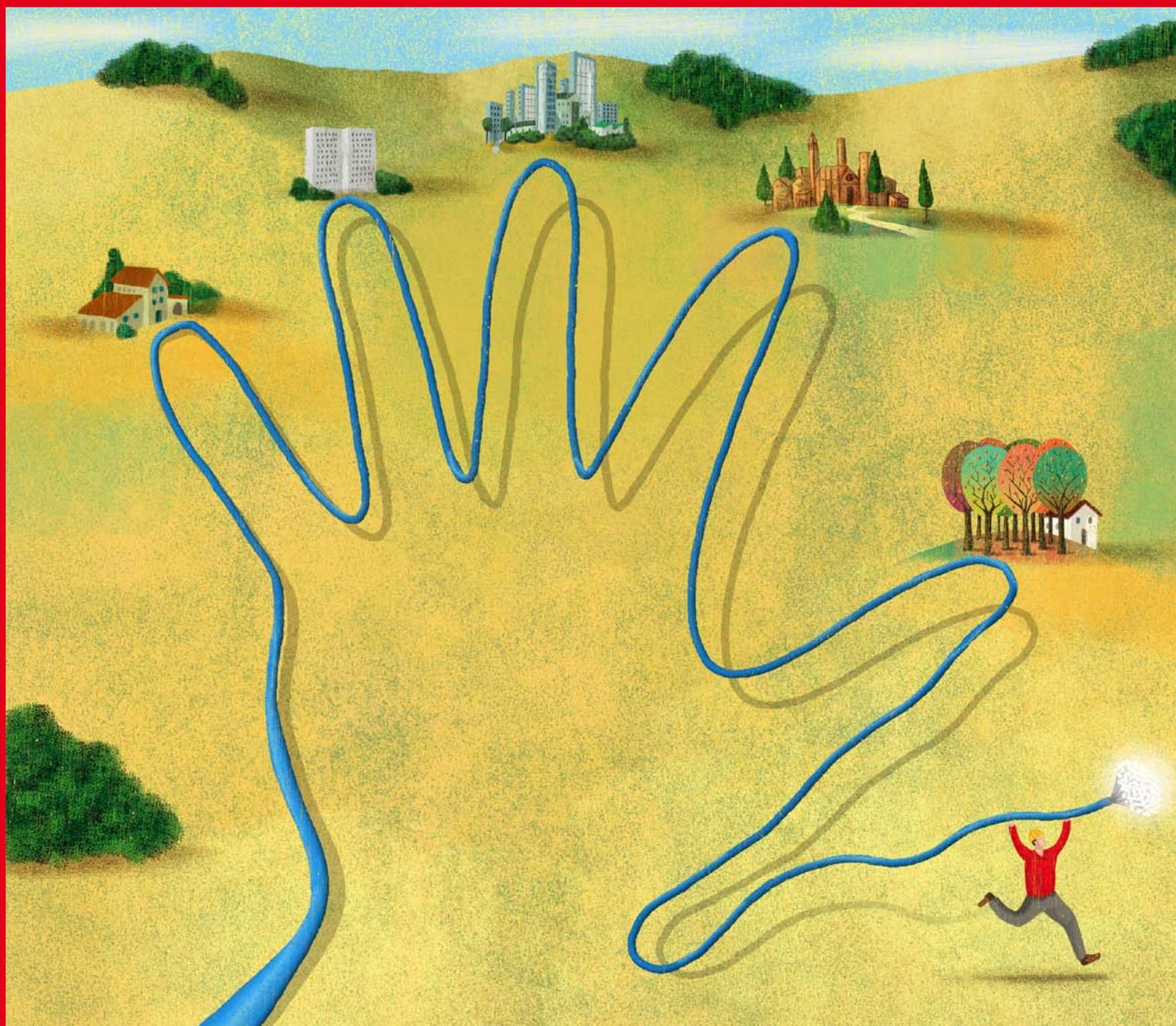


EVOLUZIONE TECNOLOGICA PER LA RETE NGAN

Paola Cinato, Flavio Marigliano, Maurizio Valvo



I rapido e continuo incremento della richiesta di banda per i nuovi servizi richiede una continua innovazione nella rete di accesso e un dispiegamento sempre maggiore della fibra ottica. Tuttavia, grazie all'evoluzione delle tecnologie trasmissive su rame, che permettono di sfruttare ancora le grandi potenzialità della rete secondaria, è possibile introdurre gradualmente la fibra in rete di accesso, sfruttando nel breve periodo architetture con fibra fino all'armadio o all'edificio. A tendere, tuttavia, il dispiegamento massiccio della fibra fino in casa del Cliente sarà inevitabile. Le attività di ricerca e standardizzazione sono concentrate sull'evoluzione delle tecnologie ottiche ed elettriche per abilitare le soluzioni del prossimo futuro.

1 Introduzione NGAN

Per NGAN (*Next Generation Access Network*) si intende una rete di nuova generazione, in grado di abilitare offerte e servizi con velocità molto superiori a quelle offerte oggi dalle tecnologie in campo.

Le architetture di accesso fisso per la NGAN, già adottate in diversi Paesi esteri, si differenziano tra

loro essenzialmente in funzione del punto di terminazione della fibra nella rete di distribuzione: in un cabinet stradale (FTTCab), presso o dentro un edificio (FTTB), in casa del cliente (FTTH).

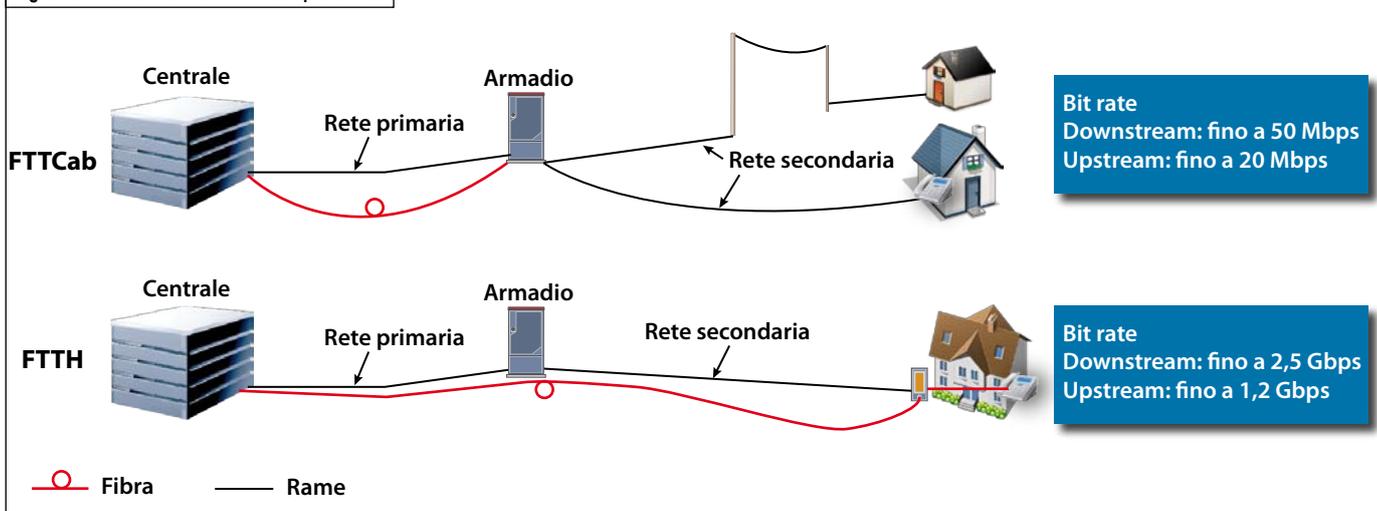
Dal punto di vista generale, non esiste una soluzione ottimale, ogni Operatore sceglie la propria architettura in funzione della tipologia di aree da servire (metropolitana, periferica, rurale), della densità abitativa, della tipologia

della clientela, della disponibilità di infrastrutture ottiche o di canalizzazioni adatte all'uso, dell'impatto urbanistico. Naturalmente, questi aspetti sono coniugati con le strategie d'investimento ed il contesto competitivo.

Le architetture di riferimento per la realizzazione della rete NGAN di Telecom Italia sono l'FTTCab overlay e l'FTTH:

- FTTH (*Fiber To The Home*) - La fibra ottica viene installata fino

Figura 1 – Schema architetture FTTx per NGAN



all'interno della casa del cliente. La rete di distribuzione ottica ODN (*Optical Distribution Network*) è estesa fino al cliente mediante l'installazione di un piccolo armadio ROE (*Ripartitore Ottico di Edificio*), che non necessita di alimentazione elettrica e funge da elemento di flessibilità. Dal ROE si dipartono fibre (cavo ottico verticale) dedicate ai clienti.

- **FTTCab (*Fiber to the Cabinet*) overlay** - La ODN è terminata in un Cabinet che necessita di alimentazione elettrica, posto sulla sommità dell'attuale armadio riparti linea della rete in rame. I clienti sono collegati al Cabinet mediante il doppino in rame esistente (rete secondaria) in tecnologia VDSL2. Al momento il cabinet overlay ha la possibilità di servire 48 clienti: tale modularità di apparato permette di sondare la risposta da parte del mercato rispetto ad offerte ultra-broadband ed inoltre consente la tele-alimentazione degli apparati da Centrale. Questa soluzione presenta un grado di invasività inferiore rispetto all'FTTH in quanto non richiede il cablaggio verticale dell'edificio e la posa della fibra nella rete secondaria. D'altra parte offre prestazioni, in termini di bit rate, minori di quelle raggiungibili in FTTH e non permette di servire tutti i clienti dell'area armadio. In caso in cui le richieste

di accessi broadband superino le disponibilità di porte dell'apparato installato al cabinet, si procederà con lo sviluppo della fibra ottica in modalità FTTH, migrando clientela dalla rete FTTCab e de-saturando quindi il cabinet

Telecom Italia ritiene che, sulla base degli elementi precedentemente descritti, la scelta migliore per la fornitura di servizi ultra-broadband all'utenza residenziale o SOHO/SME sia rappresentata inizialmente da una soluzione FTTCab, nella maggioranza delle aree urbane. L'architettura FTTH basata su soluzioni punto-multipunto in tecnologia GPON rappresenta la soluzione di riferimento a target nel medio-lungo periodo, tuttavia essa potrà trovare impiego nel breve periodo per le aree maggiormente infrastrutturate o dove l'investimento potrà essere condiviso tra più attori.

In aggiunta a quelle citate, a livello internazionale si sta definendo una nuova architettura, che si colloca a livello intermedio tra FTTCab ed FTTH e che ne eredita molti dei vantaggi:

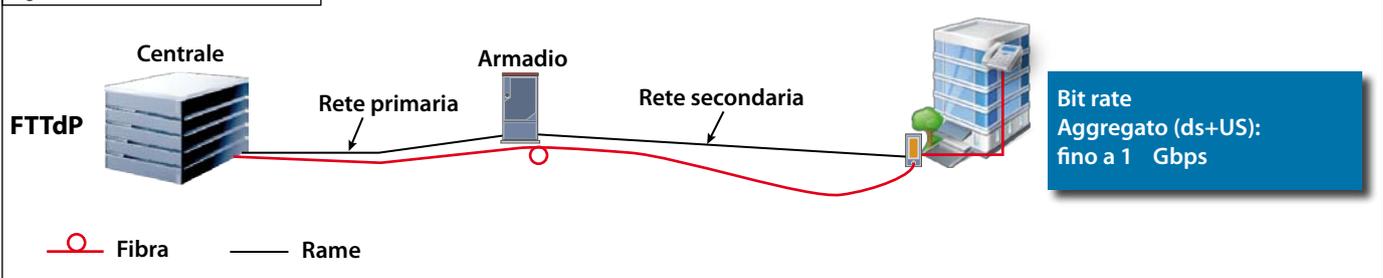
- **FTTdP (*Fiber to the distribution Point*)** - La ODN è terminata al box di distribuzione di palazzo, subito dopo il ripartitore ottico di edificio (ROE). L'utilizzo di tecnologie trasmissive su rame per raggiungere il cliente su distanze così corte, permette di erogare servizi ad elevata ve-

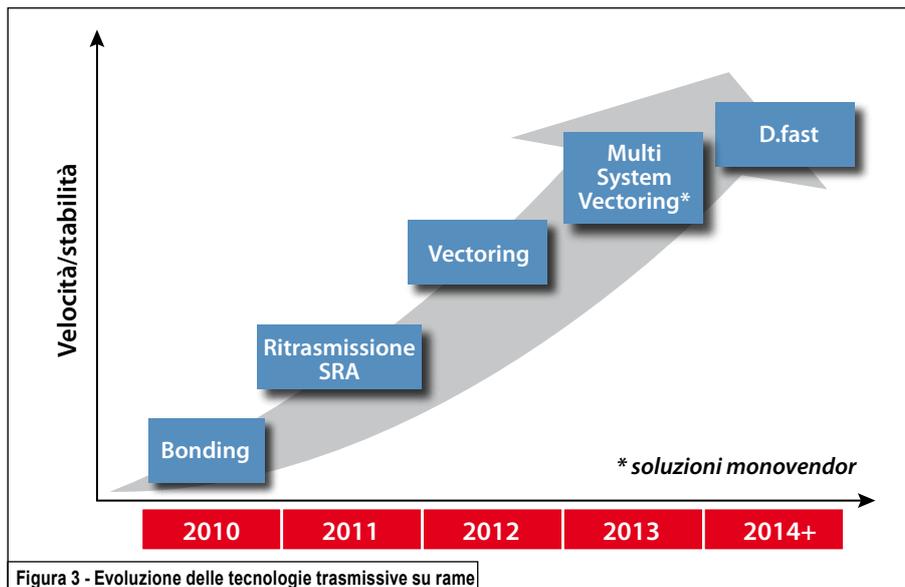
locità senza tuttavia richiedere il cablaggio di edificio in fibra. Come si vedrà nel seguito, con riferimento a questa architettura è allo studio una nuova tecnologia trasmissiva su rame con l'obiettivo di fornire velocità fino a 1 Gbit/s aggregati (downstream + upstream) per le distanze molto brevi (100 metri o poco più). L'apparato da collocare nei locali alla base dell'edificio potrebbe avere da 1 a N porte (N comunque non elevato, 8 o 16) e deve presentare consumi ridotti, al fine di permettere la telealimentazione dalla sede degli utenti. Ulteriori requisiti fondamentali per gli apparati specifici per l'FTTdP sono la bassa complessità, la facilità installativa, i bassi ingombri, l'introduzione di soluzioni di zero touch provisioning. Una soluzione di particolare interesse è costituita da un apparato monoporata, dedicato quindi al singolo cliente, in quanto relativamente semplice da telealimentare e tale da non richiedere investimenti preventivi rispetto alle richieste del mercato.

2 Tecnologie evolutive su rame

Nelle architettura previste per il deployment della rete NGAN la rete secondaria in rame costitu-

Figura 2 - Schema architettura FTTdP





isce ancora un asset importante, distribuito capillarmente fino alle sedi dei clienti. Le tecnologie tra-

smisive per la rete in rame sono in continua evoluzione, e permettono di sfruttare a pieno le poten-

zialità di questa infrastruttura. In Figura 3 sono rappresentati i passi evolutivi previsti per queste tecnologie, che saranno illustrati in dettaglio più avanti. La tecnologia di riferimento sulla tratta in rame per l'architettura FTTCab pianificata nelle principali città italiane è il VDSL2 [vedi BOX]. Nel seguito sono illustrate le principali evoluzioni previste per le tecnologie trasmissive su rame.

2.1 DSM e Vectoring

Le prestazioni dei sistemi xDSL in campo sono oggi limitate principalmente dal rumore di diafonia. Per limitare gli effetti di tale fenomeno, tutti i sistemi installati in

La tecnologia VDSL2

La tecnologia VDSL2, specificata dall'ITU-T nello standard G.993.2, rappresenta l'evoluzione naturale dell'ADSL2+, e ne incrementa la velocità di linea. Tale vantaggio è ottenibile utilizzando uno spettro molto più ampio (fino a 30 MHz), su lunghezze di collegamento molto più corte. Infatti il VDSL2 trova impiego in particolare nelle architetture FTTCab ed FTTB. Per tali scenari sono disponibili profili dedicati: il profilo 17a (17 MHz) tipicamente usato per FTTCab, ed il profilo 30a (30 MHz) per FTTB.

Poiché il dispiegamento del VDSL2 da Cabinet o Building potrebbe provocare disturbo eccessivo sui sistemi legacy (ADSLx) dispiegati da centrale, lo standard prevede tecniche di shaping del segnale trasmesso DPBO (*Downstream Power back Off*) che garantiscono la compatibilità spettrale di questi sistemi. Per garantire la compatibilità spettrale tra linee VDSL2 di lunghezze differenti

tra loro, lo standard prevede anche funzionalità di shaping in direzione upstream, UPBO (*Upstream Power Back Off*). L'utilizzo di spettri così ampi nel VDSL2, fa sì che le linee siano più soggette agli impatti del rumore, sia quello di diafonia generato reciprocamente tra le linee all'interno dello stesso cavo, che di tipo impulsivo. Quest'ultimo proviene principalmente dai disturbi indotti sul doppino telefonico da apparecchiature elettriche installate nelle case degli utenti. Per il migliorare la qualità e la stabilità delle linee VDSL2 in campo, sono previste a livello di standard tecniche specifiche, tra cui oggi già disponibili sugli apparati:

- **Ritrasmissione.** Questa funzionalità, definita dallo standard ITU-T G.998.4, implementa una protezione molto efficace sulle linee VDSL2 dal rumore impulsivo. La ritrasmissione consente di ottenere grandi vantaggi, rispetto

alle tradizionali tecniche di protezione basate su FEC e interleaving, sia in termini di incremento di protezione (lunghezza massima di impulso corretto), che di diminuzione dell'overhead e del delay sulla linea.

- **SRA (*Seamless Rate Adaptation*).** Questa tecnica consente di proteggere in modo automatico la linea dalle variazioni di rumore di diafonia causate dalle interferenze tra i doppi sul cavo (soprattutto alle alte frequenze). L'SRA mantiene il livello di qualità impostato dall'Operatore sulla linea, controbilanciando le variazioni suddette con adeguate correzioni dinamiche della velocità di collegamento. Tali procedure avvengono senza che l'utente percepisca degni di servizio ■

umberto.eula@telecomitalia.it

campo devono rispettare alcune regole di "compatibilità spettrale" che in Italia sono definite da AGCOM. Tali regole permettono di definire uno scenario worst-case di diafonia da cui dipendono le prestazioni minime che possono essere assicurate a ciascuna linea in base alla sua lunghezza. Questo tipo di gestione della diafonia è detto SSM (*Static Spectrum Management*), in quanto parte dall'ipotesi che ogni sistema xDSL rispetti lo stesso spettro di potenza massima. L'effettiva entità di diafonia presente su ciascuna coppia in rame dipende da molti fattori ed è estremamente variabile da coppia a coppia e nel corso del tempo. Pertanto è possibile ottimizzare la velocità disponibile sui doppiini nello stesso cavo adattando lo spettro trasmesso su ciascuna coppia all'effettiva interferenza che essa riceve e genera verso le altre coppie. Questo tipo di approccio al problema della diafonia è detto DSM (*Dynamic Spectrum Management*) e consente di ottenere guadagni significativi di capacità rispetto allo SSM.

I sistemi DSM sono stati classificati in 3 livelli (si veda Figura 4):

- **Livello 1:** Ciascun sistema DSL modem determina la propria densità spettrale di potenza (PSD) in modo tale da limitare il rumore introdotto nel cavo. Quando tutti i sistemi che condividono lo stesso cavo rispettano questo principio, le prestazioni complessive migliorano. Con DSM di livello 1 la PSD trasmessa da ciascuna linea è calcolata esclusivamente rispetto alle proprie condizioni e ai propri requisiti di servizio.
- **Livello 2:** La PSD allocata da ciascun sistema è determinata tenendo conto anche delle condizioni e dei requisiti di servizio

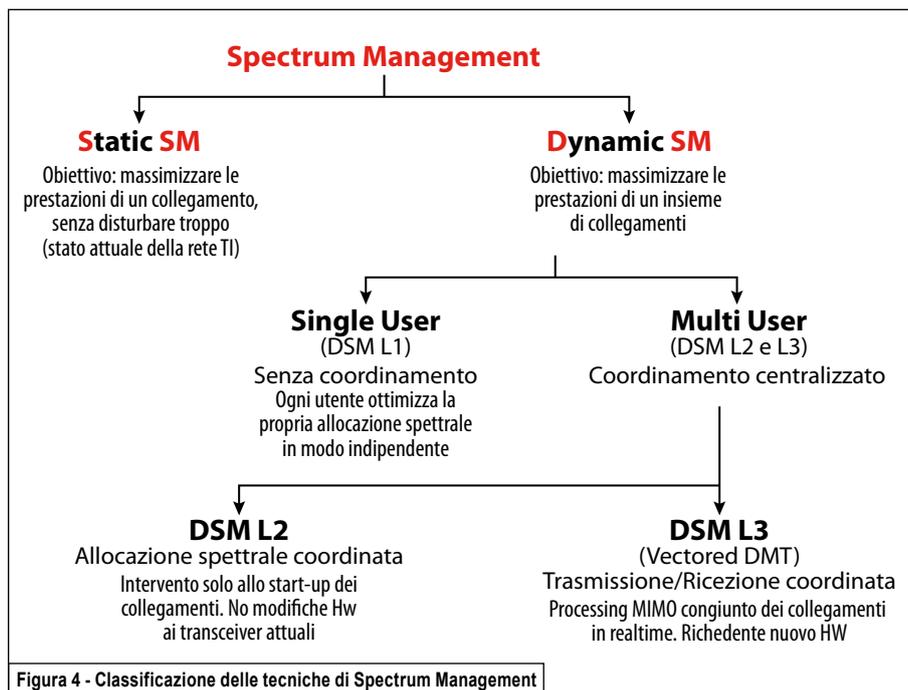


Figura 4 - Classificazione delle tecniche di Spectrum Management

delle altre linee afferenti allo stesso cavo. In questo caso si ha un coordinamento fra le linee che consente di massimizzare la capacità aggregata del cavo in presenza di diafonia.

- **Livello 3:** Mentre le tecniche DSM di Livello 1 e 2 si pongono l'obiettivo di limitare, per quanto possibile, il rumore di diafonia, il DSM di Livello 3 ha come scopo la cancellazione del rumore di diafonia. Tale risultato si ottiene processando in modo congiunto il segnale trasmesso su tutte le linee del medesimo cavo; per questa ragione il DSM di Livello 3 è comunemente chiamato *Vectoring* ad indicare che i segnali di tutte le linee sono processati in maniera aggregata in un unico vettore. Il Vectoring è specificato nella Raccomandazione ITU-T G.993.5, e si applica solamente ai sistemi VDSL2, mentre le tecniche DSM di livello 1 e 2 sono applicabili anche ai sistemi ADSLx.

Gli algoritmi utilizzati nei sistemi DSM di Livello 1 e 2 si basano fondamentalmente su due principi: i modem non devono trasmettere più potenza di quella necessaria e devono utilizzare la porzione di spettro minima possibile per soddisfare i vincoli di servizio imposti sulla linea. Questi algoritmi sono implementati principalmente da sistemi di gestione che controllano porzioni estese della rete d'accesso, raccogliendo i parametri di funzionamento dagli apparati e modificando le configurazioni applicate alle linee.

Come detto, il DSM di livello 3 (Vectoring) ha l'obiettivo di cancellare il rumore di diafonia. Ciò si ottiene attraverso un meccanismo di "pre-compensazione" del segnale generato in trasmissione sulla singola linea, che consente la cancellazione del rumore aggiunto dalle altre linee appartenenti allo stesso cavo. Questo richiede la stima di tutti i contributi di diafonia tra le linee e può comportare un'elevata complessità computa-

zionale, dato che deve essere eseguito in tempo reale sui segnali trasmessi e ricevuti da un numero di linee potenzialmente elevato (ad oggi sono previsti apparati con capacità massima di Vectoring pari a 384 linee).

Il Vectoring permette quindi di ottenere prestazioni molto vicine a quelle di una linea senza rumore, purché la funzionalità sia supportata da DSLAM e CPE. In Figura 5 si riportano le prestazioni misurate in downstream su 16 linee VDSL2¹, su un cavo di 500 metri, con e senza Vectoring, ed il confronto con le prestazioni delle stesse linee accese singolarmente in assenza di rumore. Come si può notare in figura, le velocità con Vectoring sono molto vicine a quelle del caso senza rumore, e le prestazioni medie a parità di lunghezza sono più elevate, ma anche molto più uniformi fra loro.

Nelle implementazioni oggi disponibili sugli apparati in commercio, il Vectoring può dare i vantaggi indicati solo se tutti i sistemi presenti nello stesso settore di cavo sono processati congiuntamente dallo stesso apparato (gruppo Vectoring). Inoltre perché il gruppo Vectoring possa funzionare correttamente è necessario che le CPE collegate siano *Vector capable* (cioè supportano la funzionalità Vectoring) o almeno *Vector friendly* (cioè in grado di comunicare al DSLAM i parametri necessari affinché possa essere stimata e quindi cancellata la diafonia generata dalla linea sulle altre). Le linee con CPE *Vector friendly* non beneficiano dei vantaggi prestazionali del Vectoring, ma non impediscono alle altre linee del cavo di beneficiarne.

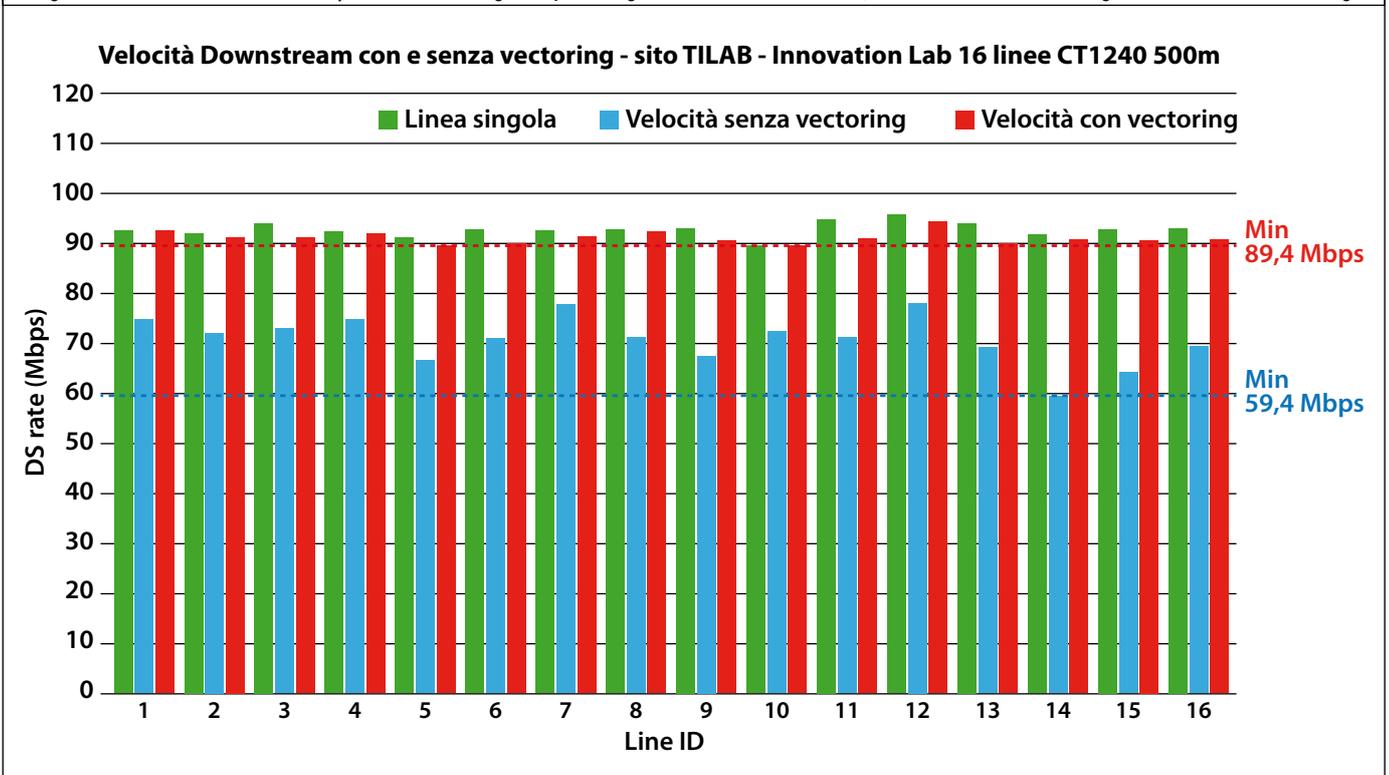
La funzionalità di Vectoring può essere attivata anche solo su porzioni dello spettro utilizzato dal

VDSL2, perciò è compatibile con la presenza nello stesso cavo di sistemi che lavorano a frequenze più basse, come ADSLx, SHDSL ecc. Non è invece compatibile con la presenza nello stesso cavo di sistemi VDSL2 non appartenenti allo stesso gruppo Vectoring (CPE non Vector Friendly/Capable, sistemi VDSL2 non vettorizzati o vettorizzati in un gruppo Vectoring separato). In presenza di sistemi VDSL2 esterni al gruppo Vectoring i vantaggi prestazionali si riducono molto rapidamente, e le linee rischiano di perdere stabilità.

Per superare il vincolo di incompatibilità tra Vectoring e presenza di sistemi VDSL2 esterni al gruppo Vectoring (vettorizzati o no) sono allo studio fondamentalmente due tipologie di soluzioni:

- **Tecniche DSM livello 2:** come descritto, le tecniche DSM di livello 2 coordinano i sistemi trasmissivi del cavo, anche se

Figura 5 - Velocità misurate su sub-loop di 500 metri di lunghezza per le singole linee attive senza rumore, 16 linee attive senza Vectoring e 16 linee attive con Vectoring



1 16 linee VDSL2, profilo 17a, maschera B8-8, su 500m di cavo CT1240-0.4 mm

gestiti da apparati diversi, ed intervengono limitando l'estensione dello spettro utilizzato e la potenza trasmessa, con l'intento di ridurre il più possibile il rumore di diafonia reciproco. Questo tipo di approccio può portare dei vantaggi solo se non tutte le linee richiedono le prestazioni massime possibili per la tecnologia. Nell'ipotesi in cui tutte le linee richiedano il massimo delle prestazioni possibili (come ad esempio nel caso di due gruppi vettorizzati gestiti da apparati indipendenti sullo stesso cavo), il DSM non ha margini per intervenire e potrà solo limitare le prestazioni di tutti o lavorare in base a criteri di priorità preventivamente concordati. In ogni caso, questa soluzione non permette di conseguire le medesime prestazioni del Vectoring.

- **Multi System Vectoring:** questo tipo di soluzioni, allo studio presso alcuni vendor di apparati, prevede di realizzare un *Vectoring* distribuito, che agisca in maniera coordinata su apparati affiancati, con architetture di tipo master-slave o di processing distribuito. Tale soluzione, che può essere ritenuta un'evoluzione del *Vectoring* attualmente implementato, consentirà, in linea teorica, di conseguire gli stessi vantaggi prestazionali del *Vectoring* di prima generazione, replicandone il funzionamento in modalità estesa a più apparati. Attualmente, la soluzione non è ancora ingegnerizzata da alcun fornitore, né esiste uno *standard* di riferimento; pertanto si prevede inizialmente la disponibilità di soluzioni *mono-vendor* nel medio periodo e

di soluzioni *multi-vendor* solo successivamente, con la definizione degli standard necessari (al momento non ancora allo studio). La soluzione *Multi System Vectoring*, inoltre, richiederà la definizione di protocolli operativi condivisi per il coordinamento tra operatori. Questo aspetto potrebbe risultare molto critico in un contesto fortemente competitivo come quello italiano.

2.2 Bonding

Il **bonding** è una tecnologia, standardizzata nelle Raccomandazioni ITU-T G.998.1 e G.998.2, in grado di aumentare il bit rate offribile ad un utente, o la copertura di un servizio a parità di velocità, sfruttando la trasmissione su più coppie in rame. Il bonding permette di aggregare più linee xDSL (*bonding group*) in un unico flusso logico (Ethernet o ATM), offrendo una banda equivalente pari alla somma dei singoli collegamenti DSL. È un protocollo di adattamento tra il livello 2 e i livelli fisici dei differenti transceiver DSL che costituiscono un *bonding group*. Nasce come evoluzione di altre tecniche, quali l'IMA (Inverse Multiplexing over ATM), aggiungendo funzionalità quali l'add/drop dinamico di coppie al *bonding group*, il supporto di link fisici a velocità differenti. Oltre alla disponibilità in rete di accesso di almeno due coppie per utente è richiesto un hardware specifico, sia lato DSLAM sia lato CPE, per poter gestire più linee. La funzionalità di Bonding è disponibile sugli apparati di nuova generazione. Un'ulteriore evoluzione del bonding è rappresentata dal **Phantom**

Mode, che oltre a sfruttare le trasmissioni su N coppie fisiche, crea ulteriori (N-1) coppie "virtuali", ricavate utilizzando il modo comune delle coppie reali. Per funzionare correttamente necessita dell'utilizzo di tecniche di Vectoring per cancellare il rumore all'interno del gruppo di bonding, soprattutto nei confronti delle coppie virtuali. Tale tecnologia non è standardizzata e finora sono stati realizzati alcuni prototipi da parte dei principali System Vendors (Alcatel, Huawei, Adtran,...) e sono state dichiarate velocità aggregate superiori a 300 Mb/s fino a 300 m, utilizzando 2 coppie reali ed una virtuale. Per ora la disponibilità commerciale di apparati che realizzino il *Phantom Mode* sembra ancora piuttosto remota.

2.3 G.fast

G.fast è una Raccomandazione ITU-T in fase di sviluppo per la standardizzazione di una nuova generazione di transceiver per la trasmissione su coppie in rame da applicarsi nell'architettura FTThP, precedentemente descritta. La finalizzazione delle Raccomandazione ITU è attesa per metà 2013, mentre la disponibilità delle prime implementazioni è prevista per fine 2014, inizio 2015.

Le distanze particolarmente brevi su cui opererà la tecnologia G.fast, (inferiori a 200 m), fanno sì che sarà possibile raggiungere sul singolo doppino velocità particolarmente elevate: oltre i 500 Mb/s e fino a 1 Gbit/s aggregato (upstream+downstream) per distanze inferiori ai 100 m ed almeno 200 Mbit/s a 200 m.

Al momento della stesura di questo articolo, in ambito ITU è

terminata la fase di raccolta dei requisiti da parte degli Operatori. Sono in fase di approvazione una serie di scelte tecnologiche di base, di seguito riportate, le cui implicazioni dovranno essere ulteriormente sviluppate nel prosieguo dei lavori di standardizzazione.

Rispetto all'attuale generazione di transceiver DSL in campo, il G.fast introduce le seguenti discontinuità tecnologiche:

- metodo di duplexing TDD invece che FDD per minimizzare la complessità del chipset e permettere una maggiore flessibilità nella scelta del rapporto di asimmetria tra upstream e downstream;
- estensione dello spettro fino a 100 MHz o 200 MHz, rispetto ai 30 MHz massimi del VDSL2;
- riduzione della potenza di lancio al di sotto di 4 dBm, rispetto agli 14.5 dBm del VDSL2, al fine di agevolare l'alimentazione da remoto degli apparati, con un target di consumo massimo di 1 W per porta.

Il transceiver G.fast dovrà essere in grado di emulare un chipset VDSL2, in modo da interoperare anche con CPE legacy e dovrà adottare specifiche metodologie per garantire la compatibilità spettrale con sistemi ADSL/VDSL2 sviluppati da centrale e VDSL2 da cabinet.

3 Tecnologie evolutive su fibra

L'architettura per lo sviluppo della rete FTTH, scelta da Telecom Italia e in fase di dispiegamento in campo a Milano e in alcuni altri siti (p.es. nel Trentino), è quella basata sull'utilizzo di reti ottiche passive (PON) in tecnologia

GPON (vedi box nella pagina seguente).

La tecnologia GPON garantisce la salvaguardia degli investimenti infrastrutturali essendo inserita in un percorso tecnologico che consente nel tempo di sfruttare sempre meglio l'infrastruttura ottica realizzata con topologia punto-multipunto. In ambito normativo FSAN (*Full Service Access Network*²) - ITU è stato già definito un cammino evolutivo (Figura 6) i cui principali driver sono:

- mantenimento dell'infrastruttura ottica o incremento dei fattori di diramazione massimi;
- incremento della velocità per cliente;
- maggiore simmetria dei bit rate.

3.1 XG-PON

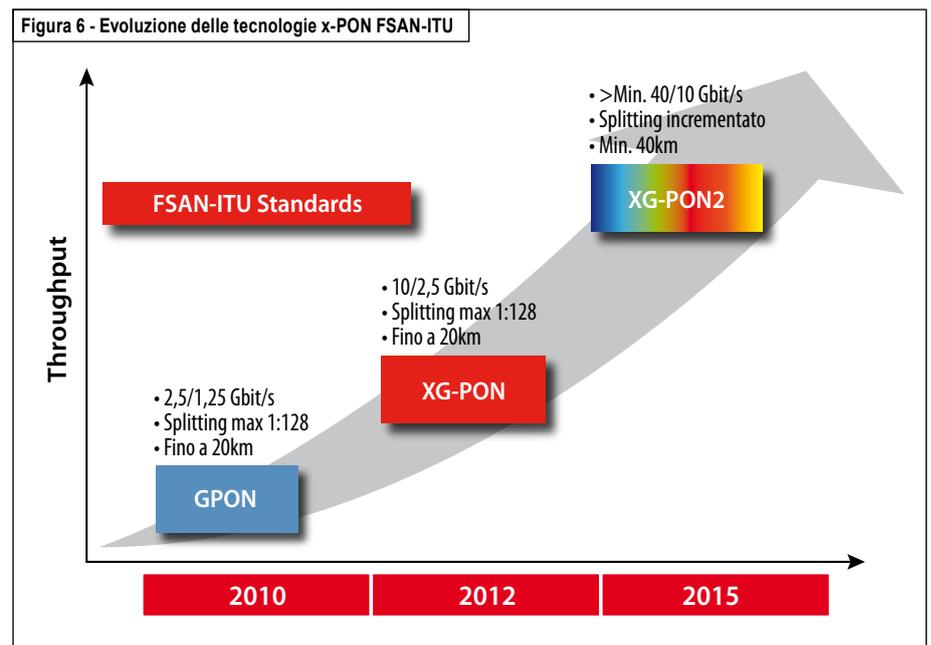
I primi sistemi XG-PON (10 G-gigabit-capable PON) sono già disponibili, ma non ancora dispiegati in campo massicciamente, e sono concepiti per consentire

una migrazione graduale, sulla stessa infrastruttura ottica, dagli attuali sistemi GPON verso sistemi a più elevato bit rate: 10 Gbit/s downstream e 2.5 Gbit/s upstream per albero PON. Rispetto alla soluzione GPON classica, con questa soluzione si ha quindi a disposizione, per ogni albero PON, il quadruplo della banda in downstream e il doppio in upstream. Anche questa soluzione è Punto-Multipunto, basata su protocollo di accesso al mezzo condiviso TDM/TDMA e coniuga i vantaggi della GPON attuale con la possibilità di offrire bit rate più elevati. Inoltre è garantita la coesistenza con i sistemi GPON di prima generazione sullo stesso albero ottico, grazie all'impiego di differenti lunghezze d'onda di trasmissione (Figura 7).

3.2 NG-PON2

In ambito FSAN è già in corso di definizione un'ulteriore evoluzione dei sistemi PON, denominata

Figura 6 - Evoluzione delle tecnologie x-PON FSAN-ITU



² L' FSAN è un Ente Tecnico costituito nel 1995 dagli Operatori di Telecomunicazione allo scopo di confrontarsi e identificare i requisiti comuni per le nuove soluzioni di accesso fisso in fibra. In FSAN sono state definite le specifiche tecniche dei sistemi GPON, poi ratificate da ITU, e sono attualmente in corso gli studi per l'evoluzione dei sistemi PON. La partecipazione ad FSAN nel tempo è stata estesa ai Costruttori e ad oggi FSAN conta circa 90 membri di cui oltre il 50% costituiti da Fornitori di apparati e componenti per telecomunicazioni.

La soluzione GPON

La soluzione GPON è una soluzione innovativa nata per ottimizzare l'uso delle infrastrutture, ridurre gli scavi, gli ingombri e i consumi elettrici.

In generale i sistemi GPON sono costituiti:

- da un apparato attivo che svolge funzioni di terminazione di linea, detto OLT (*Optical Line Termination*), posto in Centrale;
- collegato alle terminazioni di rete lato cliente, dette ONU/ONT (*Optical Network Unit / Optical Network Termination*);
- tramite una rete di distribuzione ottica (ODN - *Optical Distribution Network*) (vedi Figura A1).

La ODN è completamente passiva, ossia non richiede punti alimentati elettricamente ed è costituita dalla fibra ottica e dai diramatori ottici passivi (splitter), dispositivi che consentono di ripartire un segnale in ingresso su n uscite e viceversa. La porzione di ODN servita da un'interfaccia della OLT³ posta in Centrale, viene definita albero GPON. Con le soluzioni attuali ogni albero GPON può servire al massimo 128 ONU/ONT, ossia con un'unica interfaccia GPON in Centrale si possono connettere fino a 128 clienti; in questo caso si parla di architettura GPON con fattore di splitting 1:128. Più è alto il fattore di splitting più:

- la banda disponibile per albero GPON viene condivisa tra più clienti;
- la distanza chilometrica Centrale – Sede cliente copribile diminuisce, a causa del power budget "utilizzato" dagli splitter⁴.

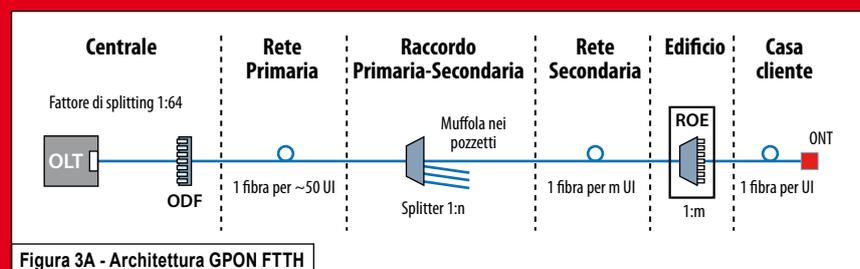
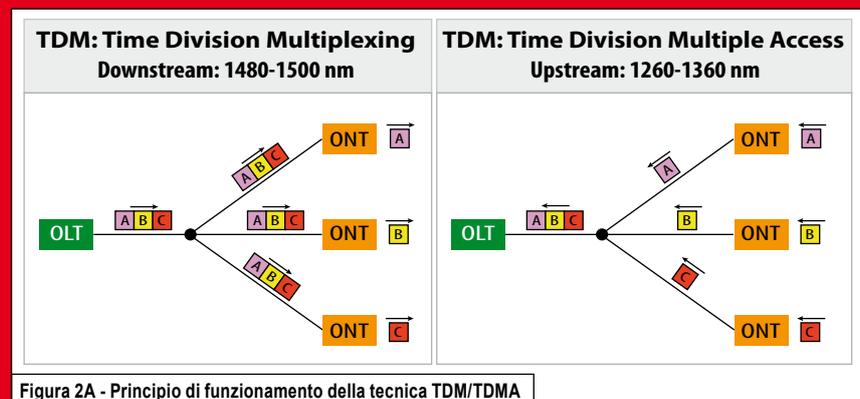
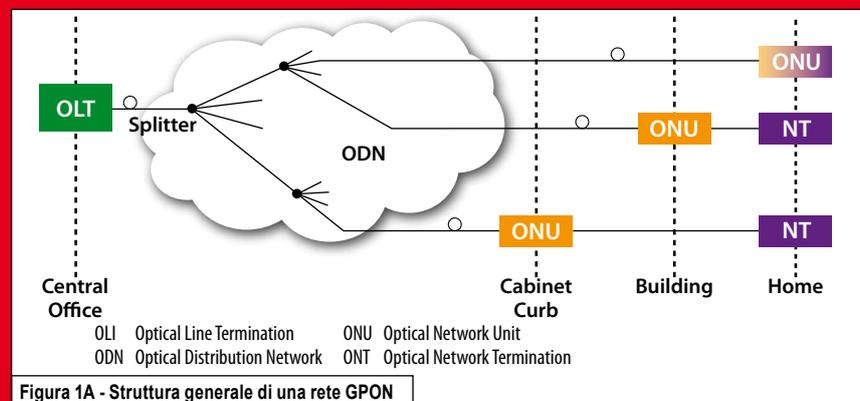
Per diversi motivi legati a questi aspetti, in ambito internazionale le soluzioni GPON più sviluppate sono quelle con fattore di splitting 1:64 e, al momento, non sono note soluzioni in campo con fattore di splitting 1:128. Anche Telecom Italia ha recentemente deciso di optare per questa modalità.

Dato che i sistemi GPON sono di tipo punto-multipunto, l'accesso al mezzo condiviso viene effettuato utilizzando la tecnica TDM/TDMA (vedi Figura A2). Per minimizzare l'uso della fibra ottica, le soluzioni GPON sfruttano la condivisione di un singolo portante per entrambi i versi di trasmissione, utilizzando le due "finestre" di trasmissione ottica a 1260-1360 nanometri nella direzione Upstream (dal Cliente

alla Centrale) e 1480-1500 nm nella direzione Downstream (dalla Centrale al Cliente).

La condivisione della fibra tra più ONU/ONT, resa possibile dai sistemi GPON, consente la riduzione dei costi e delle problematiche di deployment tipiche dei sistemi Punto - Punto.

I sistemi GPON hanno velocità di linea pari a 2.488 Gbit/s in downstream e 1.244 Gbit/s in upstream per albero



3 Una OLT dispone generalmente di molte porte GPON (oltre 100 sugli apparati attuali).

4 Gli splitter suddividono la potenza ottica entrante su più uscite in maniera passiva; quindi la potenza su ciascuna delle n uscite di un diramatore è pari (teoricamente) alla frazione n -esima di quella entrante

PON. La trasmissione in upstream è gestita tramite un meccanismo di controllo di accesso al mezzo (MAC - Media Access Control), che consente un'allocazione dinamica della banda (DBA - Dynamic Bandwidth Assignment).

Grazie alle funzionalità fin qui descritte, i sistemi GPON permettono di offrire sia servizi simmetrici, sia asimmetrici e consentono di distribuire in maniera dinamica e flessibile le risorse di banda fra i vari servizi e tra i diversi clienti attestati al medesimo albero GPON, senza restrizioni particolari e fino al raggiungimento della capacità complessiva del sistema. La massima distanza consentita tra ONU/ONT e OLT è di 20 km. Come detto, tale distanza diminuisce al crescere del fattore di splitting utilizzato per lo sviluppo della rete e anche del numero di giunti e connettori utilizzati nella costruzione della ODN.

La Figura A3 mostra l'architettura FTTH scelta da Telecom Italia che prevede 2 livelli di splitting ottici: un primo splitter ottico, collocato in un pozzetto stradale, e un secondo splitter, collocato alla base dell'edificio all'interno di un armadietto denominato ROE (Ripartitore Ottico di Edificio). Lo Standard di riferimento per i sistemi GPON, ampiamente consolidato, è la famiglia di Raccomandazioni ITU-T G.984.x. La soluzione è oramai matura commercialmente e offerta da diversi fornitori sia a livello di apparati di Centrale (OLT) sia a livello di apparati lato Cliente (ONT). L'interoperabilità tra apparati (OLT di un costruttore che lavora con ONT di altri costruttori, e viceversa) è molto elevata, grazie anche ai numerosi "interoperability event" promossi in ambito FSAN ■

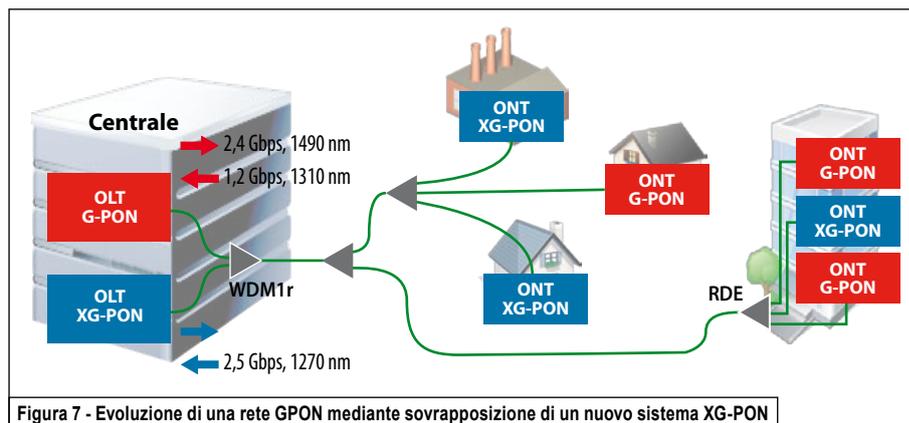


Figura 7 - Evoluzione di una rete GPON mediante sovrapposizione di un nuovo sistema XG-PON

NG-PON2, con prestazioni ancora superiori:

- capacità minima 40/10 Gbit/s (downstream/upstream);
- fattore di diramazione da 64 a 1000;
- almeno 40 km di portata;
- stessa ODN dei sistemi GPON;
- supporto di servizi per clientela residenziale, business e per il Mobile Backhauling sulla stessa rete;
- elevata sicurezza, alta disponibilità, basso consumo.

Le soluzioni NG PON2 non richiedono alcun tipo di rivisitazione della rete ottica dispiegata per i sistemi GPON di prima generazione, potendo funzionare su reti ottiche Punto-Multipunto realizzate con diramatori ottici passivi (splitter di potenza); sarà quindi sufficiente cambiare solo gli apparati lato Centrale e lato Cliente.

È prevista la coesistenza sullo stesso albero PON con sistemi tradizionali GPON e con sistemi di diffusione televisiva in fibra ottica⁵, mentre la coesistenza con sistemi XG-PON non è al momento un requisito stringente della NG-PON2. Tuttavia una delle opzioni allo studio prevede che il nuovo sistema NG-PON2 si basi proprio sulla tecnologia sviluppata per i sistemi XG-PON, traendone quindi il massimo beneficio.

Per raggiungere le prestazioni target dei sistemi NG-PON2 si utilizza una combinazione di tecniche trasmissive: più sistemi basati su tecnica TDM/TDMA (p.es. GPON o XG-PON) e funzionanti su lunghezze d'onda differenti sono sovrapposti mediante filtri WDM per realizzare il sistema base TWDM-PON punto-multipunto, da utilizzare principalmente per servizi residenziali e small business; sulla stessa rete ottica può inoltre essere sovrapposto un ulteriore sistema WDM-PON per realizzare collegamenti logici punto-punto (una lunghezza d'onda differente dedicata ad ogni collegamento) per grossi utenti affari o per il backhauling di stazioni radiomobili o di altri apparati di accesso. Le ONU sono dotate di ricevitori ottici sintonizzabili per la selezione della lunghezza d'onda di lavoro. È attualmente in corso di definizione l'allocazione spettrale per questa nuova tecnologia trasmissiva, che risulterà dal miglior compromesso tra: possibilità di coesistenza e minimizzazione dell'interferenza sui sistemi attuali; riutilizzo della componentistica ottica e delle tecnologie trasmissive sviluppate per le GPON, per le XG-PON e per la trasmissione ottica a lunga distanza.

5 In alcune aree geografiche (p.es. USA) è comune la soluzione che prevede la conversione in ottico, su lunghezza d'onda di 1550nm, della banda a radiofrequenza della TV analogica o digitale terrestre e la successiva immissione di tale segnale sulla rete ottica in sovrapposizione a quello del sistema GPON. In sede cliente, la ONT contiene anche il convertitore ottico-elettrico necessario per ripresentare sotto forma di segnale RF elettrico l'intera banda di diffusione televisiva.

Il consolidamento degli Standard per la NG-PON2 è atteso nel periodo 2012-2013, mentre i primi prodotti commerciali sono attesi per il 2015.

Mentre la scelta del sistema TWDM-PON permette di ricorrere a tecnologie TDM/TDMA più consolidate, favorendo il riutilizzo di investimenti già realizzati da parte di molti Costruttori e riducendo il rischio di un salto tecnologico, per l'eventuale sistema WDM-PON c'è attualmente maggiore apertura a soluzioni più evolute, basate p.es. su tecniche di ricezione coerente e formati di modulazione ottica multilivello.

La soluzione TWDM-PON, basata sulla sovrapposizione di più sistemi TDM/TDMA operanti su differenti lunghezze d'onda, fu sperimentata con successo nei la-

boratori TILAB, in collaborazione con un Fornitore, già nel 2010.

Il sistema oggetto della sperimentazione consisteva nella sovrapposizione di cinque sistemi GPON (Figura 8) per dimostrare, più che l'incremento di capacità ottenibile con questa configurazione, la possibilità per più Operatori di operare in concorrenza sulla medesima rete ottica e di conseguenza la fattibilità di un'apertura della rete, anche se basata su topologia punto-multipunto.

3.3 Oltre NG-PON2

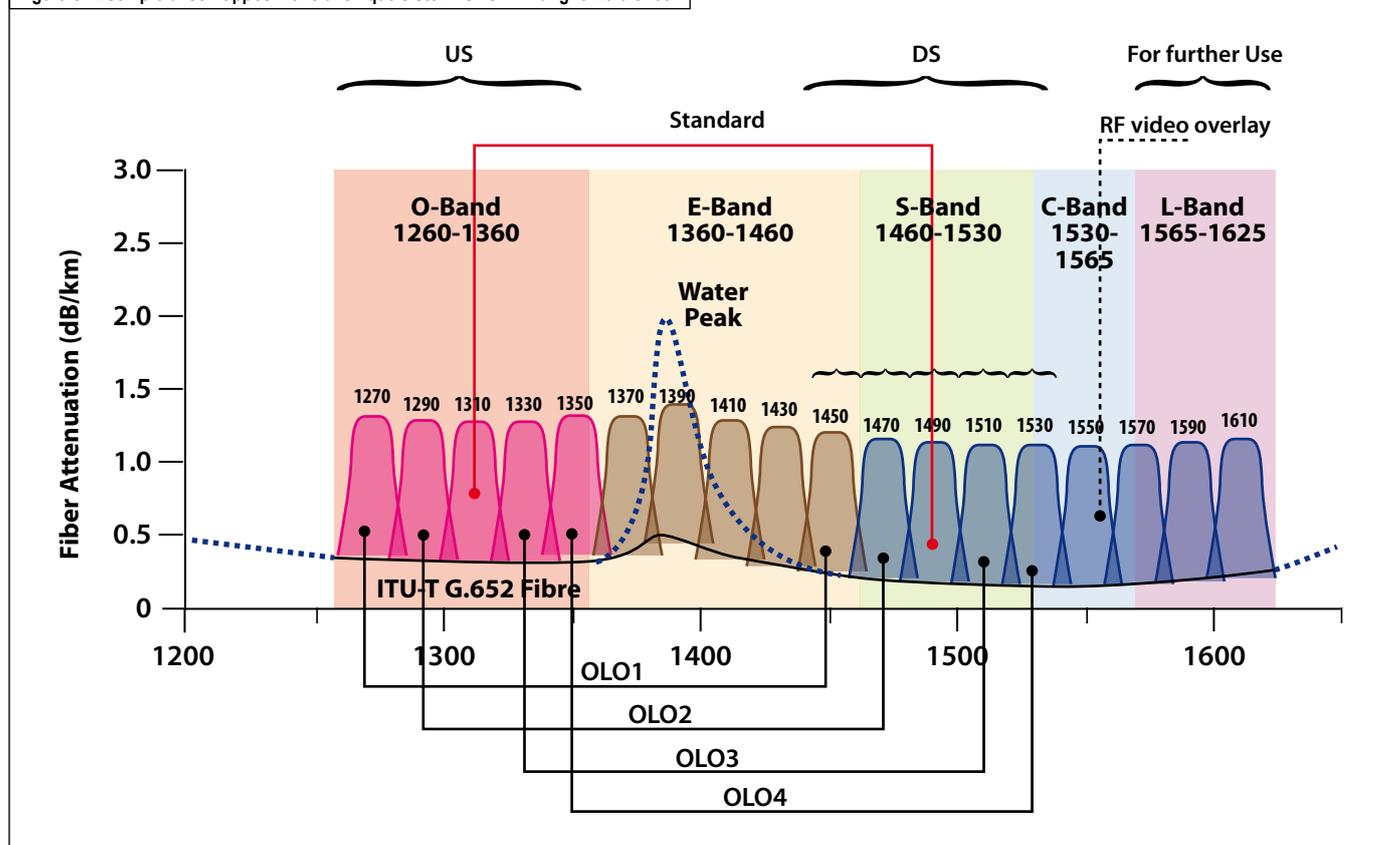
Alcuni Costruttori sono già impegnati in attività di ricerca avanzata su sistemi trasmissivi ancora più evoluti, basati sulle tecniche Ultra

Dense WDM, sulla ricezione coerente e sull'impiego di modulazioni avanzate con elaborazione digitale del segnale. Queste soluzioni, basate sul concetto di dedicare una lunghezza d'onda separata per ogni Cliente servito, quindi potenzialmente in grado di fornire capacità trasmissive da 1 a 10 Gbit/s per Cliente, potrebbero costituire una delle alternative per il sistema WDM-PON della NG-PON2 o più probabilmente l'embrione di un nuovo sistema NG-PON3.

4 Stato della normativa e disponibilità prodotti

Gli enti di riferimento per le tecnologie e sistemi trasmissivi su rame sono l'ITU-T ed il Broadband Forum.

Figura 8 - Esempio di sovrapposizione di cinque sistemi GPON in lunghezza d'onda



L'ITU-T Study Group 15 ha sviluppato tutte le Raccomandazioni DSL di riferimento che sono ormai consolidate come il VDSL2 ed il Vectoring. Queste ultime sono tecnologie che hanno già superato la fase di standardizzazione e sono in quella di produzione e deployment. Il BBF (*Broadband Forum*) ha contribuito al raggiungimento dell'interoperabilità multivendor e alla verifica delle prestazioni dei prodotti DSL, mediante la specifica di opportuni Test Plan. In particolare sono da citare i Test Plan per il VDSL2 (TR 114 e TR 115 Issue 2) mentre sono in corso di sviluppo quelli per il Bonding (WT-273) ed il Vectoring (WT 249). Telecom Italia contribuisce nel BBF ai requisiti prestazionali delle tecnologie DSL definiti nei Test Plan ed alla specifica dei test funzionali d'interesse.

Telecom Italia presidia attivamente gli sviluppi della nuova Raccomandazione ITU-T G.fast ed ha contribuito alle definizioni dei requisiti degli Operatori per l'architettura FTTdP. L'obiettivo è favorire lo sviluppo di transceiver a singola porta, capaci di supportare la compatibilità con gli apparati VDSL2. Il tema FTTdP è oggetto di discussione anche nel BBF, all'interno del Council dei Service Provider relativamente agli scenari ed i requisiti per questa architettura. Inoltre è allo studio un progetto strutturato per lo sviluppo di specifiche relative oltre che agli aspetti tecnologici, anche a quelli sistemistici e gestionali. I primi chipset G.fast saranno disponibili verso la fine del 2014, mentre i prodotti commerciali sono attesi nel corso del 2015.

Nell'ambito dell'evoluzione delle tecnologie trasmissive per l'Accesso ottico, Telecom Italia è attiva principalmente nei gruppi di in-

teresse Broadband Forum e FSAN, oltre che nell'ente di normativa ITU.

Nel gruppo FAN (*Future Access Network*) del Broadband Forum Telecom Italia guida le attività di definizione e verifica della conformità dei sistemi GPON mentre nel gruppo FSAN guida le attività di verifica dell'interoperabilità dei sistemi XG-PON e contribuisce alla definizione delle specifiche per i nuovi sistemi NG-PON2.

Telecom Italia partecipa inoltre alla OLI (*Open Lambda Initiative*), gruppo d'interesse nato per studiare le alternative di apertura della rete ottica d'accesso allo scopo di favorire la libera concorrenza tra Operatori anche su reti sviluppate con topologia punto-multipunto. Si osservi che, mentre la disponibilità di prodotti GPON è ormai ampia, grazie anche ai numerosi deployment in diverse aree del mondo (in particolare USA, ma anche Europa e Asia), quella dei sistemi XG-PON è ancora molto limitata: solo i maggiori Costruttori mondiali offrono questa tecnologia, ma spesso ancora in for-

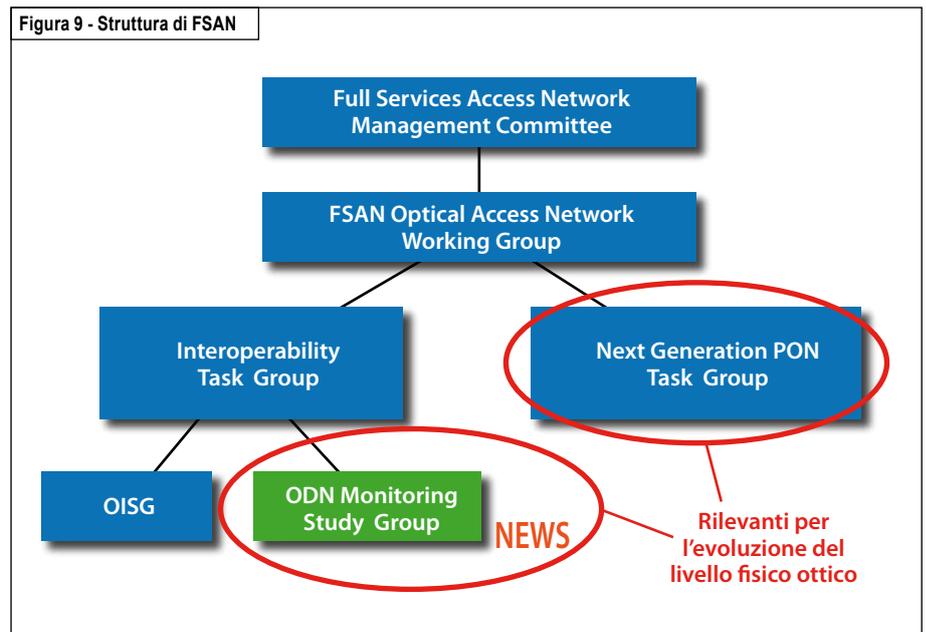
ma pre-commerciale, in attesa di ricevere chiare indicazioni sullo sviluppo del mercato. La disponibilità di sistemi NG-PON2 è invece prevista a partire dal 2015.

Conclusioni

Il rapido e continuo incremento della banda, connesso all'evoluzione dei servizi, richiede un continuo aggiornamento della rete di accesso per soddisfare questa richiesta. Le nuove architetture di rete di accesso prevedono quindi tutte una penetrazione sempre maggiore della fibra ottica.

Tuttavia, quanto presentato nella sezione 2 rende evidente che è in atto un significativo sforzo di specifica e sviluppo da parte degli operatori e dei costruttori di apparati per la realizzazione di nuove tecnologie in rame. Ciò dimostra che c'è un forte interesse nel riutilizzo dell'attuale infrastruttura d'accesso in rame per lo sviluppo di reti di nuova generazione. Ciò consentirà in molti

Figura 9 - Struttura di FSAN



casi di portare la fibra fino all'armadio o all'edificio e di posticipare il cablaggio ottico fino in casa del Cliente. I principali obiettivi che sono perseguiti attraverso l'innovazione delle tecnologie trasmissive su rame sono:

- l'aumento significativo delle prestazioni in termini di bitrate;
- la riduzione della complessità degli apparati con la semplificazione del dispiegamento in rete;
- la riduzione dei consumi con benefici su CAPEX e OPEX

A tendere, tuttavia, il dispiegamento massiccio della fibra nel segmento di rete di accesso è inevitabile: già in alcuni paesi del mondo sono attive offerte alla clientela residenziale di servizi a 100 Mbit/s e oltre, fino a 1 Gbit/s. L'attività di ricerca e standardizzazione sta già quindi concentrandosi sull'evoluzione delle tecnologie ottiche applicabili in rete di accesso per predisporre le soluzioni utilizzabili nel prossimo futuro, naturalmente facendo salvi gli attuali investimenti nello sviluppo, già avviato, della NGAN.

Per un operatore come Telecom Italia è molto importante seguire l'evoluzione delle tecnologie di rete d'accesso, partecipando direttamente ai lavori di specifica, standardizzazione, prototipazione e validazione delle nuove tecnologie con lo scopo di creare al proprio interno know-how ed influenzare gli snodi tecnologici in base ai propri requisiti. Solo in questo modo è possibile ottimizzare le successive fasi di procurement, ingegnerizzazione e deployment, cogliendo al meglio e in modo rapido le nuove opportunità che diventano man mano disponibili sugli apparati ■



Acronimi

ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
CPE	Customer Premises Network
DPBO	Downstream Power Back Off
DSLAM	DSL Access Multiplexer
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FSAN	Full Service Access Network
FTTB	Fiber To The Building
FTTCab	Fiber To The Cabinet
FTTdP	Fiber To The distribution Point
FTTH	Fiber To The Home
G.fast	Fast Access to Subscriber Terminals
GPON	Gigabit capable Passive Optical Network
ITU-T	International Telecommunications Union - Telecommunications Standardisation Sector
NGAN	Next Generation Access Network
NG-PON2	Next Generation - PON 2
ODF	Optical Distribution Frame
ODN	Optical Distribution Network
OLI	Open Lambda Initiative
OLO	Other Licensed Operator
OLT	Optical Line Termination
ONT	Optical Network Termination
ONU	Optical Network Unit
PON	Passive Optical Network
ROE	Ripartitore Ottico di Edificio
SME	Small Medium Enterprise
SOHO	Small Office Home Office
TDD	Time Division Duplexing
TDM/	
TDMA	Time Division Multiplexing/Time Division Multiple Access
TR	Technical Report
UI	Unità Immobiliare
UPBO	Upstream Power Back Off
VDSL2	Very high speed Digital Subscriber Line 2

WDM	Wavelength Division Multiplexing
WT	Working Text
XG-PON	10Gigabit-capable PON



Bibliografia

- [1] G. Ginis, J.M. Cioffi "Vectored-DMT: A FEXT Canceling Modulation Scheme for Coordinating Users". Proceedings of ICC 2001, June 2001, pp. 305 - 309.
- [2] G. Ginis, J.M. Cioffi "A Multi-user Precoding Scheme achieving Crosstalk Cancellation with Application to DSL Systems". Proceedings of the Thirty-Fourth Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers 2000, October 2000, pp. 1627 - 1631.
- [3] G. Ginis, J.M. Cioffi "Vectored Transmission for Digital Subscriber Line Systems", IEEE Journal on selected areas in communications, vol. 20, No. 5, 2002, pp. 1085-1104.
- [4] "Very high speed digital subscriber line transceivers 2 (VDSL2)", Raccomandazione ITU-T G.993.2, Dicembre 2011.
- [5] "Self-FEXT cancellation (vectoring) for use with VDSL2 transceivers", Raccomandazione ITU-T G.993.5, Aprile 2010.
- [6] "ATM-based multi-pair bonding", Raccomandazione ITU-T G.998.1, Gennaio 2005.
- [7] "Ethernet-based multi-pair bonding", Raccomandazione ITU-T G.998.2, Gennaio 2005.
- [8] "Improved impulse noise protection for DSL transceivers", Raccomandazione ITU-T G.998.4, Giugno 2010.
- [9] "Enabling 4GBB via the last copper drop of a hybrid FTTH deployment", TNO White Paper on DSL, Aprile 2011.
- [10] "Operators Requirements on DSL over the last copper drop", Broadband

Forum OD-263 White Paper, Febbraio 2012.

- [11] P. Bondi, F. Montalti, P. Pellegrino, M. Valvo "La Next Generation Access Network di Telecom Italia: le scelte infrastrutturali", Notiziario Tecnico Telecom Italia n.1/2011.
- [12] P. Chanclou, A. Cui, F. Geilhardt, H. Nakamura, D. Nettet "Network operator requirements for the next generation of optical access networks", IEEE Network Magazine, March/April 2012.
- [13] "The Open Lambda Initiative – High Level Objectives", June 2011, White Paper disponibile su www.openlambdainitiative.org.
- [14] "The Open Lambda Initiative – Use Case Scenarios", January 2012, White Paper disponibile su www.openlambdainitiative.org.
- [15] Sistemi GPON: serie di Raccomandazioni ITU-T G.984.1 – G.984.7, G.988
- [16] Sistemi XG-PON: serie di Raccomandazioni ITU-T G.987, G.987.1 – G.987.4, G.988
- [17] Sistemi NG-PON2: Raccomandazione ITU-T draft G.ngpon2.1: "40-Gigabit-capable passive optical networks (xx-PON): General requirements".
- [18] Sistemi NG-PON2: Raccomandazione ITU-T draft G.ngpon2.2: "40-Gigabit-capable passive optical networks (NG-PON2): Physical media dependent (PMD) layer specification".
- [19] Raccomandazione ITU-T draft G.muti "Multiple Wavelength Passive Optical Access Networks (MW-PON)".
- 20] M. De Bortoli, R.Mercinelli, P. Solina, A. Tofanelli "Tecnologie ottiche per l'accesso: le soluzioni Passive Optical Network", Notiziario Tecnico Telecom Italia Anno 13 n.1 - Giugno 2004.
- [21] R.Mercinelli, P. Solina, "PON di nuova generazione: GPON", Notiziario Tecnico Telecom Italia Anno 16 n.1 – Aprile 2007.

paola.cinato@telecomitalia.it

flavio.marigliano@telecomitalia.it

maurizio.valvo@telecomitalia.it



Paola Cinato

laureata in ingegneria elettronica e certificata PMP dal 2007. In azienda dal 1987, si è occupata inizialmente di sistemi di commutazione e tecnologie ottiche e nel '91 ha lavorato per un anno presso i laboratori Bellcore, a Morristown NJ (USA), sulle interconnessioni ad alta velocità nei moduli multi chip. Negli anni successivi ha coordinato le attività sul risparmio energetico nei sistemi di energia e condizionamento per telecomunicazioni, per poi occuparsi di planning strategico e negli ultimi anni di tecnologie trasmissive per la rete di accesso in rame. Nella struttura Wireline Access Innovation & Engineering, coordina nel ruolo di Project Manager le attività di innovazione sulle tecnologie trasmissive xDSL, con particolare focus sul VDSL2 e sulle tecnologie evolutive per la rete di accesso NGAN.



Flavio Marigliano

ingegnere delle telecomunicazioni, è in azienda dal 2003 dove si occupa di tematiche legate all'evoluzione delle tecnologie trasmissive su rame DSL. Partecipa dal 2005 ai lavori degli enti di normativa ITU-T ed ETSI per le specifiche di sistemi DSL, dove ha contribuito alla stesura delle Raccomandazioni VDSL2, G.vector, G.inp ed oggi G.fast. Collabora alla valutazione e sperimentazione di funzionalità innovative della tecnologia DSL, all'analisi delle prestazioni della rete di accesso in rame e sue evoluzioni. Nella struttura Wireline Access Innovation & Engineering, coordina le attività per l'evoluzione dei processi di vendibilità ed assurance dei servizi DSL, definendone le specifiche e gli algoritmi, con lo scopo di migliorare la qualità e le prestazioni delle connessioni broadband.



Maurizio Valvo

ingegnere elettronico è in Azienda dal 1991, dove si è occupato di sistemi Passive Optical Network (PON) in tecnologia ATM, partecipando a progetti di ricerca e sviluppo europei. Ha proseguito la sua attività nell'ambito della ricerca sui sistemi di accesso innovativi (PON, xDSL, GbE), occupandosi dell'integrazione delle reti di accesso broadband in architetture di rete triple-play, contribuendo attivamente alla definizione delle specifiche IPTV nell'ambito del gruppo Full Service Access Network (FSAN) e coordinando le sperimentazioni in campo di sistemi PON, Free Space Optics, Fixed Wireless Access e di architetture Fibre To The Cabinet. Nella struttura Wireline Access Innovation & Engineering, coordina nel ruolo di Project Manager le attività di scouting, specifica e testing con particolare riguardo all'evoluzione delle tecnologie ottiche per la Next Generation Access Network ed è responsabile del laboratorio "Sistemi per reti di accesso a larga banda" e della sezione Rete dell'"INnovation LAB".