

# Descrizione della tecnologia GPON

## Sommario

---

[Introduzione](#)

[Prerequisiti](#)

[Requisiti](#)

[Componenti usati](#)

[Premesse](#)

[Terminologia](#)

[Esempio di rete](#)

[Panoramica della tecnologia](#)

[Limiti della tecnologia GPON](#)

[Budget di potenza](#)

[Percorso dei pacchetti](#)

[Percorso dei pacchetti in downstream](#)

[Struttura dei frame di pacchetti in downstream](#)

[Percorso dei pacchetti in upstream](#)

[Struttura dei frame dei pacchetti in upstream](#)

[Blocchi funzionali](#)

[Blocchi funzionali OLT](#)

[Blocchi funzionali ONU/OLT](#)

[Stack dei protocolli](#)

[Mappatura del traffico - Ethernet](#)

[OMCI](#)

[Tecniche importanti](#)

[Ranging](#)

[Tecnologia burst](#)

[Allocazione dinamica della larghezza di banda \(DBA\)](#)

[Correzione degli errori di inoltro \(FEC\)](#)

[Crittografia della linea](#)

[Modalità di protezione della rete](#)

[Tipo A](#)

[Tipo B](#)

[Tipo C](#)

---

## Introduzione

In questo documento viene descritta la tecnologia Gigabit Passive Optical Network (GPON) e il suo funzionamento.

## Prerequisiti

## Requisiti

Nessun requisito specifico previsto per questo documento.

## Componenti usati

Il documento può essere consultato per tutte le versioni software o hardware.

Le informazioni discusse in questo documento fanno riferimento a dispositivi usati in uno specifico ambiente di emulazione. Su tutti i dispositivi menzionati nel documento la configurazione è stata ripristinata ai valori predefiniti. Se la rete è operativa, valutare attentamente eventuali conseguenze derivanti dall'uso dei comandi.

## Premesse

La tecnologia GPON è un'alternativa allo switching Ethernet nelle reti dei campus. GPON sostituisce la tradizionale architettura Ethernet a tre livelli con una rete ottica a due livelli sostituendo gli switch Ethernet di accesso e distribuzione con dispositivi ottici passivi. Cisco sta introducendo la tecnologia GPON sulla piattaforma Catalyst GPON.

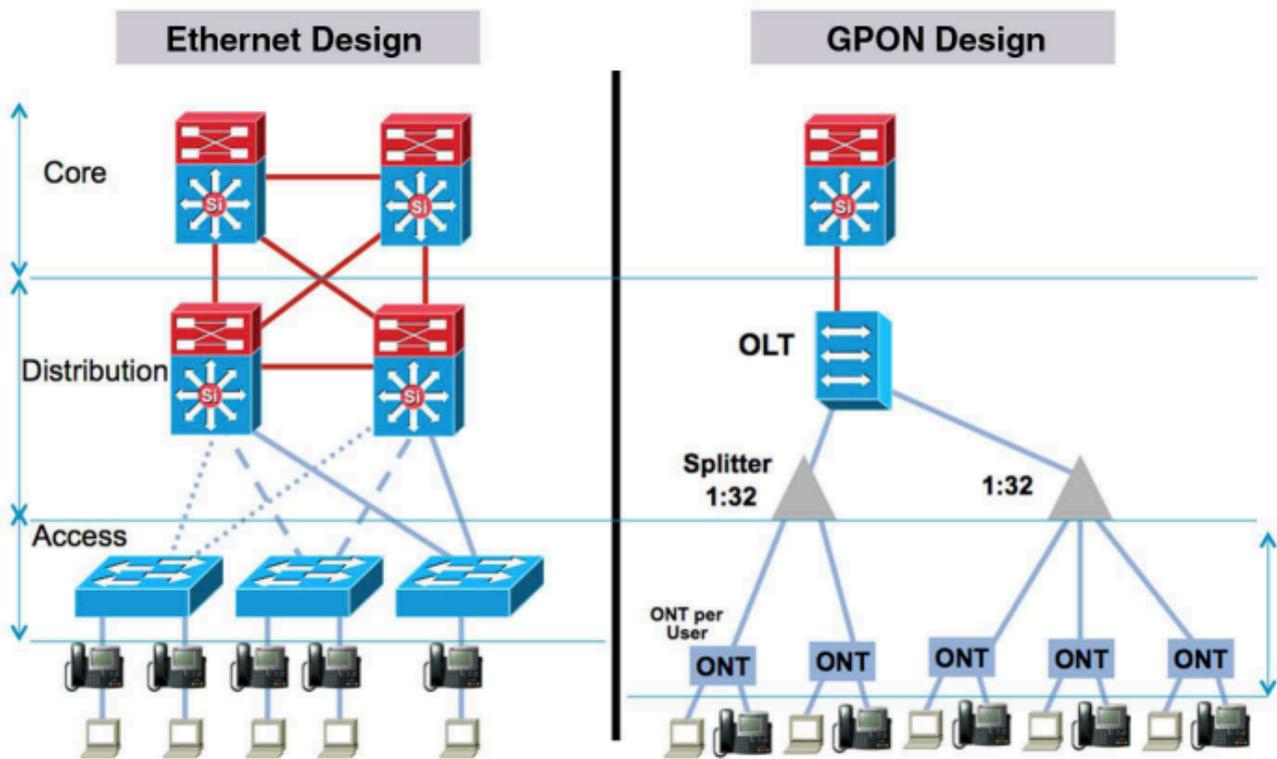
## Terminologia

- Gigabit-capable Passive Optical Network (GPON): standard ITU-T per reti ottiche passive, o PON (Passive Optical Network).
- Optical Distribution Network (ODN): rete di distribuzione ottica composta da dispositivi fisici ottici e cavi in fibra per la distribuzione dei segnali. La rete ODN è composta da componenti ottici passivi, o POS (Passive Optical Component), come le fibre ottiche o gli splitter ottici passivi.
- Optical Network Termination (ONT) / Optical Network Units (ONU): terminali o unità di rete ottica usati per collegare i dispositivi dell'utente finale (desktop, telefoni, ecc.) alla rete GPON. Si occupano anche di convertire i segnali ottici in segnali elettrici. Le unità ONT forniscono anche la crittografia AES tramite chiave ONT.
- Splitter: utilizzati per aggregare o sommare i segnali ottici destinati a un cavo in fibra ottica upstream. In genere il rapporto è 1:32.
- Optical Line Terminal (OLT): terminale di linea ottica, ovvero un dispositivo che aggrega tutti i segnali ottici delle unità ONT in un unico fascio di luce, lo trasforma in un segnale elettrico e lo incapsula in un pacchetto Ethernet che verrà inoltrato sul Layer 2 o sul Layer 3.
- Wavelength-Division Multiplexing (WDM): una tecnologia di moltiplicazione che permette di sommare una serie di segnali ottici in un'unica fibra ottica usando lunghezze d'onda (colori) diverse della luce laser.
- Metodo di incapsulamento GEM GPON (GEM): un modello di trasporto dei frame dati usato nelle reti ottiche passive Gigabit (GPON) e orientato alle connessioni che può supportare la frammentazione dei frame dati degli utenti in frammenti di trasmissione di dimensioni variabili.
- Fiber to the X (FTTX): il termine FTTX indica genericamente un'architettura di rete in cui viene usata la fibra ottica; si distinguono due tipi: FTTP/FTTH/FTTB (fibra fino

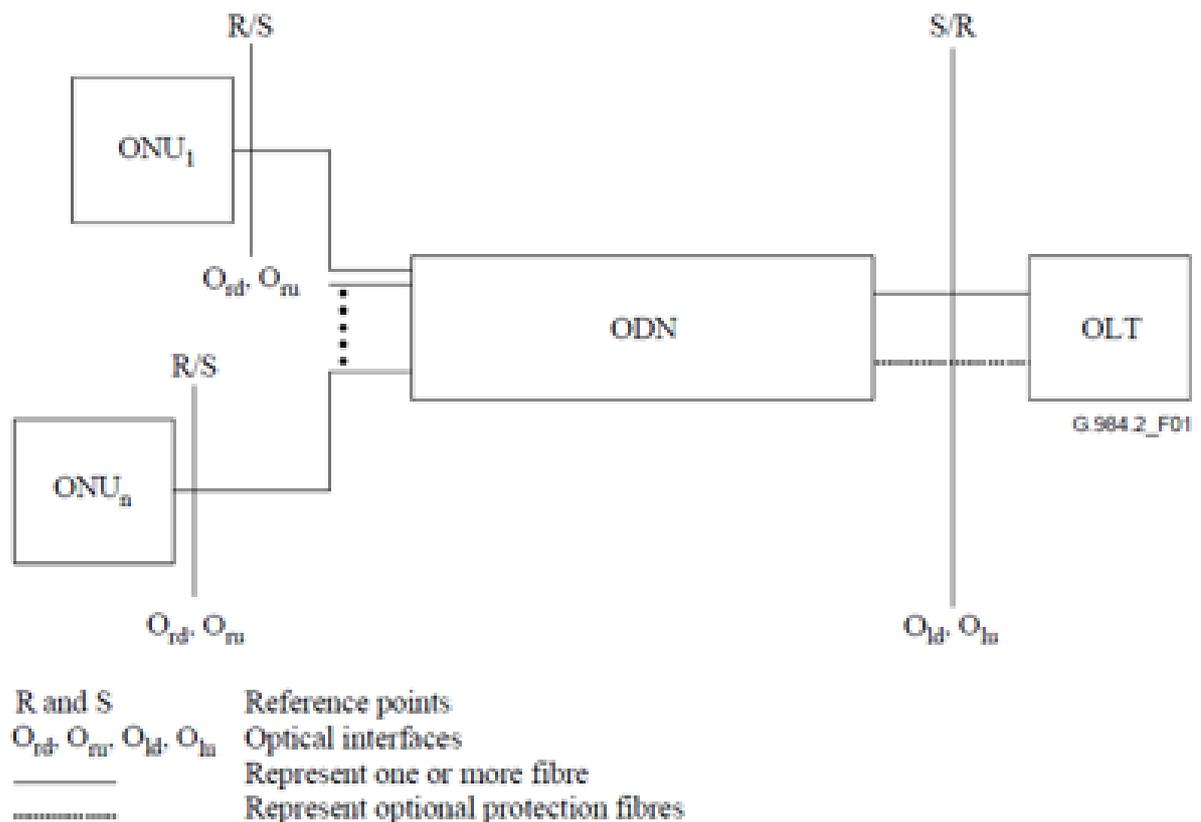
alla sede/casa/edificio) e FTTC/N (fibra fino all'armadio/nodo, con fili in rame che completano il collegamento).

- T-CONT/TCONT (Transmission Container): container di trasmissione
- OMCC: Optical Network Unit Management and Control Channel
- OMCI: Optical Network Unit Management and Control Interface
- PCBd (Physical Control Block downstream): blocco di controllo fisico downstream
- TDM (Time Division Multiplexing): moltiplicazione a divisione di tempo
- TDMA (Time Division Multiple Access): accesso multiplo a divisione di tempo

## Esempio di rete



## Panoramica della tecnologia



- Il dispositivo OLT è collegato allo splitter ottico tramite una fibra ottica, quindi lo splitter ottico è collegato alle unità ONU/ONT.
- GPON usa la tecnica WDM per trasmettere i dati di diverse lunghezze d'onda in upstream o in downstream sulla stessa rete ODN. Le lunghezze d'onda variano nell'intervallo 1290 - 1330 nm in upstream e nell'intervallo 1480 - 1500 nm in downstream.
- I dati vengono trasmessi in modalità broadcast in downstream; in upstream i dati vengono trasmessi in modalità burst con la tecnica TDMA (basata sugli intervalli di tempo).
- La trasmissione supportata è di tipo multicast point-to-multipoint (P2MP).

### Limiti della tecnologia GPON

- Copertura logica massima: 60 km, distanza massima gestita dai layer superiori del sistema (MAC, TC, Ranging), in attesa di una futura specifica dipendente dal supporto fisico (PMD).
- Distanza massima della fibra tra i punti di invio/ricezione (S/R) e di ricezione/invio (R/S): 20 km
- Differenza massima tra l'ONU/ONT più vicina/più lontana e l'OLT: 20 km
- Rapporto di divisione (split ratio): limitato dalla perdita del percorso, PON con splitter passivi (ripartizione a 16, 32 o 64 vie)
- Velocità: 1.24416 Gigabits/s in upstream, 2.48832 Gigabits/s in downstream

## Budget di potenza

Quando si usa la tecnologia GPON occorre tenere conto della perdita di potenza ottica. Questa perdita può essere causata da:

- Perdita negli splitter
- Perdita per km di fibra (circa 0,35 dB per km per 1310, 1490 nm)
- Perdita nei giunti ( > 0,2 dB)
- Perdita nei connettori (0,6 dB)
- Flessione della fibra

L'immagine mostra la quantità di perdita causata dall'uso di più splitter:

<b>Optical Splitters</b>	<b>Loss [dB]</b>
Splitter 1 x 64	20.1
Splitter 1 x 32	17.4
Splitter 1 x 16	13.8
Splitter 1 x 8	10.5
Splitter 1 x 4	7.0

L'immagine mostra la perdita del percorso ottico minima e massima per classe:

Table G.984.2 – Classes for optical path loss

	Class A	Class B	Class B+	Class C
<b>Minimum loss</b>	<b>5 dB</b>	<b>10 dB</b>	<b>13 dB</b>	<b>15 dB</b>
<b>Maximum loss</b>	<b>20 dB</b>	<b>25 dB</b>	<b>28 dB</b>	<b>30 dB</b>

**NOTE** – The requirements of a particular class may be more stringent for one system type than for another, e.g. the class C attenuation range is inherently more stringent for TCM systems due to the use of a 1:2 splitter/combiner at each side of the ODN, each having a loss of about 3 dB.

## Percorso dei pacchetti

### Percorso dei pacchetti in downstream

L'immagine mostra i pacchetti trasmessi in downstream dall'OLT alle varie unità ONU.

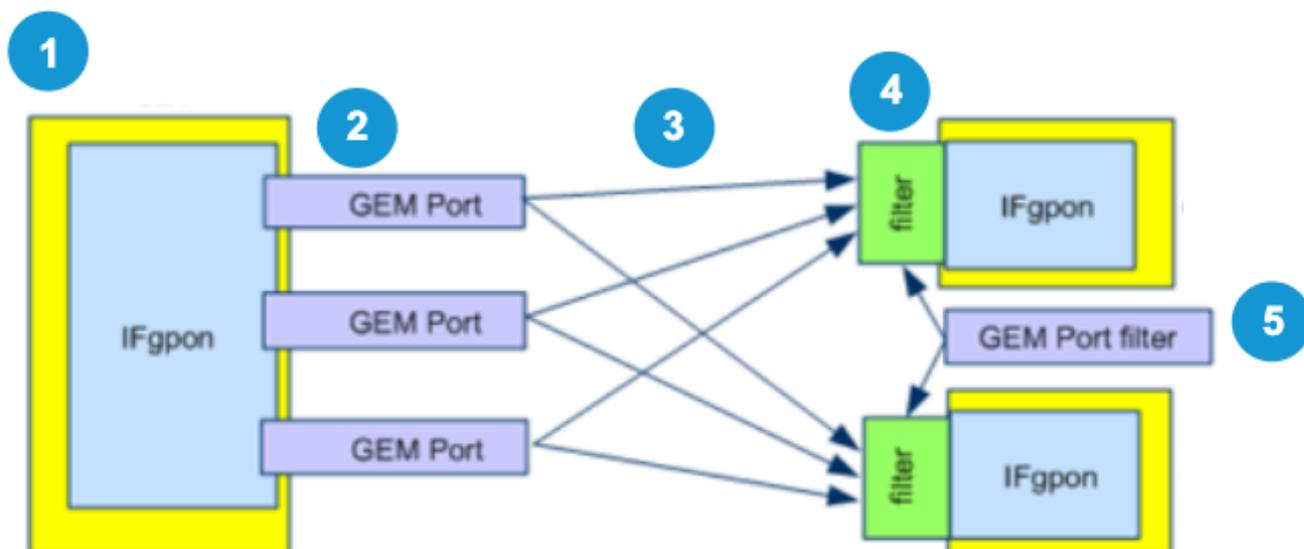


 **Suggerimento:** downstream dal punto di vista dello splitter. Il traffico viene indirizzato dallo splitter alle ONU/ONT, ovvero agli utenti finali.

- I pacchetti in downstream sono inoltrati in modalità broadcast, con gli stessi dati inviati a tutte le ONU/ONT con dati diversi identificati dall'ID della porta GEM.
- Consente a un'ONU/ONT di ricevere i dati desiderati dall'ID ONU.
- L'intervallo di lunghezze d'onda in downstream è 1480 - 1500 nm.
- Downstream in modalità continua - Anche in assenza di traffico su GPON, è presente un

segnale costante, a meno che il laser non sia stato spento per motivi amministrativi.

L'immagine mostra la procedura di inoltramento dei pacchetti in downstream.



1. L'OLT invia i frame Ethernet dalle porte Uplink al modulo di elaborazione del servizio GPON in base alle regole configurate sulle porte PON.
2. Il modulo di elaborazione del servizio GPON incapsula quindi i frame Ethernet in pacchetti di dati della porta GEM per trasmetterli downstream.
3. I frame di convergenza della trasmissione GPON, o GTC (GPN Transmission Convergence) contengono GEM PDU e vengono trasmessi a tutte le unità ONT/ONU collegate alla porta GPON.
4. Le unità ONT/ONU filtrano i dati ricevuti in base all'ID della porta GEM contenente l'intestazione GEM PDU e conserva solo i dati importanti per le porte GEM su questa ONT/ONU.
5. L'ONT decapsula i dati e invia i frame Ethernet agli utenti finali tramite le porte di servizio.

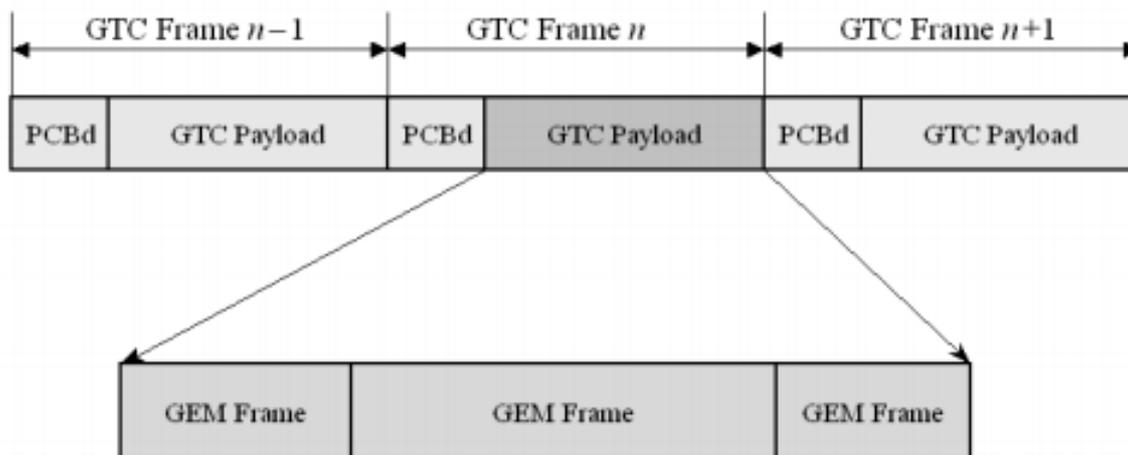
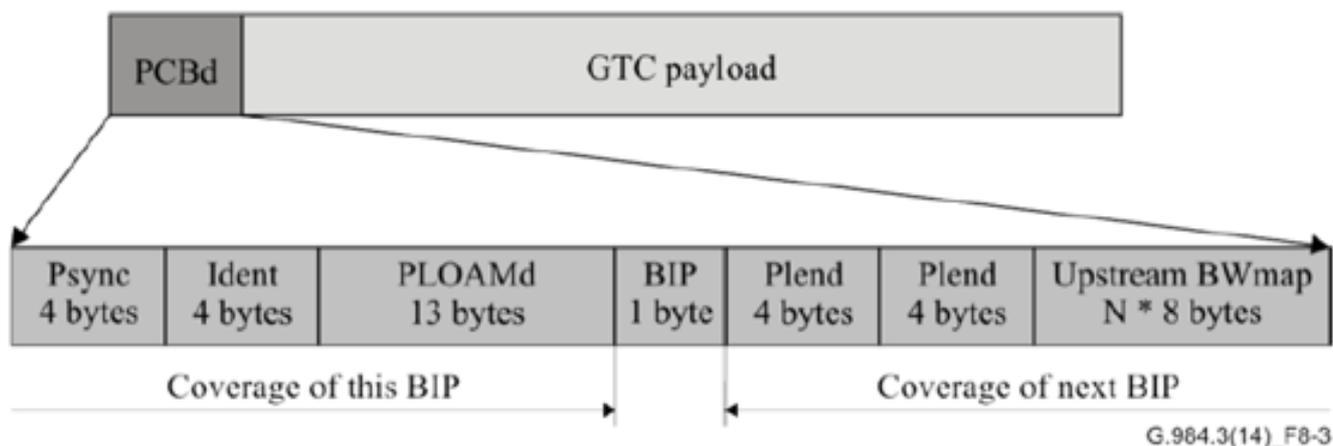
### Struttura dei frame di pacchetti in downstream

- Un frame GPON in downstream ha una lunghezza fissa di 125  $\mu$ s ed è costituito da due componenti: blocco di controllo fisico downstream (PCBd) e payload.
- L'OLT trasmette il PCBd a tutte le unità ONU/ONT. Le unità ONU/ONT ricevono il PCBd e leggono le informazioni contenute.
- Il PCBd è costituito dall'intestazione GTC e da BWmap:
  - Intestazione GTC: utilizzata per delimitare i frame, sincronizzarli ed eseguire la

correzione degli errori di indietro, o FEC (Forward Error Correction).

- BWmap: campo per notificare l'allocazione della larghezza di banda in upstream per ciascuna ONU. Specifica gli intervalli di tempo di inizio e fine upstream per i T-CONT di ogni ONU; in questo modo tutte le ONU inviano i dati in base agli intervalli di tempo specificati dall'OLT evitando ogni conflitto.

L'immagine mostra una vista espansa del PCBd e del contenuto nel payload GTC.



Terminologia principale:

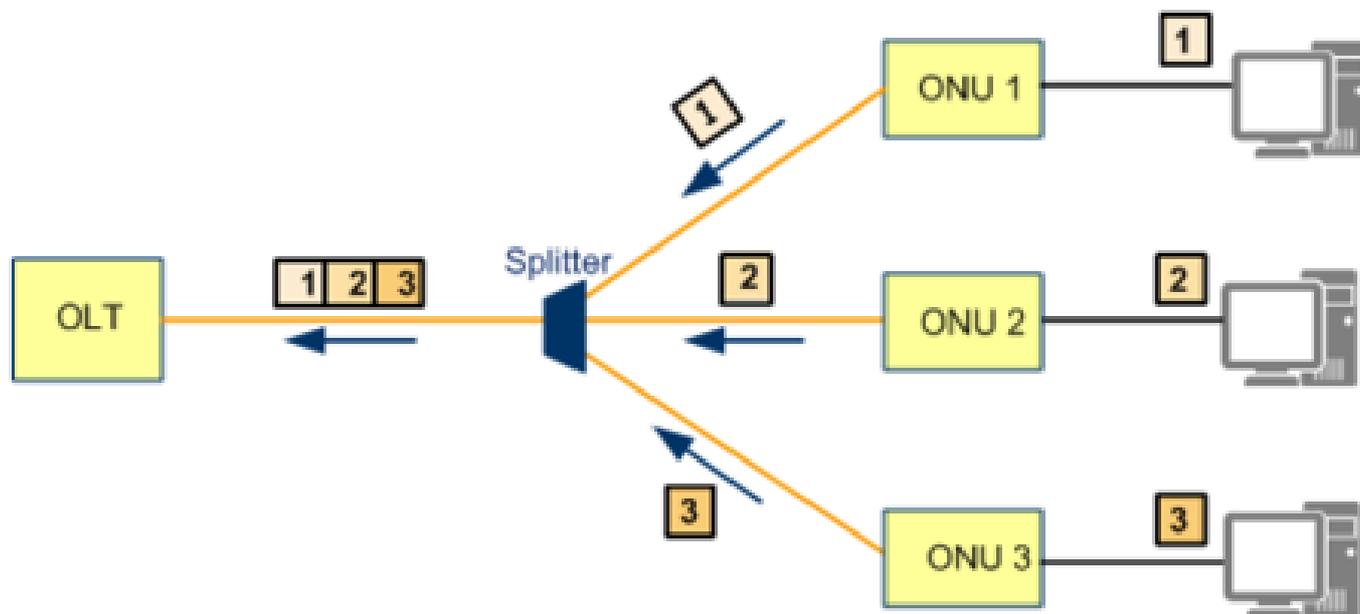
- Psync (4 byte): campo di sincronizzazione fisica. Indica l'inizio di ogni PCBd.
- Ident (4 byte): utilizzato per indicare strutture di frame più grandi. Contiene il contatore dei superframe utilizzato dal sistema di crittografia.
- PLOAMd (lunghezza 13 byte): campo downstream di PLOAM (Physical Layer OAM). una sorta di canale di funzionamento e gestione basato sui messaggi tra l'OLT e le ONU/ONT.
- BIP (1 byte): parità bit interleaved del ricevente usata per contare il numero di errori sul

collegamento.

- Plend (4 byte): lunghezza del payload in downstream.

## Percorso dei pacchetti in upstream

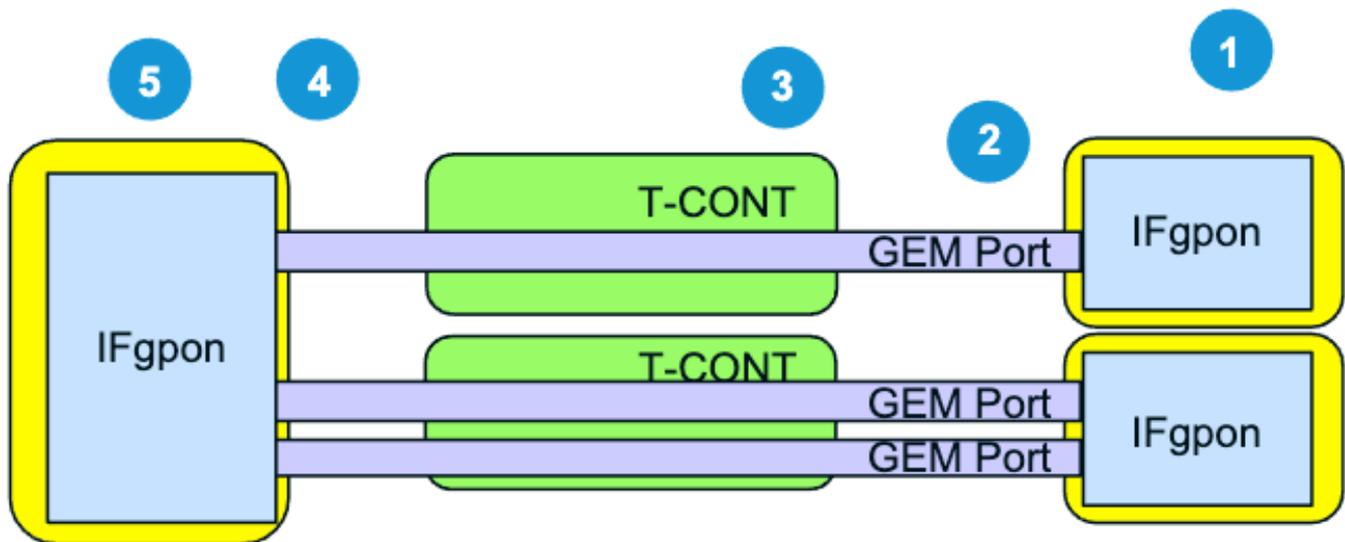
L'immagine mostra il flusso dei pacchetti in upstream tra le unità ONU e l'OLT.



 Suggestione: pensiamo all'upstream dalla prospettiva dello splitter, ovvero come traffico inviato dall'ONU/ONT verso l'OLT.

- La trasmissione dei pacchetti in upstream avviene tramite una tecnica di moltiplicazione numerica chiamata TDMA (Time Division Multiple Access).
  - La distanza viene misurata tra l'OLT e l'ONT/ONU.
  - Gli intervalli di tempo vengono assegnati in base alla distanza.
  - L'ONT/ONU invia il traffico upstream in base all'intervallo di tempo concesso.
- L'allocazione dinamica della larghezza di banda, o DBA (Dynamic Bandwidth Allocation), permette all'OLT di monitorare in tempo reale la larghezza di banda e la configurazione e di verificare se il traffico è congestionato.
- Rileva e previene le collisioni tramite la tecnica ranging.
- Gli intervalli delle lunghezze d'onda in upstream variano da 1290 a 1330 nm.

L'immagine mostra la procedura di inoltro dei pacchetti in upstream.



1. L'ONT/ONU invia i frame Ethernet alle porte GEM in base alle regole configurate che mappano le porte di servizio e le porte GEM.
2. Le porte GEM incapsulano i frame Ethernet nelle GEM PDU e aggiungono queste PDU alle code TCONT in base alle regole che mappano le porte GEM e le code TCONT.
3. Le code TCONT usano gli intervalli di tempo basati su DBA, quindi trasmettono le GEM PDU in upstream all'OLT.
4. L'OLT decapsula la GEM PDU, il frame Ethernet originale è ora visibile.
5. L'OLT invia i frame Ethernet da una porta di uplink specificata in base alle regole che mappano le porte di servizio e le porte di uplink.

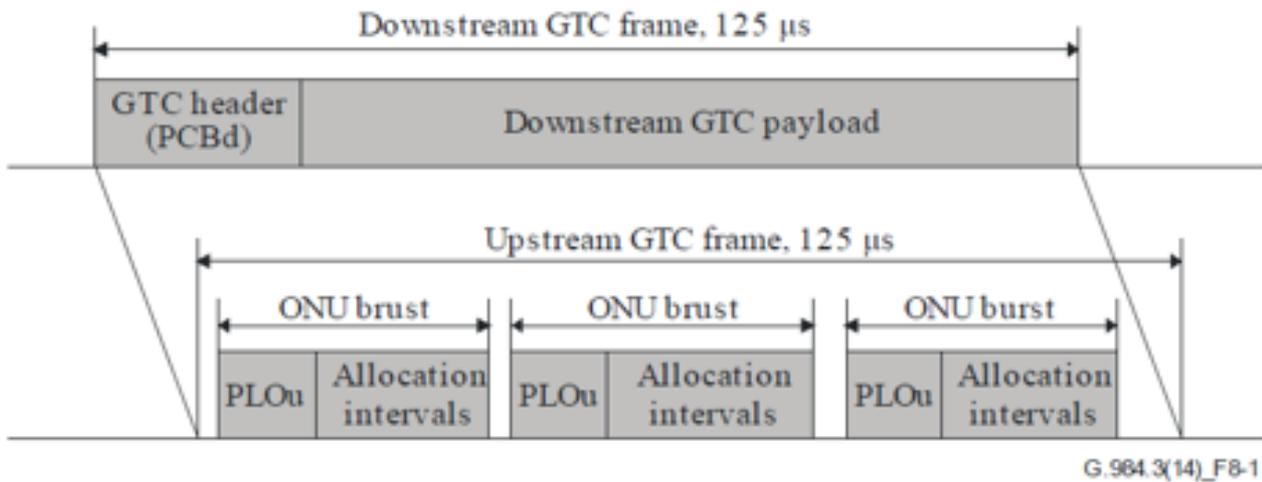
### Struttura dei frame dei pacchetti in upstream

- Ogni frame GPON in upstream ha una lunghezza fissa di 125  $\mu$ s.
- Il contenuto di ogni frame upstream viene trasportato da uno o più T-CONT/TCONT.
- Tutte le ONU connesse a una porta GPON condividono la stessa larghezza di banda in upstream.
- Tutte le ONU inviano i propri dati in upstream negli intervalli di tempo assegnati in base a quanto stabilito nella mappa della larghezza di banda (BWmap).
- Ogni ONU riporta lo stato dei dati da inviare all'OLT mediante l'utilizzo di frame upstream. OLT utilizza DBA per allocare Fasce temporali a monte alle Nazioni Unite e invia aggiornamenti in ogni fotogramma.

 Nota: i frame upstream vengono inviati in modalità burst e comprendono il sovraccarico del

- 
-  livello fisico in upstream, o PLOu (Physical Layer Overhead upstream), e uno o più intervalli di allocazione della larghezza di banda associati a un Alloc-ID specifico.
- 

L'immagine mostra la differenza tra un frame downstream e un frame upstream.

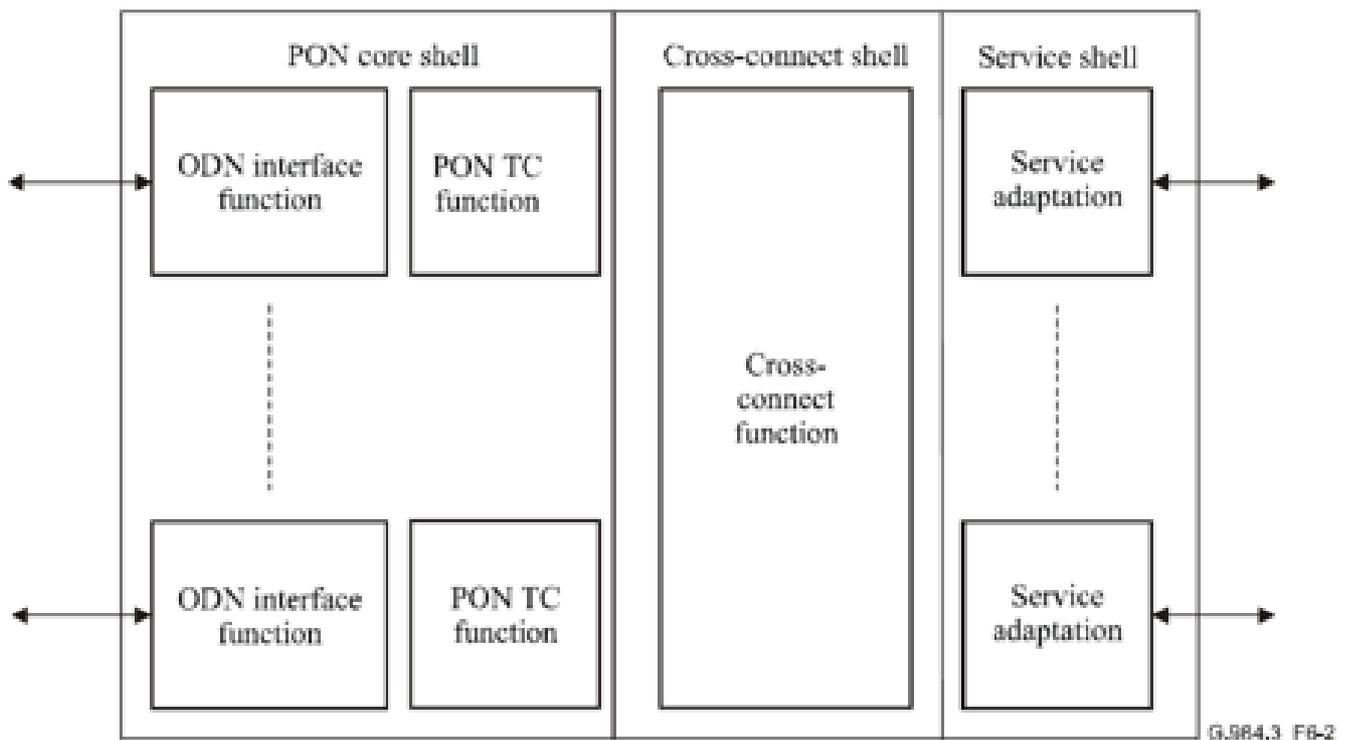


Terminologia principale:

- Physical Layer Overhead upstream (PLOu): sovraccarico del layer fisico in upstream.
- Physical Layer OAM upstream (PLOAMu): messaggi PLOAM dei dati upstream, una sorta di canale di funzionamento e gestione basato sui messaggi tra l'OLT e le ONU/ONT.
- Power Level Sequence upstream (PLSu): sequenza dei livelli di potenza in upstream
- Dynamic Bandwidth Report upstream (DBRu): report della larghezza di banda dinamico in upstream
- Payload: Dati dell'utente

## Blocchi funzionali

Blocchi funzionali OLT

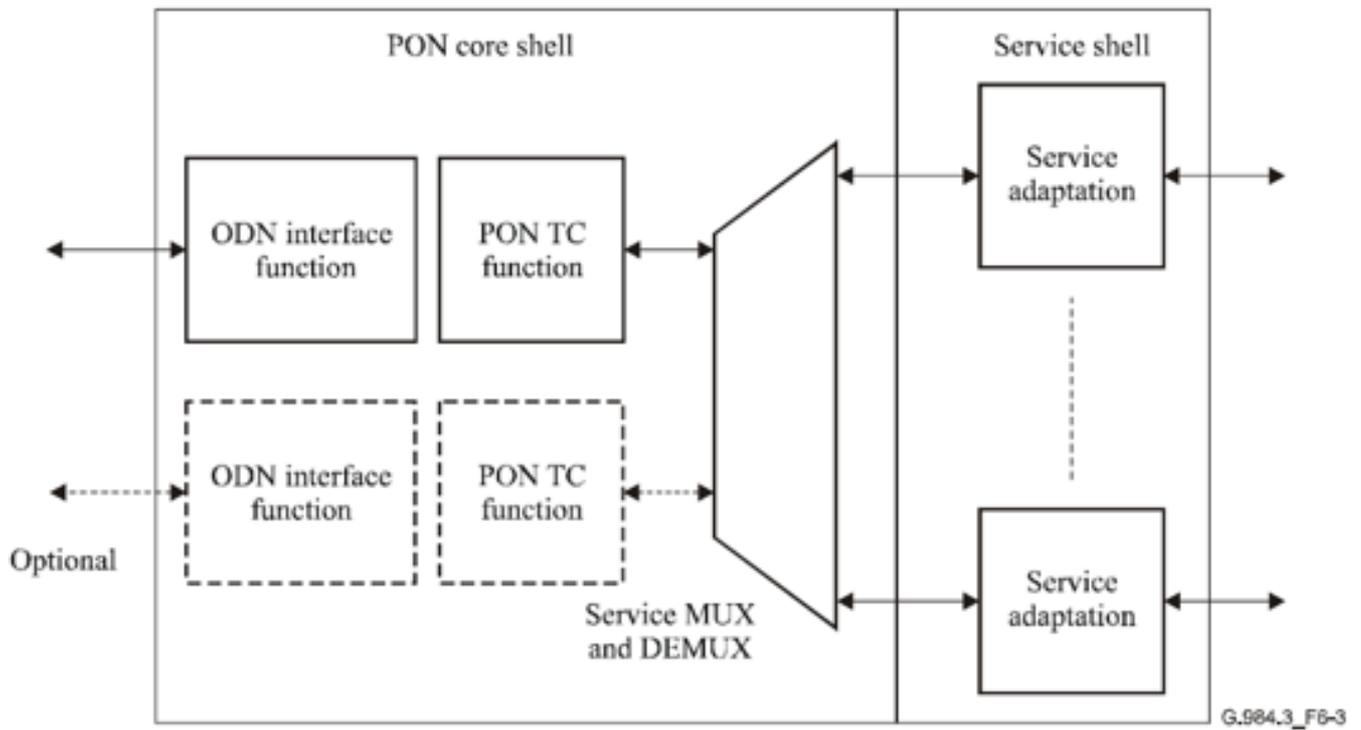


Un OLT è composto da tre sezioni principali:

1. Funzione interfaccia della porta di servizio: converte le interfacce di servizio in interfacce dei frame TC nella sezione PON.
2. Funzionalità di connessione incrociata: fornisce un percorso di comunicazione tra la shell della PON e la shell di Servizio e una funzionalità di connessione incrociata.
3. Interfaccia della rete ODN (Optical Distribution Network): ulteriormente suddivisa in due sezioni:

- Funzione di interfaccia PON
- Funzione TC PON: responsabile del framing, del controllo degli accessi, delle funzioni OAM, DBA, della definizione delle Protocol Data Unit (PDU) per la funzionalità di connessioni incrociate e della gestione delle ONU.

Blocchi funzionali ONU/OLT

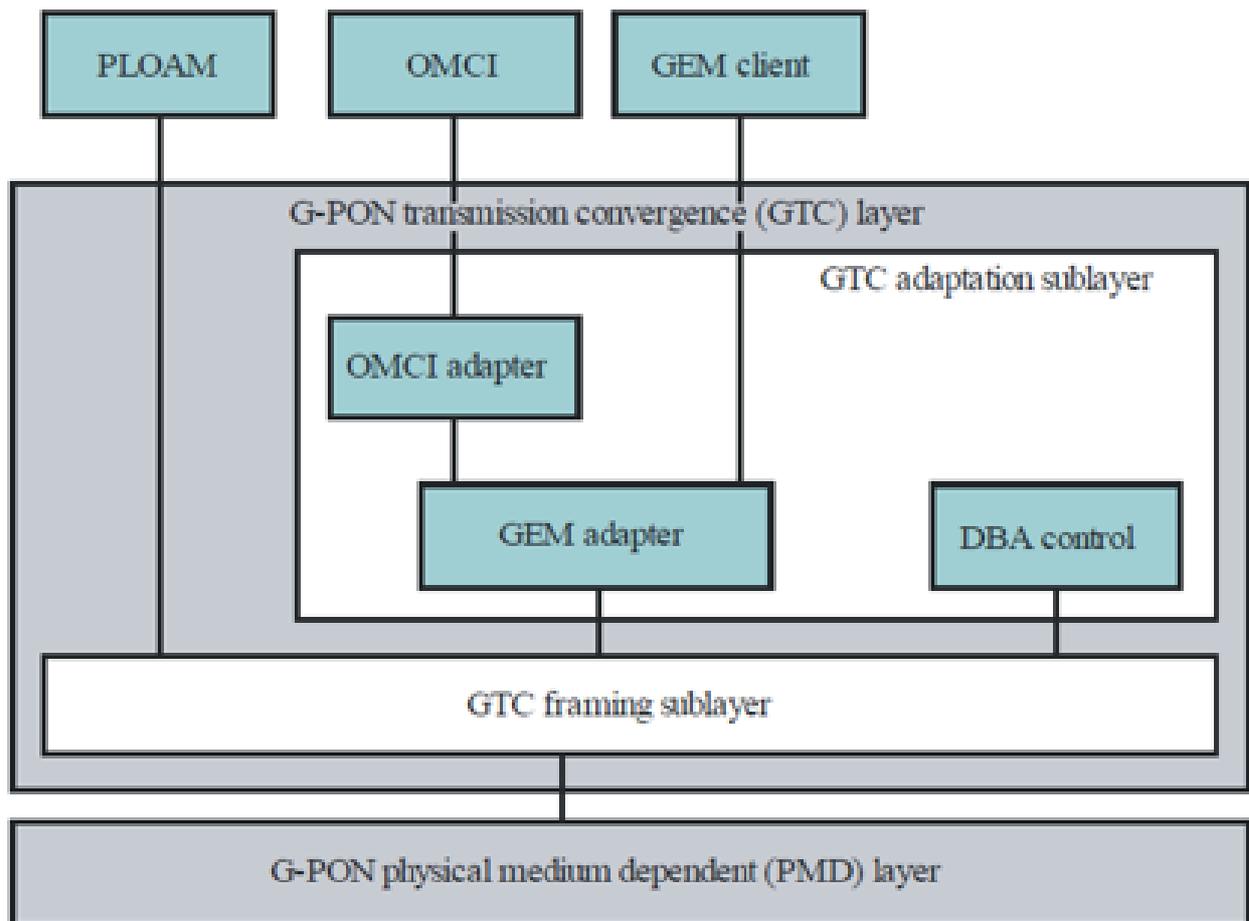


I blocchi funzionali sono simili all'OLT. Nello scenario in cui l'ONU/OLT funziona con una singola interfaccia PON (max 2), la funzione di connessione incrociata viene omessa. Il traffico viene quindi gestito dai servizi MUX e DEMUX.

## Stack dei protocolli

Il protocollo GPON ha il proprio stack, Ethernet o IP.

L'immagine mostra lo stack dei protocolli per GPON:



G.984.3(14)\_F7-1

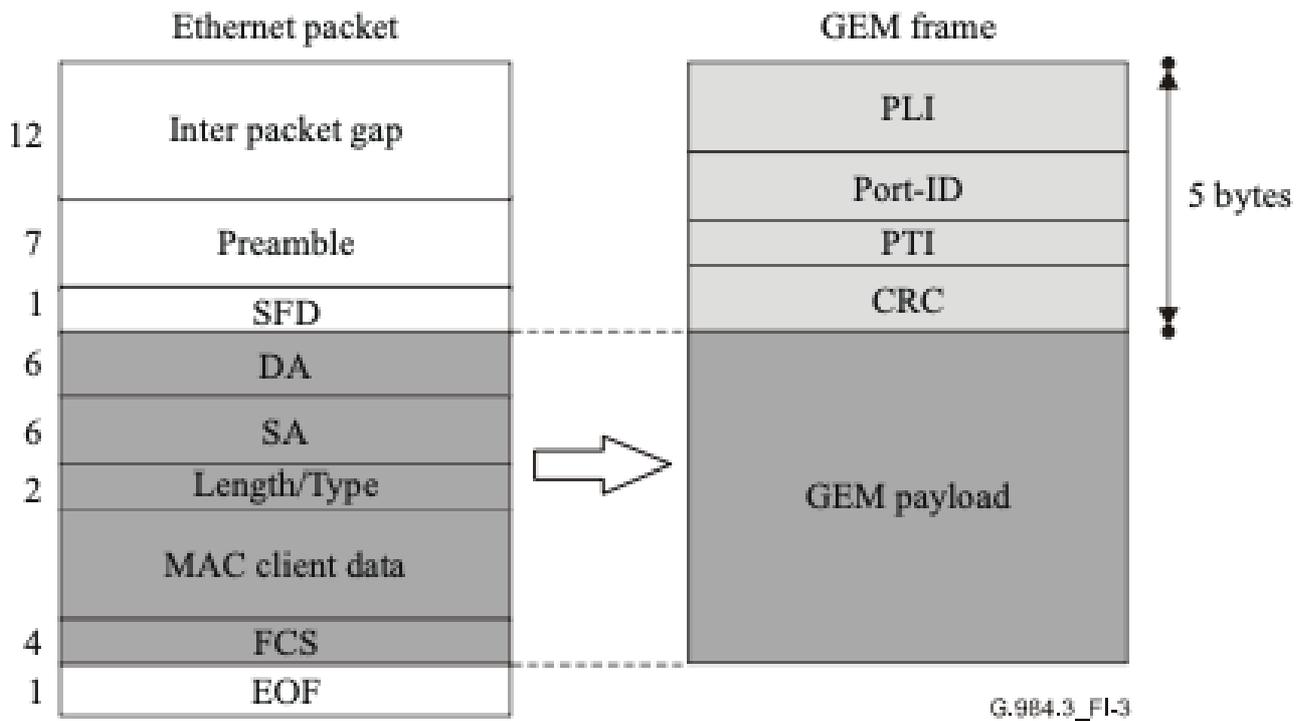
Terminologia principale:

- PMD Layer: equivalente alle interfacce GPON situate tra le unità OLT e le unità ONU.
- GTC Layer: responsabile dell'incapsulamento dei payload usati dalle celle ATM o dai frame GEM. I frame GEM possono trasportare celle Ethernet, POTS, E1 e T1.

Mappatura del traffico - Ethernet

- Risolve i frame Ethernet e mappa direttamente i dati dei frame Ethernet con il payload GEM.
- I frame GEM incapsulano automaticamente le informazioni dell'intestazione.
- Allineamento 1:1 tra il frame Ethernet e il frame GEM.

L'immagine mostra come il frame Ethernet venga mappato su un frame GEM:



## OMCI

- I messaggi ONU Management and Control Interface (OMCI) vengono utilizzati per rilevare le unità ONT/ONU e per gestirle e controllarle.
- Questi messaggi specifici vengono inviati sulle porte GEM dedicate stabilite tra un OLT e un'unità ONT/ONU.
- Il protocollo OMCI consente a un OLT di:
  - Stabilire e annullare le connessioni con l'ONT.
  - Gestire le UNI sull'ONT.
  - Chiedere informazioni sulla configurazione e statistiche sulle prestazioni.
  - Generare avvisi automatici al verificarsi di eventi, ad esempio un errore nel collegamento.

## Considerazioni principali:

- Il protocollo viene eseguito su una connessione GEM tra l'OLT e l'ONT.
- La connessione GEM viene stabilita durante l'inizializzazione dell'ONT.
- Il funzionamento del protocollo è asincrono - OLT è il controller principale, ONT è il controller secondario.

# Tecniche importanti

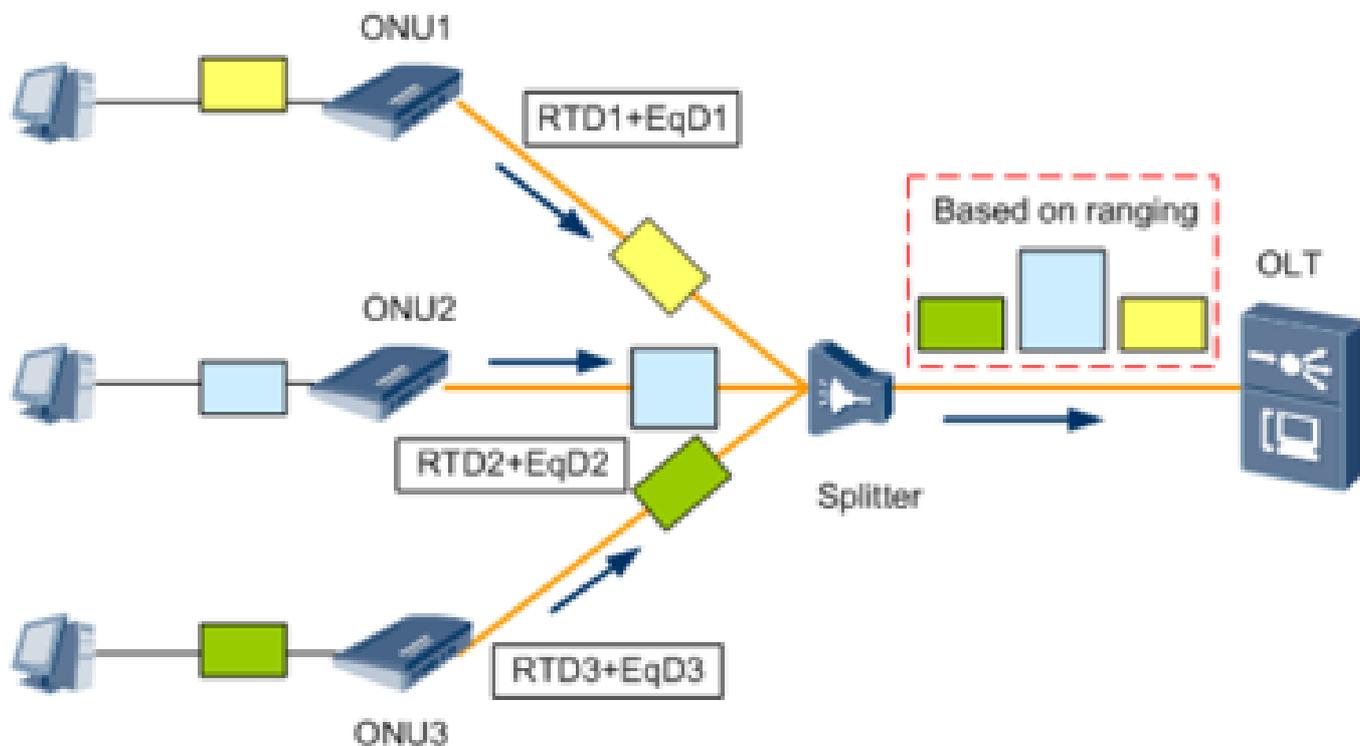
## Ranging

Per evitare collisioni tra i dati, l'OLT deve poter calcolare con precisione la distanza che lo separa da ciascuna unità ONU per fornire un intervallo di tempo corretto e favorire la trasmissione dei dati in upstream. Ciò consente alle unità ONU di inviare i dati a intervalli di tempo specifici ed evitare conflitti durante la trasmissione in upstream. Questo processo è realizzato attraverso una tecnica chiamata "ranging".

Processo ranging:

- L'OLT avvia il processo su una ONU quando questa si registra per la prima volta nell'OLT e riceve il tempo di round trip RTD (Round Trip Delay) dell'ONU. In base al valore RTD, vengono identificati gli altri componenti principali:
- Calcolo della copertura fisica di una specifica ONU, in quanto l'OLT richiede un ritardo di equalizzazione adeguato, o EqD (Equalization Delay), per ogni ONU in base alla copertura fisica.
- I valori RTC ed EqD sincronizzano i frame di dati inviati da tutte le ONU.

L'immagine mostra un esempio del processo con cui tutte le ONU/ONT sono poste alla stessa distanza virtuale dall'OLT.

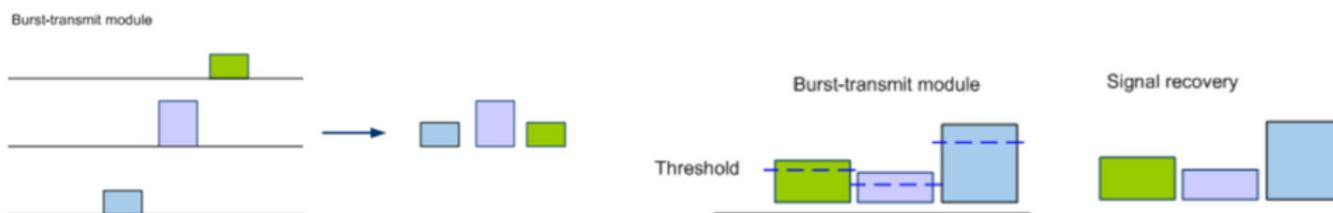


## Tecnologia burst

Il flusso di pacchetti upstream avviene tramite burst e ogni ONU/ONT è responsabile della trasmissione dei dati entro gli intervalli di tempo assegnati. Al di fuori degli intervalli di tempo stabiliti, il dispositivo disabilita la trasmissione del ricetrasmittitore ottico in modo che non vi siano conseguenze sulle unità ONU/ONT.

- La funzione di trasmissione burst è supportata solo dai moduli ONU/ONT.
- La funzione di ricezione burst è supportata solo dai moduli OLT.
- La diversa distanza tra ciascun ONU/ONT e l'OLT provoca un'attenuazione del segnale ottico. Di conseguenza, la potenza e il livello dei pacchetti ricevuti da un OLT variano a seconda degli intervalli di tempo.
- La regolazione dinamica del valore della soglia permette all'OLT di regolare dinamicamente questo valore limite in base ai vari livelli di potenza ottica. In questo modo è possibile recuperare tutti i segnali ONU.

L'immagine mostra un esempio di diversi dati trasmessi in modalità burst e recuperati:



## Allocazione dinamica della larghezza di banda (DBA)

L'allocazione dinamica della larghezza di banda, o DBA (Dynamic Bandwidth Allocation), consente a un modulo OLT di rilevare un'eventuale congestione di traffico sulla rete PON in tempo reale. Ciò consente all'OLT di adattare la larghezza di banda in base a diversi fattori, tra cui congestione, utilizzo della larghezza di banda e configurazione.

Considerazioni principali sulla DBA:

- Il modulo DBA integrato nell'OLT raccoglie costantemente report DBA, esegue calcoli e avvisa l'unità ONU usando il campo BWMap del frame downstream.
- In base alle informazioni BWMap, l'unità ONU invia i dati upstream negli intervalli di tempo assegnati per assicurarsi la larghezza di banda in upstream.
- La larghezza di banda può essere assegnata anche in modalità statica/fissa.
- L'uso della funzionalità DBA permette di:
  - Uso migliorato della larghezza di banda upstream su una porta PON.

- Larghezza di banda più elevata e un maggiore supporto per gli utenti su una porta PON.

## Correzione degli errori di inoltro (FEC)

La trasmissione di segnali digitali può introdurre errori di bit e jitter, fino a compromettere la qualità della trasmissione del segnale. GPON può sfruttare la funzionalità FEC in modo da verificare se sono presenti bit di errore sul lato ricezione del collegamento.

---

 Nota: la funzionalità FEC è unidirezionale e non supporta il feedback delle informazioni di errore.

---

Considerazioni principali sulla funzionalità FEC:

- I dati non devono essere ritrasmessi.
- La funzionalità FEC è supportata solo in direzione downstream.
- La qualità della trasmissione viene migliorata dall'elaborazione di PCBd e payload.

## Crittografia della linea

Tutti i dati downstream vengono trasmessi a tutte le unità ONU. Alcune unità ONU potrebbero quindi ricevere dati downstream che sono in realtà destinate ad altre unità ONU. Per evitare questo problema, GPON usa l'algoritmo AES128 per criptare i pacchetti di dati.

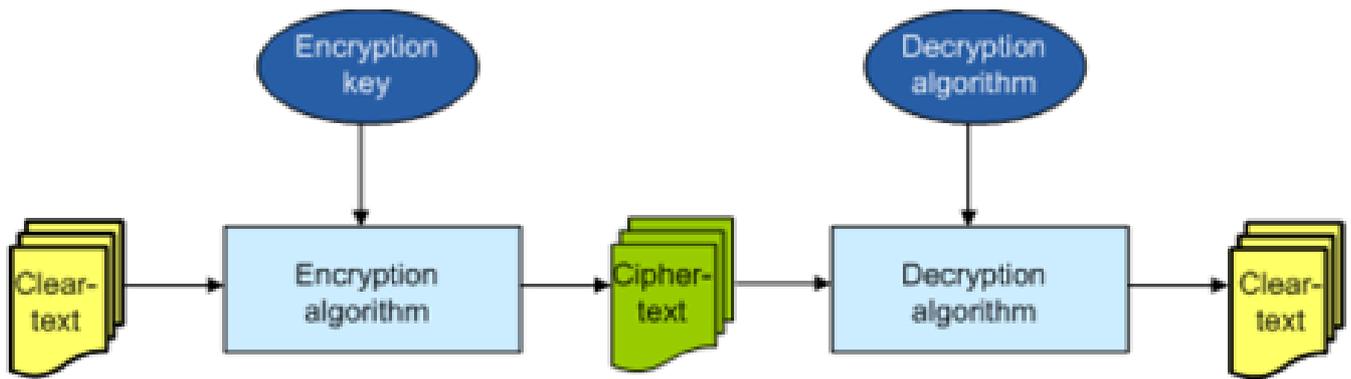
Considerazioni principali sulla crittografia della linea:

- L'uso della crittografia della linea non aumenta il sovraccarico né diminuisce l'uso della larghezza di banda.
- L'uso della crittografia della linea non aumenta i ritardi trasmissione.

Scambio delle chiavi e switchover

- L'OLT avvia una richiesta di scambio delle chiavi all'ONU. L'ONU risponde alla richiesta con una nuova chiave.
- Dopo aver ricevuto la chiave, l'OLT usa la nuova chiave per criptare i dati.
- L'OLT invia all'ONU il numero di frame utilizzati per la nuova chiave.
- L'ONU riceve il numero di frame e attiva la chiave di verifica sui frame dei dati in entrata.

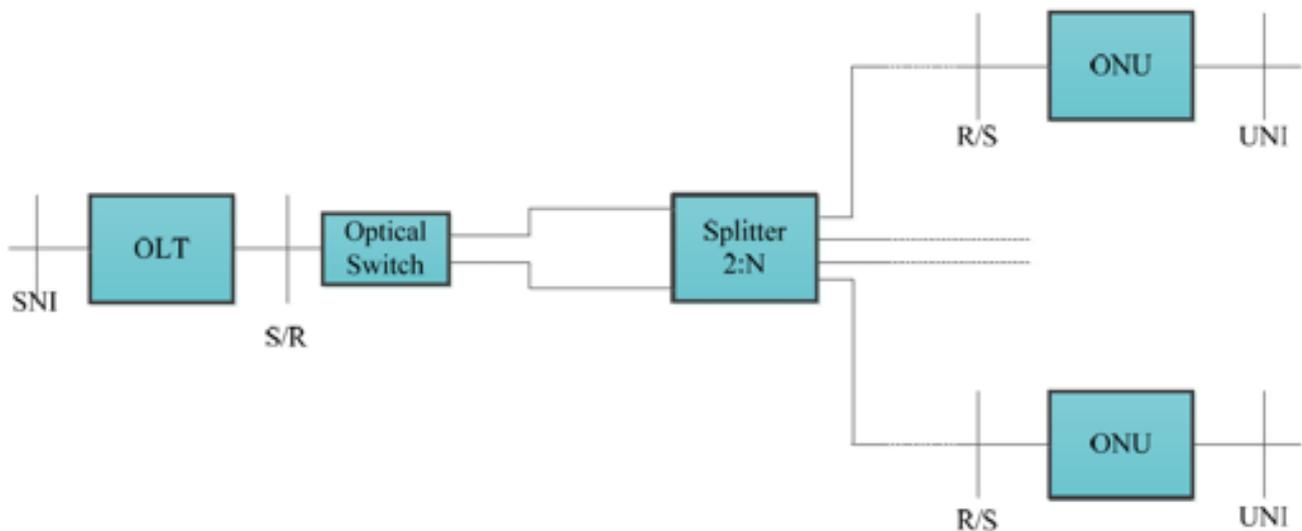
L'immagine mostra il processo di scambio delle chiavi:



## Modalità di protezione della rete

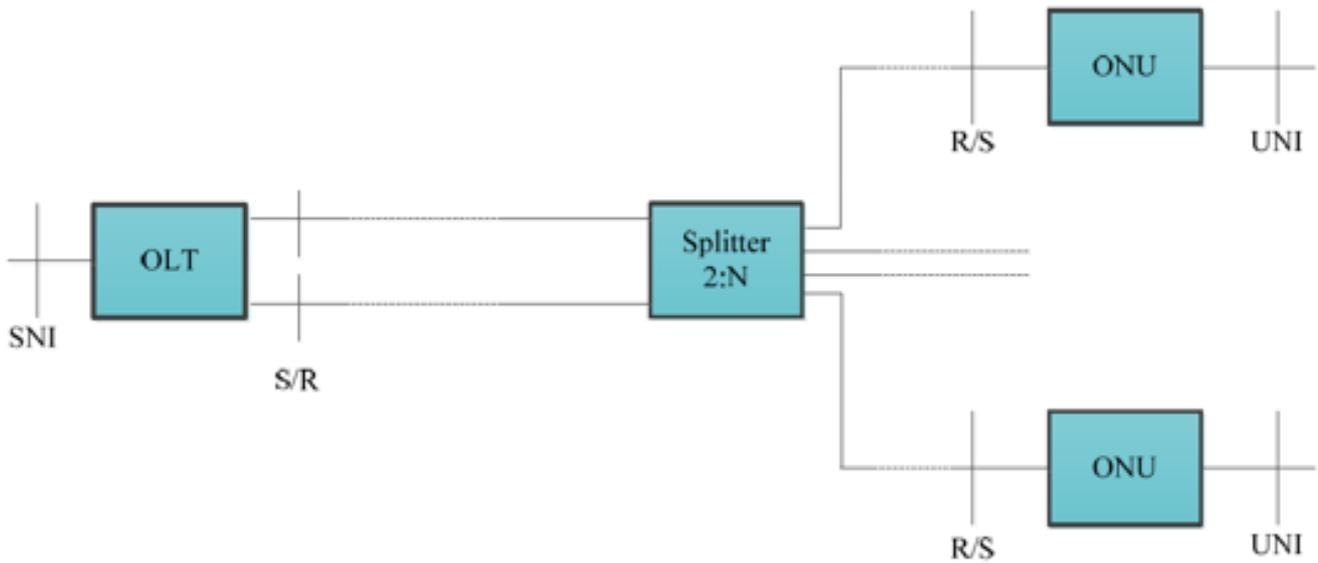
I modi con cui la tecnologia GPON protegge la rete sono diversi.

Tipo A



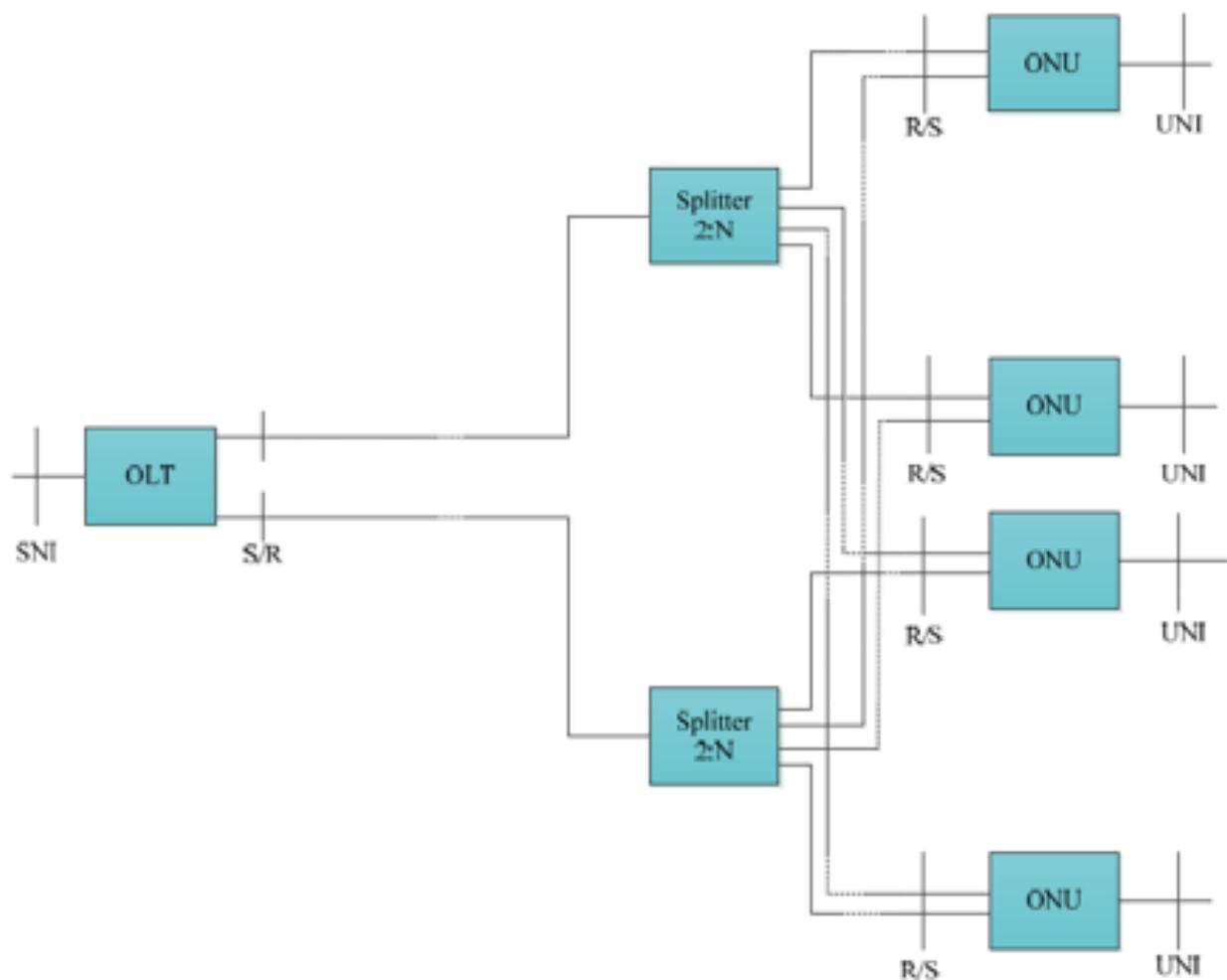
- Non richiede una porta OLT PON aggiuntiva.
- In caso di errore sulla fibra principale, i servizi vengono trasferiti alla fibra secondaria.
- La durata dell'interruzione dipende dal tempo di ripristino della linea.
- Se l'errore si verifica sulla linea tra lo splitter e l'ONU, non viene eseguito backup.

Tipo B



- L'OLT fornisce due porte GPON come OLT valido e OLT di protezione.
- La protezione è limitata al cavo in fibra tra l'OLT e lo splitter e le schede dell'OLT.
- Non è prevista ridondanza delle apparecchiature nei cavi in fibra dell'ONU o dell'alimentatore.
- Non è prevista alcuna protezione per le unità ONU o l'intera rete ODN.
- Usa uno splitter 2 x N senza ulteriori perdite ottiche.

Tipo C



- Ridondanza per OLT, ODN e ONU.
- Fornisce 2 collegamenti completamente ridondanti fino alla sede dell'utente.
- Due opzioni: protezione lineare 1+1 e lineare 1:1

#### Protezione 1+1:

- La rete PON di protezione è la rete PON valida.
- Il traffico normale viene copiato e inviato a entrambe le reti PON, con un bridge permanente tra i due OLT.
- Il traffico è inviato a un ONU contemporaneamente, la selezione tra i due segnali si basa su criteri predeterminati.

#### Protezione 1:1:

- Il traffico normale viene trasportato sulla PON valida o sulla PON di protezione.
- La protezione automatica passa da una PON all'altra.
- È la protezione più costosa, ma offre anche la disponibilità massima.

## Informazioni su questa traduzione

Cisco ha tradotto questo documento utilizzando una combinazione di tecnologie automatiche e umane per offrire ai nostri utenti in tutto il mondo contenuti di supporto nella propria lingua. Si noti che anche la migliore traduzione automatica non sarà mai accurata come quella fornita da un traduttore professionista. Cisco Systems, Inc. non si assume alcuna responsabilità per l'accuratezza di queste traduzioni e consiglia di consultare sempre il documento originale in inglese (disponibile al link fornito).