

tetture “intelligenti”, che minimizzino la quantità di potenza irradiata necessaria, e quello di soluzioni hardware e software che migliorino l'efficienza energetica delle stazioni base.

Gli studi condotti in FUB hanno mostrato come una pianificazione ottimizzata sia in grado di massimizzare l'efficienza complessiva di un sistema di telecomunicazioni. Ciò richiede di trovare un compromesso tra l'efficienza spettrale e l'efficienza in potenza, poiché la prima aumenta e la seconda diminuisce al crescere del rapporto segnale/rumore utilizzato in sede di progetto.

Nel caso delle reti cellulari occorre tener conto anche dell'efficienza spaziale, ovvero del riuso delle risorse spettrali sul territorio, che aggiunge una terza dimensione al problema e può introdurre considerazioni specifiche nell'analisi di efficienza del sistema.

RISPARMIO ENERGETICO ATTRAVERSO LA PIANIFICAZIONE INTELLIGENTE DELLE RETI RADIOMOBILI

Un tema di ricerca che FUB sviluppa già da diversi anni riguarda la possibilità di ottimizzare il consumo energetico mediante opportune tecniche di pianificazione di una rete cellulare.

Una tecnica consiste nell'utilizzare, anziché poche stazioni base di media/elevata potenza, un numero più elevato di stazioni base (*microcellulari* e *picocellulari*) che consentono di distribuire il segnale mediante l'utilizzo di livelli di potenza molto bassi sul territorio da servire.

Tale concetto può essere ulteriormente esteso alle *femtocelle*, che sono stazioni base per utilizzo “domestico” che vengono installate direttamente nei locali del cliente, consentendo quindi l'accesso alla rete cellulare con consumi davvero modesti.

FUB è attivamente coinvolta nello studio e nella valutazione delle prestazioni delle architetture di rete che consentono un risparmio energetico, rispettando nel contempo i limiti di esposizione ai campi elettromagnetici a radiofrequenza fissati dalla legge italiana che, come noto, è tra le più restrittive al mondo. Su questi argomenti, il 19 maggio 2010 si è tenuto a Pontecchio Marconi un Seminario Bordoni, che ha visto la partecipazione del prof. Maurizio Decina, Politecnico di Milano, come keynote speaker.

A proposito di risparmio energetico, l'Area “Sistemi Radio” ha contribuito, in collaborazione con le Aree “Tecnologie per la NGN” e “Ingegneria dei sistemi di telecomunicazioni” a studi sul tema delle smart grid, nell'ambito di un gruppo di lavoro interdisciplinare sulla green ICT, che ha visto la partecipazione di rappresentanti tecnici dei Soci Fondatori. È stato prodotto il documento *Green ICT. Mercato elettrico e telecomunicazioni*, presentato nell'ambito di un workshop FUB svoltosi a Roma il 12 gennaio 2010, alla presenza del Capo del Dipartimento per l'energia del Ministero dello sviluppo economico.

PUBBLICAZIONI E INTERVENTI

Conferenze Internazionali

M. Pellegrini, S. Persia, D. Volponi, G. Marcone, “ZigBee Sensor Network propagation analysis for health-care application”, *5th International Conference on Broadband and Biomedical Communications, IB2Comm 2010*, Malaga, Spagna, dicembre 2010.

S. Kandeepan, L. De Nardis, M.G. Di Benedetto, A. Guidotti, G.E. Corazza, “Cognitive Satellite Terrestrial Radios”, *Globecom 2010*, Miami, Florida, USA, 6-10 dicembre 2010.

D. Robalo, V. Petrini, J. Oliveira, F.J. Velez, M. Barbiroli, C. Carciofi, P. Grazioso, F. Fuschini, “Experimental characterisation of WiMAX propagation in different environments”, *COST2100 12th MC Meeting*, Bologna, 23-25 novembre 2010.

E. Fionda, “SafeTRIP Project Traget”, *1st International WorkShop of the COST Action IC0802*, Erice, 8-9 novembre 2010.

E. Fionda, “Global Navigation Satellite Systems (GNSS): tool for water vapour estimation”, *1st International WorkShop of the COST Action IC0802*, Erice, 8-9 novembre 2010.

A.V. Bosisio, P. Basili, S. Bonafoni, P. Ciotti, G. Carlesimo, E. Fionda, A. Martellucci, “A proposed criterion to filter out rainy sky thermal microwave emissions collected at the ground from a multi-channel radiometer”, *URSI Commission F Microwave signatures*, Firenze, 4-8 ottobre 2010.

S. Valbonesi, M. Barbiroli, M. Frullone, F. Graziosi, E. Papotti, F.S. Violante, “Procedures for measurement and evaluation of EMF occupational exposure in MR environment”, *IOHA 2010*, Roma, 28-29 settembre 2010.

M. Barbiroli, C. Carciofi, D. Guiducci, “Effect of WiMAX System Introduction over General Public Exposure: Simulation and Measurements”, *21st Annual IEEE International Symposium On Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, PIMRC 2010*, Istanbul, Turkey, 26-29 settembre 2010.

A. Masini, G. Mazzini, G. Riva, “Routing Metric Estimation in Multi-hop Wireless Networks with Fading Channel”, *18th International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM 2010)*, Split - Bol, 23-25 settembre 2010.

M. Papaleo, V. Petrini, R. Firricieli, A. Vanelli-Coralli, G. E. Corazza, “Optimizing Cross Layer Coding Redundancy in Slow Fading Channels”, *ASMS/SPSC*, settembre 2010.

S. Valbonesi, M. Barbiroli, M. Frullone, F. Graziosi, E. Papotti, F.S. Violante, “Occupational exposure assessment to static magnetic field in MRI environment”, *EMF Bordeaux Event*, Bordeaux, 26-29 maggio 2010; presentato anche al *32nd Annual Meeting of The Bioelectromagnetics Society*, Seoul, Korea, 13-18 giugno 2010.

S. Valbonesi, M. Barbiroli, M. Frullone, F. Graziosi, E. Papotti, F.S. Violante, "Occupational exposure assessment of non-sinusoidal pulsed gradient magnetic fields in MRI environment", *EMF Bordeaux Event*, Bordeaux, 26-29 maggio 2010.

M. Barbiroli, C. Carciofi, V. Degli Esposti, F. Fuschini, P. Grazioso, D. Guiducci, D. Robalo, F. J. Velez, "Characterization of WiMAX propagation in microcellular and picocellular environments", *4th European Conference on Antennas and Propagation EuCAP'2010*, Barcellona, aprile 2010.

Convegni nazionali, Seminari e Stage

D. Guiducci, "Aspetti operativi della transizione al digitale terrestre", *La transizione al digitale terrestre: il quadro istituzionale e il coinvolgimento del territorio*, Seminari Bordoni, Villa Griffone, novembre 2010.

G. Riva, "QoS and new services: scenarios and perspectives", *Qualità e nuovi servizi: verso i sistemi mobili di quarta generazione*, Seminari Bordoni, Villa Griffone, giugno 2010.

G. Riva, "Energy & Green Radio: challenges & synergy", *Green ICT: telecomunicazioni, informatica e risparmio energetico*, Seminari Bordoni, Villa Griffone, maggio 2010.

A. Neri, "The Italian Transition to DTT: Designing and applying the Master Plan", Stage formativo in materia di digitalizzazione per la delegazione armena, Sede RayWay, Monza, marzo 2010.

D. Guiducci, A. Neri, "La transizione alla televisione digitale terrestre", *Tecnologie digitali per la radiocomunicazione*, Seminario ARPA, Bologna, febbraio 2010.

Riviste Nazionali

M. Boumis, D. Guiducci, A. Neri, G. Riva, "Il passaggio alla TV digitale: lo switch-off di Lazio e Campania", *Sistemi Integrati – TV digitale*, Vol. 2, luglio 2010.

Area 2

TECNOLOGIE PER LE RETI DI NUOVA GENERAZIONE

RESPONSABILE DI AREA

FRANCESCO MATERA

Quest'Area è dedicata allo studio delle tecnologie per la realizzazione delle Reti di Nuova Generazione e, in particolare, per la diffusione capillare della banda larga e ultralarga in Italia. In questa prospettiva, il passaggio dalla TV analogica a quella digitale con tutte le sue piattaforme è considerato come un fattore abilitante così come l'evoluzione dei decoder per il digitale terrestre verso una tecnologia ibrida che integri anche l'accesso alla rete.

Reti di nuova generazione (o Next Generation Networks) è un termine molto ampio per indicare l'insieme delle reti di TLC che prevedono alcune evoluzioni chiave come la convergenza dei servizi (triple e quadruple play) e il trasporto su pacchetti IP (All IP). Grazie a queste reti, la larga banda raggiungerà tutti gli utenti e l'offerta di servizi a valore aggiunto rivoluzionerà il panorama economico e sociale del Paese, attraverso l'integrazione delle caratteristiche tipiche dei servizi di telefonia, del mondo mobile e della TV (anche HD e 3D). Tutto ciò richiede che le innovazioni tecnologiche che stanno attualmente interessando principalmente la sezione di accesso alla rete siano accompagnate da un adeguamento della rete di trasporto.

Per realizzare le NGN, sarà quindi necessario che i segnali siano trasportati su portanti in grado di garantire flussi ad altissimo bit rate e quindi principalmente con sistemi in fibra ottica con terminazioni ottiche sempre più vicine all'utente finale, e con un'architettura protocollare basata su IP, ma con una semplificazione delle procedure di instradamento che garantisca nel contempo l'unificazione del trattamento dei diversi meccanismi di accesso attualmente in uso.

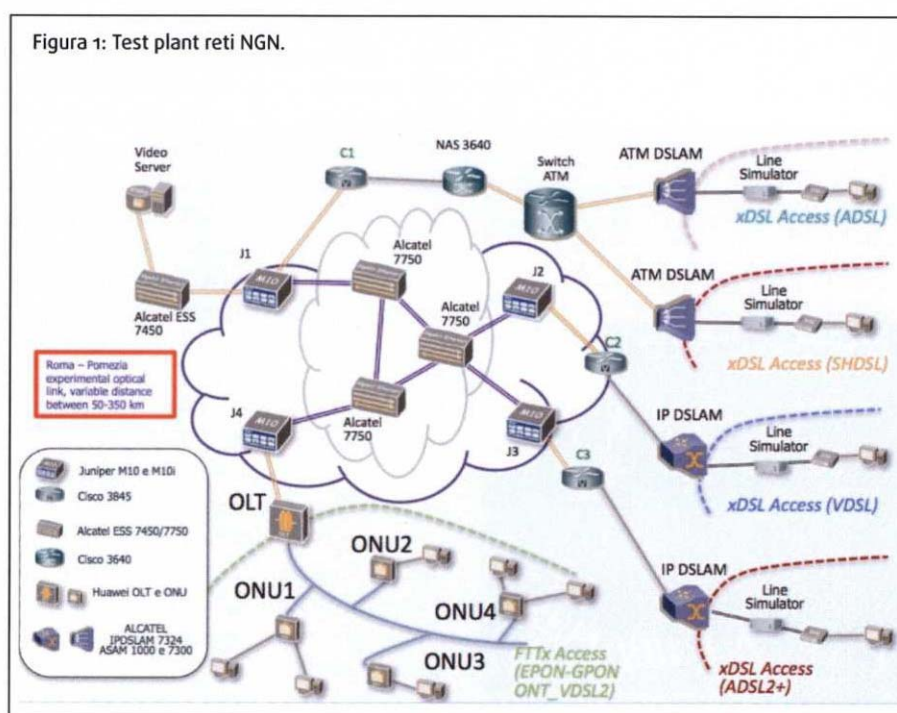
Nella realizzazione delle reti NGN, un ruolo fondamentale sarà giocato anche dal risparmio energetico. Pertanto, il consumo della rete diverrà uno dei parametri fondamentali che ne guideranno la progettazione e la realizzazione finale.

Alla luce di queste considerazioni, le attività dell'Area sono suddivise in quattro sotto-aree profondamente connesse sotto il paradigma della convergenza: la prima riguarda la *rete di accesso*, la seconda è dedicata alle *reti dorsali* (e *metro*), la terza concerne il risparmio energetico e, infine, l'ultima riguarda i dispositivi per la TV digitale terrestre.

RETE DI ACCESSO

Per quanto riguarda la rete di accesso, le attività di ricerca FUB si sono concentrate principalmente sui sistemi che consentono di portare la fibra il più possibile vicino all'utenza finale e sull'utilizzo dei dispositivi radio per l'accesso in mobilità e nomadicità, anche con reti a femtocelle. Momento chiave di queste attività è il controllo della Qualità del Servizio (QoS).

In tal senso, sono stati fatti approfonditi studi di ricerca di supporto al Progetto sulla "QoS di Internet da postazione fissa" (delibera AGCOM n. 244/08/CSP) pensando alla futura rete e in particolare agli accessi in fibra ottica. Molte delle attività di ricerca svolte nel 2010 si basano su sperimentazioni effettuate sul test plant di reti di nuova generazione dell'ISCOM.



IL TEST BED DI RETI DI NUOVA GENERAZIONE

Nella Figura 1 è riportato lo schema attuale del laboratorio di reti NGN dell'ISCOM. Esso rappresenta una rete regionale i cui nodi (router) sono connessi con le fibre ottiche contenute nel cavo Roma-Pomezia lungo 25 km "one way", che è costituito da 80 fibre monomodali, delle quali 30 DS (dispersion shifted, G.653), 20 nzd (non zero dispersion, G.655) e 30 SF (standard fiber G.652r).

Il cuore è formato da sette routers, quattro Juniper (due M10 e due M10i) e tre Alcatel 7750, mentre la parte periferica è costituita dai 3 router Cisco 3845 e un Alcatel 7450. I routers della serie M di Juniper sono di fascia alta, pensati ed equipaggiati per far parte di una core network, mentre i routers della serie 3800 della Cisco sono di fascia media, tipicamente utilizzati come routers di accesso. Proprio per le caratteristiche degli apparati, la rete è stata progettata in modo che i quattro routers Juniper fungano da core network completamente magliata con

connessioni di 50 km, e i tre routers Cisco siano utilizzati come nodi della rete di accesso. Un discorso a parte riguarda i router Alcatel 7750 che sono utilizzati per realizzare funzioni avanzate di instradamento, come ad esempio quelle di tipo Carrier Ethernet (PBB-TE). Occorre precisare, infine, che la rete è stata anche sperimentata con collegamenti più lunghi per raggiungere dimensioni nazionali ed in particolare sono state usate connessioni lunghe 350 km con tratte amplificate otticamente con amplificatori ad erbio.

Nel test plant sono presenti due sezioni di accesso, una in rame basata su xDSL e due in fibra costituite da tipiche architetture Fiber ToThe x (FTTX), in particolare una Ethernet Passive Optical Network (EPON) ed una GPON [7]. La rete EPON è formata da una OLT (Optical Line Termination) AN5116-03 della FiberHome, da un certo numero di ONU (Optical Network Unit) AN5006-05 anch'esse della FiberHome e da uno splitter/accoppiatore passivo. La seconda invece è composta da una OLT Huawei, uno splitter passivo, da una serie di ONU in fibra e da una ONT DSLAM VDSL2 corredata da una serie di modem VDSL2 connessi tramite doppino telefonico al DSLAM.

GESTIONE DELLA QoS IN RETI PON: VERSO LE RETI WDM PON

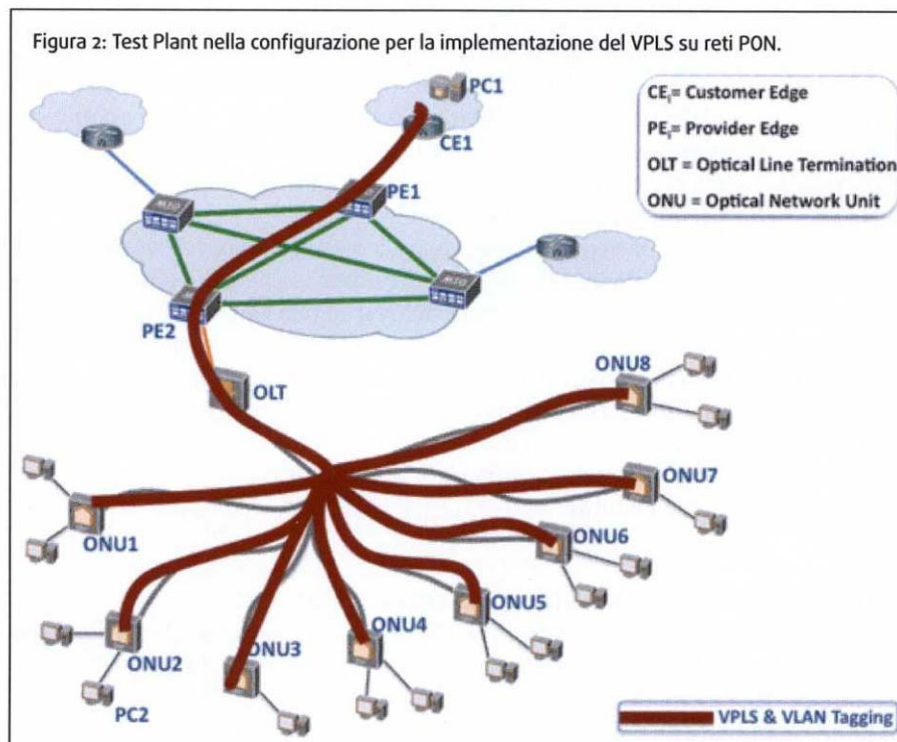
Tra le tecniche di accesso in fibra ottica le Passive Optical Networks (PONs) risultano essere le più semplici e le più economiche da implementare [8]. Esistono differenti versioni di reti ottiche passive: attualmente le Ethernet PON (EPON) sono principalmente impiegate in Asia, in particolare nel sud-est asiatico, mentre le Gigabit PON (GPON) sono implementate in Europa e Nord America. Uno dei limiti principali delle PON, nonostante l'elevato bit-rate delle attuali versioni (tra 1 e 2.5 Gbit/s), è rappresentato dalla condivisione della capacità tra tutti gli utenti, che limita così l'effettiva banda disponibile. Inoltre, tali reti non permettono l'unbundling fisico, se non ricorrendo ad un approccio di tipo Wavelength Division Multiplexing (WDM), e cioè con una lunghezza d'onda per ogni utente, e ciò potrebbe porre dei chiari limiti alla libera competizione tra gli operatori. Per questi motivi risultano indispensabili nelle PONs tecniche che consentano il controllo della QoS al fine di rispettare i requisiti richiesti dai diversi tipi di traffico e che permettano la configurazione di percorsi con precise garanzie in termini di banda e di affidabilità. In particolare, è necessario un controllo della QoS da estremo a estremo.

A tal fine, FUB ha testato un approccio basato sul Virtual Private LAN Service (VPLS) [7] perché il VPLS permette di realizzare un servizio Ethernet tramite il Multiprotocol Label Switching (MPLS), consentendo di ottenere eccellenti prestazioni in termini di gestione della rete e di controllo della QoS.

In sostanza, il VPLS è una sorta di Layer 2 Virtual Private Network (L2VPN) dove gli utenti hanno la percezione di appartenere ad un'unica rete locale (LAN) senza tener conto della loro effettiva dislocazione geografica. A differenza delle tradizionali VPN di strato 2 in cui i diversi customers sono connessi in modalità punto-punto, il VPLS realizza connessioni multipunto-multipunto, grazie alle sue intrinseche capacità di effettuare operazione di multicasting.

Nella Figura 2, viene riportata la configurazione tipica di una rete core-access basata su accesso PON che si ha nel caso di un servizio che parte da un server fino ad arrivare ad un certo numero di utenti.

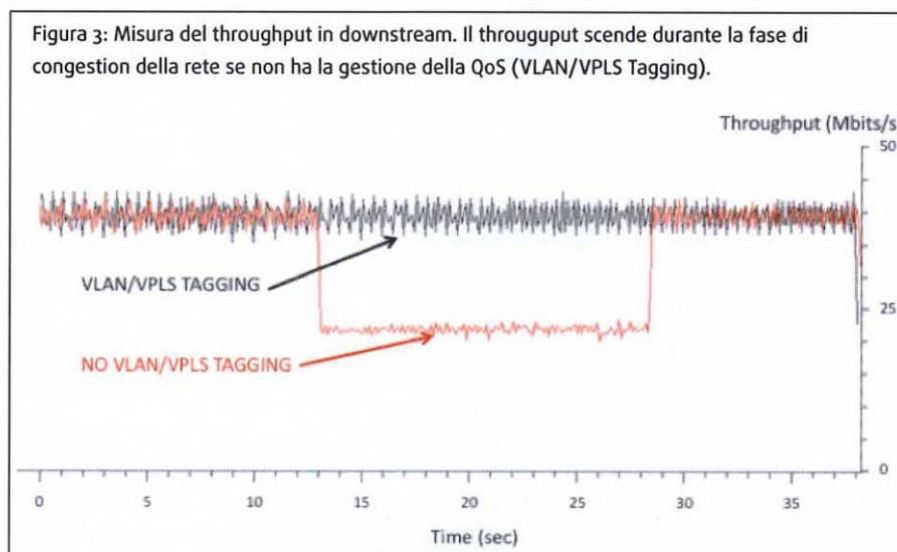
Le misure dei parametri prestazionali sono state effettuate per mezzo di un analizzatore di traffico che consente la valutazione di parametri prestazionali quali throughput, data loss, ritardo e jitter. Tuttavia, per motivi di brevità, in questo contributo sono riportate solo misure di throughput per dare comunque una chiara indica-



zione sulla bontà del funzionamento della tecnica proposta. In particolare, nella Figura 3, mostriamo che il throughput di un utente, in presenza di questa tecnica, si mantiene costante anche in presenza di una forte congestione della rete.

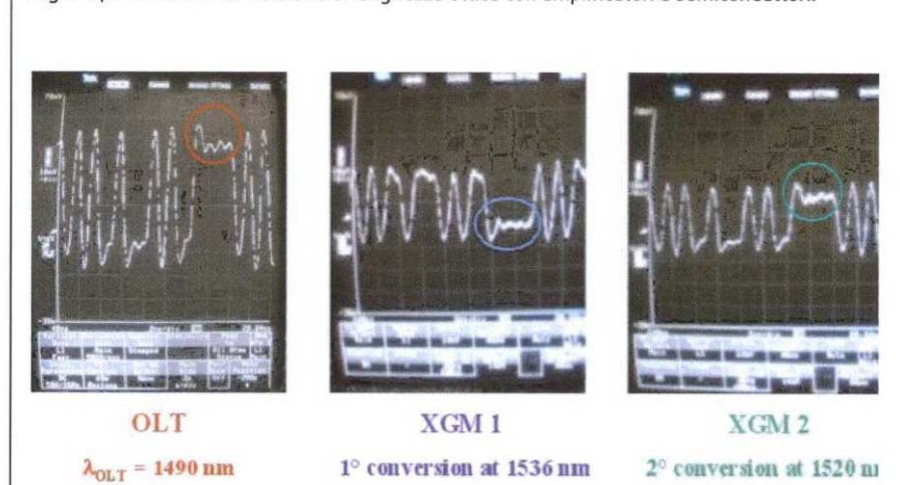
I risultati ottenuti mostrano che, con questo approccio, è possibile realizzare percorsi affidabili e ben definiti (in termini di QoS) in reti ottiche passive; da ciò lo spunto di un possibile impiego del VPLS (e quindi delle VLAN) come tecnica per superare il problema dell'unbundling nelle reti ottiche, ed in particolare nelle PON.

Come già detto l'unbundling a livello fisico potrà essere ottenuto quando sa-



ranno disponibili le tecniche WDM PON a basso costo. Nei laboratori ISCOM sono state fatte alcune sperimentazioni WDM, anche utilizzando la conversione tutta ottica delle lunghezze d'onda. Nella Figura 4, si riporta la conversione di un segnale dalla lunghezza d'onda a 1490 nm a 1520 nm grazie al processo del *cross gain modulation* negli amplificatori a semiconduttori. Tale processo è molto importante perché cambiando la lunghezza d'onda dei segnali è possibile far coesistere diverse reti PON sulla stessa infrastruttura fisica.

Figura 4: Processi di conversione di lunghezza ottica con amplificatori a semiconduttori.



MISURE DI QoS IN RETI PON

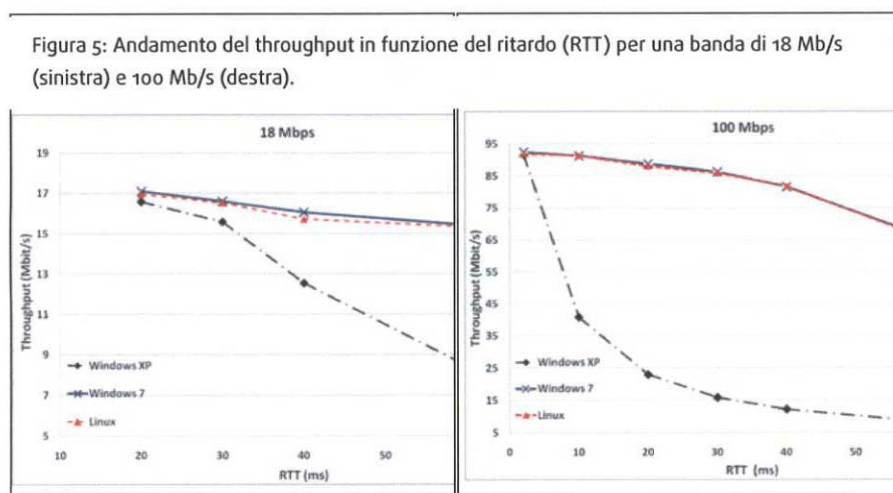
L'impiego di tecnologie ottiche nel segmento di rete ultimo miglio, rende possibile agli utenti finali di poter accedere a Internet e ai servizi di nuova generazione con bande sempre più elevate. Rimane però da chiarire in che modo e con quale efficienza le applicazioni e i servizi distribuiti all'utente riescano a sfruttare gli alti bit rate offerti dalle soluzioni Fiber To The X (FTTx). Con questa attività si è voluto verificare quanta banda un utente può effettivamente sfruttare e come questo dipende dal sistema operativo del PC dell'utente.

L'argomento era già stato affrontato in FUB nel corso del 2009 per gli accessi in rame xDSL [6] che rappresentano attualmente la soluzione più diffusa per l'accesso a Internet. I risultati misero in luce le forti differenze, in termini di utilizzazione della banda, per diversi ambienti software di utente. In quella indagine venivano considerati i Sistemi Operativi più diffusi sul mercato, ossia Microsoft Windows XP, Microsoft Windows 7 e Linux. Dai risultati ottenuti si evidenziava come le differenze in termini di prestazioni crescessero con l'aumentare del bit-rate. Ne deriva che le variazioni di performance diventeranno sempre più rilevanti con l'introduzione della fibra ottica nel segmento di rete ultimo miglio, grazie all'impiego delle reti FTTx.

Per analizzare l'utilizzazione di banda nella fase sperimentale ci si è riferiti alla valutazione della QoS secondo il metodo proposto in ETSI e adottato nell'ambito del Progetto FUB "Misura internet" (www.misurainternet.it), in ottemperanza alla delibera n. 244/08/CSP di AGCOM, Progetto che ha realizzato un sistema di monitoraggio delle prestazioni di rete per l'accesso a Internet da postazione fissa [6].

La tecnica di stima di banda utilizzata nella fase sperimentale quantifica il throughput FTP di un flusso dati tra un Server e un Client, che sono posizionati rispettivamente nel segmento di rete dell'operatore e sul PC (terminale) di utente. Il tool sviluppato rende possibile stimare le velocità di download e upload tramite il trasferimento di opportuni file di test e, attraverso la misura del tempo necessario al trasferimento dei dati (mediati su 50 ripetizioni), si ottiene una stima di banda del collegamento.

Nella Figura 5, sono riportati i risultati sperimentali (relativi a due differenti profili di rete) rappresentati come throughput in funzione del ritardo in rete (RTT). Il primo è relativo a una GPON con 128 utenti, e in questo caso può essere fornita all'utente una banda di circa 18 Mbit/s. Il secondo profilo invece, considera una GPON che serve 32 utenti con una banda di 100 Mbit/s ciascuno.



Premettendo che per i protocolli a finestra, come appunto il TCP, le performance dipendono dal RTT, i dati riportati sottolineano come il Sistema Operativo ha un impatto rilevante sulle performance del protocollo FTP.

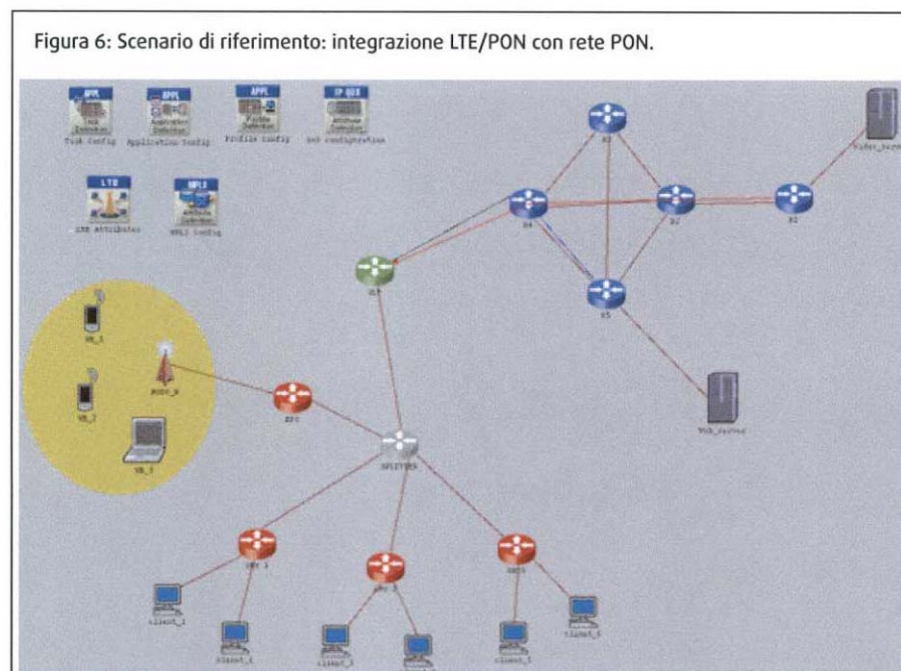
Risulta evidente come la riduzione delle performance, al crescere del ritardo di rete e del bit rate, sia devastante considerando l'implementazione del protocollo TCP nel sistema operativo Ms Windows XP. In particolare, è da notarsi una riduzione delle performance fino al 50% per il profilo 18 Mbit/s e fino al 90% per un profilo a 100 Mbit/s.

INTEGRAZIONE FIBRA-RADIO: ACCESSI LTE BASATI SU RETE PON

Nell'accesso alle reti a larga banda, un ruolo fondamentale sarà svolto dai sistemi radio ad altissima capacità e i sistemi WiMAX e Long Term Evolution (LTE) sono quelli che al momento ricevono i maggiori interessi per gli sviluppi futuri [9], [15]. Per le reti wireless uno dei principali problemi nell'utilizzo dei servizi broadband è dato dalla condivisione della risorsa e quindi la gestione della QoS assume un ruolo ancora più importante che per le tecniche wireline.

FUB ha realizzato degli studi proprio con la finalità di proporre un metodo per gestire la QoS in forma end-to-end in reti con terminazione WiMAX e LTE. A tal fine, abbiamo proposto lo stesso metodo basato sul VPLS descritto sopra, che permette di gestire la QoS fino alla Base Station e poi di proseguire fino all'utente mediante le tecniche che definiscono la classe di servizio nelle reti WiMAX e LTE.

La dimostrazione del funzionamento di questo metodo è stata effettuata mediante il codice OPNET che permette la simulazioni sia di reti fisse che wireless.

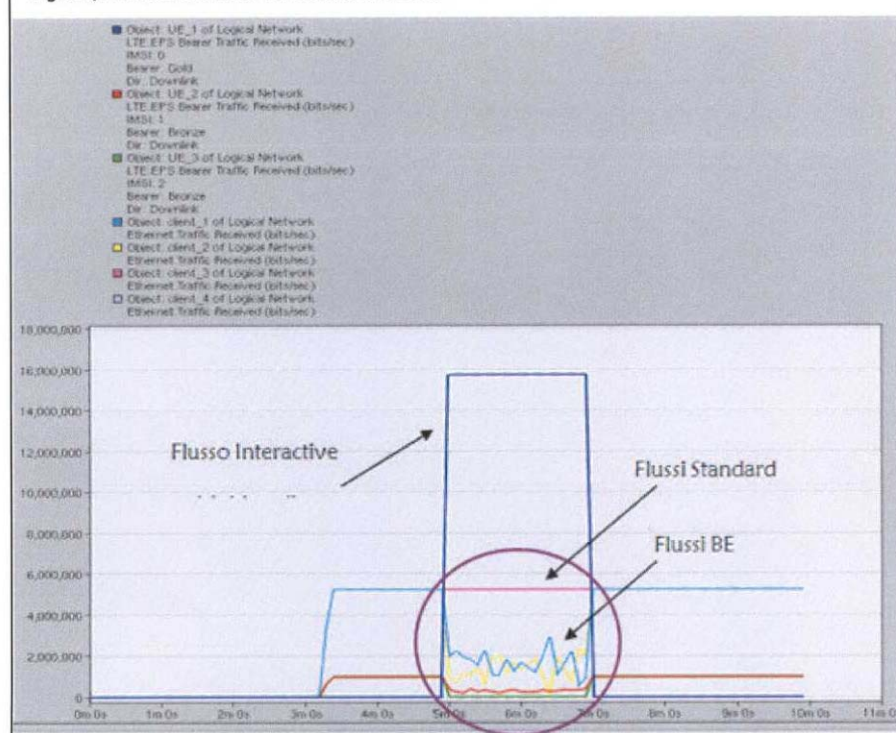


Nella Figura 6, riportiamo lo schema di rete considerato, corrispondente ad una rete core (router blu) con una rete di accesso di tipo PON (ONU rosse) connessa ad una base station LTE che opera in una cella indicata dall'area gialla. Nella Figura 7, si riporta invece il comportamento del traffico per i diversi utenti connessi con LTE, alcuni in modalità best effort e uno con QoS garantita. La Figura 7 mostra che:

- il flusso di traffico destinato all'UE_1 (curva blu, ToS Interactive Multimedia, CoS Gold, banda garantita e configurata nell'oggetto LTE Config) rimane immutato;
- i traffici rimanenti, caratterizzati da un ToS Best Effort, vengono ridotti durante tutta la durata del traffico con CoS Gold.

Per cui crediamo che l'abbinamento delle tecniche per la gestione della QoS tipiche delle reti fisse (MPLS e relative evoluzioni) con quelle per le reti wireless, abbia un ruolo fondamentale per rendere le reti wireless equivalenti a quelle fisse dal punto di vista dei servizi che richiedono larghe bande.

Figura 7: Traffico ricevuto dai terminali di rete.



DISPOSITIVI WIRELESS IN MOBILITÀ A FORTE VELOCITÀ

Allo stato attuale, per fornire una connessione a banda larga ad utenti che si muovono ad elevate velocità, come nel caso dei passeggeri di treni ad alta velocità, si potrebbero utilizzare, in linea di principio, diverse tecnologie che differiscono in termini di costi di implementazione e di prestazioni (GSM/GPRS, UMTS/HSPA, WiMAX, Satellite). Risulta però chiaro che, con tali tecnologie, l'utilizzazione di un unico sistema di telecomunicazione potrebbe non risultare ottimale, sia perché implicherebbe costi elevati per garantire il servizio su entrambe le tratte UL (Uplink) e DL (Downlink), sia perché risulterebbe inefficiente in termini di prestazioni raggiungibili.

Sulla base di tali considerazioni, è stato avviato uno studio il cui obiettivo è quello di analizzare, attraverso strumenti teorici e sperimentali, lo strato fisico e la modalità trasmissiva impiegata nella tratta di comunicazione downlink (cioè dalla stazione radio base verso il terminale d'utente) della tecnologia LTE, al fine di verificare se risulta possibile fornire connettività mobile a banda larga, con sufficiente livello di qualità, anche nel caso di mobilità dell'utente ad alte velocità, fino ai 350 Km/h.

Il movimento relativo tra terminale d'utente e stazione radio base determina, infatti, la presenza dell'effetto Doppler, che in sistemi trasmissivi multi-portante, quale l'OFDM impiegato nella tecnologia LTE, comporta la generazione di interferenze altrimenti assenti in sistemi trasmissivi a singola portante (GSM, UMTS).

Dai primi risultati ottenuti, è stato possibile verificare come nella comunicazione downlink, la condizione di mobilità ad elevate velocità dell'utente determina una degradazione delle prestazioni, in termini di velocità di connes-

ne, rispetto al caso in cui lo stesso si muova a velocità inferiori o risulti stazionario. Tali degradazioni risultano più o meno rilevanti a seconda di diversi fattori, quali la frequenza portante utilizzata in trasmissione e il modo di propagazione dalla sorgente alla destinazione del segnale trasmesso, che può seguire un unico o molteplici percorsi.

Nel caso in cui si trasmetta ad una portante di 2.1 GHz e in assenza di cammini multipli, la velocità di 350 Km/h dell'UE comporta degradazioni crescenti della velocità del collegamento quando, in trasmissione, si impiegano indici di qualità CQI (parametro dipendente dallo schema di modulazione e dal tasso di codifica adottati) che corrispondono ad una maggiore efficienza spettrale (vedi Tabella 1 nel caso LTE), fino ad arrivare al caso limite dell'indice CQI=15 in cui le prestazioni del sistema sono praticamente nulle. Nel caso di CQI ≤ 14 , la perdita di prestazione risulta essere contrastabile aumentando il valore di SNR in ricezione (cioè maggiore potenza ricevuta rispetto al livello di rumore riscontrabile sul collegamento).

Nel caso di propagazione del segnale affetta da cammini multipli, a seconda del ritardo con cui gli echi del segnale trasmesso giungono al ricevitore (modellizzazione di canale VehA e VehB, rispettivamente, così come standardizzato dall'ITU per utenti veicolari), la massima velocità di connessione risulta particolarmente penalizzata, soprattutto nel caso di indici CQI più alti (dal 13 al 15 per il VehA e dal 9 al 15 per il VehB), anche in presenza di elevati valori di SNR in ricezione.

Tabella 1: Indici CQI previsti dallo standard LTE.

INDICE CQI	MODULAZIONE	CODE RATE (approssimato)	EFFICIENZA (bit di informazione per simbolo)
1	QPSK	0.076	0.1523
2	QPSK	0.12	0.2344
3	QPSK	0.19	0.3770
4	QPSK	0.3	0.6016
5	QPSK	0.44	0.8770
6	QPSK	0.59	1.1758
7	16-QAM	0.37	1.4766
8	16-QAM	0.48	1.9141
9	16-QAM	0.6	2.4063
10	64-QAM	0.45	2.7305
11	64-QAM	0.55	3.3223
12	64-QAM	0.65	3.9023
13	64-QAM	0.75	4.5234
14	64-QAM	0.85	5.1142
15	64-QAM	0.93	5.5547

Un comportamento migliore si ottiene impiegando, in trasmissione, una frequenza portante più bassa. Infatti si è verificato che, per frequenze portanti di 900 MHz, le prestazioni generali del sistema risultano migliori rispetto al caso di portante a 2.1 GHz. In questo contesto scegliere la banda di frequenza intorno ai 2.1 GHz si inquadra nell'ottica di tracciare una linea di continuità con l'UMTS, mentre quella intorno ai 900 MHz è stata scelta considerando che, con la diminuzione

prevista per i prossimi anni del traffico GSM e con lo spettro che sarà reso disponibile dal processo di switch off alla televisione digitale, sarà possibile liberare bande di frequenza, rendendole disponibili per altre tecnologie.

STUDIO DELL'INTERAZIONE TRA SEGNALI DVB-T E MOBILE BROADBAND IN BANDA UHF

Con il completamento del processo di switch off del sistema televisivo analogico, attualmente in corso nei paesi dell'Unione europea, la cui conclusione è prevista in Italia per la fine del 2012, le porzioni di spettro ancora oggi impiegate dal segnale televisivo analogico che si trovano nella banda UHF da 470 a 862 MHz, saranno disponibili per la diffusione di canali DVB-T [10]. Ciò che viene auspicato dal CEPT è che ciascun paese renda disponibile una porzione di tale banda, e precisamente l'intervallo 790-862 MHz, noto come *digital dividend*, per implementare servizi di telecomunicazioni mobili di prossima generazione (4G). In tal caso, sarà necessario risolvere il problema di coesistenza tra i canali DVB-T, adiacenti alla banda in questione, e i segnali dei futuri sistemi di comunicazione mobili a banda larga.

A tale scopo è stato condotto uno studio per approfondire la conoscenza relativa agli aspetti interferenziali, valutando soprattutto gli effetti prodotti dai segnali dei sistemi mobili nei confronti della tecnologia DVB-T, il cui funzionamento deve comunque essere garantito [10]. L'obiettivo è stato quello di individuare i limiti tecnico-economici derivanti dall'impiego delle suddette tecnologie in bande adiacenti, attraverso la valutazione di specifici parametri prestazionali quali:

- **Il rapporto di protezione (Protection ratio):** definito come il minimo valore del rapporto (potenza segnale desiderato / potenza segnale interferente) misurato all'ingresso del ricevitore, tale da garantire un specificato livello di qualità del segnale desiderato.
- **La distanza di protezione:** ovvero la distanza minima a cui può essere collocata un'antenna di un sistema mobile (stazione radio base o terminale d'utente) rispetto ad un'antenna TV, affinché l'interferenza risultante non sia tale da compromettere la qualità del segnale televisivo.

Nello specifico, l'attenzione è stata rivolta alle principali tecnologie mobili a larga banda attualmente in via di sviluppo, quali WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) e LTE (Long Term Evolution), per valutare l'assenza di impedimenti di natura tecnica alla loro implementazione nelle bande che risulteranno effettivamente disponibili. Ciò tenendo conto dei vincoli intrinsecamente presenti nel canale radio (canalizzazione, bande di guardia), nonché delle caratteristiche funzionali delle nuove tecnologie di telecomunicazione cellulari.

A titolo di esempio, in Tabella 2 sono riportati alcuni risultati dello studio relativi alla distanza di protezione nel caso di un segnale LTE di ampiezza 5MHz che opera in una banda adiacente a quella occupata dal canale televisivo 60, che è quello immediatamente precedente l'intervallo frequenziale del *digital dividend*.

In base ai risultati indicati, è evidente come la distanza di protezione diminuisca all'aumentare della potenza del segnale DVB-T ricevuto dall'antenna TV. Inoltre, occorre notare come lo stesso parametro risulti fortemente influenzato dal formato di modulazione del segnale DVB-T, dal momento che per una cor-

Tabella 2

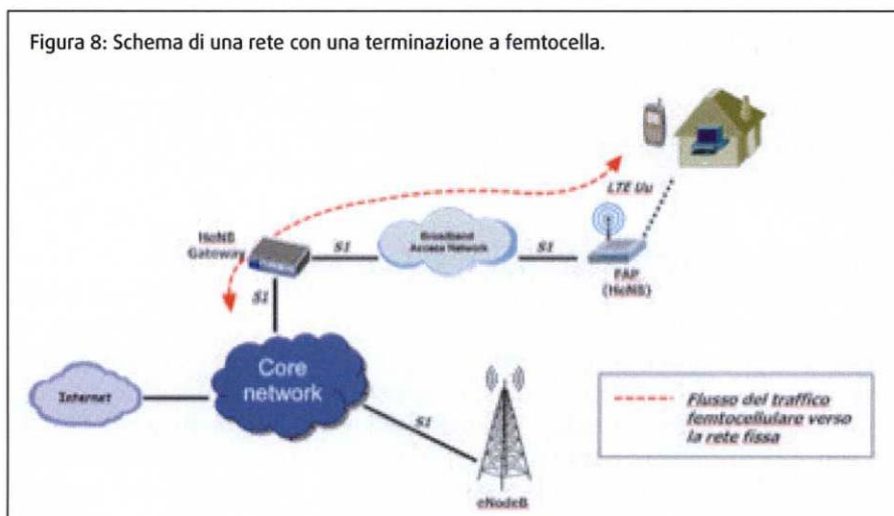
Potenza del segnale DVB-T all'antenna TV	Modulazione del segnale DVB-T	Distanza di protezione
-70 dBm	64QAM	222 m
-70 dBm	16QAM	67 m
-60 dBm	64QAM	49 m
-60 dBm	16QAM	6 m

retta decodifica del segnale in ricezione, a parità di potenza ricevuta dall'antenna televisiva, l'implementazione di uno schema di modulazione 64QAM richiede distanze di protezione notevolmente maggiori di quelle richieste in presenza di uno schema di modulazione 16QAM. In particolare, attraverso lo studio realizzato, si sono potuti stabilire con ragionevole esattezza i vincoli che occorre tenere in considerazione per la corretta collocazione di stazioni radio base LTE o WiMAX in fase di progettazione delle corrispondenti reti, con l'obiettivo di non pregiudicare il servizio fornito dalle esistenti reti DVB-T.

RETI A FEMTOCELLE

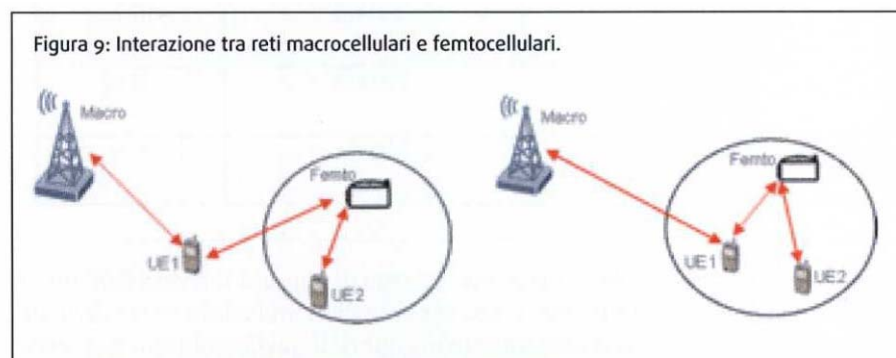
L'aumento di traffico voce/dati, derivato dal crescente utilizzo delle reti mobili, in futuro sarà un elemento chiave della qualità di servizio. Ciò ha determinato lo sviluppo di nuove soluzioni architetturali, tra cui quella basata sulle femtocelle. Con questo termine ci si riferisce a stazioni radio domestiche, a basso costo e a basso livello di potenza, gestite da remoto dall'operatore mobile, con lo scopo di migliorare la copertura cellulare (2G/3G/WiMAX/4G) indoor, aumentando le prestazioni dei servizi voce e dati. Allo stesso tempo l'operatore beneficerà del van-

Figura 8: Schema di una rete con una terminazione a femtocella.



taggio di indirizzare parte del carico di traffico della propria rete mobile verso la rete fissa (collegamenti xDSL, fibra ottica, ecc), con un conseguente risparmio dei costi richiesti per il potenziamento dell'infrastruttura di rete (vedi Figura 8).

In questo contesto, FUB ha analizzato dei tipici scenari interferenziali tra reti femtocellulari e reti macrocellulari (vedi alcuni esempi in Figura 9) allo scopo di definire parametri prestazionali e relativi vincoli fisici che debbono essere rispettati al fine di poter massimizzare il throughput totale della rete.



Inoltre, sono state proposte delle architetture di accesso a larga banda innovative basate sull'integrazione delle femtocelle con infrastrutture cablate esistenti negli edifici (ad es. impianto televisivo centralizzato); tali architetture sono state quindi messe a confronto con le soluzioni femtocellulari tradizionali sia dal punto di vista implementativo che da quello prestazionale.

RETE DORSALE

Il passaggio alle NGN richiede un adeguamento della rete dorsale al fine di aumentare la capacità con tecniche wavelength division multiplexing (WDM) con singoli canali operanti ad altissime capacità (40 Gb/s e 100 Gb/s) e con processamenti più efficienti dei segnali in rete. Inoltre, sono richieste procedure che rendano la rete più efficiente anche in casi di guasti.

Nel corso del 2010, FUB si è occupata di studiare nuove tecniche per aumentare la capacità dei sistemi WDM e di introdurre la trasmissione Ethernet (più semplice e più vicina alle esigenze del mondo IP) anche nelle reti core, garantendo l'affidabilità con processi di ripristino simili a quelli SDH. Inoltre, nel test plant dell'ISCOM è stata realizzata una completa rete per TV su IP che garantisce alcune peculiarità di gestione dei flussi video con alta qualità [4], [12].

SISTEMI OTTICI AD ALTA CAPACITÀ SU LUNGA DISTANZA

La richiesta di larghezza di banda sempre più elevata da parte degli utenti, specialmente a causa della crescente diffusione di servizi e applicazioni basati sul protocollo IP, richiede trasmissioni di dati con frequenze di cifra sempre più elevate. Il successo delle trasmissioni GbE su distanze sempre maggiori, anche a 10 Gb/s, induce a prevedere che nel breve termine le richieste di trasmissioni ad alta capacità su distanze nazionali saranno rivolte alla trasmissione a 100 Gb/s. Raggiungere queste capacità trasmissive pone sfide tecnologicamente interessanti su due versanti:

- a. quello dell'individuazione delle tecniche di modulazione e multiplazione necessarie al superamento dei limiti trasmissivi dovuti alla dispersione cromatica e di polarizzazione e alle non linearità;
- b. quello della componentistica necessaria.

Oggi, tecniche di modulazione come DQ PSK (*Differential Quadrature Phase Shift Keying*) o DP-QPSK (*Dual Polarization - Quadrature Phase Shift Keying*) rappresentano una soluzione alle problematiche appena esposte in quanto permettono di aumentare l'efficienza spettrale attraverso la codifica di più bits su ciascun simbolo ottico. Velocità inferiori di trasmissione di simbolo permettono di limitare gli effetti dispersivi, anche se richiedono sofisticate tecnologie sia in trasmissione che in ricezione. In particolare, tra queste tecniche multilivello, una delle più interessanti è quella chiamata RZ DQPSK (*Return-to-Zero Differential Quadrature Phase Shift Keying*) [5], [15].

Nel corso del 2010, FUB, in collaborazione con l'Università dell'Aquila (UNILAQ), ha svolto vari studi sui metodi per ottimizzare le trasmissioni di sistemi DPSK e DQPSK in collegamenti con fibre installate di tipo G.652. Rispetto alle precedenti conoscenze, FUB e UNILAQ hanno sviluppato una teoria che permette di comprendere i meccanismi che degradano i segnali modulati in fase nei collegamenti in fibra ottica. Tali meccanismi, dovuti agli effetti non lineari delle fibre, fino ad ora potevano essere studiati solo mediante lunghe e laboriose simulazioni. La teoria sviluppata da FUB, invece, permette di valutare analiticamente le prestazioni dei sistemi ottici e, in particolare, di trovare più facilmente le condizioni che permettono di ottimizzare le prestazioni. Simulazioni numeriche, con il codice realizzato da FUB, hanno permesso la verifica della teoria e di studiare le prestazioni di questi sistemi in diverse configurazioni di rete.

Figura 10: Schema di un sistema DQPSK.

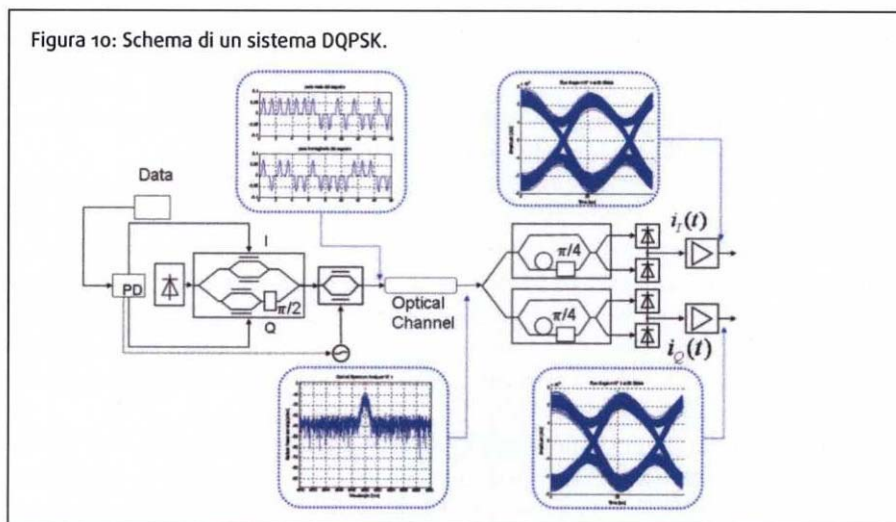


Tabella 3: Parametri del collegamento considerato.

Fibre	Gratings	Amplificatori EDFA
$\alpha=0.25$ dB/km, $D=16$ ps/nm/km $D_3=0.06$ ps/nm ² /km, $g=1.3$ (Wkm) ⁻¹	$\alpha T=1.5$ dB, $DT=-1600$ ps/nm $DT_3=-6$ ps/nm ² , $g=0$	$G=26.5$ dB $F=6$ dB