

# PON di nuova generazione: GPON

ROBERTO MERCINELLI,  
PAOLO SOLINA

## 1. Introduzione

Una rete ottica passiva PON (*Passive Optical Network*) è una rete di accesso caratterizzata dall'assenza di apparati attivi al di fuori delle sedi ove sono collocate le OLT (*Optical Line Termination*) e le ONT-ONU (*Optical Network Termination - Optical Network Unit*) rispettivamente. È in genere basata su topologie di rete ad albero, realizzate mediante l'uso di ripartitori ottici di tipo passivo. La struttura generale di una rete PON è rappresentata nella figura 1.

Sul lato rete è presente la terminazione di linea ottica (OLT), che tipicamente si trova in un punto di raccolta, quale una centrale, e funge da interfaccia condivisa tra tutti gli utenti connessi e la rete Metro.

L'utente accede ai servizi offerti dalla rete tramite la terminazione di rete ottica (ONT o ONU). Le OLT e le ONU sono connesse dalla rete di distribuzione ottica ODN (*Optical Distribution Network*) in configurazione punto-multipunto<sup>1</sup> che può essere realizzata con uno o più livelli di diramazione. I diramatori ottici possono essere disposti più o meno vicini alla OLT o alle sedi cliente, a seconda della disponibilità di fibra e delle strategie di introduzione della fibra ottica adottate dal gestore di rete. La fibra ottica impiegata è tipicamente di tipo single mode conforme allo standard ITU-T G.652.

La rete di distribuzione ottica rappresentata in figura 1 è totalmente passiva, ma possono essere concepite soluzioni che fanno uso di elementi attivi all'interno della rete di distribuzione ottica (es. amplificatori ottici) al fine di consentire la copertura di maggiori distanze, l'utilizzo di un minor numero

di centri di commutazione e/o servire un numero più elevato di clienti (maggiore *fattore di splitting*). Tali soluzioni, talvolta denominate "SuperPON" o "Long-reach PON" sono state oggetto di studio in progetti di ricerca internazionali (es. progetti ACTS PLANET ed IST MUSE) e sono tuttora in fase sperimentale.

Come risulta evidente dall'esame della figura 1, il modello di rete presentato può essere applicato sia ad architetture di tipo FTTH (*Fiber To The Home*), nelle quali la singola ONT è dedicata al singolo cliente, sia ad architetture con un maggior grado di condivisione della terminazione ottica

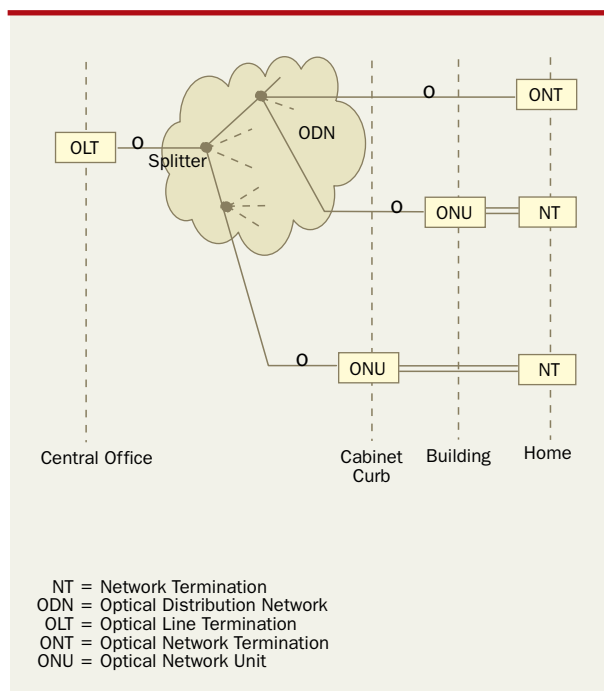


FIGURA 1 ▶ Struttura generale di una rete PON.

(1) Il massimo numero di terminazioni ottiche ONT o ONU collegabili ad una singola OLT è uno dei più importanti parametri caratteristici di una rete PON e prende il nome di "fattore di splitting" (valori tipici sono 1:16 / 1:32 / 1:64).

(ONU) quali *FTTB (Fiber To The Building)*, *FTTC (Fiber To The Curb)* o *FTTCab (Fiber To The Cabinet)*: è evidente che in questi due ultimi casi l'architettura di rete d'accesso potrà prevedere un parziale impiego di rete in rame, sfruttando così la capillarità di quest'ultima nel tratto terminale della rete e riducendo notevolmente la necessità di posa di nuova fibra. Per il drop su rame si possono utilizzare i sistemi trasmissivi ad alta velocità su rame della famiglia *VDSL (Very high speed Digital Subscriber Loop)*, in particolare il *VDSL2*. Con queste soluzioni architetturali tuttavia si perde una delle proprietà essenziali delle soluzioni PON, cioè una rete puramente passiva tra apparato di rete e terminazione di utente. Tali differenti opzioni architetture, oltre al diverso grado di condivisione degli apparati, presentano notevoli differenze in termini di requisiti funzionali e di implicazioni di esercizio. Le soluzioni *FTTC* e *FTTCab*, per esempio, richiedono l'installazione in ambiente esterno (strada) della terminazione di rete ottica (ONU): questo richiede la realizzazione di un adeguato armadio (Cabinet) in grado di soddisfare tutti i necessari requisiti di sicurezza, dissipazione termica e di alimentazione in grado di offrire la continuità dei servizi adeguata al servizio ed alle aspettative della clientela.

## 2. Accesso al mezzo condiviso

La soluzione tecnica di accesso al mezzo condiviso utilizzata dai sistemi PON è la *TDM/TDMA (Time Division Multiplexing/Time Division Multiple Access)*, schematizzata in figura 2.

Nella direzione *Downstream* (rete-utente) la OLT genera un flusso continuo in TDM di pacchetti indirizzati alle diverse ONT in modo broadcast. Tutte le ONT ricevono quindi l'intero traffico *Downstream*, ma acquisiscono solo quello relativo al proprio identificativo. Benchè questo meccanismo sia sicuro per la privacy dei dati, in quanto "cablato" nella ONT, alcune tecnologie, come la GPON, consentono anche di criptare i dati in modo molto efficace con l'*AES (Advanced Encryption System)* a 128 bit. In assenza di traffico utile, la OLT genera traffico "Idle" per garantire la continuità trasmissiva e consentire alle ONU/ONT di estrarre il clock dai dati *Downstream*.

Nella direzione *Upstream* (utente-rete) sorge il problema di sincronizzare la trasmissione di tutte le ONT fra di loro, in modo da evitare che i segnali ottici inviati dalle terminazioni di rete, e combinati passivamente nella ODN, si sovrappongano tra loro in corrispondenza della OLT per effetto delle differenti lunghezze fisiche di ciascun percorso, delle variazioni della velocità di propagazione ottica a causa della temperatura e delle variazioni nel tempo delle caratteristiche dei componenti.

Questo problema viene risolto per mezzo della procedura di *Ranging*, con la quale la OLT:

- calcola il tempo di ritardo effettivo verso/da ciascuna ONT (round trip delay);
- comunica questa informazione alle varie ONT.

Le singole ONT a questo punto, prima di trasmettere il burst di informazione che compete loro, introducono un opportuno ritardo in modo tale da porsi "virtualmente" tutte alla medesima distanza dalla OLT (la massima consentita) indipendentemente dalla loro effettiva collocazione fisica. Questa operazione va ripetuta periodicamente per permettere l'installazione di nuove ONT, tramite l'apertura di una breve *Silent Window* che non ha impatto sul normale funzionamento della rete. Vengono inoltre compensate in modo dinamico (*Dynamic Ranging*) le eventuali variazioni nel tempo del ritardo di propagazione (dovuto per esempio alla variazione di lunghezza dei cavi con la temperatura). Le singole ONT a questo punto possono utilizzare un'opportuna porzione della banda disponibile nella direzione *Upstream* a loro assegnata dalla OLT per mezzo dei cosiddetti *Grant*. Tale assegnazione potrà essere "semi-rigida", cioè assegnata in modo statico dal gestore di rete tramite il sistema di gestione, oppure "dinamica" cioè assegnata dalla OLT sulla base delle contingenti esigenze di banda espresse dalle ONT: in questo caso si parla di *Dynamic Bandwidth Assignment (DBA)*.

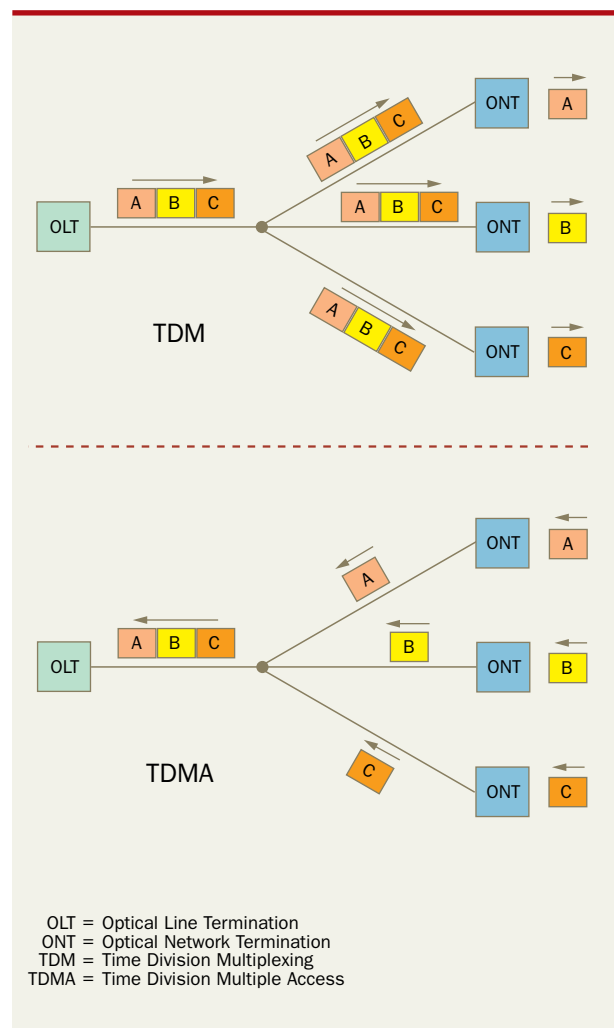


FIGURA 2 › Principio di funzionamento della tecnica TDM/TDMA.

L'insieme di questi meccanismi, che consentono un efficiente uso della banda Upstream e l'assenza di collisione dei pacchetti, è denominato *MAC (Media Access Control)*.

Per minimizzare l'uso della fibra ottica, le soluzioni PON possono sfruttare la condivisione di un singolo portante per entrambi i versi di trasmissione, utilizzando le due "finestre" di trasmissione ottica a 1260-1360 nm nella direzione *Upstream* e 1480-1500 nm nella direzione *Downstream*. Questa soluzione richiede l'impiego di accoppiatori/disaccoppiatori *WDM (Wavelength Division Multiplexer)* che solitamente sono integrati negli apparati di rete. Grazie al progresso tecnologico, i più recenti sistemi PON possono accedere al portante fisico tramite un componente unico denominato *Diplexer*, in cui sono integrati il trasmettitore ottico, il ricevitore ottico e il filtro ottico *WDM*.

Nella direzione *Downstream* è possibile utilizzare una gamma di lunghezze d'onda da 1540 a 1565 nm, denominata *Enhancement Band*, per servizi video diffusivi con modulazione analogica (utilizzata negli USA) o digitale (allo studio in Europa). Gli estremi della *Enhancement Band* sono in fase di revisione per quanto riguarda gli apparati GPON, per consentire la condivisione della stessa rete in fibra con sistemi *WDM* di nuova generazione.

### 3. Funzionamento di base della GPON

La trasmissione dei dati nella GPON, sia in *Downstream* che in *Upstream*, è strutturata in *Frame* della durata di 125 µs, come indicato in figura 3. In ogni *Frame Downstream* il traffico dati è preceduto da tre campi informativi che servono rispettivamente per:

- la sincronizzazione della trama *Upstream (PSync)*;
- la trasmissione di messaggi *PLOAM (Physical Layer Operation Administration and Maintenance)*;
- gestire l'accesso al mezzo condiviso in *Upstream (Upstream Bandwidth Map)*.

Leggendo quest'ultimo campo le *ONT* capiscono se è stato loro assegnato un *Grant* per trasmettere, basato su un *Alloc-Id* (quello della *ONT* abilitata alla trasmissione) e l'istante di inizio e fine del *burst* da trasmettere, espresso in byte a partire dall'inizio del *frame*.

Il campo *Alloc-Id* può identificare una *ONT*, oppure un *T-CONT (Traffic-Container)*. I *T-CONT* con-

sentono di trasportare in modo efficiente diversi servizi, con diversa priorità:

- *Fixed Bandwidth*;
- *Assured Bandwidth*;
- *Non-assured Bandwidth*;
- *Best Effort Bandwidth*.

Associare i *Grant* ai *T-CONT* consente di gestire al meglio la *QoS (Quality of Service)* nella GPON, in quanto la *OLT* può allocare più banda *Upstream* a quei *T-CONT* che hanno traffico a priorità più elevata in attesa. Questo meccanismo, denominato *DBA*, richiede l'uso di un algoritmo di *scheduling* che consenta di ottimizzare l'efficienza complessiva del sistema.

### 4. Storia e confronto delle soluzioni PON

Un ruolo determinante nell'attività di standardizzazione dei sistemi PON è stato svolto senza dubbio dal consorzio *FSAN (Full Service Access Network)*, nato nel 1995 su iniziativa di cinque centri di ricerca dei maggiori operatori di telecomunicazioni (in particolare *TILAB*, all'epoca *CSELT*). Ad oggi fanno parte di *FSAN* ben 15 operatori e 36 costruttori di apparati o chipset (<http://www.fsanweb.org>). Si devono a *FSAN* tutte le proposte di Raccomandazione relative ai sistemi PON basati su tecnica *ATM (APON e BPON)* e quelle che specificano i nuovi sistemi GPON (*Gigabit PON*), che gestiscono pacchetti di lunghezza variabile. Non essendo *FSAN* un ente di normativa ufficialmente riconosciuto ma un'iniziativa volontaria, le specifiche prodotte dal gruppo sono state presentate in *ITU-T* nel corso degli anni,

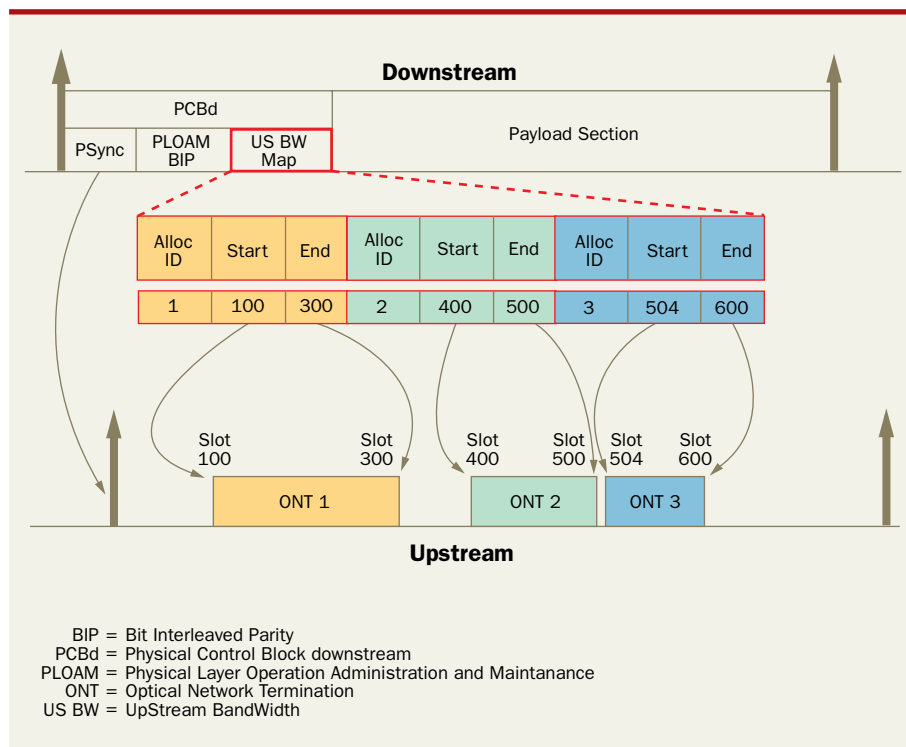


FIGURA 3 Controllo di accesso al mezzo condiviso in una GPON.

e costituiscono oggi le Raccomandazioni della serie G.983 (APON/BPON) e G.984 (GPON).

Parallelamente all'attività del gruppo FSAN, nel novembre 2000 un gruppo di costruttori di apparati Ethernet decise di iniziare un'attività di standardizzazione in ambito IEEE, dando vita al gruppo di studio "Ethernet in the First Mile"<sup>2</sup> (EFM). L'obiettivo principale era quello di sviluppare uno standard basato sul ben noto e largamente usato (specialmente nelle LAN) protocollo trasmissivo Ethernet, anche nella rete di accesso.

L'architettura presa come riferimento fu anche in questo caso la PON. L'attività del gruppo EFM si è conclusa nel 2003 con la stesura dello Standard 802.3ah, che specifica gli apparati EPON (Ethernet PON).

La tabella 1 sintetizza le principali caratteristiche delle tre famiglie di sistemi PON, e mette in evidenza quelli che sono i punti di merito delle GPON rispetto alle altre tecnologie.

## 5. Punti di forza della GPON

I sistemi GPON offrono una banda *Downstream* estremamente elevata, sia perché la velocità di linea è più alta delle altre tecniche, per merito dell'estrema efficienza del livello fisico (tempi di guardia e preamboli ridotti), e del protocollo di incapsulamento *GEM (Gpon Encapsulation Method)*. Quest'ultimo consente di trasportare traffico ATM, Ethernet o TDM in modo nativo, confermando le doti di flessibilità delle GPON. Il protocollo GEM supporta anche la frammentazione dei pacchetti, in modo da riempire nel modo più efficiente il *payload* (sezione della trama con traffico utile).

Il massimo fattore di splitting nelle GPON è 1:64 al livello fisico, ma la OLT è in grado di gestire 1:128 al livello MAC, in previsione dell'uso di amplificatori ottici in rete. Così pure la massima distanza tra OLT e ONU di 20 km è da intendere in modo differenziale, in quanto il livello MAC può gestire valori di *round trip delay* fino a 60 km (*Long-reach PON*).

L'elevato *line rate* può indurre, su lunghe distanze, un degrado delle prestazioni per effetto

	APON/BPON	GPON	EPON
Linea Rate DS	155/622/1244 Mbit/s	2.488 Gbit/s	1.25 Gbit/s
Linea Rate US	155/622 Mbit/s	1.244 Gbit/s	1.25 Gbit/s
Protocollo L2	ATM	GEM	Ethernet
Lunghezza pacchetti	Fissa	Variabile	Variabile
Efficienza	70%	93%	49%
Banda utile DS	435/870 Mbit/s	2300 Mbit/s	600 Mbit/s
Fattore di splitting	1:32	1:64 (MAC 1:128)	1:16
Lunghezza max.	20 km	20 km (MAC 60 km)	20 km
FEC	No	RS (255,239)	RS configurabile
Encrypton	Churning	AES	No
Protezione	Sub-50 ms	Sub-50 ms	No
Terza λ. per video	Si	Si	No

APON = ATM Passive Optical Network  
 BPON = Broadband Passive Optical Network  
 GPON = Gigabit Passive Optical Network  
 EPON = Ethernet Passive Optical Network

TABELLA 1 › Principali caratteristiche delle famiglie di sistemi PON.

del *Mode Partition Noise*. L'introduzione del *FEC (Forward Error Correction)* consente di incrementare il power budget in modo significativo.

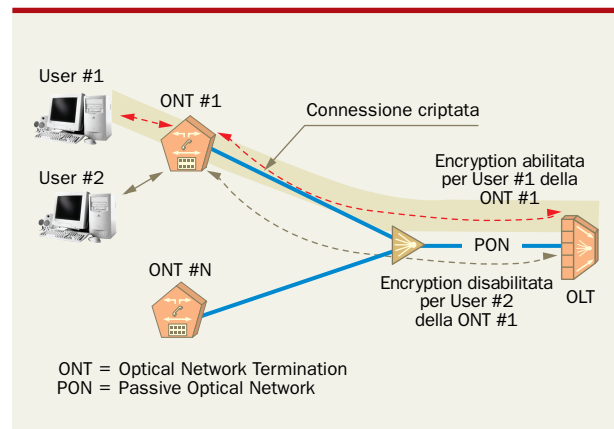


FIGURA 4 › Gestione dell'Encryption nella GPON.

Infine, il meccanismo di *Encryption* usato dai sistemi GPON è il più sofisticato ad oggi disponibile, cioè l'*AES (Advanced Encryption System)* che in questo caso lavora in *Counter Mode*. L'encryption può essere applicata anche ad una singola connessione virtuale dedicata ad un singolo utente, come mostrato in figura 4.

(2)

Il "First Mile", cioè il primo miglio, è il tratto di rete di accesso che va dall'utente (ONT) alla centrale telefonica o comunque al punto di distribuzione dei servizi. Questo tratto di rete viene anche chiamato "Last Mile", generando in effetti una certa ambiguità.

roberto.mercinelli@telecomitalia.it  
 paolo.solina@telecomitalia.it

## — ABBREVIAZIONI

AES	Advanced Encryption System
APON	ATM PON
BPON	Broadband PON
DBA	Dynamic Bandwidth Assignment
EPON	Ethernet PON
FEC	Forward Error Correction
FSAN	Full Service Access Network
FTTB	Fiber To The Building
FTTC	Fiber To The Curb
FTTCab	Fiber To The Cabinet
FTTH	Fiber To The Home
GEM	GPON Encapsulation Method
GPON	Gigabit PON
MAC	Media Access Control
ODN	Optical Distribution Network
OLT	Optical Line Termination
ONT-ONU	Optical Network Termination-Optical Network Unit
PON	Passive Optical Network
PLOAM	Physical Layer Operation Administration And Maintenance
QoS	Quality of Service
T-CONT	Traffic-Container
TDM	Time Division Multiplexing
TDMA	Time Division Multiple Access
VDSL	Very high speed Digital Subscriber Loop
WDM	Wavelength Division Multiplexer



**Roberto Mercinelli** dal 1990 opera in Telecom Italia, dove lavora su tematiche della rete d'accesso. In particolare ha condotto studi sulle caratteristiche trasmissive della rete di distribuzione in rame in termini di diafonia, attenuazione resistenze di loop e di isolamento nel corso di un'estesa campagna di caratterizzazione della rete di Telecom Italia. Questi studi sono stati la base per successive indagini sul funzionamento in rete dei sistemi xDSL. Si è poi occupato, anche partecipando a gruppi di ricerca internazionali, della valutazione di soluzioni architetturali d'accesso basate sull'impegno della fibra ottica, tra le quali anelli GbE e soluzioni PON.



**Paolo Solina** ha iniziato la sua attività in Telecom Italia nel 1974, come progettista hardware. Ha contribuito allo sviluppo dei primi sistemi ATM-PON nel progetto Europeo BAF (*Broadband Access Facilities*), e al primo prototipo di SuperPON nel progetto PLANET (*Photonic Local Access Network*). Dal 1996 è membro del gruppo OAN (*Optical Access Network*) dell'iniziativa FSAN (*Full Service Access Network*). È stato Editor della Raccomandazione ITU-T G.984.2, che specifica il Physical Layer dei nuovi sistemi GPON. Dal 2002 è stato responsabile, come Project Manager, di attività correlate alle tecnologie ottiche emergenti per la Rete di Accesso. Da ottobre 2006 rappresenta Telecom Italia al Management Committee di FSAN.