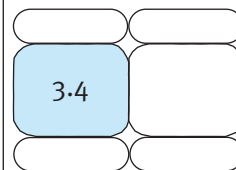


NEW GENERATION NETWORK STRATEGIE DI ACCESSO



Nel campo delle telecomunicazioni è alle porte la rivoluzione NGN, ossia una nuova rete basata sempre più su sistemi informatici e ispirata totalmente alla filosofia Internet. Caratteristica peculiare di tale rete, per trasferimenti sia in tempo reale che differito, è l'impiego universale del protocollo IP qualunque sia il tipo di informazione da trasmettere. L'articolo si propone di presentare una panoramica e una breve analisi delle diverse soluzioni proposte per il segmento d'accesso di tale rete, condizionante (in particolare economicamente) nello sviluppo della rete complessiva e dei relativi servizi attesi.

Carlo Spinelli
Guido Vannucchi



1. LE NUOVE RETI NGN

Con la denominazione **NGN** (*Next Generation Network*) ci si riferisce ad una nuova generazione di reti di telecomunicazioni caratterizzate da principi di funzionamento e architetture completamente innovative rispetto al passato.

Per i concetti del tutto generali inerenti a queste reti (indicate anche come **Internet 2**) si rimanda a [1, 2]. È sufficiente qui ricordare che tali reti, ispirate al modello Internet, ne rappresentano un nuovo e generalizzato modello di utilizzo che diventa strumento di comunicazioni di massa, coniugando al tempo stesso - per reti fisse e mobili - comunicazioni in tempo reale e tempo differito di tutte le diverse modalità di informazioni (dati, voce, video) sia che abbiano caratteristiche *unicast* che *multi cast* sia "machine to machine".

In particolare nell'acronimo NGN tendono a concentrarsi diversi aspetti di carattere tecnologico e architeturale e in particolare:

a. convergenza fisso-mobile e trasparenza

della rete per qualunque tipo di servizio (voce, video, dati ecc.);

b. impiego universale dell'architettura di trasporto con commutazione a "pacchetti" - e tecniche di QoS (*Quality of Service*) per la priorità delle informazioni in tempo reale - ed uso generalizzato del protocollo IP per tutti i tipi di informazioni trasmesse;

c. indipendenza del livello di servizio dallo strato fisico della rete;

d. intelligenza di rete opportunamente distribuita con particolare attenzione alla sicurezza;

e. notevole valore aggiunto dei servizi offerti dalla stessa rete (con un'estensiva virtualizzazione in rete di risorse informatiche quali *backup*, sicurezza, identificazione, ecc.);

f. adozione di bande sempre più larghe per la richiesta di servizi video (anche HDTV) e per altri servizi innovativi.

L'evoluzione verso la rete NGN è un processo che interessa tutti i segmenti del trasporto delle informazioni e più precisamente la rete a grande distanza (*backbone*), le reti metropolitane, le reti di raccordo (*backhaul*) tra ac-

cesso e *backbone* e infine l'area di accesso. Elemento fondamentale della rete NGN, oltre alle nuove modalità di trasporto e commutazione delle informazioni, sono anche e soprattutto le innovazioni introdotte nelle piattaforme di servizio.

Il presente contributo vuole esaminare criticamente le **nuove architetture e tecnologie dell'area d'accesso** per i molteplici problemi ad essa inerenti [3]. L'accesso rappresenta, infatti, il "collo di bottiglia" per servizi a banda sempre più larga che tra l'altro richiedono, in sempre maggior misura, simmetria nella bidirezionalità, in particolare per le applicazioni "peer-to-peer".

Per la sua capillarità, la rete d'accesso rappresenta inoltre la porzione di gran lunga più gravosa agli effetti dei futuri investimenti. Come si vedrà, tale porzione della rete è caratterizzata da un dispiegamento estensivo di fibre ottiche verso l'utente - con una conseguente evoluzione verso i nuovi portanti e le nuove tecnologie - in cui tuttavia i lavori civili, in assenza di "condotti" preesistenti, rappresentano la percentuale di costo sensibilmente più alta per gli investimenti da effettuare.

L'impiego della fibra ottica in quest'area rappresenta infine un passo fondamentale verso una trasformazione progressiva e inarrestabile delle tecnologie di rete in un "tutto ottico" (incluso la commutazione ottica a pacchetti) per una completa uniformità delle tecnologie, con conseguente minor complessità, minori consumi e alta affidabilità.

Obiettivo del presente articolo è quello di dare un panorama completo delle diverse soluzioni - semplificando il più possibile i riferimenti tecnici necessari - con cui può essere affrontato il problema delle nuove reti d'accesso **NGAN** (*Next Generation Access Network*) con un breve confronto critico.

2. LA RETE D'ACCESSO

2.1. Generalità

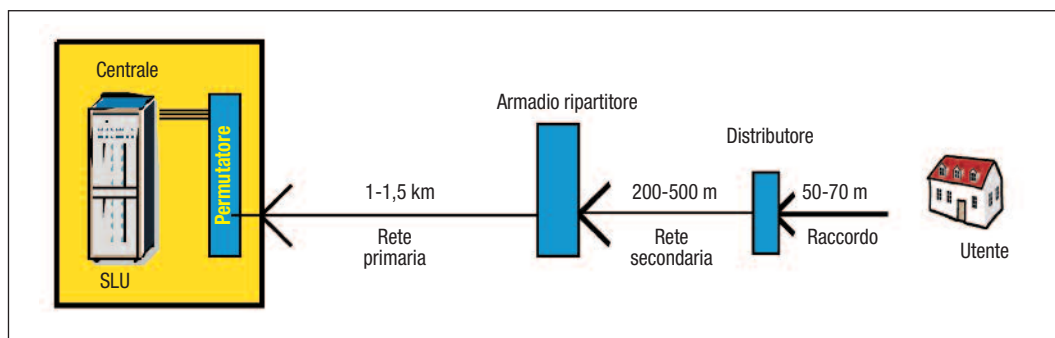
Con la denominazione di "rete d'accesso" si è sempre inteso storicamente il tratto di rete che va dall'ultima tradizionale Centrale di commutazione (indicata con il termine "SLU" ossia, *Stadio di Linea Urbano*) fino a raggiungere il singolo utente. Nell'attuale accezione è quindi il segmento trasmissivo caratterizzato dall'impiego di **portanti dedicati a ogni singolo utente**, a differenza degli altri segmenti della rete dove più segnali opportunamente affasciati (**multiplati**) transitano su **portanti condivisi** tra più utilizzatori.

A parte una piccolissima percentuale di accessi in fibra realizzata da Fastweb all'inizio della sua attività - e oggi praticamente sospesa a causa degli alti investimenti necessari - la rete d'accesso in rame è tuttora in Italia (ma anche in molti altri Paesi) la soluzione tecnica in assoluto più sviluppata per dare servizi di telefonia e dati agli utenti residenziali. Nei Paesi occidentali la coppia di fili di rame (il cosiddetto **doppino**) raggiunge praticamente tutte le abitazioni anche in virtù del principio del servizio universale telefonico che si è affermato, nei decenni passati, in tutto il mondo occidentale.

Nella figura 1 sono rappresentati alcuni aspetti impiantistici che caratterizzano l'attuale rete d'accesso in rame.

La **Centrale** terminale è un locale, di dimensioni assai varie secondo le aree d'impiego (pochi mq in zone rurali e notevolmente più grande in zona urbana), in cui sono ospitati gli apparati ai quali si attestano i vari doppini dei clienti. Le centrali gestiscono poche centinaia di utenti in zone rurali e fino a qualche decina di migliaia nei centri urbani, in particolare nei casi in cui nello stesso edificio sono allocati un certo numero di SLU.

FIGURA 1
Elementi impiantistici dell'attuale rete d'accesso in rame



Il numero di SLU (in percentuale degli utenti) è, in Italia, sensibilmente più elevato che in altri Paesi per ragioni storiche e ammonta a circa 10.500 con una conseguente rete d'utente di lunghezza media particolarmente contenuta. Un certo numero di SLU concorre verso il livello superiore di Centrale di commutazione (denominato SGU - *Stadio di Gruppo Urbano*) il cui numero in Italia è di 650 con il 10% di essi (denominati SGT - *Stadio di Gruppo di Transito*) adibiti al traffico interurbano.

Elemento caratteristico della Centrale terminale è il **permutatore** che è il punto di terminazione di cavi della rete primaria che raggruppano da 400 a 2400 doppini. Esso permette la mappatura, modificabile nel tempo, tra utenti e reti a monte (anche verso le centrali degli operatori alternativi che affittano le linee di utente).

Con **rete primaria** s'intende il percorso, tipicamente in Italia di 2 km, che collega lo SLU ai vari **armadi ripartitori** (in media 11-12 per Centrale) che rappresentano il punto di flessibilità di interconnessione tra i doppini della **rete primaria** e quelli della **rete secondaria**.

L'Armadio ripartitore permette di gestire fino ad un massimo di 400 doppini e da esso si dipartono cavi sotterranei (in Italia tipicamente non in "condotti", ma interrati) da 30 a 400 doppini oppure, in aree rurali, cavi aerei da 10 a 200 doppini che raggiungono il **distributore**. L'Armadio distributore rappresenta l'ultimo punto di flessibilità prima di entrare, con un raccordo dell'ordine di 50-70 m, nelle abitazioni degli utenti in cui il singolo doppino viene attestato alla cosiddetta **Borchia d'Utente**. Il distributore può essere ospitato sul marciapiede più prossimo all'edificio ovvero nello stesso basamento dell'edificio da servire.

Una delle principali caratteristiche dei collegamenti nella rete attuale d'accesso è la diretta corrispondenza tra doppino di rame e utente: un doppino trasporta le informazioni per uno e un solo utente. In altre parole il termine rete d'accesso si è sempre identificato come il confine di transizione tra infrastrutture di rete condivise (ossia con segnali multiplati di più utenti) e quello in cui i portanti sono dedicati ai singoli utenti. In questo contesto le denominazioni di "rete d'accesso" e "rete di utente" sono sempre state considerate sinonime. Come si vedrà in seguito questa relazione univoca non è più valida, nella maggior parte

dei casi, per le nuove reti NGN, anche se il segmento di rete che parte dall'ultima Centrale continua, per convenzione, ad essere denominato rete d'accesso e assume, più specificatamente, la denominazione **NGAN** che rappresenta, per l'appunto, il soggetto del presente articolo.

Una caratteristica peculiare delle NGAN è l'introduzione totale o parziale della **fibra ottica** in luogo del rame, la quale, nella maggior parte delle architetture proposte (o in porzioni di esse) è utilizzata come sistema condiviso tra più utenti.

Un'altra caratteristica rilevante delle attuali soluzioni è la **manca di ridondanza** nel collegamento tra Centrale e utente. Tale scelta non sarà molto probabilmente più accettabile negli accessi NGAN in cui, come già detto, la fibra ottica è in parte o quasi totalmente condivisa e, per di più, è destinata a servire distanze anche sensibilmente più alte che nel passato.

2.2. Sistemi d'accesso e concorrenza

La rete d'accesso all'utente presente in Italia è ancora, per la stragrande maggioranza, quella di Telecom Italia in doppini di rame.

Gli alti costi d'investimento, qualunque sia il tipo di tecnologia impiegata, necessari per la rete d'accesso (come già accennato, più dell'80% dei costi sono opere civili per la costruzione dei condotti o per lo scavo di trincee nel caso di interrimento diretto dei cavi) fanno sì che questo segmento della rete possa considerarsi una sorta di **monopolio naturale**. Pertanto, mentre infrastrutture di rete in concorrenza tra loro sono possibili per la rete di trasporto a grande distanza e per la rete di raccordo (in questo caso già con maggiore difficoltà per le reti rurali), la possibilità economica per un concorrente di non dipendere dalla rete d'accesso del gestore **incumbent** (ex monopolista) sono assai ridotte¹.

Tale situazione, in ottica di "make or buy", ha portato molti gestori alternativi ad utilizzare lo

¹ Un esempio d'alternativa, anche se di portata assai limitata, in Italia, sono stati gli accessi in fibra ottica perseguiti all'inizio della liberalizzazione da *Fastweb*, ma rimasti una soluzione d'*elite* con limitata possibilità di generalizzazione per motivi economici, ciò che ha confermato la grande difficoltà ad avere due diverse reti d'accesso in concorrenza.

unbundling² della rete d'accesso Telecom ovvero, in alternativa, ad affidarsi totalmente all'ex monopolista per il completo servizio di rete (**wholesale**) veicolando sulla sua rete specifici servizi proprietari verso i propri utenti.

Il contesto si è ulteriormente aggravato con l'introduzione dei sistemi ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*) [4] che hanno trasformato la rete d'accesso in rame in un'infrastruttura a banda larga, attraverso l'aggiunta alle due estremità dei modem ADSL. Tale sistema ha rappresentato pertanto una vera rivoluzione nel campo dell'accesso, favorendo il proprietario della rete ed obbligando i concorrenti a scegliere la strategia dell'*unbundling* o del *wholesale*.

La presenza del "collo di bottiglia" rappresentato dalla rete d'accesso ha portato a discutere molto sulla problematica della **separazione** di tale segmento dalla proprietà dell'ex-monopolista allo scopo di migliorare la concorrenza. Un argomento di tale natura esula dallo scopo del presente articolo, ma è importante qui ricordare che l'evoluzione verso le nuove reti d'accesso NGAN complica ulteriormente questa tematica sia per le nuove tipologie di rete che per le problematiche relative agli investimenti sorgenti.

3. CONSIDERAZIONI PRELIMINARI SULLE NUOVE RETI D'ACCESSO

Il sistema ADSL è stato un mezzo straordinario per potenziare di due ordini di grandezza le possibilità trasmissive del doppino di ra-

me³ e sta svolgendo in pieno la sua funzione di sistema di transizione pur non potendo essere considerato un punto di arrivo a regime. Infatti, accanto ad una serie di vantaggi quali la semplicità d'installazione (con assenza di lavori all'esterno) e il basso costo di investimento (con una quasi proporzionalità con le domande dei nuovi utenti), il sistema presenta alcune limitazioni che difficilmente sono accettabili nel momento in cui si affronta una nuova rete NGN.

In primo luogo le prestazioni dei sistemi ADSL (in teoria 7-8 Mbit/s, nella pratica 3-4 Mbit/s, denominata "banda larga di *prima generazione*") sono notevolmente dipendenti dalla lunghezza della tratta di utente, distanza che in prospettiva è destinata in Italia ad aumentare dato che Telecom Italia ha sposato l'indirizzo di diminuire il numero di centrali terminali esistenti in Italia. Inoltre, anche attraverso l'impiego di una *seconda generazione* di ADSL (ADSL2+), siamo in presenza di una limitatezza di banda che può - nei casi migliori, ossia per distanze non troppo lunghe e doppi non disturbati - raggiungere in teoria 18-24 Mbit/s (nella pratica 8 - 10 Mbit/s) in *Down-stream* e 1-2 Mbit/s in *Up-stream*. Tale soluzione permette di trasmettere programmi televisivi a definizione standard (SDTV) (servizio ormai offerto da tempo da Fastweb e Telecom Italia) ma permane una forte asimmetria di bit-rate tra i due sensi di trasmissione, prestazione carente, come già accennato, in particolare per servizi *peer-to-peer*. Altre limitazioni sono la più alta sensibilità alle interferenze di sorgenti elettromagnetiche e, in prospettiva, i disturbi

² Per "**Local Loop Unbundling**" (*Accesso disaggregato alla rete locale*) si indica la possibilità offerta dagli enti di regolazione ai nuovi entranti telefonici di richiedere al vecchio monopolista l'affitto, a prezzo equo e controllato, delle strutture fisse d'accesso all'utente per fornire ai propri clienti i servizi da essi erogati. Propriamente si definisce *Full Unbundling* l'opzione in cui il nuovo entrante si sostituisce completamente al vecchio operatore sia per servizio telefonico che Internet e *Shared Access* quella in cui l'ex monopolista mantiene il servizio telefonico ed affitta il doppino per i soli servizi Internet. In questi casi l'operatore alternativo si attesta al livello più basso (SLU) dell'architettura di rete a commutazione di circuito e sfrutta una propria rete per la restante parte dei segmenti di raccordo e trasporto.

Se l'operatore alternativo si attesta ad un livello più alto di centrali dell'*incumbent*, allora si parla di **wholesale** ed il servizio viene totalmente gestito come trasmissione, anche in portanti condivisi, dall'ex monopolista.

³ Il sistema ADSL necessita di un apparato presso l'utente (ormai con prezzi veramente contenuti pari a qualche decina di Euro) e di un apparato in centrale (DSLAM: *Digital Subscriber Line Access Multiplexer*), centralizzato per più utenti, cui spetta il compito di operare la separazione tra la comunicazione fonica e la trasmissione dati che viene inviata alla rete nazionale a commutazione di pacchetto. Nel caso in cui un competitor richieda a Telecom l'*unbundling*, spetta ad esso provvedere per gli investimenti degli apparati DSLAM relativi alla raccolta della sua utenza.

di diafonia all'interno dello stesso cavo man mano che un maggior numero di coppie dovesse essere equipaggiato con sistemi ADSL. La rete NGAN supera tutte queste limitazioni con opportune soluzioni che tendono in ogni caso a portare la fibra il più vicino possibile all'utente (se non necessariamente alla borchia) per godere di prestazioni di banda molto larga, dato particolarmente importante per l'introduzione di nuovi servizi (internet a larghissima banda, TV ad alta definizione, *peer-to-peer* di video semi-professionali, servizi convergenti quali per esempio le Femto-celle ecc.).

Le architetture in discussione sono molteplici e ovviamente quelle maggiormente proiettate al futuro comportano costi d'investimento più elevati, anche se in compenso sono destinate a durare per un maggior numero di anni e a configurarsi come soluzioni di regime. Le tipologie di reti d'accesso NGAN - che devono presentarsi agnostiche rispetto alle applicazioni - possono sostanzialmente ricondursi, a livello infrastrutturale, alle **tre famiglie** sotto indicate:

a. suddivisione del segmento che va dalla Centrale all'utente in due tronconi: la **rete d'accesso primaria** equipaggiata con un sistema in fibra ottica, in luogo del rame, in grado di servire più utenti in modo affasciato e successivamente - a partire dall'Armadio ripartitore (e quindi con lunghezze sensibilmente inferiori a quelle attuali) - la **rete secondaria** con i tradizionali doppini di rame dedicati verso i singoli utenti finali o verso una stazione Radio-Base di un sistema cellulare mobile;

b. come la precedente, ma con **rete secondaria divisa ulteriormente in due parti** e perciò con fibra ottica prolungata dall'Armadio ripartitore - che diventa un ripartitore di fibra ottica - fino al distributore (sistemato in piccoli armadi sul marciapiede o nella cantina dell'edificio) e solo da questo punto (molto vicino e per poche decine di utenti) con portanti rame e/o radio;

c. sostituzione totale del doppino di rame con la **fibra ottica** che può essere dedicata ad ogni singolo utente (si parla di punto-punto a partire dalla Centrale) oppure in parte condivisa e in parte dedicata (si parla di punto-multipunto).

Ovviamente nel caso d'impiego di **soluzione radio** per l'ultimo tratto, l'utente finale non

può aspirare a velocità paragonabili a quelle ottenibili con un ultimo tratto in rame (e meno che meno per la fibra) in quanto la radio è a sua volta una rete condivisa. Il campo più vasto di applicazioni per i nuovi servizi a banda molto larga e con tipologia simmetrica rimarrà, pertanto, fortemente legato a impieghi totalmente su rete fissa.

Le soluzioni radio sono di fondamentale importanza in almeno due casi.

Il primo campo applicativo è quello che persegue la completa mobilità dell'utente dotandolo, attraverso i sistemi cellulari di quarta generazione, di bande significativamente più elevate di quelle attuali. La funzione della rete d'accesso, in questo caso, consiste nel fornire collegamenti bidirezionali con le stazioni Radio-Base che, nei sistemi di quarta generazione, devono convogliare capacità elevate da e verso la Centrale ed è prevedibile che in prospettiva anche l'ultimo tratto della rete d'accesso debba essere in fibra, date le alte velocità in gioco.

Un secondo campo d'utilizzo delle applicazioni radio riguarda la copertura delle aree rurali con sistemi Wi-Fi/Hyperlan e WiMax che perseguono lo scopo di attenuare il "*Digital Divide*" nelle zone difficilmente servibili altrimenti con sistemi a banda larga (paragonabili almeno all'ADSL). Anche in tal caso, la banda che la rete fissa deve essere in grado di fornire nel suo segmento di accesso deve essere elevata, in quanto i sistemi radio sopra citati sono sempre condivisi tra gli utenti. La nuova rete d'accesso verrà in tal caso a svolgere funzioni di *back-haul* (ossia di raccordo) da e verso la rete principale quando, in particolare, aumenteranno le distanze.

Non vi è dubbio che il mezzo che consente di superare tutti gli attuali limiti è rappresentato dall'introduzione della **fibra ottica in area di utente**.

La fibra ottica è stata già largamente usata sin dalla fine degli anni ottanta nei collegamenti dorsali nazionali e, attraverso le tecnologie **WDM** (*Wavelength Division Multiplexing*) su fibre monomodo, ha permesso di raggiungere frequenze di cifra dell'ordine delle centinaia di Gbit/s per distanze anche superiori ai 100 km senza ripetitori. L'estensione della fibra all'area d'utente - in cui è possibile impiegare una tipologia di fibre me-

no pregiate e meno critiche da installare date le corte distanze in gioco - rappresenterà quindi il mezzo destinato a coprire le esigenze dei clienti residenziali per molti decenni.

Gli **schemi d'accesso** finora proposti, esaminati e commentati nel seguito, risentono fortemente delle tecnologie ottiche usate e della sostenibilità economica per effettuare gli investimenti necessari a portare la fibra fino all'abitazione dei clienti. Alcuni operatori telefonici, proprio per problemi di natura economica, stanno, infatti, valutando anche soluzioni di dispiegamento della fibra in modo progressivo. In particolare, per esempio, si può pensare d'impiegare la fibra fino agli armadi ripartitori (segmento di rete in cui è molto alta la probabilità di trovare condotti preesistenti senza pertanto necessità di scavi) continuando a sfruttare, almeno nelle zone meno densamente abitate, la preesistente coda in rame come ultima parte della rete d'accesso (in Italia quasi sempre interrata, ossia priva di condotti) con sistemi più avanzati della famiglia DSL.

Nonostante le incertezze sopra descritte si può già fare un'importante considerazione come conseguenza dell'impiego della fibra: la distanza esistente tra la *Centrale* e l'*Armadio ripartitore* può essere significativamente incrementata riducendo in modo drastico il numero delle centrali dal momento che tutte le tecnologie ottiche d'accesso permettono tratte in fibra ottica di qualche decina di km. Con la semplice considerazione che la superficie varia con il quadrato della distanza, un raddoppio del tratto di linea d'accesso permette di ridurre potenzialmente di un fattore 4 il numero di centrali con conseguenti notevoli risparmi sulle spese d'esercizio. A titolo d'esempio, mentre oggi la città di Milano è servita da quasi una trentina di centrali, il dispiegamento della fibra ottica nell'area d'accesso potrebbe portarle solo ad alcune unità.

Considerazioni di affidabilità e dimensioni dei cavi/condotti non permetteranno di ridurre le centrali coerentemente con la capacità trasportabile e la distanza raggiungibile dalla fibra ottica, ma sicuramente assisteremo ad una drastica riduzione e a un completo ridisegno della rete d'accesso. Si va pertanto consolidando l'opinione che il numero di centrali sarà ridotto di un ordine di gran-

dezza anche perché in questo modo si abbatterebbero notevolmente tutti i costi di gestione operativa (affitti dei locali, consumi d'energia, costi di manutenzione ecc.). Queste ipotetiche super-centrali potranno gestire da 50.000 (in zone a bassa densità abitativa) a qualche centinaio di migliaia d'utenti.

4. ARCHITETTURE INFRASTRUTTURALI D'ACCESSO PER LA RETE NGAN

Le tre famiglie di architetture di rete, anticipate a grandi linee nel paragrafo 3, definibili come "infrastrutturali" sono illustrate graficamente nella figura 2 e assumono le seguenti denominazioni (in generale designate con l'acronimo **FTTx**):

a. FTTCab: *Fiber To The Cabinet* (Fibra all'Armadio ripartitore);

b. FTTB/C: *Fiber To The Building* (Fibra all'Edificio) o *Fiber to the Curb* (Fibra al Marciapiede);

c. FTTH: *Fiber To The Home* (Fibra all'abitazione utente).

Il **primo tipo d'architettura FTTCab**, rispetto alla soluzione attuale del "tutto rame" con ADSL, consiste nel sostituire una fibra ottica ai doppini di rame fino all'Armadio ripartitore, continuando a sfruttare i doppini esistenti (dal ripartitore all'utente) attraverso l'impiego della tecnologia VDSL (si veda il paragrafo 5). È certamente una soluzione che limita gli investimenti (quasi sempre, anche in Italia, esistono condotti nell'ambito della rete primaria che riducono drasticamente i costi per opere civili) ma che, dal punto di vista dei servizi a banda sempre più larga, non può considerarsi una soluzione di regime in quanto le velocità rese disponibili all'utente potrebbero, in breve tempo, essere considerate insufficienti. Inoltre, al crescere degli utenti di servizi a banda larga, è assai probabile che si presentino problematiche d'installazione (quali un eccessivo numero di apparati VDSL da introdurre negli armadi, consumi eccessivi di potenza con relativi problemi di dissipazione termica) e, soprattutto, problemi insuperabili di diafonia nei cavi a coppie per le alte velocità impiegate (in dipendenza dall'età e dalla tecnologia del cavo utilizzato).

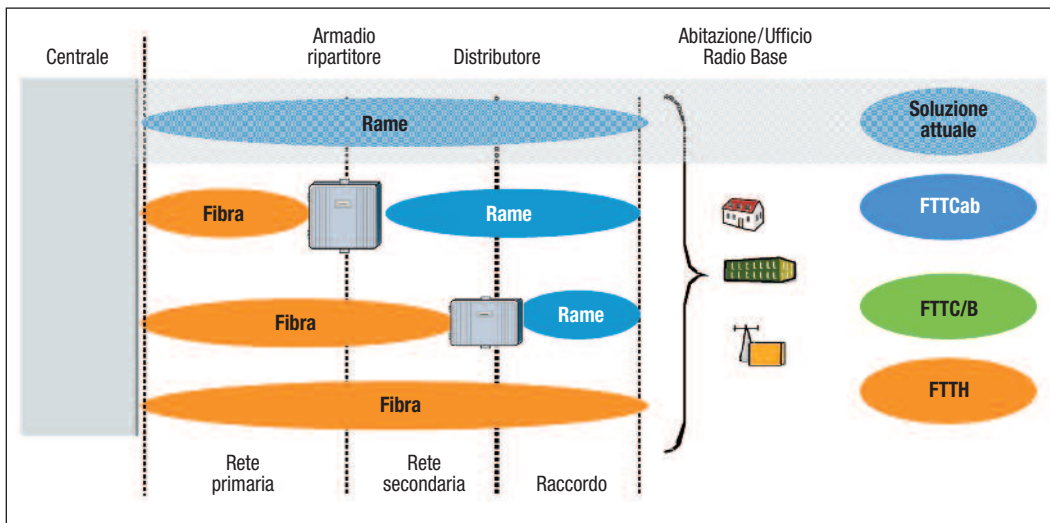


FIGURA 2
Architetture
d'accesso NGAN
a confronto con la
soluzione attuale

La **seconda soluzione FTTC e FTTB** prevede l'estensione delle fibre in vicinanza dell'utente: essa comporta costi notevolmente più alti per la necessità di sostituire i cavi a coppie della rete secondaria, quasi sempre interrati, con cavi a fibre in nuovi condotti, ma ha il vantaggio di predisporre le cose in vista di una soluzione "tutta fibra". Si noti che, nelle due articolazioni impiantistiche, la differenza è essenzialmente confinata ai soli effetti dei campi di temperatura a cui debbono funzionare gli apparati elettronici che, dove termina la fibra, si affacciano verso l'utente.

La **terza soluzione FTTH**, in cui la fibra arriva fino a casa dell'utente, è articolata a sua volta in due possibili alternative: la prima, indicabile con il termine FTTH-PtP, sostituisce l'intero doppino di rame con una fibra dedicata al singolo utente (*Point to Point*), la seconda soluzione, indicabile come FTTH-PtM, consiste in una fibra condivisa tra più utenti nell'ambito della rete primaria e una fibra individuale nella rete secondaria (*Point to Multipoint*). Ambedue le soluzioni possono essere totalmente passive con vantaggi di manutenzione e di carattere ecologico (nessun consumo di potenza e assenza di materiali nocivi per l'ambiente lungo la linea), ma necessitano di pesanti lavori civili essenzialmente in rete secondaria.

Nel valutare i principali vantaggi o svantaggi delle differenti soluzioni dobbiamo tener conto di numerosi fattori: il livello d'investimento che si è in grado di sostenere, la capacità offerta all'utente (cioè i servizi che si in-

Parametri in esame	FTTCab	FTTB/C	FTTH
Investimenti	Medi	Alti	Molto alti
Costi Operativi	Alti	Molto Alti	Bassi
Capacità	Media	Alta	Molto alta
Impatto per lavori urbanistici	Medio	Alto	Alto
Scalabilità e validità di lungo periodo	Bassa	Media	Alta
Complessità di esecuzione	Media	Alta	Molto alta
Difficoltà di concorrenza infrastrutturale	Alta	Molto Alta	Molto alta

tendono offrire) e il relativo ritorno previsto, la situazione urbanistica, la scalabilità e la validità di lungo termine della soluzione scelta, la rapidità di realizzazione e infine anche il quadro regolatorio.

La tabella 1 riassume vantaggi e svantaggi delle diverse architetture sopra richiamate in modo qualitativo. Per un confronto di valori quantitativi si rimanda alla tabella 5 a conclusione del paragrafo 6 dopo l'analisi di maggior dettaglio delle diverse tipologie implementative.

Tenuto conto dei vincoli economici, non esiste ovviamente una soluzione ideale e molto dipende dalla preesistente condizione della rete e dell'utenza. Si dovranno pertanto necessariamente accettare dei compromessi valutando, per ogni area d'impiego, la soluzione al

TABELLA 1
Analisi qualitativa
delle diverse
architetture

momento più opportuna. In ogni caso, tuttavia, il dispiegamento della fibra in rete primaria dovrà essere fatto in modo che esso possa rispondere anche ai requisiti di più lungo periodo (estensione all'utente e relative tecniche di protezione).

5. "COMPONENTI" TECNOLOGICI DELL'ACCESSO IN RETI NGAN

Per analizzare le architetture FTTx sopra proposte è necessario entrare in maggior dettaglio sulle tecnologie specifiche che permettono l'implementazione pratica delle architetture infrastrutturali sopra menzionate. Infatti, ciascuna delle tre architetture di figura 2 rappresenta, in realtà, una **famiglia** di possibili soluzioni applicative, con relativi vantaggi e svantaggi, in dipendenza dalle scelte operate dai gestori ed in relazione alla struttura e condizioni della rete preesistente.

Per avere il quadro completo delle possibili soluzioni implementative è necessario approfondire preliminarmente le diverse tecnologie *hardware* e *software* che, opportunamente combinate, rendono possibili i diversi sottocasi illustrati più avanti. Tali tecnologie, per quanto riguarda le reti d'accesso, sono essenzialmente legate agli standard studiati nell'ambito dei primi due livelli della pila ISO-OSI, ossia il cosiddetto "strato fisico" (**Livello 1**) che, com'è noto, specifica l'interfaccia meccanica ed elettrica per la trasmissione dei *bit* nel mezzo trasmissivo impiegato (rame, fibra ecc.) e lo strato "Data Link" (**Livello 2**) che specifica l'organizzazione dei dati in *frame* per garantire la correttezza delle sequenze di *bit* trasmesse.

Considerando la rete d'accesso occorre specificatamente approfondire per il **Livello 1** le seguenti classi:

- **Ethernet Phy** (*Ethernet Physical Layer*), importante per varie alternative su fibra e rame nelle tre famiglie architetture di figura 2;
- **xPON** (*Passive Optical Network*), di notevole importanza per tutte e tre le famiglie per il segmento fibra;
- **VDSL2** (*Very high speed DSL*), essenziale per realizzare le famiglie a) e b) nel segmento rame;

□ **WDM** (*Wavelength Division Multiplexing*), d'interesse per soluzioni implementative prospettiche del segmento fibra relativamente a tutte e tre le famiglie.

Non va inoltre dimenticato che anche le **tecnologie costruttive delle fibre** e le relative tecniche di **dispiegamento** possono essere diverse in dipendenza dall'impiego nei vari segmenti dell'area di accesso.

Per quanto riguarda le tecnologie di **Livello 2** occorre essenzialmente richiamare, ai fini della comprensione delle future reti di accesso, il solo protocollo:

□ **Ethernet di Livello 2**

trascurando molti altri protocolli che, pur impiegati, svolgono funzioni ausiliarie quali quelle di rendere compatibili interfacce diverse (nel periodo di transizione tra rete attuale e futura) ovvero funzioni agevolatrici per rendere più semplici gli "incapsulamenti" nelle cascate di protocolli⁴.

Come si vedrà nel paragrafo successivo, combinando opportunamente le tecnologie sopra menzionate - di cui segue un breve approfondimento - è possibile avere il quadro completo e specifico delle differenti soluzioni (Figura 8-10) proposte per le reti d'accesso NGAN nell'ambito delle tre famiglie FTTx.

Ovviamente le architetture delle reti d'accesso devono fornire sistemi trasparenti rispetto ai livelli superiori della Pila OSI per le informazioni ed i servizi (con le relative architetture protocollari) che su di esse viaggiano.

⁴ È opportuno ricordare che, per problemi di coesistenza con la rete attuale, si potranno ancora creare, nel periodo di transizione, necessità di incapsulamenti di diversi protocolli (con conseguente perdita di efficienza) che sono solo necessari a risolvere problemi contingenti di compatibilità tra apparecchiature nuove e vecchie, ma che non hanno un particolare valore concettuale. Tipico, per esempio, nelle cascate protocollari è l'incapsulamento di IP (Livello 3) in Ethernet (livello 2), il tutto a sua volta incapsulato in ATM che, pur essendo un protocollo di rete (livello 3), realizza in questi casi la funzione corrispondente al livello di collegamento (Livello 2) solo per interfacciarsi con apparati quali i DSLAM di vecchia generazione costruiti con interfacce ATM. Un altro esempio di protocollo ausiliario è il PP-PoE (*Point to Point Protocol on Ethernet*) di Livello 3 quasi sempre interposto tra IP ed Ethernet per facilitarne l'incapsulamento.

5.1. Le tecnologie Ethernet

Col generico nome **Ethernet** (protocollo nato per le LAN su rame nell'ambito dell'organismo IEEE - *Institute of Electrical and Electronics Engineers* - di standardizzazione) ci si riferisce ad una complessa famiglia di standard di Livelli 1 e 2 (raggruppati nella famiglia IEEE-802) studiati per differenti velocità e mezzi trasmissivi [5].

Per la sua semplicità ed universalità Ethernet si sta sempre più affermando come protocollo base di Livello 2 anche per la sua preesistenza in molti apparati e per il suo impiego in *router* e *switch*. Altri vantaggi di *Ethernet* sono la sua standardizzazione rigorosa, la provata interoperabilità di molti fornitori diversi e soprattutto la sua rapidità di adeguamento ai diversi mezzi trasmissivi ed ad un sempre maggiore incremento di velocità. Le specifiche di Livello 1 di Ethernet, nate per il rame, sono state infatti estese da tempo anche alla fibra prendendo in considerazione velocità di tre ordini di grandezza superiori rispetto alla nascita del primo standard⁵.

Tale estensione ha dato origine ai sistemi denominati **Fast Ethernet** (FE) per 100 Mbit/s e **Gigabit-Ethernet** (GE) per 1 Gbit/s che sono da considerarsi in concorrenza con le soluzioni xPON esposte più avanti che, pur impiegando un Livello 2 Ethernet, hanno viceversa una strategia di Livello 1 nell'impiego del mezzo trasmissivo fondamentalmente diversa. In particolare, per esempio, una possibile soluzione per la rete d'accesso in fibra ottica può impiegare un modello simile alla rete in rame (prevedendo cioè che ogni utente abbia una fibra dedicata dalla Centrale all'abitazione) ed in questo caso è consolidato, a livello di trasporto, soltanto l'impiego di Gigabit-Ethernet sia a Livello 2 che a Livello 1.

⁵ Questo protocollo, originariamente sviluppato per reti locali LAN in ambiti *enterprise* nel lontano 1975, con la definizione dei nuovi standard si è prepotentemente imposto anche nelle reti di aggregazione e dorsali e si prevede che nel lungo periodo esso sostituirà a livello di trasporto sia ATM che SDH. Per tale obiettivo, vi è comunque la necessità di definire nuovi protocolli di Livello 2 che ne garantiscano caratteristiche "carrier grade". Queste evoluzioni protocollari (Controllo della QoS, Protezioni veloci, Monitoraggio) sono in via di definizione sia all'IEEE che all'ITU-T.

Gli standard di riferimento di Ethernet sono raggruppati nella famiglia IEEE-802 e coprono ormai un vastissimo campo applicativo. A Livello 1 dello strato fisico sono stati definiti le specifiche per i doppini di rame (schermati e non, avvolti e non) e per la fibra. Per quanto riguarda l'evoluzione della velocità (partendo tre decenni fa da 10 Mbit/s è stato anche definito il 10 Gbit/s ed ormai in via di standardizzazione il 40/100 Gbit/s), nella figura 3 si riporta, semplificando al massimo, l'evoluzione degli standard di Livello 1 per le velocità di linea dello strato fisico Ethernet (*Ethernet Phy*) sia per il doppino in rame (T sta per *Twisted*) che per la fibra (F per *Fiber*).

Particolare importanza per la rete di accesso hanno, come si vedrà più avanti, la 100 Base-T/F (Fast Ethernet) e la 1000 Base-F (GigabitEthernet).

Per quanto riguarda il Livello 2 è utile richiamare alcune importanti funzionalità: gestione della correttezza di trama e dell'instradamento dei pacchetti (utilizzando il protocollo *MAC Medium Access Control*) nonché gestione degli allarmi e delle protezioni, delle VLAN (*Virtual LAN*).

5.2. Le tecnologie xPON

La famiglia xPON (nata nell'ambito dell'organismo di standardizzazione ITU e poi presa in considerazione anche da IEEE) è stata sin dall'inizio pensata e progettata per rispondere al contesto FTTH. La sua caratteristica principale è la condivisione della fibra tra diversi utenti con l'impiego, tranne per i terminali, di componenti esclusivamente passivi (PON: *Passive Optical Network*). Il termine "x" specifica le caratteristiche di velocità ov-

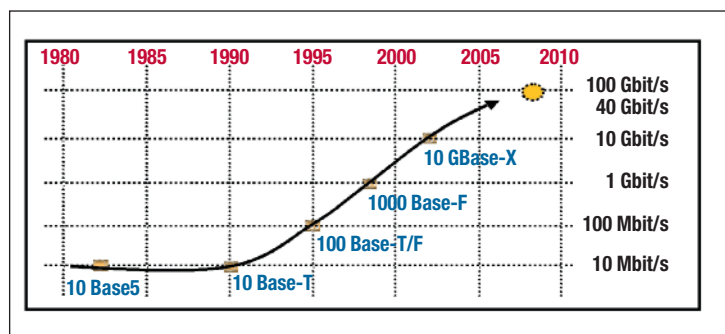
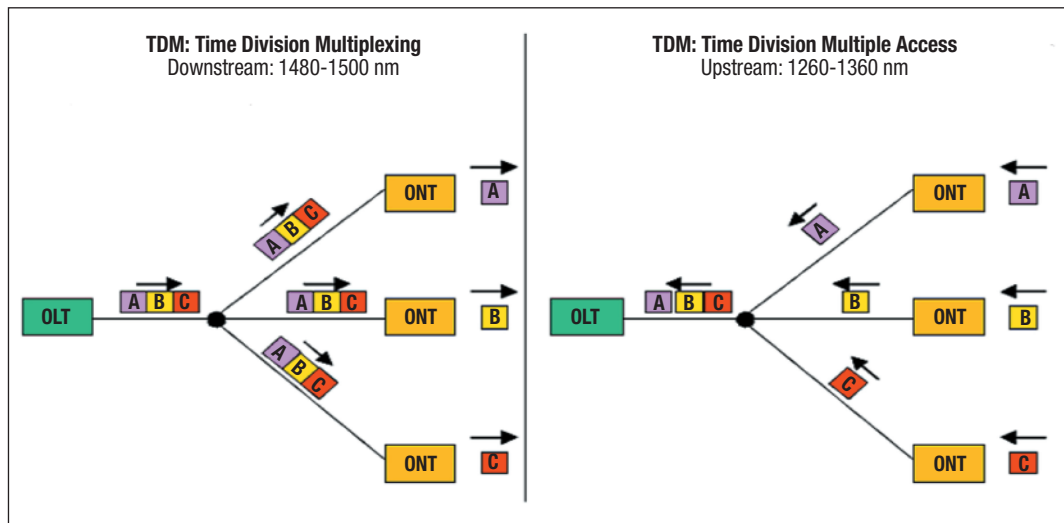


FIGURA 3

Evoluzione della velocità di linea dello strato fisico Ethernet (*Ethernet Phy*)

FIGURA 4
 Schema
 di massima
 della tecnologia
 di comunicazione
 xPON



vero i protocolli di Livello 2 impiegati (ad esempio A per ATM, B per *Broadband*, E per *Ethernet*, G per *Gigabit*). Di queste diverse famiglie, per la futura rete d'accesso, è sufficiente concentrarsi su EPON e GPON standardizzati rispettivamente da IEEE e ITU.

La tecnologia PON è stata introdotta con l'obiettivo di avere un sistema condiviso semplice e ed a bassi costi di manutenzione con costi contenuti d'investimento. Tale soluzione è interessante per diminuire gli investimenti rispetto a soluzioni con fibre dedicate dalla Centrale al singolo utente (soluzione che risulta maggiormente a prova di futuri ulteriori aumenti di banda), in particolare quando vi è scarsità di condotti nella rete primaria.

Per quanto riguarda il **Livello 1**, come si vede dalla figura 4, nella comunicazione *down-stream* i dati relativi a tutti gli utenti sono affasciati a divisione di tempo (TDM) e inviati dal trasmettitore (OLT: *Optical Line Terminal*) con un unico laser (normalmente a 1500 nm). Uno "splitter" passivo, invia tutti i dati ai terminali ONT (*Optical Network Termination*) dei vari utenti che selezionano i dati di competenza attraverso un meccanismo a divisione di tempo.

Nel percorso inverso in *up-stream*, i dati inviati dagli utenti vengono sommati dallo stesso splitter passivo sulla singola linea evitando la "collisione" dei dati attraverso l'impiego della tecnica TDMA (*Time Division Multiple Access*) che assegna ad ogni ONT un canale temporale (*time slot*) in cui "accendere" il laser di utente

(nella banda 1300 nm). Pertanto, tutti gli ONT devono essere tra loro sincronizzati per evitare interferenze in *up-stream*.

Come già detto, i due standard di maggior interesse che definiscono le reti PON per le future reti d'accesso NGAN sono:

□ EPON (IEEE 802.3): standard consolidato nel 2004 nell'ambito IEEE. Considera esclusivamente Ethernet come protocollo di collegamento e permette velocità simmetriche di 1.25 Gbit/s operando su distanze fino a 20 km.

□ GPON (ITU G.984) [6]: è il successore ufficiale dei due precedenti standard ITU denominati APON e BPON con un sostanziale aumento di prestazioni. Prevede 2.5 Gbit/s in *down-stream* e, tipicamente, 1.25 Gbit/s in *up-stream* con un fattore di *split* che può arrivare fino a 128. Come protocollo di Livello 2 può impiegare sia ATM che Ethernet (anche se nelle ultime implementazioni si considera essenzialmente il solo protocollo Ethernet) e prevede anche l'uso di un protocollo denominato GEM (*Generic Encapsulation Method*) che è più strutturato per la trasmissione del video.

Nella tabella 2 sono riassunte le principali caratteristiche dei due sistemi.

In questo momento è in corso un vivace dibattito tra le proposte EPON e GPON. Il primo standard si è diffuso soprattutto in Giappone e Cina, il secondo prevalentemente nei Paesi occidentali (Nord America ed Europa). Per questa ragione nel seguito, per semplicità, ci si riferirà **esclusivamente allo standard GPON**.



In ambito IEEE e ITU è iniziato lo studio di nuovi standard in grado di supportare velocità maggiori con un obiettivo di 10 Gbit/s in *Down-stream*.

5.3. La tecnologia VDSL2

Con la denominazione "VDSL" ci si riferisce ad un componente della famiglia DSL, con prestazione particolarmente avanzate su distanze brevi, basata sulla medesima tecnologia di modulazione DMT dell'ADSL, ma con una maggiore occupazione di banda del doppino e conseguentemente del numero di toni. In particolare, la seconda generazione VDSL2 - a cui ci si riferisce in questo paragrafo - occupa una banda nel doppino fino a 30 MHz per fornire una velocità superiore ai 100 Mbit/s come somma di *down-stream* ed *up-stream*, ottenendo le sue migliori prestazioni su una distanza di 300 m. Lo standard è stato specificato nell'ambito ITU-G 993 [7].

Il grafico di figura 5 riporta le velocità di cifra dei vari "profili" VDSL2 (denominati nella standardizzazione profili 12, 17 e 30) con differenti occupazioni di banda. Senza addentrarsi in dettagli, si può affermare che il *profilo 17a* (35 Mbit/s in *Down-stream* e 18 Mbit/s in *Up-stream* a distanze di 500 m) è quello ritenuto il più conveniente nel caso di FTTCab, mentre il *profilo 30a* (80 Mbit/s in *down-stream* e 35 Mbit/s in *up-stream* a distanze di 100 m) si adatta maggiormente alle configurazioni FTTB/C.

È importante sottolineare che tra i vari profili, VDSL2 prevede anche un profilo simmetrico. Poiché lo standard del sistema VDSL prevede

uno strato completo di Livello 1, ad esso ci si appoggia con un Livello 2 che, nell'immediato futuro, sarà esclusivamente Ethernet.

5.4. Il sistema WDM

Il trasporto di più flussi indipendenti di dati può essere ottenuto su una singola fibra attraverso l'impiego della tecnologia WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) che multipla va-

	EPON (IEEE)	GPON (ITU)
Velocità di linea Ds	1.25 Gbit/s	2.488 Gbit/s
Velocità di linea Us	1.25 Gbit/s	1.244 Gbit/s
Protocollo di Livello 2	Ethernet	ATM, Ethernet, GEM ¹
Lunghezza pacchetti	Variabile	Variabile
Efficienza	73%	93%
Banda utile <i>Down-stream</i> (Ds)	600 Mbit/s	2300 Mbit/s
Fattore di <i>splitting</i>	1 : 16	1 : 128
Lunghezza max.	20 km	20 km
FEC ²	RS configurabile	RS (255, 239)
Encryption	No	AES ³
Protezione	No	entro 50 ms

¹ GEM: Generic Encapsulation Method;
² FEC: Forward Error Correction codec;
³ AES: Advanced Encryption Standard - algoritmo di cifratura a blocchi.

TABELLA 2

Confronto tra sistemi EPON E GPON

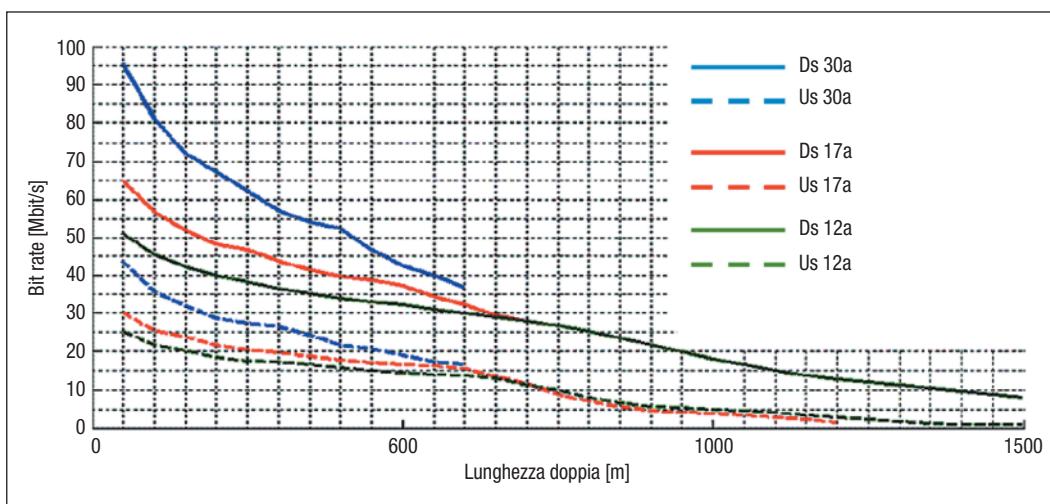
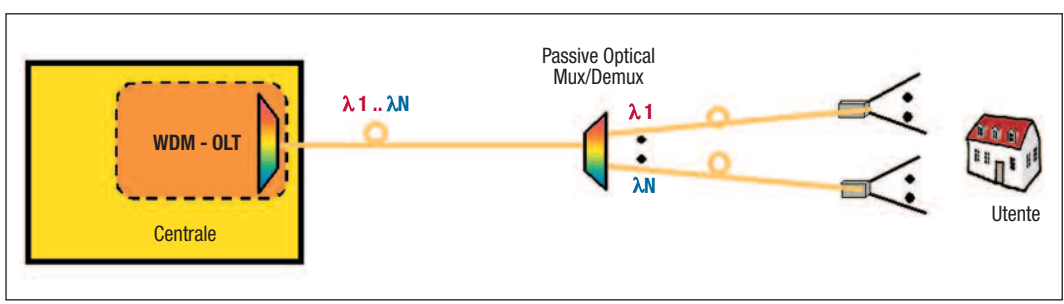


FIGURA 5

Prestazioni dei profili del sistema VDSL2 in *Down-stream* (Ds) e *Up-stream* (Us)



FIGURA 6
Flessibilità offerta dal sistema WDM



rie portanti ottiche a differente lunghezza d'onda sulla stessa fibra, ciascuna modulata dai differenti flussi informativi che si desidera trasmettere. Il metodo permette anche di usare una singola fibra per comunicazioni bidirezionali. Le portanti ottiche impiegate vengono spesso denominate in gergo "colori" anche se al di sotto dello spettro visibile⁶.

Nell'ambito dei sistemi WDM, si distinguono due tipi d'applicazioni: lo standard **CWDM** [8] (dove C sta per *Coarse*) con un massimo di 18 portanti ottiche molto distanziate in quanto si sfrutta tutta la banda che va dalla seconda alla terza finestra, e quella **DWDM** [8] (dove D sta per *Dense* per indicare portanti molto vicine) con 40 od 80 portanti con distanziatura 100-50 GHz ed operante in terza finestra.

La tecnologia DWDM viene impiegata per il trasporto a grande distanza su fibre di altissime prestazioni, mentre quella CWDM, puntando ad applicazioni per distanze massime sui 80 km (e normalmente assai meno) viene impiegata su fibre a più alta attenuazione e sensibilmente più economiche, ma anche meno critiche. La maggiore distanziatura tra le portanti, tipica del CWDM, permette inoltre una più facile realizzazione degli *splitter* passivi e la necessità di una minore stabilizzazio-

ne delle frequenze dei laser. Le fibre di derivazione che trasportano una sola lunghezza d'onda possono avere caratteristiche ancora più basse, permettendo anche di essere impiegate con cure minori di quelle a grande distanza e con l'adozione di componenti ottici, passivi ed attivi, sensibilmente più economici. La figura 6 mostra lo schema relativo all'uso della tecnologia CWDM in cui ciascuna lunghezza d'onda può essere usata per un singolo utente o per un piccolo gruppo di utenti privati.

In ambedue gli standard WDM, poichè i sistemi caratterizzano solo un sottostrato fisico di Livello 1 indipendente dalla *bit-rate* e dalla trama, ad essi ci si appoggia con interfacce superiori di Livello 1 e di Livello 2 che definiscono *bit-rate* e trama. Ambedue i Livelli sono esclusivamente standard della pila Ethernet (o lo saranno a breve per la presenza ancora di altri standard ormai in via di abbandono).

5.5. Le tecnologie costruttive delle fibre ottiche ed il loro dispiegamento nell'area di accesso

Ovviamente nell'area d'accesso le **tecnologie** impiegate per le fibre (monomodo, multimodo, in silice pura, in plastica ecc.) dipendono fortemente dall'area e dal metodo d'utilizzo. Per esempio nel caso del WDM le prestazioni della fibra debbono essere più simili a quelle impiegate nel trasporto rispetto al caso di fibre punto-punto dalla Centrale all'utente.

Come schematizzato nella figura 7, per quanto riguarda il **dispiegamento** delle fibre, la *Centrale* è ovviamente il luogo che ospita l'apparato attivo per le fibre ottiche che in uscita passano per un *Permutatore ottico*. La *Rete Primaria* in fibra ottica potrà essere realizzata da un cavo di un centinaio di fibre (per esempio, 96) che in configurazione ad anello raccolgono fino a una decina di *Ripartitori Ottici* che troveranno posto nell'attuale Armadio Ripartitore. Il Distributore

⁶ Val la pena richiamare che il campo di lunghezze d'onda impiegato nelle fibre ottiche va da 750 nm a 1710 nm (in frequenza al disotto dello spettro visibile e quindi nell'infrarosso). In tale intervallo di lunghezze d'onda esistono tre **finestre** ottimali (850, 1310, 1550 nm) di attenuazione del mezzo trasmissivo di cui la terza, una volta che si è riusciti a realizzare i laser relativi, è l'unica impiegata con fibre monomodo per la grande distanza sia a singola lunghezza d'onda che nella tecnica DWDM. Si noti che, in gergo, nel WDM si continua a parlare di colori in tutta la banda della fibra anche se fuori dalla luce visibile dall'occhio. Il campo di lunghezze d'onda impiegato nel caso CWDM in rete primaria va da 1271 a 1611 nm ed è stato standardizzato in ambito internazionale in 18 portanti (solitamente se ne considerano solo 16) con una distanziatura tra le portanti di 20 nm, molto più largo del caso DWDM, per diminuire al minimo le criticità realizzative.

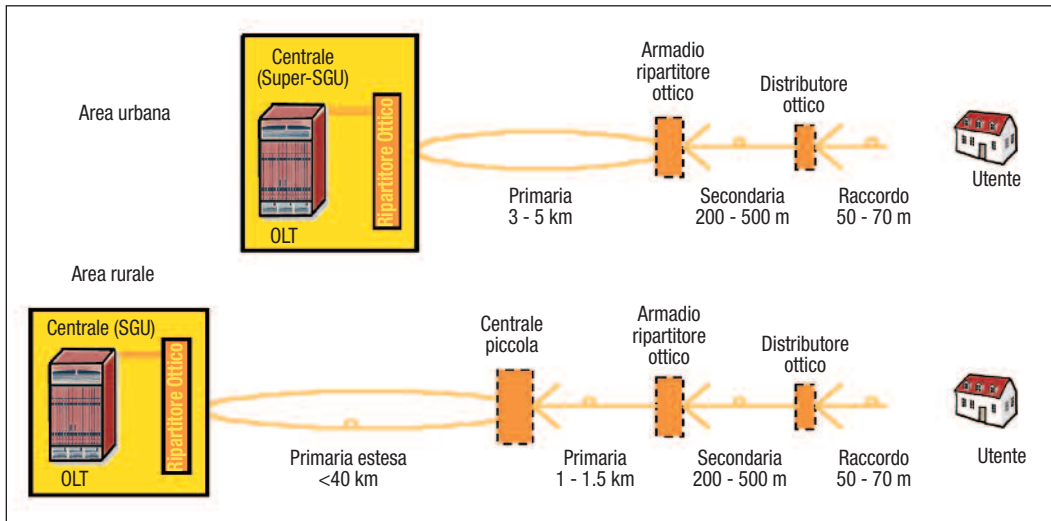


FIGURA 7
 Modelli
 di dispiegamento
 della fibra nella rete
 di accesso

ottico svolge la funzione di estrazione di fibre da un cavo e connessione delle stesse a cavi di minori potenzialità (per esempio, 12 fibre). La distanza tra la *Centrale* e la *Ripartitore Ottico* può variare dai 3 km (in città densamente popolate) fino ai 40 km (in aree rurali a bassa densità abitativa eliminando le piccole Centrali). Dal *Distributore Ottico* in *rete secondaria* si raggiunge un *Box* al Marciapiede o nella Cantina di un Palazzo da cui infine si dipartono le fibre per raggiungere l'utente.

La rete secondaria ovviamente necessita per le fibre ottiche di condotti mentre gli attuali cavi in rame sono semplicemente interrati.

Il tipo di infrastruttura qui sopra schematizzata è, ovviamente, quella "obiettivo" ed occorreranno molti anni prima che possa essere realizzata su ampia scala. Pertanto, le soluzioni intermedie (FTTCab e FTTB/C) si renderanno necessarie per favorire una progressione negli investimenti.

Si prevede pertanto che le soluzioni applicabili nel medio periodo siano prevalentemente FTTCab e FTTB/C, mentre l'FTTH viene previsto nei nuovi quartieri e abitazioni.

È opportuno, di conseguenza, che il Ripartitore Ottico trovi allocazione vicino (o coincidente) all'attuale Armadio Ripartitore e che possa anche ospitare gli apparati attivi (ADSL e VDSL) per usufruire dei doppini di rame della rete secondaria per raggiungere gli utenti. Questa vicinanza tra i due tipi di armadi (Armadio Ripartitore esistente e nuovo Ripartitore Ottico) è ulteriormente avvalorata dal fatto che la fibra ottica in primaria può es-

sere co-locata con i cavi in rame della rete primaria perché nel 90% dei casi essi sono depositati in canaline o condotti. In rete secondaria invece, la situazione è capovolta e nel 90% dei casi si dovranno prevedere nuovi scavi per dispiegare la fibra visto che i cavi dei doppini di rame sono stati in Italia direttamente interrati (in trincea).

6. LE VARIE SOLUZIONI IMPLEMENTATIVE DELLA NGAN

Con quanto esposto in precedenza è ora possibile, opportunamente combinando le diverse tecnologie, avere il quadro completo delle soluzioni realizzabili per ciascuna delle architetture infrastrutturali FTTx sopra menzionate.

6.1. Soluzioni FTTCab

La FTTCab può articolarsi in tre diverse possibilità implementative, pur rimanendo l'impiego della fibra confinato alla sola rete primaria, così come illustrato nella figura 8.

La prima soluzione prevede l'impiego di una fibra unica fino all'Armadio ripartitore in cui i dati sono affasciati in tecnica TDM-GPON per alimentare, dopo lo *splitter* passivo, gli ingressi dei DSLAM (micro-VDSLAM o μ DSLAM)⁷ nel numero necessario a servire tutta l'utenza ser-

⁷ Per micro-VDSLAM (μ DSLAM) s'intende un apparato che ricopre funzionalità simili a quelle di un attuale apparato d'accesso DSLAM oggi posto in Centrale, ma le cui dimensioni fisiche ed il numero di linee gestite in VDSL2 sono estremamente ridotte (qualche decina), vista l'utenza molto minore da servire avvicinandosi come locazione all'utenza.

vita che fa capo al particolare Armadio Ripartitore. La seconda soluzione adotta fibre differenziate con protocollo Gigabit-Ethernet (per definizione simmetrico) per ciascun raggruppamento di utenti servito da un μ DSLAM. La terza soluzione prevede l'impiego della tecnica WDM con un numero di "colori" (separati da un demultiplicatore ottico passivo) pari al numero di μ DSLAM da alimentare.

Le tre soluzioni indicate presentano ciascuna vantaggi e svantaggi come indicato nella tabella 3.

La soluzione CWDM al *Cabinet* o al *Base-*

ment/Curb appare come una soluzione particolarmente interessante per offrire da subito una larga banda di terza generazione all'utente (20 Mbit/s da Cabinet, 50 Mbit/s da Curb/Basement simmetriche) con maggiore scalabilità e sicurezza della GPON.

6.2. Soluzioni FTTC/B

Il secondo gruppo di soluzioni di figura 9, corrispondenti alla famiglia FTTC/B (fibra al Marciapiede o nelle cantine degli Edifici) è simile al primo gruppo di soluzioni tranne che la fibra prosegue fino al Distributore in cui

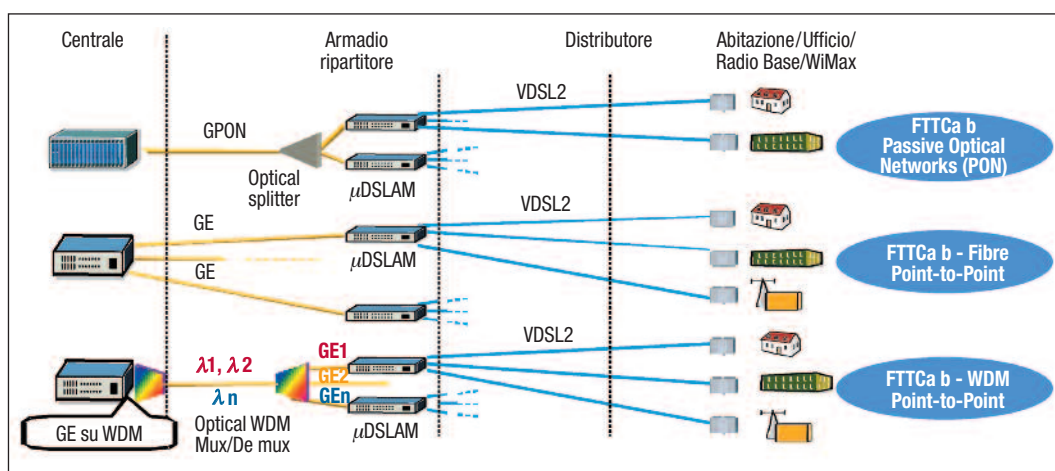


FIGURA 8

Soluzioni implementative della famiglia FTTCab

In questa figura e nelle due successive la sigla indicata sopra il mezzo trasmissivo evidenzia il Livello 1 impiegato, quale GPON, GE (per Gigabit-Ethernet), VDSL2 e FE (per Fast-Ethernet)

TABELLA 3
Vantaggi
e svantaggi
delle soluzioni
FTTCab

Soluzione	Vantaggi	Svantaggi
Tipo 1	<ul style="list-style-type: none"> • Costo contenuto investimenti • Miglior efficienza nell'utilizzo della fibra (soprattutto per servizi IPTV in broadcast) 	<ul style="list-style-type: none"> • Rigidità nella scalabilità • Asimmetria della bit-rate • Impatti infrastrutturali nell'evoluzione verso FTTB e FTTH.
Tipo 2	<ul style="list-style-type: none"> • Alta scalabilità • Simmetria della banda e indipendenza della bit-rate tra gli utenti • Facilità di gestione della concorrenza 	<ul style="list-style-type: none"> • Costo medio-alto per l'infrastruttura • Alti costi operativi per l'elevato numero di fibre da gestire nella rete primaria
Tipo 3	<ul style="list-style-type: none"> • Alta scalabilità e garanzia dell'investimento • Simmetria della banda e indipendenza della bit-rate tra gli utenti • Efficienza nell'uso della fibra • Facilità nella gestione della concorrenza 	<ul style="list-style-type: none"> • Costi medio-alti della componentistica ottica

sono allocati i μ DSLAM. Gli svantaggi di questo gruppo di soluzioni rispetto alla precedente sono l'alto costo degli investimenti in infrastruttura (scavi e condotti) e il tempo richiesto per eseguire i lavori soprattutto in aree urbane.

Vale la pena segnalare che nel caso in cui il μ DSLAM è collocato all'interno dei palazzi, si rende possibile l'impiego diretto dello standard *Ethernet Phy* su doppino di rame (per 10 Mbit/s o 100 Mbit/s) per raggiungere l'abitazione dell'utente visto che le distanze da percorrere sono minori di 100 m. Questa soluzione è più economica della VDSL2 e va nella direzione di usare il più possibile il protocollo Ethernet (Livelli 1 e 2) a tutti i livelli della rete.

I vantaggi/svantaggi relativi alle tre alternative sono del tutto simili a quelli elencati per

FTTCab. Esiste invece uno svantaggio di tipo operativo per la necessità dell'operatore d'installare l'armadietto che alloggia il μ DSLAM su proprietà privata. Ciò potrebbe allungare i tempi di erogazione del servizio.

6.3. Soluzioni FTTH

Il terzo gruppo di soluzioni della famiglia FTTH, ossia le soluzioni nel caso di fibra fino a casa dell'utente, sono riportate nella figura 10.

Vantaggi e svantaggi delle tre soluzioni FTTH sono riassunti nella tabella 4.

Un particolare vantaggio di questa opzione è la scalabilità di frequenza di cifra che garantisce l'investimento per decenni ed è, in particolare, la soluzione più conveniente da perseguire in aree di nuova urbanizzazione.

Il peculiare svantaggio di queste tre soluzioni FTTH è, ovviamente, quello dell'alto costo

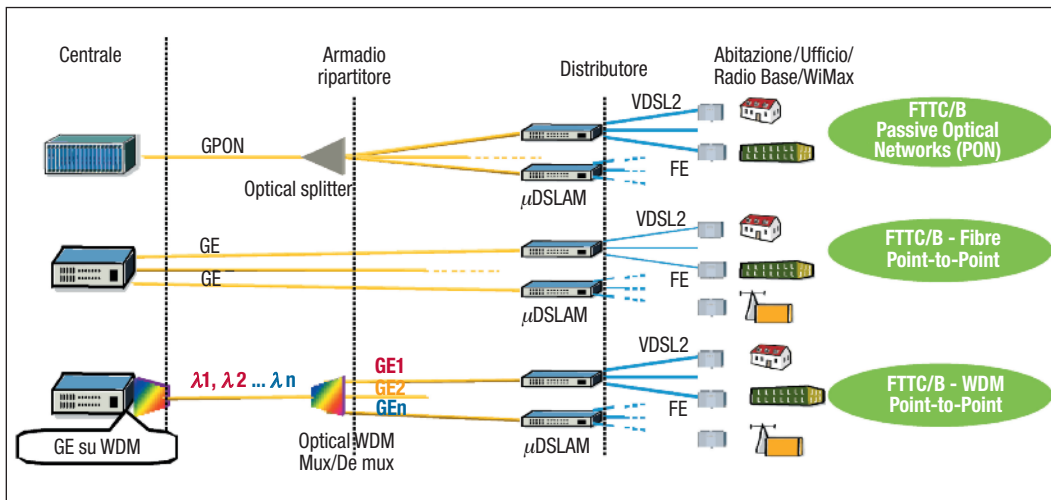


FIGURA 9
Soluzioni della famiglia FTTC/B

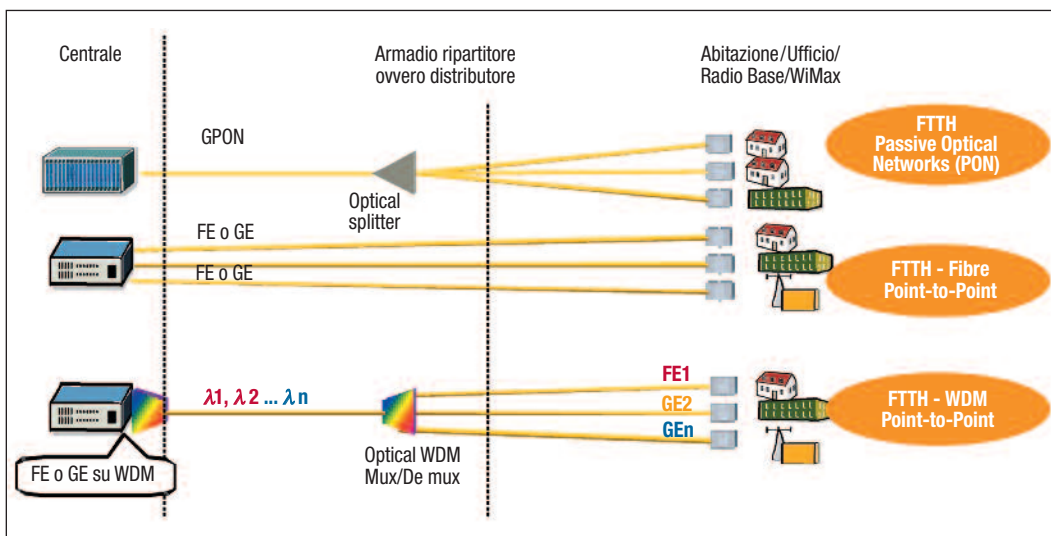


FIGURA 10
Soluzioni della famiglia FTTH

TABELLA 4
*Vantaggi
 e svantaggi delle
 soluzioni FTTH*

Soluzione	Vantaggi	Svantaggi
Tipo 1	<ul style="list-style-type: none"> • Miglior efficienza nell'utilizzo della fibra soprattutto per servizi IPTV in broadcast 	<ul style="list-style-type: none"> • Rigidità nella scalabilità e • Asimmetria bit-rate utente • Sicurezza legata alla tecnica TDM
Tipo 2	<ul style="list-style-type: none"> • Alta scalabilità e garanzia dell'investimento • Simmetria della banda e indipendenza dal bit-rate degli utenti • Facilità nella gestione della concorrenza 	<ul style="list-style-type: none"> • Costo alto per l'infrastruttura • Alti costi operativi per l'elevato numero di fibre da gestire nella rete primaria • Potrebbe limitare o impedire la riduzione drastica delle Centrali visto l'alto numero di fibre da gestire nel caso di "Super SGU"
Tipo 3	<ul style="list-style-type: none"> • Alta scalabilità e garanzia dell'investimento di lungo termine • Simmetria della banda e indipendenza della bit-rate tra gli utenti • Efficienza nell'uso della fibra e bassi costi operativi • Facilità nella gestione della concorrenza 	<ul style="list-style-type: none"> • Costi medio-alti della componentistica ottica • Sfide ottiche tecnologiche ancora da risolvere per avere terminali "non caratterizzati" o "colorless"

dell'infrastruttura terminale e dei relativi tempi di realizzazione. È stato più volte evidenziato che metà del costo dell'implementazione FTTH riguarda gli ultimi 100 m includendo anche i costi operativi necessari per introdursi nelle abitazioni (portare la fibra in casa significa avere le autorizzazioni da parte dei proprietari, richiederne la presenza almeno un paio di volte e, soprattutto, in molti casi rifare le canaline, soprattutto nelle costruzioni vecchie di 30-40 anni).

Rispetto a questo specifico svantaggio, comune alle tre soluzioni, la scelta di una delle possibili opzioni è, dal punto di vista economico, relativamente meno importante e ininfluenza. Sono pertanto altre le possibili ragioni di preferenza di una soluzione rispetto all'altra.

6.4. Confronti tra le varie soluzioni

Le tre famiglie di soluzioni differiscono per le prestazioni fornite e per l'ammontare degli investimenti richiesti. Ciascuna singola soluzione delle figure precedenti presenta vantaggi e svantaggi, ma dal punto di vista di prestazione per l'utente e, in prima approssimazione, per l'entità degli investimenti (in cui prevalgono le opere civili), ciascuna famiglia può essere ancora considerata in modo collettivo. Con questa semplificazione, la tabella 5 riassume un confronto tra le tre famiglie.

7. CONSIDERAZIONI FINALI

A livello mondiale si è tutti in accordo sull'importanza strategica dell'evoluzione verso la NGN ma, dal punto di vista realizzativo e delle relative necessità tempistiche, le opinioni non sono sempre coincidenti. Infatti, mentre nei Paesi asiatici (Giappone, Corea, Cina) ci si sta proiettando da subito verso soluzioni del tipo FTTH, negli USA c'è una situazione mista FTTCab (AT&T) e FTTH (Verizon) e in Europa si passerà, per contenere gli investimenti, da una fase intermedia (FTTCab o FTTC/B) prima di raggiungere l'obiettivo FTTH.

Le ragioni per i diversi punti di vista sono molteplici e riguardano una larga molteplicità di fattori quali la qualità preesistente delle infrastrutture e la necessità di ridurre le spese di manutenzione ed esercizio, il livello di competizione ed il perimetro regolatorio, la convergenza Media-Consumer-TLC e la propensione degli utenti a pagare adeguatamente i nuovi servizi, la densità ed allocazione della popolazione, la disponibilità di nuove interessanti soluzioni tecnologiche e la saturazione dei mezzi oggi esistenti (ADSL) ecc..

In ogni caso, in tutti i Paesi, si pone da subito con forza la problematica del dispiegamento estensivo della fibra ottica in rete primaria, necessità che si appresta a perseguire alcuni precisi passi (indipendentemente dalla soluzione finale che sarà implementata) in base a

Parametri in esame	FTTCab	FTTB/C	FTTH
Capacità (<i>bit-rate</i>) Down-stream	25 - 50 Mbits	50 - 100 Mbits	0.1 - 1 Gbit/s
Capacità (<i>bit-rate</i>) Up-stream	2 - 10 Mbit/s	25 - 40 Mbit/s	0.1 - 1 Gbit/s
Tempi realizzazione infrastrut.	Bassi	Alti	Molto Alti
Massima distanza <i>Primaria</i> <i>Ultimo tratto</i>	20 - 40 km 200 - 500 m	20 - 40 km 50 - 70 m	20 - 40 km -
Protocolli di Livello 1 <i>Primaria</i> <i>Secondaria</i>	GPON, GE, WDM+Eth VDSL2 (17a)	GPON, GE, WDM+Eth VDSL2 (30a), FE	GPON, FE, GE, WDM come sopra
Protocolli di Livello 2	Ethernet	Ethernet	Ethernet
Stima nuovi investimenti totali ¹	6.5 MLD €	10 MLD €	15 MLD €
di cui % per Elettronica ¹	22%	21%	10%
di cui % per Infrastr./Op. civili ¹	65%	72%	80%
di cui % per Apparati di utente ¹	13%	7%	10%

¹ Da stime presentate in presentazioni informali da rappresentanti dell'operatore incumbent

TABELLA 5

Confronto sintetico tra le tre famiglie architetture

considerazioni sull'entità degli investimenti e sui tempi di realizzazione.

In particolare si possono fare le seguenti considerazioni:

a. nelle città di grandi dimensioni si dovrà innanzitutto pianificare le nuove Centrali destinate a gestire un numero di utenti assai più alto dell'attuale e conseguentemente dispiegare le fibre in rete primaria fino al *Cabinet* in rapporto al numero totale degli utenti da servire, avendo presente l'obiettivo di garantire l'investimento per il lunghissimo periodo (per esempio, possibilità di una rete finale FTTH per tutti gli utenti garantendo una scalabilità nel lunghissimo periodo fino ad 1 Gbit/s per utente);

b. per le città in cui c'è già un buon dispiegamento della fibra (per esempio, in Italia le aree del vecchio progetto "Socrate" di Telecom) si punterà decisamente a soluzioni FTTC/B e, per le nuove costruzioni, soluzioni FTTH, mentre per le città senza preesistente infrastruttura in fibra, oltre alla soluzione FTTCab si prenderanno in considerazione soluzioni FTTC/B solo per le zone a più alta alfabetizzazione informatica calibrando nel tempo i co-

sti in funzione dei servizi richiesti dall'utenza; **c.** nelle aree non-urbane a bassa densità abitativa, si può pensare di iniziare a dispiegare la fibra fino a nuovi Armadi Ripartitori Ottici dislocati presso gli Armadi Ripartitori esistenti (FTTCab) rimandando a fasi successive ogni ulteriore soluzione.

Come conseguenza dell'impiego della fibra in rete primaria, la distanza esistente tra la *Centrale* e l'*Armadio ripartitore* può essere significativamente aumentata. Considerazioni d'affidabilità e dimensioni dei cavi/condotti non permetteranno di ridurre le *Centrali* coerentemente con la distanza raggiungibile dalla fibra ottica, ma sicuramente assisteremo ad una drastica riduzione. Si va, infatti, consolidando l'opinione che il numero di Centrali sarà ridotto di un ordine di grandezza anche perché in questo modo si abbattano notevolmente tutti i costi di gestione operativa (affitti dei locali, consumi di energia, costi di manutenzione ecc.). La disponibilità di collegamenti a larghissima banda fino all'utente e le relative nuove architetture di rete sono notevolmente spinte dallo sviluppo di nuovi servizi.

Per quanto l'analisi dei nuovi servizi esuli dagli scopi di quest'articolo, vale la pena sottolineare che gli obiettivi di *bit-rate*, dei quali si è sopra parlato, aprono le possibilità a tutta una serie di applicazioni innovative. Le più importanti applicazioni in particolare riguardano: *Multimedialità* (HDTV, TV interattiva, Auto-produzione contenuti, Giochi in rete ecc.); *Telemedicina* (Cartella clinica, Gestione farmaci, Monitoraggio parametri pazienti, Teleconsulti); *Presenza virtuale* (Telelavoro, Formazione a distanza ecc.); *Produttività Imprese* (Reti virtuali, Virtualizzazione in rete di risorse informatiche); *Trasporti* (Controllo accessi e parcheggi aree urbane); *Turismo, Energia, Sicurezza* (Teleallarmi, sensoristica); ecc..

Tra tutte queste applicazioni – alcune delle quali in Italia richiederanno uno sforzo di miglior acculturazione informatica degli utenti – quelle che giocheranno maggiormente per l'allargamento della banda sono, per il segmento utenti privati, le applicazioni multimediali HDTV e *peer to-peer* (per esempio, scambio di filmati professionali autoprodotti) mentre, per il segmento più professionale, giocheranno un ruolo fondamentale le applicazioni di Telemedicina e, soprattutto, la virtualizzazione delle risorse informatiche. Tale applicazione dovrebbe riscuotere un notevole interesse da parte delle imprese e anche dei privati in quanto la rete diventerà essa stessa un *computer*: in altre parole in essa risiederanno applicazioni e sistemi informativi da “caricare” solo al momento dell'accensione del terminale. I vantaggi di questa soluzione sono evidenti (versioni sempre aggiornate, applicazioni sofisticate pagate a consumo, *back-up* e sicurezza automatici forniti dalla rete ecc.), ma ciò richiede anche, per lavorare confortevolmente, elevate velocità di caricamento.

È importante segnalare che il cosiddetto “*budget*” di necessità future di banda per il singolo utente privato – che consegue a tutti questi servizi – viene valutato dai 20 ai 50 Mbit/s effettivi (nel caso di impiego HDTV in più stanze della casa). Un obiettivo di 50 o 100 Mbit/s sembrerebbe attualmente abbastanza marginato per un notevole numero di anni, anche se per avere un buon servizio dalla virtualizzazione delle risorse informatiche potrebbero essere richieste velocità di picco ancora più elevate.

A questi campi applicativi vanno aggiunti una serie di altri servizi, non tipicamente di utente, ma di interesse per la collettività che possono essere facilmente realizzati con le nuove reti a banda larga quali, per esempio, sistemi distribuiti di video-sorveglianza cittadina, sistemi per il controllo del traffico, “reti *ad hoc*” per servizi informativi, centri servizi condivisi, funzioni di “*smart network*” ecc.. Particolare importanza assumeranno, al servizio delle reti cellulari mobili di quarta generazione, anche le funzioni di *back-haul* a grande capacità che si sarà in grado, in molti casi, di soddisfare attraverso l'area d'accesso delle nuove reti fisse NGAN.

In questo quadro, l'evoluzione verso la NGN diventa per un Paese una necessità di carattere strategico che occorre spingere in tutti i modi e che richiede anche un'attenta valutazione politica per le sue forti implicazioni di carattere industriale.

In una situazione molto diversa dal passato (assenza del monopolista a controllo pubblico) ed in presenza di un regime di concorrenza, è necessario trovare i migliori meccanismi per portare avanti gli investimenti con strategie che evitino di raddoppiare investimenti già di per sé assai elevati. A tale riguardo, soprattutto tenuto conto del peso predominante degli investimenti in opere civili e condotti, si possono trovare soluzioni – in particolare con il concorso di Regioni, Comuni e municipalizzate – che consentano la condivisione tra più gestori dei caviddotti e rimuovano, in primo luogo, i fattori di costo e di inerzia costituiti dai tempi lunghi e incerti per il rilascio delle molteplici autorizzazioni e pratiche di concessioni.

Una politica di tale natura si rende indispensabile, anche perché la nuova rete d'accesso NGAN rende più complesso il regime di concorrenza basato sull'*unbundling*, regime che risulta, come affermano alcuni studi, praticamente inattuabile dal punto di vista economico quando confinato a livello di sola rete secondaria. L'evoluzione verso la NGAN ripropone pertanto fortemente la problematica di una qualche forma di separazione della rete dell'*incumbent* attraverso lo scorporo dello strato infrastrutturale da quello dei servizi erogabili. La rete NGAN rappresenta, pertanto, una delle maggiori sfide per la creazione di una nuova infrastruttura strategica nel nostro Paese.

Tale infrastruttura oltre ad essere una condizione necessaria per lo sviluppo di nuovi servizi per un'evoluita Società dell'Informazione e una diffusione più capillare di Applicazioni Informatiche, rappresenta anche un notevole contributo allo sviluppo del PIL nazionale stimato nell'ordine di 1.5%-2% [9]. La realizzazione della NGN, pertanto, pur risultando meno appariscente rispetto ad altre infrastrutture di maggiore visibilità per il grande pubblico, sarà fondamentale per gettare le basi per la crescita di un "sistema Paese" più aperto, competitivo ed ecologicamente sostenibile.

Bibliografia

- [1] Decina M., Giacomazzi P.: Il futuro del protocollo Internet. *Mondo Digitale*, giugno 2007.
- [2] Cisco D.: Rete IP ed Internet: il quadro evolutivo. *Mondo Digitale*, marzo 2008.
- [3] Convegno AICT: *Reti d'accesso di Nuova Generazione: Tecnologie e scenari*. Milano, 22 Aprile 2008 (per le Presentazioni al Convegno vedi sito AICT).
- [4] Bonati A., Costa B., Vannucchi G.: DSL: una famiglia di sistemi trasmissivi per l'accesso ai servizi a banda larga. *Mondo Digitale*, giugno 2003.
- [5] IEEE 802: *LAN/MAN Overview and Architecture*. IEEE 802.1: *LAN/MAN Bridging & Management*. IEEE 802.3: *LAN/MAN CSMA/CD Access Method*.
- [6] ITU G.984.1: *Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): General characteristics*. ITU G.984.2- GPON: *Physical Media Dependent (PMD)- layer specification*.
- [7] G.993.1 (2004): *Very high speed digital subscriber line transceivers (VDSL)*. G.993.2 (2005): *Very high-speed digital subscriber line 2*.
- [8] ITU-T G.694 C/DWDM Grids: G.694.1 *Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid*. G.694.2 *Spectral grids for WDM applications: CWDM wavelength grid*.
- [9] AGCOM: *Relazione annuale sull'attività svolta e sui programmi di lavoro 2008*. 15 Luglio 2008.

CARLO SPINELLI, laurea in Ingegneria Elettronica al Politecnico di Milano nel 1978. Assunto in Telettra per la progettazione di centrali di Commutazione, poi "Team leader" per il progetto di Canale Comune di Segnalazione n.7. Dal 1991, dopo il passaggio di Telettra ad Alcatel, è Direttore degli sviluppi dei Sistemi di Gestione per reti SDH e dal 2000 "Product Manager Director" dei sistemi di gestione per reti SDH.

Dal 2002 è CTO (*Chief Technical Officer*) della Divisione Ottica di Alcatel-Lucent occupandosi principalmente di evoluzioni dei servizi e impatti sulle reti trasmissive nonché di analisi del mercato per i servizi di larghissima banda sia fissa che mobile.

Carlo.Spinelli@alcatel-lucent.it

GUIDO VANNUCCHI, laurea in Ingegneria Industriale all'Università di Bologna nel 1958, "Master Science EE" alla Stanford University nel 1963, Libera Docenza in Comunicazioni Elettriche nel 1971.

Direttore Generale Telettra dal 1983 al 1990, "Senior Consultant" di Olivetti Telemidia, Vice Direttore Generale della RAI dal 1996 al 1998. Attualmente è Docente al Politecnico di Milano di "Architetture per reti e sistemi multiservizio" e membro ordinario del Consiglio Superiore delle Comunicazioni.

Laurea "ad honorem" in Ingegneria delle Telecomunicazioni, conferita dall'Università di Padova nel 1998, per i contributi scientifici e manageriali nel campo della trasmissione dei segnali.

guido.vannucchi@fastwebnet.it