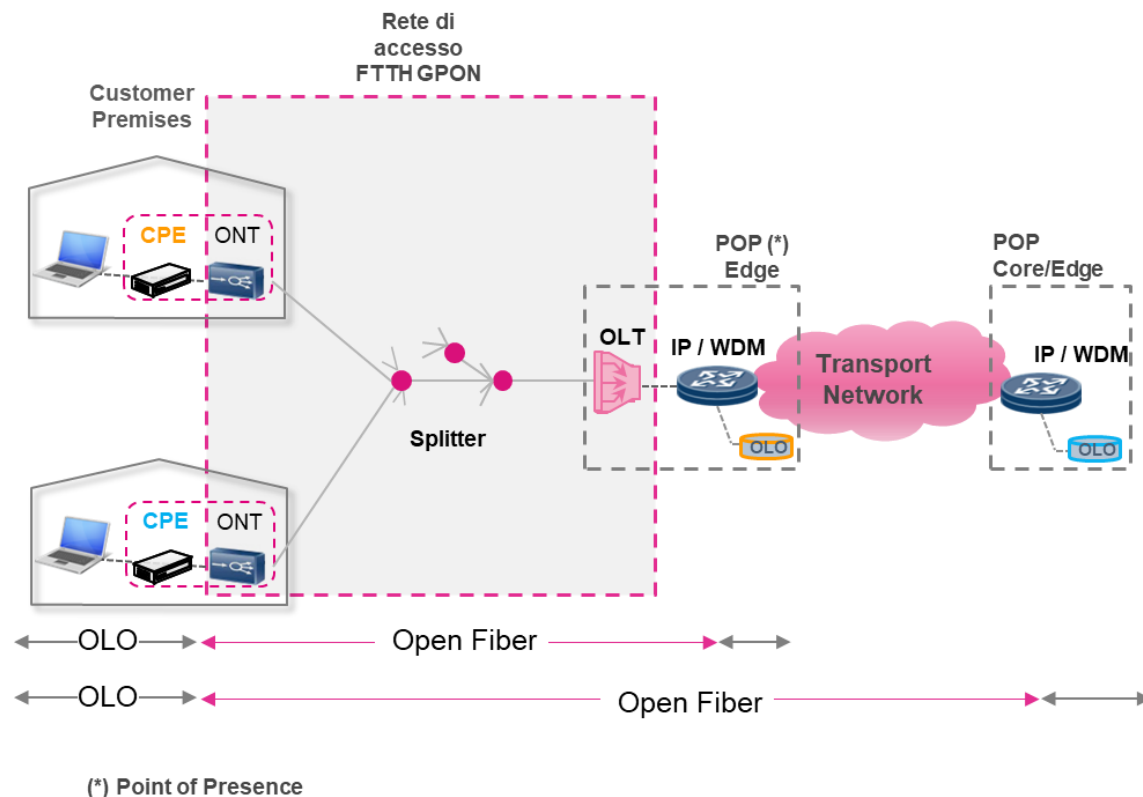
Optical Network Termination: è un dispositivo, fornito da OF, installato presso la sede cliente che esegue la trasduzione ottico/elettrica dei segnali utente interfacciandosi con il CPE tramite un'interfaccia **Gigabit Ethernet 10/100/1000/2500/10000 BASE-T RJ-45** con auto negoziazione attiva dei parametri di connessione.

CPE

La **CPE (Customer Premise Equipment)** rappresenta il terminale di proprietà dell'Operatore (o fornito da OF negli scenari Open Stream/ Open Internet) che collegato all'ONT fornito da OF, permette l'utilizzo dei servizi voce e dati su fibra ottica. OF può fornire CPE a 1G/2,5G e 10G.



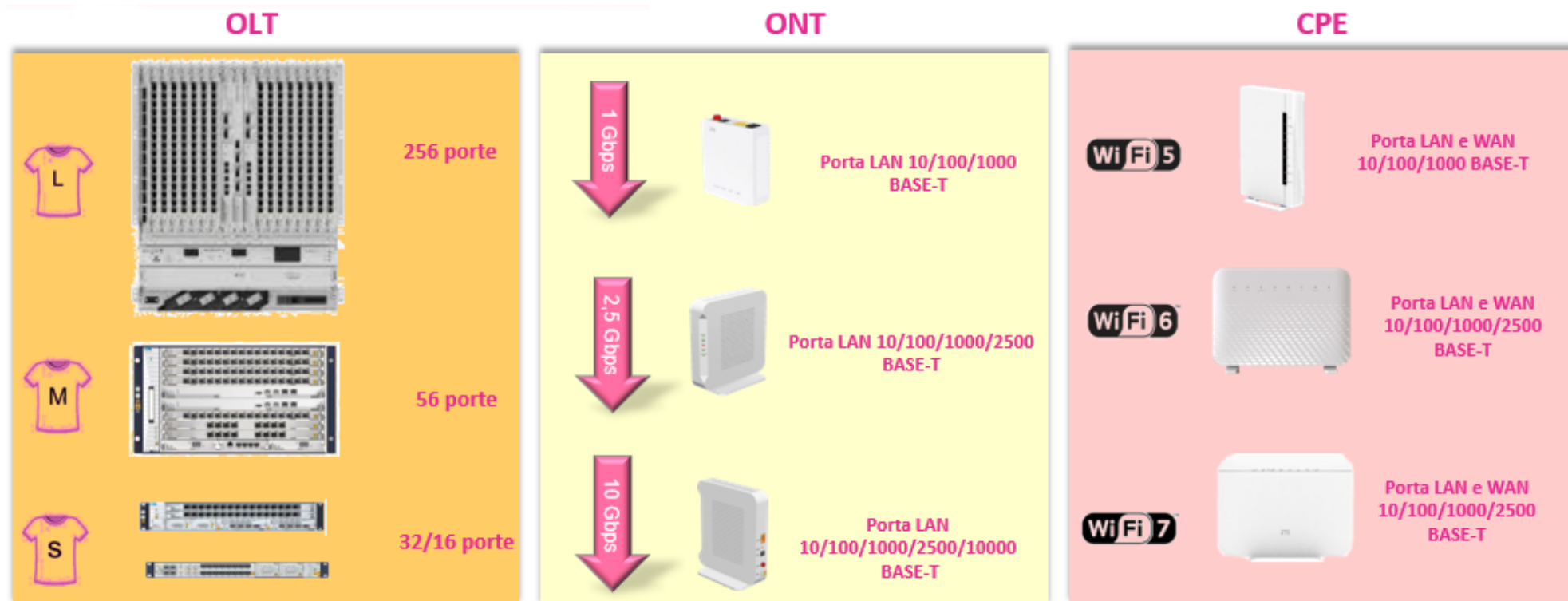
Architettura e servizi GPON di Open Fiber



- La rete d'accesso GPON di Open Fiber è una rete **multivendor** ingegnerizzata per servizi di tipo **Wholesale**
- L'**interfaccia Ethernet degli ONT** delimita il dominio di competenza OF presso l'utente finale mentre l'**interfaccia di consegna remota** quello lato Operatore
- Opzionalmente, OF offre anche la fornitura della **CPE** per la fruizione dei servizi Open Stream o Open Internet (1G/2,5G/10G);
- Servizio **VULA**: PoP di consegna e raccolta coincidono
- Openstream**: PoP di consegna remoto rispetto a quello di raccolta
- Open Internet**: Servizio di connettività ad internet messo a disposizione degli OLO per la rivendita al cliente finale.
- L'**albero/porta GPON è condiviso dagli OLO** e il traffico è organizzato in domini L2 in modo da garantire la differenziazione e la segregazione dei dati;
- La **QoS** per i servizi in accesso viene gestita utilizzando opportune combinazioni di VLAN (single o double TAG) e CoS (mono o multi CoS);



Apparati Attivi

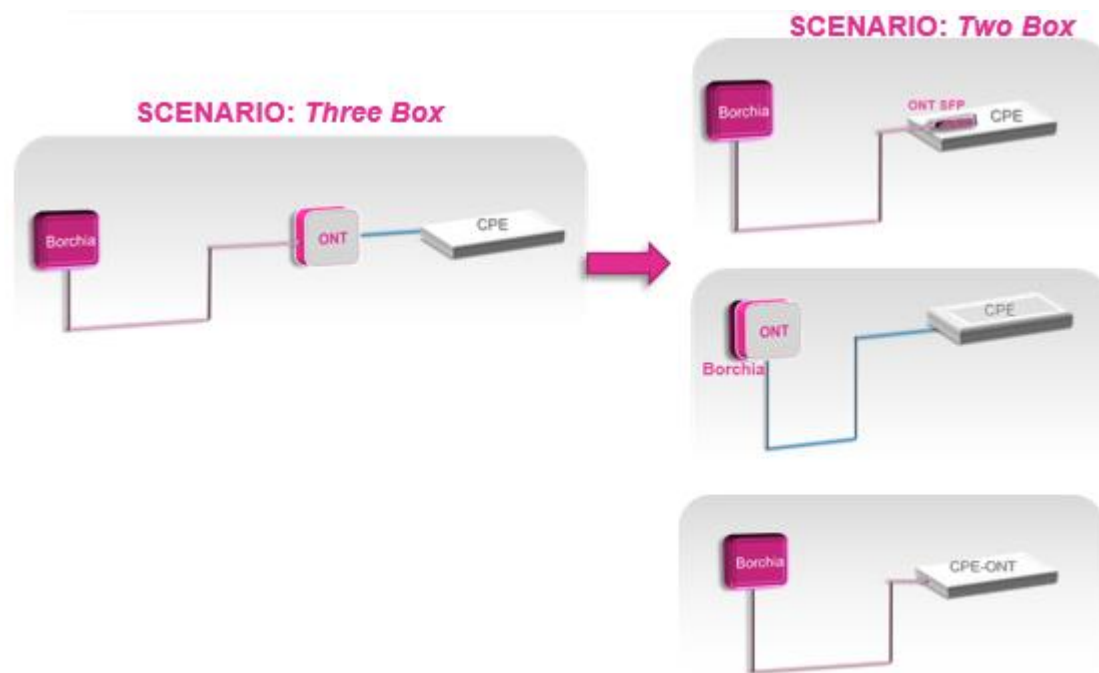


Relatore: Ing. Alfonso Conte

Il mercato delle infrastrutture TLC in Italia e in Europa



Configurazioni di rete lato utente

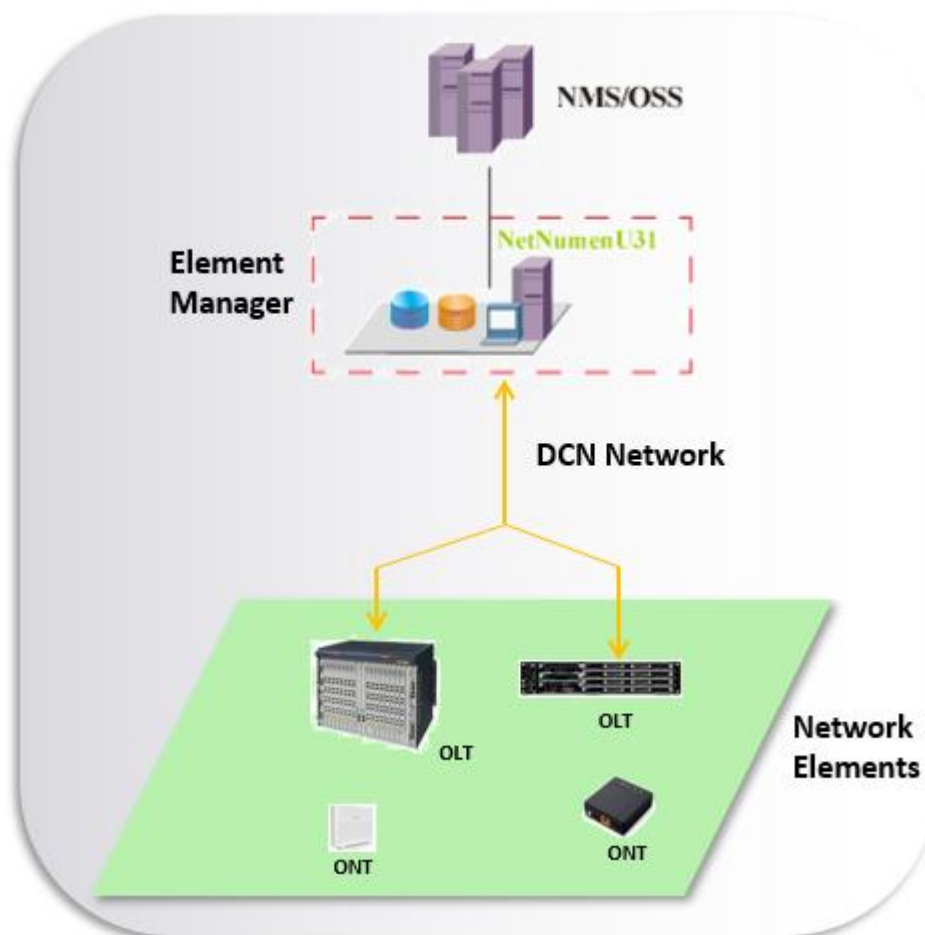


1. **ONT SFP:** ONT delle dimensioni di un comune modulo ottico, può essere installato all'interno di una CPE dotata di apposito alloggiamento.
2. **ONT integrabile su borchia ottica:** permette di agganciare l'ONT alla borchia ottica, realizzando installazioni più compatte rispetto allo scenario three box puro migliorando la customer experience.
3. **ONT con CPE integrato:** CPE che integra anche le funzionalità dell'ONT. Viene comunemente denominata "ONT integrata".

- Gli scenari "Three box" e "Two box 1-2" sono utilizzati tipicamente da operatori wholesale come OF poiché consentono di mantenere un punto di demarcazione netto rispetto alla rete dell'OLO in casa cliente;
- Lo scenario 3 viene tipicamente utilizzato da operatori verticalmente integrati che gestiscono il servizio del cliente nella sua interezza.



Sistemi di gestione OLT



- Il sistema hardware composto da tutti gli apparati installati in rete viene controllato attraverso un sistema software di gestione centralizzato detto anche **Element Manager**
- Gli EM risiedono fisicamente su macchine server dedicate installate nei data center di OF
- Ogni EM a livello logico ha la visibilità di tutti i nodi di rete (network elements) attraverso una rete/canale di gestione dedicato ai segnali di controllo: la rete DCN (Data Control Network)
- Tipiche funzioni gestite da un Element Manager:
 - Topology Management
 - Fault Management
 - Performance Management
 - Task Management
 - System Backup and restoration
 - System Monitor
 - Role Management
 - User Management
 - Log Management
 - Men Mashine Language Terminal



Agenda

- ☐ Architettura di rete FTTH attiva
- ☐ Sistemi GPON e NGPON1
- ☐ Evoluzioni Tecnologiche



Standard GPON

ITU-T G.984.1

- Parameter description of GPON network
- Requirements of protection switch-over networking

ITU-T G.984.2

- Specifications of ODN parameters
- Specifications of 2.488Gbps downstream optical port
- Specifications of 1.244Gbps upstream optical port
- Overhead allocation at physical layer

ITU-T G.984.3

- Specifications of TC layer in the GPON system
- GTC multiplexing architecture and protocol stack
- GTC frame
- ONU registration and activation
- DBA specifications
- Alarms and performance

ITU-T G.984.4

- OMCI message format
- OMCI device management frame
- OMCI working principle

Simple development process
Powerful compatibility

ITU-T G-984.1/2/3/4

ITU-T G.988 – ONU management and control interface (OMCI) specification

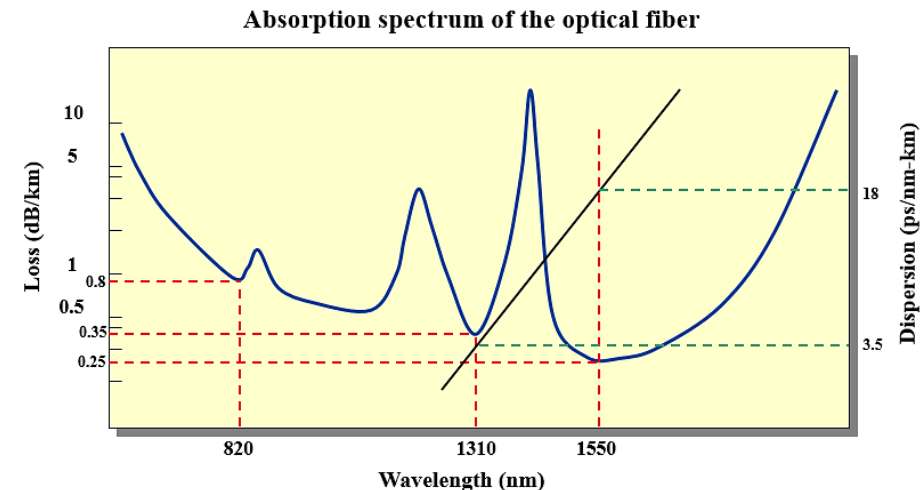
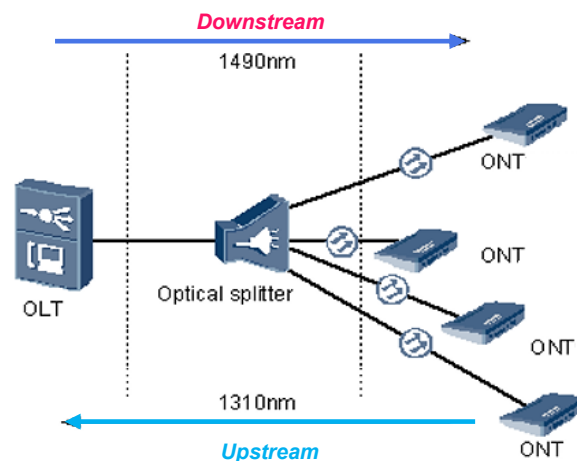
ITU-T G.984.6 – Gigabit-capable passive optical networks (G-PON): Reach extension

ITU-T G.984.5 – Gigabit-capable passive optical networks (G-PON): Enhancement band



Alcuni principi del Sistema trasmissivo GPON

Il protocollo GPON (Gigabit capable Optical Network) **ITU-T G.984.x** è in grado di fornire servizi a banda Ultra Larga per reti FTTH consentendo una trasmissione bidirezionale full-duplex a velocità massima di **2,488/1,224 Gbps (downlink/Uplink)**.

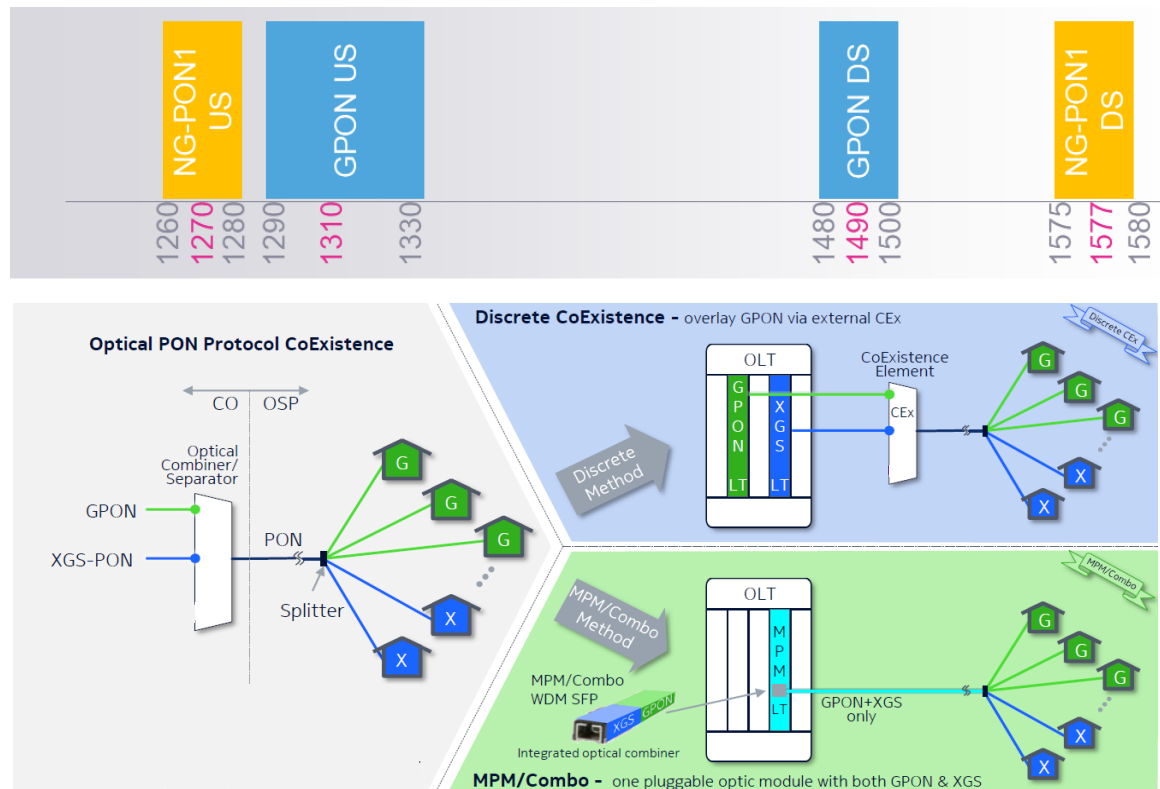


- ☐ **Duplexing:** il sistema GPON consente la trasmissione contemporanea bidirezionale su singola fibra ottica utilizzando la lunghezza d'onda in upstream di **1310 nm** e in downstream di **1490 nm**
- ☐ Maximum logical reach: **60 km** (G.984.2 – Table 2A)
- ☐ Maximum differential logical reach: **20 km** (G.984.2 – Table 2A)
- ☐ Maximum fiber distance tra i punti di trasmissione e ricezione (S/R) e ricezione/trasmissione (R/S): **20 km**
- ☐ Banda Aggregata per Albero GPON: Downstream: **2,488 Gbps** Upstream: **1,224 Gbps**
- ☐ Modalità di autenticazione: **SN, Password o SN + password**
- ☐ Fattore di splitting massimo **1:128**



NG-PON1

Le tecnologie **Next Generation Passive Optical Network 1** utilizzano le stesse tecniche trasmissive dei sistemi **GPON** (TDM/TDMA) ma **finestre trasmissive distinte** riuscendo così a coesistere sulla stessa infrastruttura. **NG-PON1** rappresenta il primo step evolutivo delle reti PON che consente di aumentarne la velocità supporta fino a **10Gbps**.



• **XG-PON** (standard ITU-T 987.x - 2009) consente di raggiungere una velocità in downstream pari a 10Gb/s ed in upstream pari a 2,5 Gb/s

• **XGS-PON** (standard ITU-T 9807.1 - 2016) supporta invece una velocità di trasmissione di **10Gb/s** sia in downstream che in upstream

Il **deployment NGPON1** non comporta alcun impatto sulla ODN bensì **solo un upgrade HW degli OLT e ONT**.

Il Fattore di splitting massimo è pari a **1:256**.



Agenda

- ☐ Architettura di rete FTTH attiva
- ☐ Sistemi GPON e NGPON1
- ☐ Evoluzioni Tecnologiche



Evoluzione Tecnologica: i Driver



Incremento velocità d'accesso

- Supporto servizi ad alta capacità, residential ed enterprise
- Realizzare una rete convergente (rete fissa-mobile)

NG-PON1, NGPON-2, HSP



Virtualizzazione

- Realizzazione slice di rete dedicate a ciascun OLO
- Flessibilità di gestione e creazione slice dedicate a servizi differenti

FANS, vOLT

WHAT'S NEXT?



Evoluzione Terminali utente (ONT e CPE)

- Miglioramento Performance
- Realizzazione installazioni più compatte e robuste

Wi-Fi7, 2.5BASE-T



Higher Speed PON: 25GPON e 50GPON

Il successivo step evolutivo nella roadmap FSAN, è costituito da tecnologie capaci di incrementare oltre i 10Gbps la capacità supportata per singola lunghezza d'onda. Le tecnologie **Higher Speed PON** incrementano la banda su reti PON fino a **25/50Gbps** e nascono per supportare servizi di tipo large-scale enterprise ed Any-Haul che richiederanno throughput molto elevati, trasmissioni a bassa latenza con elevata affidabilità.

25GPON

25GS-PON
MSA GROUP

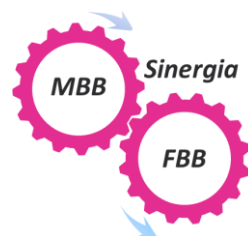
- La tecnologia **25G-PON** è stata realizzata da un gruppo di aziende aderenti al MSA-Group ed già commercialmente disponibile;
- L'**MSA-GROUP** vanta ad oggi più di 50 Aziende che sostengono e sviluppano il progetto e tra queste troviamo: AT&T, Ciena, Proximus, Nokia ecc.

50GPON



- La tecnologia **50G-PON** è stata standardizzata dall'**ITU-T** nel 09/2021 (**G.9804.3**) e rappresenterà lo standard del facto per l'HS-PON;
- Al momento sono disponibili sul mercato solo le versioni prototipali e si prevede un deployment commerciale a partire dal 2025.

Entrambi queste soluzioni permettono di realizzare la convergenza tra Broadband Fisso e Mobile 5G.



Vantaggi Fixed mobile convergence

- Convergenza verso un'unica rete
- Miglioramento QoE
- Offerte convergenti

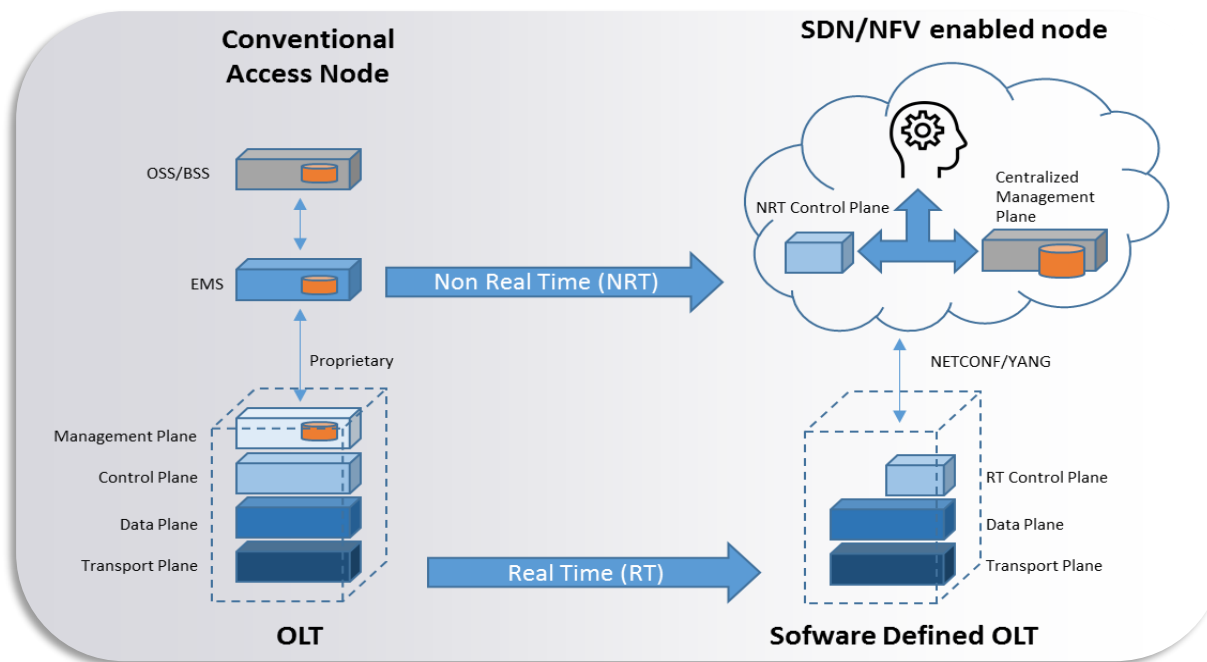


Relatore: Ing. Alfonso Conte



Virtualizzazione

I paradigmi del **SDN** (Software Defined Networking) e **NFV** (Network Functions Virtualization) forniranno nuove modalità di programmazione della rete.



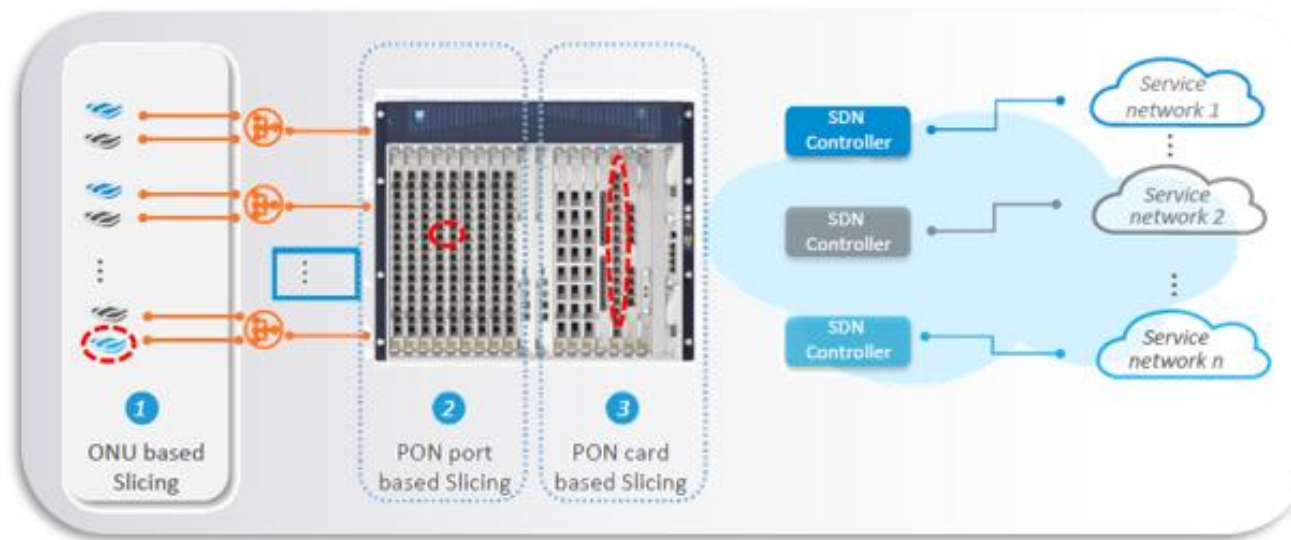
- Le funzioni del piano di controllo vengono demandate a un **controller centralizzato**, facilitando l'ottimizzazione e l'automazione, diminuendo il tempo di introduzione in rete dei servizi e migliorando la user experience dell'utente finale
- La standardizzazione dei modelli **NETCONF/YANG (*)**, punti cardine per l'implementazione di soluzioni SDN, viene portata avanti dal Broadband Forum, garante dell'interoperabilità tra vendor

(*) NETCONF: Network Configuration Protocol
YANG: Yet Another Next Generation



FANS

La **NFV** ed **SDN** sono importanti driver tecnologici nell'evoluzione e diffusione delle reti d'accesso fisso UBB perché Consentono di realizzare una strategia di **condivisione dell'infrastruttura di accesso fisso attiva**, capace di garantire a ciascun operatore la fruizione di porzioni di rete E2E gestite in maniera autonoma e flessibile.



Il paradigma **Fixed Access Network Sharing (FANS)**, tramite la virtualizzazione, consente di suddividere l'infrastruttura fisica d'accesso in molteplici **network slice** a ciascuna delle quali possono essere associate, in maniera dinamica, diverse risorse (e.g. PON port, ONT) gestite autonomamente da molteplici operatori.



Wi-Fi 7

Lo standard **IEEE 802.11be** consente di aumentare le prestazioni e **ridurre sensibilmente la latenza** rendendo la connessione wi-fi più deterministica, meno variabile e più predicibile, specialmente in condizioni di elevata congestione



Wi-Fi 7	
Periodo di lancio	2024 (standard ufficiale)
Standard IEEE	802.11be
Massimo Throughput	46 Gbps
Bande	2.4 GHz, 5 GHz, 6 GHz
Canali supportati	Up to 320 MHz
Modulazione	4096-QAM OFDMA (with extensions)
MIMO	16x16 UL/DL MU-MIMO
RU	Multi-RUs
MAC	MLO

- Il WI-Fi 7 abilita il supporto di applicazioni URLLC (Ultra-reliable low-latency connection) quali, ad esempio, Industrial IoT e automation.
- Introduce nuove tecniche quali il **Multi-Link Operation** (che consente ai dispositivi di trasmettere/ricevere simultaneamente su diverse bande e canali) e il **Multi-AP operation** (che migliora le performance sfruttando un coordinamento tra diversi AP adiacenti).



Architettura FTTR

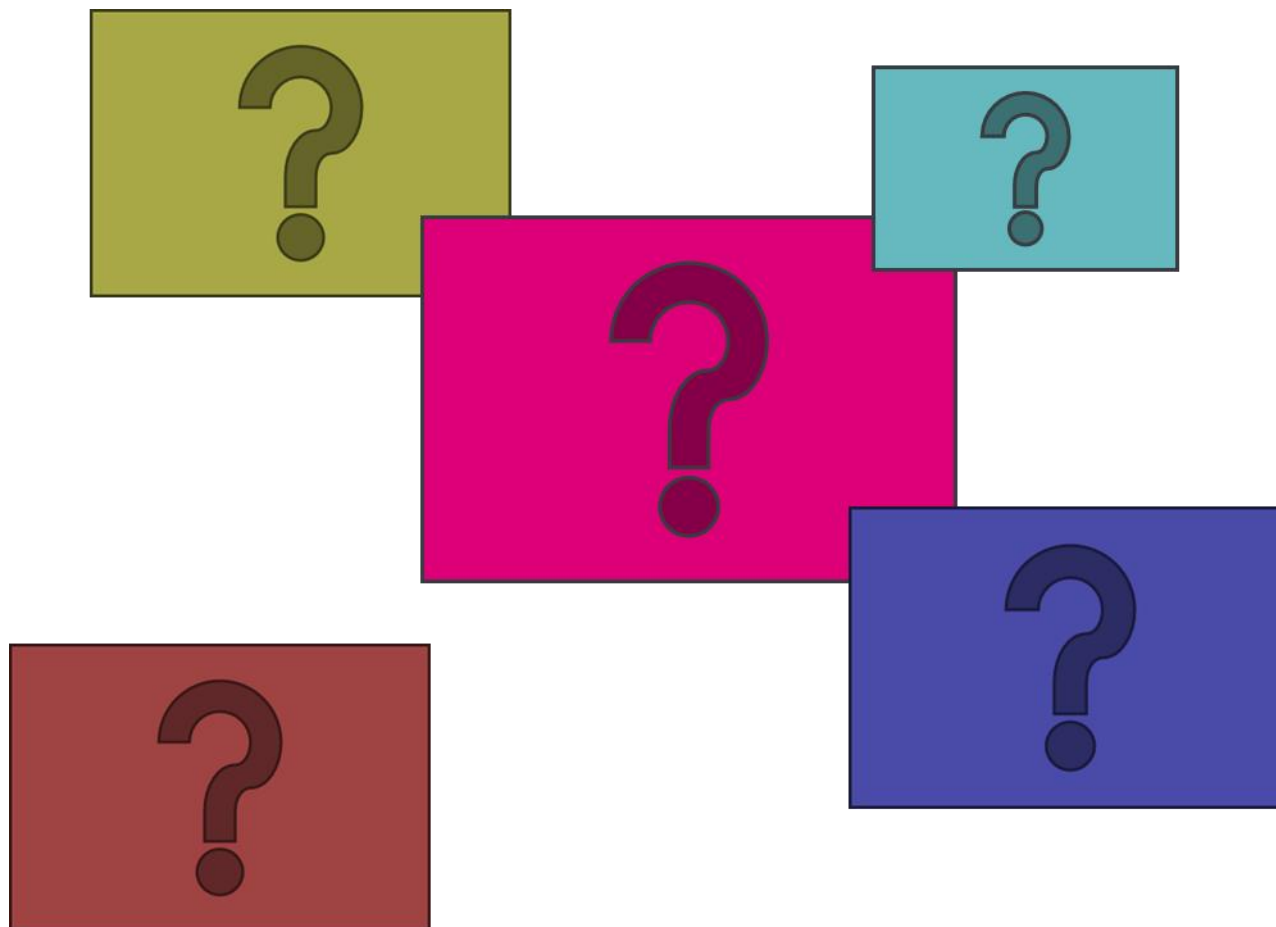
La **tecnologia FTTR** consente di estendere la copertura in fibra fino a dentro l'abitazione dell'utente consentendo di aggirare le limitazioni di copertura del Wi-Fi che viene esteso tramite collegamento in fibra in ogni «room» senza perdita di qualità.



- Costi strettamente legati alla struttura della 'home/business area ODN'
- Migliora la user experience e la fruibilità delle applicazioni smart home
- Cavi PoLAN dove i dispositivi interconnessi vengono alimentati attraverso cavi misti fibra+rame
- Fornisce velocità dell'ordine dei Gbit/s (XGS-PON), servendo gli utenti finali in tecnologia wireless
- Tecnologia FTTH upgradabile senza impatti su ODN (es. 50GPON)
- Utilizzo di ONT dotati di WiFi 6/Wi-Fi 7 per ottimizzare la user experience (lower power, less interference)



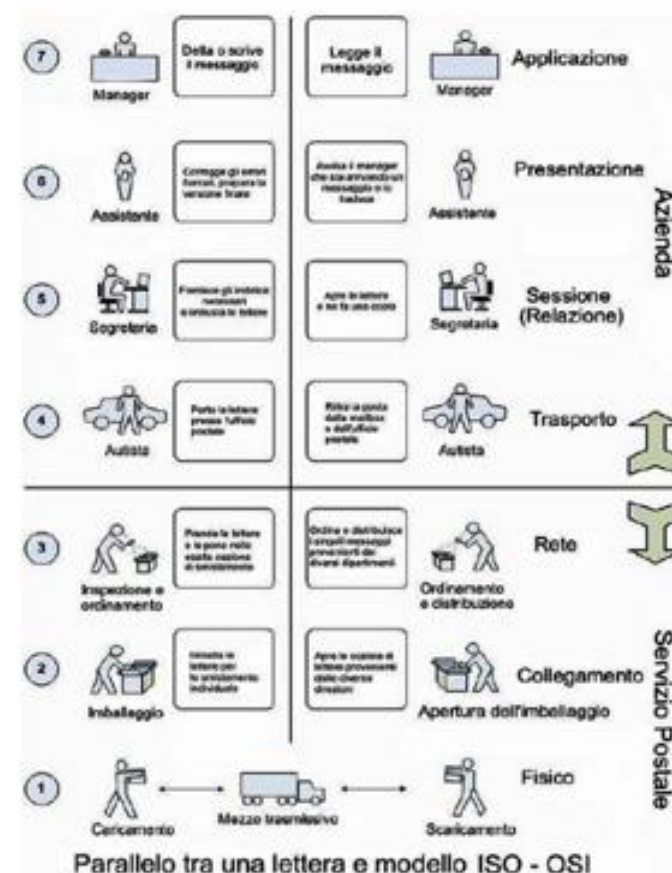
Q&A



BACKUP



Modello ISO/OSI



Applicazione: es. HTTP Web service, mail, VoIP, Video

Trasporto: es. TCP, UDP

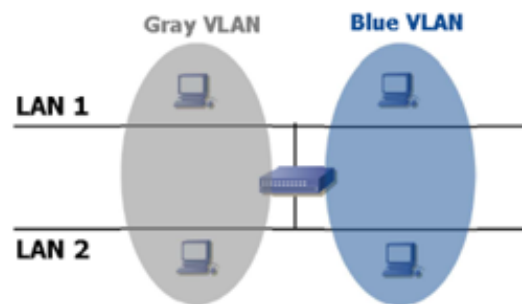
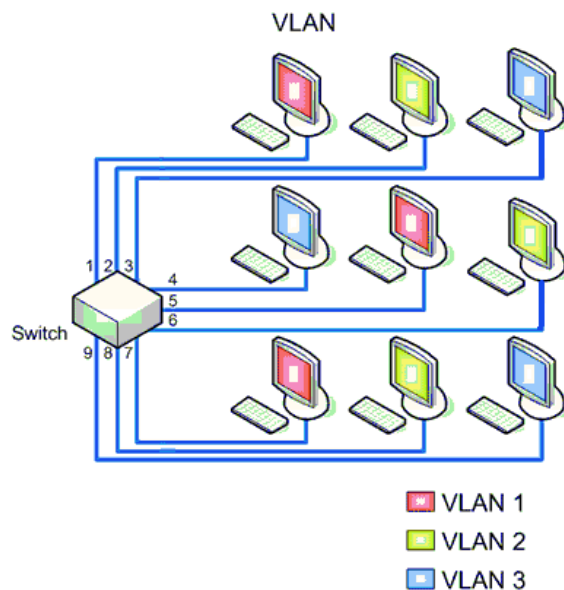
Rete: es. IP

Collegamento: es. Ethernet

Collegamento: es. Fibra, Doppino, microwave



VLAN: Virtual Local Area Network



- ❑ L'acronimo **VLAN (Virtual Local Area Network)** è una tecnologia che permette di suddividere il dominio di broadcast che si crea in una LAN.
- ❑ Grazie ad una VLAN è possibile creare reti virtuali differenti con traffici dati ben divisi per cui il traffico su una VLAN non è visibile ad altre stazioni su altre VLAN
- ❑ Possono essere utilizzati fino a **4096** valori di VLAN [0-4095]
- ❑ Alcuni tag sono riservati per usi speciali per cui non sono utilizzabili per il servizio (0,1 e 4095)



Formato Frame Ethernet

Untagged Frame

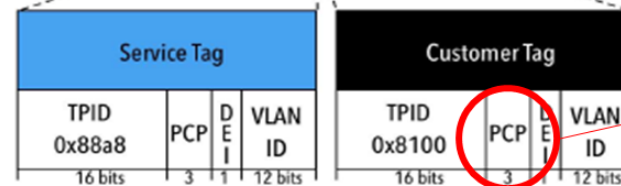
Destination Address	Source Address	Ether Type	Payload	FCS
1 ... 6	1 ... 6	1...2	46 ... 1500	1 ... 4

Single Tagged Frame (C-tag or S-tag)

Destination Address	Source Address	VLAN Tag	Ether Type	Payload	FCS
1 ... 6	1 ... 6	1...4	1...2	46 ... 1500	1 ... 4

Double Tagged Frame (S-tag and C-tag) IEEE 802.1Q Tunneling (QinQ)

Destination Address	Source Address	S-Tag	C-Tag	Ether Type	Payload	FCS
1 ... 6	1 ... 6	1...4	1...4	1...2	46 ... 1500	1 ... 4



- Il PCP (Priority Code Point) identifica la "class of service" (CoS)
- Dimensione max del frame gestita in accesso 2000 byte

PAYLOAD





Profili di banda: CIR e PIR

❑ CIR (Committed Information Rate):

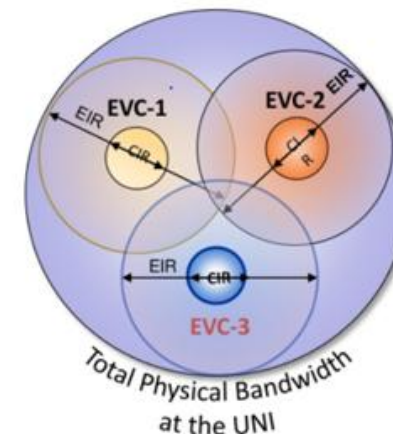
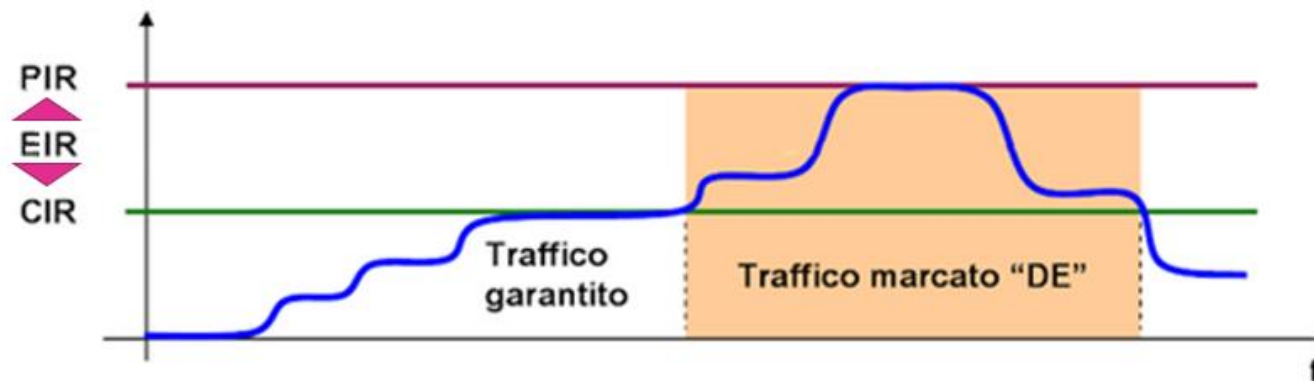
- definisce la banda minima garantita del profilo di banda applicato all'utenza (UNI)
- La garanzia di banda viene assicurata tramite appositi algoritmi che entrano in gioco in caso di congestione (traffic engineering)

❑ PIR (Peak Information Rate):

- definisce la banda massima applicata all'utenza
- Corrisponde al profilo contrattuale
- Raggiungibile in condizioni ideali

❑ EIR (Excess information Rate):

- Aliquota di banda compresa tra CIR e PIR ($PIR = CIR + EIR$)
- Il traffico EIR viene scartato in condizioni di congestione (Discard Eligible)





Profili di banda: CIR e PIR

Velocità di Banda (Mb/s)	
Down	Up
1000	500

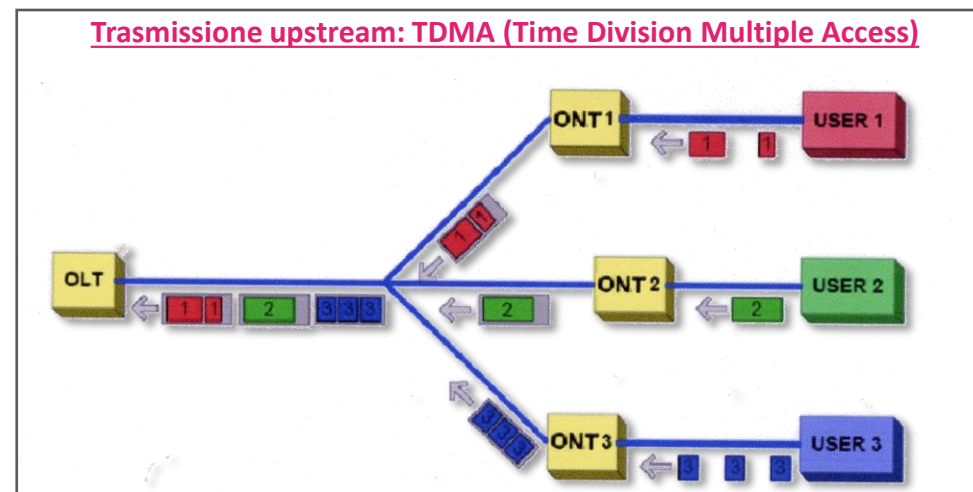
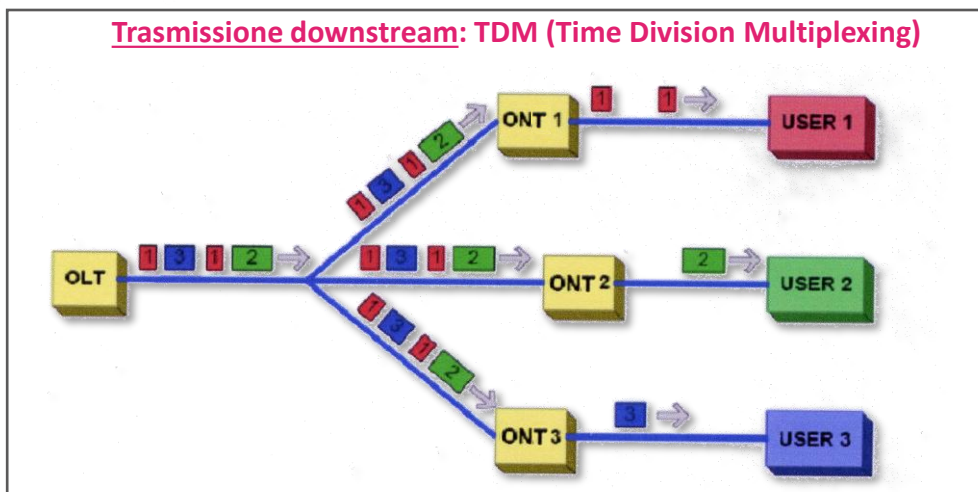
Bande di Picco		Bande Minime garantite					
(PIR TOT)		CoS=0		CoS=1		CoS=5	
		$(\sum CIR + EIR \leq PIR\ TOT)$				$(CIR = PIR)$	
Down (Mbps)	Up (Mbps)	Down (Mbps)	Up (Mbps)	Down (Mbps)	Up (Mbps)	Down (kbps)	Up (kbps)
1000	500	25	25	52	52	128	128

3 CoS

Elementi principali

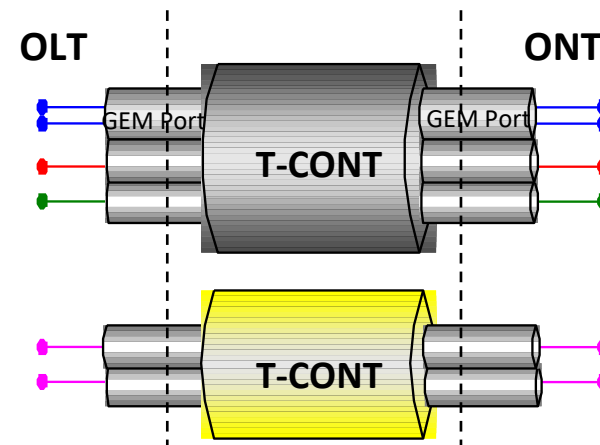
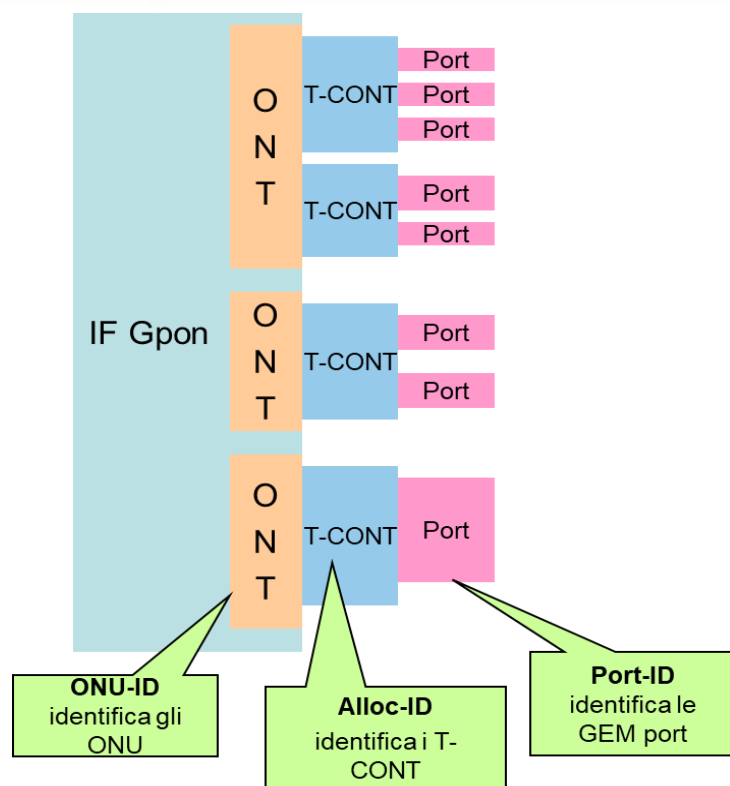
1. L'offerta verso i singoli utenti si basa su profili di banda diversificati in funzione dei servizi offerti;
2. Per ogni Classe di Servizio (CoS) è definita una banda minima garantita (CIR).
3. La banda di picco (PIR) è applicabile all'aggregato dei traffici utente.
4. Nella Tabella è riportato un esempio di profilo di banda specializzato per CoS, che prevede tre valori di CoS pari a 0, 1 e 5
5. Sono possibili due combinazioni di servizi: con tre CoS (0, 1 e 5) e due CoS (0 e 5)
6. I servizi a CoS=0 e CoS=1 presentano un $CIR \leq PIR_{TOT}$
7. servizio a CoS=5 è invece di tipo Strict Priority con un valore di banda fisso (CIR=PIR).
8. Nella rete di accesso il traffico viene trattato rispettando la priorità richiesta attraverso algoritmi di gestione della QoS (es WRR, WFQ, etc).

Alcuni principi del Sistema trasmissivo GPON (2/2)



- ❑ **Multiplexing:** il sistema GPON consente la trasmissione contemporanea su un'unica fibra di segnali relativi a molteplici utenti utilizzando le seguente tecniche:
 - in **Downstream** si adotta una trasmissione di tipo **TDM** (Time Division Multiplexing): i segnali sono trasmessi in broadcast con tecnica a divisione di tempo verso tutti gli ONT appartenenti allo stesso albero e questi ultimi provvedono a filtrare i dati a loro diretti collocati in un particolare time slot;
 - In **Upstream** si adotta una trasmissione di tipo **TDMA** (Time Division Multiple Access): ogni ONT trasmette i propri dati all'interno di un timeslot ad esso assegnato dall'OLT.
- ❑ La trasmissione in upstream è gestita tramite un meccanismo di controllo di accesso al mezzo (**MAC - Media Access Control**), che consente l'allocazione dinamica della banda (**DBA – Dynamic Bandwidth Assignment**) in upstream;

Multiplexing GPON (1/2)



- La **GEM Port**: l'unità minima per il trasporto dei servizi.
- **T-CONT**: Transmission Container è una sorta di Buffer per i servizi che viene utilizzato per trasmettere i dati e per l'assegnazione dinamica della banda in upstream.

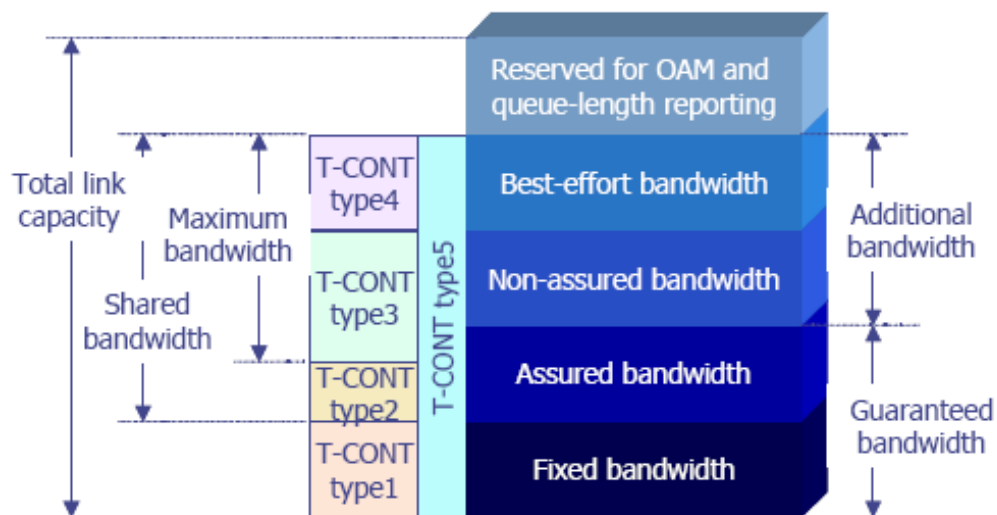
- Le porte GPON utilizzano un metodo di incapsulamento **GEM (GPON Encapsulation Method)** per il trasporto del traffico Ethernet in modo nativo.
- In base allo schema di mappatura, il traffico relativo ad uno o più servizi (es. voce, dati, etc.) viene trasportato verso diverse GEM port e quindi verso diversi T-CONT.
- La mappatura tra GEM port e T-CONT è flessibile: una GEM port può corrispondere ad un T-CONT oppure più GEM Port possono corrispondere allo stesso T-CONT.
- L'interfaccia GPON di una ONT contiene uno o più T-CONT.



Multiplexing GPON (2/2)

I T-CONT vengono utilizzati principalmente per migliorare l'utilizzo della banda in upstream sulla PON nel transmission convergence layer.

- Le tipologie di T-CONT rientrano in FB, AB, NAB e BE.
- Cinque tipi di T-CONT: Type1, Type2, Type3, Type4 e Type5.



BW Type	Delay Sensitive	Applicable T-CONT types				
		Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	Type 5
Fixed	Yes	X				X
Assured	No		X	X		X
Non-Assured	No			X		X
Best Effort	No				X	X
Max.	No			X	X	X

T-CONT type1: è a banda fissa e viene utilizzato principalmente per servizi sensibili al ritardo e servizi con priorità più elevata, come la fonia.

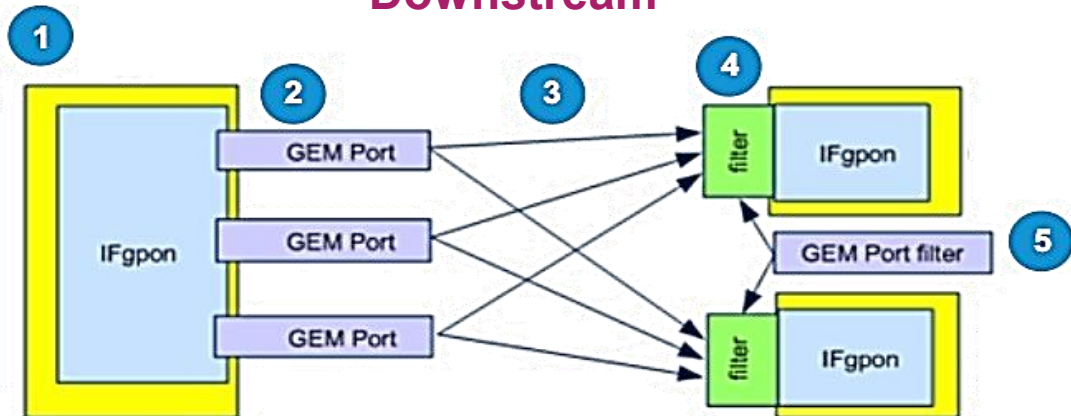
T-CONT type2 e type3: sono a banda garantita e vengono utilizzati principalmente per servizi video e dati con priorità più elevata.

T-CONT type4: è di tipo best-effort e viene utilizzato principalmente per servizi dati (come Internet ed e-mail) e servizi con priorità inferiori. Questi servizi non richiedono una banda elevata.

T-CONT type5: è di tipologia mista, coinvolge tutti i tipi di gestione di banda e supporta tutti i tipi di servizio.

Processo di forwarding GPON

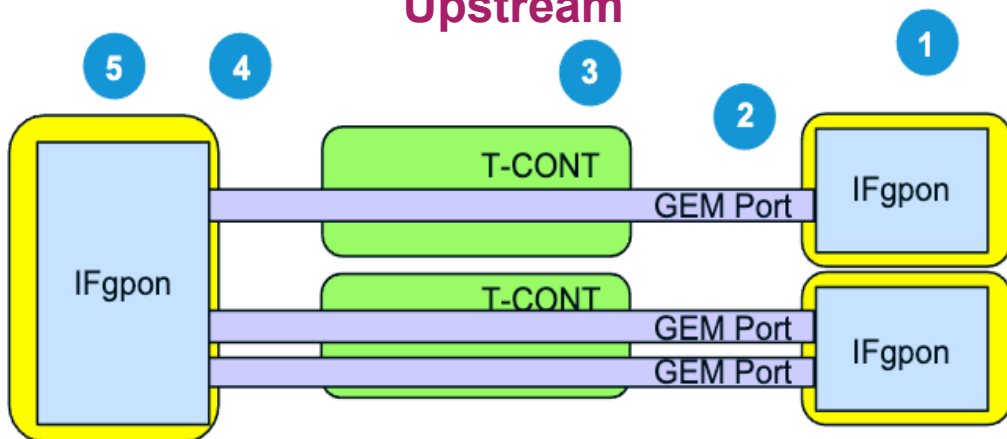
Downstream



- 1-2. L'OLT Incapsula i frame Ethernet provenienti dalle porte di Uplink nei pacchetti dati GEM (GEM PDU*) per la trasmissione in downstream
3. I frame GTC (GPON transmission convergence) che contengono le GEM PDUs sono inviati in broadcast a tutti gli ONT connessi alla porta GPON.
4. L'ONT filtra i dati ricevuti sulla base del GEM port ID, contenuto nell'header della GEM PDU, conservando solo i dati relativi alle sue porte GEM
5. ONT decapsula i dati and invia i frame Ethernet al cliente finale sulla porta di servizio ethernet.

(*) Protocol Data Unit (PDU)

Upstream



1. L'ONT invia i frame Ethernet alle porte GEM in base a regole configurate che associano le porte di servizio alle porte GEM.
2. Le porte GEM incapsulano i frame Ethernet nelle PDU GEM e le inviano alle code TCONT in base alle regole che mappano le porte GEM e le code TCONT.
3. Le code TCONT utilizzano time slot basati su DBA (dynamic Bandwidth assignment) per trasmettere le PDU GEM in upstream all'OLT
4. L' OLT decapsula la GEM PDU: il frame Ethernet originale è ora visibile.
5. OLT invia i frame Ethernet da una porta di uplink specifica in base a regole configurate che mappano le porte di servizio e le porte di uplink.