

NOTIZIARIO TECNICO TELECOM ITALIA

INTERNET E L'INFRASTRUTTURA
GLOBALE DELL'INFORMAZIONE

L'ENERGIA PULITA
DI GINOSTRA

19 GIUGNO 1998:
PARTE LA NUOVA
NUMERAZIONE

anno 6
n. 2
OTTOBRE
1997



Ai lettori

Il Notiziario Tecnico approda a INTERLAN

Cari lettori,

con il numero di luglio del Notiziario Tecnico vi è stato inviato un questionario con il quale vi è stato chiesto di esprimere un giudizio sulla rivista e di formulare proposte di miglioramento. Nell'occasione vi chiedevo anche con insistenza di rispondere, e (ricordate?) avevo scelto come titolo dell'editoriale "Rispondete se potete".

Mentre chiudo questo numero, a due settimane dall'invio dei questionari, sono già arrivate quattrocento risposte. Molte contengono suggerimenti, dei quali sicuramente terremo conto nei prossimi numeri della rivista. Mi auguro tuttavia che le risposte continuino ad arrivare numerose e invito quindi quanti ancora non hanno trovato il tempo per riempire il modulo a volerlo fare al più presto, possibilmente entro l'anno (qualora per errore il questionario non fosse stato inserito nella rivista da voi ricevuta, potrete chiederne una copia direttamente alla Segreteria del Notiziario Tecnico).

Un risultato ottenuto in questi giorni mi ha procurato molto piacere: come accennavo nel numero precedente, i testi della rivista sono ora disponibili sulla rete aziendale INTERLAN. Nei primi quindici giorni trascorsi da quando è stato dato l'accesso alla rete, sono arrivate circa cinquecento interrogazioni. Considero questo un buon risultato perché mostra da un canto l'interesse per il Notiziario e, d'altro canto, il vostro gradimento per lo sforzo fatto per diffondere la rivista anche attraverso i "media" informatici.

Gli argomenti trattati in questo numero sono abbastanza diversificati e sono sicuro che li troverete di interesse. In particolare, da questo numero parte un ciclo su INTERNET con un articolo preparato per il Notiziario dal professor Maurizio Dècina: quest'articolo espone con estrema chiarezza e con capacità di sintesi gli aspetti principali delle reti basate sulla famiglia dei protocolli TCP/IP e le prospettive di evoluzione; ringrazio l'amico Dècina, anche a nome di tutti i destinatari del Notiziario, per aver accettato di chiarire queste tematiche ai lettori della rivista.

Desidero anche richiamare la vostra attenzione sull'articolo di Giovanni Martini sul nuovo piano di numerazione telefonica. Questo cambiamento sarà attuato nel prossimo futuro e comporterà modifiche sostanziali nelle modalità con le quali saranno effettuate le chiamate da tutti gli utilizzatori del sistema telefonico; abbiamo perciò ritenuto necessario fornirvi con tempestività primi chiarimenti al riguardo.

Con questo numero si concludono i due cicli sull'ATM e sui portanti sottomarini che sembrano aver riscosso il vostro interesse, anche a giudicare dalle risposte al questionario. Ma queste materie sono in continua evoluzione; ci sforzeremo quindi di tenervi aggiornati sugli sviluppi di queste tematiche. Stiamo anche preparando cicli sulla trasmissione a larga banda nella rete di accesso e sulla elaborazione del segnale. Mi auguro che questi cicli suscitino la stessa attenzione di quelli ora conclusi.

Vi saluto cordialmente.

r.c.

Internet e l'Infrastruttura Globale dell'Informazione

MAURIZIO DECINA

In che misura il paradigma Internet e gli standard di comunicazione che utilizza formano la base della futura "infrastruttura globale dell'informazione"? L'autostrada dell'informazione sarà tecnicamente basata sulle tecnologie di Internet? Che ruolo giocheranno le tecnologie delle telecomunicazioni?

Le risposte a queste domande stanno emergendo con sempre maggiore chiarezza. Le limitazioni dell'attuale modello Internet, in termini di difficoltà nella gestione del grado di servizio offerto ai media sincroni, audio e video, stanno infatti per essere superate dallo sviluppo di nuovi modelli architetturali per la creazione della cosiddetta architettura Internet per servizi integrati (protocolli Internet, IP, di nuova generazione) e dalle prospettive di integrazione dei protocolli IP con quelli delle telecomunicazioni a larga banda basati sullo standard detto modalità di trasferimento asincrona (ATM, Asynchronous Transfer Mode).

Nell'articolo vengono brevemente riassunte le tendenze di sviluppo dell'infrastruttura dell'informazione in termini di sviluppo dell'utenza, di evoluzione delle architetture di rete e di disponibilità delle tecnologie di accesso all'infrastruttura stessa da parte dell'utenza.

1. L'autostrada dell'informazione

Lo sviluppo vertiginoso delle *tecnologie dell'informazione e della comunicazione*¹ caratterizza questi anni di vera e propria rivoluzione delle tecnologie, dei servizi e dei contenuti dell'informazione, nella corsa inarrestabile verso la *convergenza digitale*² dei classici settori delle Telecomunicazioni, dell'Informatica e della Televisione, o più correttamente dell'Elettronica di Consumo. Gli scenari di convergenza tecnologica di mercati tradizionalmente segmentati confluiscono in quelli più ampi di globalizzazione e liberalizzazione dei mercati per l'offerta integrata di servizi multimediali all'utenza finale, sia di tipo affari che domestica.

La strada aperta dalla crescita esplosiva di Internet ha mostrato con decisione una direzione che i settori delle tecnologie, dei servizi e dei contenuti dell'informazione e della comunicazione non possono più ignorare. Internet ed il *World Wide Web*³ hanno fatto registrare uno sviluppo superiore alle previsioni, mostrando chiaramente che il cosiddetto *ciberspazio* è il terreno naturale di incontro tra gli interessi commerciali delle aziende e quelli dell'utenza di massa.

La domanda che i gestori del settore si pongono oggi è: in che misura il paradigma Internet e gli standard di comunicazione che esso utilizza formano la base della futura *infrastruttura globale dell'informazione*? [2][3][4] L'autostrada dell'informazione sarà

tecnicamente basata sulle tecnologie di Internet? Che ruolo giocheranno le tecnologie delle telecomunicazioni?

Le risposte a queste domande stanno emergendo con sempre maggiore chiarezza. Le limitazioni dell'attuale modello Internet, in termini di difficoltà nella gestione del grado di servizio offerto ai media sincroni, audio e video, stanno infatti per essere superate dallo sviluppo di nuovi modelli architetturali per la creazione della cosiddetta *architettura*

(1) ICT (Information and Communication Technology), è un acronimo molto usato nel continente europeo; nel continente nordamericano il riferimento alle stesse tecnologie è fornito più spesso dall'acronimo *Information Infrastructure* (infrastruttura dell'informazione) preceduto da aggettivi geopolitici, quali *National* (nazionale) [1], oppure il più politicamente corretto *Global* (globale, mondiale) [2][3].

(2) *Digital Convergence*, si riferisce all'impiego di tecnologie elettroniche digitali, o più propriamente dette numeriche, sia per il trattamento dei segnali per la loro memorizzazione e manipolazione, sia per la trasmissione dei segnali sulle reti di telecomunicazioni.

(3) La tela mondiale, e cioè il servizio Internet di accesso a basi di dati con protocolli di tipo ipermediale, deriva il suo nome WWW dalla contrazione della parola inglese finale *Web* rispetto a quella scelta originariamente, *Webster*, il famoso dizionario inglese.

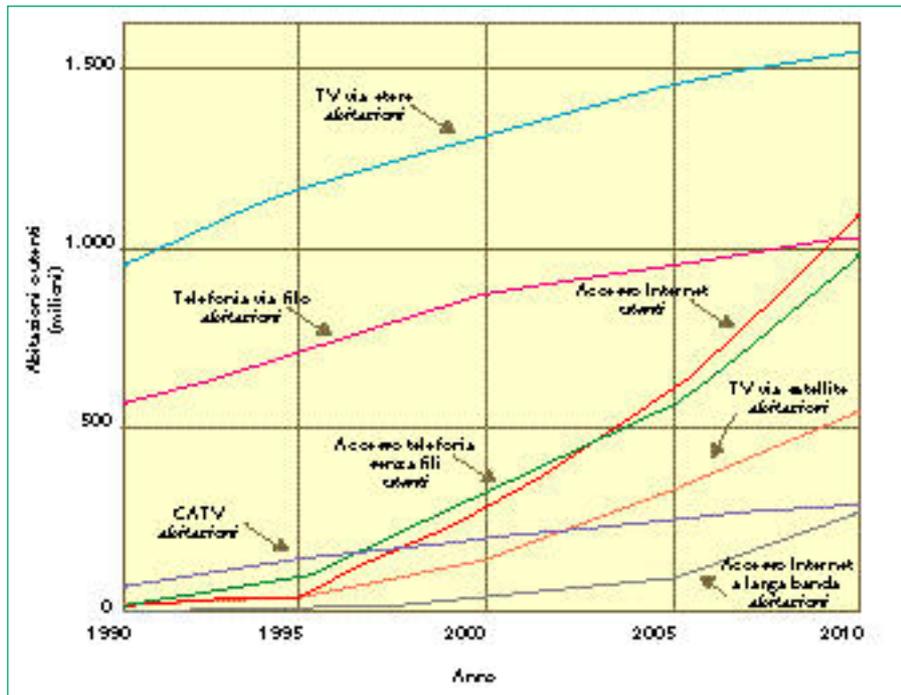


Figura 1 Sviluppo dell'utenza di servizi di comunicazione nel mondo.

Internet per servizi integrati (protocolli Internet di nuova generazione)⁴ e dalle prospettive di integrazione dei protocolli Internet con quelli delle telecomunicazioni a larga banda basati sullo standard detto modalità di trasferimento asincrona ATM (Asynchronous Transfer Mode)⁵.

Nel seguito vengono brevemente riassunte le tendenze di sviluppo dell'infrastruttura dell'informazione, in termini di sviluppo dell'utenza, di evoluzione delle architetture di rete e di disponibilità delle tecnologie di accesso all'infrastruttura stessa da parte dell'utenza.

2. Lo sviluppo dell'infrastruttura globale dell'informazione

L'esperienza degli ultimi decenni ha insegnato che le previsioni di sviluppo di servizi e di applicazioni di comunicazione e informazione, specialmente quelle a lungo termine, a dieci, quindici anni, sono estremamente difficili. Tuttavia, vorrei riportare qui i risultati di un esercizio di previsione fatto insieme al Prof. Franco Morganti. La figura 1 mostra le previsioni di utenza mondiale nei prossimi quindici anni in termini, sia di abitazioni equipaggiate con le necessarie terminazioni dei servizi, sia di utenza dotata di propri terminali personali. Sono inclusi i servizi tradizionali di telefonia e di televisione analogica terrestre e i nuovi servizi di comunicazione verso la convergenza numerica.

Il diagramma mostra in primo luogo l'esplosione dei servizi di comunicazione nel ventennio considerato. Dal miliardo e mezzo circa di abitazioni nelle quali sono resi disponibili servizi tradizionali di

telefonia e di televisione (via etere e via cavo), si passa a un totale di oltre cinque miliardi di utenti. Questo include sia abitazioni con accessi di telefonia tradizionale, televisione via etere, televisione e servizi a larga banda via cavo e via satellite, sia utenza personale per telefonia mobile e per accessi a Internet; quest'ultima, sia a banda stretta, sia a banda larga.

La figura 1 mostra con chiarezza che i prossimi anni sono caratterizzati dallo sviluppo straordinario della telefonia mobile, degli accessi ad Internet e della ricezione via satellite di segnali multimediali.

Si noti che il miliardo circa di accessi Internet al 2010 (nel diagramma sono indicati gli accessi "paganti", sia individuali tramite ISP - Internet Service Provider⁶ - sia di tipo

aziendale tramite Intranet⁷) trova espletamento sui mezzi di accesso a banda stretta e a banda larga che saranno disponibili a quella data. Un'ipotesi plausibile è che il 25 per cento circa siano accessi Internet a larga banda, e cioè tramite collegamenti a velocità di cifra dell'ordine dei milioni di bit al secondo (Mbit/s) secondo le modalità illustrate nel successivo paragrafo 4. Il rimanente 75 per cento degli accessi Internet impiegherà mezzi a banda stretta, e cioè con velocità di cifra dell'ordine delle migliaia di bit al secondo (kbit/s). Si tratta di collegamenti analogici e numerici su rete telefonica fissa e

⁽⁴⁾ Integrated Services Internet Architecture, IP (Internet Protocol) new generation.

⁽⁵⁾ Questa tecnologia è nata verso la fine degli anni Ottanta in ambito telecomunicazioni proprio allo scopo di creare una piattaforma tecnologica adeguata alle esigenze di integrazione di tutti i servizi di comunicazione, dalla telefonia alla televisione. I gestori di telecomunicazioni chiamano tale piattaforma: Broadband Integrated Services Digital Network (rete numerica integrata nei servizi a larga banda).

⁽⁶⁾ Gli ISP sono i fornitori di accessi Internet al pubblico dei consumatori.

⁽⁷⁾ Col termine Intranet si indicano le reti private che vengono realizzate con standard Internet all'interno delle aziende; tipicamente nelle Intranet sono disponibili applicazioni informatiche protette da accessi esterni tramite dispositivi di sicurezza detti firewall, letteralmente muri di fuoco. Col termine Extranet ci si riferisce invece alle applicazioni rivolte all'esterno dell'azienda senza protezione dei firewall verso utenti, partner e fornitori dell'azienda.

mobile (ad esempio, su rete telefonica fissa, con modem in banda fonica fino a 56 kbit/s e con collegamenti *ISDN* fino a 128 kbit/s; ovvero, su rete telefonica mobile, di tipo *GSM/DCS* fino a 9,6 kbit/s e di tipo *DECT* fino a 32 kbit/s).

La ricezione via satellite di segnali televisivi digitali nonché di segnali multimediali a larga banda mostra un tasso complessivo di crescita molto maggiore di quello dei collegamenti terrestri in cavo (coassiale e fibra ottica), in accordo con l'economicità del sistema satellite e dei ricevitori domestici (antenne, convertitori e *set-top-box*). L'interattività nei sistemi via satellite è destinata ad evolvere dai sistemi ibridi (canale *up* via terra e canale *down* via satellite, ad esempio per accessi Internet a larga banda) ai sistemi interattivi bidirezionali (canali *up* e *down* via satellite a larga banda).

Infine, la previsione fatta per la telefonia mobile e le sue applicazioni di accesso ad Internet mostra che *l'accesso senza fili* alla telefonia è in effetti una tecnologia di sostituzione rispetto all'accesso tramite doppino in rame. Il numero di accessi personali senza filo del 2010 è destinato a crescere ancora nei decenni seguenti fino a raggiungere valori di qualche miliardo: il livello di penetrazione della tecnologia senza fili va infatti commisurato ad un mercato mondiale caratterizzato non dal numero di unità abitative, ma dal numero di individui presenti sul pianeta.

La previsione mostrata in figura 1 è certamente poco affidabile nei dettagli numerici, ma certamente è molto significativa per quanto riguarda gli andamenti comparativi di crescita di servizi e tecnologie. Va infine osservato che mancano nella previsione fatta le ulteriori centinaia di milioni di "punti" di accesso alla rete Internet previsti da molti specialisti del settore per collegare i cosiddetti *network appliance*, e cioè i vari dispositivi, accessori e strumenti che saranno messi in rete per consentire applicazioni di informazione, controllo e automazione, quali ad esempio la strumentazione delle automobili, gli elettrodomestici, i cartelli stradali.

3. Internet e l'infrastruttura globale dell'informazione

La rete delle reti (*the network of networks*), Internet, nasce come modello di interconnessione tra calcolatori ospiti (*host*) attraverso una molteplicità di sottoreti (*subnets*) di tipo eterogeneo. Tipiche sottoreti sono le reti locali di calcolatori, le reti telefoniche fisse e

mobili, le reti di trasmissione dati a lunga distanza, canali di trasmissione dati ad elevata velocità, ecc. La figura 2 mostra il modello di interconnessione di tali sottoreti tramite i dispositivi di rete detti *router*, instradatori.

Il protocollo di comunicazione⁸ che viene adottato nelle interazioni tra calcolatori ospiti attraverso i router si chiama *IP (Internet Protocol)*. Host e router hanno indirizzi IP formati da gruppi di cifre decimali, del tipo: 131.175.5.225. Una volta interconnessi (gli americani parlano di *interlavoro in rete, internetworking*) i calcolatori ospiti si scambiano direttamente tra loro informazioni relative alle varie applicazioni⁹ in esecuzione sulla piattaforma Internet: la posta elettronica, l'accesso alle notizie, il trasferimento dei file, l'accesso di tipo ipertestuale WWW, il terminale virtuale, ecc.

Per motivi di semplicità mnemonica gli indirizzi relativi ai vari servizi Internet sono contrazioni di

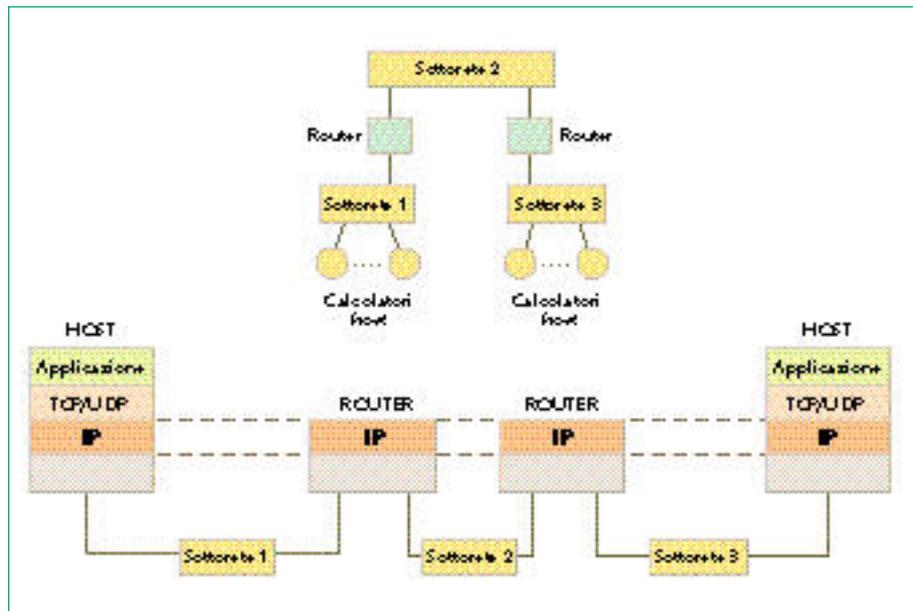


Figura 2 L'architettura dei protocolli Internet tra calcolatori e reti eterogenee.

nomi di persone, di aziende, di fornitori di servizio e di paesi. Per esempio, *decina@polimi.it*: indica il signor Dècina al Politecnico di Milano in Italia; *www.cefriel.it*: il sito WWW del CEFRIEL in Italia. Nella rete sono presenti calcolatori che svolgono servizi ausiliari di traduzione istantanea di indirizzi nominativi in indirizzi di rete numerici di tipo IP¹⁰, e

⁽⁸⁾ I protocolli di comunicazione specificano le modalità di scambio delle informazioni tra sistemi informativi distribuiti in rete.

⁽⁹⁾ La figura 2 mostra che in Internet viene impiegato, tra applicazioni e protocollo IP, un protocollo intermedio di trasporto tra host, detto TCP/UDP.

⁽¹⁰⁾ Sono i cosiddetti DNS, sistemi per la nomenclatura di dominio.

altri calcolatori (*detti motori di ricerca*) che offrono servizi di ricerca istantanea degli indirizzi nominativi, del tipo *pagine gialle*. I servizi ausiliari di rete, spesso indicati come *middleware services*, servizi *intermedi* tra il trasporto delle informazioni e le applicazioni informatiche vere e proprie, includono non solo gli aiuti alla navigazione nella rete stessa, ma anche altri servizi quali, ad esempio, quelli di sicurezza e privacy delle comunicazioni, e quelli per il pagamento tramite carte di credito e moneta elettronica.

<p><i>APPLICAZIONI IN RETE (NETWORKED APPLICATIONS)</i></p> <p>Posta Elettronica, Telefonia, Videoconferenza, Televisione ... Giochi elettronici, Navigazione WWW, Diffusione WWW ... Educazione interattiva, Televisione interattiva, Servizi Finanziari ...</p>
<p><i>INTEROPERABILITÀ (MIDDLEWARE)</i></p> <p>Motori di ricerca, Sicurezza, Riservatezza, Moneta elettronica ... Ambiente per il Calcolo Distribuito, Software Mobile e Agenti Intelligenti ...</p>
<p><i>INTERLAVORO IN RETE (INTERNETWORKING)</i></p> <p>Protocolli di trasporto (TCP; UDP) Protocolli di rete con riservazione di risorse (flussi IP; RSVP)</p>
<p><i>INTERCONNESSIONE (INTERCONNECTION)</i></p> <p>Reti di Telecomunicazioni: Telefonia fissa e mobile, ISDN, ATM ... Reti Televisive: CATV, via Satellite ... Reti di calcolatori: Reti locali, Reti a pacchetto X.25, Reti Frame Relay ... Modem: in banda fonica, ISDN, ADSL, VDSL, Cable Modem ... Canali dati dedicati: da 2,048 Mbit/s a 622,080 Mbit/s, fino a 9.953,280 Mbit/s ...</p>

Tabella 1 L'architettura a strati dell'infrastruttura globale dell'informazione.

La tabella 1 mostra l'architettura a strati dell'infrastruttura globale dell'informazione [2][3][5][6] in termini di protocolli di comunicazione aperti a garantire l'interoperabilità tra sistemi terminali eterogenei (personal computer, siti WWW, stazioni multimediali, ecc.) attraverso reti intermedie di tipo eterogeneo.

L'architettura illustrata in tabella 1 è un'evoluzione di quella oggi adottata da Internet. Lo strato più basso, quello detto di *interconnessione (interconnection)*, coincide con quello delle sottoreti dell'architettura Internet e comprende tutti i possibili mezzi di trasporto di informazioni numeriche a bassa e ad alta velocità (da 9.600 bit/s fino a quasi 10 miliardi di bit/s, Gbit/s) su sottoreti eterogenee. Le sottoreti di telecomunicazioni tipo ATM offriranno canali a larga banda con garanzia di qualità di servizio. Lo strato di *interlavoro in rete (internetworking)* comprende i protocolli IP di nuova generazione¹¹, che permettono di garantire la qualità di servizio per comunicazioni con media sincroni, quali la telefonia e la videoconferenza che richiedono tempi di ritardo nel trasferimento in rete molto ridotti e bande dedicate garantite durante le connessioni.

Con l'introduzione della garanzia di servizio le autostrade dell'informazione introducono dei criteri di diversa tariffazione dei servizi più pregiati, quelli di tipo sincrono (in tempo reale e ad alta qualità), rispetto a quelli Internet attuali (quali la posta elettronica e la navigazione lenta attraverso i siti WWW), che impongono requisiti molto più laschi sulle prestazioni della rete. La tendenza del mercato va verso la creazione di menù di tariffe di abbonamento mensile articolati

su una tariffa di entrata per i servizi di base, e su tariffe incrementalmente per ciascuna classe di servizio pregiato richiesto quali la telefonia, la videoconferenza, la ricezione di segnali di qualità televisiva commerciale e di segnali televisivi ad alta definizione. Lo strato di *interoperabilità (middleware)* offre le funzionalità sopra citate per Internet e rende quindi possibile l'interoperabilità tra sistemi di calcolo eterogenei. Questa importante funzione permette la diffusione di terminali eterogenei, mentre la loro interoperabilità è garantita da un apposito strato di software di sistema operativo per il calcolo distribuito. L'interoperabilità può anche essere garantita da piattaforme per il calcolo distribuito che permettono il trasferimento attraverso la rete di software applicativo, come le cosiddette *applicazioni Java*¹².

Infine, lo scopo dell'infrastruttura dell'informazione è quello di permettere su scala planetaria l'accesso capillare, per mezzo di una varietà di terminazioni multimediali, ad una vasta biblioteca di *applicazioni in rete (networked applications)* in un menù crescente di applicazioni informatiche che progressivamente invaderanno tutti i settori delle attività umane:

- da quelle tradizionali di telefonia e di televisione, a quelle rese possibili dalla rete globale, quali l'accesso ai siti WWW e la ricezione di informazioni

⁽¹¹⁾ Tra questi protocolli citiamo IP versione 6 e il protocollo di riservazione detto RSVP, che permette l'instaurazione di connessioni virtuali (dette flussi, flows) attraverso la rete delle reti.

⁽¹²⁾ Il linguaggio Java permette la realizzazione di programmi software che vengono trasferiti dai siti WWW attraverso la rete sui personal computer dotati di programmi di navigazione ipermediale, i browser, quali Netscape Navigator e Microsoft Explorer. Questi programmi software mobili attraverso la rete vengono spesso chiamati agenti, o agenti intelligenti.

- digitali diffuse dai siti detti di Web Casting¹³;
- dai servizi al cittadino e per l'educazione, alle attività professionali.

4. L'accesso ad Internet a larga banda

La figura 3 mostra alcune delle soluzioni più attraenti per la realizzazione di accessi Internet a larga banda su mezzi terrestri:

- doppiini telefonici, con modem¹⁴ di tipo *ADSL*;
- cavi coassiali, con *cable modem*, modem per cavo coassiale;
- fibre ottiche passive con terminazioni ottiche di edificio, con modem di tipo *VDSL*;
- portanti hertziani nelle bande di 25-35 GHz¹⁵, con modem di tipo *LMDS*.

via satellite, in cavo coassiale e in fibra ottica con una grande numerosità di canali (tipicamente un centinaio), analogici o numerici, con qualità televisiva sia di tipo commerciale che ad alta definizione.

I servizi interattivi a larga banda su piattaforma Internet saranno realizzati tipicamente con capacità trasmissiva bidirezionale asimmetrica (ad esempio, 8 Mbit/s dalla rete all'utente - canale *down* - e 2 Mbit/s da utente a rete, canale *up*). I canali a larga banda ottenibili per ciascun utente su collegamenti di tipo ADSL possono raggiungere capacità di 2-8 Mbit/s. Il costo dei modem ADSL in banda base è strettamente collegato ai volumi di impiego: è prevedibile una diffusione significativa di questo modem anche in Italia a partire dal prossimo anno. Il potenziale di penetrazione è molto elevato, vista la diffusione dei doppiini telefonici.

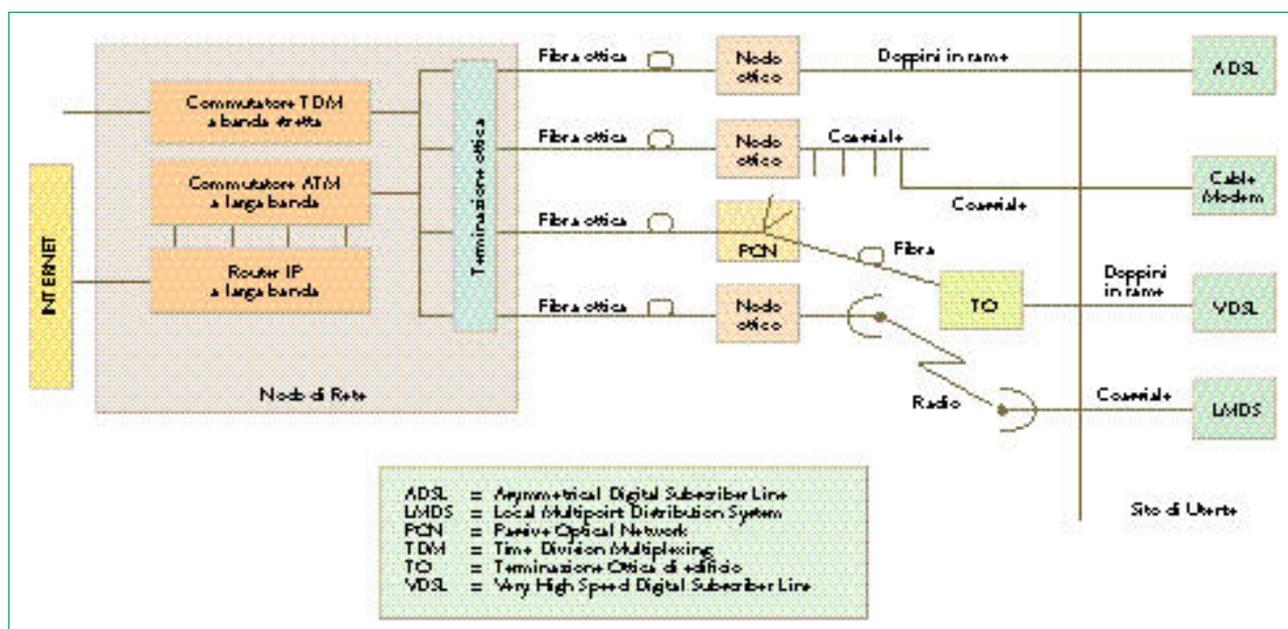


Figura 3 Tipologie di accesso ad Internet a larga banda su mezzi terrestri.

A queste tipologie di accesso su mezzi terrestri vanno aggiunte quelle realizzate tramite collegamenti via satellite diffusivi ed interattivi nelle cosiddette bande di frequenza Ku e Ka (20/30 GHz).

I servizi di diffusione della televisione (*pay TV*, *pay-per-view*) vengono oggi realizzati nelle strutture

Sui cavi coassiali la banda numerica è condivisa da molti utenti (fino a qualche centinaio) e a questa comunità di utilizzatori potranno essere offerti canali interattivi della capacità *down* dell'ordine di decine di Mbit/s.

L'impiego di cable modem è previsto su larga scala negli Stati Uniti dove il 60 per cento delle abitazioni dispone di accesso alla TV via cavo coassiale. Sono previsti svariati milioni di accessi a Internet tramite cable modem per l'anno Duemila.

Nelle reti in fibra ottica la capacità trasmissiva numerica disponibile è molto elevata e a ciascun utente potrà essere dedicata, in una prospettiva a breve termine, una capacità di qualche decina di Mbit/s (ad esempio 25 Mbit/s); tale capacità può essere progressivamente aumentata negli anni successivi fino a portarla a centinaia di Mbit/s. Per motivi di costo la penetrazione dei collegamenti in fibra ottica fino all'edificio è limitata alle zone residenziali ed affari delle grandi aree metropolitane.

⁽¹³⁾ Il servizio di diffusione delle informazioni più popolare oggi su Internet è PointCast che ha raggiunto oltre due milioni di abbonati (come per le TV generaliste private, l'abbonamento è gratuito ed il servizio è sovvenzionato dalla pubblicità).

⁽¹⁴⁾ I modem (modulatori-demodulatori) sono i dispositivi che permettono la connessione dei calcolatori alle reti digitali. Abbiamo visto nel paragrafo 2 che le reti a banda stretta consentono ai modem velocità di cifra dell'ordine dei kbit/s.

⁽¹⁵⁾ Miliardi di cicli al secondo, gigahertz, GHz.

Le reti radio cellulari LMDS ad altissima frequenza sono ancora in via di realizzazione sperimentale e potranno essere impiegate con una significativa diffusione non prima di alcuni anni offrendo canali di circa 8 Mbit/s per ciascun utilizzatore. Con questa tecnologia, che evidentemente richiede licenze sull'uso delle frequenze, possono anche essere realizzati collegamenti bidirezionali simmetrici, nonché collegamenti con stazioni riceventi mobili.

Infine, la figura 3 mostra anche l'architettura evolutiva dei nodi di rete, e cioè delle centrali di telecomunicazioni oggi dotate di dispositivi numerici per la commutazione a banda stretta. Questi nodi saranno equipaggiati con dispositivi di trattamento dei segnali a larga banda Internet, sia per la moltiplicazione e commutazione ATM, sia per l'instradamento dei pacchetti Internet tramite router ad elevatissima capacità (Gbit router).

5. Conclusioni

Lo scopo dell'infrastruttura dell'informazione è quello di permettere su scala planetaria l'accesso capillare, per mezzo di una varietà di terminazioni multimediali, ad una vasta biblioteca di "applicazioni in rete", in un menù crescente di applicazioni informatiche che progressivamente invaderanno tutti i settori delle attività umane.

Nei prossimi anni i gestori di telecomunicazioni dovranno affrontare la sfida posta dall'offerta integrata di servizi multimediali all'utenza finale, sia affari che domestica, in un mercato sempre più globale e competitivo. La convergenza delle tecnologie, degli standard e dei modelli di business dei settori delle telecomunicazioni e di Internet sarà l'ingrediente fondamentale per il successo sul mercato di nuovi servizi ed applicazioni in rete.



Maurizio Dècina è professore ordinario al Politecnico di Milano, Facoltà di Ingegneria, dove è titolare del corso di "Reti per Telecomunicazioni". È il direttore scientifico del CEFRIEL, un Centro di Ricerca e Formazione per laureati in tecnologia dell'informazione a cui partecipano il Politecnico di Milano e le maggiori aziende del settore telecomunicazioni e informatica.

È stato il presidente per gli anni 1994 e 1995 della "Communications Society" dell'IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) ed è il direttore della rivista tecnica internazionale "European Transactions on Telecommunications", edita in collaborazione tra i Paesi della Comunità Europea. Il prof. Dècina ha lavorato nell'industria (Telecom Italia, Italtel e AT&T) ed è consulente tecnico-scientifico di numerose grandi aziende nazionali ed internazionali. Da molti anni collabora con l'ITU (International Telecommunication Union) di Ginevra nel settore degli standard e come consulente esperto in varie missioni di cooperazione internazionale nei Paesi in via di sviluppo. Ha scritto in italiano e in inglese vari libri e un centinaio di pubblicazioni tecniche, che coprono il vasto campo delle telecomunicazioni. Nel 1986 è stato nominato "Fellow" dell'IEEE in riconoscimento dei contributi tecnico-scientifici dati allo sviluppo delle telecomunicazioni. Gli è stato assegnato il premio dell'IEEE "Award in International Communications" per il 1997.

e-mail: decina@mail.cefriel.it
m.decina@ieee.org

URL: <http://www.cefriel.it/~decina>

Abbreviazioni

ADSL	Asymmetrical Digital Subscriber Line
ATM	Asynchronous Transfer Mode
CATV	Cable TV
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications
IP	Internet Protocol
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISP	Internet Service Provider
LMDS	Local Multipoint Distribution System
PON	Passive Optical Network
RSVP	Reservation Protocol
TCP	Transmission Control Protocol
TDM	Time Division Multiplexing
TO	Terminazione Ottica di edificio
UDP	User Datagram Protocol
VDSL	Very High Speed Digital Subscriber Line
WWW	World Wide Web

Bibliografia

- [1] White House: *The National Information Infrastructure: agenda for action*. United States of America, 1993.
- [2] Messerschmitt, D.G.: *The convergence of telecommunications and computing: what are the implications today?*. «Proceedings of the IEEE», Vol. 84, n. 8, agosto 1996.
- [3] Dècina, M.; Trecordi, V.: *Convergence of telecommunications and computing: on networking models for integrated services and applications*. In corso di pubblicazione sui «Proceedings of the IEEE».
- [4] Tennenhouse, D.L.; Lampson, B.; Eisner Gillet, S.; Steiner Klein, J.: *Virtual infrastructure: putting information infrastructure on the technology curve*. «Computer Networks and ISDN-Systems», Vol. 28, n. 13, ottobre 1996.
- [5] National Research Council: *Realizing the information future, the Internet and beyond*. National Academy Press, 1994.
- [6] National Research Council: *The unpredictable certainty: Information Infrastructure through 2000*. National Academy Press, 1996.

Cavi ottici per sistemi di telecomunicazione sottomarini: stato dell'arte e prospettive

MASSIMO ARTIGLIA
PAOLO MARIO FINZI
FRANCESCO MONTALTI

I sistemi ottici sottomarini stanno giocando un ruolo sempre più incisivo nella realizzazione della rete mondiale di telecomunicazioni. Questo rapido sviluppo è stato possibile grazie all'adozione della fibra ottica come portante fisico. L'articolo fornisce una panoramica sullo stato dell'arte nel settore dei cavi ottici per i sistemi sottomarini: in particolare, dopo un excursus storico in cui viene ripercorsa l'evoluzione tecnologica dei cavi per i sistemi sottomarini per telecomunicazioni, sono discussi i vantaggi dell'introduzione delle fibre ottiche ed i requisiti dei cavi per una loro adeguata protezione nei confronti dell'ambiente esterno. Sono successivamente descritte nel dettaglio le strutture dei diversi tipi di cavi sottomarini utilizzati e i materiali accessori necessari per la realizzazione degli impianti.

"I WILL PUT A GIRDLE AROUND THE EARTH IN FORTY MINUTES"

"Metterò una ghirlanda intorno alla terra in quaranta minuti"

Questo verso, pronunciato dal folletto Puck ne "Il sogno d'una notte di mezza estate" di Shakespeare, mette in luce che l'idea di collegare fra loro i continenti è ben più antica di quanto si possa immaginare; questo verso, già usato come titolo del volume che narra la storia della Cable & Wireless e come introduzione del capitolo sulla telegrafia sottomarina dell'opera "Storia delle Telecomunicazioni" di G. Oslin, potrebbe anche costituire la premessa di questo articolo.

1. Introduzione

I cavi sottomarini formano, insieme ai satelliti, l'ossatura della rete intercontinentale di telecomunicazioni. Si tratta di due sistemi complementari che si sviluppano in parallelo per offrire al cliente un servizio ai massimi livelli qualitativi.

I cavi sottomarini inoltre sono necessari per il trasporto dell'informazione tra stazioni terminali separate dal mare come nel caso di collegamenti tra la terra ferma e le isole o, anche, nei casi in cui il collegamento via mare risulti più rapido a realizzarsi rispetto ad un'alternativa puramente terrestre, come ad esempio nel caso delle connessioni tra l'Italia e la Spagna.

L'importanza strategica dei collegamenti con cavi sottomarini comporta la necessità di definire limiti di elevata severità per i parametri di seguito indicati:

- *la qualità*, i cui criteri sono definiti dall'Unione Internazionale delle Telecomunicazioni, *ITU (International Telecommunications Union)* in termini di tasso di errore, indisponibilità e minuti degradati;
 - *l'affidabilità*, per le disastrose conseguenze sia di una lunga interruzione del traffico sia del tempo e del costo dell'intervento per la riparazione;
 - *la durata nel tempo*, a causa degli elevati investimenti necessari per lo sviluppo, la fabbricazione e la posa dei collegamenti sottomarini.
- Per questo motivo la realizzazione dei cavi sotto-

marini è stata basata sin dall'inizio sull'impiego della assicurazione di qualità applicata a tutte le fasi che vanno dal progetto, alla organizzazione della produzione, alla qualificazione in fabbrica, passando attraverso la scelta e il miglioramento delle tecnologie, dei processi di fabbricazione e dei materiali.

Sono questi gli aspetti che hanno reso possibile una transizione non traumatica dai sistemi sottomarini analogici su cavo coassiale a quelli numerici su cavo ottico portando alla realizzazione di una rete mondiale che presenta una capacità trasmissiva estremamente elevata.

Questo articolo ripercorre le tappe evolutive della tecnologia dei cavi sottomarini descrivendo e motivando le scelte compiute nel tempo e indica, alla luce delle conoscenze "certe" oggi acquisite, quali sono le prestazioni prevedibili nel medio termine.

2. Dalla guttaperca al polietilene

2.1 La telegrafia sottomarina

La telegrafia trasmessa su portanti sottomarini comincia in tempi abbastanza lontani: più di centocinquanta anni fa!

Nel 1843 Morse teorizzò infatti l'impiego di cavi sottomarini per la trasmissione di segnali telegrafici e lanciò l'idea di connettere l'America con l'Inghilterra,

trovando il consenso entusiastico della comunità scientifica e in particolare di Weathstone il quale, intorno al 1840, sperimentò la trasmissione subacquea di segnali elettrici su fili di rame isolati con canapa incatramata.

I primi esperimenti di Morse e di altri gestori del servizio telegrafico, risalenti al 1845, furono però limitati all'attraversamento del fiume Hudson e del porto di New York.

I cavi impiegati usavano come isolante l'asfalto e non avevano una qualità e una durata sufficienti a garantire un buon livello di servizio.

Nel 1843 comparve in Europa la *guttaperca*, un isolante di origine vegetale estratto da un albero originario della Malesia, appartenente alla stessa famiglia dell'albero della gomma. Questo materiale sembrò idoneo per essere impiegato come isolante di fili elettrici; si sviluppò quindi un'intensa attività di ricerca industriale per la sua depurazione e lavorazione. Si devono a Werner Siemens l'ideazione e la messa a punto di un processo industriale per isolare fili metallici con la guttaperca e la sua applicazione su larga scala per la produzione di cavi telegrafici. Dopo tre anni dalla scoperta della guttaperca anche in America T. S. Armstrong avviò la produzione di cavi e nel 1848 installò nel fiume Hudson un cavo telegrafico. Iniziava così l'era dei collegamenti sottomarini.

L'avvio dell'impiego commerciale dei cavi sottomarini risale infatti al 1851 con la posa di un cavo attraverso il canale della Manica e alla fine del 1852 cavi sottomarini collegavano fra loro diversi Paesi europei, quali l'Inghilterra, l'Olanda, la Germania, la Danimarca e la Svezia.

Per veder realizzato il sogno di Morse di connettere l'America con l'Inghilterra si dovette tuttavia attendere il 1866: furono necessari nove anni di tentativi, a volte disastrosi, prima di riuscire a portare a termine questa impresa. Emanuele Jona, in "Cavi telegrafici sottomarini" [1] riporta un disegno schematico di un primo cavo (figura 1) posato fra il 1858 e il 1860 e rimasto in funzione per poco meno di un mese, che consentiva una velocità di trasmissione estremamente bassa: "La velocità di trasmissione era minima: circa una parola al minuto. La trasmissione del telegramma di felicitazioni del Presidente degli Stati Uniti, James Buchanan, durò più di trenta ore". In effetti occorre quattro secondi per trasmettere il più semplice carattere, la lettera E, un semplice "punto" in codice Morse.

Nel nostro Paese i primi cavi sottomarini telegrafici, furono lo "Spezia-Corsica-Sardegna" facente parte di un collegamento tra la Francia e l'Algeria, la cui installazione fu avviata nel 1854, e l'"Otranto-Valona" posato nel 1859. Quest'ultimo doveva essere il primo tratto di un impianto che avrebbe dovuto

collegare il Regno Borbonico con Costantinopoli, ma a causa della mancanza di linee terrestri turche fu impiegato solo per esperimenti e comunicazioni di servizio; si guastò dopo circa un anno e non fu più utilizzato. Nel 1864 il Governo italiano ne decise il ripristino con un nuovo cavo e, anche se con molte riparazioni, esso era ancora in servizio alla fine del secolo. Nelle acque italiane fu anche installato nel 1857 un cavo Cagliari-Malta-Corfù per la Mediterranean Extension Telegraph Cy, ma esso durò assai poco e fu abbandonato. Successivamente, a partire dal 1887 la Pirelli, che aveva costruito una fabbrica a La Spezia e aveva allestito il piroscavo posacavi "Città di Milano", avviò la realizzazione dei collega-

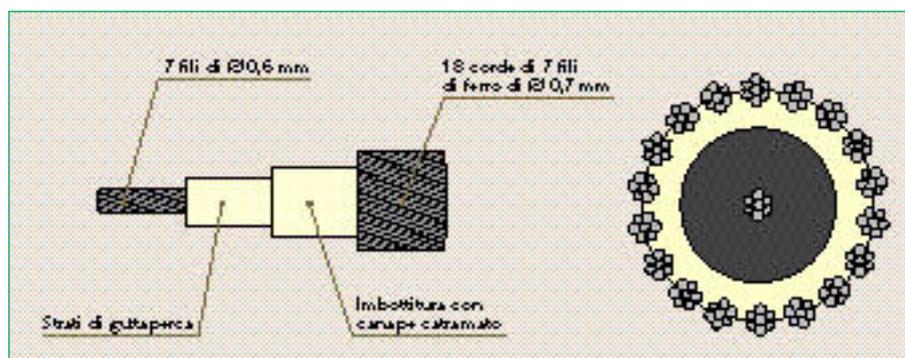


Figura 1 Schema del primo cavo transatlantico.

menti con le isole principali.

Dopo la prima guerra mondiale, come indicato in [13], fu fondata la "Compagnia Italiana per Cavi Telegrafici Sottomarini", che divenne in seguito Italcable dette notevole impulso alla posa di cavi transoceanici.

All'inizio degli anni Quaranta più di 600 mila km di cavi garantivano il trasporto attraverso l'Oceano Atlantico di segnali telegrafici ma a velocità molto basse: 15 impulsi al secondo. Il cavo era costituito da coppie di conduttori di rame rivestiti da una guaina di guttaperca; un'armatura di fili di acciaio lo irrobustiva dal punto di vista meccanico e lo proteggeva dall'ambiente marino.

2.2 La telefonia sottomarina

La telefonia sottomarina, il cui inizio risale al 1891, data del collegamento fra la Francia e l'Inghilterra, rimase limitata - a causa dell'attenuazione presente in banda fonica - a collegamenti di lunghezza inferiore alle 100 miglia nautiche per l'impossibilità di poter installare amplificatori sommersi, a causa della vita limitata e della scarsa affidabilità dei componenti elettronici a quell'epoca disponibili.

È interessante ricordare che negli anni Trenta si ipotizzava l'impiego di un cavo telefonico subacqueo con carica induttiva continua, per un solo circuito, con amplificazione ai terminali. Questa soluzione fu sperimentata proprio nel nostro Paese sulla tratta di 270 km fra Fiumicino e Olbia con trasmissione

telefonica nella banda 300-2300 Hz su di un cavo coassiale con l'anima rivestita da un nastro di materiale magnetico isolata in guttaperca e con il conduttore di ritorno costituito da una lamina di rame cilindrica concentrica al filo centrale. Nel 1932 questo cavo sottomarino telefonico era il più lungo al mondo.

Non era però possibile concepire la telefonia transoceanica senza prevedere amplificatori sommersi. Risale al 1943 l'installazione del primo sistema sottomarino sperimentale con amplificatori sommersi fra l'Inghilterra e l'Isola di Man. L'impiego dell'amplificatore permetteva di raddoppiare la frequenza massima di trasmissione, passando da 250 a 500 kHz.

Nel periodo successivo, alla fine della seconda guerra mondiale, l'ATT e il General Post Office britannico (GPO) dettero notevole impulso agli studi che avrebbero portato allo sviluppo dell'amplificazione subacquea.

Le strade seguite dai centri di ricerca dei due gestori furono differenti, poiché i Bell Laboratories dell'ATT si concentrarono sullo sviluppo di sistemi che impiegassero il minor numero possibile di componenti elettrici subacquei e usarono cavi sottomarini di tipo simile a quelli utilizzati per la telegrafia. Il progetto si volle sviluppare attorno a valvole di cui si conosceva effettivamente la durata e quindi si fece uso di componenti di tecnologia prebellica. Inoltre si scelse di non impiegare filtri direzionali. Con questa tecnologia nel 1950 fu posato un sistema fra Cuba e la Florida a 24 canali con tre amplificatori.

Gli inglesi decisero invece di accettare un numero ragionevolmente elevato di componenti elettronici e di utilizzare valvole di tecnologia moderna, ritenute di buona affidabilità e sottoposte ad esami accuratissimi.

Parallelamente allo sviluppo di queste nuove

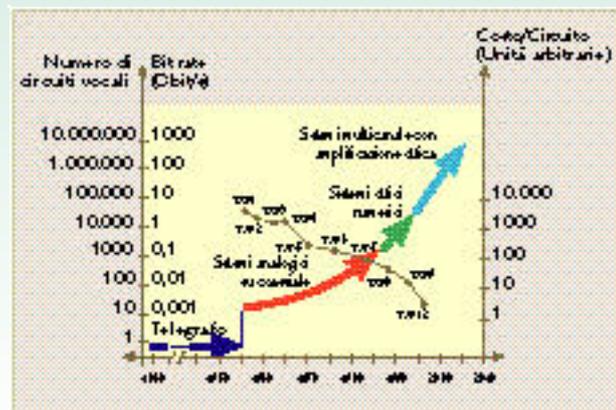
tecniche di trasmissione telefonica la disponibilità di un nuovo isolante sintetico, il *polietilene*, consentì di mettere a punto una nuova generazione di cavi coassiali sottomarini per trasmissioni analogiche transatlantiche dalle prestazioni notevolmente superiori. I cavi erano costituiti da conduttori in rame isolati in polietilene e armati con una struttura di fili di acciaio avvolti a elica.

Il 1956 segna una data storica per la telefonia sottomarina poiché in quell'anno avvenne la posa del primo sistema transatlantico sottomarino il TAT-1, che rimase in servizio senza guasti elettrici fino al 1979. Questo progetto fu condotto in comune fra ATT e GPO suddividendo l'intera posa in due tratte: quella transatlantica da Oban (Scozia) a Clarenville (Terranova) per 1950 miglia nautiche fu realizzata dall'ATT, la parte restante tra Clarenville e Sidney Mines (Nuova Scozia) per 270 miglia nautiche dal GPO. Il sistema TAT-1 nella parte progettata dall'ATT aveva una capacità di 36 circuiti a 4 kHz con 164 kHz di frequenza massima. Il progetto inglese, che impiegava valvole più moderne di quelle utilizzate dall'ATT e che sottopose a controlli rigidissimi i componenti elettronici utilizzati, operava su una banda molto più larga e consentiva la trasmissione di 60 canali per verso (maggiori informazioni in proposito possono essere acquisite dal libro di Luigi Bonavoglia "Le comunicazioni in Italia e il Museo della Sirti" [2]).

Nel corso degli anni, con lo sviluppo di cavi coassiali a portante centrale, di ripetitori bidirezionali e grazie all'allungamento della vita e il miglioramento dell'affidabilità dei componenti elettronici, specie dopo l'introduzione dei dispositivi a semiconduttore, la capacità trasmissiva aumentò progressivamente fino ai 4100 circuiti del cavo transatlantico TAT-7, entrato in servizio nel 1986.

L'INTRODUZIONE DELLE FIBRE OTTICHE DÀ UN FORTE IMPULSO ALL'IMPIEGO DEI CAVI SOTTOMARINI

- La qualità, l'affidabilità e la durata nel tempo sono i principali requisiti dei portanti sottomarini. L'avvento delle fibre ottiche ha rivoluzionato questo settore perché ha permesso di progettare sistemi numerici ad alta velocità di cifra a costi per circuito notevolmente inferiori alla precedente generazione di cavi coassiali: il passo di rigenerazione è, infatti, aumentato dai 4 km dei sistemi analogici su cavo coassiale agli oltre 100 km dei sistemi ottici numerici.
- La velocità di trasmissione è passata negli ultimi dieci anni da 280 Mbit/s a 20 Gbit/s per coppia di fibre, ma l'impiego degli amplificatori ottici e dei sistemi WDM potrà permettere ulteriori notevoli miglioramenti e una riduzione dei costi. Nella figura è mostrata l'evoluzione della capacità e del costo per circuito dei sistemi sottomarini in funzione dell'introduzione di ogni nuova tecnologia.



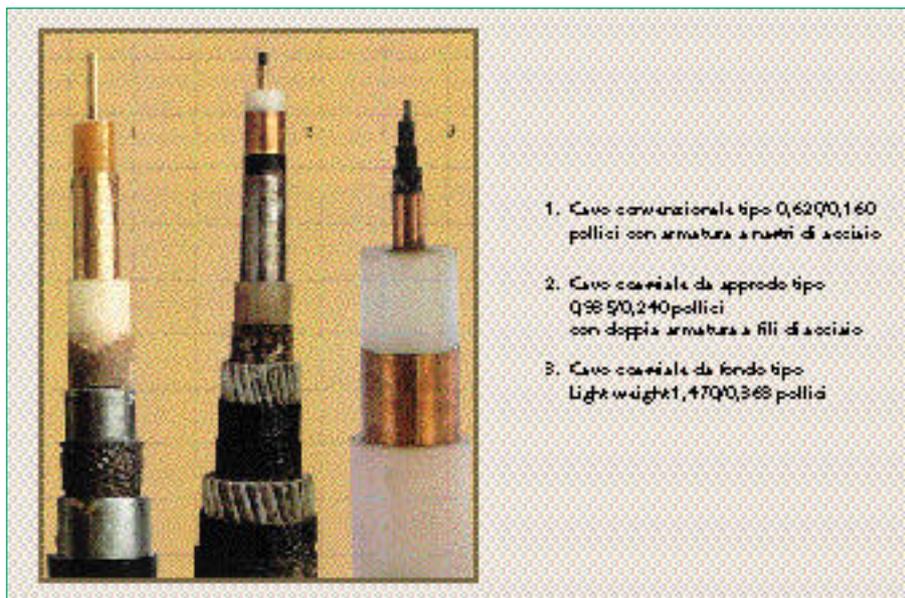


Figura 2 Cavi coassiali sottomarini.

impurità, formazione di bolle, e per garantire un'ottima aderenza all'interfaccia con il rame. Il conduttore esterno consisteva in un nastro di alluminio che era applicato longitudinalmente con una leggera sovrapposizione dei bordi, a sua volta protetto da una ulteriore guaina di polietilene. Su questa struttura, detta da fondale, potevano essere applicati diversi tipi di armatura: leggera, semplice o doppia, in funzione del grado di protezione richiesto, a sua volta dipendente dalla profondità della posa e dall'intensità delle attività marine (ad esempio della pesca o del traffico navale) che potevano danneggiare il cavo. Nella figura 2 sono mostrati alcuni tipi di cavo

Conseguentemente la frequenza di trasmissione passò da 4 MHz a 25 MHz e il passo di rigenerazione si ridusse progressivamente a distanze fino a 4 km.

Il cavo si basava su un conduttore composito, costituito da un portante centrale formato da fili di acciaio, adatto a resistere alla pressione idrostatica dei fondali oceanici, sul quale veniva fatto collasare un tubo di rame. Quest'ultimo assicurava la stabilità meccanica e la regolarità geometrica del conduttore necessarie per ottenere una buona qualità di trasmissione. Sul conduttore composito veniva successivamente estrusa una guaina isolante di polietilene, il cui spessore garantiva da un lato le caratteristiche trasmissive richieste e dall'altro permetteva di applicare la tensione di telealimentazione senza che si presentassero bassi isolamenti. Il controllo della materia prima e del processo di estrusione erano spinti ai massimi livelli per evitare

coassiale, nella figura 3 è mostrato un ripetitore sommerso e nella figura 4 è rappresentato un contenitore per ripetitore impiegato negli anni Sessanta durante le operazioni di posa.

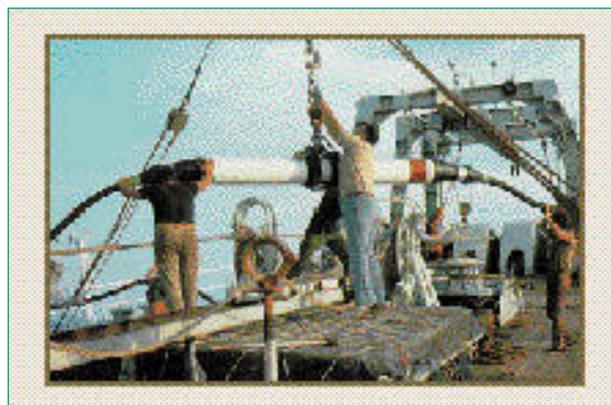


Figura 4 Posa di un contenitore a siluro per ripetitori (1960-1970).

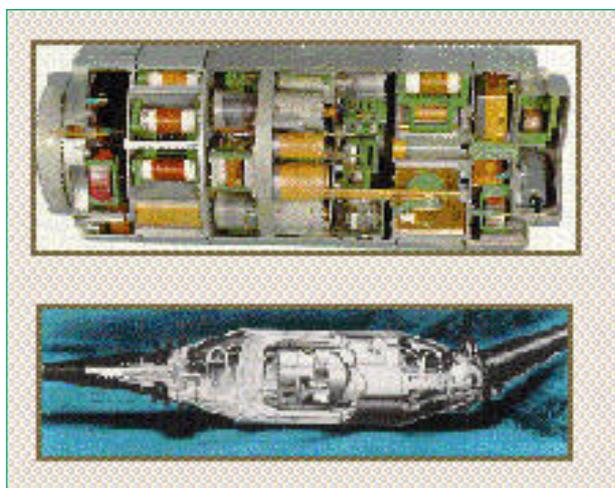


Figura 3 Ripetitore sommerso.

3. L'introduzione dei portanti ottici

A cavallo fra gli anni Settanta e Ottanta si è assistito all'ultima fase di sviluppo dei sistemi sottomarini analogici su cavo coassiale. Nel momento in cui i sistemi numerici su portante ottico cominciavano ad affacciarsi sul mercato per i primi programmi sperimentali (1978), la rete sottomarina coassiale era costituita da circa 350 mila km di cavo, installati nella maggior parte dei mari del globo terrestre, per un totale di circa 300 milioni di km · circuito.

Questa rete si è conquistata nel corso degli anni una solida reputazione di qualità, affidabilità e durata nel tempo. Su questi parametri può essere effettuato un confronto con il nuovo portante ottico che, d'altra parte, consente di superare i limiti della tecnologia

coassiale, riassumibili nei seguenti aspetti:

- l'impiego di frequenze di trasmissione sempre più elevate comporta l'incremento dell'attenuazione del segnale;
- le perdite possono essere parzialmente compensate solo aumentando il diametro del cavo che, peraltro, per motivi di flessibilità e di maneggiabilità non può crescere in modo indefinito (il valore di 43 mm è un limite pratico di questa tecnologia);
- la riduzione del passo di rigenerazione comporta l'aumento del numero di componenti elettronici che da un canto comporta un aggravio economico non trascurabile e, ancor peggio, riduce l'affidabilità del sistema.

La fibra ottica ha caratteristiche intrinseche di larghezza di banda estremamente elevata, attenuazione molto ridotta e peso e ingombro molto inferiori rispetto al portante in rame. La possibilità di introdurre in rete le tecnologie numeriche con la prospettiva di ottenere una elevata riduzione dei costi per circuito ha fatto ritenere la fibra ottica il portante ideale per la nuova generazione di cavi sottomarini.

Mentre i collegamenti coassiali sottomarini hanno potuto beneficiare dell'esperienza acquisita nel corso degli anni con quelli terrestri, i collegamenti ottici sottomarini hanno cominciato ad essere impiegati in rete quasi contemporaneamente a quelli terrestri. È stato perciò necessario finanziare importanti programmi di sviluppo per verificare la rispondenza dei cavi ottici ai parametri di qualità e di affidabilità posti a base del progetto dei sistemi sottomarini.

Se si pensa che il primo cavo ottico sottomarino sperimentale fu posato fra l'Inghilterra e l'Isola di Wight nel 1984 e che già dal 1988 il sistema transatlantico TAT-8 era in servizio con la capacità di 7680 canali telefonici, si ha un'idea della rapidissima evoluzione dei sistemi ottici sottomarini dalla fase sperimentale a quella applicativa.

I cavi ottici sottomarini posati nel corso dell'ultimo decennio ammontano a circa 500 mila km e la capacità di trasporto su una singola coppia di fibre è gradualmente passata da 140 Mbit/s a 10 Gbit/s di oggi. Grazie ai sistemi di trasmissione a moltiplicazione di lunghezza d'onda *WDM (Wavelength Division Multiplexing)* oggi si è in grado di trasportare fino a 10 Gbit/s (4x2,5 Gbit/s) e in prospettiva 20 o 40 Gbit/s per coppia di fibre.

Le caratteristiche costruttive dei cavi sottomarini per telecomunicazioni con portante ottico hanno subito dalla loro comparsa ad oggi una notevole evoluzione: i primi tipi di cavo ottico sottomarino della fine degli anni Ottanta erano caratterizzati da una struttura interna, detta nucleo ottico, molto protetta e pesante. Le fibre, normalmente inserite in maniera lasca ("loose") all'interno di una struttura scanalata a profilo elicoidale, erano immerse in opportune sostanze tamponanti ed erano protette da più rivestimenti metallici in rame e acciaio in modo da garantire la tenuta idraulica e la resistenza meccanica necessarie alle operazioni di posa e di salpamento del cavo.

Il cavo ottico impiegato in quegli anni, nonostante fosse più piccolo e leggero (specialmente a pari capacità) rispetto alle precedenti generazioni di cavi coassiali, era decisamente pesante e di dimensioni ragguardevoli ed era impiegato in tutte le condizioni

di posa. Nel corso dell'ultimo decennio la tecnologia dei cavi ottici si è evoluta notevolmente, segmentandosi per tipologie di impiego e di mercato.

Oggi sono impiegati diversi tipi di cavo sottomarino che si differenziano tra loro per le varie caratteristiche trasmissive legate ai diversi tipi di fibra impiegata, le diverse potenzialità (connesse al massimo numero di fibre inseribili nel cavo), la tipologia di nucleo ottico (di tipo *loose* o di tipo *tight* a seconda che le fibre siano libere o no di muoversi all'interno della struttura) e le caratteristiche meccaniche (in funzione del tipo di fondale, della profondità dell'acqua e delle tecniche di posa prescelte). La scelta del tipo di cavo è quindi effettuata caso per caso in funzione dei risultati dell'analisi del tracciato di posa (*survey*) e delle esigenze del gestore, in modo da ottimizzare le scelte in termini di costi, di tempi di realizzazione dell'impianto ed affidabilità dello stesso nel tempo.

4. I cavi ottici sottomarini

4.1 Generalità

Un cavo ottico sottomarino è una struttura in grado di proteggere le fibre ottiche in esso contenute (di per sé meccanicamente fragili e sensibili a diversi fattori dell'ambiente esterno) in tutte le condizioni legate prima alla movimentazione e alla posa, e successivamente all'esercizio nel corso della vita utile dell'impianto, generalmente ipotizzata in 25 anni.

4.2 Le protezioni delle fibre e dei cavi nell'ambiente sottomarino

Come si è osservato in precedenza, il cavo ottico sottomarino deve assolvere la funzione di protezione delle fibre; questa difesa dev'essere tanto maggiore quanto più il cavo corre il rischio di danneggiamenti, che possono essere di natura chimica o meccanica.

I primi sono dovuti agli agenti chimici contenuti in sostanze presenti nell'acqua o che sono generati dagli stessi componenti del cavo per effetto della corrosione, quali l'idrogeno molecolare e l'acido solfidrico. Per evitare questi effetti i cavi sottomarini sono dotati di un rivestimento metallico - costituito in genere da un tubo di rame - e di filati polipropilenici ricoperti da bitume che hanno lo scopo da un lato di impedire l'ingresso nel nucleo ottico di sostanze nocive alle fibre e dall'altro di fermare, o comunque di rallentare, il processo di corrosione dei materiali che a sua volta comporterebbe l'emissione di idrogeno, dannoso alla vita della fibra ottica. Per questo motivo nei cavi sottomarini sono presenti sostanze in grado di assorbire l'idrogeno molecolare prima che questo possa venire a contatto con le fibre.

La barriera in rame ha inoltre l'obiettivo di proteggere le fibre dalle emissioni radioattive sui fondali marini - in genere raggi gamma - che possono determinare peggioramenti della qualità trasmissiva delle fibre.

Per quanto riguarda le cause di danneggiamento meccanico del cavo da parte di entità esterne, esse sono prevalentemente attribuibili alle ancore delle navi e alle attrezzature di pesca che prevedono l'aratura del

LE TAPPE TECNOLOGICHE NEI SISTEMI SOTTOMARINI

- 1843 La scoperta della *guttaperca*, materiale isolante di origine vegetale, permette di isolare in modo affidabile i conduttori di rame;
- 1854 È avviata la posa di un cavo La Spezia-Corsica-Sardegna facente parte di un collegamento Francia-Algeria;
- 1857 È posato un cavo tra Cagliari, Malta e Corfù, che ha breve vita;
- 1859 I Borboni posano il primo cavo telegrafico in Italia fra Otranto e Valona. Nel 1864 il Governo italiano ne decide il ripristino, e rimarrà in funzione per tutto il resto del secolo;
- 1866 Entra in servizio il primo cavo telegrafico transatlantico fra l'Inghilterra e gli USA;
- 1932 Sulla tratta Roma-Olbia è sperimentato il primo sistema telefonico con amplificatori nelle stazioni terminali: il cavo, di 270 km, stabilisce in quell'anno il record mondiale di lunghezza;
- 1943 Entra in servizio il primo sistema telefonico amplificato tra l'Inghilterra e l'Isola di Man (in acque relativamente basse);
- 1950 La disponibilità industriale del *polietilene*, isolante sintetico, apre una nuova frontiera ai fabbricanti di cavi;
- 1950 L'ATT posa un cavo tra Cuba e la Florida con 3 amplificatori alla profondità massima di 1800 m con capacità di 24 circuiti telefonici;
- 1956 Entra in servizio il primo cavo transatlantico, il TAT-1, della capacità di 36 circuiti, che rimarrà in servizio fino al 1979;
- 1966 Charles K. Kao e George A. Hockham, ricercatori dell'ITT, teorizzano l'impiego di vetri di alta purezza per trasmettere segnali ottici: questa intuizione porta alla nascita dell'impiego delle fibre ottiche nelle telecomunicazioni;
- 1984 Il primo cavo ottico sottomarino è posato fra l'Inghilterra e l'Isola di Wight;
- 1988 Entra in servizio il sistema transatlantico ottico TAT-8, della capacità di 7680 circuiti;
- 1993 Si sperimentano i primi amplificatori ottici a fibra drogata con erbio;
- 1995 Entrano in servizio i primi sistemi commerciali amplificati otticamente, il TAT-13 a 2,5 Gbit/s e il TPC-5 a 5,3 Gbit/s.

fondo, la cosiddetta "pesca a strascico". Questi inconvenienti si verificano soprattutto in fondali profondi meno di 1000 metri dove è quindi indispensabile proteggere i cavi dal punto di vista meccanico.

Sono previste due modalità di protezione meccanica dei cavi: la prima intrinseca con armature e l'altra estrinseca con protezioni esterne. Nel primo caso il cavo è prodotto con differenti livelli di armatura, costituiti da uno o più strati di fili d'acciaio di dimensioni e tipologia diversi tanto più consistenti quanto maggiore è il pericolo di danneggiamento. Nel secondo caso il cavo è ulteriormente protetto durante o dopo la posa per mezzo di conchiglie in acciaio o materassi in cemento oppure, e questa è la tecnica oggi più diffusa, mediante il suo interro a profondità dell'ordine del metro sotto il fondale del mare. La profondità d'interro è in funzione del tipo di materiale di cui il fondale marino è composto e del grado di rischio che corre il cavo su ogni particolare fondale.

4.3 Struttura tipica di un cavo ottico sottomarino

4.3.1 Generalità

Da quanto è stato indicato nei paragrafi precedenti emerge l'esigenza che, nel corso della progettazione di un cavo ottico sottomarino, deve essere tenuto

presente l'obiettivo di realizzare una struttura in grado di proteggere le fibre ottiche per l'intero periodo di servizio del cavo, nonché durante le operazioni di posa, di interrimento e di riparazione. Una funzione secondaria da tenere presente nella progettazione riguarda gli elementi metallici del cavo: essi devono essere utilizzati sia per telealimentare i ripetitori, quando presenti, sia per iniettare una bassa corrente per la supervisione continua dello stato dei cavi.

Qui di seguito è descritto un cavo ottico sottomarino tradizionale, il 21,5 mm; attraverso questa descrizione si è inteso riportare i concetti fondamentali relativi al dimensionamento dei portanti sottomarini.

4.3.2 Nucleo ottico

Nel cavo da 21,5 mm, sono disposte al più sei coppie di fibre nelle cavità (*cavò*) di un nucleo scanalato, estruso attorno ad un filo di acciaio.

Le fibre sono caratterizzate da una elevata resistenza alla trazione e sono realizzate in modo da mantenere questa qualità per un lungo periodo di tempo. Esse sono inoltre differenziate mediante una colorazione del rivestimento primario, in modo da poter connettere correttamente due pezzature successive di cavo sia in fase di installazione sia di riparazione. Le fibre impiegate nei cavi sottomarini sono

prodotte in pezzature molto lunghe, dell'ordine dei 25-30 km, in modo da minimizzare il numero di giunzioni presenti all'interno della singola pezzatura di cavo.

Le fibre sono deposte all'interno delle cave del nucleo scanalato con una *extralunghezza (slack)* in modo da garantire che su di esse non si provochi alcuna deformazione sino a quando l'allungamento del cavo non superi la maggiore lunghezza di fibra disponibile. Anche nelle condizioni più avverse, quali quelle che si presentano durante il recupero del cavo (ad esempio nel corso di una riparazione), i parametri del cavo sono dimensionati in modo da evitare che le sollecitazioni applicate alle fibre superino il 50 per cento del valore di prova di sovraccarico (screen test) della fibra stessa. Nel diagramma di figura 5 è mostrato come la fibra, grazie alla propria extralunghezza, possa muoversi all'interno della cava del nucleo scanalato in funzione del tiro applicato al cavo, fino ad adagiarsi sul fondo della cava per un tiro cosiddetto "Cancelling Slack".

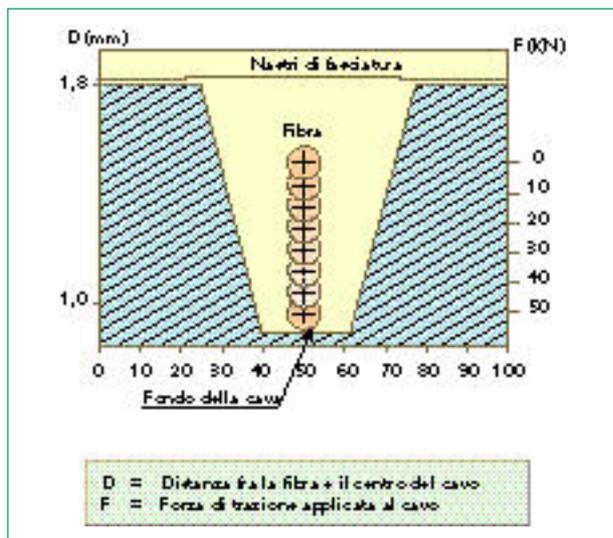


Figura 5 Posizione della fibra all'interno della cava in funzione del tiro.

Le cave del nucleo scanalato sono riempite con un composto tamponante non igroscopico che ha la funzione di isolare le fibre dall'ambiente circostante e di limitare l'ingresso dell'acqua in caso di rottura del cavo. Il nucleo ottico è successivamente coperto con nastri poliestere avvolti a elica. Infine è estrusa una guaina in polietilene allo scopo di sigillare radialmente il tutto. Questa struttura è detta nucleo ottico. Il nucleo ottico è prodotto industrialmente in tratte di lunghezza dai 50 ai 100 km, collegate tra loro mediante "giunti a diametro" (ricostruzione del nucleo tramite giunzione diretta dei singoli componenti), in modo da raggiungere la lunghezza di pezzatura richiesta.

4.3.3 Nucleo composito e cavo protetto per posa profonda

Il nucleo ottico è successivamente protetto da due strati di fili d'acciaio (*corona*) molto resistenti. Un nastro in rame, avvolto intorno alla corona e saldato

longitudinalmente, completa questa struttura, chiamata *nucleo composito*.

L'impermeabilità all'acqua in senso longitudinale è ottenuta per mezzo di materiali igroespandenti che, nel caso vengano a contatto con acqua penetrata a causa del danneggiamento delle protezioni esterne, aumentano di volume opponendosi così all'infiltrazione dell'acqua e limitando il tratto di cavo da sostituire. Il nucleo composito è quindi isolato con una guaina di polietilene che permette al cavo di resistere all'abrasione causata dallo sfregamento sui fondali marini. Questa struttura, utilizzata per la posa in alto mare, costituisce il cosiddetto cavo leggero *LW (Light Weight)* o cavo da fondo.

È possibile aggiungere un nastro in alluminio sulla superficie esterna della struttura del cavo LW per realizzare una schermatura elettrica e una protezione nei confronti dell'attacco da parte di pesci. Uno strato di polietilene ad alta densità completa la struttura del cosiddetto cavo protetto da fondo *LWP (Light Weight Protected)*.

4.3.4 Cavi armati

Il cavo armato è realizzato partendo dalla struttura del cavo da fondo (LW) ed aggiungendo una o più protezioni meccaniche esterne (armature), diverse a seconda della profondità di posa e delle condizioni e della natura del fondale marino. Le protezioni naturalmente, per motivi di praticità di installazione e di economicità, devono essere impiegate solo nei casi in cui esse siano necessarie. In genere, minore è la profondità di posa e maggiori sono i rischi di danneggiamento da fattori esterni; devono quindi essere impiegate armature di maggior consistenza man mano che il cavo dal fondale marino si avvicina all'approdo. I principali tipi di cavo armato possono essere così suddivisi:

a) Cavo armato leggero

Il cavo armato leggero *LWA (Light Weight Armoured)* è realizzato disponendo uno strato di fili d'acciaio zincato ad alta resistenza sulla superficie esterna della struttura del cavo da fondo. Questo strato è coperto con filati di polipropilene impregnati con un composto bituminoso. Il cavo è progettato per essere utilizzato fino a 2000 m di profondità ma è generalmente impiegato tra 900 e 1500 m e nelle tratte interrate prossime all'approdo.

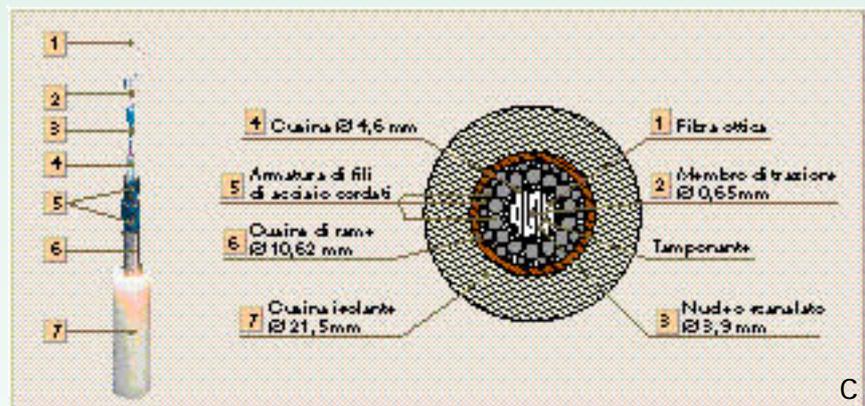
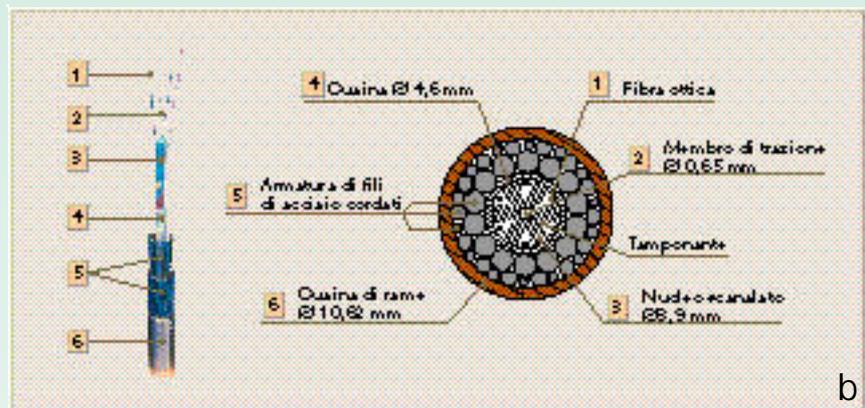
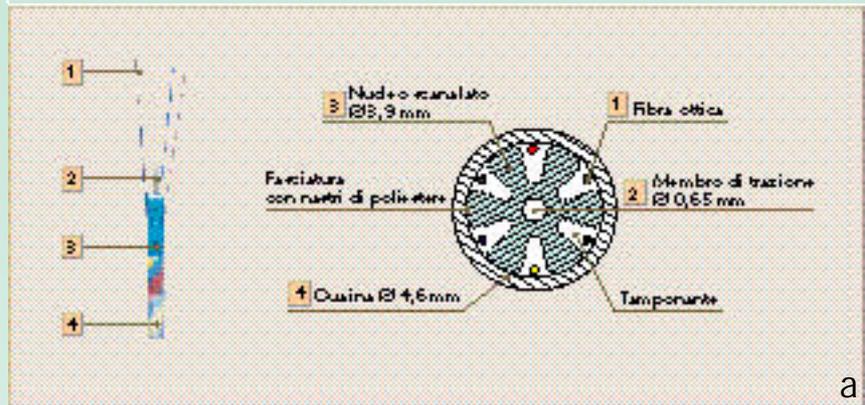
b) Cavo con armatura singola

Il cavo con armatura singola *SA (Single Armoured)* è realizzato disponendo uno strato di fili d'acciaio zincato ad alta resistenza (di diametro superiore al precedente) sulla superficie esterna della struttura del cavo da fondo. Questo strato è coperto con filati di polipropilene impregnati con un composto bituminoso. Il cavo è progettato per essere utilizzato fino a 1500 m di profondità, ma è generalmente impiegato tra 100 e 900 m.

c) Cavo con armatura doppia

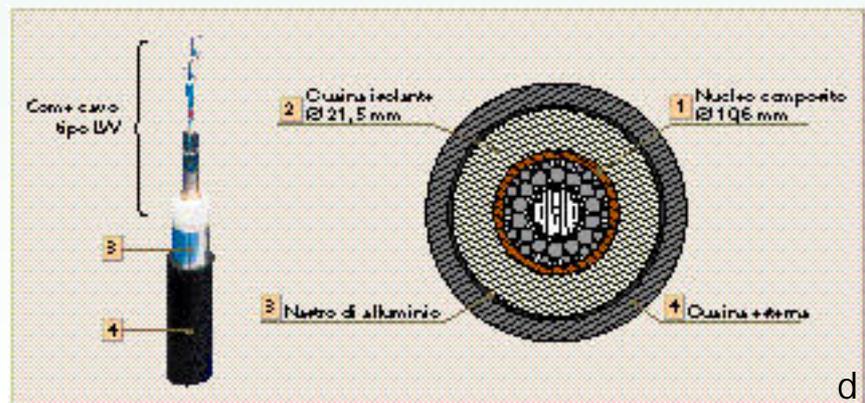
Il cavo con armatura doppia *DA (Double Armoured)* è realizzato aggiungendo al cavo con armatura singola uno strato di fili di acciaio dolce zincato con un passo normale; questo strato è ricoperto

LE STRUTTURE DI CAVO



Legenda

- a) Nucleo ottico
- b) Nucleo composito
- c) Cavo da fondo (LW)
- d) Cavo da fondo protetto (LWP)
- e) Cavo armato leggero (LWA)
- f) Cavo con armatura singola (SA)
- g) Cavo con doppia armatura (DA)
- h) Cavo per fondali rocciosi (RA)



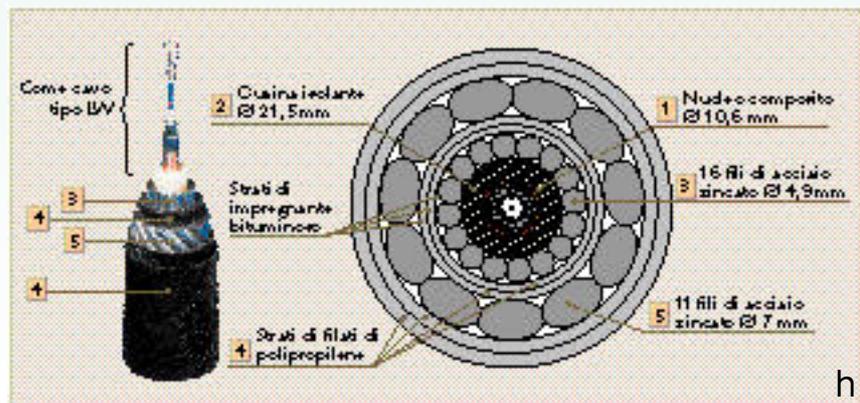
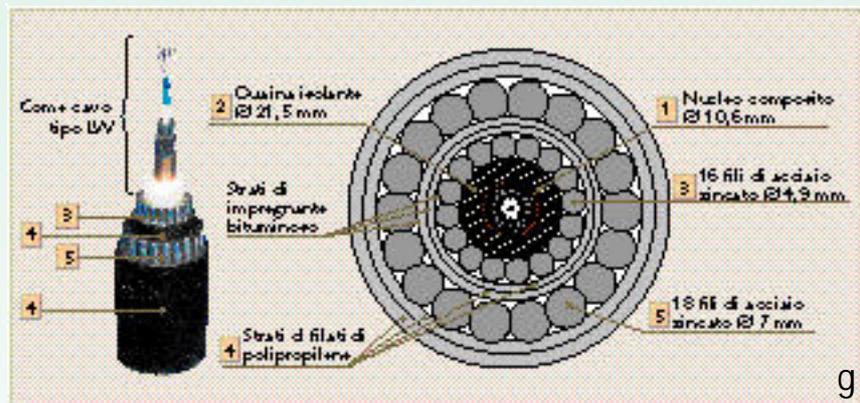
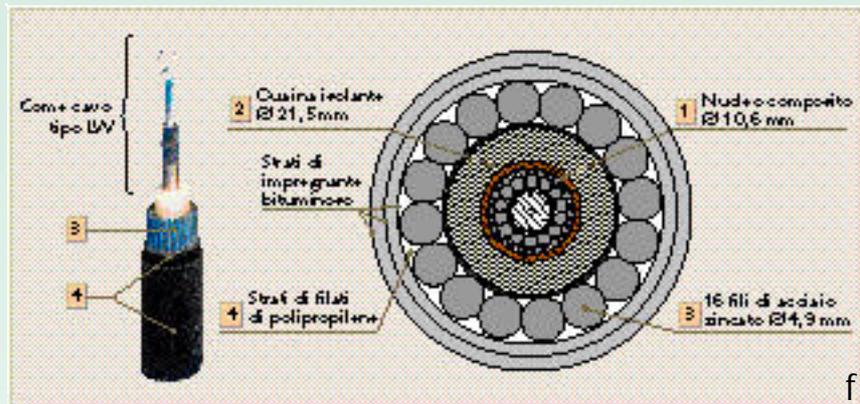
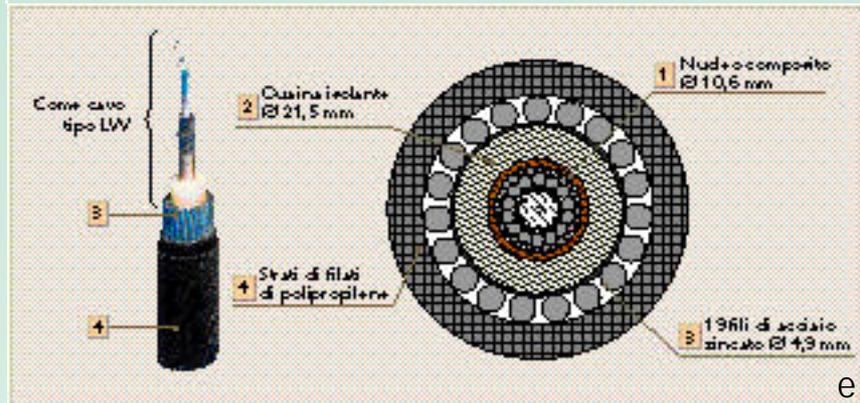
LA STRUTTURA DEI CAVI SOTTOMARINI È PROGETTATA A PARTIRE DA UN NUCLEO OTTICO (FIGURA A) CHE È COMPOSTO DA UN PORTANTE SCANALATO CHE CONTIENE LE FIBRE OTTICHE, FASCIATO DA UNA GUAINA DI POLIETILENE.

AL DI SOPRA DI QUESTO NUCLEO UN'ARMATURA DI FILI DI ACCIAIO RICOPERTA DA UNA GUAINA DI RAME COSTITUISCE IL NUCLEO COMPOSITO (FIGURA B).

IN FUNZIONE DEI MODI DI IMPIEGO DEL CAVO LEGATI ALLA PROFONDITÀ DI POSA, ALLE CARATTERISTICHE DEI FONDALI, ALLE CORRENTI SOTTOMARINE E ALLA PRESENZA DI ATTIVITÀ DI PESCA CHE POSSONO DANNEGGIARE IL CAVO, AL NUCLEO COMPOSITO SONO AGGIUNTI DIVERSI TIPI DI PROTEZIONI.

SI DISTINGUONO QUINDI LE SEGUENTI TIPOLOGIE DI CAVO:

- CAVO DA FONDO, NELLE VERSIONI NORMALE LW (FIGURA C) E PROTETTO DALL'ATTACCO DEI PESCI LWP (FIGURA D) PER POSE A PROFONDITÀ SUPERIORI A 1500 METRI;
- CAVO ARMATO LEGGERO LWA (FIGURA E) PER POSE FRA 900 E 1500 METRI;
- CAVO CON ARMATURA SINGOLA SA (FIGURA F) PER POSE FRA 100 E 900 METRI;
- CAVO CON ARMATURA DOPPIA DA (FIGURA G) PER POSE FINO A 100 METRI;
- CAVO PER FONDALI ROCCIOSI RA (FIGURA H) PER POSE FINO A 500 METRI.



con filati di polipropilene impregnati con un composto bituminoso. Il cavo è progettato per essere utilizzato fino a 500 m di profondità, ma è generalmente impiegato fino a 100 m.

d) Cavo per fondali rocciosi

Il cavo a doppia armatura per fondali rocciosi *RA (Rock Armoured)* presenta la stessa costituzione del cavo con armatura doppia, eccezion fatta per il passo dello strato più esterno che è minore (i fili della seconda armatura hanno una maggiore inclinazione) in modo da assicurare un adattamento adeguato a ogni tipo di fondale marino roccioso e non uniforme. Il cavo è progettato per essere utilizzato fino a 500 m di profondità, ma è generalmente impiegato fino a 100 m.

Gli schemi dei cavi descritti sono mostrati nel riquadro "Le strutture di cavo".

4.4 Caratteristiche peculiari dei cavi in funzione del tipo di impianto

Gli impianti sottomarini possono essere divisi in due classi, a seconda che siano usati o meno ripetitori sommersi. I cavi impiegati nei due tipi di impianti devono quindi presentare caratteristiche diverse sia per i tipi di fibre impiegate, sia per la struttura meccanica utilizzata. Nelle tabelle 1 e 2 sono riportate alcune caratteristiche significative relative ai cavi impiegati nelle due diverse tipologie di impianto, mentre la figura 6 mette a confronto i due tipi di cavo.

		LW	LWA	SA	DA	RA
Numero massimo di fibre	No.	12	12	12	12	12
Diametro complessivo	mm	21,5	36,7	38,5	57,7	55,5
Peso in aria	kg/m	0,79	3,0	3,5	9,7	9,3
Peso in acqua	kg/m	0,42	1,9	2,4	7,0	6,8
Carico di rottura	kg · 10 ³	10	37	44	70	48
Carico massimo di operazione	kg · 10 ³	8	26	35	58	35

Legenda:
 LW = Light Weight (Cavo leggero o da fondo) SA = Single Armoured (Cavo ad armatura singola)
 LWA = Light Weight Armoured (Cavo leggero armato) DA = Double Armoured (Cavo a doppia armatura)
 RA = Rock Armoured (Cavo per fondali rocciosi)

Tabella 1 Cavi per sistemi con ripetitori.

4.4.1 Cavi per sistemi con ripetitori

La Raccomandazione ITU-T G. 972 riporta la seguente definizione dei cavi sottomarini con ripetitori: "Cavo ottico sottomarino alimentato elettricamente, progettato per applicazioni con ripetitori, utilizzabile in acque sia basse sia profonde, provato in modo estensivo per dimostrare la sua capacità ad essere installato e riparato sul posto, anche nelle peggiori condizioni meteorologiche, senza subire alcun degrado delle prestazioni ottiche, meccaniche ed elettriche, né dell'affidabilità".

La necessità di effettuare per questo tipo di impianto collegamenti molto lunghi, anche transo-

		SA	DA
Numero tipico di fibre	No.	30	30
Diametro complessivo	mm	25,4	36,4
Peso in aria	kg/m	1,4	3,4
Peso in acqua	kg/m	1,0	2,5
Carico di rottura	kg · 10 ³	18	26
Carico massimo di operazione	kg · 10 ³	10	15

Legenda:
 SA = Single Armoured (Cavo ad armatura singola)
 DA = Double Armoured (Cavo a doppia armatura)

Tabella 2 Cavi per sistemi senza ripetitori.

ceanici, richiede una struttura di cavo sufficientemente robusta e in grado di sopportare la pressione dell'acqua e il tiro necessario alla posa e al risalimento del cavo con ripetitori immersi fino alla profondità di 7000 m.

I cavi per sistemi con ripetitori devono inoltre permettere di alimentare i ripetitori sommersi. Si impiega per tale scopo come elemento conduttore la guaina di rame del nucleo composito che ha una sezione adeguata e un isolamento sufficienti a soppor-

tare l'elevata tensione di alimentazione.

Il nucleo ottico deve accogliere poche fibre (oggi i ripetitori sommersi riescono ad accettare al loro ingresso al più quattro coppie di fibre) che hanno caratteristiche opportune in funzione del tipo di tecnica trasmissiva adottata. I vecchi sistemi rigenerati impiegavano in genere fibre standard con profilo di indice di rifrazione a gradino (*step index*), rispondenti alla Raccomandazione ITU-T G.652, poiché

questo tipo di fibra consente di minimizzare gli effetti dell'attenuazione. Gli attuali sistemi amplificati impiegano invece fibre a dispersione spostata *DS (Dispersion Shifted)* rispondenti alla Raccomandazione ITU-T G.653, che consentono di minimizzare gli aspetti dispersivi. È in corso di standardizzazione una fibra detta a dispersione non nulla *NZD (Non Zero Dispersion)* per l'impiego con i sistemi in tecnica a divisione di lunghezza d'onda *WDM (Wavelength Division Multiplexing)*.

Le caratteristiche delle fibre sono descritte nell'articolo "Evoluzione delle tecnologie ottiche di trasmissione per i sistemi sottomarini" [3].

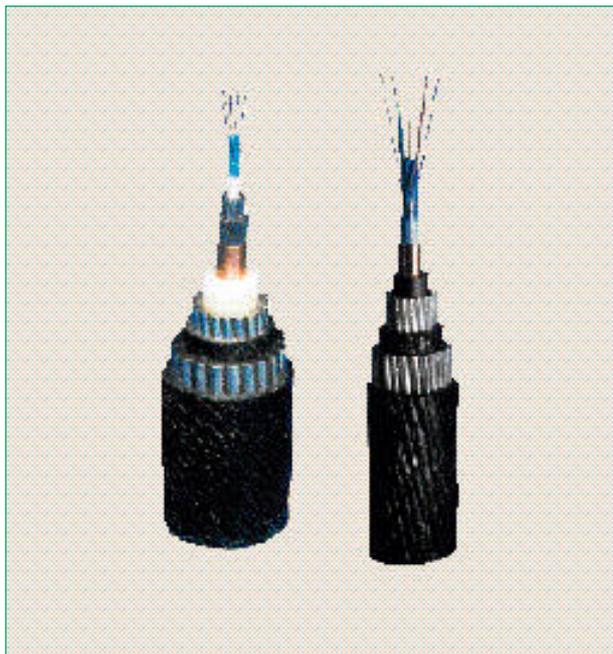


Figura 6 Cavi per sistemi con e senza ripetitori.

4.4.2 Cavi per sistemi senza ripetitori

La Raccomandazione ITU-T G.972 riporta la seguente definizione dei cavi sottomarini senza ripetitori:

“Cavo ottico sottomarino progettato per applicazioni senza ripetitori, utilizzabile in acque sia basse sia profonde, provato in modo estensivo per dimostrare la sua capacità ad essere installato e riparato sul posto, anche nelle peggiori condizioni meteorologiche, senza subire alcun degrado delle prestazioni ottiche, meccaniche ed elettriche, né dell'affidabilità”.

Come si può notare dalla tabella 2, cavi del tipo LW, LWA e RA non sono previsti per questo tipo di impiego in quanto i portanti di sistemi non rigenerati sono generalmente posati in acque poco profonde con la tecnica dell'interro e, non richiedendo apparati sommersi telealimentati, possono essere meccanicamente meno robusti dei precedenti, con elementi conduttivi e isolanti meno consistenti e conseguentemente di costo più contenuto.

I cavi per sistemi non ripetuti hanno una potenzialità (numero massimo di fibre) maggiore rispetto ai cavi per sistemi con ripetitori, con modularità compresa tra le 18 e le 36 fibre a seconda delle esigenze di traffico.

Le fibre impiegate sono normalmente ottimizzate

LA NORMATIVA INTERNAZIONALE DI RIFERIMENTO

- Le caratteristiche dei sistemi sottomarini sono standardizzate nell'ambito del Quesito 18 del Gruppo di Studio (SG) 15 dell'ITU-T, mentre il Quesito 15 dello stesso Gruppo di Studio definisce le caratteristiche trasmissive delle fibre ottiche. Lo scopo precipuo del Gruppo di Studio è quello di normalizzare e mantenere aggiornate le Raccomandazioni relative alle prestazioni, nelle quali si fa la sintesi tra le esigenze dei diversi gestori di servizi di telecomunicazioni e l'evolversi delle possibilità tecniche e tecnologiche messe in luce dai centri studi e dall'industria manifatturiera del settore. Sono di seguito elencate le principali Raccomandazioni vigenti, impiegate per la definizione dei sistemi sottomarini:

Quesito 15/15 Caratteristiche dei sistemi in fibra ottica

- Racc. G.652 Caratteristiche delle fibre monomodali.
- Racc. G.653 Caratteristiche delle fibre monomodali a dispersione spostata.
- Racc. G.655 (bozza) Caratteristiche delle fibre a dispersione non nulla (NZD).

Quesito 18/15 Caratteristiche dei sistemi ottici sottomarini in cavo

- Racc. G.971 Aspetti generali dei sistemi ottici sottomarini in cavo.
- Racc. G.972 Definizione dei termini connessi ai sistemi ottici sottomarini in cavo.
- Racc. G.973 Caratteristiche dei sistemi ottici sottomarini non rigenerati.
- Racc. G.974 Caratteristiche dei sistemi ottici sottomarini rigenerati.
- Racc. G.975 Correzione di errore per i sistemi ottici sottomarini in cavo.
- Racc. G.976 Metodi di misura applicabili ai sistemi sottomarini in cavo.
- Racc. G.oass (allo studio) Caratteristiche dei sistemi sottomarini in cavo amplificati otticamente.

- Considerato l'elevato livello di condivisione dei sistemi sottomarini fra diversi gestori internazionali, la disponibilità di standard di riferimento costantemente aggiornati in un settore a così veloce evoluzione tecnologica costituisce la condizione essenziale per l'armonico sviluppo della rete di telecomunicazioni globale.

in attenuazione, onde permettere la massima distanza tra le stazioni terminali a parità di dinamica disponibile sugli apparati trasmissivi.

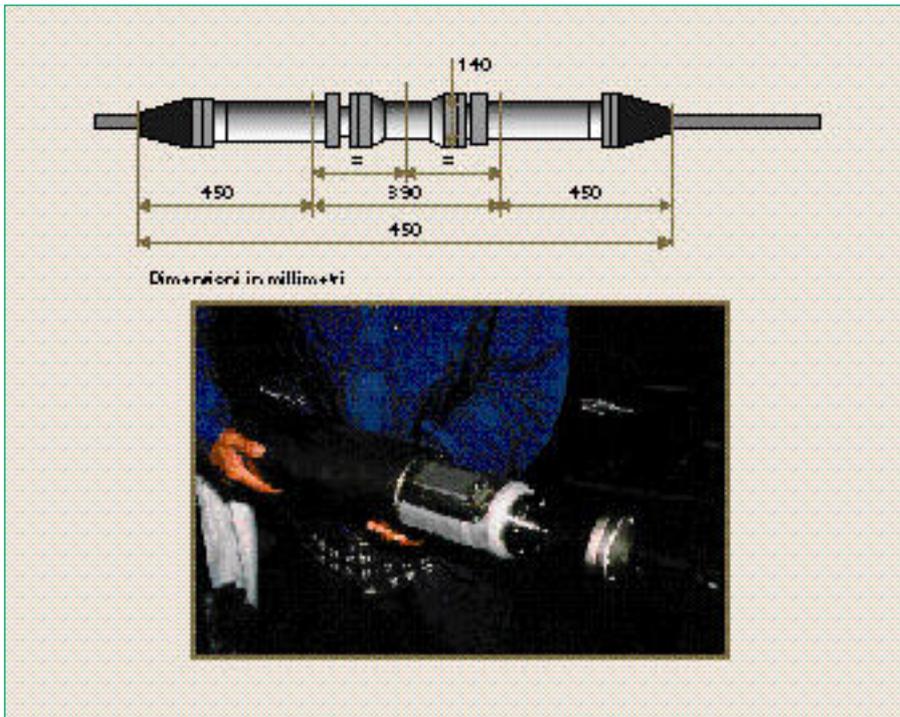


Figura 7 Giunto sottomarino.

La continuità ottica del portante è ottenuta tramite la giunzione per fusione di ogni fibra. I tratti di fibra in eccesso richiesti per questa operazione sono avvolti in schede di giunzione (*organiser*), che garantiscono la protezione meccanica delle giunzioni e il rispetto del raggio minimo di curvatura necessari a conservare le prestazioni della fibra nel tempo.

La continuità meccanica è ottenuta ancorando i fili d'acciaio del conduttore composito, l'elemento centrale e lo schermo in rame (descritti nel precedente § 4.3.3), tramite opportuni morsetti. La giunzione metallica tra i conduttori di ogni cavo connesso permette inoltre di mantenere la continuità elettrica. Per i cavi armati, la continuità meccanica è garantita ancorando (oltre al composito) ogni filo dell'armatura. L'impermeabilità all'acqua è assicurata rivestendo il corpo centrale in acciaio con uno strato di polietilene. In figura 7 è riportato uno schema tipico di un giunto sottomarino.

5. Gli accessori per gli impianti ottici sottomarini

Gli accessori per cavi ottici sottomarini formano un sistema di componenti che permette di collegare tra loro le pezzature di cavo o di connettere al cavo le apparecchiature di trasmissione, siano esse apparati di centrale o apparati sommersi. Qui di seguito è riportata una breve descrizione dei principali accessori del cavo necessari alla corretta messa in servizio di un impianto sottomarino.

5.1 Giunto sottomarino

Il giunto sottomarino è un elemento meccanico di raccordo tra due pezzature di cavo ed ha caratteristiche meccaniche e trasmissive compatibili con quelle del cavo stesso, in modo da garantire l'omogeneità dell'impianto. Questo componente può essere montato sia durante la produzione del cavo sia nel corso dell'installazione per connettere tra loro più segmenti del portante; è inoltre impiegato per riparare i guasti che si verificano nel corso dell'esercizio.

Il giunto sottomarino è costituito da una struttura cilindrica in acciaio con un rivestimento in polietilene che ha la funzione di proteggere meccanicamente le fibre giuntate ed assicurare la continuità meccanica delle protezioni e la continuità elettrica dei conduttori del cavo. Esso deve resistere alla pressione che si riscontra alla profondità di posa ed essere impermeabile all'acqua.

5.2 Giunto terra-mare

Il giunto terra-mare (chiamato anche giunto di spiaggia) è un particolare tipo di giunto impiegato in prossimità degli approdi (figura 8) e permette di collegare il cavo sottomarino alla tratta terminale di cavo terrestre tra l'approdo e la stazione terminale nella quale sono installate le apparecchiature di trasmissione.

Il giunto terra-mare soddisfa agli stessi requisiti del giunto sottomarino anche se la pressione dell'acqua e gli sforzi meccanici richiesti sono sensibilmente inferiori in quanto il giunto di spiaggia è normalmente installato in un pozzetto o in una came-



Figura 8 Giunto terra-mare.

retta in prossimità del mare e spesso è immerso nell'acqua.

5.3 Giunto di derivazione passivo

Questo componente di impianto detto *PBU* (*Passive Branching Unit*), è un particolare giunto sottomarino in grado di connettere tra loro tre cavi

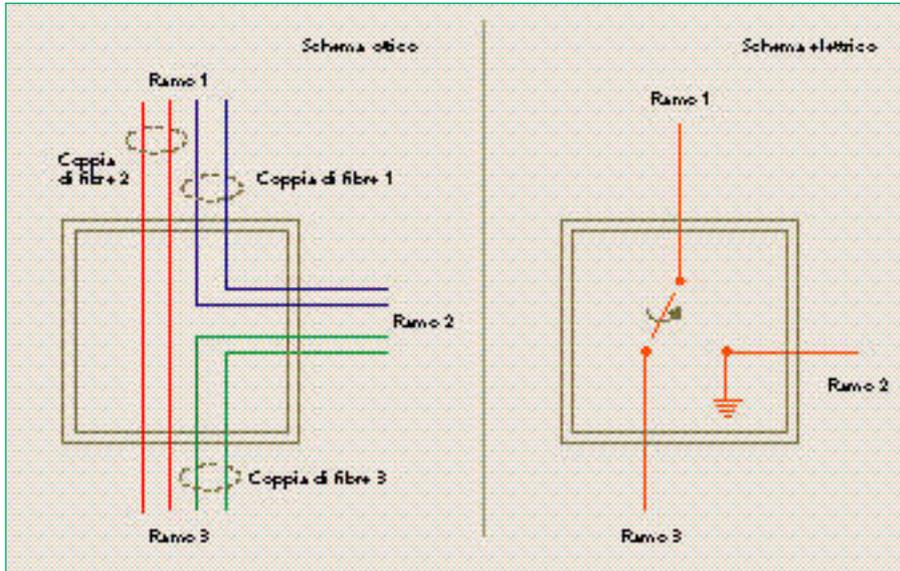


Figura 9 Schema ottico ed elettrico di una Passive Branching Unit.

(anziché due) permettendo una qualsiasi configurazione ottica o elettrica tra i cavi stessi. Esso è utilizzato per effettuare derivazioni di collegamenti ottici sottomarini verso approdi intermedi.

Questo elemento è di notevole importanza nella progettazione di rete in quanto esso assicura la flessibilità nel dimensionamento di una rete sottomarina. La possibilità di disporre di un diverso instradamento delle fibre permette di realizzare rami secondari in un collegamento sottomarino e quindi di avere un reindirizzamento del traffico e di ottenere un'affidabilità intrinseca superiore del collegamento.

La PBU possiede inoltre scambi elettrici interni in grado di cortocircuitare uno o più rami che escono da questo elemento mediante l'invio di un comando elettrico da terra; questa funzionalità permette di riconfigurare elettricamente la PBU in caso di guasto e agevola d'altra parte le funzioni di monitoraggio elettrico dei cavi, necessarie per la sorveglianza e la manutenzione di un impianto sottomarino. In figura 9 sono mostrati gli schemi ottico ed elettrico di una PBU.

5.4 Accoppiatore

L'*accoppiatore* (*coupler*) è un dispositivo di ancoraggio meccanico tra il cavo e le apparecchiature attive sommerse (ripetitori, giunti di derivazione attivi), in grado di conferire al sistema costituito dal cavo e dall'apparato sommerso caratteristiche meccaniche analoghe a quelle del cavo stesso.

In figura 10 è riportato nelle sue linee essenziali lo schema di un accoppiatore cavo-ripetitore. Le parti fondamentali che compongono un accoppiatore sono le seguenti:

- a) *ancoraggio al ripetitore e snodo meccanico*: si tratta di un giunto cardanico che si raccorda da un lato alla cassa esterna del ripetitore (o della branching unit), dall'altra agli elementi di tenuta meccanica del cavo. Questa struttura è normalmente realizzata in acciaio inossidabile e ha la funzione di svincolare il cavo dal contenitore dell'apparato, in modo che le sollecitazioni meccaniche indotte sull'uno non siano trasmesse all'altro;
- b) *cassa di giunzione*: è un giunto sottomarino inserito nella struttura dell'accoppiatore. Possiede di conseguenza

tutte le caratteristiche dei giunti sottomarini descritte al precedente § 5.1 con l'unica differenza che le fibre del cavo sono giuntate con i codini di fibra (pig-tail) uscenti dall'apparato attivo;

- c) *elementi flessibili di raccordo tra accoppiatore e cavo*: sono elementi le cui funzioni si attuano nel corso della posa; si tratta infatti di coni di gomma solidali con l'accoppiatore, in grado di distribuire le deformazioni con gradualità sull'intera struttura

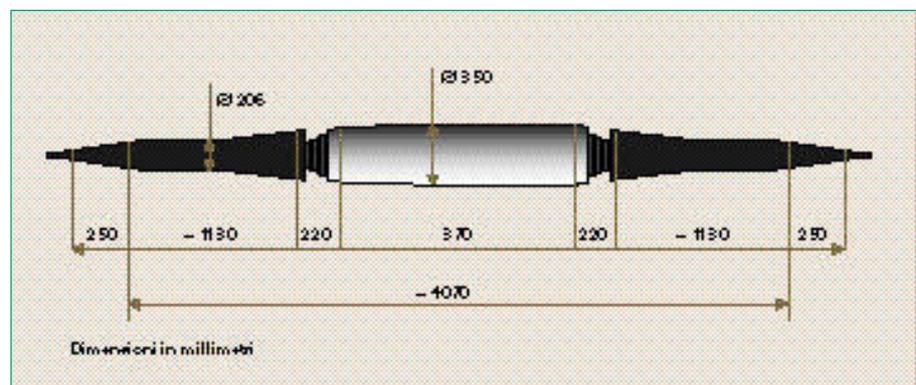


Figura 10 Schema di accoppiatore tra un cavo e un ripetitore.

nel passaggio del ripetitore sulla puleggia di posa delle navi posacavi (figura 11). Per ogni cavo connesso all'apparecchiatura attiva

deve essere predisposto un accoppiatore: questi accoppiatori sono quindi due per i ripetitori, e tre per le branching unit attive (figura 12).

6. Parte terrestre di un collegamento sottomarino

6.1 Cavi terrestri

Ogni sistema sottomarino è terminato con code di cavo terrestre che permettono di collegare la tratta sottomarina alla centrale terminale. È prassi fare in modo che le tratte terrestri siano le più brevi possibile (e quindi che la centrale terminale sia molto prossima al punto di approdo) anzitutto in quanto la tratta sottomarina assorbe quasi totalmente la dinamica degli apparati; in secondo luogo perché le tratte in cavo terrestre sono per loro natura maggiormente vulnerabili e rischiano di ridurre sensibil-

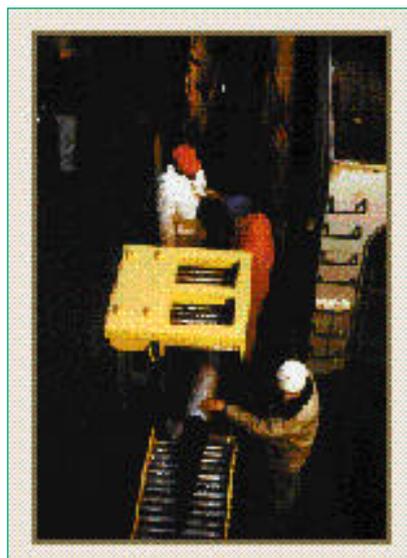


Figura 11 Operazione di posa di un ripetitore.

mente l'affidabilità attesa per il collegamento sottomarino.

I cavi ottici che sono utilizzati nella tratta terrestre tra gli apparati di centrale e il giunto terra-mare sono

diversi a seconda che si tratti di sistemi con ripetitori o senza. Nel primo caso si utilizza per la coda terrestre lo stesso cavo sottomarino, nella versione LWP se posto in tubazione o in versione LWA se direttamente interrato: l'uso del cavo sottomarino anche sulle tratte terrestri consente infatti di garantire le stesse caratteristiche elettriche di resistenza e di isolamento sull'intero collegamento sottomarino e terrestre.

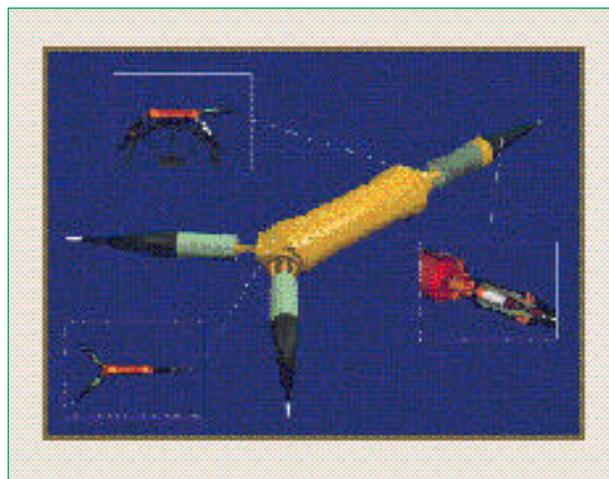


Figura 12 Schema di giunto di derivazione attivo.

Nel caso invece di assenza di ripetitori la scelta del tipo di cavo dipende dalla lunghezza del tracciato: per tratte inferiori a 1 km si impiegano ancora cavi sottomarini di tipo LWP o LWA in quanto in questo caso l'uso di una diversa tipologia di cavo risulta poco conveniente per la gestione delle scorte, l'approvvigionamento e la movimentazione.

Per tratte superiori è adottato invece un cavo ottico uguale a quelli impiegati nella rete terrestre, con l'aggiunta al suo interno di alcuni conduttori in rame che garantiscono la continuità elettrica con il cavo sottomarino per consentire le funzioni di monitoraggio del sistema in corrente continua dalla centrale.

I CAVI OTTICI LAGUNARI

Negli ultimi anni l'incremento degli impianti in fibra ottica e la necessità di collegare con cavi ad alta potenzialità (con più di trenta fibre) località separate da bracci di acque poco profonde (fiumi, laghi, lagune), evitando così lunghi percorsi terrestri, hanno portato allo sviluppo dei cavi ottici lagunari, che utilizzano lo stesso nucleo ottico dei cavi per posa terrestre, protetto in modo da resistere all'ambiente subacqueo.

L'impiego in acque poco profonde comporta una probabilità di guasti maggiore rispetto al caso di posa in profondità sia per fenomeni ambientali, quali terremoti, smottamento dei fondali, correnti, sia per le attività umane (pesca, posa di altri cavi).

Oltre alle armature convenzionali (SA, DA, RA), possono perciò essere impiegate protezioni esterne, quali conchiglie in ferro pressofuso saldamente ancorate al fondo nel caso di fondali rocciosi, o il cavo può essere interrato a profondità di almeno un metro nel caso di fondali soffici.

I cavi ottici lagunari (in inglese "marinized" per distinguerli da quelli "submarine") sono studiati in ambito ITU-T dalla Commissione VI.

UNO SGUARDO AL PASSATO E UN MONITO PER IL FUTURO

Più di un secolo fa, nel 1896, Emanuele Jona pubblicava, per i tipi di U. Hoepli Editore, un testo (oggi lo chiameremmo un handbook) "Cavi telegrafici sottomarini", che colmava una lacuna nella letteratura scientifica italiana. Infatti non esisteva in Italia un trattato sull'industria dei cavi sottomarini nel suo complesso, dalla fabbricazione dei cavi, alla posa, alla riparazione. A quel tempo anche il panorama bibliografico internazionale era carente.

Il testo è ricco di informazioni e fornisce molti chiarimenti tecnici sui cavi e sui metodi di posa che mettono in luce una grande competenza e conoscenza da parte dell'autore e una capacità non comune di chiarezza. Jona tuttavia è perdente

nelle previsioni dello sviluppo del traffico, poiché è portato a privilegiare l'impiego di cavi sottomarini telegrafici anziché telefonici. Infatti nelle conclusioni prevede che "... la Telefonia oceanica è un problema ben grave: ed oltre alle grandi difficoltà tecniche, altre difficoltà d'indole pratica, quali il costo di un cavo adatto, la necessaria elevatezza delle tariffe, la differenza di ore fra due città di longitudini lontane, che limiterebbe le ore di traffico giornaliero, ecc. lo rendono anche più serio. Però, senza pretendere di risolvere il problema della telefonia oceanica, un cavo che permettesse semplicemente una grande velocità di trasmissione telegrafica, sarebbe sempre utilissimo. Neanche in questo punto bisogna però esagerare; un cavo che permettesse il passaggio di 400 parole al minuto, non equivarrebbe certo a dieci cavi attuali di 40 parole; poiché bisogna tener conto dei perditempi in genere e specialmente poi dei periodi in cui il cavo è inutilizzabile in causa

di difetti e di riparazioni..."

L'Autore cita poi alcuni esempi di impianti telefonici con tratte sottomarine all'epoca già in funzione, il Buenos Aires-Montevideo (28 miglia sottomarine), il Londra-Parigi (23 miglia sottomarine) e l'Heligoland-Cuxhaven di 78 km e conclude: "...Vediamo però da questi esempi che la telefonia sottomarina è ancora ai suoi primi passi e che essa è attualmente possibile solo a distanze ben piccole..."

Sono passati poco più di cent'anni e già da più di cinquant'anni le previsioni sono state superate. Oggi gli stessi dubbi ci assalgono quando ci chiediamo se occorra portare la fibra ottica presso tutti gli utilizzatori o se i clienti del futuro millennio non sapranno come impiegare bande trasmissive così estese. Anche in questi giorni le opinioni sono diverse ma...l'approfondimento di questo problema farà parte di un nuovo articolo del Notiziario Tecnico Telecom Italia.

6.2 Sistema di terra a mare

Per sistema di "terra a mare" s'intende il circuito elettrico di ritorno, realizzato via mare, per il sistema di telealimentazione dei collegamenti sottomarini con ripetitori.

Il circuito di telealimentazione, la cui corrente fluisce attraverso le parti metalliche del cavo sottomarino alimentando in serie le apparecchiature attive sommerse, si richiude attraverso un cavo elettrico per basse tensioni che collega il polo di ritorno del telealimentatore, ubicato nella centrale terminale, ad un sistema di elettrodi, costituito da tondini metallici (detti puntazze), installati in pozzetti posti in prossimità dell'approdo. Questo sistema di terra permette il passaggio della corrente di ritorno del circuito di telealimentazione attraverso la isopotenziale terrestre di riferimento.

Un sistema di terra locale nella centrale terminale assicura anche il corretto bilanciamento del sistema di telealimentazione rispetto alla massa.

7. Conclusioni

In questo articolo sono state descritte le principali caratteristiche dei cavi ottici sottomarini: come è stato chiarito il cavo è progettato per assicurare la protezione delle fibre dalla pressione batimetrica che può raggiungere il valore di 70 MPa, dalla propagazione

longitudinale dell'acqua, dall'aggressione degli agenti chimici, dagli effetti della contaminazione dall'idrogeno e da danneggiamenti meccanici esterni durante l'intera vita operativa del sistema.

Il cavo deve inoltre garantire che le prestazioni delle fibre ottiche non si modifichino durante tutte le fasi di installazione (posa, interrimento, ricopertura) e, ancor più, in quelle di esercizio.

Nell'ultimo decennio la disponibilità del portante ottico, con le sue caratteristiche di elevata larghezza di banda e ridottissima attenuazione, ha portato allo sviluppo di una vasta rete a livello mondiale la cui importanza è stata ulteriormente accresciuta dalla messa a punto degli amplificatori ottici e dallo sviluppo delle tecniche di trasmissione a divisione di lunghezza d'onda. È stato così possibile superare una delle maggiori limitazioni presenti in questi impianti che risiedeva nella presenza di rigeneratori sommersi progettati per una data velocità di cifra. È ora possibile pensare ad elaborazioni del segnale direttamente a livello ottico, entro ampi limiti trasparenti alla frequenza di cifra che renderanno i sistemi incrementabili nel tempo in funzione della capacità di trasporto richiesta dagli utilizzatori. Sotto questo aspetto i sistemi ottici divengono investimenti a "prova di futuro" e di conseguenza le prestazioni del cavo e la sua progettazione per garantirne il funzionamento nel tempo rivestono una sempre crescente importanza.

Nella progettazione dei cavi ottici sottomarini si osserva in questi ultimi anni una tendenza verso

un'ulteriore riduzione del peso e dell'ingombro con l'obiettivo di sfruttare appieno le potenzialità di un portante quale la fibra ottica di peso e di dimensioni estremamente contenute ma, allo stesso tempo, fragile e vulnerabile.

La continua ricerca di soluzioni innovative e l'impiego di nuovi materiali leggeri e resistenti permette a parità di prestazioni meccaniche e di grado di protezione garantito alle fibre, una riduzione del diametro dei cavi quasi della metà con pesi ridotti a circa un terzo rispetto ai primi portanti ottici.

Per i sistemi senza ripetitori, la disponibilità industriale di pezzature di cavo di diametro ridotto e di lunghezza di circa 200 km trasportabili in container, consentirebbe di impiegare navi posacavi rese disponibili nelle zone di posa; questo aspetto, unito alla possibilità di rinforzare il cavo solo nelle situazioni di comprovata necessità, può ridurre drasticamente il costo dell'impianto sottomarino, rendendolo in alcuni casi comparabile a quello di un impianto terrestre.

In conclusione siamo, come in altri settori dei componenti impiegati nelle telecomunicazioni, in presenza di una forte evoluzione che lascia intravedere decisivi miglioramenti per i sistemi futuri.



Massimo Artiglia ha conseguito la laurea in Fisica presso l'Università degli Studi di Torino. Opera in CSELT dal 1985, dove lavora presso la Direzione Trasmissione e Tecnologie Ottiche come responsabile dell'Unità di Ricerca Fibre Attive e Non Linearità. I campi di ricerca cui contribuisce, con indagini sia di tipo teorico che sperimentale, sono principalmente due: lo studio degli amplificatori ottici a fibra attiva, con particolare attenzione alle problematiche legate alla progettazione, caratterizzazione e

utilizzo nei sistemi di telecomunicazione di questi nuovi dispositivi; lo studio delle problematiche trasmissive connesse alla risposta non lineare della fibra e le implicazioni di queste sui sistemi di telecomunicazione ottici. È presidente del sottocomitato 86/C (sistemi ottici e dispositivi attivi) del CEI, presidente del gruppo di lavoro 1 del progetto europeo COST 241 (Characterisation of advanced fibres for the new photonic network), membro di comitati tecnici di conferenze internazionali, referee di riviste scientifiche internazionali e docente in corsi post-universitari nel settore delle telecomunicazioni ottiche. È autore di oltre settanta pubblicazioni, ed ha contribuito alla realizzazione dei libri "Fiber Optic Communication Handbook", Second Edition, pubblicato dalla TAB/McGraw-Hill, e "Le fibre ottiche per Telecomunicazioni", pubblicato dalla SSGRR. A suo nome sono stati depositati due brevetti internazionali.



Paolo Mario Finzi ha conseguito la laurea in Ingegneria elettronica nel 1986 presso il Politecnico di Milano ed il Master in "Business Administration" nel 1989. Ha lavorato in Sirti, in Racal Datacom ed è entrato in Pirelli Cavi nel 1992 nella Divisione che si occupa della realizzazione di sistemi sottomarini. In questa Divisione è responsabile dell'Ingegneria per sistemi di telecomunicazione in cavi ottici sottomarini con il compito di progettazione e assistenza tecnica alla realizzazione di sistemi di

telecomunicazioni "chiavi in mano" (fornitura in opera di cavi, apparati e servizi annessi). Tra i principali progetti in cui è stato coinvolto ricordiamo: la rete a festoni italiana (1989-1990), i collegamenti rigenerati e non con le principali isole italiane (1988-1994), i sistemi a festoni in Malesia (1995) e Brasile (1996), il Sea-Me-We 2 (il collegamento tra Europa, Medio Oriente e Sud Est Asiatico realizzato nel 1994 ed oggi replicato dal Sea-Me-We 3), il Columbus 2 (1994: dalla Sicilia a USA e Messico), l'ITUR (1995: dall'Italia alla Turchia, Ucraina, Russia), lo UK-NL#14 (1996) ed il Savona-Barcellona (1996), il Roma-Palermo (1997) e molti altri collegamenti sottomarini in ambito internazionale.

Bibliografia

Molte delle informazioni riportate in questo articolo sono riprese da alcuni testi di riferimento. Ad essi si rimandano i lettori che desiderino approfondire ulteriormente gli argomenti trattati nell'articolo.

- [1] Jona, E.: *Cavi telegrafici sottomarini*. U. Hoepli Editore, Milano, 1896.
- [2] Bonavoglia, L.: *Le Telecomunicazioni in Italia e il Museo della Sirti*. Bariletti Editori, Roma, 1992.
- [3] Artiglia, M.; Finzi, P.M.; Montalti, F.: *Evoluzione delle tecnologie ottiche di trasmissione per i sistemi sottomarini*. Su questo stesso numero del «Notiziario Tecnico Telecom Italia».
- [4] Oslin, G.: *The story of Telecommunications*. Pubblicazione privata Cable and Wireless.
- [5] Paladin, G.; Vespasiano, G.: *Collegamenti in fibra ottica*. Scuola Superiore G. Reiss Romoli, L'Aquila, 1992.
- [6] Haigh, K.R.: *Cables and Submarine Cables*. Standard Telephones and Cables Limited - Submarine Systems Division, 1978.
- [7] Antinori, A.: *Le telecomunicazioni italiane 1861-1961*. Edizioni dell'Ateneo, Roma, 1963.
- [8] Jocteur, R.: *De la gutta-percha à la silice. Les cables sous-marins et leur évolution technique*. L'Onde Electrique, Mars-Avril 1993, Vol. 73, n. 2, pp. 49-56.
- [9] Godiniaux, P.: *Le développement des cables sous-marins*. L'Onde Electrique, Mars-Avril 1993, Vol 73, n. 2, pp. 2-4.
- [10] Vespasiano, G.: *Le fibre ottiche per telecomunicazioni*. SSGRR, L'Aquila, 1997.
- [11] Barnes, S.R.; Devos, J.; Gabla, P.M.; Le Mouël, B.: *150 years of Submarine Cable Systems - from Morse Code to Cyber Talk*. «Alcatel telecommunications review», 1st Quarter 1997, pp. 55-62.
- [12] Coluccia, C.; Ridolfi, A.; Rubino, E.: *Navi speciali al servizio dei cavi sottomarini*. «Notiziario Tecnico Telecom Italia», Anno 6, n. 1, luglio 1997.
- [13] Barbiani, A.: *Cavi sottomarini nelle telecomunicazioni internazionali*. Su questo stesso numero del «Notiziario Tecnico Telecom Italia».



Francesco Montalti, nato a Firenze il 6/5/1953. Ha conseguito la laurea in Fisica presso l'Università "La Sapienza" di Roma nel 1976 con una tesi sulle caratteristiche di coerenza spaziale dei laser a semiconduttore, meritando la lode. Dal 1979 al 1985 ha svolto attività di ricerca sulle fibre ottiche presso il Laboratorio Centrale delle Industrie Face Standard (ITT) a Pomezia. Nel 1985 è stato assunto in SIP presso la Direzione Generale, dove si è occupato dello sviluppo dei cavi in rame e in fibra ottica e

degli accessori di rete e della qualificazione dei relativi costruttori. Dal 1994 è responsabile di Specifiche nell'ambito del settore Industrializzazione Cavi e Materiali della Divisione Rete di Telecom Italia. Ricopre cariche a livello nazionale ed internazionale negli Enti normativi ITU-T SG 6, IEC 86B, CENELEC SC 86XB. È autore di numerose pubblicazioni e svolge attività di docenza presso la Scuola Superiore Guglielmo Reiss Romoli.

Evoluzione delle tecnologie ottiche di trasmissione per i sistemi sottomarini

MASSIMO ARTIGLIA
PAOLO MARIO FINZI
FRANCESCO MONTALTI

I sistemi sottomarini sono uno dei settori delle telecomunicazioni che più hanno tratto giovamento dall'introduzione dei portanti ottici. Le tecnologie ottiche di trasmissione che si utilizzano nei sistemi dell'ultima generazione, che si sono affacciati o si stanno affacciando sul mercato sono infatti in grado di realizzare uno spettacolare incremento della capacità di trasporto semplificando la struttura degli impianti. Anche l'installazione e la manutenzione vengono conseguentemente semplificate e l'elevatissimo livello di affidabilità necessario può essere mantenuto a prezzi più contenuti. Inoltre, le nuove tecnologie di trasmissione aprono la possibilità di realizzare reti sottomarine su scala intercontinentale introducendo una nuova era nella storia dei sistemi sottomarini. I passi decisivi per arrivare a queste realizzazioni sono stati l'adozione della fibra ottica come portante fisico e l'introduzione della tecnologia degli amplificatori ottici a fibra attiva. Nell'articolo sono discussi i vantaggi e i problemi progettuali derivanti dall'utilizzo delle fibre ottiche e degli amplificatori ottici nei sistemi sulla lunga distanza ed è effettuata una panoramica sullo stato dell'arte attuale dei sistemi sottomarini. Infine sono delineate le nuove prospettive che le tecniche di trasmissione avanzate stanno prepotentemente aprendo.

1. Introduzione

L'adozione delle tecnologie ottiche di trasmissione ha consentito negli ultimi anni uno spettacolare incremento delle prestazioni dei sistemi di telecomunicazione, grazie all'introduzione della fibra ottica come portante fisico. I vantaggi derivanti dall'utilizzo della fibra ottica in termini di bassa attenuazione, larghezza di banda, basso costo, ingombro contenuto e insensibilità all'induzione elettromagnetica si sono rivelati estremamente preziosi anche nei sistemi di telecomunicazione sottomarini, particolarmente per quelle applicazioni altamente critiche quali quelle sui collegamenti a lunga distanza.

In generale, la lunghezza dei collegamenti sottomarini varia su un intervallo piuttosto ampio. Si passa infatti da collegamenti dell'ordine di qualche chilometro, per unire isole vicino alla costa o scavalcare bracci di mare, a collegamenti dell'ordine delle decine di migliaia di chilometri, per collegare due diversi continenti. Nel caso di collegamenti molto brevi, la progettazione non richiede particolari accorgimenti e gli apparati non differiscono in modo sostanziale da quelli installati sulla terraferma, fatta eccezione per il tipo di cavo ottico utilizzato (si veda in proposito l'articolo "Cavi ottici per sistemi di telecomunicazione sottomarini: stato dell'arte e prospettive" pubblicato in questo stesso numero [1]). Le

nuove tecnologie di trasmissione entrano invece in gioco in modo decisivo nel caso dei collegamenti di lunghezza superiore a 100 km, fino ai collegamenti transoceanici ove la fibra ottica, nei sistemi dell'ultima generazione, comincia ad essere utilizzata quasi ai limiti estremi delle sue prestazioni.

Infatti, la competitività con i sistemi satellitari impone che i sistemi sottomarini sulla lunga distanza siano dotati di una capacità di trasporto molto elevata, in grado di allocare migliaia di circuiti telefonici. Questo tipo di sistemi ottici deve dunque essere caratterizzato da un'affidabilità estremamente elevata, essendo gli elementi di linea accessibili con grande difficoltà per gli interventi di riparazione in caso di guasto, e da una lunga vita media (tipicamente 25 anni). L'alta affidabilità è inoltre necessaria poiché i sistemi sottomarini, contrariamente ai quelli terrestri, hanno una ridotta disponibilità di instradamento alternativo e pertanto le interruzioni del traffico possono condurre a considerevoli perdite economiche. Tutti questi requisiti rendono in molti casi la progettazione di questi sistemi piuttosto complessa e delicata.

I primi sistemi ottici sottomarini sono stati introdotti all'inizio degli anni Ottanta. Da allora è stato sviluppato in sede ITU-T un adeguato corpo normativo per garantire l'elevato livello di prestazione che i sistemi di questo tipo devono avere e la condivisione degli impianti di gestori operanti nei differenti Paesi.

La presente normativa ITU-T, che comprende una serie di otto Raccomandazioni (dalla G.971 alla G.976 più la *G.oass - optically amplified submarine systems* - in fase di studio), distingue tre tipologie di sistema ottico sottomarino:

- i sistemi ottici su cavo sottomarino senza rigenerazione (oggetto della Raccomandazione ITU-T G.973);
- i sistemi ottici su cavo sottomarino con rigenerazione elettronica (descritti nella Raccomandazione ITU-T G.974);
- i sistemi ottici su cavo sottomarino con amplificazione ottica (oggetto della Raccomandazione ITU-T G.oass).

L'articolo tratta principalmente di questi ultimi sistemi, che costituiscono il superamento di quelli appartenenti alle prime due categorie, e delle varie tipologie e configurazioni che essi possono assumere in relazione alle tecniche di trasmissione ottica utilizzate. Il dispositivo chiave di questo tipo di sistemi è l'amplificatore ottico a fibra attiva drogata con erbio *EDFA (Erbium-Doped Fibre Amplifier)*, sviluppato alla fine degli anni Ottanta, e giunto già ad un elevato livello di ingegnerizzazione e di maturità tecnologica: l'EDFA ha infatti prodotto un'autentica rivoluzione nel campo delle telecomunicazioni ottiche e ha dato spunto e impulso a un numero molto elevato di differenti applicazioni di grande utilità e con notevole impatto economico [2].

All'interno di questo quadro di riferimento, nell'articolo sono dapprima richiamate le caratteristiche delle fibre ottiche di maggior rilievo per le applicazioni nei sistemi sottomarini, e sono descritte le modalità di utilizzo ed i vantaggi derivanti dall'impiego di EDFA. Sono quindi descritte le potenzialità delle diverse tecnologie ottiche oggi disponibili, cioè le tecniche basate sulla moltiplicazione a divisione di tempo ad altissima velocità di cifra *TDM (Time Division Multiplexing)* e quelle basate sulla divisione di lunghezza d'onda *WDM (Wavelength Division Multiplexing)* [3], applicate ai sistemi sottomarini senza rigenerazione elettronica. Sono anche indicati i relativi criteri di progetto in relazione alle distanze da coprire e al tipo di fibra ottica utilizzata.

Successivamente è fornita una rapida panoramica sullo stato attuale dei collegamenti sottomarini, nel mondo e nel nostro Paese. L'articolo si conclude fornendo una visione sul futuro prossimo e su quello a medio termine riportando alcune considerazioni sull'*optical networking* applicato ai collegamenti sottomarini.

2. Le Fibre Ottiche nei sistemi sottomarini

La fibra ottica è divenuta il portante fisico di elezione per le applicazioni sottomarine già a partire dalla metà degli anni Ottanta: essa infatti consente di impiegare passi di rigenerazione molto più lunghi di quelli impiegati con i sistemi elettrici operanti su cavo coassiale; ciò comporta una riduzione sostanziale del numero di rigeneratori sommersi, facilitando così l'installazione, semplificando i problemi di alimentazione e aumentando l'affidabilità, in conseguenza del

numero sensibilmente ridotto di dispositivi elettronici sommersi.

Questi sensibili miglioramenti sono dovuti principalmente alle eccellenti caratteristiche trasmissive che la fibra possiede: essa infatti presenta una attenuazione molto bassa (paragonabile a quella dell'aria tersa in una giornata limpida) e una banda di trasmissione estremamente ampia [4], [5].

Tuttavia, anche le caratteristiche della fibra ottica possono portare a limitazioni non trascurabili quando la velocità di cifra della trasmissione diviene molto elevata e le distanze da coprire sono lunghe. Infatti, l'aumento della velocità di cifra del segnale trasmesso comporta un ulteriore allargamento dello spettro in frequenza del segnale ottico rendendo più marcati gli effetti dovuti alle limitazioni di banda limitata della fibra ottica. Inoltre devono essere impiegati ricevitori ottici a banda larga, meno sensibili perché maggiormente affetti dal rumore termico dei circuiti elettronici, con la conseguente riduzione del budget di potenza del collegamento [3], [6].

Conviene dunque che il sistema operi nella regione dove le fibre ottiche in silice presentano il minimo assoluto dell'attenuazione, cioè nella regione spettrale attorno ai 1550 nm nella quale l'attenuazione assume valori attorno a 0,22-0,24 dB/km (*si veda per maggiori dettagli il riquadro a pagina 30*). Ne consegue che una sezione ottica di 200 km attenua più di 40 dB, valore difficilmente tollerabile in un sistema con elevata velocità di cifra. In pratica, considerando il margine di sistema necessario, le sezioni di rigenerazione sono generalmente dell'ordine di 100 km. Questo passo è più di venti volte di quello caratteristico dei sistemi sottomarini elettrici su cavo coassiale.

La banda di trasmissione di una fibra ottica a singolo modo è determinata principalmente dalle caratteristiche di dispersione cromatica [3÷6]. Le ragioni di questo comportamento risultano comprensibili in modo più intuitivo descrivendo il fenomeno nel dominio dei tempi (*si veda in proposito il riquadro a pagina 30*). La dispersione cromatica produce infatti un allargamento degli impulsi ottici che si propagano nella fibra; questo allargamento, Δt , è dato approssimativamente da

$$\Delta t = D(\lambda) \cdot L \cdot \Delta\lambda, \quad (1)$$

ove $D(\lambda)$ è il coefficiente di dispersione cromatica (misurato in ps/nm/km), L la lunghezza del collegamento (in km) e $\Delta\lambda$ (in nm) è la larghezza spettrale della sorgente modulata. L'allargamento non è più tollerabile quando diventa paragonabile al tempo di bit della trasmissione: in queste condizioni il ricevitore non è più in grado di distinguere correttamente i simboli trasmessi.

Le limitazioni imposte dalla dispersione cromatica in un collegamento in fibra ottica sono mostrate nella figura 1, nella quale la massima lunghezza di tratta è presentata in funzione della velocità di cifra per un segnale *NRZ (Non Ritorno allo Zero)* privo di modulazione di fase spuria, come si ottiene ad esempio modulando la luce continua di un laser a reazione distribuita *DFB (Distributed Feed-Back)* tramite un modulatore elettro-ottico esterno [3], [4].

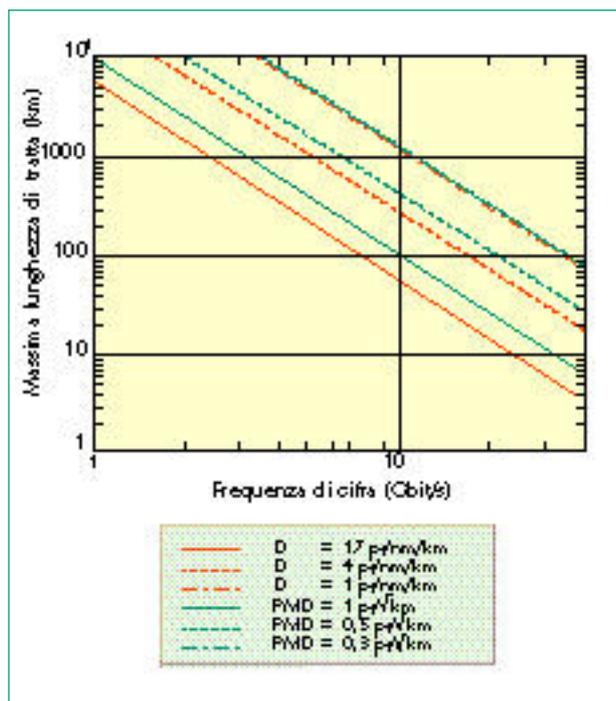


Figura 1 Incidenza della dispersione cromatica (D) e della dispersione di polarizzazione (PMD) sulla massima lunghezza di tratta.

Nella figura si è assunta una lunghezza d'onda di operazione pari a 1550 nm, mentre i valori del coefficiente di dispersione cromatica sono quelli tipici delle fibre ottiche per telecomunicazioni.

Come si può osservare, con una dispersione cromatica di circa 17 ps/nm/km, caratteristica di un collegamento realizzato con fibre convenzionali (normalizzate nella Raccomandazione G.652 ITU-T), la massima lunghezza di tratta è di circa 900 km per un segnale modulato a 2,5 Gbit/s, mentre si riduce a 60 km per un segnale a 10 Gbit/s. Va detto che, a parità di velocità di cifra, la larghezza spettrale delle sorgenti usualmente impiegate nelle applicazioni pratiche, e cioè dei laser DFB, in cui il flusso dati modula direttamente la corrente di polarizzazione del diodo laser, è in generale sensibilmente maggiore (circa cinque volte) di quanto assunto in figura 1 [3], [4]. La lunghezza di tratta di conseguenza si riduce proporzionalmente.

Questi limiti possono essere incrementati di almeno un fattore 20 mediante l'utilizzo di fibre a bassa dispersione in terza finestra, quali le fibre *DS* (*a Dispersione Spostata*) normalizzate dalla Raccomandazione G.653 ITU-T.

Le limitazioni appena discusse vanno tuttavia confrontate con quelle derivanti dall'attenuazione complessiva del collegamento: può infatti capitare che il limite in dispersione sia tale che l'attenuazione di tratta ad esso corrispondente ecceda la sensibilità del ricevitore. In questo caso la sezione massima di rigenerazione è naturalmente funzione dell'attenuazione. Questa situazione si presenta nei sistemi con rigeneratori operanti a 1310 nm su fibre del tipo G.652, ottimizzate in dispersione in seconda finestra, e a 1550 nm su fibre del tipo G.653. In questo caso, come già accennato, la lunghezza della sezione di

rigenerazione è limitata dalle caratteristiche del ricevitore [3], [4], [6]. Questa situazione, con l'utilizzo dell'amplificazione ottica, è mutata radicalmente, come sarà chiarito più avanti.

È infine importante sottolineare che la dispersione cromatica della fibra è un effetto deterministico, praticamente insensibile alle condizioni esterne ed ambientali, e può quindi essere compensata con opportune tecniche [6].

Un'altra caratteristica di dispersione della fibra ottica di particolare importanza nei collegamenti ad alta velocità di cifra operanti su distanze superiori ai 100 km è la Dispersione di Polarizzazione *PMD* (*Polarisation Mode Dispersion*) (si veda il riquadro a pagina 30) [5]. La PMD è stata completamente ignorata fino a pochi anni fa a causa degli effetti piuttosto modesti che essa generalmente comporta nei sistemi che operano con velocità di cifra inferiore a 2,5 Gbit/s. Caratteristica peculiare della PMD è quella di essere un fenomeno di natura statistica e di produrre quindi distorsioni del segnale trasmesso che variano casualmente nel tempo, come chiarito nel riquadro a pagina 30. La PMD si misura in ps/√km e il suo effetto si compone con quello della dispersione cromatica. Tuttavia, la natura statistica della PMD ne complica la caratterizzazione e, a differenza di quanto si verifica nel caso della dispersione cromatica, rende molto difficile realizzare efficaci tecniche di compensazione.

Le limitazioni indotte dalla sola PMD sulla lunghezza massima della tratta di rigenerazione sono mostrate in figura 1: operando a 10 Gbit/s in condizioni di dispersione cromatica trascurabile, una PMD (medio-alta) di 0,5 ps/√km limiterebbe la massima sezione di rigenerazione a circa 400 km, ben al di sotto dei limiti imposti dall'attenuazione. Qualora si riducesse la velocità di cifra a 2,5 Gbit/s, l'effetto della PMD sarebbe trascurabile fino a circa 10.000 km.

Nella progettazione dei sistemi sottomarini si deve quindi porre la massima attenzione alla scelta del tipo di fibra ottica, che dipende dalle prestazioni e dalle caratteristiche del sistema di trasmissione, particolarmente nel caso dei sistemi con amplificazione ottica, nei quali possono essere percorse dal segnale utile distanze molto lunghe prima che sia necessario effettuare la rigenerazione. La scelta deve naturalmente cadere su un tipo di fibra con caratteristiche di attenuazione eccellenti, dispersione cromatica molto bassa e dispersione di polarizzazione minima (dell'ordine di 0,1 ps/√km). Questo ultimo requisito è il più stringente poiché, come già accennato, la PMD, a differenza della dispersione cromatica, non può essere compensata. Le fibre ottiche conformi alla Raccomandazione G.653 dell'ITU-T rispondono per loro natura ai requisiti di bassa attenuazione e di bassa dispersione cromatica. È oggi in corso di attuazione invece un notevole sforzo tecnologico da parte di diversi costruttori di fibre ottiche volto a perfezionare i processi di produzione per ridurre al minimo i valori caratteristici della PMD. Nei capitolati tecnici di Telecom Italia sulle fibre ottiche già da qualche anno sono state infatti inserite specifiche per questo parametro.

Attenuazione e dispersione, cromatica e di polarizzazione, sono effetti lineari, nel senso che, almeno

CARATTERISTICHE TRASMISIVE DELLA FIBRA OTTICA

Le fibre ottiche utilizzate nei sistemi di telecomunicazione ottici sono strutture dielettriche guidanti a simmetria cilindrica in grado di convogliare il solo modo fondamentale di propagazione [4], [5]. Le caratteristiche lineari delle fibre singolo modo che maggiormente influenzano la trasmissione di segnali luminosi modulati sono le seguenti:

- l'attenuazione;
- la dispersione cromatica;
- la dispersione di polarizzazione.

Attenuazione

L'attenuazione di una fibra ottica è principalmente causata dalla diffusione di Rayleigh, prodotta dalle micro-fluttuazioni di densità della matrice vetrosa, che converte luce dal modo fondamentale ai modi irradiati. Questo effetto dipende in modo marcato dalla lunghezza d'onda (l'entità varia come λ^{-4}) ed è intrinseco alla struttura del materiale costituente la fibra. Ad esso si aggiunge anzitutto l'assorbimento residuo dovuto alle code delle bande di assorbimento elettroniche nell'ultravioletto e vibrazionali nel medio infrarosso delle molecole della silice e, in secondo luogo, l'assorbimento dovuto all'ossidrile OH⁻. L'andamento complessivo dell'attenuazione nella regione

compresa tra 1200 nm e 1650 nm è mostrato in figura a, dalla quale risulta evidente il picco d'assorbimento dell'ossidrile OH⁻ (attorno a 1380 nm). Esso divide la cosiddetta seconda finestra di trasmissione (centrata attorno a 1310 nm) dalla terza (centrata attorno a 1550 nm). Attorno a 1550 nm si ha il minimo assoluto della attenuazione (circa 0,2 dB/km).

Questo valore, caratteristico delle fibre con profilo d'indice a gradino o di quelle simili, può essere ulteriormente ridotto realizzando l'effetto guidante attraverso una riduzione dell'indice di rifrazione del mantello mediante drogaggio con fluoro (fibre *pure silica core*), anziché con un innalzamento dell'indice nel nucleo con germanio. In questo modo si riduce infatti l'incidenza della diffusione Rayleigh.

Dispersione cromatica

La dispersione cromatica è dovuta alla dipendenza della velocità di propagazione della luce nella fibra ottica dalla lunghezza d'onda: le varie componenti spettrali di un impulso luminoso impiegano infatti tempi diversi per attraversare la fibra (cioè varia il ritardo di gruppo) e causano un allargamento dell'involuppo temporale ad

esso relativo. Lo stesso comportamento può essere descritto, nel dominio delle frequenze, mettendo in evidenza che la dispersione induce uno sfasamento differenziale delle componenti spettrali dell'impulso ottico e che si introduce così una

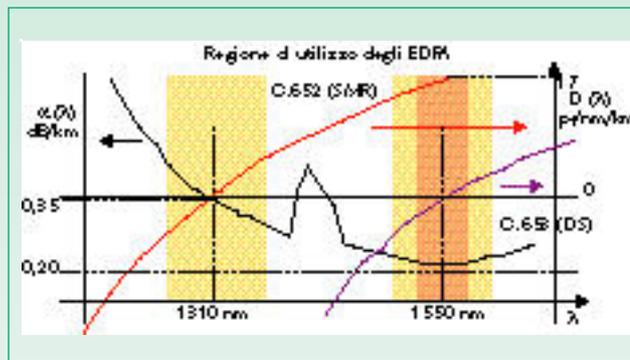


Figura a Caratteristiche spettrali di attenuazione e di dispersione delle fibre ottiche standard.

modulazione di fase spuria (*chirp*) che varia linearmente lungo lo spettro in frequenza dell'impulso e cresce con la distanza di propagazione (L).

La dispersione cromatica è misurata dal coefficiente di dispersione cromatica, $D(\lambda)$, definito come la rapidità di variazione con la lunghezza d'onda del ritardo di gruppo del modo fondamentale. $D(\lambda)$ si misura in ps/nm/km. In una fibra ottica la dispersione cromatica complessiva è dovuta principalmente a due contributi: la dispersione dovuta al materiale e quella causata dalla variazione delle proprietà guidanti della fibra al variare della lunghezza d'onda (dispersione di guida). Questo secondo contributo dipende in maniera sensibile dal profilo d'indice.

Il tipico andamento della dispersione

in prima approssimazione, non dipendono dal valore della intensità ottica del segnale che si propaga nella fibra. Con l'introduzione dell'amplificazione ottica il livello medio dell'intensità ottica mantenuto in fibra subisce, tuttavia, un incremento notevole (almeno di un fattore 20) e una nuova famiglia di effetti legati alla debole non linearità della silice vetrosa comincia a manifestarsi (si veda al riguardo il riquadro a pagina 32) [5], [8]. Questo vincolo è essenzialmente dovuto alla piccola area su cui è distribuita la potenza ottica (circa $50 \mu\text{m}^2$), alla bassa attenuazione della fibra e alle lunghe distanze di propagazione che caratterizzano i sistemi ottici, in particolare quelli sottomarini con amplificazione ottica. Gli effetti non lineari, contrariamente a quelli lineari, alterano il contenuto spettrale del segnale ottico, allargando lo spettro del singolo segnale o creando prodotti di intermodula-

zione se più segnali a differenti lunghezze d'onda sono presenti contemporaneamente nella stessa fibra. Gli effetti non lineari che maggiormente incidono sulle prestazioni dei sistemi di telecomunicazione ottici sono: la modulazione di fase autoindotta *SPM* (*Self Phase Modulation*) nei sistemi a canale singolo; la modulazione di fase incrociata *XPM* (*Cross Phase Modulation*) e l'interazione a quattro fotoni *FWM* (*Four Wave Mixing*) nei sistemi multicanale a divisione di lunghezza d'onda [5], [8].

L'incidenza dei diversi effetti non lineari sulle prestazioni di un sistema ottico dipende dalle caratteristiche del sistema stesso e dalle caratteristiche di dispersione della linea in fibra ottica. Questo argomento sarà quindi discusso caso per caso nel paragrafo 4 nel quale saranno presentati i criteri di progetto per i sistemi con capacità elevata di trasmissione.

cromatica per i più comuni tipi di fibra ottica è mostrato in figura a: come si può osservare dalla figura si ha una particolare lunghezza d'onda, λ_0 , in corrispondenza della quale la dispersione si annulla. Nell'intorno di λ_0 la dispersione è trascurabile.

Il valore di λ_0 caratterizza il tipo di fibra ottica. Le fibre convenzionali (descritte dall'ITU-T, Raccomandazione G.652, o *SMR (Singolo Modo Ridotto)*) hanno $\lambda_0 \approx 1310$ nm. Un altro importante tipo di fibra ottica, detta *DS (Dispersione Spostata)*, prescritta nella Raccomandazione ITU-T G.653, è ottenuto progettando opportunamente il profilo d'indice così che la λ_0 cada in corrispondenza del minimo della attenuazione. Recentemente è stato poi introdotto un nuovo tipo di fibra, detta fibra *NZD (Non Zero Dispersion)*, normalizzata nella Raccomandazione ITU-T G.655, tale che la λ_0 cada al di fuori della finestra di operazione dei sistemi ottici utilizzando amplificatori a fibra attiva. Si riduce così, grazie alla dispersione residua, bassa ma non nulla, l'incidenza di alcuni effetti non lineari che possono risultare dannosi per la qualità della trasmissione, come sarà chiarito nel riquadro a pagina 32. Conviene inoltre osservare che quando $D(\lambda) < 0$ (regione di *dispersione normale*) si ha che le lunghezze d'onda più corte viaggiano più lentamente di quelle più lunghe. Il comportamento opposto si verifica quando $D(\lambda) > 0$ (regione di *dispersione anomala*).

Dispersione di polarizzazione

La Dispersione di polarizzazione *PMD (Polarisation Mode Dispersion)*, è causata da imperfezioni geometriche

del nucleo o da sforzi meccanici agenti internamente o esternamente alla fibra. Questi fattori fanno sì che una fibra, nominalmente circolare, presenti in realtà una debole birifrangenza locale distribuita casualmente lungo di essa. Queste anomalie locali determinano una differente velocità di propagazione per le due componenti del modo fondamentale polarizzate ortogonalmente. La fibra ottica, indicata come a singolo modo, è dunque in realtà bimodale. Una fibra birifrangente ideale si comporta in modo simile a due linee di ritardo non bilanciate e le componenti ortogonali del campo guidato raggiungono la fine di un tratto di fibra in tempi diversi, producendo un allargamento temporale degli impulsi ottici. Nelle fibre impiegate nelle telecomunicazioni questo comportamento si presenta in maniera puntuale e in misura variabile lungo la fibra. Inoltre, essendo gli assi locali di birifrangenza orientati in modo casuale gli uni rispetto agli altri, a questo comportamento si aggiunge l'effetto dell'accoppiamento modale, che mescola casualmente la potenza ottica tra le componenti ortogonali del campo che si propagano nella fibra. L'effetto globale della PMD proviene quindi da un meccanismo molto complesso e delicato, estremamente sensibile alle variazioni, anche minime, delle condizioni di giacitura della fibra e delle condizioni ambientali. La PMD varia quindi nel tempo con un comportamento di carattere statistico. Questa proprietà complica la caratterizzazione ad essa relativa e rende molto difficile realizzare efficaci tecniche di compensazione. Si

può comunque dimostrare che per una fibra affetta da birifrangenza distribuita casualmente possono essere individuati due stati di polarizzazione privilegiati (polarizzati ortogonalmente e in generale in modo ellittico), *detti stati principali*, che si comportano analogamente ai due modi di polarizzazione di una fibra birifrangente ideale. Contrariamente a questi ultimi stati, quelli principali dipendono dalla lunghezza d'onda e la PMD è caratterizzata dal ritardo di propagazione relativo tra essi, che quindi varia anch'esso con λ . Se la fibra è sufficientemente lunga, ha cioè una lunghezza maggiore di 5-10 km, la distribuzione statistica dei ritardi è descritta da una curva di distribuzione di Maxwell, che dipende da un unico parametro: il valor medio del ritardo nel dominio delle lunghezze d'onda, $\langle \Delta\tau \rangle$.

Il valore di $\langle \Delta\tau \rangle$ cresce con la distanza L in funzione della \sqrt{L} . Si può così definire un coefficiente di PMD come $\langle \Delta\tau \rangle / \sqrt{L}$, la cui unità di misura è il ps/ $\sqrt{\text{km}}$. Sono considerati generalmente bassi i valori della PMD attorno a 0,1-0,2 ps/ $\sqrt{\text{km}}$. Valori maggiori di 0,5 ps/ $\sqrt{\text{km}}$ sono invece considerati alti. La soglia di criticità per le applicazioni alla frequenza di cifra di 10 Gbit/s è generalmente assunta quando $\langle \Delta\tau \rangle \geq 10$ ps. Allo stato degli sviluppi attuali la PMD delle fibre del tipo G.652 varia tra 0,1 e 0,2 ps/ $\sqrt{\text{km}}$, mentre quella delle fibre del tipo G.653 è leggermente più alta, circa 0,3-0,5 ps/ $\sqrt{\text{km}}$. Le fibre prodotte qualche anno fa possono invece presentare valori di PMD sensibilmente più elevati (anche maggiori di 1 ps/ $\sqrt{\text{km}}$).

3. L'Amplificatore ottico a Fibra Attiva

All'inizio degli anni Novanta con l'introduzione degli *AFA (Amplificatori ottici a Fibra Attiva)*, e in particolare di quelli a fibra drogata con erbio EDFA, si è verificata una autentica rivoluzione nelle tecnologie ottiche di trasmissione [2], con ricadute molto importanti per i sistemi sottomarini.

L'EDFA infatti amplifica direttamente il segnale ottico e riduce in modo significativo le limitazioni dovute all'attenuazione di una tratta in fibra; esso inoltre riduce ulteriormente, sin quasi ad eliminare, l'impiego dei tradizionali rigeneratori elettronici. Il rigeneratore è un dispositivo di grande importanza perché, oltre a compensare le perdite indotte dall'attenuazione della fibra, rimuove i disturbi dovuti al rumore elettrico e cancella le distorsioni del segnale;

esso tuttavia può essere utilizzato ad una velocità di cifra fissata. Questa limitazione costituisce un vincolo sensibile per un sistema la cui vita media deve essere di almeno 25 anni.

Gli EDFA, d'altro canto, evitano tutte le conversioni dal dominio ottico a quello elettrico e sono dispositivi molto meno complessi dei rigeneratori, quindi in linea di principio più affidabili; inoltre essi sono intrinsecamente trasparenti al formato ed alla velocità di cifra. Quest'ultima caratteristica è certamente di rilievo, perché consente di progettare il collegamento per una capacità massima a regime, che può essere raggiunta in modo graduale con incrementi di capacità successivi. Eventuali aumenti di traffico possono così essere gestiti, con conseguenti vantaggi economici, intervenendo solamente sui terminali di linea nelle stazioni di terra.

RISPOSTA NON LINEARE DELLA FIBRA OTTICA

Con l'utilizzo estensivo degli amplificatori ottici a fibra attiva drogata con erbio nei collegamenti, l'intensità ottica all'interno di una fibra raggiunge facilmente valori tali da produrre nella matrice vetrosa deformazioni che producono una risposta non lineare del mezzo. Una potenza di soli 20 mW (13 dBm) concentrata sulla sezione trasversale guidante di una fibra singolo modo (50 μm²) produce infatti una intensità di 40.000 W/cm². Gli effetti non lineari possono essere classificati in due categorie principali [5], [8]:

- Effetti di diffusione stimolata;
- Effetti legati alla non linearità dell'indice di rifrazione.

Gli effetti di *diffusione stimolata* sono dovuti all'interazione della luce che si propaga nella fibra con le oscillazioni del reticolo molecolare del vetro che la luce stessa induce. L'effetto di questo tipo che riveste maggior rilevanza per le telecomunicazioni ottiche è la *diffusione Brillouin* stimolata, legata all'interazione della luce con le onde acustiche da essa indotte nel mezzo per elettrostrizione. La diffusione Brillouin è caratterizzata da una potenza di soglia molto bassa (alcuni mW) e genera un'onda retrodiffusa, spostata in frequenza verso il basso di una decina di GHz, che è amplificata a spese del segnale che la genera. Sopra la soglia, la potenza retrodiffusa è più elevata di quella trasmessa nella fibra.

L'efficienza di questo effetto diminuisce rapidamente quanto più è larga la riga di emissione del laser di sorgente. Se devono essere lanciate in fibra potenze superiori a 10 mW e sono utilizzate sorgenti ad alta purezza spettrale, la diffusione Brillouin va quindi soppressa. Una tecnica per eliminare questa diffusione consiste nell'allargare artificialmente la riga di emissione del laser a semiconduttore modulandolo

direttamente in bassa frequenza (20-50 kHz) in modo tale da non alterare in modo significativo il segnale dati. Questa tecnica è particolarmente indicata per i sistemi di trasmissione numerica in cui la sorgente ottica è modulata esternamente.

Gli effetti non lineari più rilevanti sono invece quelli originati dalla dipendenza dell'indice di rifrazione dall'intensità ottica I (effetto Kerr):

$$n(I) = n_0 + n_2 I(t).$$

Nella silice vetrosa il coefficiente di non linearità dell'indice di rifrazione, n_2 , è molto piccolo (3×10^{-20} m²/W circa), ma gli effetti da esso prodotti non sono trascurabili per l'elevata intensità dei segnali ottici raggiunta in fibra e per le lunghe distanze di propagazione da essi coperte.

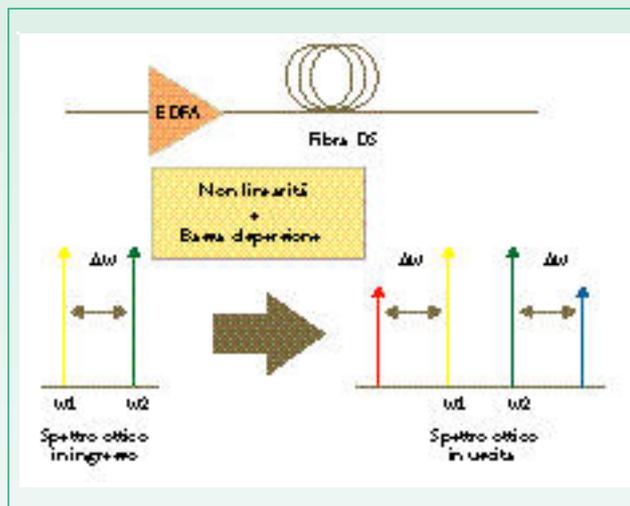


Figura a Effetto della interazione a quattro fotoni (FWM) in una fibra con bassa dispersione.

In particolare, la variazione nel tempo dell'intensità di un segnale modulato, facendo variare l'indice di rifrazione, produce una modulazione di fase spuria che ne allarga lo spettro in frequenza. Questo effetto può essere provocato dal segnale su se stesso, *SPM (modulazione di fase autoindotta)*, ovvero su altri segnali presenti assieme ad esso nella fibra, *XPM (modulazione di fase incrociata)*. L'allargamento spettrale, in connessione con la dispersione cromatica della fibra, produce una distorsione del profilo temporale del segnale, causando un degrado delle presta-

zioni del sistema.

Quando $D(\lambda)$ è positivo la modulazione di fase autoindotta contrasta l'effetto di allargamento dovuto alla dispersione cromatica. Questa proprietà è sfruttata per la generazione di *solitoni* ottici (vedasi §4.3). Un ulteriore effetto non lineare di notevole rilevanza è l'interazione a quattro fotoni o *FWM (Four Wave Mixing)*, che si presenta quando nella fibra ottica si propagano due o più segnali di frequenze differenti. Questo effetto è causato dalla non applicabilità in un mezzo non lineare del principio di sovrapposizione degli effetti: infatti più segnali che si propagano in esso contemporaneamente interagiscono scambiandosi energia e creando prodotti di intermodulazione a particolari frequenze di combinazione, come illustrato nella figura a.

L'efficienza del FWM dipende in modo molto sensibile dalla dispersione della fibra e dalla spaziatura in frequenza dei segnali, oltre che naturalmente dalla loro intensità: infatti, più la dispersione è bassa e più vicini in frequenza sono i canali, tanto più alta è l'efficienza

di generazione dei prodotti di intermodulazione. Questa situazione si verifica ad esempio nelle linee di fibra a dispersione spostata (in accordo con la Raccomandazione ITU-T G.653), per le quali è necessario utilizzare sistemi ottici multicanale progettati con particolari criteri atti a ridurre l'incidenza del FWM. Un criterio molto semplice consiste nell'adottare un passo tra le portanti ottiche diseguale in frequenza, così che i prodotti di intermodulazione cadano fuori della banda filtrante dei ricevitori [18].

L'EDFA, infine, come già osservato, richiede solo circuiti elettronici a bassa velocità, quindi consuma sensibilmente meno di un rigeneratore e semplifica perciò il progetto e la realizzazione dell'impianto di telealimentazione. Il principio di funzionamento, le caratteristiche ed i principali parametri che descrivono le prestazioni di un EDFA sono descritti nel riquadro a pagina 36.

EDFA	Rigeneratore Elettronico
Elettronica molto semplice	Elettronica molto complessa
Intrinsecamente multicanale	Intrinsecamente per singolo-canale
Trasparente al formato e alla velocità di cifra	Specifico per formato e velocità di cifra dati
Il rumore ottico si accumula	Si accumula il tasso di errore e il jitter
La dispersione si accumula	Azzerata la dispersione
Gli effetti non lineari si accumulano	Azzerati gli effetti non lineari

Tabella 1 Confronto tra le prestazioni di un amplificatore a fibra attiva e quelle di un rigeneratore elettronico.

Un confronto sintetico tra le funzioni di un EDFA e quelle di un rigeneratore elettronico è presentato nella tabella 1.

Assieme ai notevoli vantaggi da esso offerti e sopra elencati, l'EDFA presenta tuttavia anche alcuni inconvenienti: anzitutto, all'amplificazione per effetto laser, su cui è basato il funzionamento del dispositivo, è intrinsecamente associata la generazione di una radiazione di fondo incoerente, anch'essa amplificata, detta ASE (*Amplified Spontaneous Emission*), che produce un peggioramento del rapporto segnale disturbo ottico OSNR (*Optical Signal to Noise Ratio*) all'uscita del dispositivo. Se più EDFA sono messi in cascata in un lungo collegamento sottomarino, questo "rumore ottico" si accumula causando un sempre più marcato peggioramento dell'OSNR. L'EDFA, quindi, se da un lato compensa l'attenuazione, dall'altro introduce una nuova diversa limitazione alla massima lunghezza del collegamento, che dipende in misura molto sensibile dal passo di amplificazione e dalla lunghezza d'onda di operazione [2], [3]. Altri inconvenienti sono invece causati dalla non uniformità spettrale del guadagno dell'EDFA. Le implicazioni sistemiche di questi effetti saranno approfondite nel prossimo paragrafo.

Da un punto di vista della progettazione dei sistemi ottici, i parametri fondamentali dell'EDFA sono l'andamento spettrale del guadagno, $G(\lambda)$, e l'andamento spettrale della cifra di rumore, che dà una misura del degrado dell'OSNR prodotto dall'ASE [2].

Come già ricordato, gli EDFA sono dispositivi già commercializzati da qualche anno da più costruttori. Il rapido sviluppo tecnologico che ha interessato questi dispositivi ha richiesto di redigere rapidamente un corpo di norme e raccomandazioni ad essi relativo in sede di normativa internazionale (ITU-T, IEC ed

ETSI), riassunto nella tabella 2 [9].

Gli EDFA possono essere utilizzati nei sistemi di telecomunicazione ottica in varie configurazioni, illustrate negli schemi di figura 2 [2], [10]. Queste configurazioni e le specifiche dei dispositivi che devono essere impiegati sono descritte nelle norme e raccomandazioni elencate in tabella 2.

La prima, e più semplice, applicazione dell'EDFA riguarda l'impiego come: *amplificatore di potenza al trasmettitore* (caso a di figura 2). In questo caso l'EDFA deve essere progettato in modo da avere una elevata potenza di uscita. I dispositivi oggi disponibili in commercio presentano potenze d'uscita comprese generalmente tra 10 e 17 dBm (10-50 mW). L'EDFA può essere impiegato alternativamente come *pre-amplificatore* a monte del ricevitore ottico (caso c). Gli EDFA per questo tipo di applicazione devono possedere caratteristiche di alto guadagno e di basso rumore, e permettono di raggiungere un miglioramento di 10-15 dB per il budget di potenza del collegamento ottico.

L'EDFA può anche essere impiegato come amplificatore di linea (caso b) per compensare le perdite di tratta. In questo caso l'amplificatore è progettato per

ITU-T (WP4/15 Quest. 17)
<i>Racc. G.661: Definition and test methods for the relevant generic parameters of optical fibre amplifiers</i>
<i>Racc. G.662: Generic characteristics of optical fibre amplifiers</i>
<i>Racc. G.663: Application related aspects of optical fibre amplifiers and sub-systems</i>
IEC (SC86C/WG3)
<i>Docc. da 1290-1 a 1290-7: Basic Specifications for Optical Fibre Amplifier Test Methods</i>
<i>Docc. da 1291-1 a 1291-4: Generic Specification Templates for Optical Fibre Amplifiers</i>
ETSI (TM1-WG2)
<i>ETS 300 672: Relevant Generic Characteristics of Optical Amplifier Devices and Sub-systems</i>

Tabella 2 Quadro della normativa vigente relativa agli amplificatori ottici a fibra attiva.

fornire un guadagno sufficiente, generalmente attorno ai 25-30 dB, e per avere buone caratteristiche di rumore in modo da potere utilizzare più esemplari posti in cascata.

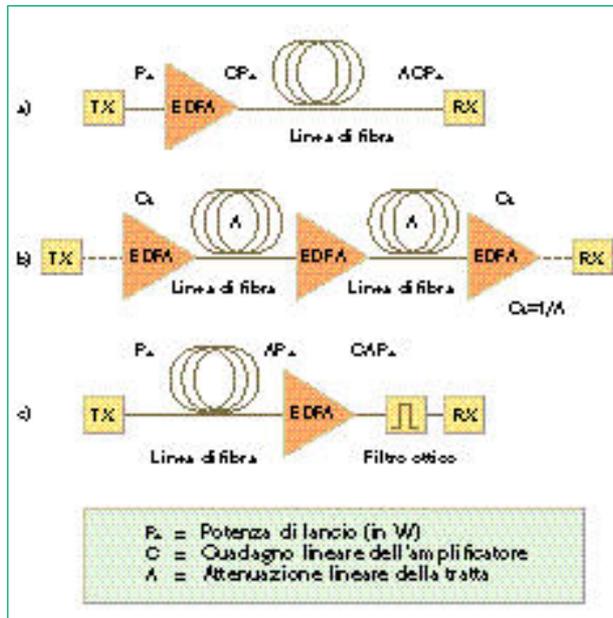


Figura 2 Configurazioni d'impiego degli amplificatori ottici a fibra attiva drogati con erbio (EDFA) nei sistemi di trasmissione.

Una ulteriore applicazione di interesse per le applicazioni sottomarine su distanze medio-brevi è il cosiddetto *amplificatore pompato da una località remota*: in questo schema, illustrato in appendice alla Raccomandazione ITU-T G.973, la sola fibra drogata con erbio viene inserita nell'impianto sommerso a qualche decina di chilometri dalla terraferma. L'energia per attivare gli ioni erbio nella fibra drogata è fornita da un laser di potenza situato nella centrale di approdo, evitando, così, di dover telealimentare l'amplificatore sommerso. Questa configurazione, particolarmente adatta a un sistema senza rigeneratori, permette di aumentare di alcune decine di chilometri la lunghezza del collegamento.

L'affidabilità degli EDFA è stata oggetto di intenso studio negli ultimi anni: il componente più critico del dispositivo è il laser a semiconduttore di potenza che fornisce l'energia per l'amplificazione. Un notevole sforzo tecnologico da parte dei costruttori di laser a semiconduttore ha portato allo sviluppo di laser ad alta potenza (80-100 mW in fibra) con vita media adeguata al loro utilizzo in EDFA per applicazioni sottomarine, emettenti nella regione spettrale attorno a 1480 nm (ove gli ioni erbio presentano una intensa banda di assorbimento). Qualche problema ancora permane per i laser di potenza operanti a 980 nm (altra regione spettrale nella quale l'erbio presenta un forte assorbimento), il cui utilizzo porterebbe a prestazioni dell'EDFA ancora migliori in termini di rumore ottico (*si veda il riquadro a pagina 36*) [11].

4. Tecniche di trasmissione avanzate: prestazioni e problematiche di progettazione

L'amplificazione a fibra attiva ha consentito di sviluppare una serie di soluzioni sistemistiche innova-

tive che hanno condotto a una crescita estremamente rapida della capacità di trasporto dei sistemi di telecomunicazione [2], [10]. Queste tecnologie innovative stanno dimostrando le potenzialità da esse presentate anche nelle applicazioni nei sistemi sottomarini. L'utilizzo degli EDFA costringe tuttavia ad operare nella regione dello spettro in cui l'erbio può fornire un'amplificazione laser, cioè su una finestra utile dello spettro di 20÷30 nm (2,50÷3,75 THz) centrata attorno alla lunghezza d'onda di 1550 nm.

Sono disponibili oggi due approcci tecnologici per aumentare la capacità trasmissiva di un collegamento in fibra ottica, entrambi basati sull'amplificazione a fibra attiva [3]:

- l'approccio *TDM (Time Division Multiplexing)*, mediante il quale si aumenta la velocità di cifra moltiplicando elettronicamente nel tempo più tributari a velocità più basse;
- l'approccio *WDM (Wavelength Division Multiplexing)* che consiste nel moltiplicare in una sola fibra più portanti ottiche modulate.

L'approccio TDM è quello seguito tradizionalmente finora in tutti i collegamenti sottomarini, ove operano sistemi di trasmissione con un singolo canale e con velocità di cifra di 565 Mbit/s o, più recentemente, di 2,5 Gbit/s; questi ultimi sistemi sono amplificati otticamente. L'approccio WDM invece ha iniziato ad essere studiato nei laboratori di ricerca in questi ultimi anni e sembra essere molto promettente: esso permette infatti di impiegare in un modo più efficace la banda ottica disponibile e, in prospettiva, dovrebbe consentire di realizzare architetture di rete con instradamento completamente ottico dei segnali, aggiungendo un nuovo grado di libertà, la lunghezza d'onda, nello strato fisico di trasporto.

A causa della semplicità realizzativa, per tutti i sistemi ottici convenzionali si utilizza il formato di modulazione numerica NRZ, secondo il quale il laser del trasmettitore rimane acceso o spento per l'intero tempo di bit; in presenza di una sequenza di simboli "1" il laser emette perciò luce continua. Lo schema di un generico sistema sottomarino con amplificazione ottica è mostrato in figura 2b).

Nel seguito sono brevemente presentati pregi e problematiche ancora rimaste insolite per entrambi gli approcci da un punto di vista della progettazione. Sarà fatto inoltre riferimento solo a sistemi trasmissivi sincroni (SDH), viste le potenzialità offerte da questa nuova classe di apparati, la cui diffusione sta diventando capillare nelle reti di telecomunicazione mondiali, specie in Europa e (nel formato SONET) in America e in Giappone.

Infine si descriverà un approccio innovativo alla tecnica TDM, l'*OTDM (Optical Time Domain Multiplexing)* [3], che consente l'impiego di un particolare tipo di impulso ottico, il solitone, che gode di proprietà di propagazione molto interessanti [5], [8].

4.1 Sistemi TDM

Come chiarito nel paragrafo 2, l'incremento della velocità di cifra comporta la necessità di avere tolleranze sempre più stringenti circa le caratteristiche di dispersione del collegamento in fibra ottica; questa

esigenza può essere fonte di criticità non trascurabili in molti casi di rilievo in cui devono essere superate distanze di migliaia di chilometri: nei sistemi amplificati otticamente, infatti, gli effetti della dispersione cromatica e della PMD si accumulano. Il portante ottico generalmente utilizzato nei collegamenti sottomarini è quindi la fibra a dispersione spostata (fibra in accordo con la Raccomandazione G.653).

Per gli attuali sistemi SDH operanti a 2,5 Gbit/s (STM-16) il limite teorico di dispersione per un collegamento con un coefficiente di dispersione di 1 ps/nm/km è di circa 16 mila km (figura 1). Nei sistemi dell'ultima generazione si impiegano in genere trasmettitori in cui la luce del laser di sorgente (di tipo DFB) è trattata con un modulatore di ampiezza esterno, che permette di operare in condizioni prossime a quelle teoriche presentate in figura 1.

In queste condizioni il limite massimo per la lunghezza del collegamento è fissato dall'accumulo del rumore ottico degli EDFA. Si può infatti dimostrare [2], [3] che il rapporto segnale/disturbo ottico OSNR di una serie di EDFA posti in cascata è dato, in prima approssimazione, da:

$$OSNR = P_0 - 10 \log_{10} N_{amp} - N_f G(\lambda_0) - 10 \log_{10} (h c \lambda_0 B_r) \quad (2)$$

dove P_0 è la potenza ottica del trasmettitore (in dBm); N_{amp} il numero di amplificatori ottici posti in cascata (supposti identici per semplicità); N_f la cifra di rumore degli amplificatori (in dB); $G(\lambda_0)$ il guadagno ottico (in dB) alla lunghezza d'onda di operazione, λ_0 , che bilancia completamente le perdite della tratta di fibra ottica; B_r la banda elettrica del ricevitore (in Hz); h la costante di Planck ($6,63 \cdot 10^{-34}$ J·s) e c la velocità della luce nel vuoto ($3 \cdot 10^8$ m/s). Generalmente, $N_f = 5 \div 7$ dB; $G = 25 \div 30$ dB; l'ultimo termine dell'espressione (2) è dell'ordine di -59 dBm (su una banda di 10 GHz).

Dalla (2) si può dedurre che l'effetto del rumore ottico dipende in misura sensibile dal passo di amplificazione, che risulta essere così un parametro di progetto molto importante: più grande è infatti la distanza tra gli amplificatori, maggiore è l'attenuazione della tratta di fibra e quindi più alto deve essere il guadagno dell'amplificatore. Per effetto della (2) può quindi essere riscontrata una riduzione dell'OSNR dovuta ad un contributo di rumore ottico più alto. Per garantire un valore del rapporto segnale/disturbo che consenta un corretto funzionamento del sistema, la potenza di lancio del segnale deve essere perciò aumentata.

Tuttavia, la potenza di lancio non può essere aumentata in misura eccessiva perché si presenterebbero effetti dannosi di vario tipo causati dalla risposta non lineare della silice costituente la fibra ottica, quali la modulazione di fase autoindotta *SPM* (*Self Phase Modulation*), che produce un allargamento dello spettro ottico del segnale. Questo effetto, combinato con la dispersione cromatica, produce una distorsione del segnale ancora più marcata, e costringe a ridurre la massima lunghezza consentita per i collegamenti. È quindi disponibile una finestra ben delimitata di valori della potenza ottica di lancio. Solo all'interno di tale finestra il sistema

opera in modo ottimale [3].

Un altro effetto di notevole rilievo nei collegamenti sulla lunga distanza con amplificazione ottica è legato alla non uniformità spettrale delle caratteristiche di guadagno degli EDFA. A causa di questa non uniformità, quando molti EDFA sono posti in cascata la radiazione attorno a 1550 nm è amplificata in misura sempre maggiore a spese della radiazione ad altre lunghezze d'onda. Si produce così un restringimento autoindotto della banda di amplificazione utilizzabile (*gain peaking*) che, nei collegamenti transoceanici, può essere ridotta a pochi nanometri nella regione spettrale attorno 1550-1560 nm [2].

I sistemi operanti con velocità di cifra di 2,5 Gbit/s risultano ancora piuttosto robusti nei confronti di queste limitazioni e lasciano al progettista un margine di azione abbastanza ampio.

Problemi di progettazione molto più complessi si presentano quando è necessario operare ulteriori incrementi della velocità di cifra. La prossima generazione di sistemi SDH opererà infatti alla velocità di cifra di 10 Gbit/s (STM-64). Per un sistema di questo tipo le tolleranze si riducono drasticamente: ad esempio, la massima distanza raggiungibile su una tratta in fibra con 1 ps/nm/km di dispersione media si riduce a 1000 km.

Nei sistemi a singolo canale ad altissima velocità di cifra operanti sulla lunga distanza, anche la PMD risulta essere una caratteristica del collegamento molto critica: un coefficiente di PMD abbastanza contenuto, ad esempio di 0,2 ps/√km, su 10 mila km di propagazione conduce infatti a un ritardo medio di 20 ps, difficilmente tollerabile per i sistemi operanti a 10 Gbit/s. L'effetto della PMD, che segue un comportamento statistico, si accoppia infatti con la leggera dipendenza dalla polarizzazione del guadagno degli EDFA (*Polarisation Hole Burning*) [2] e dei componenti ottici in essi contenuti e porta a fluttuazioni casuali del tasso d'errore. Questi effetti sono stati osservati e per essere evitati richiedono che nel trasmettitore siano utilizzate speciali tecniche di modulazione della polarizzazione. Una ulteriore limitazione è legata al rapporto segnale/disturbo più elevato che il ricevitore di un sistema a 10 Gbit/s richiede rispetto ai sistemi a 2,5 Gbit/s. Inoltre a causa della maggiore banda elettrica da esso trattata, anche l'effetto del rumore ottico degli amplificatori diviene più rilevante. A ciò si aggiunge infine che la potenza più elevata necessaria per ottenere un adeguato OSNR produce un aumento marcato dell'incidenza degli effetti non lineari (soprattutto la SPM).

La progettazione di sistemi sottomarini a 10 Gbit/s richiede quindi l'adozione di speciali accorgimenti tecnici per minimizzare l'impatto negativo dei diversi effetti appena menzionati: un accorgimento molto semplice per contenere l'accumulo del rumore ottico consiste nel ridurre il passo di amplificazione. Questa soluzione comporta tuttavia l'aumento del numero degli EDFA sommersi.

Per ridurre invece gli effetti dovuti alla dispersione e alla non linearità, l'utilizzo di opportuni criteri di distribuzione della dispersione lungo il collegamento (*dispersion management*) ha mostrato in numerosi esperimenti di laboratorio una notevole efficacia

L'AMPLIFICATORE OTTICO A FIBRA ATTIVA: PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO

L'Amplificatore ottico a Fibra Attiva (AFA) è un dispositivo chiave per i moderni sistemi di telecomunicazioni ottiche. Come già chiarito nel corpo principale dell'articolo, il suo pregio principale è quello di agire direttamente sul segnale ottico evitando le conversioni opto-elettriche. Lo schema generico di un AFA è illustrato nella figura a.

Il segnale da amplificare entra nel dispositivo ed è multiplato, tramite un opportuno accoppiatore ottico (multiplicatore WDM) con la radiazione continua del laser che fornisce l'energia per l'amplificazione (laser di pompa). I due segnali entrano nella fibra attiva (FA) che trasferisce energia dalla radiazione di pompa a quella del segnale amplificandolo. Parte dell'energia disponibile è però utilizzata per creare nelle due direzioni di propagazione un segnale spurio incoerente ASE (*Amplified Spontaneous Emission*), che è a sua volta amplificato e che si somma al segnale utile. La radiazione di pompa non assorbita è successivamente estratta. L'isolatore ottico, un componente che consente il passaggio della luce in un solo verso di propagazione (quello indicato dalla freccia), impedisce infine l'ingresso nell'AFA di luce riflessa e di ASE prodotta da eventuali altri AFA a valle del dispositivo.

Il principio di funzionamento di un AFA è basato sull'effetto laser: il mezzo attivo è costituito da ioni di terre rare inclusi nella matrice del vetro costituente una fibra ottica: la fibra attiva. Gli ioni sono confinati per mezzo di opportune tecniche nella regione del nucleo guidante della fibra. Per l'amplificazione attorno a 1550 nm si utilizzano ioni erbio che possono essere inclusi senza problemi nelle matrici germano-silicatiche

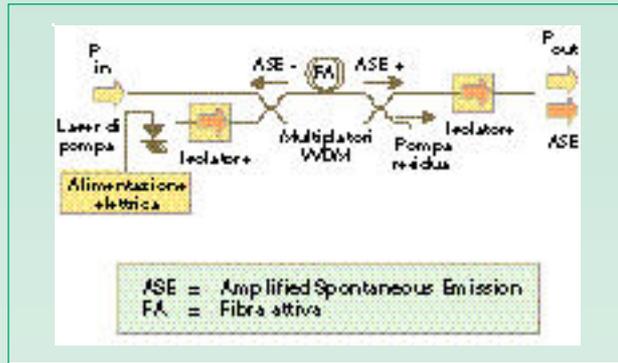


Figura a Schema di un generico amplificatore ottico a fibra attiva.

tipiche delle fibre ottiche per telecomunicazioni. Per la seconda finestra possono essere impiegati invece ioni neodimio o praseodimio, che però richiedono l'utilizzo di matrici vetrose speciali (vetri fluorozirconati) e che sono meno efficienti dell'erbio impiantato nella silice. Gli ioni erbio in silice presentano una banda di emissione che si estende da 1530 nm a 1565 nm e operano secondo uno schema laser a tre livelli, come illustrato in figura b. Nella figura sono mostrati i livelli energetici dell'elettrone più esterno degli ioni erbio. La radiazione di pompa promuove l'elettrone dal livello più basso al livello di pompaggio, dal quale l'elettrone decade in modo estremamente rapido per portarsi al livello laser superiore, cedendo così energia al reticolo della matrice vetrosa. La radiazione di pompa eccita quanti più atomi possibile al livello laser superiore, determinando nel mezzo attivo uno stato di *inversione di popolazione*, detto così perché in esso si verifica la situazione opposta rispetto allo stato di equilibrio termico, in cui è maggiormente popolato il livello energetico più basso [19]. L'erbio presenta bande di assorbimen-

to a varie lunghezze d'onda nel visibile e nel vicino infrarosso. Le più interessanti dal punto di vista delle applicazioni sono quelle attorno alle lunghezze d'onda di 980 nm e di 1480 nm, regioni spettrali nelle quali peraltro sono disponibili sorgenti laser a diodo semiconduttore. Illuminando dunque gli ioni erbio con radiazione a 980 nm o 1480 nm iniettata nella fibra attiva, è prodotta l'inversione di popolazione ed è così fornita al mezzo attivo l'energia per l'amplificazione.

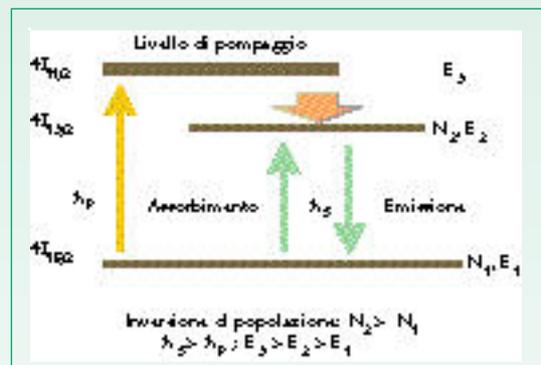


Figura b Schema dei livelli energetici degli ioni erbio. Alla sinistra sono riportate le notazioni spettroscopiche relative ai vari livelli; N_j indica il numero di atomi per unità di volume al livello j ; si osservi che $E_3 - E_1 = hc/\lambda_p$ e $E_2 - E_1 = hc/\lambda_s$.

Se sugli ioni così attivati viene fatta incidere radiazione di lunghezza d'onda compresa nella banda di emissione questa è amplificata tramite il meccanismo dell'*emissione stimolata*. Un fotone del segnale, incidendo su uno ione attivo, provoca quindi la diseccitazione di esso tramite emissione di un altro fotone con caratteristiche identiche a quello incidente.

[12], [13]. Un criterio di progetto molto semplice consiste nell'impiegare alternativamente lungo il collegamento fibre con dispersione (non necessariamente bassa) di segno opposto e di opportuna lunghezza in modo tale da annullare la dispersione

media del collegamento. In particolare, la collocazione di fibre a dispersione negativa immediatamente a valle di ogni EDFA, cioè nei punti nei quali la potenza ottica media è più elevata, mitiga gli effetti dovuti alla non linearità.

Questi due fotoni provocano la diseccitazione di altri ioni e così via in un modo molto simile ad una reazione a catena. Gli ioni eccitati possono però diseccitarsi spontaneamente, senza l'intervento di fotoni del segnale.

I fotoni generati dall'*emissione spontanea* sono emessi in tutte le direzioni e su tutto lo spettro di frequenze della banda di emissione. Parte di questi vengono catturati dalla fibra ottica e subiscono un processo di amplificazione analogo a quello del segnale, e così è sottratta energia all'amplificazione.

Questa radiazione di sottofondo, a cui si è già accennato (*ASE*), è generata in ambedue le direzioni di propagazione e si sovrappone al segnale amplificato provocando un degrado del rapporto segnale/disturbo ottico (OSNR).

I principali parametri che caratterizzano le prestazioni di un AFA sono i seguenti [20]:

- il guadagno, G ;
- la potenza di saturazione;
- la cifra di rumore.

Il guadagno di un AFA è definito come il rapporto, generalmente espresso in decibel, tra la potenza in uscita e la potenza in ingresso al dispositivo. Valori tipici del guadagno variano tra 30 e 35 dB; in particolari configurazioni possono essere raggiunti valori del guadagno attorno ai 45-50 dB. Il guadagno dell'amplificatore si modifica al variare della lunghezza d'onda all'interno della banda di amplificazione, come illustrato in figura c nel caso di un EDFA.

Inoltre esso dipende dal valore della potenza del segnale in ingresso: raggiunto un certo valore critico, il guadagno dell'amplificatore, fino ad allora costante, diminuisce rapidamente al crescere della potenza in ingresso. Questo fenomeno, che può essere rilevato dall'esame delle curve riportate in figura c, è detto di *saturazione* ed è causato dalla riduzione del livello di inversione di popolazione prodotta da un segnale intenso. Il parametro che lo caratterizza è la *potenza di saturazione* in uscita, definita per convenzione come la potenza ottica emessa dal dispositivo per cui il

guadagno dell'AFA si dimezza.

Negli EDFA questo parametro generalmente assume valori tra i 13 e i 20 dBm.

La *cifra di rumore* invece misura di quanto l'OSNR all'uscita dell'amplificatore è peggiorato, a causa dell'ASE, rispetto al valore in ingresso: nel caso teorico (filtraggio estremamente selettivo attorno al segnale utile, mezzo attivo completamente invertito, assenza di perdite in ingresso del dispositivo) si ha una diminuzione

La disuniformità spettrale del guadagno costituisce un problema per le applicazioni degli EDFA nei sistemi multicanale, perchè disequalizza le diverse portanti ottiche. Essa è mitigata in condizioni di segnale più intenso, quando l'amplificatore è saturato, ma in queste condizioni il guadagno è sensibilmente ridotto. Un modo per ovviare a questo inconveniente consiste nel cambiare la matrice vetrosa che ospita gli ioni erbio, ad esempio sostituendo il vetro silicatico con vetro fluoro-zirconato (ZBLAN). In questo caso infatti la differenza composizione chimica del vetro produce leggere variazioni nella struttura dei livelli energetici dell'erbio, e ne modifica le caratteristiche di assorbimento e di emissione. Per fare un esempio "prezioso", questo fenomeno è lo stesso che produce la colorazione rossa del

rubino o verde dello smeraldo. Lo ione drogante, le cui bande di assorbimento sono modificate è in questo caso il cromo in una matrice cristallina di Al_2O_3 (rubino) ovvero di berillo, $Al_2Be_3(Si_6O_{18})$ (smeraldo). In generale gli AFA in erbio: silice presentano guadagno uniforme su una regione di circa 20 nm attorno a 1550 nm, contro gli oltre 30 nm di quelli in erbio: con vetro fluoro-zirconato.

Il guadagno delle fibre attive in silice può infine essere reso uniforme utilizzando amplificatori a più stadi unitamente a opportune tecniche di filtraggio ottico (reticoli di diffrazione in fibra ottica).

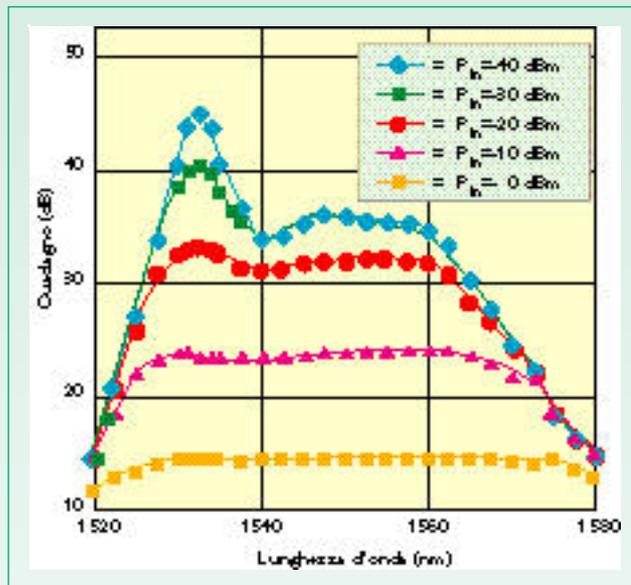


Figura c Effetti spettrali di saturazione del guadagno in un AFA ad erbio al variare della potenza del segnale in ingresso.

dell'OSNR di 3 dB. Nelle applicazioni pratiche, la cifra di rumore dipende in modo sensibile dalla lunghezza d'onda di pompaggio (oltre che dalla lunghezza d'onda di operazione). La condizione più favorevole è ottenuta pompando l'erbio a 980 nm: in questa configurazione si produce infatti nel mezzo una inversione di popolazione più elevata che non nel caso del pompaggio attorno a 1480 nm. Per gli EDFA pompati a 980 nm la cifra di rumore è generalmente dell'ordine di 5-6 dB, quindi ancora abbastanza vicina al limite teorico; per quelli pompati a 1480 nm essa cresce invece fino a 7-9 dB.

Per queste difficoltà, si tende oggi a limitare la massima velocità di trasmissione a 5 Gbit/s e a ricorrere per gli ulteriori incrementi di capacità all'utilizzo della tecnologia WDM.

Una modo molto efficace per guadagnare un ulte-

riore margine per il sistema è l'impiego di opportuni codici correttori d'errore del tipo *FEC* (*Forward Error Correction*), quale quello di Reed-Solomon. Questi codici, impiegati oggi estesamente, sono descritti nella Raccomandazione ITU-T G.975 (*Forward Error*

Correction for Submarine Systems): essi sono in grado di ridurre a 10^{-11} un tasso di errore di linea di 2×10^{-4} , con una ridondanza sul segnale utile di solo il 7 per cento. Un canale STM-16 cui sia applicato un codice FEC opera alla velocità di cifra di 2,66 Gbit/s. Grazie ai codici FEC, il ricevitore può accettare OSNR più bassi e possono essere ottenuti incrementi di oltre 4 dB del margine di sistema. Questo margine può essere speso, ad esempio, per aumentare il passo di amplificazione, con una conseguente riduzione dei costi necessari per realizzare degli impianti.

4.2 Sistemi Wavelength Division Multiplexing (WDM)

I sistemi WDM presentano il vantaggio di incrementare la capacità di trasporto di una singola fibra con criterio additivo, affiancando più canali TDM, ad esempio tramite l'utilizzo di sistemi a 2,5 Gbit/s (SDH STM-16), sullo stesso portante ottico. In questo modo i vincoli di sistema sul singolo canale sono meno stringenti.

La moltiplicazione ottica comporta tuttavia altri tipi di problemi. Lo schema di un tipico sistema WDM è mostrato nella figura 3.

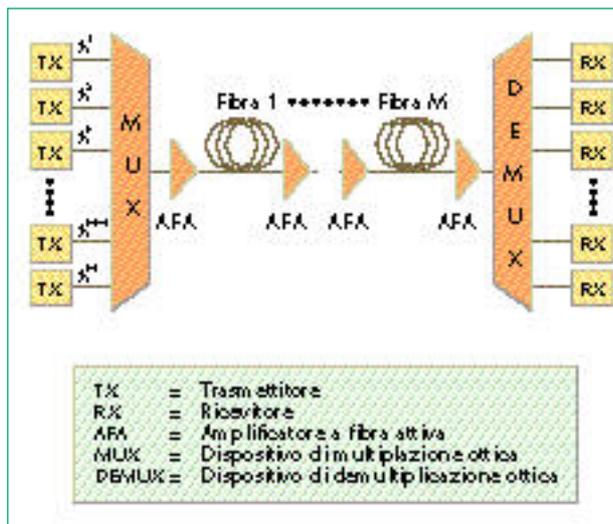


Figura 3 Schema di un collegamento punto a punto con la tecnica della divisione di lunghezza d'onda WDM.

Il segnale modulato, uscente da N trasmettitori, è moltiplicato tramite un diramatore passivo 1:N nella fibra di linea. Il numero dei canali può variare oggi da 4 a 32. Le perdite del dispositivo sono compensate da un EDFA di potenza, che amplifica simultaneamente tutti i canali riportandoli al livello desiderato. Una serie di amplificatori di linea posti in cascata compensa l'attenuazione delle tratte di fibra; al termine del collegamento i segnali sono demultiplicati tramite un diramatore passivo e un filtro selettivo in lunghezza d'onda isola il canale desiderato per inviarlo al ricevitore. Le perdite per la diramazione e il filtraggio sono compensate da un preamplificatore ottico posto a monte del demultiplicatore.

Per consentire ai diversi canali di fornire prestazioni equivalenti, i vari elementi costituenti il sistema

devono soddisfare una serie di requisiti, attorno ai quali è oggi in corso un notevole sforzo tecnologico: l'amplificatore ottico deve anzitutto consentire di amplificare i diversi canali in modo adeguato e in egual misura. Questa richiesta comporta, nei sistemi con un numero di canali medio-alto, di sviluppare EDFA molto potenti (fino a 17 dBm), dotati di accorgimenti costruttivi che consentano di equalizzare il guadagno dell'erbio, che presenta una natura spettrale disuniforme, come è già stato osservato nel paragrafo precedente a proposito del *gain peaking* [2], [14]. Un approccio molto efficace per equalizzare il guadagno consiste nel realizzare EDFA a più stadi di amplificazione che utilizzano al loro interno speciali filtri costruiti con la tecnologia dei reticoli di diffrazione realizzati per effetto foto-rifrattivo direttamente nella fibra ottica [15]. Un altro approccio al problema consiste nell'impiego di fibre attive in cui gli ioni erbio sono impiantati in matrici vetrose fluorurate (*si veda al riguardo il riquadro a pagina 36*), che offrono per loro natura caratteristiche di maggiore uniformità nello spettro del guadagno. Gli amplificatori devono infine possedere un meccanismo attivo di controllo del guadagno per garantire il corretto funzionamento del sistema anche quando una o più portanti ottiche vengano soppresse da guasti o da altre motivazioni. Il demultiplicatore deve inoltre presentare un elevato grado di isolamento sui vari canali per ridurre al minimo le penalità legate alla diafonia: anche in queste applicazioni l'utilizzo della tecnologia dei filtri a reticolo sembra essere molto promettente.

I sistemi WDM sono, infine, penalizzati, indipendentemente dalla velocità di modulazione sul singolo canale, dall'insorgere della interazione a quattro fotoni, o *Four Wave Mixing (FWM)* (*si veda al riguardo il riquadro a pagina 32*), che genera prodotti di intermodulazione a ben precise frequenze date da opportune combinazioni delle frequenze delle diverse portanti ottiche [3], [5], [8]. Questo fenomeno è particolarmente dannoso quando i diversi canali sono spazati uniformemente in frequenza. In questo caso i prodotti di intermodulazione cadono all'interno della banda elettrica del ricevitore e interferiscono con il segnale causando penalità di rilievo.

L'efficienza del FWM dipende in misura sensibile dalla distribuzione della dispersione lungo la fibra ed è massima quando questa è prossima allo zero sull'intero collegamento. Nella realizzazione di sistemi WDM sottomarini, va dunque posta la massima attenzione alla distribuzione della dispersione lungo il collegamento. Conviene evitare infatti di utilizzare fibre ottiche con lunghezza d'onda di dispersione nulla che cada all'interno del pettine delle portanti ottiche del sistema, quali sono ad esempio le fibre a dispersione spostata. Il portante fisico ideale per queste applicazioni dovrebbe essere una fibra ottica a bassa dispersione, che non presenti lo zero della dispersione nella finestra spettrale in cui il sistema opera. Questa famiglia di fibre *NZD (Non Zero Dispersion)* è stata già normalizzata dalla ITU-T con la Raccomandazione G.655. Tuttavia, la presenza di dispersione residua conduce a differenti penalità sui differenti canali del sistema, anche se si utilizzano i criteri di *dispersion management* esposti nel paragrafo precedente.

In generale, infatti, a causa della pendenza non nulla della curva di dispersione presentata dalle fibre *standard* per telecomunicazioni, l'equalizzazione completa della dispersione può essere ottenuta solo a una determinata lunghezza d'onda, che può essere scelta diversamente a seconda del progetto e della particolare applicazione. Alcuni canali della griglia presentano quindi una certa dispersione residua che, sulle distanze caratteristiche dei sistemi sottomarini, si accumula raggiungendo valori considerevoli. Al termine della linea, dopo lo stadio di demultiplazione ottica, può essere perciò necessario equalizzare ogni singolo canale utilizzando una opportuna fibra compensatrice, ovvero speciali dispositivi basati sulla fotoinduzione su un breve spezzone di fibra ottica di un reticolo di Bragg con passo variabile (*Chirped Bragg Grating*) [7].

In ITU-T, nella bozza di Raccomandazione *G.mcs* (*multi-channel systems*, che tuttavia si riferisce a sistemi terrestri), è in fase di normalizzazione una griglia di riferimento per le frequenze ottiche che potranno essere impiegate nei sistemi WDM. In base alla griglia proposta, oggetto di un acceso dibattito in ITU-T, la spaziatura minima tra i canali WDM è di 100 GHz (0,8 nm a 1550 nm). Sulla banda di amplificazione offerta dagli amplificatori ottici oggi disponibili (circa 30 nm) potrebbero dunque essere allocati non più di quaranta canali.

Anche nei sistemi WDM sono molto impiegati codici correttori d'errore di tipo FEC: in questo caso si tende però a utilizzare la maggiore tolleranza sull'OSNR, che si guadagna con l'impiego dei codici FEC, per ridurre la potenza ottica sui vari canali. Si riduce considerevolmente in questo modo l'incidenza degli effetti non lineari (SPM, FWM e XPM).

I sistemi WDM potranno essere utilizzati nel breve termine per potenziare le prestazioni dei sistemi sottomarini punto-punto e per sfruttare così parte dell'ampio margine di sistema che in genere si assume in sede di progetto. In prospettiva, le potenzialità del WDM potranno essere impiegate in modo più completo progettando reti sottomarine con instradamento ottico, utilizzando degli *add-drop multiplexers* ottici completamente passivi, in grado di estrarre e reinserire uno o più canali, come sarà chiarito nel paragrafo successivo.

Un quadro riassuntivo dello sviluppo delle tecnologie di trasmissione TDM e WDM è mostrato nella tabella 3: in essa sono elencati i sorprendenti risultati conseguiti in laboratorio negli ultimi anni; in questi esperimenti sono state utilizzate soluzioni tecniche piuttosto complesse, in conseguenza dei notevolissimi progressi ottenuti, che hanno portato le attuali

tecnologie ottiche a sfiorare i limiti fisici intrinseci al portante ottico. Quasi tutti gli esperimenti, i cui risultati sono riportati in tabella, sono stati effettuati in una configurazione sperimentale detta ad anello di ricircolazione, nella quale la propagazione fino alla distanza desiderata è emulata facendo circolare più volte una sequenza di dati in un anello di fibra ottica contenente alcuni amplificatori ottici e in cui la fibra è avvolta su bobine. Queste configurazioni sono estremamente efficaci per gli obiettivi perseguiti con le prove in laboratorio, volti ad esplorare i limiti delle diverse tecniche di trasmissione; esse tuttavia hanno il difetto di non rispecchiare generalmente le caratteristiche dei collegamenti reali.

Capacità totale (Gbit/s)	Velocità di cifra/canale (Gbit/s)	Numero di canali	Distanza (migliaia di km)	Anno	Ente
10	5	2	4,5	92	KDD
10	10	1	9,0	93	KDD/AT&T
10	2,5	4	4,0	94	Pirelli
20	2,5	8	4,0	95	Pirelli
80	2,5	32	4,0	96	Pirelli
40	5	8	8,0	95	AT&T
100	5	20	6,3	95	AT&T
110	5	22	9,5	96	KDD
160	5	32	9,3	97	AT&T

Tabella 3

Cronologia dei progressi tecnici ottenuti con le tecnologie ottiche di trasmissione convenzionali (TDM e WDM).

4.3 Un nuovo approccio trasmissivo ai sistemi Time Division Multiplexing (TDM): i sistemi solitonici

Una alternativa alla multiplazione nel tempo di tributari elettrici che consente di raggiungere cadenze di trasmissione estremamente elevate (20-40 Gbit/s ed oltre) è costituita dalla multiplazione diretta nel tempo di più tributari ottici *OTDM* (*Optical Time Domain Multiplexing*). Questo procedimento non permette di utilizzare il formato convenzionale di modulazione NRZ, ma richiede di adottare il formato RZ con impulsi ottici molto stretti, così da poter interallacciare le sequenze ottiche tributarie utilizzando opportuni dispositivi (ad esempio linee di ritardo ottiche e accoppiatori 2x2).

All'interno della cornice dell'OTDM, le difficoltà di progetto legate alla ricerca di bilanciare le esigenze contrastanti di avere un elevato rapporto segnale/disturbo in ricezione e di evitare l'insorgenza di effetti non lineari, trovano una soluzione concettualmente molto elegante con l'adozione di tecniche di trasmissione con solitoni ottici. Con queste tecniche l'insorgenza di effetti non lineari non è dannosa, ma è ricercata deliberatamente: il solitone è infatti un particolare tipo di impulso ottico, che può essere generato in un mezzo non lineare di tipo Kerr, per il quale l'ef-

fetto della dispersione è completamente bilanciato dalla non linearità [5], [8]. Questo bilanciamento è possibile solo nella regione in cui la dispersione della fibra è positiva (regione di dispersione anomala, si veda il riquadro a pagina 30). In condizioni ideali (assenza di perdite), il solitone si propaga indefinitamente senza distorsioni. La compensazione della dispersione si ottiene per un dato profilo temporale dell'impulso (secante iperbolica) quando è soddisfatta una relazione che lega la larghezza dell'impulso alla sua potenza di picco: secondo questa relazione, minore è la dispersione, più bassa è la potenza necessaria per eccitare un solitone ottico. Questi limiti stringenti non pongono tuttavia problemi nelle realizzazioni pratiche, perché il solitone è una soluzione stabile delle equa-

problemi: in primo luogo, le sorgenti da utilizzarsi nei sistemi devono essere in grado di produrre sequenze di impulsi privi di modulazione di fase spuria. Questi tipi di sorgenti, basate su laser ad anello in fibra attiva, operanti in regime di *mode-lock*, sono in grado di produrre impulsi ottici della durata di pochi picosecondi a cadenze di cifra di 10 GHz, ma sono ancora abbastanza complesse e richiedono una stabilizzazione termica molto accurata, oltre a un preciso controllo della polarizzazione in cavità [2].

Nonostante i risultati di grande interesse ottenuti in laboratorio (si veda la tabella 4), una ulteriore difficoltà che si oppone all'applicazione di sistemi solitonici nei collegamenti reali è il passo eccessivamente ridotto degli amplificatori (circa 40 km). È oggi in

corso di attuazione un notevole sforzo di ricerca per superare questa limitazione; alcune soluzioni sono già state proposte e sono in via di sperimentazione.

Un altro campo di applicazione molto promettente riguarda l'utilizzazione di tecniche di trasmissione solitoniche nei sistemi WDM; in questo caso il principale problema da affrontare riguarda le collisioni tra solitoni a frequenze diverse: esse si verificano in quanto i solitoni presenti nei diversi canali (cioè a lunghezze d'onda differenti) si propagano a velocità diversa a causa della dispersione cromatica della fibra. In un mezzo ideale senza

perdite, due solitoni di diverso colore si attraversano recuperando il profilo temporale originale dopo la collisione. Questa caratteristica è dovuta al fatto che le distorsioni prodotte dall'interazione non lineare nella prima metà della collisione (che avviene generalmente lungo alcune decine di chilometri) sono riassorbite nella seconda. Se i solitoni sono amplificati da un EDFA, mentre la collisione è in corso, questa simmetria è rotta e lo spettro ottico degli impulsi risulta essere alterato; questo comportamento genera un ulteriore *jitter* temporale. Questi problemi sono in via di soluzione mediante opportune tecniche di *dispersion management* ovvero tramite l'utilizzo di opportune tecniche di filtraggio ottico [16], [17].

I sistemi solitonici, se da un lato presentano interessanti vantaggi, dall'altro non sono ancora tecnologicamente maturi e competitivi rispetto a quelli convenzionali impiegati su distanze transoceaniche. Inoltre essi comportano un cambiamento di approccio radicale rispetto a quelli oggi adottati con i sistemi WDM, con le incognite che conseguono in termini di affidabilità, di supervisione e di altre caratteristiche che consentono un agevole e sicuro esercizio di questi sistemi. Non è prevedibile quindi il loro utilizzo nel breve-medio termine.

Un confronto molto interessante e particolareggiato tra le prestazioni dei sistemi TDM e WDM convenzionali e i sistemi solitonici è fornito in [17].

Capacità totale (Gbit/s)	Velocità di cifra/canale (Gbit/s)	Numero di canali	Distanza (migliaia di km)	Anno	Ente
10	10	1	1000	1991	NTT
10	5	2	11	1992	AT&T
20	10	2	13	1993	AT&T
20	20	1	9	1995	KDD
60	20	3	10	1996	KDD
80	10	8	9,5	1996	AT&T (Lucent)
200	20	10	6	1997	CNET

Tabella 4 Cronologia dei progressi tecnici ottenuti con le tecnologie ottiche di trasmissione solitoniche.

zioni di propagazione: ad essa infatti tendono ad uniformarsi automaticamente, entro certi limiti, anche gli impulsi che come potenza e forma si discostano in qualche misura dal profilo di un solitone.

In pratica, i solitoni ottici possono essere generati in una linea in fibra ottica nella quale l'attenuazione sia compensata tramite l'utilizzo di EDFA. La distanza tra gli amplificatori deve però essere tale che su di essa la dispersione non distorca in modo troppo marcato l'impulso ottico: in queste condizioni il solitone può "ricostruirsi" dopo ogni stadio di amplificazione e "vede" mediamente una linea senza attenuazione [2].

Limiti fondamentali alla massima distanza di propagazione di una sequenza di impulsi solitonici ed alla velocità di cifra sono fissati rispettivamente dalla interazione non lineare tra il rumore ottico degli EDFA e i solitoni, che provoca una fluttuazione dei tempi di arrivo dei solitoni stessi (*jitter* di Gordon e Haus), e dall'interazione tra solitoni adiacenti che, se sono troppo vicini temporalmente, possono attrarsi e collidere o respingersi alterando così la sequenza dei dati: esperimenti recenti hanno permesso di rilevare che le tecniche di *dispersion management* utilizzate per compensare la dispersione nelle trasmissioni convenzionali risultano benefiche anche nei confronti del *jitter* di Gordon-Haus [16].

Nelle applicazioni pratiche delle tecniche di trasmissione solitonica si incontrano però alcuni

5. Stato attuale e prospettive future dei sistemi ottici sottomarini

Dal loro avvento nel 1985, i sistemi ottici sottomarini si sono rapidamente moltiplicati in tutto il mondo. Da allora sono stati posati oltre 500 mila km di cavi sottomarini che connettono più di 60 Paesi.

Inizialmente i sistemi ottici sono stati utilizzati nei collegamenti punto-punto. I sistemi di prima generazione operavano in seconda finestra a velocità di cifra di 140 Mbit/s ed erano limitati in attenuazione. In questi sistemi, utilizzando fibre convenzionali (Raccomandazione ITU-T G.652), la sezione di rigenerazione era di circa 40-60 km, a causa dell'attenuazione più elevata della fibra ottica attorno a 1310 nm (circa 0,35-0,40 dB/km). Con l'introduzione delle fibre a dispersione spostata (Raccomandazione ITU-T, G.653), potendo operare nella regione nella quale si ha il minimo assoluto dell'attenuazione per le fibre in silice, si è potuta spingere la tratta di rigenerazione anche sopra i 120 km, con velocità di cifra fino a 565 Mbit/s nella gerarchia plesiocrona (PDH), come mostrato nel § 2.

In anni più recenti hanno cominciato ad essere realizzate architetture embrionali di rete, come per il TAT-8 (1988) e TPC-3 (1989), condividendo i cammini ottici sottomarini sullo stesso cavo. Per consentire l'approdo in più punti, i cammini erano separati tramite opportune unità di diramazione sommerse. Queste unità erano dotate di un rigeneratore per ogni cammino ottico e di commutatori elettrici per instradare opportunamente il traffico, permettendo di connettere tutti gli approdi, ovvero di concentrare la capacità su un numero minore di essi per necessità di traffico ovvero per danneggiamento del collegamento in uno degli approdi.

Una struttura di rete più complessa fu realizzata nel 1991 con il TAT-9, che ha cinque punti di approdo e la possibilità di reinstradare il traffico tramite moltiplicatori elettrici sommersi in grado di gestirlo. Il sistema TAT-9 opera con sistemi con velocità di cifra di 565 Mbit/s; la complessità delle apparecchiature sommerse ha tuttavia comportato un tale aumento dei costi che nessun'altra rete sottomarina di questo stesso tipo è stata realizzata successivamente.

La nuova generazione di sistemi sottomarini a singolo canale con amplificazione ottica opera con velocità di cifra variabili da 2,5 Gbit/s a 5 Gbit/s. Questo salto di qualità, ottenuto a prezzi più contenuti rispetto ai sistemi precedenti, ha consentito di realizzare collegamenti sottomarini transoceanici con percorsi di ridondanza anche nel tronco principale. Sistemi a 2,5 Gbit/s ed a 5,3 Gbit/s sono già in servizio per collegamenti che attraversano l'Oceano Atlantico (TAT-13), l'Oceano Pacifico (TPC-5) e per una molteplicità di collegamenti più brevi (continentali) posati in diverse parti del mondo. Questi sistemi generalmente forniscono ancora collegamenti punto-punto tra le reti di trasporto terrestri *SDH* (*Synchronous Digital Hierarchy*) dei diversi Paesi: in Italia, ad esempio, sono oggi in servizio sistemi senza rigeneratori a 2,5 Gbit/s nella rete di trasporto nazionale sui collegamenti sottomarini a festoni.

La nuova generazione di sistemi sottomarini è stata concepita con l'obiettivo di consentire capacità

di trasporto dell'ordine di qualche decina di Gbit/s. La tecnologia più promettente allo scopo - e in via di consolidamento - sembra essere quella del WDM, come ampiamente discusso nei paragrafi precedenti. Il WDM offre infatti il duplice vantaggio di permettere una crescita graduale della capacità del collegamento e di introdurre flessibilità nella rete, consentendo l'instradamento in lunghezza d'onda dei flussi ottici dei dati di informazione.

Questo considerevole miglioramento della connettività dei sistemi sottomarini costituisce la principale motivazione trainante per lo sviluppo e la rapida introduzione della tecnologia WDM: l'utilizzo estensivo dell'amplificazione ottica e della SDH nelle reti terrestri sta infatti aprendo prepotentemente la strada all'introduzione dei nuovi concetti di *optical networking* anche nel settore dei sistemi sottomarini, con l'adozione di architetture di rete magliata o ad anello. L'impiego combinato di amplificatori ottici e della tecnologia WDM sta di fatto avviando una nuova rivoluzione nel settore, rendendo realizzabili reti ottiche su scala transoceanica.

L'utilizzo dell'amplificazione ottica ha già consentito di realizzare semplici strutture di reti sottomarine, in grado di fornire una protezione, mediante una topologia ad anello semplice (TAT-12 e TAT-13 e TPC 5) con più cammini di ridondanza e con tempi di ripristino veloci. In altri sistemi, quali quelli *APCN* (*Asia Pacific Cable Network*) è stata invece predisposta la possibilità di diramazione con dispositivi sommersi.

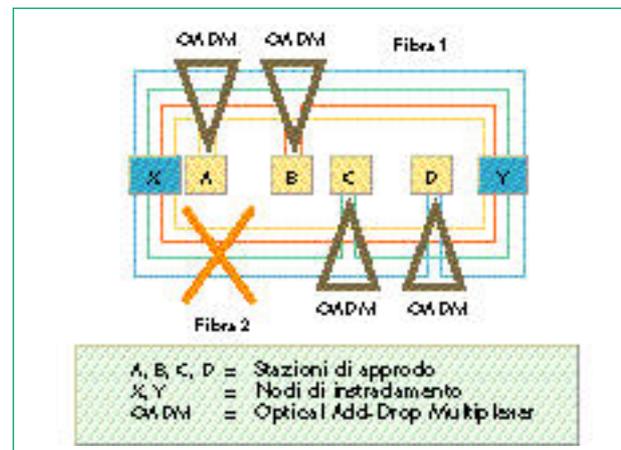


Figura 4 Architettura esemplificativa di rete che garantisce la ridondanza dei collegamenti.

Una semplice architettura in grado di assicurare la connettività tra varie stazioni di terra, ad esempio a seguito di una interruzione di linea, è mostrata nella figura 4: essa utilizza due fibre e quattro lunghezze d'onda (contraddistinte dai quattro diversi colori), mentre la riconfigurazione è effettuata tramite elementi di instradamento SDH (*ADM* o permutatori).

Nel caso di rottura della fibra 2 il collegamento della stazione C con A è garantito attraverso Y. Le terminazioni Y e X agiscono come nodi di instradamento. Il dispositivo chiave di tutte le strutture di questo tipo di connessione è il moltiplicatore inseritore-estrattore ottico *OADM* (*Optical Add-Drop Multi-*

plexer) che è in grado di estrarre e reinserire dalla fibra uno o più canali a lunghezze d'onda stabilite, lasciando transitare gli altri direttamente.

Nella figura 5 è illustrata una possibile realizzazione di questo dispositivo: in essa si utilizzano filtri riflettori a *reticolo di Bragg* fotoimpressi nella fibra e dispositivi chiamati circolatori ottici. L'OADM può anche contenere uno stadio di amplificazione necessario a compensare le perdite causate sui canali in transito dai dispositivi ottici di estrazione e reinserimento del canale. La soppressione della potenza residua sul canale estratto e reinserito deve poi essere molto elevata ed è quindi necessario disporre di un filtraggio ottico molto selettivo e stabile rispetto alle variazioni di temperatura e all'invecchiamento dei componenti.

Poiché gli OADM devono essere generalmente utilizzati in serie, le perdite, la diafonia e la disequalizzazione dei canali ottici introdotte da questi dispositivi devono essere molto contenute.

Per i nuovi sistemi le diverse soluzioni realizzative prevedono l'impiego di un numero di canali variabile da quattro a otto, modulati con una velocità di cifra di 2,5 Gbit/s per canale. Il primo sistema sottomarino ad utilizzare estensivamente l'instradamento ottico e

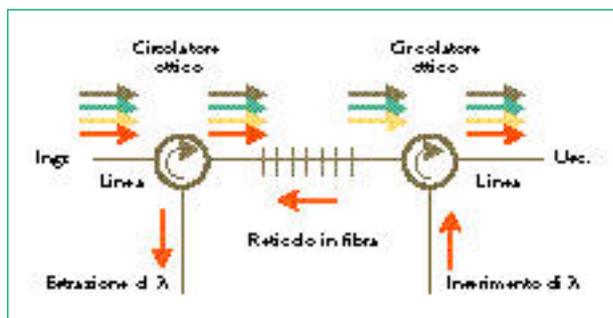


Figura 5 Schema esemplificativo di un Add-Drop Multiplexer (multiplatore, inseritore, estrattore) Ottico.

OADM sarà SEA ME WE 3 che unirà la Gran Bretagna all'Indonesia attraverso il Mediterraneo, il Mar Rosso e l'Oceano Indiano. SEA ME WE porterà inizialmente quattro canali WDM. Gli OADM provvederanno ad estrarre il traffico verso un dato Paese e a reinserire il traffico che da questo parte verso gli altri Paesi serviti dal cavo. Questa tecnologia sarà utilizzata anche nel futuro Africa ONE (Optical Network), che prevede un anello di cavo ottico che circonda l'intero continente africano con OADM per servire i principali Paesi costieri.

È interessante infine segnalare il sistema FLAG (Fiber Link Around the Globe), in fase di ultimazione, che consiste in un collegamento ottico sottomarino che collega tra loro tutti i continenti.

Per ciò che concerne la situazione nel nostro Paese, i primi sistemi sottomarini con tecnologia WDM entreranno in servizio nella rete di Telecom Italia nel 1998 sul collegamento tra Roma e Palermo: inizialmente essi saranno impiegati con una capacità di 5 Gbit/s (2x2,5 Gbit/s) per ogni coppia di fibre su 480 km con quattro amplificatori sommersi. Il collegamento

consente un incremento di capacità fino a 10 Gbit/s aggiungendo altri due canali a 2,5 Gbit/s a quelli già in servizio. Questo incremento si ottiene agendo soltanto sui terminali di linea. La capacità complessiva del collegamento sarà di 80 Gbit/s (cavo ad otto fibre a dispersione spostata). L'incidenza del FWM è stata ridotta utilizzando fibre DS selezionate in modo da avere una lunghezza d'onda di dispersione nulla situata fuori dal pettine costituito dalle portanti ottiche.

6. Conclusioni

Le tecnologie ottiche hanno dato un elevato impulso allo sviluppo di sistemi di trasmissione sottomarini. Sistemi in grado di operare su migliaia di chilometri con capacità dell'ordine di 10 Gbit/s e oltre sono oramai usciti dai laboratori, grazie all'utilizzo di amplificatori ottici (EDFA) e della moltiplicazione nel dominio delle lunghezze d'onda (WDM). L'introduzione degli EDFA nei sistemi sottomarini ha infatti consentito di ridurre o eliminare completamente gli apparati elettronici di rigenerazione sommersi e ha permesso, al contempo, di aumentare l'affidabilità dell'impianto semplificandone la progettazione, per alcuni aspetti, e l'installazione. È stato così possibile in pochi anni ottenere un sostanziale incremento, all'incirca di un fattore otto, della capacità dei sistemi sottomarini a prezzi contenuti, passando dai 565 Mbit/s dei sistemi a singolo canale rigenerati di ultima generazione ai 5 Gbit/s di quelli (sempre a singolo canale) con amplificazione ottica oggi in servizio. Le nuove tecnologie introducono anche nell'esercizio dei sistemi un certo grado di flessibilità poiché consentono di progettare il sistema in modo tale da permettere upgrade graduali delle prestazioni.

Un'altra spinta di rilievo allo sviluppo dei sistemi sottomarini è stata data dall'introduzione della tecnologia WDM che sta aprendo la strada alla realizzazione di reti SDH su scala transoceanica: queste reti, con capacità estremamente elevata, potranno incorporare funzioni di protezione e instradamento che permetteranno di conferire ad esse grande flessibilità con un grado molto elevato di affidabilità. La realizzazione di questi sistemi complessi è ormai imminente e pone obiettivi sfidanti sul piano normativo allo scopo di garantire la compatibilità dei nuovi apparati e componenti tra loro e con le strutture esistenti. La Raccomandazione G.oass, nella quale sono prescritte le principali caratteristiche dei sistemi sottomarini con amplificazione ottica, sarà definita in tutti i dettagli entro il prossimo triennio.

È già in corso in ITU-T, inoltre, un'intensa attività volta a normalizzare i diversi aspetti connessi con i sistemi multicanale: una prima Raccomandazione, G.mcs, riferita oggi ai soli sistemi terrestri, è già stata redatta e approvata; sono in fase di discussione inoltre le modifiche da apportare alle Raccomandazioni sugli amplificatori ottici per includere in esse le applicazioni multicanale. È stato anche concordato, sempre in ambito ITU-T, un ambizioso piano di lavoro che comprende lo sviluppo di diverse Raccomandazioni destinate a coprire in maniera coerente i diversi aspetti del networking ottico quali, ad esempio, gli

aspetti riguardanti gli apparati, la componentistica, le architetture, la gestione.

In conclusione, il sogno shakespeariano del folletto Puck di circondare il mondo con una ghirlanda, citato nell'esergo dell'articolo "Cavi ottici per sistemi di telecomunicazione sottomarini: stato dell'arte e prospettive" pubblicato in questo numero [1], è già stato tradotto in realtà, con la realizzazione del Fibre Link Around the Globe, dall'attuale rete di telecomunicazioni sottomarina che ha ormai avvolto l'intero globo terrestre. È dunque plausibile prevedere che le tecnologie ottiche per i sistemi sottomarini continueranno la loro evoluzione verso funzioni di rete sempre più avanzate e complesse, in modo da consentire di mettere a punto le soluzioni tecniche appropriate per i bisogni specifici degli operatori di mercato.

La biografia degli autori è riportata a pagina 26.

Bibliografia

- [1] Artiglia, M.; Finzi, P.M.; Montalti, F.: *Cavi ottici per sistemi di telecomunicazione sottomarini: stato dell'arte e prospettive*. Su questo stesso numero del «Notiziario Tecnico Telecom Italia».
- [2] Desurvire, E.: *Erbium Doped Fibre Amplifiers: Principles and Applications*. Wiley & Sons, New York, 1994.
- [3] Agrawal, G.P.: *Fiber Optic Communication Systems*. Wiley & Sons, New York, 1994. Scuola Superiore G. Reiss Romoli, L'Aquila, 1997.
- [4] CSELT Technical Staff: *Fiber Optic Communications Handbook*. TAB Books/Mc Graw - Hill, Blue Ridge Summit (PA), 1990.
- [5] Vespasiano, G. (a cura di): *Le fibre ottiche per telecomunicazioni*. Scuola Superiore G. Reiss Romoli, L'Aquila, 1997.
- [6] Paladin, G.; Vespasiano, G.: *Collegamenti in fibra ottica*. Scuola Superiore G. Reiss Romoli, L'Aquila, 1997.
- [7] Artiglia, M.: *Upgrading the capacity of installed optical fibre links to multigigabit bitrates by means of dispersion compensation*. Atti della 22a European Conference on Optical Communications, Oslo, 15-19 settembre 1996, Vol. 1, Articolo MoB.4.1, pp. 1.75-1.82.
- [8] Agrawal, G.P.: *Non Linear Fiber Optics*. Second Edition, Academic Press, San Diego (CA), 1995.
- [9] Di Vita, P.: *La normativa degli Amplificatori Ottici in Amplificatori Ottici II*, a cura di S. Donati e A. Zuccala, AEI, Milano, 1996.
- [10] Costa, B. et al.: *L'Amplificatore Ottico: stato dell'arte e prospettive*, ibidem.
- [11] Bertoglio, F. et al.: *Amplificatori Ottici ad alta affidabilità per reti ottiche sottomarine*, ibidem.
- [12] Gnauck, A. et al.: *160 Gbit/s (8x20 Gbit/s) 300 km transmission with 50 km amplifier spacing and span-by-span dispersion reversal*. «Electronics Letters», Vol. 30, pp. 1241-1243, 1994.

- [13] Lichtman, E.; Evangelides, S.G.: *Reduction of the nonlinear impairment in ultralong lightwave systems by tailoring the fibre dispersion*. «Electronics Letters», Vol. 30, pp. 346-348, 1994.
- [14] Cavaciuti, A.; Meli, F.: *Amplificatori Ottici per reti a multilunghezza d'onda in Amplificatori Ottici II*, a cura di S. Donati e A. Zuccala, AEI, Milano, 1996.
- [15] Cognolato, L. et al.: *Reticoli in fibra ottica: tecnologie ed applicazioni*. Atti di Fotonica '95, Sorrento, 2-4 maggio 1995, pp. 229-234.
- [16] Desurvire, E. et al.: *Solitons for undersea fibre networks*. Atti di Networks & Optical Communications '96, Vol. I Broadband Superhighway, IOS Press, pp. 247-254, 1996.
- [17] Matera, F.; Settembre, M.: *Comparison of the performance of Optically Amplified Transmission Systems*. «Journal of Lightwave Technology», Vol. 14, n. 1, pp. 1-11, 1996.
- [18] Forghieri, F. et al.: *WDM systems with unequally spaced channels*. «Journal of Lightwave Technology», Vol. 13, pp. 889-897, 1995.
- [19] Svelto, O.: *Principi dei Laser*. Seconda Edizione, Tamburini Editore, Milano, 1972.
- [20] Artiglia, M.; Potenza, M.: *Progetto di amplificatori ottici in fibra attiva*. «Alta Frequenza», Vol. IV, n. 4, pp. 217-240, 1992.

Abbreviazioni

AFA	Amplificatore ottico a Fibra Attiva
APCN	Asia Pacific Cable Network
ASE	Amplified Spontaneous Emission
DFB	Distributed Feed-Back
DS	Dispersione Spostata
EDFA	Erbium Doped Fibre Amplifier
FEC	Forward Error Correction
FLAG	Fiber Link Around the Globe
FWM	Four Wave Mixing
NRZ	Non Ritorno allo Zero
NZD	Non Zero Dispersion
OADM	Optical Add-Drop Multiplexer
ONE	Optical Network
OSNR	Optical Signal to Noise Ratio
OTDM	Optical Time Domain Multiplexing
PDH	Plesiochronous Digital Hierarchy
PMD	Polarisation Mode Dispersion
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SONET	Synchronized Optical Network
SPM	Self Phase Modulation
TDM	Time Division Multiplexing
WDM	Wavelength Division Multiplexing
XPM	Cross Phase Modulation
ZBLAN	Zirconio (Zr), Bario (Ba), Lantanio (La), Alluminio (Al), Sodio (Na) (vetro a base di)

Cavi sottomarini nelle telecomunicazioni internazionali

ALFREDO BARBIANI

In uno scenario delle telecomunicazioni mondiali in continua e rapida evoluzione i sistemi in cavo sottomarino continuano a rappresentare il mezzo tecnico trasmissivo in grado di rispondere ai fabbisogni sempre più crescenti di trasporto dell'informazione richiesti dal mercato.

L'articolo, oltre a presentare una sintesi delle tappe fondamentali attraverso cui è passato lo sviluppo dei sistemi in cavo sottomarino dalla metà del secolo scorso ad oggi, mette in evidenza, a seguito delle potenzialità estremamente elevate offerte dalla tecnologia delle fibre ottiche, l'evoluzione nella costituzione di una rete mondiale capillare per telecomunicazioni in cavo sottomarino in grado di provvedere alla comunicazione globale di voce, dati e immagini.

In questo articolo è anche presentato il ruolo di Telecom Italia come promotrice di numerose iniziative nelle varie regioni del mondo e in particolare nel Mediterraneo, che hanno permesso alla Società di collocarsi oggi tra i primi gestori al mondo per le dimensioni della propria rete in cavo sottomarino.

1. Introduzione

Le telecomunicazioni mondiali si sono sviluppate principalmente sulla base delle relazioni commerciali che si sono instaurate nel corso dei decenni tra determinate aree geografiche, in primo luogo tra gli Stati Uniti e l'Europa.

Anche i flussi migratori hanno giocato un ruolo di rilievo in questo sviluppo, soprattutto tra le aree come l'Europa, il Sud America e l'Australia in cui sensibile era la richiesta di connettività tra le comunità locali e la madrepatria da cui esse traevano origine.

Con lo sviluppo della società industriale si è posto fin dall'inizio il problema di estendere le reti di telecomunicazioni ad altri continenti in modo da assicurare la possibilità di comunicare con continuità e sicurezza e di facilitare gli scambi commerciali e le relazioni tra le popolazioni.

I cavi sottomarini, inizialmente telegrafici, sono stati il primo mezzo utilizzato per soddisfare tali esigenze: la posa del primo cavo in grado di trasportare il segnale risale infatti, come è stato ricordato in [1], all'inizio della seconda metà del secolo scorso.

I sistemi in cavo sottomarino, pur vantando quindi una lunga storia, costituiscono una realizzazione tecnica sempre all'avanguardia in quanto in tutti questi anni hanno prontamente recepito o addirittura

stimolato nuove soluzioni tecniche nello sforzo costante di superare le limitazioni poste dalle tecnologie via via impiegate.

In centocinquanta anni si è assistito così ad un crescendo continuo - intensificatosi in questi ultimi decenni - di potenzialità, prestazioni e capacità dei sistemi in cavo sottomarino: dai primi cavi telegrafici messi in servizio nella seconda metà del secolo scorso agli attuali cavi in fibra ottica con amplificatori ottici sommersi.

Questa continua tensione per approntare soluzioni innovative nasce dall'esigenza di soddisfare una domanda sempre crescente in termini di quantità di comunicazioni da trasmettere e, d'altra parte, dalla crescente tipologia di servizi da assicurare, contestuale allo sviluppo dell'economia e delle relazioni su scala planetaria.

2. I portanti ottici nell'attuale scenario delle telecomunicazioni

Lo sviluppo economico di nuove aree quali l'Estremo Oriente e, in particolare, il Giappone, nonché le mutate condizioni politiche in regioni inizialmente chiuse e a scarsa comunicazione con il resto del mondo, quali i Paesi dell'Est europeo, i

Balcani e la Cina - che presentano enormi potenzialità di sviluppo verso il mercato esterno dopo decenni di totale chiusura socio-economica - hanno accelerato in questi ultimi anni, in misura sempre maggiore, la già pur considerevole crescita delle comunicazioni internazionali e in particolare di quelle intercontinentali.

Il parallelo e costante sviluppo della tecnologia dei mezzi trasmissivi ha generato un "circolo virtuoso" tra questo sviluppo e l'aumento della domanda di servizi di telecomunicazioni. Sta di fatto che mentre da un lato l'evoluzione tecnologica ha messo a disposizione mezzi trasmissivi con capacità gradualmente crescenti che, rendendo più facili le comunicazioni, hanno stimolato il mercato e incrementato la domanda di servizi, dall'altro lato le maggiori esigenze della clientela hanno stimolato la tecnologia a fornire soluzioni innovative in grado di soddisfare queste nuove aspettative.

Un esempio concreto è offerto dallo sviluppo oggi in atto di Internet e delle applicazioni multimediali, grazie alla disponibilità di larghezze di banda molto estese dei cavi in fibra ottica, necessarie ai relativi mezzi informatici ormai diffusi capillarmente.

All'avvio di un nuovo sistema sottomarino, si presentano quasi sempre tra i gestori preoccupazioni sulla possibilità di saturare le capacità dei portanti posati che al momento della posa appaiono eccessive. Ma una volta messo in servizio il cavo, si arriva di frequente a saturarlo molto rapidamente per sviluppi non prevedibili al momento del progetto: è quanto è successo, ad esempio, con alcuni cavi dell'Atlantico che presentavano una capacità di circa 8mila circuiti telefonici saturati già nei primi due anni della loro vita.

Gli stessi timori si sono manifestati quando sono stati annunciati per i primi anni del Duemila cavi con capacità superiore al milione di circuiti che oggi sembrano di improbabile saturazione. L'esperienza acquisita in tutti questi anni rende però confidenti che, con i nuovi servizi, anche in questo caso si arriverà prima del previsto alla piena utilizzazione del nuovo portante trasmissivo.

Si è così realizzata progressivamente una rete sottomarina sempre più estesa che costituisce una vera e propria maglia mondiale in grado di provvedere alla comunicazione globale, cioè al trasporto di qualsiasi tipo di segnale, indipendentemente dalla sorgente che lo ha generato (voce, dati, immagini): grazie infatti alle possibilità offerte dalla tecnologia, è stato possibile realizzare strutture di rete sempre più articolate, sostituendo al collegamento punto-punto, tipico delle connessioni via cavo, collegamenti multipunto con diramazioni in grado di connettere contemporaneamente più Paesi, fino a pervenire a strutture ad anello a sé stanti o appoggiate ad altri collegamenti dorsali (backbone), quale quella schematizzata nella figura 1.

3. I Consorzi per la realizzazione e la gestione dei portanti sottomarini

Fin dalle prime iniziative, la realizzazione di un sistema in cavo sottomarino intercontinentale è risultata essere un progetto di rilievo ad alto rischio

imprenditoriale, con investimenti estremamente elevati da ripartire possibilmente tra più partner, promotori dell'iniziativa, dotati di notevoli possibilità economiche e tecnologiche. In questi anni si è così sviluppata l'impresa consortile: il prodotto che si vende, si compra o si affitta è la capacità, cioè il numero di circuiti sui quali un gestore o, molto più spesso, una coppia di gestori decide di investire risorse per soddisfare le esigenze di trasporto dell'informazione con i propri corrispondenti. La Minima Unità di Investimento, denominata *MIU*

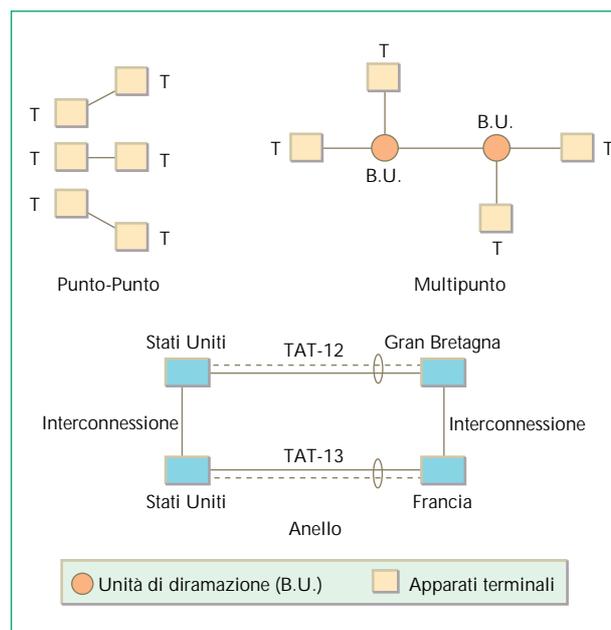


Figura 1 Evoluzione della struttura delle reti in cavo sottomarino.

(*Minimum Investment Unit*) non è più il singolo circuito a 64 kbit/s ma il flusso a 2 Mbit/s, convenzionalmente condiviso e acquistato a metà ("half MIU") tra i due gestori ad esso interessati. È comunque possibile, nella maggior parte delle realizzazioni di impianti sottomarini in cavo, che un singolo gestore acquisisca l'intera capacità (end to end) su un dato collegamento, qualora valutazioni strategiche o commerciali siano tali da far preferire su alcune direttrici l'intera proprietà della capacità da gestire nel corso degli anni in maniera più flessibile.

Gli investimenti, spesso di notevole entità, richiesti per progettare e per realizzare queste opere, sono suddivisi tra i diversi gestori interessati all'iniziativa in misura proporzionale alla capacità che essi si impegnano ad acquisire, nell'ambito del sistema, prima dell'avvio su di esso del servizio commerciale. Questo "impegno" dà ad essi il diritto, nella fase di studio sistemistico del collegamento, di esercitare la propria influenza sull'architettura del collegamento e successivamente, nel corso della realizzazione, di partecipare ad ogni decisione in materia sia tecnica che commerciale in modo da realizzare un sistema di

ottima qualità e da garantire al consorzio di proprietari il massimo profitto ottenibile da una vendita oculata della capacità, ossia del prodotto disponibile.

È possibile in genere acquisire la proprietà di un cavo anche subito prima dell'avvio del servizio commerciale; ma in questo caso, come in ogni altra questione di carattere gestionale o commerciale, spetta ai proprietari promotori dell'iniziativa decidere se ammettere o no nel consorzio altri gestori che ne facciano richiesta. Si dispone così di un notevole grado di flessibilità in ogni scelta, anche se ogni decisione deve essere portata a conoscenza e condivisa da ciascun proprietario e deve comunque non contrastare con i principi dell'accordo di base sotto i cui auspici è stata intrapresa la realizzazione del collegamento, il cosiddetto "Construction & Maintenance Agreement".

Dopo la data di avvio del servizio commerciale, o comunque quando i proprietari decidono di escludere qualunque altra richiesta di partecipazione al consorzio, è sempre possibile acquisire il diritto d'uso, o *IRU (Indefeasible Right of Use)*, della capacità residua non ancora impegnata dai singoli proprietari. A differenza della proprietà, l'*IRU* dà diritto solo all'utilizzo della capacità per instradare traffico di propria pertinenza; il gestore che acquisisce l'*IRU* è quindi escluso da ogni tipo di decisione durante la vita del sistema.

D'altro canto, la sempre maggiore accessibilità ad una nuova realizzazione in cavo sotto il profilo degli investimenti, in termini di incidenza del suo "peso" sulla realtà socio-economica e sui bilanci di impresa dei singoli promotori, unita a rischi sempre più contenuti, a fronte di tecnologie ormai ampiamente collaudate, hanno fatto sì che i sistemi in cavo sottomarino intercontinentali, con investimenti anche di 1.500 milioni di dollari per singola impresa, sono oggi realizzati da "privati" e, quindi, non da consorzi di gestori ma da imprenditori che assumono completamente in proprio il rischio di impresa a fronte dei profitti attesi.

I gestori che acquistano capacità trasmissiva disponibile in questi sistemi, con un rischio d'impresa praticamente nullo - in quanto completamente a carico dei finanziatori privati - hanno a loro volta una limitazione rispetto ai diritti da essi acquisiti nel caso dell'impresa consortile: acquistano infatti la capacità al prezzo fissato dai promotori del sistema e non possono far valere alcun diritto sulla capacità invenduta dopo la messa in servizio, che appartiene completamente ai promotori dell'iniziativa.

L'alto costo delle operazioni di manutenzione ha

imposto poi da sempre requisiti di affidabilità molto severi: particolari accorgimenti sono perciò presi dai proprietari dei sistemi, siano essi gestori o privati, dalla fase di progettazione a quella di realizzazione e di posa, in modo che il cavo possa operare in modo corretto il più a lungo possibile sia per le sue caratteristiche tecniche intrinseche sia per la particolare cura posta nelle operazioni di posa sia anche per le protezioni adottate nei confronti dell'ambiente circostante.

L'utilizzo di componenti elettronici sottomarini sempre più affidabili (dalle valvole, alla rigenerazione opto-elettronica e agli amplificatori ottici, come mostrato nella figura 2), la realizzazione di strutture di cavo più compatte, di minori dimensioni, più flessibili e meglio protette dal punto di vista dell'isolamento

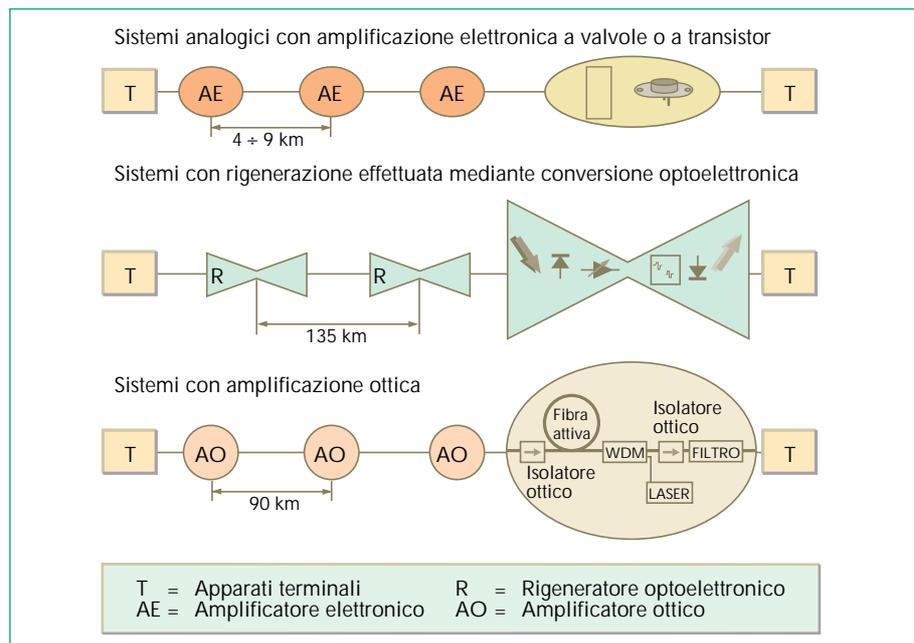


Figura 2 Dagli elettroni ai fotoni.

elettrico e dalle aggressioni esterne (un tipo speciale di cavo ottico è stato realizzato per proteggere in particolare il cavo dai morsi dei pescicani) nonché le sempre più accurate tecniche di posa, che si avvalgono di strumenti di alta tecnologia quali il rilevamento del tracciato di posa via satellite e i mezzi sottomarini telecomandati, la rilevazione del fondo marino con telecamere e, d'altra parte, dell'interramento dei cavi nelle zone più a rischio [1], [2], hanno permesso di rendere assai bassa l'incidenza dei guasti durante la vita del collegamento sottomarino.

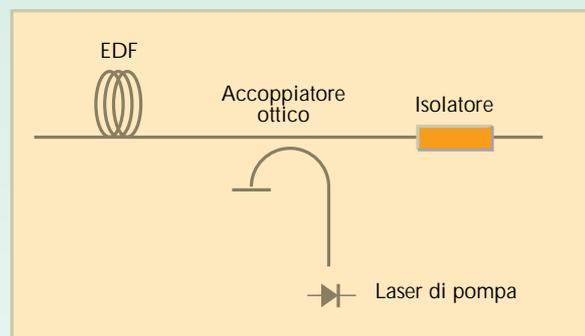
I sistemi più recenti sono infatti realizzati con componenti elettronici di rigenerazione o di amplificazione del segnale trasmesso le cui specifiche prevedono al più tre guasti nei venticinque anni di vita media del cavo.

Lo sviluppo di una rete per le telecomunicazioni in cavo sottomarino - come in passato accadde per la rete mercantile - costituisce oggi un elemento strategico per una sempre più efficace gestione degli affari

PRINCIPALI CARATTERISTICHE DEGLI AMPLIFICATORI OTTICI

- Uno sviluppo chiave della tecnologia, utilizzato nelle trasmissioni su fibra ottica, è rappresentato dall'introduzione degli amplificatori ottici con fibra drogata ad erbio [3]. Questi dispositivi, in grado di amplificare il segnale ottico direttamente, senza operare una conversione ottico-elettrica, hanno sostituito i rigeneratori ottici permettendo di realizzare ripetitori con un numero inferiore di componenti, e, di conseguenza, maggiormente affidabili e indipendenti dalla frequenza di cifra in linea.
- Il principio di funzionamento è simile a quello del laser ed è descritto in dettaglio in [4]. Con l'introduzione degli amplificatori ottici la progettazione dei sistemi sottomarini è stata modificata. Dal calcolo del passo di ripetizione basato sulla massima distanza dopo la quale era necessario rigenerare il segnale, si è tornati a considerazioni basate sul rapporto Segnale/Rumore (S/N, Signal to Noise).

- Un amplificatore ottico è schematicamente rappresentato nella figura riportata qui a fianco.



- La fibra drogata con erbio *EDF (Erbium Doped Fibre)*, di lunghezza variabile tra 10 e 40 m, è "pompata" con luce nella banda 1460-1490 nm attraverso un accoppiatore ottico, favorendo il fenomeno di emissione stimolata. L'accoppiatore è caratterizzato da una bassa attenuazione nel senso di trasmissione e un'alta attenuazione verso il laser di pompa. All'uscita dell'amplificatore ottico viene inserito un isolatore al fine di ridurre sia eventuali effetti risonanti nel sistema sia il livello di rumore. Sono diversi gli aspetti che rendono gli amplificatori ottici ad erbio adatti a sistemi trasmissivi ad alta capacità:

- hanno il massimo guadagno ad una lunghezza d'onda prossima a 1,558 nm, dove le fibre ottiche presentano il minimo valore dell'attenuazione;
- funzionano in modo tale che il guadagno aumenta quando la potenza media del segnale di ingresso diminuisce. Questa potenzialità permette di compensare gli effetti di invecchiamento dei componenti ottici e delle fibre aiutando a stabilizzare il livello del segnale ottico per la durata della vita utile del sistema trasmissivo.
- Gli amplificatori ottici impiegati nei sistemi in cavo sottomarino, opportunamente integrati da dispositivi che ne permettono il monitoraggio dalle stazioni terminali, sono inseriti in involucri che ne consentono la posa fino a profondità di 8.000 m ed il funzionamento continuo per un periodo di venticinque anni.
- I primi sistemi in cavo sottomarino con amplificatori ottici sono stati installati negli anni 1994-'95.

su scala mondiale per i quali le telecomunicazioni rappresentano uno dei principali ausili per lo sviluppo commerciale.

Ciò ha determinato l'acquisizione da parte dei singoli gestori delle reti di telecomunicazioni di una posizione di rilievo nei rapporti commerciali a livello mondiale e ha spinto quelli più importanti del settore

a sviluppare una capillare rete mondiale in cavo sottomarino, da impiegare non esclusivamente per le proprie esigenze. La rete è vista infatti non solo come mezzo per convogliare fuori dai propri confini il traffico nazionale, ma anche come una infrastruttura da utilizzare per introdurre correnti di traffico raccolte in aree nelle quali si esercita una certa influenza da

parte dei singoli gestori.

Nei diagrammi delle figure 3 e 4 sono riportati i chilometri di cavi per collegamenti internazionali posati nel periodo 1988-'98 e l'andamento di crescita di capacità dei singoli sistemi realizzati o pianificati nello stesso periodo.

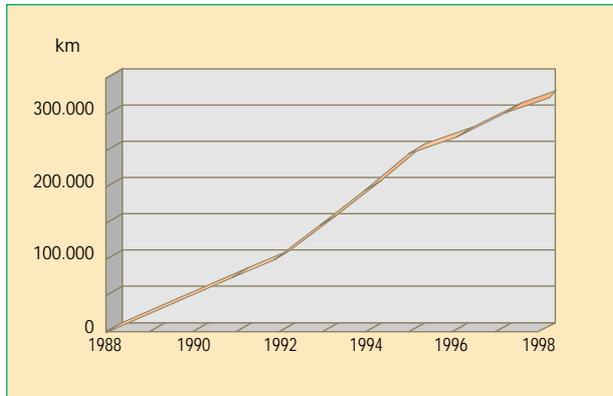


Figura 3 Chilometri di cavo sottomarino in fibra ottica posati o pianificati nel periodo 1988-'98.

4. Le tappe fondamentali nello sviluppo dei cavi sottomarini

4.1 Sistemi Analogici

Le innovazioni tecnologiche del Diciannovesimo secolo hanno permesso al servizio postale, una delle prime forme di comunicazione a distanza adottate diffusamente dall'uomo, di convivere, nei primi anni del secolo e limitatamente alle connessioni sulla terra ferma, con il trasporto dell'informazione basato sullo scambio di segnali elettrici tra due corrispondenti distanti: risale infatti a questo periodo lo sviluppo delle reti telegrafiche terrestri che facevano uso quasi esclusivamente di conduttori in ferro o in rame con posa aerea su palificazioni in legno. Per la piena espansione del servizio telegrafico, la barriera naturale, costituita dal mare, doveva però essere abbattuta.

Nel 1851 questa barriera (come indicato anche in [1] e [5]) fu infranta con la posa del primo cavo telegrafico sottomarino attraverso la Manica che collegava l'Inghilterra con la Francia: il mare, una volta considerato elemento di separazione tra le nazioni, divenne così mezzo di unione. Nel 1866, dopo diversi tentativi falliti, fu posato il primo cavo telegrafico transatlantico destinato al servizio commerciale tra l'Irlanda e l'isola di Terranova. Successivamente nel 1868 fu posato un secondo cavo transatlantico tra Brest e Saint Pierre. Nel 1894 dodici cavi erano stati posati nell'Atlantico; tre portanti collegavano l'Australia all'Asia e l'Africa era completamente circondata da un cavo telegrafico. In quell'anno erano stati già posati 150mila miglia di cavi sottomarini [6].

Subito dopo la prima guerra mondiale fu fondata la Compagnia Italiana per Cavi Telegrafici Sottomarini, divenuta poi Italcable, e fu così avviata una notevole attività di posa di cavi transoceanici, tra i quali il

primo cavo tra l'Italia e il Sud America, di 13.814 km, messo in servizio il 2 ottobre 1925 [1], [7].

La nascita della telefonia sottomarina si può far risalire al 1891, anno in cui fu posato il primo cavo telefonico anglo-francese: si trattava di un cavo unipolare che presentava caratteristiche simili a quelli telegrafici.

Con l'avvento della trasmissione telefonica sul finire del secolo Diciannovesimo, fu avviata una nuova attività di ricerca per la trasmissione a distanza del segnale fonico: i cavi telegrafici per lunghe distanze allora impiegati non consentivano infatti il trasporto del segnale vocale per le limitazioni da essi presentate nella banda di frequenze da trasmettere.

Risale al 1921 la posa del primo sistema telefonico sottomarino tra la penisola della Florida e Cuba. Tuttavia, malgrado i diversi miglioramenti introdotti nella tecnica di costruzione dei cavi e delle apparecchiature terminali, la telefonia sottomarina continuava ad essere limitata dall'attenuazione alle alte frequenze per cui in quegli anni i collegamenti non superavano le cento miglia nautiche.

Sebbene l'applicazione della tecnica *FDM* (*Frequency Division Multiplexing*) e dell'amplificazione sui sistemi terrestri cominciava a permettere il trasporto del segnale fonico per centinaia di miglia, l'adozione delle stesse tecniche sui cavi sottomarini fu ritardata per la mancanza di componenti affidabili da utilizzare nella realizzazione degli amplificatori sottomarini e, in particolare, dalla necessità di impiegare valvole termoioniche, che presentavano una vita limitata, nonché dalla difficoltà di realizzare una struttura stagna per i contenitori degli amplificatori.

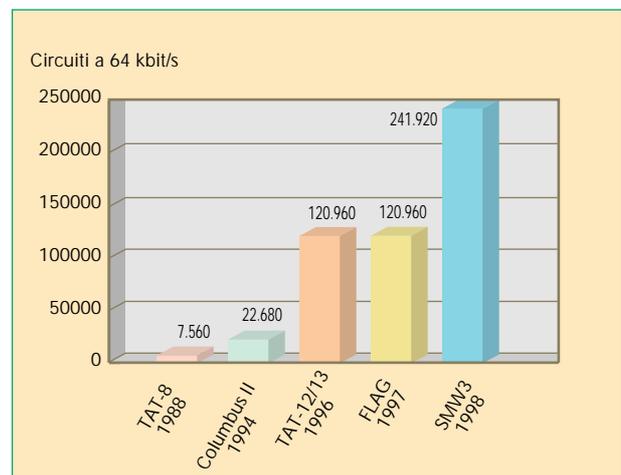


Figura 4 Evoluzione nel tempo della capacità di trasporto nei principali sistemi in cavo sottomarino in fibra ottica già posati o pianificati.

La telefonia intercontinentale nella prima metà di questo secolo fu perciò realizzata con le comunicazioni radio su onde medie e corte. La radiotelefonia, sia pure con i notevoli miglioramenti tecnici adottati nei sistemi, trovò presto una limitazione nella disponibilità dello spettro a radiofrequenze disponibile e nella qualità e disponibilità offerte da questo tipo di

trasmissione, a causa dei disturbi ionosferici. La conseguenza di queste limitazioni, intrinseche ai sistemi radio allora impiegati, determinò quindi una forte spinta verso la ricerca di soluzioni tecnologiche da applicare nel campo dei cavi sottomarini.

Le prime prove per inserire amplificatori dei segnali sui cavi telefonici sottomarini risalgono al 1930-'31 ma solo nel 1943 fu installato il primo sistema con ripetitore sommerso di costruzione inglese tra l'Inghilterra e l'isola di Man. Nel 1955 fu posato un cavo sottomarino telefonico tra l'Italia e l'isola di Malta.

Come indicato con maggiori dettagli in [5], gli studi e le sperimentazioni svolte nel campo della telefonia sottomarina culminarono nel 1956 con la posa del primo cavo transatlantico coassiale (TAT-1) tra la Gran Bretagna e gli Stati Uniti d'America. Tra il 1956 e il 1986 l'attività di posa di cavi sottomarini coassiali ha interessato in pratica tutti i mari del globo

sviluppo di ulteriori sistemi fino a provocare un arresto nell'evoluzione delle attività impiantistiche.

4.2 Sistemi Numerici

Nel momento in cui i sistemi analogici hanno raggiunto la maturità tecnologica, non poteva presentarsi un evento più rivoluzionario di quello legato all'apparire sul mercato della tecnologia delle fibre ottiche.

Già nei primi anni Ottanta si era affermata progressivamente questa tecnologia nel campo della trasmissione numerica per i portanti terrestri: l'immunità da interferenze esterne, l'insensibilità agli effetti termici, la bassa attenuazione e la banda passante estremamente estesa, rispetto alle esigenze di trasporto dell'informazione, avrebbero costituito in breve tempo fattori vincenti delle fibre ottiche rispetto ai cavi coassiali.



Figura 5 Primo sistema transatlantico coassiale sottomarino terminato in Italia.

terrestre e ha permesso di realizzare una rete sottomarina che ha un'estensione di circa 500 mila km di cavo: sono stati in particolare posati altri sei cavi transatlantici (TAT-2 - TAT-7). Nello stesso periodo l'Italia ha realizzato una rete di cavi sia per i collegamenti con gli altri Paesi del Mediterraneo sia per connettere sul piano nazionale la penisola con le isole. L'insieme del MAT-1 (cavo tra Palo Laziale ed Estepona) e del TAT-5 hanno rappresentato poi nel 1970 il primo collegamento diretto tra l'Italia e gli Stati Uniti (figura 5).

Anche la potenzialità dei cavi è cresciuta nel tempo: dagli iniziali ventiquattro circuiti del TAT-1 si è passati nel 1986 ai 4.100 circuiti del TAT-7, risultato di diverse evoluzioni tecnologiche che hanno permesso l'uso di bande di frequenza sempre più estese (4; 12; 25 e 45 MHz) e passi di amplificazione via via sempre più contenuti (4 km).

Raggiunte queste capacità di trasporto con i cavi, i vincoli interni alla costituzione dei sistemi, quali il diametro della coppia coassiale compatibile con le manipolazioni che il cavo subisce durante la fabbricazione e la successiva posa in mare, nonché un passo di amplificazione sempre più ridotto, hanno rallentato lo

Come si era verificato in precedenza con altri tipi di cavo, il nuovo portante fu anzitutto impiegato per applicazioni terrestri ma successivamente cominciò ad essere utilizzato nella posa sottomarina non appena esso raggiunse il livello di affidabilità atteso che, in questo caso, riguardava principalmente le sorgenti ed i rivelatori ottici. Questa transizione nella modalità di impiego avvenne tuttavia in un tempo assai più ridotto che nel caso dei tipi di portanti usati in precedenza: il ritardo tra la messa in servizio dei cavi ottici terrestri e quelli sottomarini fu infatti solo di un paio d'anni.

Il 1984 fu l'anno che segnò la svolta fondamentale nella storia delle trasmissioni in cavo sottomarino, con la posa, coronata da successo, del primo cavo ottico tra l'Inghilterra e l'isola di Wight. Nel 1987 fu installato il primo cavo a fibre ottiche con ripetitori della rete nazionale italiana che collegò Pomezia a Golfo Aranci in Sardegna.

L'era dei cavi ottici transatlantici iniziò nel 1988 con la realizzazione del sistema TAT-8, che era stato progettato per una capacità di trasporto di circa 8 mila canali telefonici, una potenzialità quindi duecento volte superiore a quella del TAT-1, posato solo trenta-

due anni prima. Apparve subito evidente la potenzialità, assai elevata, offerta dall'avvento del portante ottico impiegato con un segnale numerico: la banda passante estremamente estesa offerta dalla fibra ottica, unita alla possibilità di inserire nello stesso cavo più fibre, permette infatti di disporre su uno



Figura 6 *Posa di un ripetitore in mare.*

stesso portante di capacità trasmissive molto ampie. La bassissima attenuazione specifica delle fibre ottiche consente poi di ridurre in misura sensibile il numero di apparati elettronici sommersi presenti in linea, con un conseguente sensibile miglioramento nella disponibilità dei singoli collegamenti. (Nella figura 6 è illustrata la posa di un ripetitore sottomarino).

Si è così passati da un passo di rigenerazione di 4 km con gli amplificatori analogici, ai 110-140 km dei cavi con rigeneratori sottomarini installati nel biennio 1994-'95. Gli apparati terminali sempre più affidabili hanno anche contribuito a ridurre considerevolmente gli interventi nelle centrali terminali. Nelle figure 7 e 8 sono riportati rispettivamente i terminali di linea e gli apparati di alimentazione di uno dei sistemi ottici sottomarini terminati nella centrale di Palermo.

La possibilità poi di inserire nel collegamento unità di diramazione sottomarine, in grado di instradare le singole fibre ottiche contenute nel cavo verso



Figura 7 *Terminali di linea per sistemi ottici sottomarini.*

punti terminali differenti, ha consentito di realizzare collegamenti multipunto più flessibili e, di conseguenza, meglio rispondenti alle esigenze di mercato, che permettono quindi di superare il vincolo della connessione rigida punto-punto propria dei cavi coassiali. Le dimensioni ridotte dei cavi ottici semplificano inoltre sensibilmente le complesse atti-

vità da eseguire in mare nelle fasi di installazione e di manutenzione dei sistemi, e permettono di ottenere vantaggi non trascurabili in termini di costo dei sistemi e di semplificazione delle operazioni di esercizio.

Le elevate potenzialità trasmissive delle fibre ottiche hanno infine permesso di garantire il trasporto dell'informazione relativa ad una molteplicità di servizi: dalla telefonia alla trasmissione dati ad alta velocità e ai servizi video.

Nella figura 9 è mostrata una fase di posa del cavo all'approdo. Altre informazioni di carattere storico, maggiormente legate alle tecnologie di fabbricazione dei cavi e alle metodologie di posa, sono riportate in [1] e [5].



Figura 8 *Apparati per l'alimentazione dei sistemi sottomarini.*



Figura 9 *Posa per l'approdo di un cavo sottomarino.*

5. Cablatura con i cavi sottomarini per collegamenti intercontinentali

Come richiamato al paragrafo precedente, l'evoluzione della tecnologia delle fibre ottiche ha portato negli anni a un aumento considerevole della capacità trasmissiva nei singoli collegamenti sottomarini: si è così passati dagli 8 mila circuiti a 64 kbit/s del primo cavo transatlantico ottico sottomarino TAT-8 ai 240 mila circuiti dei sistemi oggi in via di realizzazione (la cui entrata in servizio è prevista per il 1998) con l'applicazione della moltiplicazione della lunghezza d'onda per sistemi in tecnologia *SDH* (*Synchronous*

Digital Hierarchy) che impiegano amplificatori ottici, per passare poi a 1,2 milioni di circuiti con i sistemi transpacifici pianificati per l'entrata in servizio nei primi anni del Duemila. A fronte di questa crescita così elevata nella disponibilità di capacità trasmissiva, i costi per realizzare gli impianti sono rimasti sostanzialmente invariati: con l'impiego della fibra ottica il costo del circuito per chilometro si è infatti ridotto in dieci anni di circa l'80 per cento.

È nata quindi l'esigenza da parte dei maggiori gestori di telecomunicazioni, operanti a livello mondiale, di partecipare attivamente all'evoluzione dei processi di pianificazione e di realizzazione di una rete capillare in cavo ottico sottomarino che interessi l'intero globo terrestre.

Queste attività porteranno alla posa di circa 500mila km di cavi ottici sottomarini entro il Duemila; in figura 10 è mostrata schematicamente la crescita della rete in cavo sottomarino mondiale nell'ultimo decennio di questo secolo.

6. Ruolo di Telecom Italia

Fin dai primi anni dello sviluppo delle comunicazioni mediante cavi sottomarini il nostro Paese avviò iniziative significative sia nell'area mediterranea sia in quella atlantica.

Come è stato già ricordato al paragrafo 4, nel 1925 furono posati i primi cavi telegrafici sottomarini transatlantici attestati nel nostro Paese; trent'anni dopo fu posato il primo cavo coassiale telefonico con approdo in Italia (Italia-Malta) e nel 1970 fu attivato il primo cavo transatlantico coassiale sottomarino tra l'Italia e gli Stati Uniti d'America.

Con l'avvento della tecnologia ottica applicata ai cavi sottomarini, avviata all'inizio degli anni Ottanta, l'Italia si è fatta promotrice di numerose iniziative assieme ad altri gestori operanti in diverse aree mondiali e, in particolare, nell'area Mediterranea: in quest'area, anche alla luce delle più recenti iniziative intraprese, Telecom Italia ha assunto la leadership, risultando proprietaria di circa il 35 per cento dell'intera rete sottomarina presente in quest'area.

Telecom Italia ha potenziato, in particolare negli ultimi anni, i collegamenti con alcuni Paesi limitrofi (Spagna, Tunisia, Grecia, Albania, Croazia, Malta) e ha promosso la realizzazione del sistema ITUR che collega dall'ottobre 1996 l'Italia con la Turchia,

l'Ucraina e la Russia: questo sistema, lungo circa 3.500 km con ventisei ripetitori in linea e che presenta una capacità di oltre 15mila circuiti, ha permesso di connettere, attraverso il centro di Palermo, Paesi dell'Europa dell'Est con quelli

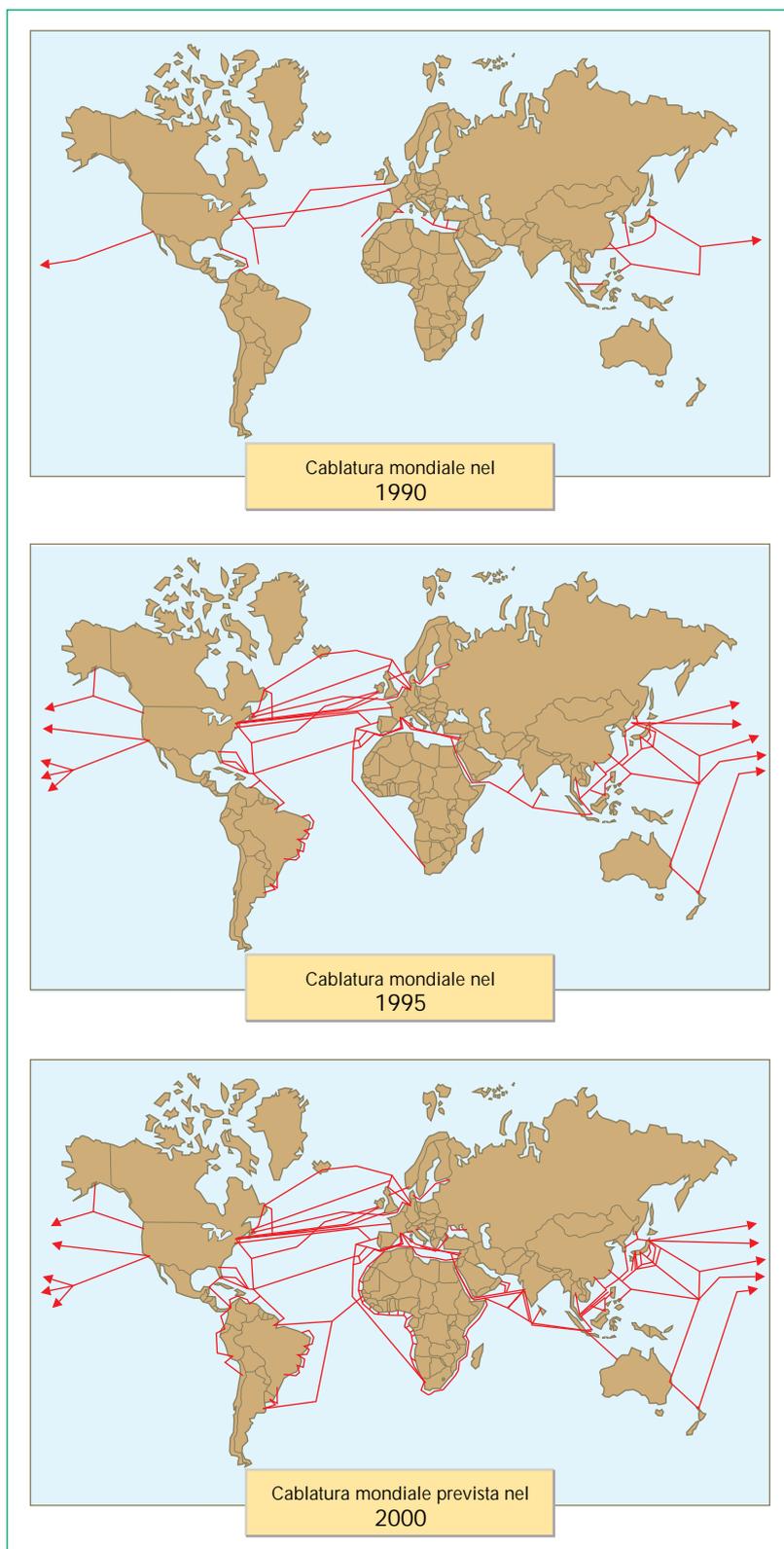


Figura 10 Evoluzione della rete sottomarina mondiale nell'ultimo decennio di questo secolo.

COSTO PER REALIZZARE I SISTEMI SOTTOMARINI

- Obiettivo dei promotori di una nuova realizzazione in cavo, sia terrestre sia, in maniera forse più esasperata, nei sistemi sottomarini, è di offrire ai potenziali utilizzatori un mezzo ad elevata disponibilità e con un costo per circuito sempre più basso.
- A questo scopo si può intervenire su diversi parametri, in parte tra loro dipendenti: aumentare la capacità dei portanti e agire in modo che si incrementi sensibilmente il riempimento di esso; ridurre i costi delle varie parti costituenti la fornitura del sistema; ridurre il costo di installazione, di esercizio e manutenzione; ottimizzare gli impieghi delle vie di reinstradamento.
- I principali elementi che concorrono alla definizione dei costi di un nuovo sistema in cavo sottomarino sono:
 - la *gestione del progetto*: riguarda i costi per il progetto e per la scelta del sistema da impiegare;
 - la *scelta del tracciato*: per ridurre la probabilità di guasto dei sistemi, è richiesta un'accurata scelta del tracciato di posa per il cavo che comporta anche una rilevazione in campo molto accurata (come mostrato in [1] e in [2]);
 - gli *apparati sottomarini*: sono scelti in base al tipo, alle dimensioni e alle potenzialità dei cavi sottomarini (scelti tra quelli trattati in due articoli sui cavi di questo numero [4], [5]), dei rigeneratori o degli amplificatori sommersi, delle eventuali unità di derivazione (branching);
 - gli *impianti terrestri*: in questa voce sono compresi in particolare i terminali di linea, gli apparati di alimentazione e di supervisione del sistema, i multiplatori, i ripartitori numerici (cross-connect);
 - l'*attività di installazione*: riguarda il complesso delle attività marine per la posa del sistema e la protezione (quando prevista) del cavo;
 - le *prove di accettazione*: comprendono tutte le prove da effettuare prima della messa in servizio del singolo sistema.
- L'incidenza percentuale delle varie voci di costo è riportata nelle due figure nel caso di sistemi con o senza ripetitori: ovviamente il peso delle singole voci (ad esempio i sistemi terminali) varia nei due casi analizzati.



- I dati sono naturalmente solo indicativi in quanto numerosi sono i fattori che possono influenzare l'incidenza di ciascuno di essi, per le specificità delle singole realizzazioni quali, ad esempio, la lunghezza del collegamento e il relativo numero dei ripetitori in linea, il numero di fibre ottiche inserite nel cavo, la necessità di interrare una parte più o meno estesa del cavo posato.

presenti nell'area mediterranea e atlantica e con quelli del Medio e dell'Estremo Oriente.

Sarà prossimamente messo in servizio, verso la metà del 1998, il collegamento tra l'Italia e Israele, denominato MED-1, che sarà lungo 2.500 km circa: il sistema, la cui realizzazione si è resa necessaria per lo stato di saturazione del collegamento ottico sottomarino esistente tra Palermo e Tel Aviv (EMOS-1) del 1990, impiegherà un cavo con due coppie di fibre ottiche, ciascuna delle quali disporrà di una capacità trasmissiva di 10 Gbit/s (equivalente a circa 120mila circuiti fonici) e che impiegherà la tecnologia trasmissiva WDM (Wavelength Division Multiplexing).

di una capacità complessiva di circa 250mila circuiti a 64 kbit/s.

Telecom Italia è anche uno dei più importanti gestori impegnati a realizzare il più lungo collegamento in cavo sottomarino finora realizzato, il SEAME-WE 3, che, a partire dalla fine del 1998, collegherà la Germania, attraversando il Mediterraneo e l'Oceano Indiano, con l'Estremo Oriente e l'Australia, toccando trentaquattro Paesi e che sarà lungo complessivamente 35mila km circa.

Nelle figure da 11 a 14 sono mostrati, nelle aree geografiche rispettivamente del Mediterraneo, dell'Atlantico, del Pacifico e dell'Oceano Indiano, i princi-

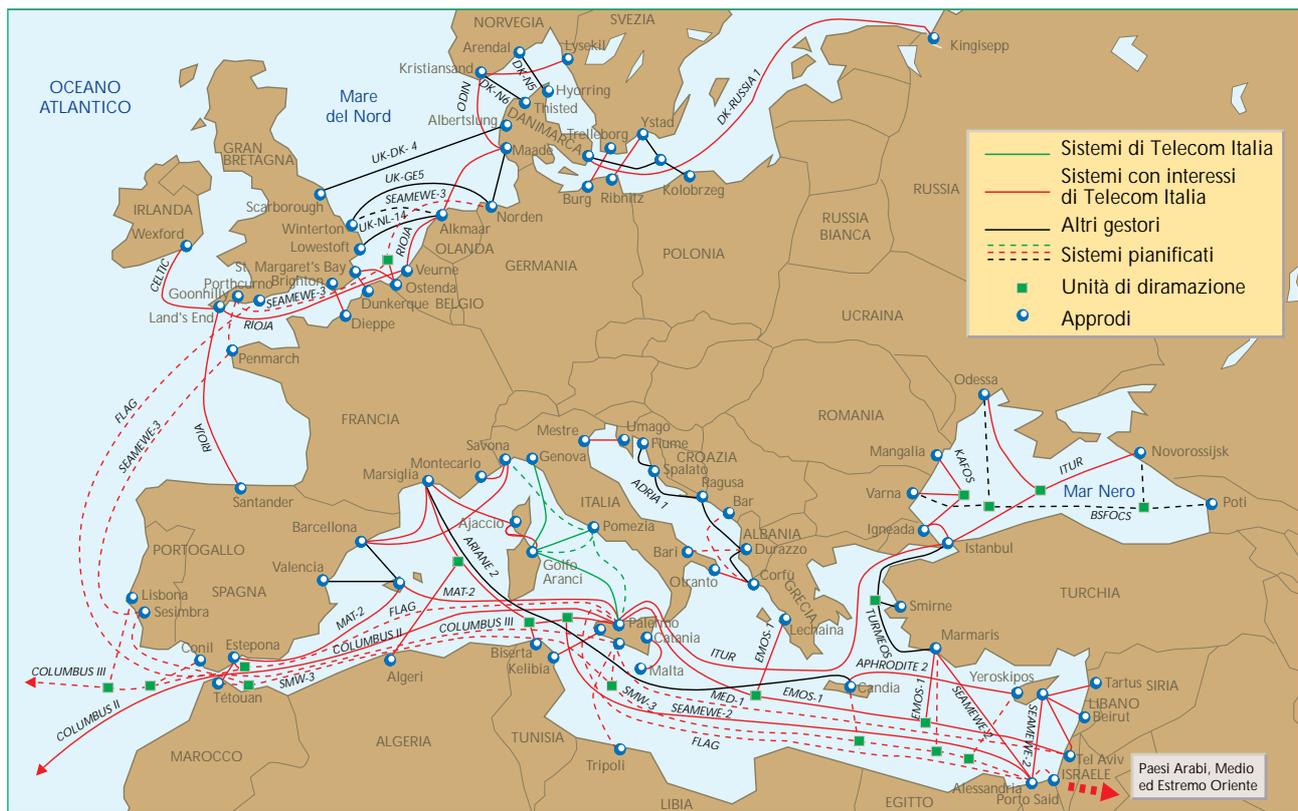


Figura 11 Rete dei cavi sottomarini in fibra ottica nel Mar Mediterraneo.

Per soddisfare eventuali nuove esigenze di traffico sarà possibile raddoppiare la capacità del sistema, modificando opportunamente gli apparati terminali.

Telecom Italia, presente nell'Oceano Atlantico già con i primi cavi ottici realizzati sul finire degli anni Ottanta, ha rafforzato ulteriormente la propria presenza realizzando nel 1994 il primo collegamento ottico diretto tra l'Italia e gli Stati Uniti d'America (Columbus II), lungo circa 12mila km, con cento ripetitori in linea, e con una capacità di 7.560 circuiti, interamente sottoscritti dopo meno di due anni dalla messa in servizio del portante.

È in fase di avanzata pianificazione il Columbus III, un cavo tra l'Italia e gli Stati Uniti, lungo circa 11mila km con amplificatori ottici sottomarini in linea; l'attivazione è prevista per il 1999 e il sistema, utilizzando la tecnica WDM, permetterà di disporre

pali cavi ottici sottomarini in esercizio o quelli in via di prossima realizzazione; nelle stesse figure sono riportati anche i sistemi nei quali Telecom Italia ha acquisito circuiti in proprietà.

L'esame dell'ubicazione dei principali sistemi sottomarini già posati o di quelli pianificati per i prossimi anni mette in evidenza l'importanza strategica che la Sicilia, e Palermo in particolare, riveste come nodo di convergenza per sistemi sottomarini internazionali che transitano nel Mediterraneo e che la rete Telecom Italia assume conseguentemente nell'ambito delle direttrici di traffico sia longitudinali (verso gli Stati Uniti, il Medio e l'Estremo Oriente) sia trasversali (verso l'Europa Centrale e quella Settentrionale).

La figura 15 indica i collegamenti internazionali già realizzati o quelli in via di prossima realizzazione terminati in Sicilia.

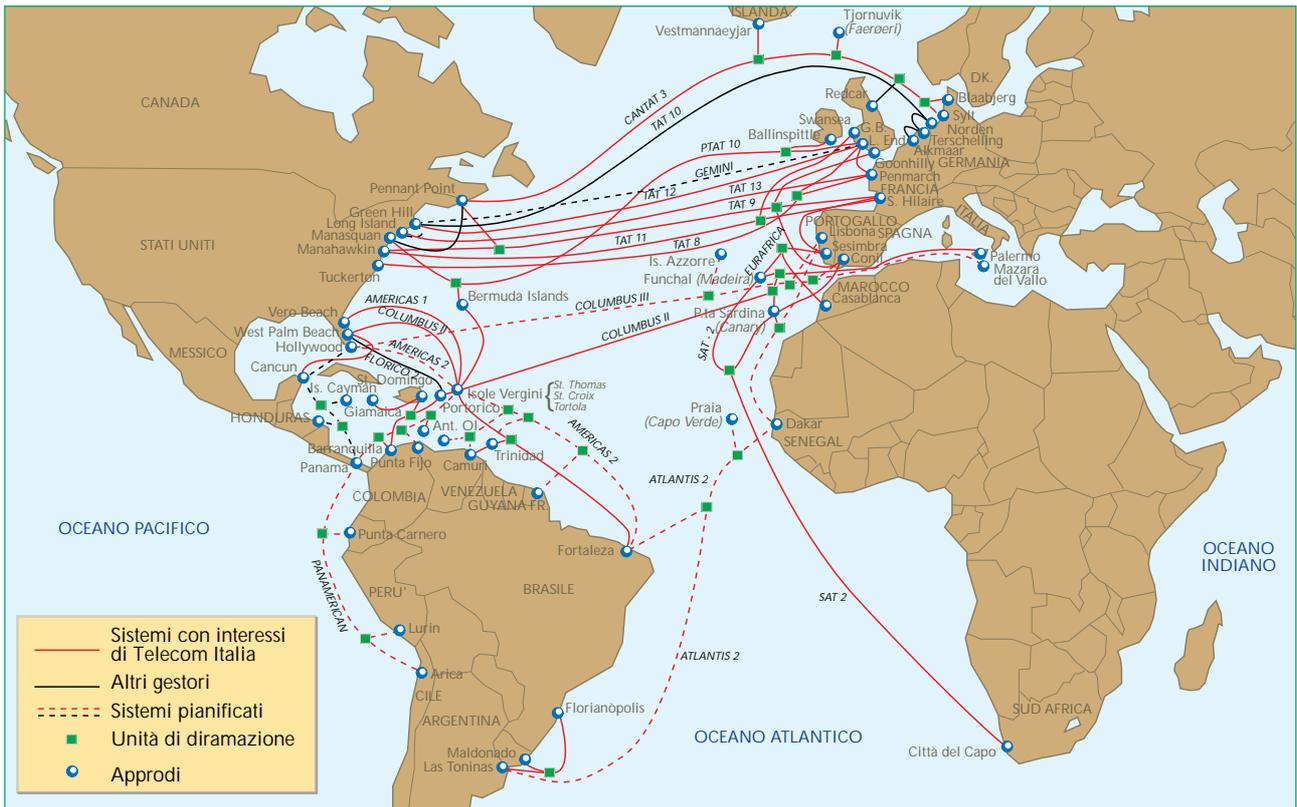


Figura 12 Rete dei cavi sottomarini in fibra ottica nell'Oceano Atlantico.

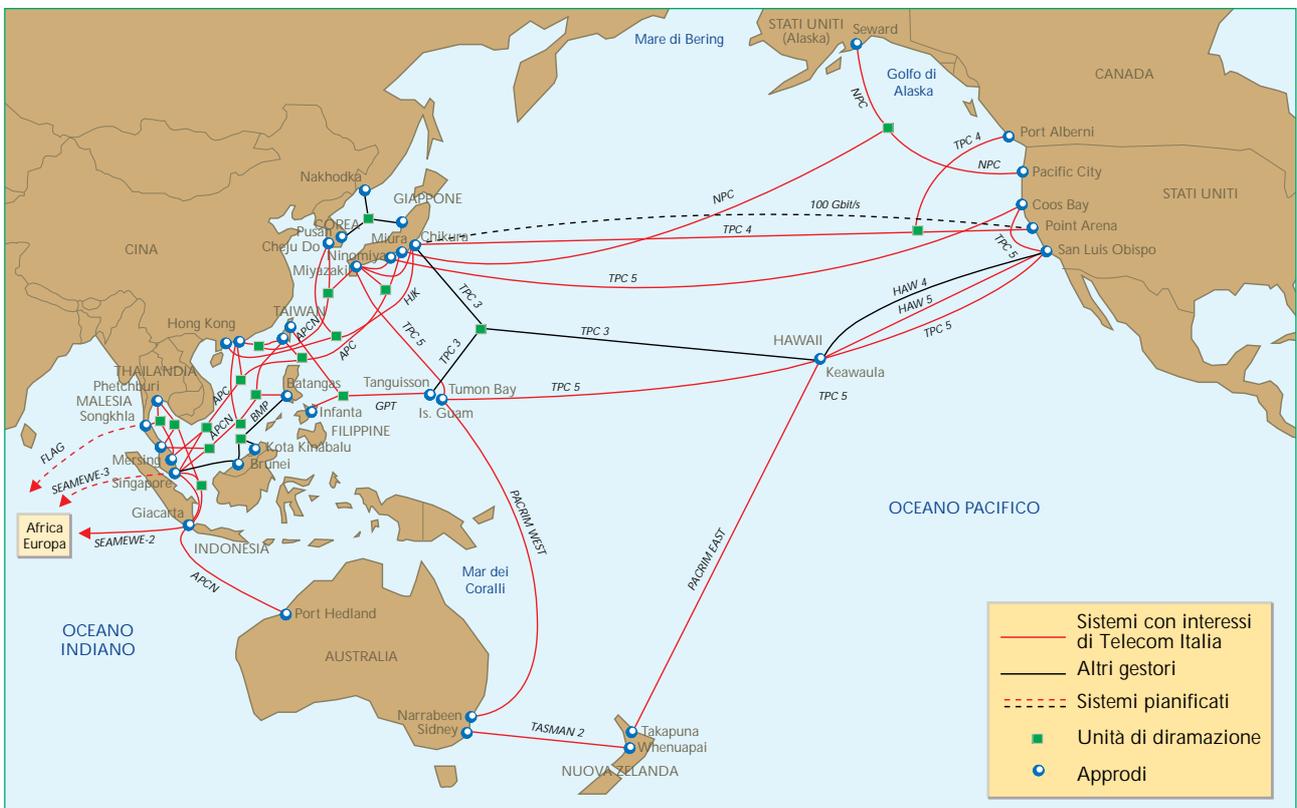


Figura 13 Rete dei cavi sottomarini in fibra ottica nell'Oceano Pacifico.

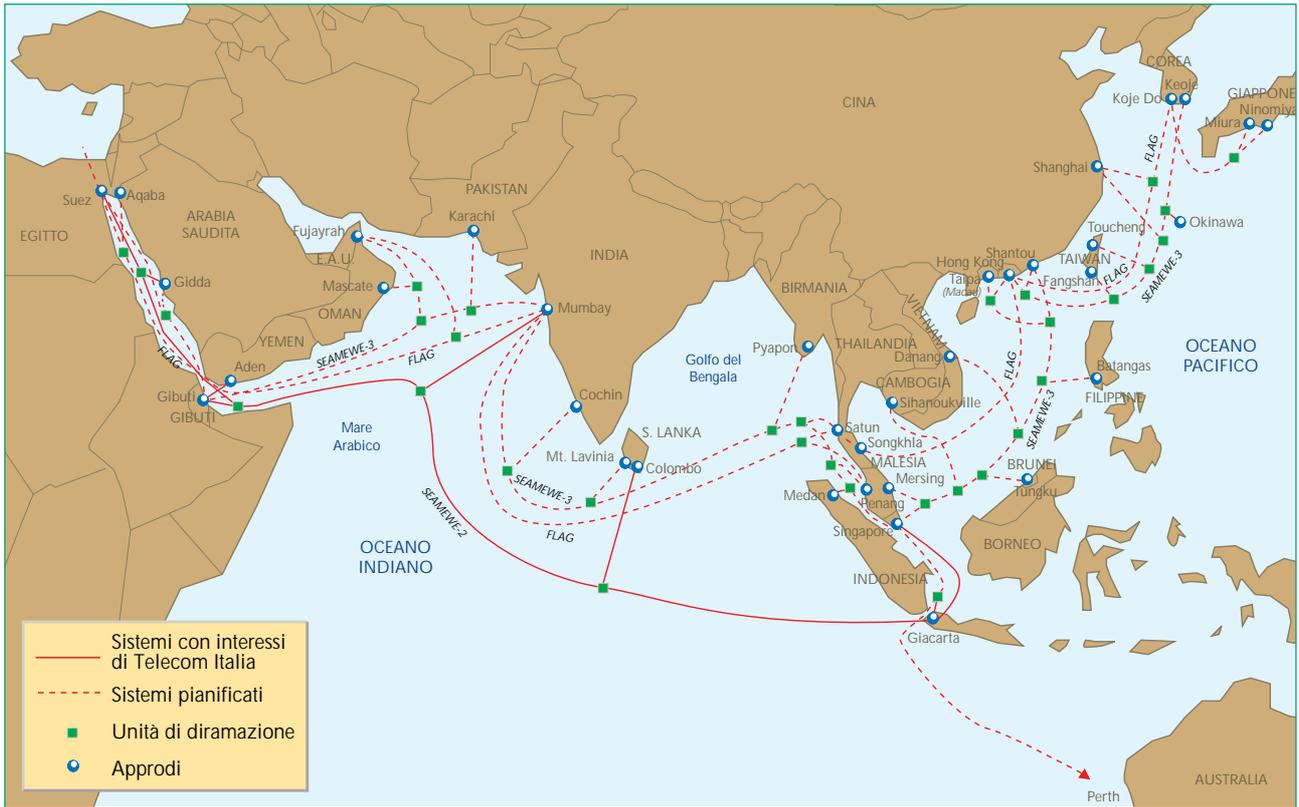


Figura 14 Rete dei cavi sottomarini in fibra ottica nell'Oceano Indiano.

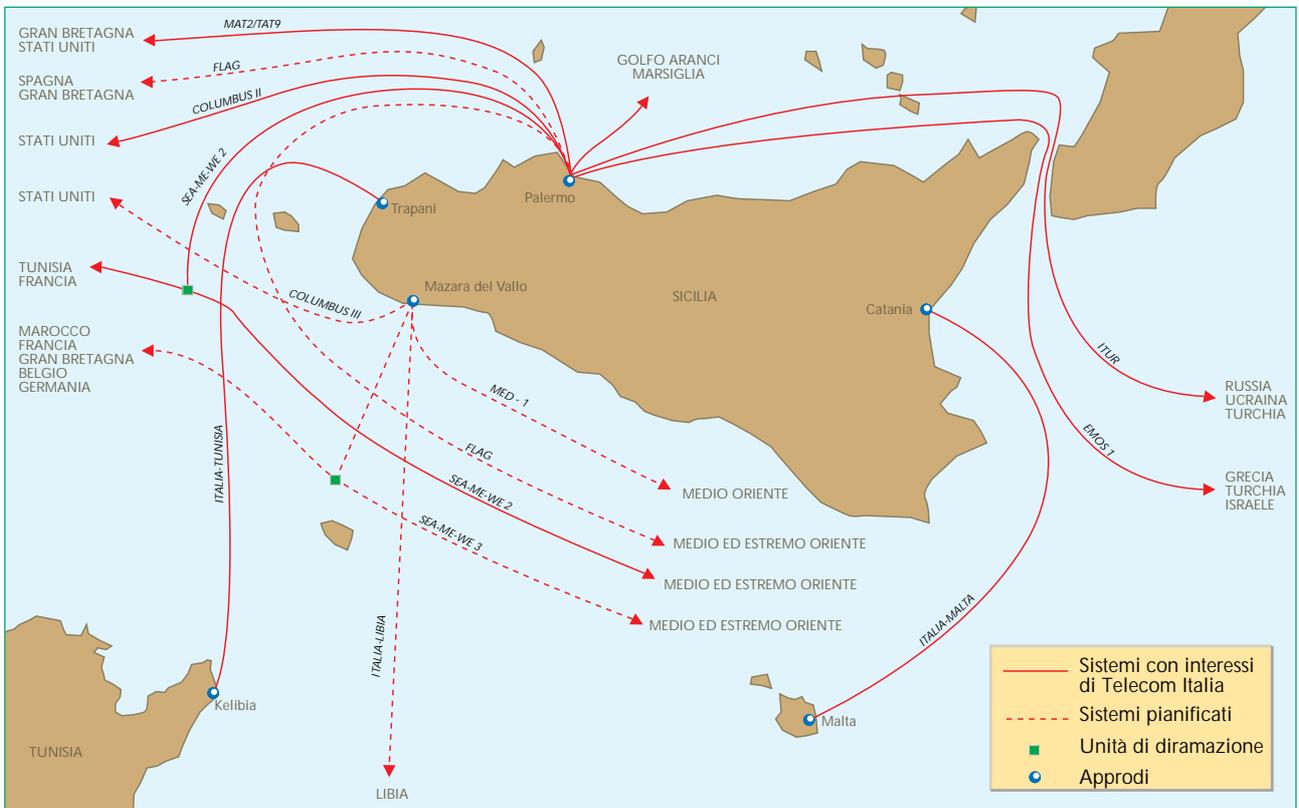


Figura 15 Rete dei cavi sottomarini in fibra ottica con approdo in Sicilia.

Nella figura 16 è invece presentata la rete italiana in cavo sottomarino; in essa, oltre alle connessioni tra le isole e la terraferma, sono presenti molti collegamenti a festone. Questo tipo di collegamento, che può essere realizzato in tempi sensibilmente più contenuti di quelli terrestri [8], è generalmente del tipo punto-punto e riguarda connessioni relativamente brevi, dell'ordine dei 200 km, di solito senza ripetitori e con flussi a 565 Mbit/s. I collegamenti a festone costituiscono un'alternativa a quelli terrestri in cavo o alle dorsali in ponte radio e hanno consentito un salto di qualità e di disponibilità della rete nazionale.

Da quanto si è esposto finora può essere quindi concluso che Telecom Italia in questi ultimi anni ha perseguito l'obiettivo di giocare un ruolo sempre più da protagonista nella rete in cavo sottomarina, con una presenza attiva nel contesto internazionale che le permettesse di rendere disponibile un nodo di rete, baricentro dei flussi di traffico dalle aree geografiche che si affacciano sul Mediterraneo, e che le consentisse d'altra parte di rafforzare il presidio già saldo necessario per instradare le correnti di traffico dell'area mediterranea e delle regioni geografiche contigue.

Per ora, con un investimento complessivo di oltre 400 milioni di dollari per i soli portanti ottici internazionali, Telecom Italia si situa tra i primi gestori mondiali per dimensioni della propria rete sottomarina.

7. Protezione del traffico e manutenzione dei cavi

Al crescere delle capacità dei cavi sottomarini e del relativo traffico su di essi instradato, ha assunto una importanza sempre maggiore la necessità di proteggere il traffico in caso di guasto del portante e quindi di definire una strategia particolarmente efficiente nella manutenzione dei sistemi.

Sono stati a questo scopo individuati, e sono stati poi messi in esercizio, efficaci accorgimenti per la protezione del cavo in modo da ridurre sensibil-



Figura 16 Rete dei cavi sottomarini nazionali coassiali e in fibra ottica con approdo in Italia.

mente i danneggiamenti da cause esterne, ad esempio dalle reti a strascico dei pescatori, che sono tra quelli più frequenti nel caso di guasti ai sistemi. Un'accurata selezione del tracciato di posa del cavo consente di ridurre notevolmente i rischi dei danneggiamenti da cause esterne: è necessario anzitutto, analizzare i risultati di uno studio particolareggiato delle caratteristiche del fondo marino e dei tipi di cavo da utilizzare alle varie profondità, e in secondo luogo, esaminare l'opportunità di provvedere all'interramento del cavo, a circa un metro di profondità, nelle zone più a rischio, e cioè in quelle a profondità inferiori agli 800 m.

Sono poi predisposti piani efficienti per reinstrodare il traffico in modo da ridurre al minimo il



Anzio. L'approdo del cavo Anzio-Barcellona-Malaga (1927).

tempo di ripristino del servizio sulla via di "riserva" individuata.

Con le elevate capacità di traffico sui sistemi ottici oggi in servizio il reinstradamento che utilizzi come via alternativa il satellite non risulta essere particolarmente idoneo a garantire la qualità del servizio atteso, in quanto si presenterebbero grosse limitazioni alla capacità di traffico svolta con quest'ultimo portante.

Si è perciò avviato il progetto inteso a realizzare reti in cavo sottomarino, concepite sin dall'inizio come autonome dal punto di vista del reinstradamento. Si è passati quindi dal concetto di sistema a quello di rete ad anello, in grado di ripristinare il servizio, nel caso di disservizio in un ramo dell'anello, in un tempo inferiore ai 10 s.

La costituzione dell'anello intorno al mondo (*Ring Around the Globe*) rappresenta l'elemento a più alta valenza del criterio di autoprotezione ad anello: in caso di guasto in un punto, il reinstradamento può essere effettuato facendo il "giro quasi completo del globo terrestre" passando dalla parte opposta a quella nella quale si è verificato il disservizio. Una tipica struttura ad anello, che sarà praticamente realizzata nel corso del corrente anno, è mostrata in figura 17.

Un'altra soluzione tecnica che persegue lo stesso obiettivo comincia ad essere adottata in alcuni sistemi di ultima generazione - ad esempio nel collegamento Panamericano tra l'America del Nord e quella del Sud o nel Columbus III - e consiste nel collegare ad anello le stazioni di approdo tramite due coppie di fibre che fanno

parte dello stesso cavo e che permettono di utilizzare metà della capacità, resa disponibile da ciascuna coppia di fibre, per il ripristino dell'altra metà, almeno finché le esigenze di traffico richieste lo consentano.

In questo modo è assicurata la continuità del collegamento in presenza di un guasto che interessa una coppia di fibre (per l'interruzione ad esempio di una fibra) in quanto esso è reistradato sull'altra coppia. Questa soluzione non ha naturalmente alcuna efficacia nel caso di rottura del cavo.

Il numero via via crescente di flussi di traffico instradati nei vari collegamenti in cavo e, di conseguenza, la crescita del danno economico associato all'interruzione del traffico a causa di un guasto, hanno reso i proprietari dei sistemi sottomarini sempre più interessati a politiche di manutenzione che minimizzino i tempi di intervento per la riparazione e, quindi, il fuori servizio dei sistemi.

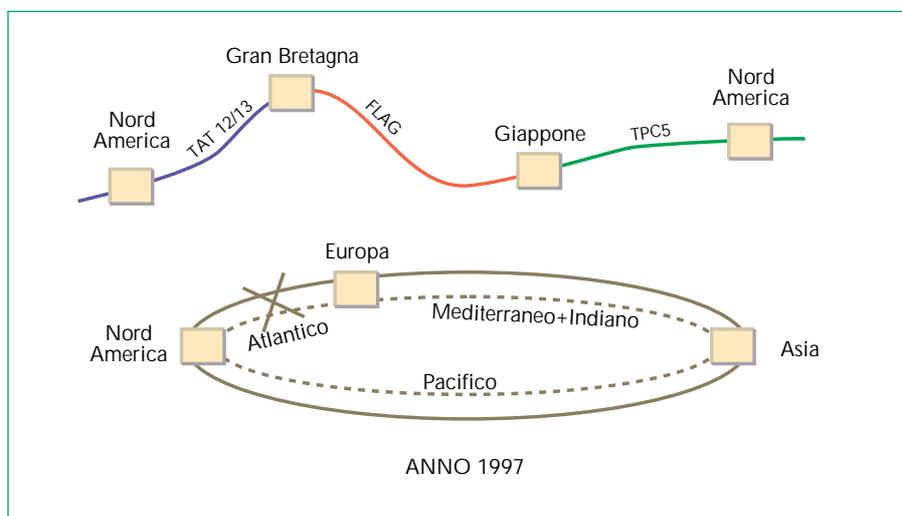


Figura 17 Anello ottico per la protezione su scala mondiale dei flussi trasmessi mediante portanti sottomarini.

CARATTERISTICHE PER LA PROGETTAZIONE DI UN PORTANTE SOTTOMARINO

- Nella progettazione di un nuovo portante sottomarino devono essere tenuti presenti numerosi parametri per garantire un livello di affidabilità e di qualità ai collegamenti. Alcuni riguardano i cavi ottici e sono indicati nei due articoli che compaiono su questo stesso numero della rivista [4], [5].
- Altri parametri di rilievo da tenere presenti sono:
 - *Prestazioni trasmissive*: le prestazioni trasmissive sono basate sulle raccomandazioni dell'ITU-T e in particolare sulla Racc. G.821 per i sistemi trasmissivi asincroni (PDH) e Racc. G.825 per quelli sincroni (SDH). In genere le prescrizioni effettive sono oggi più stringenti di quelle indicate nelle raccomandazioni.
 - *Disponibilità dei sistemi*: le riparazioni sui sistemi in cavo sottomarino sono particolarmente onerose in quanto richiedono operazioni che prevedono, tra l'altro, la disponibilità immediata di navi dedicate che hanno a bordo anche tecnici specializzati nelle telecomunicazioni sottomarine, componenti di scorta, sistemi per individuare il punto di guasto e per riparare il cavo. Per l'eliminazione del guasto occorrono alcuni giorni: mediamente otto per avarie nel Mediterraneo e tredici negli Oceani. Per ridurre al minimo la frequenza di guasti, i sistemi sottomarini impiegano componenti molto affidabili, adottano particolari indagini nella scelta del tracciato di posa e, ove possibile, l'interro del cavo (come è stato chiarito in [1], [2]). I sistemi sono progettati per avere non più di tre guasti ai componenti nei venticinque anni di vita.
 - *Protezione del traffico*: con la continua crescita della capacità dei cavi sottomarini e del traffico instradato un ruolo fondamentale assume la predisposizione, contestuale alla messa in servizio del collegamento, di piani di reinstradamento che individuino le vie di "riserva" sulle quali far fluire il traffico in caso di interruzione del sistema.
- I sistemi oggi impiegati stanno evolvendo dai collegamenti tradizionali punto-punto a vere e proprie reti ad anello, completamente autonome dal punto di vista del reinstradamento del traffico e in grado di ridurre a tempi molto ridotti (qualche secondo) il fuori servizio di un ramo dell'anello.

In particolare, la fitta rete di cavi sottomarini nel Mediterraneo ha messo in evidenza l'esigenza di disporre di uno o più gestori di manutenzione dei cavi sempre presenti in questa zona. Ma gli alti costi per mantenere navi per riparazioni hanno suggerito ai principali gestori dei sistemi sottomarini di consociarsi, con il risultato di avere un servizio soddisfacente a costi contenuti.

Con questo obiettivo, nel 1993 France Télécom, France Cable et Radio, Temasa, Telefonica, ASST e Italcable siglavano l'atto costitutivo del *MECMA (Mediterranean Cable Maintenance Agreement)* con una disponibilità iniziale di due navi, la prima francese,



Figura 18 Rete mondiale ad "anello" di Telecom Italia.

l'altra spagnola, assegnate esclusivamente alla manutenzione dei sistemi sottomarini mediterranei; ad essa si è aggiunta, dal luglio 1996, la nave Teliri di Telecom Italia, che però effettua anche operazioni di posa [9].

Consorzi con obiettivi analoghi sono stati costituiti con le stesse finalità in altre aree geografiche con alta concentrazione di cavi sottomarini, in particolare nell'Atlantico e nell'Oceano Indiano.

Il tempo di fuori servizio di un sistema sottomarino, dall'insorgere del guasto al termine della riparazione, dipende naturalmente dall'ubicazione del guasto rispetto alla posizione delle navi assegnate alla manutenzione della rete: in particolare il tempo medio di riparazione in Atlantico dei cavi sottomarini per telecomunicazioni è di tredici giorni (venti nei casi peggiori) e si riduce nel Mediterraneo a otto giorni (tredici nei casi peggiori).

Inoltre, dall'esame delle statistiche dei guasti sui cavi sottomarini nel Mediterraneo, per i quali i dati disponibili sono più certi, appare evidente che, tranne in un numero assai limitato di sistemi analogici, posati molti anni fa, è oggi rispettata la specifica di progetto di tre guasti ai componenti degli apparati dei cavi sottomarini nei venticinque anni di vita media del cavo.

8. Conclusioni

Telecom Italia, in linea con le strategie perseguite dai maggiori gestori e per rafforzare ulteriormente il proprio peso nel contesto mondiale e grazie all'acquisizione di traffici in diverse aree geografiche, ha pianificato la costituzione per il Duemila di una rete proprietaria che realizzi un anello mondiale mediante flussi interi acquisiti su diversi sistemi. Come mostrato nella figura 18, questa rete si svilupperà lungo un anello equatoriale (backbone) che alimenterà anelli regionali nelle aree di maggior rilevanza strategica per la Società: quelli con il Nord-Atlantico e con il Sud-America.

Le azioni intraprese quindi dalla seconda metà degli anni Ottanta ad oggi collocano Telecom Italia tra i primi gestori mondiali per le dimensioni e per gli investimenti effettuati nella rete mondiale di cavi sottomarini. Nel Mediterraneo, grazie alla posizione baricentrica della Sicilia, Telecom Italia ha svolto una efficace azione politica che l'ha portata ad assumere un ruolo di leader. Con gli impianti già messi in servizio, o di prossima posa, installati per realizzare collegamenti sottomarini totalmente "bagnati" con il continente americano (Columbus II e III) e con l'Europa continentale (ramo europeo del sistema SEA-ME-WE 3), l'Italia può stabilire relazioni di traffico con tutti i Paesi all'avanguardia nel mondo occidentale attraverso vie estremamente affidabili e di alta qualità trasmissiva ed ha, d'altra parte, ridotto sensibilmente gli attraversamenti sulla rete terrestre in diversi Paesi. L'apertura al servizio nel prossimo anno del sistema SEA-ME-WE 3 per il quale, come è già stato ricordato, è sensibile l'impegno finanziario di Telecom Italia, potrà migliorare

sensibilmente la presenza del nostro Paese in regioni lambite o prossime all'Oceano Indiano o in quelle dell'Estremo Oriente.

L'obiettivo di Telecom Italia è dunque quello di essere presente in questo campo continuando a gestire un ruolo di leader nel settore.

Bibliografia

- [1] Coluccia, C.; Ridolfi, A.; Rubino, E.: *Navi speciali al servizio dei cavi sottomarini*. «Notiziario Tecnico Telecom Italia», Anno 6, n. 1, luglio 1997, pp. 11-22.
- [2] Coluccia, C.; Ridolfi, A.; Rubino, E.: *Teliri, una nave all'avanguardia nella tecnologia*. «Notiziario Tecnico Telecom Italia», Anno 6, n. 1, luglio 1997, pp. 23-27.
- [3] Fontana, F.; Grasso, G.: *L'amplificatore a fibra ottica drogata con Erblio: tecnologia ed applicazioni*. «Notiziario Tecnico SIP», Anno 2, n. 3, dicembre 1993, pp. 5-11.
- [4] Artiglia, M.; Finzi P.M.; Montalti, F.: *Evoluzione delle tecnologie ottiche di trasmissione per i sistemi sottomarini*. Su questo stesso numero del «Notiziario Tecnico Telecom Italia».
- [5] Artiglia, M.; Finzi P.M.; Montalti, F.: *Cavi ottici per sistemi di telecomunicazione sottomarini: stato dell'arte e prospettive*. Su questo stesso numero del «Notiziario Tecnico Telecom Italia».
- [6] Jona, E.: *Cavi telegrafici sottomarini*. Ulrico Hoepli, Milano, 1896.
- [7] Bonavoglia, L.: *Le Telecomunicazioni in Italia e il Museo della Sirti*. Bariletti Editori, Roma, 1992.
- [8] Catania, B.; Rudilosso, C.; Vago, A.; Occhini, E.; Olivari, A.; Bellato, L.; Moro, P.; Cascelli, S.; Guglielmucci, M.; Lattanzi, L.; Rosa, P.; Vighi, A.: *"I festoni" - Rete sottomarina italiana a 565 Mbit/s in fibra ottica senza ripetitori*. Edizione MARISTEL, Milano, 1991.
- [9] Casale, R.: *Teliri, la nave di Telecom Italia*. «Notiziario Tecnico Telecom Italia», Anno 6, n. 1, luglio 1997, pp. 5-10.



Alfredo Barbiani ha conseguito la laurea in Ingegneria Elettronica nel 1979 presso l'Università degli Studi di Roma "La Sapienza". È entrato in Italcable (azienda poi confluita in Telecom Italia) nel 1980 occupandosi sin dall'inizio delle attività di pianificazione e di realizzazione dei sistemi intercontinentali in cavo sottomarino a fibre ottiche. Oggi opera nella linea Rete della Direzione Internazionale come responsabile del settore Collegamenti Internazionali. Il settore, che garantisce l'evoluzione dei collegamenti sottomarini e terrestri, della rete internazionale, cura la definizione degli accordi di partecipazione con altri partner alle varie attività realizzative, partecipa alle fasi di sviluppo dei vari progetti ed assicura la manutenzione di questi collegamenti.

Controllo del traffico e della congestione nella rete B-ISDN: principali funzioni di controllo

PAOLO CASTELLI
LIVIA DE GIOVANNI
PAOLO VITTORI

Nella rete B-ISDN, basata sulla tecnica ATM, la congestione è definita come lo stato degli elementi di rete nel quale non è possibile garantire la Qualità del Servizio negoziata con gli utenti, sia per le connessioni già instaurate sia per quelle non ancora accettate. L'insieme delle azioni intraprese dalla rete per evitare l'insorgere di situazioni di congestione costituisce l'oggetto del controllo del traffico a livello ATM, mentre l'attivazione di funzioni di controllo di congestione è provocata dal verificarsi di stati di congestione in uno o più elementi di rete ed è eseguita per evitare il diffondersi di questi stati e per limitarne gli effetti negativi.

La possibilità, poi, di distinguere in una generica connessione ATM tre distinti livelli di aggregazione delle informazioni di traffico - di chiamata, di blocchi di dati (detti burst) all'interno di una medesima chiamata ed infine di cella nell'ambito di ogni singolo burst - consente di applicare a ciascuno di questi livelli funzionalità di controllo del traffico e della congestione aventi peculiarità proprie dell'area su cui agiscono.

Scopo di questo articolo è quello di presentare le principali funzioni di controllo del traffico e della congestione che sono attuabili da parte della rete a livello di burst.

1. Introduzione

L'utilizzazione delle celle come unità trasmissive proprie della tecnica ATM e l'assenza di vincoli rigidi sul comportamento delle sorgenti fanno sì che in una generica connessione ATM siano riconoscibili diversi livelli di situazioni in rete, ciascuno dei quali può presentare problemi di congestione e richiede perciò un'adeguata caratterizzazione e l'utilizzazione di specifiche funzioni di controllo. Secondo il modello a strati presentato in [1] e [2], i problemi di controllo in una rete ATM si presentano ad almeno tre livelli, rappresentati schematicamente in figura 1:

- il livello di chiamata;
- il livello di *burst*;
- il livello di cella.

Il verificarsi di uno stato di congestione a ciascuno dei livelli suddetti può essere controllato mediante opportune funzioni "preventive" svolte dal livello superiore o mediante funzioni "reattive" eseguite allo stesso livello. Per quanto riguarda le prime si è soliti parlare di *funzioni di controllo del traffico* in quanto queste agiscono "preventivamente", in modo da evitare l'insorgere di fenomeni di congestione; le seconde, invece, "reagendo" solo dopo che si è verificato lo stato di congestione, sono più propriamente chiamate *funzioni di controllo della congestione*.

Entrambe le tecniche sopra indicate richiedono la

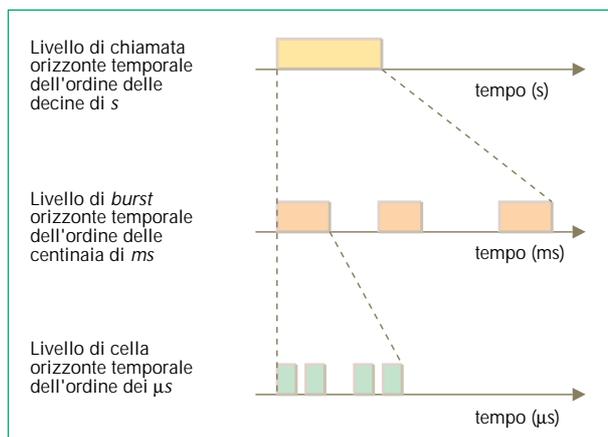


Figura 1 Modello di traffico a strati.

conoscenza delle caratteristiche del traffico proprie del livello che deve essere controllato. In particolare queste possono essere brevemente riassunte nel modo seguente:

- a livello di chiamata il traffico è descritto dalle distribuzioni degli arrivi e delle durate delle chiamate, dal numero di connessioni per chiamata e dalle informazioni contenute nel contratto di traf-

fico per ciascuna connessione (vedi [3], [4]). Si verifica congestione quando le risorse della rete non sono sufficienti ad accettare le richieste di nuove connessioni, che devono essere perciò rifiutate. Il controllo, a questo livello, si esplica in modo "preventivo" mediante il dimensionamento della rete e la definizione di un opportuno piano degli instradamenti, e in modo "reattivo" mediante l'applicazione di controlli, attivati in corrispondenza di condizioni di congestione di rete, in grado di limitare il numero di tentativi di chiamata andati a buon fine in un intervallo temporale di durata prefissata;

- a livello di *burst* il traffico è descritto, per ciascuna connessione, dalle distribuzioni delle durate dei *burst* e dei periodi di inattività della sorgente, oltretutto dalla frequenza di celle richieste durante i *burst*. Il livello di *burst* infatti intende rappresentare la variabilità nella generazione di traffico da parte delle sorgenti: la trasmissione non avviene in modo continuo, ma è concentrata in periodi di attività seguiti da periodi di silenzio. Il livello di *burst* può essere però esteso anche alle connessioni che presentano continuità trasmissiva: in questo caso ogni chiamata sarà semplicemente costituita da un unico *burst*. La caratterizzazione a livello di *burst* può inoltre essere utilizzata per descrivere il traffico generato da sorgenti a frequenza di emissione variabile in modo continuo, purché si scelgano in modo opportuno i valori dei già citati parametri descrittivi propri del livello di *burst*. La congestione, a questo livello, si verifica quando la frequenza di celle globalmente offerta ad una certa risorsa dalle connessioni attive supera la capacità di trasporto della risorsa stessa. Questo tipo di congestione a livello di *burst* è risolto, nel caso di un'azione "preventiva", mediante specifici algoritmi di controllo di accettazione delle connessioni, mentre, per la modalità "reattiva", prevede l'utilizzo di tecniche per il controllo di flusso;
- il livello di cella, infine, specifico delle reti ATM, riguarda la variabilità di breve periodo dei flussi informativi: la trasmissione è, infatti, effettuata in modo quantizzato mediante l'utilizzazione delle celle che non occupano le risorse secondo uno schema temporale rigido ma le condividono in modo non deterministico. A questo livello il traffico è descritto dalla distribuzione degli arrivi delle celle e la congestione può presentarsi nei sistemi di multiplexazione e di commutazione quando si hanno arrivi contemporanei di celle. Il controllo di queste situazioni avviene essenzialmente in modo "preventivo", mediante un opportuno dimensionamento dei buffer che devono essere in grado di far fronte ai sovraccarichi momentanei. Per limitare poi la probabilità della presenza di sovraccarichi di questo tipo, sono utilizzabili funzioni di ripristino delle caratteristiche nominali del traffico offerto (per esempio: spaziatura delle celle di una connessione o *shaping*) per consentire una gestibilità più agevole delle celle all'interno della rete. È prevista inoltre l'utilizzazione di procedure per scartare selettivamente le celle, in base a criteri di

priorità, in modo da assicurare la protezione delle informazioni di maggiore importanza in caso di congestione.

Lo studio del controllo del traffico nelle reti ATM è stato concentrato principalmente sul livello di *burst*, dove sono stati individuati i principali problemi connessi all'impiego di queste reti.

Nel seguito di questo articolo saranno descritte le tre principali funzioni di controllo del traffico e della congestione operanti a livello di *burst*: *controllo di accettazione delle connessioni*, noto come *CAC (Connection Admission Control)* e *verifica di conformità dei parametri di traffico*, indicata nel seguito come *UPC/NPC (Usage/Network Parameter Control)*, per quanto riguarda la classe delle funzioni "preventive"; *controllo di flusso per la classe ABR (Available Bit Rate)*, per ciò che concerne la categoria delle funzioni "reattive". Si precisa che i criteri di controllo di accettazione delle connessioni descritti in questo articolo fanno riferimento a risorse - quali ad esempio la frequenza trasmissiva dei collegamenti fra nodi - già dimensionate. La procedura di dimensionamento delle risorse di rete da utilizzare per risolvere "preventivamente" la congestione a livello di chiamata è stata già descritta in un articolo precedente [2]: in esso sono stati anche chiariti i rapporti con gli algoritmi di controllo di accettazione delle connessioni presentati in questo testo.

2. Controllo di accettazione delle connessioni

Quando è richiesta la configurazione di una nuova connessione - *VP (Virtual Path)* o *VC (Virtual Channel)* - proveniente o dal Piano di Controllo tramite celle di segnalazione ovvero dal Piano di Gestione tramite celle di comando impartiti sul sistema di gestione, la rete [5] deve valutare la presenza in essa di risorse sufficienti per accettare la richiesta senza compromettere la *QdS (Qualità del Servizio)* delle connessioni già accettate e garantendo la *QdS* richiesta per la nuova connessione. Questa funzione è svolta dall'algoritmo di controllo di accettazione delle connessioni *CAC (Connection Admission Control)*. La funzione di *CAC* è svolta in tutte le reti nelle quali il modo di trasferimento operi con un servizio orientato alla connessione. È previsto, in particolare, un controllo di accettazione delle connessioni, sia pure in una forma semplificata, anche nella rete telefonica: in questo caso il descrittore di traffico della connessione è semplificato in quanto la rete è dedicata ad uno specifico servizio (telefonia) per il quale sono fissate e note a priori esigenze in termini di risorse e requisiti di *QdS*.

Nel caso ATM, la funzione *CAC* utilizza le informazioni (descritte in [4]) relative:

- alla classe di trasporto richiesta: ad esempio *DBR (Deterministic Bit Rate)* o *SBR (Statistical Bit Rate)*;
 - ai parametri descrittivi della connessione: ad esempio frequenza di picco di emissione di celle;
 - alla *QdS* richiesta: ad esempio probabilità di perdita di cella o massima variazione del ritardo di trasferimento di cella;
- per determinare:

IL CONTROLLO DI ACCETTAZIONE DELLE CONNESSIONI

- **Funzione:** controllare che la rete sia in grado di allocare le risorse necessarie per soddisfare la Qualità del Servizio richiesta per la connessione in corso di instaurazione e mantenere, nello stesso tempo, quella richiesta da tutte le altre connessioni già instaurate.
- **Azioni:** accettare o rifiutare la chiamata per la quale una o più connessioni sono richieste.
- **Algoritmo:** il ruolo degli Enti di normativa è stato, finora, quello di non standardizzare alcun algoritmo per lasciare la massima libertà di progettazione alle aziende manifatturiere, in modo da garantire una continua ricerca di realizzazioni il più possibile efficienti. Oggi, tuttavia, nelle sedi di normalizzazione sono in corso di definizione alcuni criteri di controllo di accettazione delle connessioni relativi alle diverse classi di trasporto ATM per favorire l'interoperabilità di prodotti di differenti costruttori.

- se la connessione può essere accettata;
- i parametri necessari per lo svolgimento della funzione di controllo dei medesimi (chiariti nel paragrafo 3);
- le risorse da allocare nell'instradamento selezionato per la connessione.

Le risorse sono la frequenza di trasmissione delle celle, considerata come frazione della capacità trasmissiva di un mezzo fisico, lo spazio di memoria e gli identificativi *VPI (Virtual Path Identifier)* e *VCI (Virtual Channel Identifier)* [5], da assegnare alla connessione. Gli identificativi VPI e VCI non saranno trattati in questo articolo in quanto essi non costituiscono in genere una risorsa critica. Inoltre, gli attuali algoritmi di controllo di accettazione delle connessioni si limitano a considerare la sola frequenza di emissione delle celle e non anche lo spazio di memoria. La selezione dell'instradamento, che precede la verifica della disponibilità di risorse su di esso, riguarda le funzioni del Piano di Controllo di un nodo ATM se l'instaurazione della connessione è richiesta tramite procedure di segnalazione [5]; essa, invece, è connessa alle funzioni svolte da un sistema di gestione di rete se l'instaurazione della connessione è richiesta tramite interazione con questo sistema. La funzione di CAC è, infine, parte delle funzioni del Piano di Gestione di un nodo ATM [5].

I criteri di CAC per le diverse classi di trasporto ATM sono oggetto della Raccomandazione ITU-T E.736 "Methods for Traffic Control in B-ISDN" [6] che presenta i criteri per il controllo di accettazione delle connessioni relativi alle classi di trasporto *DBR (Deterministic Bit Rate)* e *SBR (Statistical Bit Rate)* [4]. I criteri di CAC per le altre classi di trasporto sono oggi in corso di definizione presso gli Organismi di standardizzazione internazionale.

Considerando lo stato attuale della normativa, la funzione di CAC è successivamente esaminata per chiamate relative a una singola connessione bidirezionale simmetrica o asimmetrica (al limite unidirezionale) in configurazione punto-punto, anche se sono possibili chiamate a più connessioni e in configura-

zione punto-multipunto. La funzione di CAC è svolta in ogni nodo interessato dall'instradamento relativo a quella connessione e per entrambe le direzioni trasmissive.

Per presentare gli algoritmi di CAC conviene introdurre il modello relativo ad un moltiplicatore ATM: questo, infatti, è un sistema di servizio che consente a celle appartenenti a connessioni distinte di condividere un mezzo trasmissivo. Il moltiplicatore è caratterizzato dalla capacità trasmissiva c del mezzo trasmissivo (misurata in celle al secondo), da una memoria (coda) di dimensione K (espressa in celle) in cui sono temporaneamente immagazzinate le celle che non possono essere immediatamente trasmesse dal mezzo e, infine, dalla disciplina di coda, ovvero dalla regola che seleziona le celle presenti nella memoria per la trasmissione. Questo modello rappresenta il funzionamento di un nodo ATM rispetto a ciascuna porta di uscita (figura 2): le celle provenienti simultaneamente da differenti porte di ingresso e destinate a una medesima porta di uscita sono trasferite su questa porta dove rimangono in coda in attesa, prima di essere trasmesse. In accordo con la teoria sui

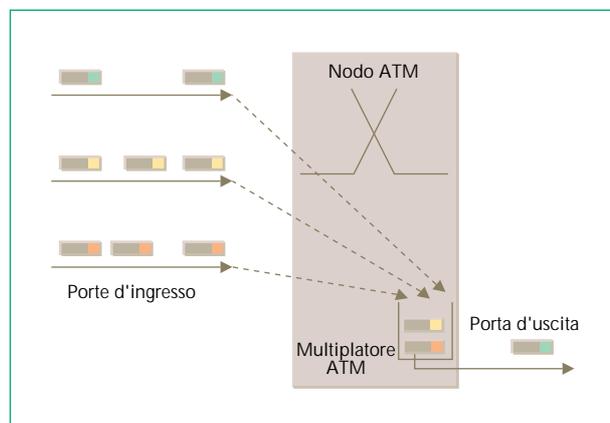


Figura 2 Nodo e moltiplicatore ATM.

sistemi di servizio, dopo aver caratterizzato il moltiplicatore ATM in termini di processo di arrivi di celle (dedotto dai descrittori di traffico delle connessioni), di capacità del mezzo trasmissivo e di disciplina di coda (ad esempio secondo il criterio per il quale il primo entrato è il primo servito), e, d'altra parte, nell'ipotesi dell'indipendenza delle connessioni, risulta possibile valutare in termini quantitativi le prestazioni del moltiplicatore, tra le quali particolarmente significativa è la probabilità di perdita di cella *CLR* (*Cell Loss Ratio*) [4] o probabilità che una cella non riesca ad accedere alla memoria del moltiplicatore a causa di uno stato di congestione in esso presente (mezzo trasmissivo impegnato e memoria piena). Questa probabilità corrisponde alla frazione di celle scartate dal moltiplicatore sul totale di celle che arrivano all'ingresso del moltiplicatore. L'insieme delle celle perse di una data connessione, durante la fase di trasferimento, comprende, tuttavia, non solo quelle perse per congestione dei moltiplicatori attraversati, ma anche quelle scartate dal livello fisico (a causa di errori presenti nell'intestazione della cella, secondo quanto descritto in [5]) o quelle instradate erroneamente

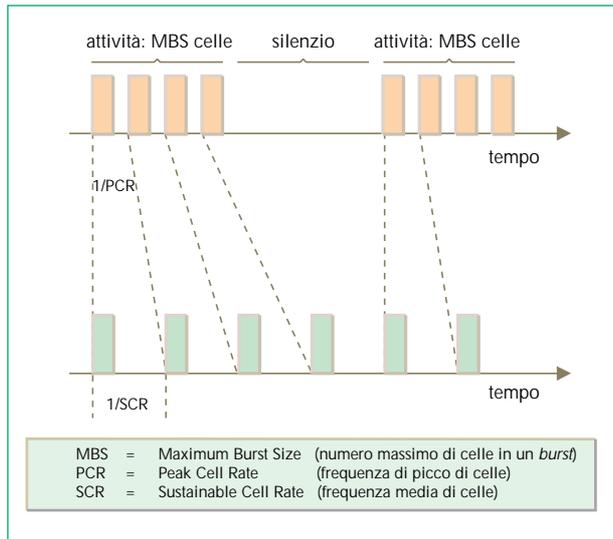


Figura 3 Processo di arrivi di celle conforme al descrittore di traffico.

mente.

La regola di CAC eseguita dal nodo ATM all'atto di richiesta di connessione è la seguente: se N sono le connessioni "già accettate" in un moltiplicatore ATM selezionato dalla funzione di instradamento per quelle connessioni, e se è richiesta una nuova connessione da parte di una $N+1$ -esima sorgente (che specificherà, tramite il contratto di traffico, la frequenza di emissione di celle di picco e/o media) per la quale la funzione di instradamento abbia selezionato lo stesso moltiplicatore, la connessione è accettata solo se il valore del CLR (*Cell Loss Ratio*) per tutte le $N+1$ sorgenti è minore di una soglia $\epsilon > 0$ prefissata (ad esempio $\epsilon = 10^{-3}$, $\epsilon = 10^{-6}$, $\epsilon = 10^{-9}$), mentre essa è rifiutata nel caso contrario. La soglia ϵ deve essere tale da garantire la QoS delle $N+1$ connessioni.

Per comprendere le cause che concorrono a determinare il valore di CLR nella moltiplicazione ATM, è

utile considerare un moltiplicatore ATM alimentato da sorgenti di traffico definite ON-OFF, ovvero sorgenti la cui descrizione a livello di burst consiste nell'alternarsi di periodi di emissione alla frequenza di picco di celle e periodi di inattività. Questo tipo di sorgente corrisponde al profilo di emissione peggiore di una connessione con classe di trasporto SBR [4], per la quale siano specificati nel contratto di traffico i parametri (figura 3):

- frequenza di picco di emissione di celle *PCR* (*Peak Cell Rate*);
- frequenza media di emissione di celle *SCR* (*Sustainable Cell Rate*);
- numero massimo di celle consecutive *MBS* (*Maximum Burst Size*) che possono essere emesse alla frequenza di picco.

Il periodo di attività ha una durata pari a $MBS \cdot T_{PCR}$ dove $T_{PCR} = 1/PCR$ indica il tempo nominale minimo di inter-emissione delle celle; analogamente, $T_{SCR} = 1/SCR$ indica il tempo nominale medio di inter-emissione delle celle. Il tempo totale T , dato dalla somma delle durate dei periodi di attività con quelli di silenzio, deve essere tale che $MBS/T = SCR$, cioè $T = MBS \cdot T_{SCR}$

La figura 4 rappresenta l'andamento di CLR in funzione della dimensione K della memoria del moltiplicatore. Il grafico rappresentato in figura 4 è stato ottenuto per il caso particolare di un moltiplicatore ATM con capacità trasmissiva pari a 150 Mbit/s alimentato da 68 sorgenti ON-OFF aventi i medesimi valori di PCR e SCR (pari rispettivamente a 10 Mbit/s e 1 Mbit/s). Il grafico suddetto mostra che i fenomeni che danno luogo a perdita di cella sono due, coerentemente con il modello di chiamata a strati definito in [1] e [2]. Nel seguito si indicherà con N il numero di sorgenti moltiplicate (cioè accettate dall'algoritmo di CAC) e con $n(t)$ il numero di sorgenti che sono contemporaneamente attive all'istante t ($0 \leq n(t) \leq N$).

Per valori di K minori o dello stesso ordine di grandezza del numero di celle trasmesse (mediamente) in un periodo di attività, i trabocchi di celle sono dovuti

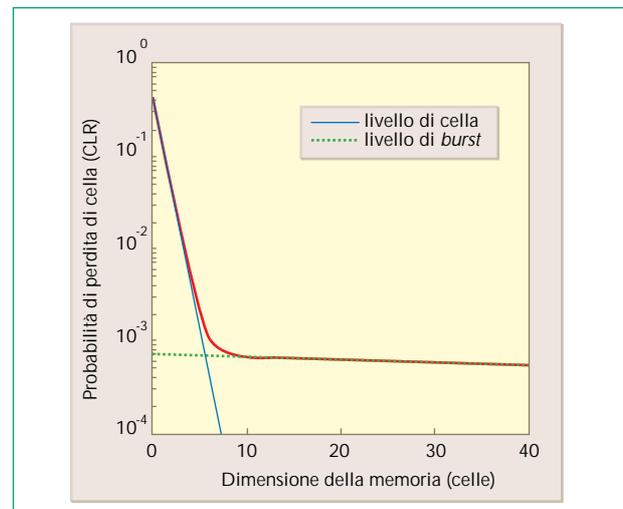


Figura 4 Valori di CLR in un moltiplicatore ATM in funzione della dimensione della memoria.

alla natura asincrona della tecnica ATM, che rende possibile l'arrivo al moltiplicatore, in uno stesso tempo di celle, di celle provenienti da diverse connessioni e da differenti porte di ingresso anche nel caso in cui la somma delle frequenze di picco di celle delle $n(t)$ connessioni che sono contemporaneamente attive non ne superi la capacità trasmissiva (*gestione a livello di cella*). Quando la dimensione della memoria cresce, questi picchi di breve durata sono assorbiti dalla capacità del moltiplicatore di immagazzinare le celle in arrivo provenienti contemporaneamente da diverse connessioni e da differenti porte di ingresso. In questo caso i trabocchi della memoria possono essere causati da sovraccarichi della capacità trasmissiva del moltiplicatore, per tempi sufficientemente lunghi da saturarne la memoria. I sovraccarichi sono possibili solo se la somma delle frequenze di picco di celle delle connessioni *multiplate* supera la capacità trasmissiva del moltiplicatore. Essi si presentano in effetti ogni volta che la somma dei PCR delle connessioni *contemporaneamente attive* supera la capacità trasmissiva del moltiplicatore: in tal caso arrivano al moltiplicatore più celle al secondo di quante ne possano essere trasmesse e, se tale situazione perdura abbastanza nel tempo, si giunge al punto in cui le celle in eccesso non possono essere temporaneamente immagazzinate nella memoria (*gestione a livello di burst*).

La figura 5 mostra l'andamento del contenuto della memoria - di dimensione $K=40$ celle - del moltiplicatore nei casi in cui esso sia alimentato da connessioni di tipo ON-OFF, oppure da connessioni che trasmettano in modo casuale ma uniforme con una stessa frequenza media complessiva: nel primo caso la natura intermittente dell'emissione delle celle comporta l'oscillazione del contenuto della memoria tra due stati estremi di (quasi) svuotamento, durante gli intervalli di tempo in cui la frequenza di emissione di celle complessivamente generata dalle connessioni in fase di attività è inferiore alla capacità trasmissiva

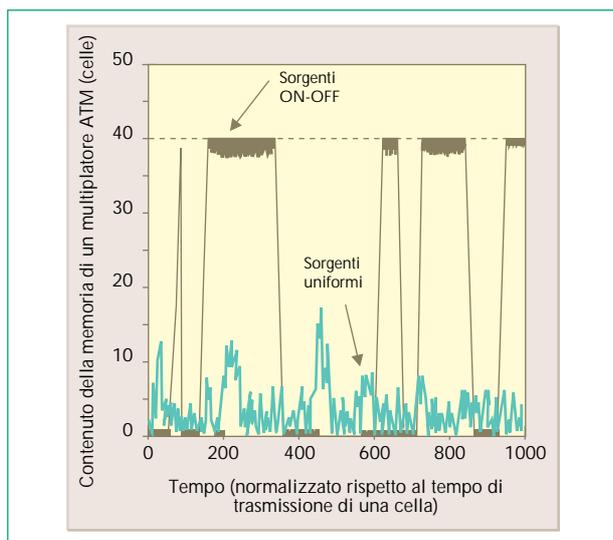


Figura 5 Evoluzione temporale del contenuto della memoria di un moltiplicatore ATM.

del moltiplicatore e di (quasi) saturazione quando accade il contrario.

Per garantire la QoS in termini di CLR è quindi necessario controllare la probabilità di perdita sia a livello di cella che di *burst*.

L'approccio ITU-T al CAC [6] prescrive due scenari.

Nel primo (*rate envelope*) si ipotizza che la dimensione ridotta della memoria del moltiplicatore sia sufficiente ad assorbire la congestione a livello di cella ma non quella a livello di *burst*. In questo scenario il CLR è calcolato tenendo conto solo della congestione generata a livello di *burst*: questo significa che si valuta il CLR considerando le celle perse per effetto dei temporanei sovraccarichi della capacità trasmissiva di un *moltiplicatore fittizio*, privo di fenomeni di congestione a livello di cella e con dimensione nulla della memoria (*moltiplicatore fluidico*). In questo caso l'assenza di congestione a livello di cella è garantita dal non consentire l'utilizzo, a livello di *burst*, dell'intera capacità trasmissiva c del moltiplicatore ma solo di una sua frazione c' opportunamente determinata:

$$c' = \rho \cdot c \quad \text{con } \rho \leq 1 \quad (1)$$

Il secondo scenario (*rate sharing*) porta a valutare il CLR tenendo conto anche della dimensione della memoria. Si ottiene così una espressione non riportata qui per semplicità.

Con queste premesse, si descrivono nel seguito gli algoritmi di CAC (*Connection Admission Control*) per lo scenario *rate envelope* raccomandati in [6].

CAC per DBR (Deterministic Bit Rate): l'algoritmo di CAC nel caso di moltiplicazione di connessioni che richiedono la classe di trasporto DBR si basa sull'allocation del valore di frequenza di picco di celle *PCR* (*Peak Cell Rate*), unico parametro previsto nel contratto di traffico per questa classe di trasporto [4]. La somma delle frequenze di picco di celle delle connessioni accettate sulla porta di uscita di un nodo ATM - in numero pari ad N - e della nuova connessione non deve superare la capacità trasmissiva c' di essa - definita in (1) - effettivamente utilizzabile a livello di *burst*.

$$\sum_{i=1}^{N+1} PCR_i \leq c' \quad (2)$$

CAC per DBR (Deterministic Bit Rate) e per SBR (Statistical Bit Rate): gli algoritmi di CAC nel caso di moltiplicazione di connessioni che richiedono la classe di trasporto DBR o SBR si distinguono in:

- criteri di CAC basati solo sulle informazioni fornite dai parametri di traffico dichiarati nel contratto;
- criteri di CAC basati su variabili statistiche di traffico (*Cell Traffic Variables*, secondo quanto presentato in [3]) che caratterizzano il processo di arrivi di celle, noto sulla base di misurazioni precedenti;
- criteri di CAC basati su misure, eseguite in tempo reale, delle caratteristiche delle sorgenti (*Adaptive CAC*).

L'algoritmo di CAC, nel caso di moltiplicazione di

connessioni che richiedono la classe di trasporto DBR o SBR, basato solo sulle informazioni fornite dai parametri di traffico dichiarati nel contratto, sfrutta efficacemente le informazioni sulla intermittenza delle connessioni contenute nei parametri relativi alla frequenza di picco e a quella media di emissione di celle (rispettivamente PCR e SCR, come chiarito in [4]). Mediante questi parametri si può valutare la probabilità che $n(t)$ connessioni siano contemporaneamente attive ($0 \leq n(t) \leq N$). Questa probabilità, quando risultasse molto inferiore a uno, renderebbe possibile la moltiplicazione statistica, cioè l'accettazione, in uscita da una porta di un nodo ATM, di un numero di connessioni tali che la somma delle loro frequenze di picco di emissione di celle superi la capacità trasmissiva della porta stessa, pur mantenendo ad un valore prefissato (quello previsto dal contratto di traffico descritto in [4]) la QoS, espressa in termini di probabilità di perdita di cella CLR. L'intermittenza di queste sorgenti fa sì, infatti, che solo un sottinsieme di queste risulti contemporaneamente attivo, rendendo non conveniente, a parità di QoS, l'assegnazione in maniera permanente a ciascuna di esse di una frequenza di trasmissione di celle pari al valore della frequenza di picco di celle PCR.

Dai valori di PCR e SCR è possibile ricavare la probabilità P_{ON} che una generica connessione sia attiva in un qualunque istante t .

$$P_{ON} = \frac{\text{durata media dell' attività}}{\text{durata media dell' attività} + \text{durata media del silenzio}} = \frac{MBS \cdot T_{PCR}}{MBS \cdot T_{SCR}} = \frac{SCR}{PCR} \quad (3)$$

Da questa espressione è possibile ricavare la probabilità $P[n(t)=i]$ che i connessioni comprese tra N omogenee (stessi descrittori PCR e SCR) siano attive in un generico istante t :

$$P[n(t) = i] = \binom{N}{i} \cdot P_{ON}^i \cdot (1 - P_{ON})^{N-i} \quad (4)$$

con $i = 0, \dots, N$

La formula che esprime la probabilità di perdita di cella CLR è quindi:

$$CLR = \frac{\sum_{i \geq \frac{c'}{PCR}} (i \cdot PCR - c') \cdot P[n(t) = i]}{\sum_{i \geq 0} i \cdot PCR \cdot P[n(t) = i]} = \frac{1}{N \cdot SCR} \cdot \sum_{i: PCR \geq c'} (i \cdot PCR - c') \cdot \binom{N}{i} \cdot \left(\frac{SCR}{PCR}\right)^i \cdot \left(1 - \frac{SCR}{PCR}\right)^{N-i} \quad (5)$$

In accordo con la definizione di CLR introdotta in [7], il numeratore esprime il numero medio di celle perse come somma dei prodotti delle celle perse in un certo istante t - cioè $(i \cdot PCR - c')$ - per la probabilità che i connessioni siano contemporaneamente attive nel medesimo istante; il denominatore esprime il numero medio di celle offerte al moltiplicatore in un certo istante t come prodotto del numero medio di connessioni attive in un certo istante t - data da $N \cdot P_{ON} = N \cdot SCR / PCR$ - per il numero di celle trasmesse nell'unità di tempo da una connessione, quando attiva, cioè PCR .

Definendo utilizzazione della capacità del moltiplicatore la frazione di tempo in cui la porta di uscita è impegnata, risulta possibile valutare la massima utilizzazione della capacità del moltiplicatore compatibile con il vincolo sul CLR nel caso di moltiplicazione di sorgenti di traffico ON-OFF omogenee (stessi valori PCR e SCR). È infatti possibile esprimere la (5) nella forma seguente:

$$CLR = \frac{1}{N \cdot P_{ON}} \cdot \sum_{i=\lceil R \rceil}^N (i - R) \cdot \binom{N}{i} \cdot P_{ON}^i \cdot (1 - P_{ON})^{N-i} \quad (6)$$

con $R = \frac{c'}{PCR}$

Se si assume $CLR \leq \epsilon = 10^{-9}$, si ricava il valore massimo di N in funzione della probabilità di attivazione P_{ON} e del rapporto R tra capacità trasmissiva del moltiplicatore e frequenza di picco di emissione di celle PCR delle connessioni: $N_{MAX} = f(P_{ON}, R)$. Il grafico in figura 6 rappresenta l'andamento dell'utilizzazione della capacità del moltiplicatore (non includendo le celle perse per congestione)

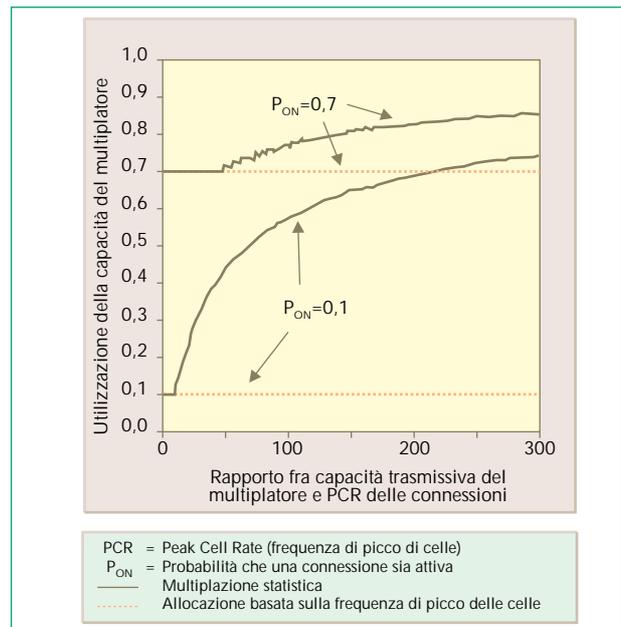


Figura 6 Utilizzazione di un moltiplicatore ATM in funzione del rapporto c'/PCR per diverse probabilità di attivazione delle connessioni.

$$\frac{N_{MAX} \cdot SCR}{c'} \cdot (1 - CLR) \quad (7)$$

in funzione di R e per due valori di P_{ON}

Ogni singola curva mostra l'utilizzazione ottenibile con la moltiplicazione statistica (5) rispetto a una allocazione basata sulla frequenza di picco, a parità di P_{ON} ; la prima curva è crescente con l'aumentare di R , la seconda è una retta costante di valore P_{ON} . Questi andamenti mettono in evidenza che la moltiplicazione statistica non è mai meno efficace, in termini di utilizzazione del moltiplicatore e quindi di numero di connessioni accettate, di una allocazione basata sulla frequenza di picco nel caso di sorgenti ON-OFF, poiché sfrutta l'intermittenza delle sorgenti stesse. L'efficacia è tanto maggiore quanto minore è la probabilità di attivazione delle connessioni. Il grafico mostra d'altra parte che un'elevata utilizzazione è possibile solo quando la frequenza di emissione di picco PCR è una piccola frazione della capacità del moltiplicatore. Ciò si spiega in quanto connessioni con alti valori di PCR, seppure molto intermittenti (P_{ON} piccola), quando attive utilizzano un'alta frazione del moltiplicatore. Il confronto tra le curve mostra infine che la migliore utilizzazione si ottiene comunque con connessioni caratterizzate da alta probabilità di attivazione.

La (5) consente di valutare l'accettazione di connessioni con classe di trasporto associata sia SBR sia DBR: per queste ultime la coincidenza dei valori PCR e SCR fornisce una probabilità di attivazione P_{ON} pari ad 1. Nel caso di connessioni eterogenee, e cioè con diversi valori di PCR e SCR, si applicano formule analoghe.

Per quanto riguarda gli algoritmi di CAC basati su variabili statistiche di traffico, essi utilizzano l'approccio basato sulla banda "efficace" [6]. Si dimostra che, con alcune ipotesi, riguardanti ad esempio il processo di arrivi di *burst* di una connessione, è possibile assegnare a ciascuna connessione che dichiara i parametri PCR e SCR una banda "efficace", indicata anche come "equivalente" in [2], che dipende solo da questi parametri e dalla capacità trasmissiva del mezzo fisico - ed eventualmente dalla dimensione della memoria - ma non dai parametri caratterizzanti altre connessioni che condividono lo stesso mezzo fisico (questa dimostrazione è applicabile solo agli schemi lineari [2]). La regola di CAC che ne consegue è molto semplice: la somma delle bande "efficaci" B_{eff_i} delle connessioni accettate (in numero di N) e della nuova connessione non deve superare la capacità trasmissiva del mezzo fisico:

$$\sum_{i=1}^{N+1} B_{eff_i} \leq c' \quad (8)$$

Infine gli algoritmi di CAC basati sulla misura in tempo reale delle caratteristiche delle connessioni sono noti come *Adaptive CAC*: il principio che informa questi criteri di CAC riguarda l'aggiornamento delle distribuzioni di probabilità che intervengono nel calcolo del CLR, sulla base di misure in tempo reale

del traffico trasmesso sulle connessioni (di difficile rilevazione, evidentemente, per i requisiti di tempo reale di risposta dell'algoritmo di CAC).

3. Verifica di conformità dei parametri di traffico

Per quanto riguarda la funzione di verifica di conformità dei parametri di traffico, nota in letteratura con gli acronimi *UPC/NPC* (*Usage/Network Parameter Control*), il ruolo degli Enti di normativa è stato di grande rilievo, in quanto le caratteristiche di comportamento di questa funzione devono essere il più possibile indipendenti dalla realizzazione dei nodi e devono essere note a priori in modo da non far subire perdite di celle a un traffico conforme al contratto. Le funzioni di verifica di conformità dei parametri di traffico UPC e NPC sono eseguite rispettivamente alle interfacce *UNI* (*User Network Interface*) ed *NNI* (*Network Node Interface*). Il dispositivo di UPC/NPC ha come obiettivo la protezione delle risorse di rete da un mancato rispetto del contratto di traffico, intenzionale o no, che possa danneggiare la *QoS* (*Qualità del Servizio*) delle connessioni già instaurate. L'azione di esso si attua durante la fase attiva di una connessione, dopo che questa è stata accettata dal CAC e deve essere applicata a tutte le connessioni presenti, comprese quelle di segnalazione. Va ricordato che mentre l'uso dell'UPC è raccomandato, quello dell'NPC è opzionale.

Per poter svolgere l'azione di protezione della rete sopra indicata, un dispositivo di UPC/NPC deve osservare le celle entranti in rete appartenenti alla connessione sotto esame e deve decidere, cella per cella, se la sorgente controllata può essere considerata conforme o no al contratto di traffico. In corrispondenza di ogni cella arrivata il dispositivo di UPC/NPC può, quindi, attuare diversi tipi di azioni in funzione di come identifica la sorgente. In particolare, quindi, le azioni che un dispositivo di UPC/NPC può intraprendere a livello di cella, sono:

- *in caso di traffico conforme*: far passare le celle in modo "trasparente" (cioè senza alterarne le relative caratteristiche temporali) o eseguire la funzione di *shaping* (cioè ripristino del tempo nominale d'inter-emissione delle celle);
- *in caso di traffico non conforme*: scartare la cella oppure marcare la cella, ponendo il bit CLP a 1, qualora esso fosse stato posto inizialmente pari a 0.

Oltre alle azioni a livello di cella sopra elencate, in via opzionale, il dispositivo di UPC/NPC può avviare il rilascio della connessione nel caso in cui rilevi la presenza di un traffico non conforme al contratto. Le specifiche azioni di controllo che il dispositivo di UPC può intraprendere dipendono essenzialmente da quale classe di trasporto ATM è utilizzata per la connessione controllata.

Per quanto riguarda la precisione nel controllo della realizzazione pratica dell'algoritmo di UPC/NPC, considerando come parametro da controllare una frequenza di celle - di picco o media - di valore nominale F , il valore effettivamente controllato risulterà essere $F + d$, dove d definisce l'accuratezza con la quale è realizzato l'algoritmo utilizzato.

L'UTILIZZATORE RISPETTA IL "CONTRATTO"?

- La verifica dei parametri di traffico è una funzione usata nelle reti ATM per controllare la conformità di un utilizzatore (cliente finale o gestore interconnesso) al "contratto" di traffico (per esempio relativamente alla frequenza di picco con cui emette le celle) e la validità dei valori VPI/VCI delle celle della connessione ad esso relativa.
- La funzionalità di verifica dei parametri di traffico è indicata come UPC (Usage Parameter Control) se eseguita in corrispondenza dell'interfaccia di rete dell'utilizzatore, definita UNI, come NPC (Network Parameter Control) se eseguita in corrispondenza dell'interfaccia di rete del nodo, nota come NNI.
- Le verifiche perseguono l'obiettivo di proteggere le risorse di rete da comportamenti non corretti dell'utente, intenzionali o meno, che possono alterare la QoS (Qualità del Servizio) delle connessioni già instaurate, in modo da individuare violazioni del "contratto" di traffico e da intraprendere conseguentemente azioni appropriate fra le quali, ad esempio, lo scarto di cella.
- Le procedure di verifica dei parametri di traffico si applicano solo durante la fase successiva alla instaurazione della connessione, nel corso della quale si ha lo scambio informativo tra i punti terminali della connessione stessa.

In figura 7 è mostrato il requisito di accuratezza che le realizzazioni degli algoritmi di UPC/NPC per il controllo della frequenza di celle (di picco o media) devono garantire. Questo requisito prevede per d un valore positivo e non superiore all'1 per cento per valori di frequenza di celle nominali superiori a 160 celle/s. Quando, invece, la frequenza nominale di celle è compresa fra 100 celle/s e 160 celle/s, d non deve essere superiore a 1,6 celle/s, mentre non è stato raccomandato finora alcun requisito di accuratezza al di sotto del valore di 100 celle/s per la frequenza di celle nominale.

L'algoritmo considerato sia in [8] sia in [10] come riferimento per valutare la conformità di una connes-

sione al contratto di traffico è il *GCRA (Generic Cell Rate Algorithm)*. Questo algoritmo impiega un parametro di incremento I e uno di limite L , acquisiti in fase di accettazione della connessione o di rinegoziazione di alcune caratteristiche della stessa tramite protocollo di *RM (Resource Management)* o segnalazione, in modo tale che la notazione *GCRA(I,L)* indica un'istanza dell'algoritmo in cui questi parametri assumono i valori I ed L rispettivamente.

È opportuno precisare che il GCRA è utilizzabile per il controllo sia della frequenza di picco di celle sia per quella media purché si programmino in modo opportuno i due parametri d'incremento e limite.

In particolare per il controllo della frequenza di picco di celle debbono essere utilizzati i seguenti valori (riferiti a parametri descritti in [4]):

- $I = T_{PCR}$
con $T_{PCR} = 1/PCR$, PCR : Peak Cell Rate,
 - $L = CDVT_{PCR}$
con $CDVT_{PCR}$: Cell Delay Variation Tolerance sul PCR.
- Per controllare la frequenza media di celle, i valori da utilizzare (riferiti a parametri ancora descritti in [4]) sono, invece:
- $I = T_{SCR}$
con $T_{SCR} = 1/SCR$, SCR : Sustainable Cell Rate;
 - $L = IBT + CDVT_{SCR}$
con $CDVT_{SCR}$: Cell Delay Variation Tolerance sull'SCR, IBT : Intrinsic Burst Tolerance.

Se la classe di trasporto ATM utilizzata consente la modifica dei parametri di traffico attraverso l'uso di un protocollo [4] di *RM (Resource Management)* per le classi di trasporto *ABR (Available Bit Rate)* e *ABT (ATM Block Transfer)* o di segnalazione, il meccanismo di UPC/NPC dovrebbe essere in grado di modificare dinamicamente i valori dei suoi parametri utilizzando le informazioni trasportate dalle celle di RM o da quelle di segnalazione.

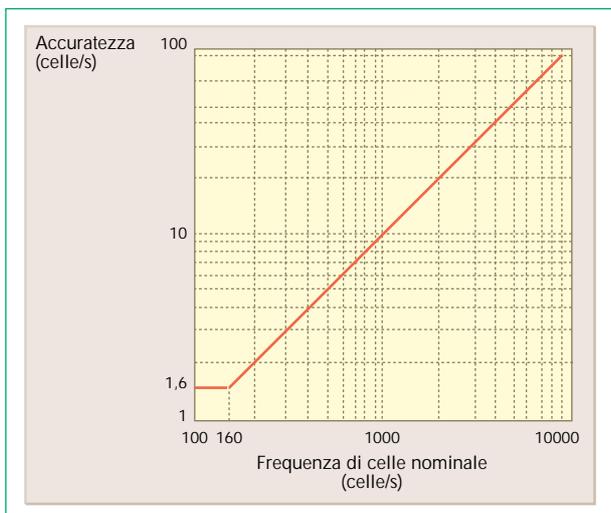


Figura 7 Accuratezza nella realizzazione di un algoritmo per la verifica di conformità relativa ai parametri di traffico.

L'algoritmo GCRA è esprimibile in due forme equivalenti: *Virtual Scheduling Algorithm* e *Continuous-State Leaky Bucket Algorithm* (figura 8). L'equivalenza fra gli algoritmi va intesa nel senso che, per ogni sequenza di istanti d'arrivo di celle, essi individuano come conformi o non conformi le stesse celle.

Il *Virtual Scheduling Algorithm*, dopo l'arrivo di una cella conforme, aggiorna il *TAT* (*Theoretical Arrival Time*), mostrato in figura 8, che è l'istante "nominale" d'arrivo della cella successiva, supponendo che le celle siano trasmesse dalla sorgente con un tempo di inter-emissione pari al parametro di incremento *I*, ricavabile dal parametro di traffico controllato. Se la cella successiva non arriva troppo presto rispetto al valore *TAT*, ricavato in precedenza, ed al valore limite *L* programmato, cioè se questo istante è ritardato rispetto a *TAT-L*, la cella è conforme,

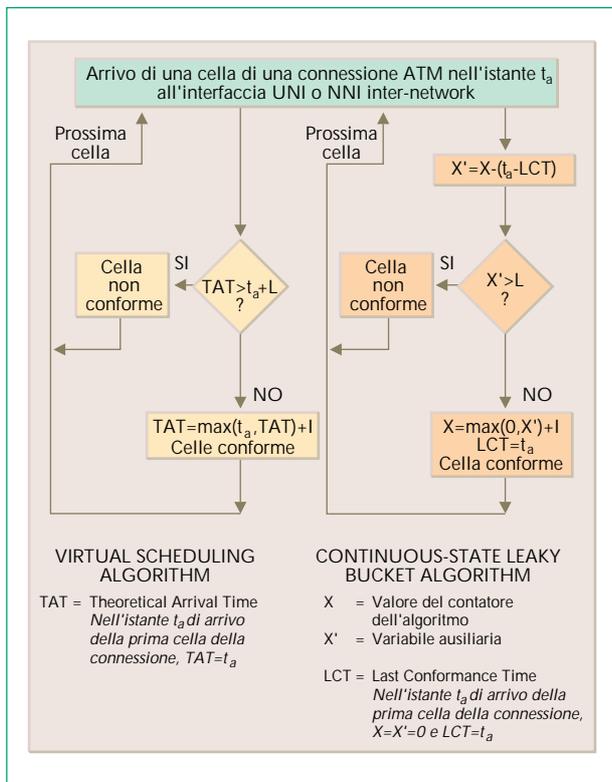


Figura 8 Versioni equivalenti del Generic Cell Rate Algorithm.

mentre in caso contrario essa è considerata non conforme.

Per quanto riguarda il *Continuous-State Leaky Bucket Algorithm*, esso impiega un contatore a valori reali il cui contenuto è ridotto di una unità per ogni intervallo di tempo relativo alla trasmissione di una cella (con il vincolo che il contatore non possa assumere valori negativi) ed è aumentato di una quantità pari al valore del parametro di incremento *I* per ogni cella considerata conforme. Se all'arrivo di una nuova cella il valore *X* del contatore non supera il valore limite *L*, la cella è conforme; in caso contrario essa è considerata non conforme. Va notato che l'al-

goritmo, per poter eseguire correttamente il decremento del contatore, memorizza l'istante *LCT* (*Last Conformance Time*) in cui l'ultima cella è considerata conforme.

4. Controllo di flusso per la classe ABR (*Available Bit Rate*)

La funzione di controllo di flusso, che permette la variazione di frequenza con cui una sorgente di traffico può inviare le celle in funzione dello stato di occupazione della rete, rappresenta la base della definizione della classe di trasporto *ABR* (*Available Bit Rate*) ed è stato l'argomento maggiormente discusso all'interno dell'ATM Forum prima di giungere alla caratterizzazione oggi riportata nell'ultima versione della specifica del Traffic Management [8]. L'ITU-T ha sostanzialmente utilizzato nei propri riferimenti normativi [9] e [10], riguardanti la classe ABR, il lavoro svolto in ATM Forum nel documento già citato di specifica [8], a garanzia di un notevole allineamento fra i due Enti di standardizzazione su queste tematiche.

L'approccio "Rate Based", impiegato oggi nella specifica di ATM Forum, prevede che una sorgente di traffico ABR vari la frequenza di emissione delle celle in funzione delle informazioni ricevute dalla rete. Lo scambio di informazioni avviene mediante l'instaurazione di un anello di controllo per ciascuna direzione trasmissiva. La definizione completa della funzione di controllo di flusso consiste perciò nel

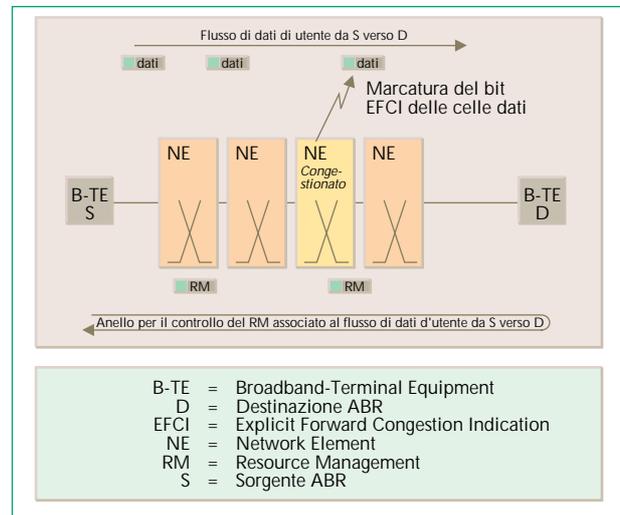


Figura 9 Prima modalità di funzionamento degli apparati di rete in ABR (*Available Bit Rate*).

modo in cui è realizzato l'anello di controllo e nella descrizione delle modalità con le quali le sorgenti rispondono alle informazioni di controllo.

Per quanto riguarda la definizione dell'anello di controllo, l'attuale specifica ATM Forum è piuttosto flessibile, in quanto prevede tre diverse modalità di funzionamento, di complessità (e prestazioni) alquanto diverse tra loro: queste modalità si basano

IL COMPORTAMENTO DELLA RETE E DEI TERMINALI NEL CONTROLLO DI FLUSSO IN ABR (AVAILABLE BIT RATE)

- La trasmissione dell'informazione su ogni connessione appartenente alla classe di trasporto ABR dipende da due componenti: la minima frequenza di emissione di celle utilizzabile, che potrebbe anche essere nulla e che risulta comunque garantita dalla rete, ed una componente "elastica" che è resa disponibile dinamicamente dalla rete alla connessione quando sono presenti risorse libere. La massima frequenza di emissione di celle utilizzabile dalla sorgente è, comunque, non superiore ad un valore prefissato in sede di contratto.
- È stato definito un protocollo di *RM (Resource Management)* per modificare la frequenza di invio di celle dai terminali che utilizzano la connessione (ad esempio a seguito di situazioni di congestione in qualche nodo di rete).
- È stato definito un comportamento di riferimento dei terminali (sorgente e destinazione) e dei nodi interessati alla connessione, che dialogano attraverso il protocollo di RM. Se i sistemi terminali sono conformi a questo comportamento la rete garantisce la probabilità di perdita di cella negoziata (*procedural assurance*).
- La rete deve allocare la frequenza di celle disponibile in ogni istante alle diverse connessioni ABR che lo richiedano, in modo "equo" (*relative assurance*). Il realizzatore del nodo stabilisce le modalità secondo le quali sono suddivise queste risorse.

sulla trasmissione, da parte delle sorgenti, di particolari celle di *RM (Resource Management)* utilizzate per trasportare le informazioni di controllo: le celle seguono il percorso delle normali celle dati e sono ritrasmesse dalle destinazioni alle sorgenti, realizzando così l'anello di controllo. Tutti gli apparati attraversati da queste celle hanno la possibilità di leggere e modificare il contenuto delle celle, aggiornando così le informazioni di controllo.

I tre modi di funzionamento previsti in ATM Forum si differenziano in base alla capacità degli apparati di rete di elaborare e generare informazioni di controllo: il modo più semplice (figura 9) non richiede agli apparati di rete nessuna capacità di trattamento delle celle RM: essi infatti possono limitarsi ad inviare semplici segnali di congestione alle destinazioni ABR utilizzando l'apposito bit di *EFCI (Explicit Forward Congestion Indication)* previsto nell'intestazione delle celle ATM dei dati di utente; l'invio a ritroso delle informazioni di congestione verso le sorgenti ABR è invece affidato alle destinazioni, che devono aggiornare gli appositi campi di controllo previsti nelle celle RM (i bit *CI, Congestion Indication* e *NI, No-Increase*) in base ai segnali di EFCI ricevuti sul flusso di celle di dati e che devono inviare a ritroso le celle di RM verso le sorgenti.

In figura 10 è mostrato il secondo modo di funzionamento, analogo al precedente, in quanto basato sempre su un'informazione binaria trasportata mediante i bit CI e NI delle celle di Resource Management; in questo caso è previsto che siano gli apparati di rete ad aggiornare questi campi in base al loro stato di occupazione o di imminente congestione: i nodi di rete, oltre a poter eseguire l'aggiornamento di questi campi sulle celle di Resource Management, scambiate tra i terminali sorgente e destinazione, possono anche generare, in modo autonomo, celle di

Resource Management a ritroso verso la sorgente nei casi in cui questa notifica debba essere realizzata con grande urgenza.

Il terzo modo di funzionamento, decisamente più complesso, è schematizzato in figura 11 e si basa sulla segnalazione diretta della massima frequenza di emis-

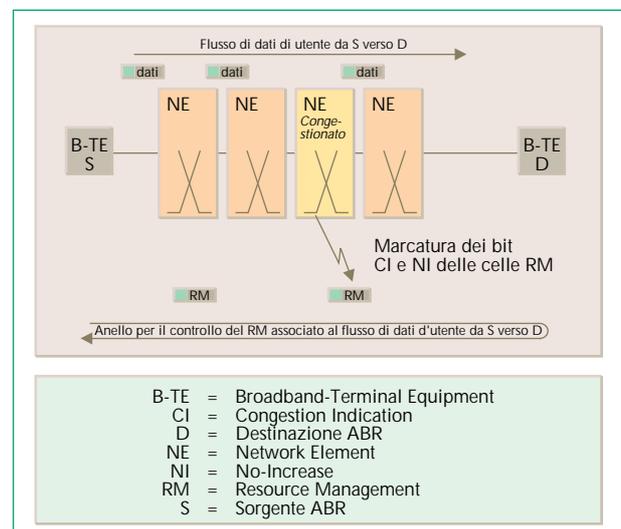


Figura 10 Seconda modalità di funzionamento degli apparati di rete in ABR (Available Bit Rate).

sione di celle concessa alle singole sorgenti; in questo caso viene impiegato il campo *ECR (Explicit Cell Rate)* delle celle RM. Gli apparati di rete capaci di operare secondo questa modalità dovrebbero essere in grado di determinare dinamicamente la frequenza di emissione di celle che possono assegnare alle diverse connessioni ABR e scrivere quindi questo valore nel

campo ECR delle celle RM. L'indicazione riportata nel campo ECR permette di far conoscere a ciascuna sorgente il valore della frequenza di celle disponibile nel "collo di bottiglia" della connessione; gli apparati di rete possono quindi variare il contenuto del campo ECR delle celle di Resource Management in transito solo per diminuirne il valore corrente.

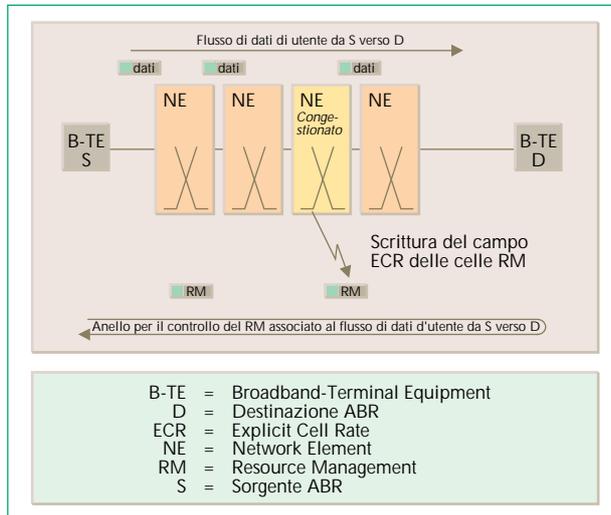


Figura 11 Terza modalità di funzionamento degli apparati di rete in ABR (Available Bit Rate).

Il secondo aspetto della definizione della funzione di controllo, ovvero la definizione del modo in cui le sorgenti devono rispondere alle informazioni di controllo, è particolarmente delicato in quanto, per garantire la Qualità del Servizio offerto, è indispensabile che il comportamento effettivo delle sorgenti sia il più possibile prossimo a quello atteso dalla rete. Queste modalità sono state pertanto specificate in dettaglio per i diversi segnali di controllo e prevedono che le sorgenti impieghino una serie di parametri di configurazione che permettano di ottimizzare il comportamento del controllo, in funzione delle caratteristiche presentate istante per istante dalle connessioni. Senza entrare nei dettagli delle diverse procedure, si può sinteticamente segnalare che l'obiettivo riguarda l'individuazione in modo univoco della nuova frequenza di emissione di celle concessa ad una sorgente alla ricezione di un nuovo messaggio di controllo, una volta che siano noti il contenuto del messaggio di controllo e la precedente frequenza di emissione. Il problema è relativamente semplice nel caso in cui il controllo sia basato esclusivamente sul campo ECR (il valore contenuto in questo campo è già un limite superiore per la frequenza di emissione), ma esso diviene più complesso quando occorre considerare anche informazioni binarie del tipo *No-Increase* e *Congestion Indication*.

Il controllo di flusso è stato fin qui descritto supponendo un'utilizzazione da terminale a terminale (*end-to-end*), ovvero uno scenario in cui l'anello di controllo è chiuso dalla destinazione finale del traffico ABR. In reti di grande estensione geografica, allo

scopo di ridurre il ritardo di anello, è possibile suddividere la rete in segmenti parziali ed individuare il protocollo tra i due estremi di ciascun segmento, inserendo in questi punti oggetti che funzionino come sorgenti e destinazioni virtuali. È così possibile, come situazione limite, anche eseguire questi protocolli tratta per tratta (*link by link*).

5. Conclusioni

La panoramica presentata in questo articolo, relativa alle funzionalità di controllo del traffico e della congestione in ambiente B-ISDN, ha mostrato che l'attività di standardizzazione internazionale ha raggiunto risultati di rilievo, anche se deve ancora rispondere ad alcune questioni su queste tematiche. Va tuttavia precisato che, per gli aspetti di controllo del traffico e della congestione, l'obiettivo perseguito è quello di preservare da un lato la libertà di progettazione delle aziende manifatturiere e, dall'altro, la scelta degli operatori pubblici di telecomunicazioni delle procedure più opportune per il funzionamento della rete da essi gestita. Il ruolo degli Enti di normativa nella definizione delle funzioni di controllo continua, quindi, ad essere essenzialmente quello di prescrivere i principi generali di funzionamento, di definire le configurazioni e le procedure di riferimento e di specificare in dettaglio solo gli aspetti che hanno un impatto diretto sulla interconnessione delle reti e sulla interoperabilità dei terminali.

Come nota conclusiva può essere assunto che l'attività ancora aperta relativamente alla modalità di offerta delle classi di trasporto ATM [4], soprattutto dal punto di vista delle sperimentazioni in campo, rende di estrema attualità la necessità di approfondire ulteriormente le tematiche del controllo del traffico e della congestione, con l'obiettivo anche di pervenire ad eventuali affinamenti in termini di possibilità di utilizzo e quindi di specifica delle corrispondenti funzionalità.

Bibliografia

- [1] Tranchier, P.; Boyer P. et alii: *Fast Bandwidth Allocation in ATM networks*. ISS '92, Yokohama, settembre 1992.
- [2] Buttò, M.; Naldi, M.; Tofoni, T.; Toniatti, A.: *Prestazioni e dimensionamento delle reti ATM*. «Notiziario Tecnico Telecom Italia», Anno 6, n. 1, luglio 1997.
- [3] *User demand modelling in B-ISDN*. ITU-T SG 2, Raccomandazione E.716, maggio 1996.
- [4] Castelli, P.; De Giovanni, L.; Vittori, P.: *Controllo del traffico e della congestione nella rete B-ISDN: contratto di traffico e classi di trasporto ATM*. «Notiziario Tecnico Telecom Italia», Anno 6, n. 1, luglio 1997.
- [5] Garetti, E.; Pietroiusti, R.; Renon, F. M.: *ATM: modelli dei protocolli e funzioni di rete*. «Notiziario

Tecnico Telecom Italia», Anno 5, n. 2, settembre 1996.

- [6] *Methods for traffic control in B-ISDN*. ITU-T SG 2, Raccomandazione E.736, maggio 1997.
- [7] *B-ISDN ATM layer cell transfer performance*. ITU-T SG 13, Raccomandazione I.356, maggio 1996.
- [8] *TM specification -version 4.0*. ATM Forum, aprile 1996.
- [9] *Traffic control and congestion control in B-ISDN. Conformance definitions for ABT and ABR*. ITU-T SG 13, Raccomandazione I.371.1, febbraio 1997.
- [10] *Traffic control and congestion control in B-ISDN*. ITU-T SG 13, Raccomandazione I.371, maggio 1996.



Paolo Castelli. Laureato in Ingegneria Elettronica nel 1985, è entrato in CSELT nel 1989 dopo alcuni anni di esperienza come sistemista software in un'azienda orientata all'automazione industriale. In CSELT si è occupato dei problemi relativi al controllo del traffico nelle reti ATM partecipando fra l'altro alla realizzazione della Rete Pilota ATM e a numerosi progetti EURESCOM relativi allo sviluppo delle reti ATM. Partecipa all'attività di standardizzazione in ambito ITU-T SG 13 e in

ambito ETSI NA5, dove è stato responsabile del gruppo di lavoro relativo agli aspetti di traffico per la B-ISDN. Dal 1996 ha assunto in CSELT la responsabilità dell'Unità di Ricerca "Ingegneria del Traffico" nell'ambito della linea "Pianificazione Reti".



Livia De Giovanni si è laureata in Scienze Statistiche, indirizzo Metodologico, presso l'Università degli Studi di Roma "La Sapienza". Dal 1988 al 1997 ha operato nella Linea Ricerca e Sviluppo della Direzione Generale SIP (oggi Telecom Italia), all'interno del settore Commutazione. Dopo aver svolto attività nell'ambito del riconoscimento del segnale vocale tramite tecniche neurali, per diversi anni è stata impegnata nello studio della tecnica ATM. Con questa responsabilità ha

curato le specifiche di apparati di commutazione e dei corrispondenti sistemi gestionali e la definizione, in Enti internazionali di normativa (ITU-T ed ETSI) e di sperimentazione su scala geografica della tecnologia ATM (progetto JAMES), delle funzioni di controllo del traffico e di allocazione delle risorse. Da marzo 1997 è ricercatore in Statistica Matematica presso l'Università degli Studi del Molise.

Abbreviazioni

ABR	Available Bit Rate
ATM	Asynchronous Transfer Mode
B-ISDN	Broadband-Integrated Services Digital Network
CAC	Connection Admission Control
CDV	Cell Delay Variation
CDVT	Cell Delay Variation Tolerance
CI	Congestion Indication
CLP	Cell Loss Priority
CLR	Cell Loss Ratio
DBR	Deterministic Bit Rate
ECR	Explicit Cell Rate
EFCI	Explicit Forward Congestion Indication
GCRA	Generic Cell Rate Algorithm
IBT	Intrinsic Burst Tolerance
ITU-T	International Telecommunication Union-Telecommunication standardization sector
LCT	Last Conformance Time
MBS	Maximum Burst Size
NI	No-Increase
NNI	Network Node Interface
NPC	Network Parameter Control
PCR	Peak Cell Rate
QoS	Qualità del Servizio
RM	Resource Management
SBR	Statistical Bit Rate
SCR	Sustainable Cell Rate
TAT	Theoretical Arrival Time
UNI	User Network Interface
UPC	Usage Parameter Control
VC	Virtual Channel
VCI	Virtual Channel Identifier
VP	Virtual Path
VPI	Virtual Path Identifier



Paolo Vittori si è laureato in Ingegneria Elettronica presso l'Università degli Studi di Roma "La Sapienza". È entrato a far parte nel 1992 della Linea Ricerca e Sviluppo della Direzione Generale SIP (oggi Telecom Italia), dove opera all'interno del settore Commutazione. La sua attività è stata fin dall'inizio indirizzata allo studio di sistemi ATM, sia attraverso un iniziale coinvolgimento nella definizione delle specifiche di apparati di commutazione e dei corrispondenti sistemi

gestionali, che mediante la partecipazione a Enti internazionali di normativa (ITU-T ed ETSI) e sperimentazione su scala geografica della tecnologia ATM (progetto JAMES).

Aspetti di esercizio e di gestione della rete ATM

ENRICO BAGNASCO
SILVIO VALEAU

L'evoluzione del mondo della gestione della rete e dei servizi di telecomunicazione è stata influenzata dalle tecnologie di comunicazione da un lato e dalla regolamentazione dei servizi di Tlc dall'altro. Si è passati dalla gestione della rete e dell'utenza come gestione degli apparati di rete e della domanda di servizi, alla gestione di elementi diversi quali ad esempio il tempo di attesa per la fornitura di un servizio o la flessibilità nell'offerta del servizio stesso tipica degli anni Ottanta, alla gestione cooperativa tra sistemi di gestione di rete e fornitori di servizi, tipica degli anni Novanta.

L'impiego della tecnica ATM, che è stata la novità più rilevante di questi ultimi anni sia in ambito locale sia su scala più ampia, e la complessità dei protocolli e dei servizi introdotti enfatizzano il ruolo dei sistemi di gestione, che migrano verso l'integrazione tra quelli relativi alla rete, quelli per la pianificazione e quelli riguardanti la gestione dei servizi.

Le architetture in uso sono essenzialmente due: la prima, denominata TMN (Telecommunication Management Network), è orientata al mondo delle grandi reti pubbliche e basata sul protocollo CMIP (Common Management Information Protocol) mentre la seconda è stata concepita per applicazioni in ambito locale ed è basata sul protocollo SNMP (Simple Network Management Protocol). Quest'ultimo è divenuto uno standard "de facto" poiché un sempre maggior numero di costruttori lo ha scelto per la gestione dei propri apparati.

Il futuro dei sistemi gestionali legati ad ATM dipenderà dagli orientamenti in ambito normativo relativamente alla gestione integrata dei seguenti aspetti di rete: reti pubbliche, private, livelli di rete e reti commutate.

1. Introduzione

Il mondo della gestione della rete e dei servizi di telecomunicazione ha subito in questi ultimi decenni una evoluzione che rispecchia gli avvenimenti che si sono succeduti nel settore delle tecnologie di comunicazione da un lato e nell'ambito della regolamentazione dei servizi di telecomunicazione dall'altro.

Volendo qui riassumere l'evoluzione temporale delle problematiche legate alla gestione si possono distinguere alcune fasi: fino agli anni Ottanta, la gestione della rete si otteneva essenzialmente con quella degli apparati che la componevano, mentre la gestione dell'utenza consisteva tipicamente in quella della domanda, effettuata eventualmente con l'ausilio di sistemi di supporto che automatizzavano alcune procedure amministrative.

Negli anni Ottanta nuovi fattori, quali l'emergere di nuove tecnologie, soprattutto nel settore dati, e l'introduzione di elementi di liberalizzazione, con l'emergere di nuovi attori quali fornitori di servizi di telecomunicazione, hanno portato il gestore a diventare elemento attivo nella definizione e nello sviluppo

di sistemi di gestione, ponendo attenzione a nuovi elementi, quali ad esempio il tempo di attesa per la fornitura di un servizio o la flessibilità nell'offerta dello stesso servizio. In questi anni emerge la definizione di una vera e propria architettura di gestione denominata *TMN (Telecommunication Management Network)* che tende a prescindere dalla tecnologia di rete utilizzata per la fornitura dei servizi. Il gestore in questa fase deve curare anche la gestione dell'offerta di servizi di telecomunicazione e, quindi, per quanto riguarda l'utenza assumono importanza sistemi per la gestione dell'offerta e della fornitura di servizi.

Questo panorama ha proseguito nella sua evoluzione. Nei primi anni Novanta la gestione dei servizi ha assunto un'importanza sempre maggiore, ponendo, nella definizione di interfacce tra sistemi di gestione appartenenti a diversi attori (gestore di rete, gestore dei servizi e grande utente) l'accento sulla necessità di una gestione cooperativa.

Lo scenario sopra esposto va poi posto in relazione con l'evoluzione subita dalla rete di telecomunicazione che pone continui requisiti alla gestione. In questo ambito l'introduzione della tecnica ATM è

stata la novità di maggior rilievo di questi ultimi anni in quanto presenta caratteristiche che richiedono un approccio diverso nella definizione e nelle funzionalità che un sistema di gestione deve presentare.

Le caratteristiche della tecnica ATM che hanno un maggiore impatto sulla gestione e che rendono necessaria una soluzione in qualche modo diversa da quella adottata con le precedenti tecnologie di comunicazione, sono nel seguito brevemente illustrate.

- ATM si presta al trasporto su un livello fisico con caratteristiche molto variabili in termini di larghezza di banda e modalità di trasferimento. Il rischio di riempimento delle memorie dinamiche (overflow) e di perdita di celle comportano la necessità di dotarsi di sistemi di controllo e di monitoraggio che abbiano tempi di reazione sufficientemente ridotti. La presenza di burst di traffico è un altro fattore che comporta la necessità di strumenti di gestione estremamente reattivi o proattivi, che sappiano cioè predire e segnalare il rischio di perdita di traffico prima che questa si presenti.
- Le attività di elaborazione delle celle sono tipicamente effettuate in hardware ma è molto costosa la realizzazione di chip ATM che effettuino operazioni di gestione quali il monitoraggio del traffico e la misura delle prestazioni. Un esempio tipico di questa funzione consiste nella possibilità di memorizzare le celle contenenti errori che sono scartate dai meccanismi di controllo degli errori sull'intestazione delle celle; questa memorizzazione è necessaria per garantire il livello qualitativo richiesto dal cliente.
- Un altro punto di rottura introdotto dall'ATM nell'ambito delle tecnologie di rete è la sua estrema scalabilità, che consente l'impiego di questa tecnologia sia in ambito locale che su scala geografica. Si ha così un requisito stringente sulla definizione dell'architettura del sistema di gestione che assume un ruolo di importanza strategica dovendo realizzare sia funzionalità a livello di chiamata (tariffazione, sicurezza, funzionalità legate ai gruppi chiusi di utenti), sia a livello di cella; storicamente i sistemi di gestione per gli apparati impiegati nelle reti locali utilizzano *SNMP (Simple Network Management Protocol)*, mentre quelli per reti pubbliche privilegiano un approccio OSI [1].
- La complessità legata ai protocolli e ai servizi introdotti su ATM (LAN Emulation, Classical IP over ATM, MultiProtocol over ATM) comporta, per i sistemi relativi alla gestione dei guasti e della diagnostica, la realizzazione di un'analisi multilivello con costose azioni nel rilascio del prodotto. Inoltre la definizione di gruppi di lavoro virtuali richiede al sistema di gestione di realizzare strumenti di configurazione e di modifica dinamica delle entità coinvolte in questi servizi.
- Altro punto di attenzione è costituito dalla possibilità che ATM permette di trasportare diversi

tipi di traffico con differenti requisiti per quanto riguarda la *QoS (Qualità del Servizio)*. Per il sistema di gestione questa caratteristica comporta il tenere conto di diversi insiemi di parametri per la caratterizzazione delle prestazioni da garantire per ogni connessione e, d'altro canto, la necessità di realizzare meccanismi di allocazione delle risorse che consentano un utilizzo ottimale della banda trasmissiva e il rispetto dei parametri di QoS stabiliti.

I punti sopra elencati danno un'idea delle problematiche legate alla gestione di una rete ATM e mettono in evidenza la necessità di considerare la gestibilità di una rete quale fattore primario ed essenziale.

In futuro l'evoluzione dei sistemi di gestione sarà caratterizzata da una sempre maggiore integrazione tra le funzioni di gestione della rete, quelle di pianificazione e simulazione e quelle di gestione dei servizi. L'ATM è una tecnologia che pone requisiti alla gestione la cui soluzione va nella stessa direzione e quindi potrà costituire un punto di svolta anche per la definizione e lo sviluppo dei sistemi di gestione.



Gestione dell'apparato tramite Element Manager locale.

2. Architetture per la gestione della rete (Network Management)

Nel corso degli anni si sono andate affermando due diverse architetture gestionali, nel seguito brevemente descritte, nate rispettivamente nel mondo delle telecomunicazioni classiche e in quello dell'Information Technology. La prima, denominata *TMN (Telecommunication Management Network)* e basata sul protocollo *CMIP (Common Management Information Protocol)* è stata progettata per le grandi reti pubbliche; mentre la seconda, propria del mondo *TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol)* è basata sul protocollo *SNMP (Simple Network Management Protocol)*, ed è stata realizzata per applicazioni in ambito LAN.

La scalabilità dell'ATM e il suo potenziale utilizzo dal terminale all'autocommutatore hanno contribuito a modificare l'equilibrio e i confini tra le due solu-

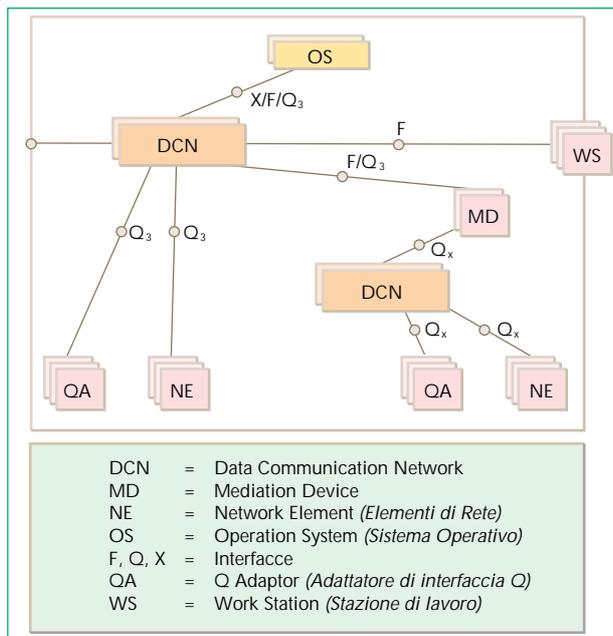


Figura 1 Architettura fisica del TMN.

zioni sopra menzionate, da quando prodotti concepiti per l'uso in ambito locale sono stati portati anche nella rete pubblica. Questa tendenza, oggi diffusa, ha introdotto l'approccio SNMP anche nella rete dei Gestori di reti pubbliche, ed ha comportato un'integrazione tra le due soluzioni.

2.1 La gestione di una rete di telecomunicazione (TMN)

Agli inizi degli anni Ottanta gli Enti di standardizzazione hanno identificato un insieme di principi per la gestione di una rete di telecomunicazione, riassunti nello standard TMN [2]. Si intendeva così definire un'architettura che rispondesse alle esigenze di *OAM&P* (Operation Administration Maintenance & Provisioning) indipendentemente dalla tecnologia della rete da gestire.

Con questa premessa, è stata individuata una rete, descritta in figura 1, diversa da quella di telecomunicazione, composta da entità (*Sistemi di Gestione*) che, attraverso interfacce standard, controllano gli elementi della rete di telecomunicazione (*Elementi Gestiti*).

La TMN è concepita come una rete di sistemi informativi *OS* (Operation Systems) interconnessi tra loro e verso gli apparati da gestire *NE* (Network Elements) tramite una rete dati *DCN* (Data Communication Network) e mediante interfacce aperte e standardizzate (interfacce Q).

Il modello TMN, secondo quanto riportato dallo standard sviluppato nella Commissione IV dell'ITU-T [3], è costituito da tre differenti schematizzazioni della rete di gestione: la prima, quella funzionale, definisce i blocchi funzionali che soddisfano i requisiti di OAM&P, la seconda, quella informativa, stabilisce le regole per la descrizione delle informazioni di gestione e i protocolli per la trasmissione delle stesse, mentre l'ultima, quella fisica, pone l'accento sull'organizzazione dei diversi blocchi funzionali in sistemi. In particolare, la parte informativa specifica le interfacce gestionali utilizzando un linguaggio formale object-oriented denominato *GDMO* (Guidelines for Definition of Managed Objects) che descrive le risorse da gestire in basi informative, denominate *MIB* (Management Information Base).

2.2 L'ambiente Transmission Control Protocol/Internet Protocol

La definizione e lo sviluppo di una architettura di gestione relativa a reti che utilizzano l'insieme di protocolli *TCP/IP* (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) ha seguito la medesima evoluzione delle reti: in effetti l'esigenza di disporre di strumenti di gestione potenti ed efficaci è stata sentita solo a partire dalla fine degli anni Ottanta, con la crescita esponenziale degli elementi di rete connessi a Internet.

Nel 1988 l'Internet Activities Board, il gruppo che ha il mandato di definire le strategie di sviluppo di Internet, indicò il protocollo *SNMP* (Simple Network

EVOLUZIONE DEI SISTEMI DI GESTIONE NELLE RETI ATM

- L'introduzione della tecnica ATM nelle reti di telecomunicazioni presenta caratteristiche innovative che incidono sensibilmente sulla struttura e sulle funzionalità richieste dai centri di gestione.
- I principali aspetti innovativi sono:
 - capacità di prevedere ed evitare, in tempi rapidi, il rischio di "overflow" dovuto alla moltiplicazione statistica di traffici di natura variabile in termini di larghezza di banda;
 - possibilità di realizzare funzionalità di tariffazione, sicurezza, gestione di gruppi chiusi di utenti, sia a livello di chiamata che di singola cella;
 - gestione di diversi tipi di traffico, caratterizzati da qualità del servizio differenti;
 - scalabilità e integrazione della rete relativa all'ambito locale con la rete dorsale (a lunga distanza).

Management Protocol) [4] e [5], mostrato in figura 2, come soluzione per la gestione di rete a breve termine, mentre per quella a lungo termine scelse il protocollo *CMOT (CMIP Over TCP/IP)*, in quanto per l'architettura di riferimento sarebbero stati impiegati a lungo termine protocolli OSI conformi al modello TMN sopra descritto.

Col passare del tempo diversi fattori (tra i quali l'incompatibilità dei due modelli a livello di rappresentazione dell'informazione gestionale e la maggiore semplicità di SNMP rispetto a CMOT) hanno convinto un sempre maggior numero di costruttori ad impiegare SNMP per la gestione dei propri apparati, rendendo così possibile una rapida ed efficace diffusione del protocollo che è divenuto uno standard "de facto" per le reti che utilizzano l'insieme dei protocolli TCP/IP.

3. Funzionalità di gestione

Si intende entrare ora più specificatamente nella gestione di una rete di telecomunicazioni in tecnica ATM, facendo riferimento alle seguenti aree funzionali di gestione, definite in ambito ISO/OSI mediante la raccomandazione ISO 7498-4 [6]:

- Configuration management (gestione della configurazione);
- Fault management (gestione dei malfunzionamenti);
- Performance management (gestione delle prestazioni);
- Accounting management (gestione della tariffazione);
- Security management (gestione della sicurezza).

3.1 Gestione della configurazione (Configuration Management)

L'area funzionale di Configuration Management realizza l'esercizio della rete, permettendo la fornitura dei servizi da essa offerti. Le funzioni di esercizio della rete richiedono che siano memorizzate e utilizzate le informazioni riguardanti la struttura topologica fisica e logica della rete. La funzione di configurazione risponde quindi all'obiettivo di mantenere una base dati comprendente tutte le informazioni relative alla topologia e allo stato della rete e dei suoi componenti e di renderla disponibile per l'utilizzo da parte di funzioni appartenenti sia all'area di Configuration sia ad altre aree funzionali.

L'area di gestione della configurazione può essere considerata composta di due parti differenti che presentano molti punti di contatto: la gestione della configurazione delle risorse fisiche e logiche della rete (ad esempio apparati, interfacce trasmissive, linee di trasmissione presenti tra due nodi, funzionalità di trasmissione convergenze, funzionalità di permutazione) e la gestione delle connessioni (ad esempio instradamento, realizzazione di permutazioni VP/VC, assegnazione di banda e VPI/VCI sulle interfacce).

La gestione delle risorse di rete rappresenta la configurazione statica della rete: sono infatti mantenute informazioni sulla struttura fissa della rete (come hardware, funzionalità associate ai dispositivi) e lo stato

di funzionamento di queste risorse. La gestione delle connessioni rappresenta la configurazione dinamica della rete, relativa alla fornitura del servizio portante VP/VC (quindi allocazione e abbattimento delle connessioni, prenotazione delle risorse di rete). Prima di entrare nei particolari della gestione della configurazione, di risorse o di connessioni, è opportuno fornire una panoramica sulle funzionalità dell'area di Configurazione rispetto alla collocazione di esse a livello di gestione dell'apparato e di gestione della rete.

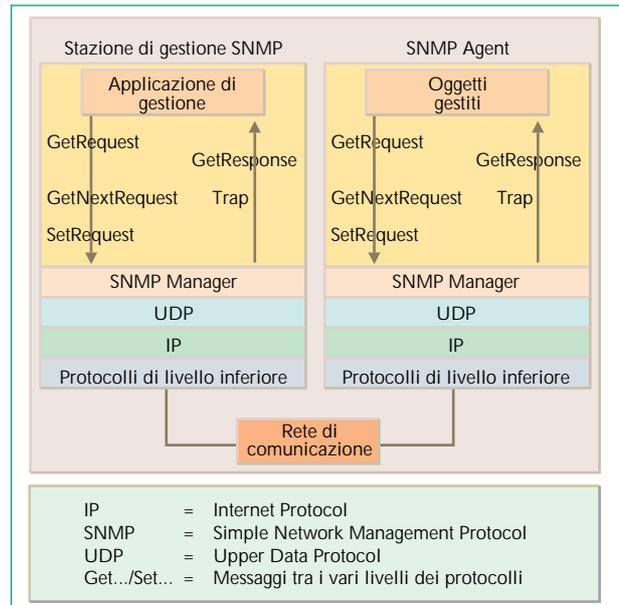


Figura 2 Architettura di riferimento per la soluzione della gestione di rete a breve termine con protocollo SNMP.

L'*EM (Element Manager)* conserva sia le informazioni riguardanti la topologia e lo stato di funzionamento di ogni dispositivo fisico appartenente all'apparato (ad esempio le diverse unità a scheda che realizzano funzioni di interfaccia ATM o di matrice di permutazione, i telai dove sono posizionate le unità, gli alimentatori, il funzionamento dei sistemi di controllo dell'apparato), sia le caratteristiche e lo stato di funzionamento dei dispositivi dell'apparato (ad esempio la funzionalità di permutazione o di trasmissione delle celle).

È stato indicato in precedenza che la visione di un EM è ristretta a un singolo apparato: questo implica che un EM può essere in grado di gestire anche più apparati, senza che però essi siano rappresentati come una rete; ogni apparato è perciò visto in modo indipendente e separato dagli altri. Le informazioni contenute a livello di EM sono quindi relative all'apparato e non riguardano i collegamenti trasmissivi che connettono gli apparati tra loro. Per questo motivo l'EM non è in grado di realizzare autonomamente le operazioni di configurazione di una connessione permutata, in quanto non possiede la visione complessiva dello stato della rete. L'EM in questo caso svolge il ruolo di semplice tramite tra il *NM (Network Manager)* e il *NE (Network Element)*, in quanto riceve i comandi dal NM e li trasmette all'apparato senza variazioni sostanziali.

Per ciò che riguarda le connessioni commutate, le operazioni di allocazione e di abbattimento sono realizzate tramite segnalazione, e quindi in modo trasparente al sistema di gestione.

Il livello di gestione della rete è in grado di monitorare lo stato delle funzionalità assegnate alla singola unità a scheda ma non ha informazioni sullo stato di funzionamento di una scheda fisica.

Il Network Manager, che conosce lo stato della rete, svolge un ruolo centrale nella gestione delle connessioni permutate. Per l'allocazione di questo tipo di connessione è necessario procedere in due fasi: la prima riguarda la richiesta della connessione da parte dell'utente e l'eventuale accettazione da parte del sistema di gestione (fase di registrazione della connessione); la seconda è relativa all'effettiva fornitura della connessione all'utente (allocazione e attivazione della connessione). Le richieste di registrazione sono indirizzate al Network Manager. Il sistema provvede a valutare l'instradamento da dare alla connessione, a selezionare e a prenotare le risorse di rete su cui allocarla (effettua quindi la scelta di VPI/VCI agli estremi, e dedica la banda alle interfacce interessate) per la durata della connessione. Il NM deve quindi mantenere una base dati sullo stato di occupazione delle risorse in un arco temporale sufficientemente lungo per gestire le prenotazioni.

Successivamente, nel momento dell'attivazione della connessione, il NM provvede a inviare i comandi necessari all'instaurazione e all'attivazione della connessione verso gli EM. L'EM non sa quindi che una connessione è prenotata finché il NM non invia i comandi relativi alla sua allocazione. (Come si è detto, l'EM provvede poi a inviare i comandi di allocazione verso l'apparato).

3.1.1 Configurazione delle risorse

Tutte le funzionalità di gestione di una rete utilizzano le informazioni riguardanti la struttura topologica, fisica e logica, della rete stessa. La funzione di configurazione principale riguarda quindi la memorizzazione delle informazioni relative alla topologia della rete. Le informazioni che devono essere memorizzate nella base dati di configurazione delle risorse sono riportate qui di seguito.

Elementi di rete

Per ogni apparato presente in rete (permutatori, commutatori, apparati d'accesso) sono riportate le informazioni che ne riassumono le caratteristiche tecniche e lo stato di funzionamento. Tra le informazioni sono presenti anche alcune di carattere amministrativo, ad esempio l'ubicazione dell'apparato sul territorio, il tipo di presidio realizzato per l'apparato, il punto di contatto per la segnalazione di eventuali anomalie riscontrate. È anche memorizzata l'informazione sullo stato amministrativo e operativo dell'apparato. Esso è rappresentato dall'entità ATM NE in figura 3.

Dispositivi

Sono memorizzate le informazioni riguardanti gli apparati fisici (equipment) e il software presenti sugli

elementi di rete. Queste informazioni sono mantenute unicamente per la gestione dell'apparato, ma non sono rese disponibili al NM. I dati memorizzati riguardano le caratteristiche principali (costruttore, modello, versione, punto di contatto, stato amministrativo, stato operativo) di ogni parte di apparato del nodo (telai, sottotelai, unità a schede). È inoltre presente l'informazione sulle associazioni tra dispositivo e funzioni da esso svolte, in modo da poter associare i malfunzionamenti a livello fisico a quelli a livello funzionale.

Collegamenti trasmissivi

Le informazioni sono necessarie per permettere di avere una corrispondenza tra livello ATM e livello di trasporto sottostante (PDH o SDH o su base Cella). Queste informazioni possono essere ricavate direttamente dai sistemi di gestione del livello trasmissivo tramite una interfaccia di tipo Q posta tra il sistema di gestione della rete ATM e quello della rete trasmissiva oppure, più semplicemente, possono essere immesse all'interno della base dati di rete dall'operatore del sistema di gestione.

Le informazioni utilizzate dal livello ATM sono: l'indicazione della linea trasmissiva, gli identificativi delle interfacce ATM connesse, l'identificativo del fascio trasmissivo cui appartiene la linea (su questo punto si tornerà più avanti), il mezzo trasmissivo e la modalità di trasporto utilizzata, le caratteristiche della banda utilizzabile, gli stati amministrativo e operativo.

Interfacce ATM

Per ogni interfaccia ATM presente in rete sono riportate le informazioni che ne riassumono le caratteristiche principali tecniche e logiche. Le caratteristiche memorizzate sono: identificativo dell'interfaccia a livello di rete, tipo di interfaccia (UNI, NNI, B-ICI già descritte in [7] e [8]), indicazione dell'interfaccia remota alla quale essa è connessa, identificativo della linea di trasmissione alla quale è connessa, banda massima allocabile, numero massimo di VPC attivi, intervallo di bit per il supporto della VPI, classe di QoS gestibile. È inoltre mantenuta informazione sugli stati amministrativo e di funzionamento. Essa è rappresentata dalle entità TC Bid e ATM AP in figura 3.

Matrici di connessione

La matrice di connessione identifica le caratteristiche di permutazione di un nodo, la capacità quindi di realizzare un collegamento logico tra un VP o VC su una interfaccia e un VP o VC su una interfaccia differente posizionata sul medesimo apparato. L'informazione memorizzata è relativa allo stato di funzionamento. Essa è rappresentata dall'entità fabric in figura 3.

Fasci trasmissivi

Per fascio trasmissivo si intende un insieme di mezzi trasmissivi omogeneo per caratteristiche trasmissive e topologiche. Le caratteristiche trasmissive riguardano le modalità di trasporto, il tasso di errore ammesso, le caratteristiche di ritardo, quindi, la classe di *QoS* (*Quality of Service*) gestibile. Se due linee dello stesso fascio connettono i due medesimi nodi esse presentano "caratteristiche topologiche

omogenee". L'informazione riguardante i fasci trasmissivi è utilizzata prevalentemente nella fase di registrazione delle connessioni permutate nel corso della scelta dell'instradamento.

Terminazioni di utente

La terminazione di utente corrisponde a quella B-NT1. Per ogni terminazione fisica presente in rete sono presenti le informazioni sulle caratteristiche: l'identificativo della terminazione, l'identificativo dell'interfaccia ATM cui è attestata, le caratteristiche di banda e di QoS garantite, il numero massimo di connessioni attive, e gli stati amministrativo e operativo.

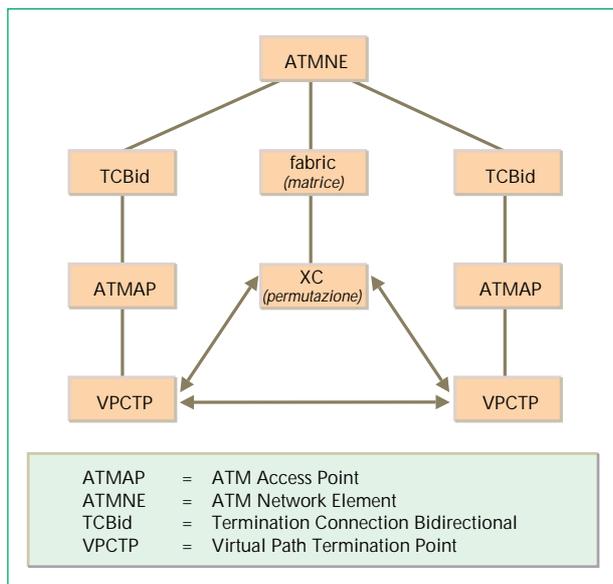


Figura 3 Esempio (semplificato) di rappresentazione di un apparato ATM con una permutazione.

Profili di utente

Ogni nodo di commutazione ATM mantiene le informazioni relative agli utenti a esso attestati, che comprendono anche le informazioni di sottoscrizione (derivate dal contratto stipulato con il cliente) e lo stato di morosità. Nel caso di permutazione ATM queste informazioni sono mantenute a livello di Network Manager.

Archi di numerazione

Gli archi di numerazione sono tabelle con gli identificativi di utenti presenti in rete e, per ogni utente, è riportata l'indicazione dell'apparato ATM a cui esso è attestato. Queste informazioni sono mantenute sugli apparati nel caso di commutatori ATM, insieme ai profili dei singoli clienti. In una rete permutata l'informazione deve essere presente nel sistema di gestione.

Tabelle di instradamento

L'informazione, presente in queste tabelle è utilizzata per instradare le connessioni: in fase di registrazione per le connessioni permutate e in fase di allocazione per le connessioni commutate. Queste tabelle sono quindi presenti all'interno del Network Manager

per l'utilizzo permutato della rete e all'interno degli apparati per il caso di connessioni commutate.

3.1.2 Configurazione delle connessioni

La configurazione delle connessioni riguarda tutti gli aspetti di utilizzo della rete per la fornitura del servizio portante VP/VC. In particolare, nel caso di fornitura di servizio permutato, le funzioni di fornitura delle connessioni comprendono, tra l'altro, l'instradamento, la scelta delle risorse, la prenotazione, i comandi da inviare verso gli apparati per allocare o per abbattere le connessioni.

Per la fornitura di connessioni commutate le stesse funzioni sono realizzate all'interno degli apparati e sono trattate e avviate dalla segnalazione, quindi in modo trasparente al sistema di gestione.

Le funzioni di configurazione delle connessioni permutate utilizzano in misura rilevante i dati contenuti nella base dati di configurazione delle risorse; mantengono inoltre una base dati sullo stato di occupazione delle risorse di rete nel tempo, per poter realizzare la prenotazione delle risorse durante la fase di registrazione di una connessione. La base dati di configurazione funzionale deve contenere le informazioni riportate qui di seguito.

Profilo della connessione

Nel profilo della connessione sono contenute tutte le informazioni relative a una connessione che possono interessare il gestore: identificativo degli utenti coinvolti, identificativo della connessione, data e ora di inizio e fine, caratteristiche trasmissive (banda richiesta, tolleranza al ritardo di cella, classe di trasporto, qualità del servizio), instradamento e risorse di rete utilizzate, valori VPI/VCI associati agli utenti.

Nel caso di *connessioni permutate* queste informazioni sono contenute all'interno della base dati di configurazione delle connessioni; parte delle informazioni sono ottenute dall'utente durante la fase di registrazione della connessione, altre valutate dal sistema di gestione tramite le funzioni di instradamento o di scelta delle risorse.

Nel caso di *connessioni commutate* queste informazioni possono essere contenute all'interno dell'apparato di ingresso della connessione in rete (l'apparato cui è attestato l'utente chiamante) e possono essere inviate per mezzo di notifica verso il sistema di gestione solo nell'istante in cui l'impiego della connessione è conclusa. Sono quindi memorizzate all'interno del sistema di gestione finché il sistema di gestione non tratta le informazioni. In caso di tariffazione a volume sono memorizzati all'interno del profilo della connessione anche i valori misurati del traffico svolto durante l'attività della connessione.

Stato di occupazione delle risorse

Nel caso di fornitura di un servizio permutato è presente, come abbiamo visto, una base dati sullo stato di occupazione delle risorse di rete. Per un periodo temporale sufficientemente lungo rispetto all'anticipo necessario per potere richiedere una connessione permutata, è quindi mantenuta l'informazione della disponibilità di ogni singola risorsa di rete. Le risorse di

rete che sono trattate sono: la disponibilità di risorse trasmissive delle interfacce ATM in termini di banda e di buffer, gli identificativi di VP/VC alle interfacce di utente e gli identificativi di connessione.

Per ciò che riguarda le connessioni permutate la funzione di configurazione delle connessioni mantiene la situazione aggiornata di tutte le connessioni presenti in rete, sia di quelle attive sia di quelle già registrate ma ancora in attesa di essere allocate in rete.

Oltre alle variazioni della base dati di configurazione logica a seguito di operazioni di routine (allocazione e abbattimento di connessioni) possono essere attuate variazioni comandate da modifiche dello stato della rete fisica sottostante. Queste variazioni sono dovute a malfunzionamenti degli apparati di rete: in questo caso la funzione di gestione della configurazione, ricevuta la segnalazione di variazione dello stato di una risorsa di rete, verifica se il malfunzionamento comporta un disservizio per qualche connessione presente in rete. In caso affermativo provvede a realizzare la funzione di protezione della commutazione per le connessioni che lo prevedono e al tempo stesso reinstradare le connessioni rimanenti.

La funzione di protezione della commutazione per le connessioni è realizzata affiancando alla connessione protetta quella di riserva. La connessione di protezione utilizza le stesse risorse di quella protetta sulle UNI ai due estremi, mentre impiega risorse differenti all'interno della rete. In caso di malfunzionamento sulla connessione protetta il sistema di gestione provvede a realizzare una commutazione del flusso informativo sulla connessione di riserva. Il sistema di gestione prenota le risorse anche per la connessione di riserva al momento della registrazione della connessione.

La funzione di reinstradamento non effettua invece operazioni aggiuntive nel momento della registrazione. In caso di malfunzionamento di una connessione il sistema di gestione provvede ad abbattere la connessione e a riallocare essa su risorse di rete differenti.

Nel caso di malfunzionamento di una interfaccia ATM, il sistema provvede a riallocare tutte le connessioni che insistevano sull'interfaccia; a questo scopo realizza un meccanismo di priorità per decidere quali connessioni trattare in via prioritaria.

Nel caso di connessioni commutate le funzioni di commutazione e di riallocazione sono realizzate dagli stessi apparati di commutazione, se questi consentono di effettuare la protezione. Il sistema di gestione è solo informato del disservizio subito dalla connessione, dopo l'esecuzione della funzione di ripristino.

3.2 Gestione dei malfunzionamenti (Fault Management)

L'area di Fault Management è relativa alle funzioni necessarie a garantire il corretto mantenimento della rete e, quindi, la veloce individuazione e il ripristino dei malfunzionamenti che possono presentarsi durante l'esercizio. Le funzioni di gestione relative all'area di Fault management consentono di raccogliere, memorizzare, controllare e gestire la singola

segnalazione di allarme provenienti dagli apparati; essa si presenta in una condizione di malfunzionamento, di notevole degrado delle prestazioni o più in generale di un evento che richiede un intervento di manutenzione correttiva. La funzione di gestione dei guasti deve contribuire al rilevamento e alla localizzazione dei guasti lungo le linee di trasmissione o all'interno degli apparati di rete e alla trasmissione di esse verso altri sistemi (gestione della configurazione, sistemi di gestione del servizio, sistemi di gestione delle reti private) e verso il gestore che deve predisporre gli interventi necessari all'eliminazione del guasto.

Le segnalazioni possono essere di inizio o di fine allarme, sono generate sia dagli apparati di rete sia dalle strutture trasmissive e sono raccolte dagli Element Manager dedicati al controllo di ogni singola porzione della rete. A una segnalazione di inizio allarme deve



Gruppo impegnato nella gestione della rete.

sempre naturalmente seguirne una di fine allarme non appena il malfunzionamento è eliminato: non è previsto infatti che un malfunzionamento scompaia senza che esso sia notificato al sistema di gestione.

Riassumendo quindi i concetti sopra esposti, l'utilizzo delle informazioni riguardanti lo stato della rete sono diverse ai differenti livelli di gestione considerati.

A livello di gestione di apparato, *EML (Element Manager Layer)* la gestione degli allarmi ha principalmente lo scopo di diagnosi e manutenzione e perciò è orientata verso il controllo degli apparati fisici della rete. L'EM tratta la gestione delle segnalazioni di allarme mediante funzioni di sintesi e di correlazione.

A livello di gestione di rete *NML (Network Manager Layer)* la gestione degli allarmi ha principalmente l'obiettivo di seguire la fornitura del servizio: si hanno quindi informazioni riguardanti le funzionalità della rete affette da un malfunzionamento piuttosto che la conoscenza del guasto sul singolo apparato che provoca il malfunzionamento. Sono eseguite funzioni di correlazioni di allarmi nei casi nei quali è necessario avere informazioni a livello di rete.

Sui sistemi di gestione sono previsti tre tipi di memorizzazione dei dati riguardanti gli allarmi.

Archivio storico delle segnalazioni dei sistemi

Il primo tipo di memorizzazione riguarda più in generale la memorizzazione delle notifiche e quindi come esse giungono al sistema di gestione. Tutte le notifiche sono memorizzate in questo archivio, deno-

minato log: non solo quelle di segnalazione di allarme ma anche le altre relative a qualsiasi informazione trasmessa tra i due sistemi.

Archivio degli allarmi attivi

Il secondo tipo di memorizzazione riguarda lo stato che si presenta per gli allarmi attivi (archivio degli allarmi attivi) e contiene gli allarmi, elaborati dalle funzioni di correlazione e di sintesi, che sono stati trasmessi all'operatore per il riscontro e che non sono ancora rientrati; oppure gli allarmi che sono stati resi non visibili all'operatore dal sistema di gestione e che non sono ancora rientrati. L'archivio degli allarmi attivi è utilizzato per potere avere la situazione effettiva dei malfunzionamenti presenti in rete in qualsiasi istante, ordinati, ad esempio, per gravità di allarme o per posizione geografica degli apparati.

Per allarmi correnti o attivi si intende l'insieme degli allarmi, riscontrati oppure no, ai quali non è ancora seguito il segnale di fine allarme.

Diario storico degli allarmi

Il terzo tipo di memorizzazione degli allarmi riguarda la situazione storica di quelli che sono stati in precedenza inseriti nell'archivio degli allarmi attivi e per i quali è già stato ricevuto il segnale di fine allarme (diario storico degli allarmi). Il diario storico è utilizzato per predisporre statistiche e per valutare il funzionamento della rete per ciò che riguarda i guasti ed i cali di prestazioni.

3.3 Gestione delle prestazioni dei nodi (Performance Management)

L'area di Performance Management riguarda il comando e il trattamento delle misure relative alle prestazioni della rete, intesa nella sua globalità: hardware, software e mezzi trasmissivi.

Queste misure riguardano, per esempio, la percentuale di errori sulle trasmissioni, il traffico gestito, la percentuale di utilizzazione.

Il sistema di gestione può organizzare e avviare le campagne di misura da eseguire sulle risorse di rete. Queste misure possono essere realizzate sulle seguenti risorse: interfacce, punti di terminazione per VP e VC, connessioni da utente a utente (end-to-end), segmenti di connessioni.

Le misure possono essere sempre presenti (ad esempio le misure sulle interfacce ATM, o quelle di traffico sulle connessioni), oppure possono essere attivate solo in casi particolari (ad esempio le misure utili per la valutazione della qualità del servizio solo su connessioni particolarmente importanti, o misure pianificate per verificare le prestazioni fornite dalla rete).

Le misure di parametri di prestazione possono essere associate con notifiche del superamento di una soglia relativa al parametro in misura. Il superamento di questa soglia, il cui valore è configurato dal sistema di gestione, comporta l'invio di una notifica dall'apparato verso il sistema di gestione. La ricezione dell'indicazione del superamento di una soglia indica un degrado delle prestazioni della rete o della risorsa; il sistema di gestione deve quindi eseguire operazioni di recupero della piena funzionalità.

Qui di seguito sono indicati i parametri di prestazione che possono essere misurati in una rete ATM, tralasciando i parametri comuni agli apparati di telecomunicazioni.

Parametri di ATM

I parametri sono misurati sull'apparato e sono relativi alla capacità del Network Element di elaborare e inviare con successo le celle ATM. Il monitoraggio del livello di cella è legato ad anomalie del protocollo rilevate all'adattamento tra il trasporto e lo strato *ATM TCL (Transmission Convergence Layer)*. Il sistema può leggere dall'apparato i valori misurati riguardo ai seguenti parametri:

- celle scartate per la presenza di errori sull'etichetta;
- celle con etichetta errata e corretta;
- celle scartate per la presenza di valori di VPI/VCi errati (valori non associabili a connessioni attive sulla interfaccia, valore di VPI/VCi fuori dal campo di validità). Può anche essere mantenuta traccia di quale dei due errori si è verificato, qual era il valore di VPI/VCi e in che data e ora si è presentato l'errore.



Postazione grafica per la gestione della rete ATM.

Parametri di traffico

I parametri di traffico sono misurati sull'apparato. Il sistema può leggere sull'apparato i valori misurati di celle entranti e uscenti sia per l'utilizzatore sia per *OAM (Operation Administration Maintenance)*. I parametri sono misurati per ogni interfaccia ATM. L'Element Manager può leggere dal Network Element i valori misurati dei seguenti parametri (i parametri sono misurati per singola connessione VP/VC): celle entranti (celle dell'utilizzatore e celle OAM); celle uscenti (celle dell'utilizzatore e celle OAM). Il NE può, come opzione, fornire i parametri precedenti che riguardano il solo flusso OAM.

I parametri sopraelencati sono relativi anche alla tariffazione in quanto sono utilizzati come dati di ingresso per la tariffazione a volume di traffico.

Parametri negoziati con l'Utente

I parametri sono misurati sull'apparato e sono necessari perché il gestore della rete possa rilevare se qualche utente non rispetta i parametri negoziati, arrecando in questo modo danni agli altri utilizzatori con i quali condivide le risorse. Essi permettono anche di controllare che non sia stato necessario scartare alcune

celle dell'utilizzatore o dell'OAM per mantenere il profilo di traffico nei limiti fissati nel contratto. I parametri sono rilevati per singola connessione e sono:

- celle scartate per superamento dei parametri *UPC* (*Usage Parameter Control*) e di *NPC* (*Network Parameter Control*), sia le celle dell'utilizzatore sia quelle OAM indipendentemente dal fatto che il campo *CLP* (*Cell Loss Priority*) valga 0 o 1 e cioè indipendentemente dal livello di priorità (alto o basso) delle celle;
- celle scartate per superamento dei parametri di *UPC* e di *NPC* per le celle con *CLP*=0;
- celle trasmesse relative a tutte le celle (celle con *CLP*=0 e celle con *CLP*=1);
- celle trasmesse (celle dell'utilizzatore e celle OAM), per le celle con *CLP*=0.

Parametri di configurazione

I parametri sono misurati sull'apparato. Il sistema ha la possibilità di comandare al Network Element la realizzazione delle misure su un numero limitato di punti di terminazione VP/VC in modo da permettere la valutazione della perdita media di celle e della media di allocazione errata delle celle. I parametri misurabili sono:

- numero di celle di utente;
- numero di celle perse;
- numero di celle erroneamente allocate (*misinserted cells*).

Parametri di integrità informativa

I parametri sono misurati tramite i flussi OAM. L'Element Manager può leggere dal Network Element, utilizzando flussi OAM i seguenti valori relativi a errori avvenuti durante l'attraversamento delle celle in rete. I parametri possono essere valutati per una connessione VP o VC e possono essere misurati da utente a utente (end-to-end) oppure su una tratta della connessione (segment). Essi sono:

- *CER* (*Cell Error Ratio*);
- *SECBR* (*Severely Errored Cell Block Ratio*);
- *CLR* (*Cell Loss Ratio*);
- *CMR* (*Cell Misinsertion Rate*).

Parametri di velocità

Anche questi parametri possono essere misurati tramite flussi OAM. L'Element Manager può leggere dal Network Element, utilizzando flussi "OAM", i valori relativi ai tempi di attraversamento delle celle in rete. I parametri possono essere misurati per una connessione VP o VC e possono essere valutati da utente a utente (end-to-end) oppure su una tratta della connessione (segment). Essi sono:

- *CTD* (*Cell Transfer Delay*);
- *MCTD* (*Mean Cell Transfer Delay*);
- *CDV* (*Cell Delay Variation*).

3.4 Gestione della tariffazione

Le funzionalità di gestione della tariffazione (*Accounting Management*) riguardano la necessità di controllare e registrare tutti gli utilizzi della rete da parte degli utenti, in modo da potere applicare le tariffe concordate secondo le modalità di impiego delle

risorse della rete. Inoltre esse danno il permesso o il divieto ad ogni utilizzatore di impiegare risorse di rete. I parametri di tariffazione sono inoltre impiegati per il monitoraggio della rete e per comandare eventuali misure di riconfigurazione della rete o di introduzione di nuove risorse in rete. L'area gestionale include quindi le seguenti funzionalità:

- raccolta dei parametri misurati sull'impiego delle risorse di rete;
- valutazione delle quote di impiego della rete da parte degli utenti;
- tariffazione agli utenti in base all'utilizzo delle risorse di rete.

La funzione chiave tra quelle indicate è naturalmente la tariffazione; essa non è sottoposta a standardizzazione da parte degli organismi preposti in quanto ogni gestore desidera avere piena libertà in proposito. Nel caso dell'ATM, i parametri che possono essere misurati in rete per la di tariffazione sono quelli di effettivo utilizzo delle risorse di rete, differenti dalle risorse prenotate al momento della instaurazione della o delle connessioni e in pratica sono fornite dal numero di celle trasmesse e dal numero di celle ricevute, per ogni istanza del servizio richiesto.

Altri parametri che possono essere utilizzati per la valutazione della funzione di costo possono essere ricavati al momento della registrazione di una connessione permutata o nel corso dell'attivazione di una connessione commutata:

- numero di attivazioni del servizio richieste da parte dell'utente;
- numero di connessioni instaurate per ogni singola istanza del servizio (connessioni punto-multi-punto);
- classe di trasporto richiesta per la o per le connessioni impiegate nel servizio;
- qualità del servizio (QoS) richiesto per la o per le connessioni impiegate nel servizio;
- parametri di traffico dichiarati al momento della instaurazione della connessione (quali ad esempio la banda di picco, la banda media, la tolleranza sul ritardo delle celle);
- ora e data di inizio e di fine della fornitura del servizio richiesto (per il calcolo delle fasce orarie di utilizzo).

3.5 Gestione della sicurezza (Security Management)

L'area di gestione della sicurezza della rete ATM, come in generale per tutte le reti di telecomunicazione, serve ad introdurre entro i sistemi di gestione delle telecomunicazioni, misure atte a garantire il corretto utilizzo delle risorse.

Le funzionalità di gestione della sicurezza riguardano sia la protezione del sistema di telecomunicazioni e del sistema di gestione da intrusioni indesiderate che potrebbero arrecare danni e malfunzionamenti, sia la sicurezza (integrità, autenticazione e confidenzialità) delle informazioni trasmesse sulla rete dagli utenti.

I servizi di sicurezza, come autenticazione, integrità e confidenzialità, sono realizzati tramite l'uso di meccanismi che, a loro volta, si basano su determinati algoritmi e che sono chiamati "gestione delle chiavi" (*Key Management*). Questi algoritmi ricevono in ingresso i

dati da elaborare e una chiave crittografica ed eseguono un processo di trasformazione sui dati entranti che fa uso della chiave crittografica. Poiché i servizi, i meccanismi e gli algoritmi sono, per la maggior parte, applicazioni di tipo commerciale, essi sono descritti da standard "de iure" o "de facto" e quindi non segreti; l'intera struttura di sicurezza dipende quindi dalla segretezza e dall'inviolabilità (confidenzialità e integrità) della chiave. Bisogna perciò evitare che entità non autorizzate possano scoprire, modificare, sostituire o distruggere chiavi crittografiche.

La gestione delle chiavi crittografiche è pertanto un problema centrale della sicurezza dei dati, soprattutto in ambiente distribuito. In reti di grandi dimensioni sono attuati molti scambi di informazioni tra i diversi utenti. Per rendere sicuro ogni scambio di dati possono essere necessarie molte chiavi crittografiche: almeno una per utente; questa chiave può essere utilizzata per una o più sessioni di trasferimento di dati. Inoltre un protocollo di gestione delle chiavi deve potere gestire situazioni multi-utente, multi-host e multi-terminale e proteggere le chiavi sia in fase di memorizzazione sia in fase di trasmissione.

La gestione di chiavi crittografiche consiste quindi, sostanzialmente, nel definire i metodi di generazione della chiave, nel renderle disponibili alle entità che ne hanno fatto richiesta, nel memorizzare la cifratura della chiave all'interno dei sistemi che la utilizzano, nel sostituire o distruggere le chiavi non più utilizzabili.

4. Stato e prospettive degli Enti di normativa

4.1 ITU-T - Commissione di Studio XV

L'Ente mondiale di standardizzazione per le telecomunicazioni ITU-T (*International Telecommunication Union - Telecommunication*) ha il mandato di

raccomandare standard riguardanti le telecomunicazioni in tutte le sue forme.

Per ciò che riguarda la tecnica ATM sono allo studio alcune questioni; in particolare nella Commissione di Studio XV è stata redatta la raccomandazione relativa alla standardizzazione per la gestione di un permutatore numerico ATM.

La raccomandazione è la ITU-T Racc. I.751 "Asynchronous Transfer Mode (ATM) Management of the Network Element View" [9]; essa tratta la definizione dei requisiti e del modello informativo per la gestione dell'elemento di rete, quando questo è costituito da un permutatore ATM ed è stata redatta con importanti contributi da parte di ETSI e ATM Forum. La raccomandazione definisce l'interfaccia tra l'apparato *NEL* (*Network Element Layer*) e il sistema di gestione dell'apparato *EML* (*Element Management Layer*), e tra l'EML e il sistema di gestione della rete *NML* (*Network Management Layer*).

L'interfaccia può essere realizzata per dare una visione a livello di apparato oppure a livello di rete. Non sono definite nel modello informativo le classi relative a entità di collegamenti tra nodi (ad esempio collegamenti fisici o logici) in quanto l'interfaccia presenta all'operatore sempre un elemento di rete singolo (NEL o EML) e non una sottorete (NML) di elementi di rete. In questo modo il sistema di gestione del singolo elemento presenta i singoli apparati verso il sistema di gestione della rete e non da la visione della sottorete. La raccomandazione riporta i requisiti funzionali che devono essere soddisfatti dal Network Element sull'interfaccia. I requisiti riguardano le aree di configurazione, di guasto e di prestazioni e sono suddivisi tra funzioni comuni di gestione, gestione del protocollo di livello di cella e gestione dei VP e VC.

FUNZIONALITÀ DI GESTIONE

Nell'ambito di un sistema di gestione di una rete ATM, si possono distinguere le seguenti funzionalità:

- *gestione della configurazione*: funzionalità di mantenimento delle informazioni riguardanti la topologia logica e fisica della rete (dispositivi, fasci trasmissivi, interfacce, configurazione delle connessioni);
- *gestione dei malfunzionamenti*: funzionalità necessarie per il corretto mantenimento della rete e per la individuazione e la eliminazione dei guasti;
- *gestione delle prestazioni*: funzionalità per il comando e per il trattamento delle misure di prestazione delle risorse di rete (percentuale di errori, livello di utilizzazione, traffico sviluppato, numero delle celle perse o erroneamente allocate, policing sul traffico generato);
- *gestione della tariffazione*: funzionalità di registrazione dell'utilizzo della rete da parte degli utenti, finalizzata alla tariffazione;
- *gestione della sicurezza*: funzionalità di inibizione delle intrusioni indesiderate, sicurezza delle informazioni, integrità, autenticazione.

4.2 ETSI - Sottocomitato NA5

L'Ente europeo di standardizzazione per le telecomunicazioni ETSI ha il mandato di redigere standard riguardanti i sistemi di telecomunicazioni impegnati in Europa. Per ciò che riguarda la tecnica ATM operano alcuni sottocomitati tra cui il gruppo NA5.

Il Sottocomitato tecnico NA5 (*Network Aspects*) tratta le problematiche relative agli apparati ATM di permutazione e alle reti permutate ATM. In particolare il sottogruppo di gestione è denominato BMA (*Broadband Management Aspects*). Nel Sottocomitato ETSI NA5 è ora in fase di stesura un documento di normalizzazione che riguarda la gestione di una rete di permutatori ATM costituita da più domini appartenenti a gestori di reti pubbliche differenti [10], [11], [12].

L'interfaccia X è compresa tra due sistemi gestionali appartenenti a operatori pubblici differenti. La rete gestita da ciascun operatore è costituita da apparati di permutazione controllati dal sistema di gestione. La raccomandazione è stata redatta con importanti contributi forniti dai gruppi che hanno operato nell'ambito del progetto European ATM Pilot e EURESCOM P 408 e che hanno effettuato studi e sviluppato prototipi sull'interfaccia tra gestori pubblici. Le aree funzionali coperte dalla raccomandazione sono: configurazione, guasto e prestazione.

Il modello di gestione utilizzato è stato chiamato "cooperativo" in quanto la gestione della rete è realizzata dai sistemi appartenenti ai diversi gestori in modo paritetico. Non esiste un sistema di gestione che realizzi la supervisione della intera rete europea, viceversa i diversi gestori agiscono alternativamente da guida (*manager*) o da asservito (*agent*) a seconda dei casi.

L'idea base è che un Network Manager è responsabile di una connessione da utente a utente e, in genere, è quello sulla cui rete è attestato l'utente chiamante. I Network Manager relativi alle reti ATM attraversate dalla connessione (di transito o di destinazione) agiscono in conseguenza di comandi ricevuti da quello responsabile della connessione. Per ciò che riguarda la gestione delle connessioni oltre all'approccio a "stella" descritto precedentemente (un unico Network Manager responsabile che controlla tutti gli altri interessati) è anche permesso l'approccio in "cascata". In questo caso un Network Manager può essere nascosto alla rete totale da uno di riferimento e agire unicamente dietro sollecitazione di quello di riferimento.

Il Network Manager responsabile della connessione deve realizzare funzioni di instradamento in rete, di monitoraggio degli allarmi sulla connessione e di comando delle misure delle prestazioni relative alla singola connessione. I NM delle singole sottoreti devono mantenere informazioni riguardanti la configurazione della rete completa, intesa come punti di terminazione (interfacce B-ICI), compresi tra differenti sottoreti, ossia realizzare le funzioni relative alla gestione delle connessioni. Tutti gli allarmi relativi alle interfacce tra due sottoreti differenti devono essere inviati dal Network Manager responsabile verso gli altri NE appartenenti alla rete Europea, in modo da mantenere la configurazione della rete aggiornata.

ETSI - Sottocomitato PS3

Il Sottocomitato tecnico SPS3 (*Signalling Protocols and Switching*) tratta della definizione dei requisiti dei sistemi di commutazione, comprendendo tra i problemi esaminati anche la gestione di apparati di commutazione ATM. È in fase di sviluppo la specifica che tratta i requisiti funzionali e il modello informativo per la gestione di un apparato di commutazione ATM (DE/SPS-03019, "Information Models and Protocols for the Management/Control of the ATM Switching Network Element" [13]). Le aree funzionali coperte dalla specifica sono: configurazione, guasto e prestazioni.

La porzione della specifica riguardante i requisiti e il modello informativo per la configurazione dell'apparato, la gestione dei punti di terminazione e delle permutazioni e la gestione delle misure di prestazione è stata ripresa dalla raccomandazione ITU-T Racc. I.751. In essa è aggiunta la gestione degli utenti connessi alla rete ATM *customer administration*, la gestione delle tabelle di instradamento utilizzate dagli apparati di commutazione per la scelta del percorso in rete durante l'instaurazione di una connessione (*routing table*) e la gestione della tariffazione (*charging administration*).

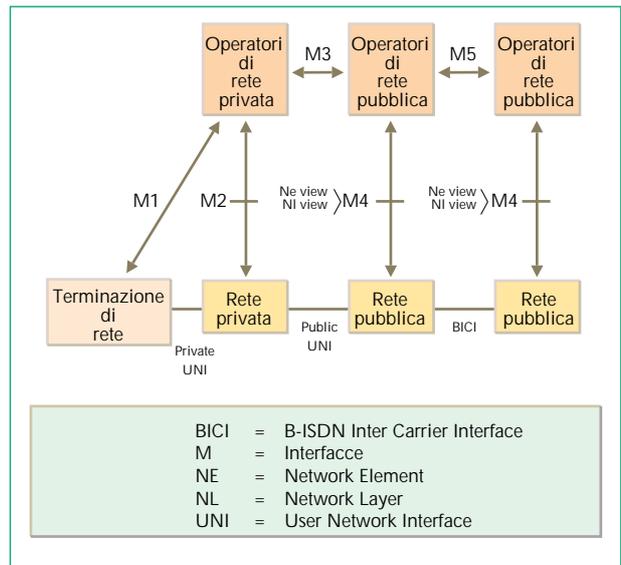


Figura 4 Configurazione di riferimento dell'architettura di gestione presa come riferimento in ATM Forum.

4.3 ATM Forum

L'ATM Forum è un'organizzazione fondata nel 1993 che riunisce costruttori, gestori e utenti di tutto il mondo con lo scopo di accelerare i tempi di definizione degli standard legati all'ATM. La figura 4 permette di mettere a fuoco varie componenti dell'architettura di gestione, presa come riferimento in ATM Forum, e di identificare le interfacce tra i blocchi funzionali.

Le interfacce di competenza del gruppo di Network Management sono quelle relative al piano di gestione, nella figura denominate con Mx, dove x è un numero progressivo.

STATO DELLE NORMATIVE E PROSPETTIVE DI SVILUPPO

- Sono state redatte finora diverse normative che riguardano l'esercizio e la gestione delle reti ATM: ITU-T, ETSI ed ATM Forum hanno emanato standard e raccomandazioni riguardanti la gestione dei permutatori ATM e delle relative interfacce.
- In ambito ETSI è allo studio un documento per la gestione di una rete di permutatori ATM caratterizzata da più domini appartenenti a gestori pubblici differenti. Le prospettive di sviluppo su cui evolveranno i sistemi futuri riguardano:
 - gestione integrata delle reti pubbliche e private: integrazione di protocolli per una gestione semplice della rete (SNMP) e per l'informazione di gestione comune (CMIP);
 - gestione integrata del livello ATM con l'SDH;
 - gestione di reti ATM commutate, caratterizzata dal trattamento di dati statistici a livello connessione e delle problematiche di instradamento.

Sempre facendo riferimento alla figura 4, si può osservare anzitutto l'interfaccia M1 tra la postazione di utente e il sistema che gestisce la rete privata a cui l'utente stesso è connesso. Per il momento la necessità di standardizzare l'interfaccia M1 non è stata sentita ed essa non è quindi nei programmi di lavoro del gruppo. Proseguendo nella figura sull'asse orizzontale, sono mostrate le interazioni dei sistemi di gestione tra loro, quelle chiamate in Europa interfacce X, secondo il modello TMN. La prima è la M3, detta di Customer Network Management e nota in Europa come X-user, che è posta tra il sistema di gestione di una rete privata e quello di un gestore di rete pubblica. I messaggi scambiati a questo livello permettono ad un cliente privato di gestire una porzione della rete pubblica come facente parte della sua rete privata. La specifica relativa è stata tra le prime ad essere stata studiata dal Forum ed è terminata nel 1994.

L'altra interfaccia X è la M5, nota in Europa come X-coop, posta tra i sistemi di gestione di due reti pubbliche appartenenti a gestori diversi. A differenza della precedente non è stata ritenuta particolarmente urgente da specificare, tanto che l'attività per una definizione completa di essa non è stata ancora conclusa.

La prima delle interfacce tra sistemi di gestione e rete ATM che è mostrata in figura è la M2, attraverso la quale un sistema di gestione privato dialoga con la sottostante rete privata ATM. In proposito valgono le stesse considerazioni fatte per la M1: non è stata specificata e non si prevede di normalizzarla in futuro, in quanto non sembra necessaria la standardizzazione.

Nella figura infine è presentata l'interfaccia M4, più complessa perché composta da due parti distinte, che si pone tra il sistema di gestione di una rete pubblica e la rete stessa. Per far fronte all'estensione e alla complessità della rete pubblica, e alla conseguente complessità del sistema che deve gestirla, è necessario ripartire le funzionalità di gestione su più livelli. Nel caso della M4 si sono considerati due livelli diversi (e quindi due specifiche di interfacce): il primo che da una visione dell'elemento di rete; l'altro che fornisce una visione della rete nella sua globalità.

4.4 Internet Engineering Task Force (IETF)

L'IETF (*Internet Engineering Task Force*) è l'Ente che si occupa della definizione e dello sviluppo dei protocolli relativi ad Internet (l'insieme dei protocolli TCP/IP). Nell'area Network Management è attivo un ATM MIB Working Group che deve definire una MIB (*Management Information Base*) [14] per la gestione di reti ATM e ulteriori MIB per la gestione di particolari aree funzionali riguardanti le reti ATM.

Sono stati finora prodotti la RFC 1695 [15], ovvero le caratteristiche della MIB tramite la quale gestire le singole interfacce; collegamenti virtuali (intesi come tratti componenti le connessioni ATM su cui si ha un unico valore di VPI/VCI); connessioni ATM ed entità e connessioni AAL5 gestite da stazioni terminali; commutatori e reti ATM; sono state inoltre proposte numerose bozze tra le quali due sulla gestione dei dati di tariffazione e una sull'attività di prova.

5. Prospettive di evoluzione: punti aperti

Nei prossimi anni dovranno essere effettuati ulteriori approfondimenti che riguardano l'evoluzione della gestione delle reti di telecomunicazione. Infatti anche se alcuni di questi argomenti sono di immediato interesse, non è stata finora approntata una soluzione consolidata né sono state sviluppate applicazioni funzionanti. Più in particolare i temi sui quali si concentrerà l'attenzione riguardano i punti qui di seguito elencati.

Gestione integrata delle reti pubbliche e private

La spinta della liberalizzazione dei servizi di telecomunicazione e della globalizzazione del business pone requisiti pressanti sul fornitore di servizi: esso infatti deve essere in grado di offrire un servizio da utente a utente riducendo i tempi di fornitura e deve interconnettere la propria rete con quella di numerosi altri attori che possono essere i gestori di reti private o quelli della rete pubblica. L'adozione di ATM come

tecnologia di trasporto sia in ambito locale che geografico, se da un lato abilita questa visione integrata, dall'altro pone requisiti stringenti per la gestione in modo integrato di diversi domini. Qui di seguito sono elencati alcuni punti da tenere in considerazione a questo riguardo:

- a livello della gestione della rete (Network Management) i sistemi dovranno integrare protocolli diversi (tipicamente SNMP in ambito privato e CMIP in ambito pubblico). Si andrà quindi dalla realizzazione di punti di interconnessione tra domini diversi verso l'integrazione con una rappresentazione uniforme delle risorse da gestire;
- a livello di gestione del servizio l'evoluzione va verso una gestione multi-dominio che tenga conto dei requisiti del cliente e dei diversi attori coinvolti nella fornitura dei servizi. Devono quindi essere definite interfacce standard di tipo "verticale" tra fornitore e fruitore del servizio e per la gestione cooperativa del servizio stesso.

Gestione integrata di diversi livelli di rete

Per quanto riguarda questa area oltre alla gestione integrata dei livelli ATM e SDH, che sarà prossimamente messa a punto, va segnalato l'emergere di una nuova tipologia di prodotti, i cosiddetti commutatori IP, che integrano le funzionalità dei livelli IP e ATM attraverso la definizione di nuovi protocolli per il controllo della matrice di connessione ATM e per l'associazione automatica delle informazioni relative al flusso IP con le informazioni relative ai circuiti virtuali (VC) ATM. La gestione di questi prodotti emergenti è oggi effettuata tramite il protocollo di gestione già indicato e chiamato SNMP.

Gestione delle reti commutate

L'introduzione della commutazione comporterà numerose nuove richieste per i requisiti che un sistema di gestione dovrà soddisfare. Alcuni fattori che avranno un impatto nel definire le funzionalità di un sistema di gestione per reti commutate riguarderanno:

Gestione dello "switch":

- la capacità elaborativa del commutatore sarà un fattore chiave nella progettazione di "Agent" installati sull'apparato che debbano osservare e filtrare in modo opportuno il traffico che transita sullo "switch";
- la funzionalità di configurazione passerà da quella dei circuiti virtuali commutati *SVC (Switched Virtual Circuit)*, che sarà effettuata tramite segnalazione, alla configurazione degli apparati. In questo ambito potranno evolvere le funzionalità oggi presenti sulla *ILMI MIB (Integrated Local Management Interface MIB)* o si potrà introdurre un "server" per l'inizializzazione che memorizzi i profili associati ad ogni apparato presente in rete;
- la funzionalità di monitoraggio potrà essere effettuata attraverso un prelievo (spillamento) del traffico presente su ogni connessione verso una porta dello "switch" collegata ad un analizzatore di traffico che raccolga le statistiche complessive. In questa area funzionale la definizione di una *MIB*

RMON (MIB Remote MONitoring) per ATM porterà a evoluzioni di un certo interesse;

Gestione della rete commutata:

- la gestione delle prestazioni della rete commutata richiede che siano introdotte funzionalità di correlazione delle statistiche relative ad ogni "switch" in modo da raccogliere dati sulla base della connessione e da misurare i parametri da utente a utente (ritardo, throughput, jitter) da confrontare con i livelli di Qualità del Servizio sottoscritti dal Cliente;
- devono essere introdotte funzionalità di tracciamento del percorso (channel-tracing) in grado di permettere di individuare il cammino fisico seguito da ogni connessione all'interno della rete commutata. Queste funzionalità saranno utili in sede di diagnosi di guasti o di prestazioni degradate;
- la gestione dell'instradamento comporta la necessità di raccogliere e integrare le informazioni relative al routing deciso per ogni connessione in modo da permettere di rilevare eventi di malfunzionamento ad esso legati. Un'altra funzionalità legata al routing è la capacità di gestire algoritmi di "fine routing" che scelgano l'instradamento opportuno per il rispetto dei livelli di servizio sottoscritti;
- è necessaria una integrazione sempre più spinta con i sistemi impiegati per il dimensionamento e per la pianificazione della rete.

Gestione delle reti ottiche passive ATM

La tecnica ATM in rete di accesso comincia a trovare applicazione in architetture quali quelle relative alle reti ottiche passive, la cui gestione richiederà di modificare e ampliare il modello della rete, di rappresentare funzionalità, quali le prove relative alle porte di utente completamente nuove e peculiari per la rete di accesso, e agli apparati la cui manutenzione consiste spesso nella loro sostituzione (si parla di field-replaceable units), diversamente dagli apparati presenti in genere nella parte dorsale delle connessioni (backbone) per i quali, nei sistemi di modifiche all'instradamento è possibile rimandare i problemi.

Abbreviazioni

ATM	Asynchronous Transfer Mode
BMA	Broadband Management Aspects
CDV	Cell Delay Variation
CDVT	Cell Delay Variation Tolerance
CER	Cell Error Ratio
CLP	Cell Loss Priority
CLR	Cell Loss Ratio
CMIP	Common Management Information Protocol
CMR	Cell Misinsertion Rate.
CTD	Cell Transfer Delay
DCN	Data Communication Network
EM	Element Manager
EML	Element Management Layer
ETSI	European Telecommunication Standard Institute

GDMO	Guidelines for Definition of Managed Objects
IAB	Internet Activities Board
IETF	Internet Engineering Task Force
ISO	International Standard Organization
ITU-T	International Telecommunication Union - Telecommunication
LAN	Local Area Network
MCTD	Mean Cell Transfer Delay
MIB	Management Information Base
NE	Network Element
NEL	Network Element Layer
NM	Network Manager
NML	Network Management Layer
NNI	Network Network Interface
NPC	Network Parameter Control
OAM	Operation Administration Maintenance
OAM&P	Operation Administration Maintenance & Provisioning
OS	Operation Systems
OSI	Open System Interface
PDH	Plesyochronous Digital Hierarchy
PNO	Public Network Operator
PON	Passive Optical Network
QoS	Quality of Service
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SECBR	Severely Errored Cell Block Ratio
SNMP	Simple Network Management Protocol
SPS3	Signalling Protocols and Switching
SVC	Switched Virtual Circuit
TCL	Transmission Convergence Layer
TCP/IP	Trasmission Control Protocol / Internet Protocol
TMN	Telecommunication Management Network
UNI	User Network Interface
UPC	Usage Parameter Control
VC	Virtual Circuit
VP	Virtual Path
VPC	Virtual Path Connection
VPI	Virtual Path Interface



Enrico Bagnasco si è laureato in Scienze dell'Informazione presso l'Università di Torino ed è entrato in CSELT nell'aprile 1988. Ha lavorato allo sviluppo del sistema CSN (Centro di Supervisione Nazionale) e ha iniziato la sua attività sulla TMN (Telecommunications Management Network) che lo ha portato alla partecipazione attiva ai lavori delle commissioni ETSI NA4, CCITT/ITU SG4 ed ANSI TIM1 fino al 1994. Nell'ambito dei programmi di ricerca della Comunità Europea (RACE e

ACTS) ha operato in diversi progetti sulla definizione dell'architettura TMN, sulla gestione dei servizi e sulla gestione integrata di reti miste ATM ed SDH. Ha operato anche nel contesto EURESCOM, interessandosi, in particolare, nei progetti finalizzati alla gestione delle reti SDH ed ATM, ed è stato Chairman del gruppo di lavoro sulla TMN in ambito ETNO (European Public Telecommunications Network Operators' Association). Nel corso degli anni ha coordinato diverse attività finalizzate verso Telecom Italia sulla gestione SDH, sulla gestione ATM e sulla gestione della Nuova Piattaforma di Rete. Inoltre ha coordinato gli interventi CSELT sul tema gestione di rete nel contesto delle attività verso Telespazio/Motorola finalizzate al progetto IRIDIUM. Dal 1993 è responsabile in CSELT della unità denominata "Architetture e Soluzioni di Gestione di Reti e Servizi".

Bibliografia

- [1] *Management Framework for Open System Interconnection (OSI) for CCITT application*. ITU-T Recommendation X.700.
- [2] *TMN Management Service: Overview*. ITU-T Recommendation M.3200.
- [3] *Principles for a Telecommunication Management Network*. ITU-T Recommendation M.3010.
- [4] Case, J.; Fedor, M.; Schoffstall, M.; Davin, J.: *A Simple Network Management Protocol (SNMP)*. RFC 1157, maggio 1990.
- [5] Stallings, W.: *SNMP, SNMPv2 and CMIP - The practical guide to network-management standards*. Addison-Wesley, 1993.
- [6] *Information processing systems - Open Systems Interconnection - Basic Reference Model - Part 4: Management framework*. ISO/IEC 7498-4, 1989.
- [7] Garetti, E.; Pietroiusti, R.: *ATM - Aspetti generali*. «Notiziario tecnico Telecom Italia», Vol. 5, n. 1, maggio 1996.
- [8] Garetti, E.; Pietroiusti, R.: *ATM - Aspetti di rete*. «Notiziario tecnico Telecom Italia», Vol. 5, n. 1, maggio 1996.
- [9] *Asynchronous Transfer Mode (ATM). Management of the Network Element View*. ITU-T I.751.
- [10] *Configuration Management for the X-type Interface between Operation Systems of a VP-VC Cross Connected Network*. DTS/NA52212.1.
- [11] *Fault Management for the X-type Interface between Operation Systems of a VP-VC Cross Connected Network*. DTS/NA52212.2.
- [12] *Performance Management for the X-type Interface between Operation Systems of a VP-VC Cross Connected Network*. DTS/NA52212.3.
- [13] *Information Models and Protocols for the Management/Control of the ATM Switching Network Element*. DE/SPS-03019.
- [14] Rose, M.; McCloghrie, K.: *Management Information Base for Network Management of TCP/IP-based Internets: MIB-II*. RFC 1213, marzo 1991.
- [15] Ahmed, M.; Tesink, K.: *Definition of Managed Objects for ATM Management Version 8.0 using SMIV2*. RFC 1695, agosto 1994.



Silvio Valeau, Perito industriale con specializzazione in Elettrotecnica; diploma conseguito nel 1969 presso l'Istituto Tecnico Industriale Giovanni XXIII di Roma. Dopo una esperienza di circa 15 anni sulle centrali telefoniche Ericsson in particolare AXE, maturata presso il costruttore Ericsson, approda nel 1986 in SIP oggi Telecom Italia occupando la posizione di responsabile del collaudo di accettazione per le centrali numeriche Ericsson.

Dal 1993 si occupa anche della tecnica ATM, sempre in qualità di gestore del collaudo di accettazione degli apparati del progetto Pilota Europeo, del progetto SIRIUS e successivamente del progetto Rete ATM per DACON.

Esperienze in Telecom Italia

SIRIUS: la piattaforma di rete ad alta velocità per la sperimentazione di servizi multimediali interattivi in ambiente IP

ALESSANDRO CAJANO
CLAUDIO MONTECHIARINI
MICHELE VOLPE

La piattaforma di rete ad alta velocità SIRIUS (Servizi di Interconnessione per le Reti Italiane ad Uso Sperimentale) è il risultato dell'impegno di Telecom Italia per lo sviluppo di nuovi servizi che concorrano all'evoluzione delle telecomunicazioni verso le cosiddette Autostrade dell'Informazione.

SIRIUS costituisce un laboratorio operativo per la verifica sperimentale di soluzioni di servizio sviluppate impiegando le tecnologie più avanzate emerse negli ultimi anni ed oggi è alla base della crescita e diffusione della rete Internet. Allo stesso tempo la piattaforma rappresenta uno strumento messo a disposizione della comunità scientifica italiana per la partecipazione congiunta a importanti iniziative in campo nazionale e internazionale. Si è potuto in tal modo instaurare un rapporto di collaborazione in cui le competenze di Telecom Italia si integrano proficuamente con le esperienze maturate nel mondo della ricerca

La piattaforma SIRIUS, i cui servizi sono attualmente disponibili nelle maggiori città italiane, è basata su tecnologie IP (Internet Protocol) e impiega la Rete ATM nazionale come infrastruttura di trasporto e di accesso.

1. Introduzione

L'evoluzione delle reti per il trasporto delle informazioni negli ultimi anni è stata caratterizzata dalla convergenza dei settori dell'informatica e delle telecomunicazioni ed è stata guidata dallo sviluppo rapidissimo delle tecnologie numeriche. Il modello oggi emergente prevede l'integrazione dei flussi informativi audio, video, dati e l'impiego di una infrastruttura di rete a larga banda per l'offerta di servizi multimediali.

La rete pilota, sviluppata da Telecom Italia nel corso degli ultimi tre anni, ha consentito di apprezzare i vantaggi della tecnologia ATM in termini di velocità e flessibilità di impiego, ma ha altresì permesso di constatare quanto lontana sia la disponibilità di applicazioni ATM native. Nel contempo, negli Stati Uniti si è assistito ad una crescita esponenziale della rete Internet (basata sul protocollo IP) che, dopo essersi sviluppata negli ambienti di ricerca grazie ai finanziamenti del Governo Federale, a seguito della privatizzazione delle infrastrutture del 1995 è diventata un vero e proprio prodotto commerciale. I servizi di trasferimento delle informazioni offerti dalle reti IP rappresentano oggi la risposta più semplice ai requisiti delle applicazioni multimediali interattive nell'ambito sia della clientela affari sia di quella residenziale.

Il progetto *SIRIUS (Servizi di Interconnessione per*

le Reti Italiane ad Uso Sperimentale) è nato in questo contesto evolutivo con l'obiettivo di coniugare le alte prestazioni di una rete ATM con i servizi offerti da una rete IP. SIRIUS interconnette oggi i laboratori di Telecom Italia a numerosi Centri di ricerca italiani e offre un'adeguata risposta alle sperimentazioni emergenti in ambito internazionale; fanno parte di queste i progetti *ACTS (Advanced Communications Technologies and Services)*; *JAMES (Joint ATM Experiment on European Services)*; *GIBN (Global Interoperability for Broadband Networks)*; *NICE (National host InterConnection Experiments)*.

Attraverso la piattaforma SIRIUS Telecom Italia intende anche instaurare uno stretto rapporto di collaborazione con il mondo della ricerca italiano per lo sviluppo e l'integrazione di nuove soluzioni di rete a larga banda che, per il loro carattere innovativo, non sono ancora diffuse sul mercato, ma che in futuro potranno diventare prodotti commerciali. Allo stesso tempo SIRIUS costituisce un laboratorio distribuito per verificare in campo servizi e tecnologie avanzate, e consente di sviluppare e consolidare le attività di ricerca e di sperimentazione già avviate in Telecom Italia.

2. Architettura della rete e tecnologie impiegate

La piattaforma di rete SIRIUS impiega la tecnologia della Rete ATM nazionale come infrastruttura di

trasporto e di accesso, mentre le funzioni dello strato di rete sono eseguite da router (intradatori) IP con elevate prestazioni. L'introduzione di apparati di instradamento nella rete pubblica ha consentito di offrire, a partire da una rete permutata orientata alla connessione, quale quella ATM già esistente, un servizio di tipo datagramma (senza connessione) ad alta velocità.

2.1 Architettura di rete

Tutti i nodi che costituiscono la piattaforma di rete presentano una medesima configurazione, costituita da un ripartitore numerico ATM (di tecnologia Alcatel o Italtel) e da un router IP (di tecnologia Bay Networks) tra loro interconnessi tramite un collegamento ATM su fibra ottica a 155 Mbit/s. In particolare, il nodo di Roma si distingue per l'installazione di dispositivi (*server*) impiegati per la realizzazione dei servizi di navigazione WWW (*World Wide Web*), posta elettronica, elenco degli indirizzi (*directory*) e sicurezza; nel nodo di Roma è situato anche il sistema di gestione della rete.

2.1.1 Principi di funzionamento della piattaforma di rete

Ciascun router, dopo aver individuato l'indirizzo di destinazione di un pacchetto IP entrante, è in grado di elaborare in tempo reale l'instradamento uscente per il singolo pacchetto e di provvedere all'invio del pacchetto verso il successivo nodo della rete o verso la destinazione finale. L'elaborazione avviene mediante la consultazione di una tabella di possibili instradamenti che associa a ciascun indirizzo di destinazione l'interfaccia verso la quale trasferire il pacchetto.

In generale l'aggiornamento delle tabelle di instradamento può avvenire staticamente, ad opera del gestore della rete, oppure dinamicamente mediante l'impiego di protocolli che con un opportuno scambio di informazioni modificano automaticamente le informazioni contenute nelle tabelle. Nella rete SIRIUS è impiegato un protocollo di instradamento dinamico.

Le interfacce logiche di un router sono molte e consentono il collegamento dell'apparato con i rami della rete dorsale e con i rilegamenti di accesso. Dal punto di vista fisico queste interfacce appartengono, tuttavia, al ripartitore numerico ATM e il collegamento tra il router IP e il ripartitore ATM è costituito da una interfaccia ATM a 155 Mbit/s. Al livello logico ATM sono dunque predisposte le ripartizioni tra ciascuna delle porte ATM, su

cui sono attestate le interfacce di dorsale o di utente, e la porta ATM sulla quale è connesso il router IP. In questo modo possono essere configurati più PVC (*circuiti virtuali permanenti*) di differente capacità: alcuni di questi PVC costituiscono i collegamenti trasmissivi internodali, in quanto consentono la connessione tra due router della struttura internodale (*backbone*); altri invece collegano il router IP alla sede del cliente. Il rilancio di un pacchetto da parte di un router consiste nella individuazione del PVC - e quindi della coppia di identificativi VPI (*Virtual Path Identifier*)/VCI (*Virtual Channel Identifier*) - verso il quale inoltrare il pacchetto ricevuto.

Nella figura 1 è illustrato come ciascun utente sia virtualmente connesso attraverso il ripartitore numerico ATM al router e come i router a loro volta siano connessi tra loro in una configurazione a maglia non necessariamente completa. Nella stessa figura è anche mostrato il percorso seguito dai pacchetti per raggiungere dalla sorgente A la destinazione B.

2.1.2 Protocolli di instradamento

Dal punto di vista amministrativo i router che costituiscono la struttura dorsale di SIRIUS rappresentano un unico AS (*Autonomous System*), ossia un sistema in cui le infrastrutture di comunicazione e gli apparati di instradamento sono gestiti in modo autonomo rispetto alle altre reti IP ad esso collegate. In particolare, rientrano tra le competenze del gestore di rete l'assegnazione degli indirizzi IP e il controllo del traffico - attuato principalmente attraverso il filtraggio dei pacchetti - i criteri di priorità nel trattamento dei

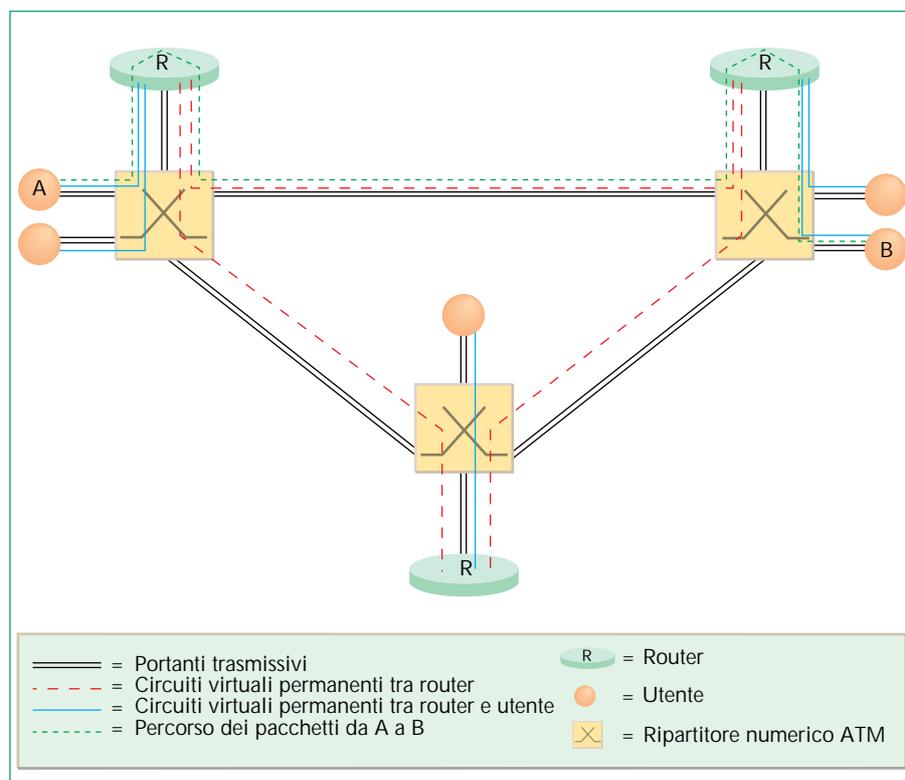


Figura 1 Architettura di riferimento per la piattaforma SIRIUS.

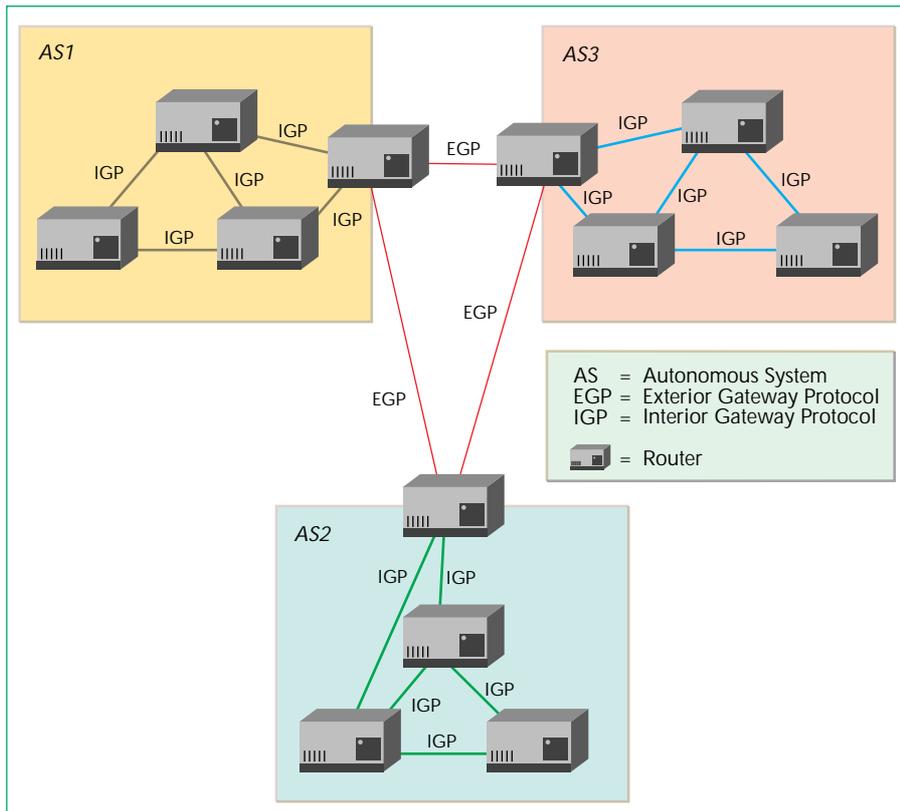


Figura 2 Domini di instradamento IP.

trasmissivo, è propagata a tutti i nodi (*flooding*). In base alle nuove informazioni, ciascun nodo rielabora la propria tabella degli instadamenti in modo da pervenire a una completa convergenza dell'algoritmo di instradamento. In questo modo la rete da una parte risulta essere particolarmente robusta, in quanto essa è in grado di riconfigurarsi dinamicamente; dall'altra però non assicura che due pacchetti, inoltrati da una stessa sorgente verso una medesima destinazione, seguano entrambi lo stesso percorso.

Lo scambio di informazioni di instradamento tra i router di SIRIUS e quelli appartenenti ad altri AS - quale quello di un cliente o di un altro operatore internazionale - avviene utilizzando il protocollo di instradamento esterno *BGP-4* (*Border Gateway Protocol*) [3]. L'algoritmo di instradamento è analogo all'*OSPF*, ma è arricchito da un insieme di parametri di sicurezza volti al

flussi e le regole di instradamento.

Nell'ambito di ciascun AS i router si scambiano, secondo un protocollo prestabilito, informazioni sullo stato della rete per permettere un continuo aggiornamento delle tabelle di instradamento. Le tabelle così ottenute sono trasferite in parte o per intero, secondo un ulteriore apposito protocollo, agli AS adiacenti: le informazioni sulla possibilità di raggiungere le reti appartenenti ad un particolare AS sono comunicate agli AS circostanti permettendo la costruzione di una nuova tabella degli instradamenti comprensiva di tutti i possibili indirizzi raggiungibili.

Possono essere quindi distinte due classi di protocolli di instradamento: intra-AS ossia *IGP* (*Interior Gateway Protocol*) ed inter-AS ossia *EGP* (*Exterior Gateway Protocol*) [1]. Mediante i protocolli della classe IGP avviene lo scambio delle informazioni di instradamento all'interno di un particolare AS, mentre con i protocolli di tipo EGP si ha lo scambio delle informazioni di instradamento tra AS adiacenti (figura 2).

Il protocollo di instradamento interno adottato per la rete SIRIUS è l'*OSPF* (*Open Shortest Path First*) [2]. Ogni variazione nella topologia della rete, sia essa dovuta alla comparsa di una nuova sottorete di utente o al malfunzionamento di un portante

filtraggio delle informazioni scambiate tra i router di frontiera.

In generale l'insieme dei protocolli su cui si basano i servizi offerti da SIRIUS sono conformi alle specifiche definite negli standard *RFC* (*Request For Comment*) prodotti dall'*IETF* (*Internet Engineering Task Force*) [4]. L'elenco completo degli standard finora approvati è riportato nella RFC 2200¹.

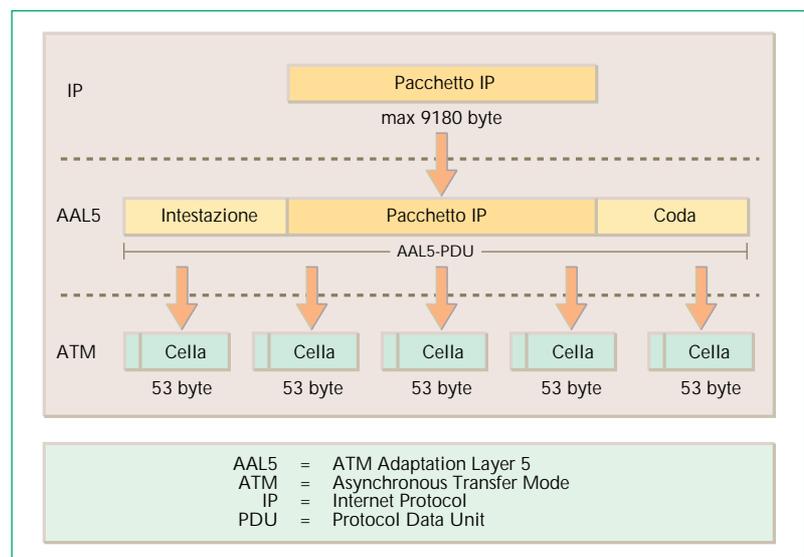


Figura 3 Dai pacchetti IP alle celle ATM.

2.1.3 L'impiego della tecnologia ATM

L'adattamento dei servizi offerti dal livello ATM al livello IP è realizzato da un livello di protocollo denominato *AAL5 (ATM Adaptation Layer)* mediante l'incapsulamento del pacchetto IP (di lunghezza variabile) all'interno del campo informativo della *PDU (Protocol Data Unit)* di livello AAL5². La AAL5-PDU è a sua volta segmentata e quindi trasportata all'interno del campo informativo delle celle ATM al momento della trasmissione. Viceversa in ricezione, a partire dal campo dati delle celle ATM, è possibile riunificare le AAL5-PDU e risalire al pacchetto IP (figura 3).

La tecnologia ATM rende molto flessibile l'architettura di rete risultante rispetto ad una soluzione basata su circuiti dedicati, quali quelli che costituiscono i Circuiti Diretti Numerici; essa consente inoltre un notevole risparmio di porte sui router grazie all'impiego di più circuiti virtuali su una stessa interfaccia fisica. Il trasporto di pacchetti IP mediante segmentazione in celle ATM comporta tuttavia da una parte l'introduzione di un elevato overhead nei protocolli e dall'altra implica la perdita di un intero pacchetto IP a seguito della perdita di una sola cella ATM.

2.1.4 Configurazione della rete

L'attuale configurazione della topologia di rete è riportata nella figura 4: ciascuna sede è collegata al nodo SIRIUS più vicino tramite un circuito ATM a 34 Mbit/s sul quale è in genere configurato un circuito virtuale permanente con banda tra i 5 e i 25 Mbit/s. I collegamenti tra i nodi della rete sono invece del tipo $n \times 34$ Mbit/s. La banda dei PVC internodali è stata configurata sulla base delle relazioni di traffico stimate; è tuttavia compito del gestore della rete, controllare con continuità il traffico tra i nodi e adeguare le capacità trasmissive non appena si presentino fenomeni di congestione.

I router della piattaforma sono gestiti "in banda" dal Centro di Gestione di Roma, sfruttando, per il traffico di servizio, le stesse connessioni ATM tra i nodi,

⁽¹⁾ Una raccolta di tutte le RFC pubblicate fino ad oggi è disponibile presso il sito <http://ds.internic.net/ds/rfc-index.html>.

⁽²⁾ Per semplificare è stato trascurato un ulteriore livello di protocollo tra IP e AAL5 denominato LLC (Logical Link Control).

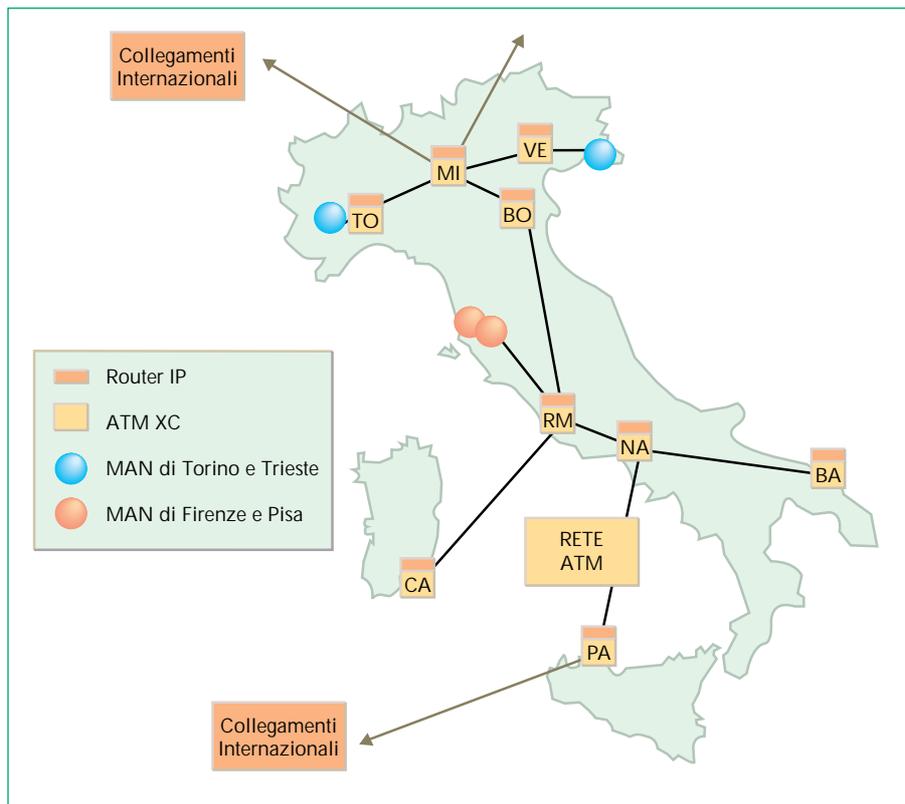


Figura 4 Topologia di rete della piattaforma SIRIUS.

utilizzate per il traffico tra utenti. Per aumentare l'affidabilità del sistema è stato anche installato presso ogni nodo della rete un modem ISDN collegato all'interfaccia seriale del router in modo che, in caso di disservizio del livello di trasporto ATM, ciascun router sia ugualmente raggiungibile dal Centro di Gestione attraverso un gruppo chiuso ISDN.

2.1.5 L'infrastruttura di trasporto

L'infrastruttura di trasporto collega in ATM nove città con una magliatura non completa: Torino, Milano, Venezia, Bologna, Roma, Napoli, Bari, Cagliari e Palermo.

Per aumentare la robustezza della piattaforma, è stata installata presso ciascuna centrale una coppia di interfacce ATM a 155 Mbit/s tra ripartitore numerico ATM e router IP. In questo modo, configurando tra i nodi una doppia magliatura di *VP (Virtual Path)* ATM, è stato possibile realizzare una ridondanza a livello di interfaccia fisica sia sui nodi ATM sia sul router IP: se infatti presso il nodo di Roma si presenta un guasto su una delle due schede ATM del router IP (o su una delle due schede del ripartitore numerico ATM connesse al router IP) è sempre possibile mantenere la connettività completa con tutti gli altri nodi della rete instradando il traffico sull'interfaccia ancora funzionante. Questa procedura di reinstradamento è svolta in maniera automatica dal protocollo OSPF.

La configurazione di rete dei VP ATM, prevista per la struttura definitiva della piattaforma SIRIUS

PERCHÈ È NATA SIRIUS?

- Il progetto *SIRIUS (Servizi di Interconnessione per le Reti Italiane ad Uso Sperimentale)* è stato ideato con l'obiettivo di realizzare una piattaforma di rete IP ad alte prestazioni per la sperimentazione di servizi e applicazioni innovativi impiegando le tecnologie più avanzate emerse negli ultimi anni.
- Allo stesso tempo la piattaforma costituisce uno strumento messo a disposizione della comunità scientifica italiana per la partecipazione congiunta ad importanti iniziative in campo nazionale e internazionale (Progetti *ACTS - Advanced Communications Technologies and Services*, *JAMES - Joint ATM Experiment on European Services*, *GIBN - Global Interoperability for Broadband Networks*, *NICE - National Host Interconnection Services*).
- Infine, SIRIUS costituisce oggi il punto di partenza per ulteriori sviluppi in ambito locale come il Progetto *PRISMA (Piattaforma di Rete Integrata per Sperimentazioni Multimediali Avanzate)*, il Progetto *ENDEAVOUR (END to End ad Alta Velocità con l'Ottimizzazione dello User Return channel)* e l'iniziativa Torino 2000.

(figura 5), permette di rilevare che le sottoreti ATM1 e ATM2 non garantiscono, prese singolarmente, la connettività completa tra i nodi di SIRIUS. Tuttavia è lo stesso protocollo di instradamento attivo su ciascun router che permette di inoltrare i pacchetti da un'interfaccia ATM1 verso un'interfaccia ATM2 o viceversa, realizzando così, al livello IP, una struttura di rete completamente connessa.

2.2 Modalità di accesso dell'utente

L'impiego un protocollo di instradamento esterno, standardizzato al livello internazionale, quale il BGP-4, ha consentito di integrare facilmente in SIRIUS clienti organizzati in un proprio sistema autonomo *AS (Autonomous System)*.

L'apparato di accesso in casa d'utente può essere un router di fascia alta, dotato ad esempio di interfaccia ATM a 34 Mbit/s che è eventualmente affiancato da un commutatore locale ATM. L'impiego del commutatore ATM accresce la flessibilità di configurazione della sottorete di utente e rende inoltre possibile l'utilizzo del servizio VP (cammino virtuale) fornito dalla Rete ATM nazionale. In entrambi i casi è definito un VP tra il router in casa di utente e quello di rete pubblica presente in corrispondenza del nodo SIRIUS secondo lo schema già illustrato in figura 1.

La configurazione di accesso per utenti che possiedono già un proprio AS e che utilizzano il protocollo BGP-4 (CNUCE e CRS4) è ottimale, in quanto garantisce la separazione tra la rete pubblica e quella privata del cliente. Si presentano tuttavia casi in cui l'utilizzatore non possiede un proprio AS e la sua rete deve quindi essere integrata nell'AS di SIRIUS: questa soluzione può comportare problemi di robustezza e sicurezza. Quando ad esempio si attiva il protocollo di instradamento OSPF tra la rete del cliente e quella pubblica, eventuali instabilità dovute a malfunzionamenti o ad errate configurazioni interne alla rete del cliente si possono propagare dannosamente sulle tabelle di instradamento dell'intera rete pubblica.

È tuttavia possibile ricorrere ad una soluzione alter-

nativa (adottata per gli utenti CSELT, SSGRR, NeaNET e CEFRIEL) che consiste nel definire sui router di rete pubblica un instradamento statico verso una particolare sottorete del cliente, mentre sul router del cliente è configurato un instradamento di "default" verso SIRIUS. Questa soluzione da una parte comporta un aumento notevole del consumo di risorse necessarie all'attivazione e alla manutenzione della rete (ogni cambiamento nella sottorete del cliente richiede un aggiornamento manuale dell'instradamento statico sui

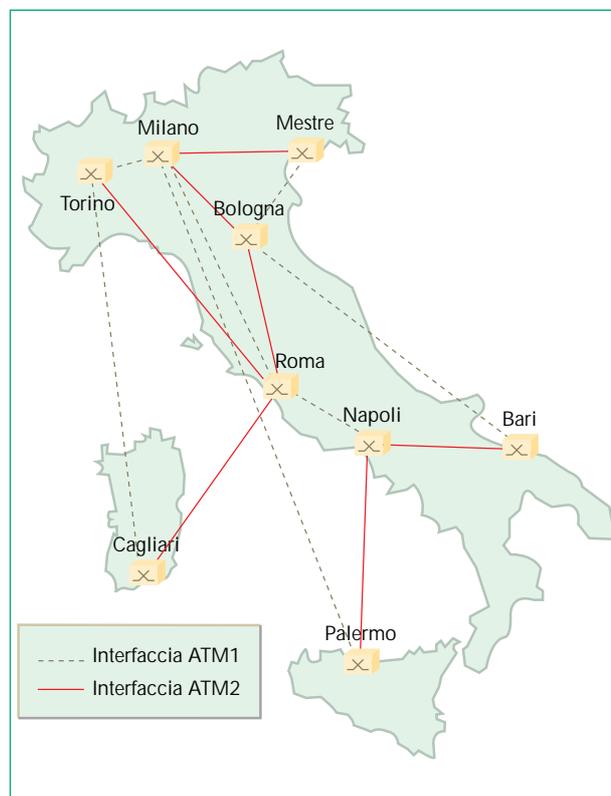


Figura 5 I collegamenti VP ATM nella rete SIRIUS.

router di SIRIUS); dall'altra essa separa completamente la rete di un cliente rispetto da quella pubblica.

Come è stato già accennato, le informazioni di instradamento annunciate dal router di accesso di un cliente si propagano all'interno di SIRIUS rendendolo raggiungibile da tutti gli altri router. Tuttavia, nel caso in cui sia necessario nascondere parte delle sottoreti interne di un particolare utente, è possibile configurare opportuni filtri in modo da evitare l'annuncio di informazioni di instradamento relative a reti che non devono avere accesso a SIRIUS.

2.3 La tecnologia adottata al livello IP

Presso ciascun nodo della piattaforma SIRIUS è installato un router di fascia alta della Bay Networks, modello *BLN (Backbone Link Node)* o *BCN (Backbone Concentrator Node)*. Questi apparati presentano una elevata affidabilità e ottime prestazioni, rese possibili grazie all'impiego di un'architettura interna di tipo simmetrico a multiprocessore. In figura 6 è schematizzata l'architettura interna di un router Bay Networks costituita da un bus a elevata capacità sul quale sono attestate le interfacce di rete. Ogni interfaccia è costituita da:

- una scheda processore (*Fast Routing Engine*), sulla quale è installato un processore per l'elaborazione degli instradamenti, una memoria locale volatile, sulla quale sono conservate le tabelle di instradamento, e una memoria di tipo non volatile (Flash), per la memorizzazione dei file di inizializzazione e delle impostazioni di configurazione;
- un modulo di collegamento per l'adattamento fisico al mezzo trasmissivo impiegato (del tipo, ad esempio, Seriale, Ethernet, Fast Ethernet, FDDI, ATM).

A differenza di quanto avviene nei router tradizionali (nei quali in genere le funzionalità di instradamento dei pacchetti sono realizzate in modo centralizzato), i router della Bay Networks replicano su ciascuna unità a scheda, per l'elaborazione associata ad una interfaccia, sia le tabelle sia l'elaboratore degli instradamenti. In questo modo da una parte è eliminato un collo di bottiglia costituito da un elaboratore centralizzato, dall'altra si aumenta l'affidabilità del sistema replicandone i componenti.

Il BLN è in grado di instradare fino a 330mila pacchetti al secondo e può essere equipaggiato con al più quattro interfacce LAN/WAN; il BCN invece instrada

fino a un milione di pacchetti al secondo, grazie ad un bus multiplo ad elevate prestazioni, e può essere equipaggiato con al più tredici interfacce LAN/WAN. In entrambi i modelli le alimentazioni sono completamente duplicate per garantire la massima affidabilità.

Il sistema di gestione, denominato *Optivity/Internetwork*, consente di configurare e controllare il funzionamento dei router della piattaforma SIRIUS da una sola stazione remota.

3. Caratterizzazione dei servizi offerti

In questo paragrafo sono descritti i servizi già disponibili su SIRIUS. Quelli che invece si trovano ancora in fase di studio o di sperimentazione presso i laboratori di Telecom Italia, in attesa che le tecnologie siano sufficientemente consolidate per essere portate in rete con adeguate garanzie di affidabilità, saranno trattate nel quinto paragrafo, dedicato allo sviluppo della piattaforma.

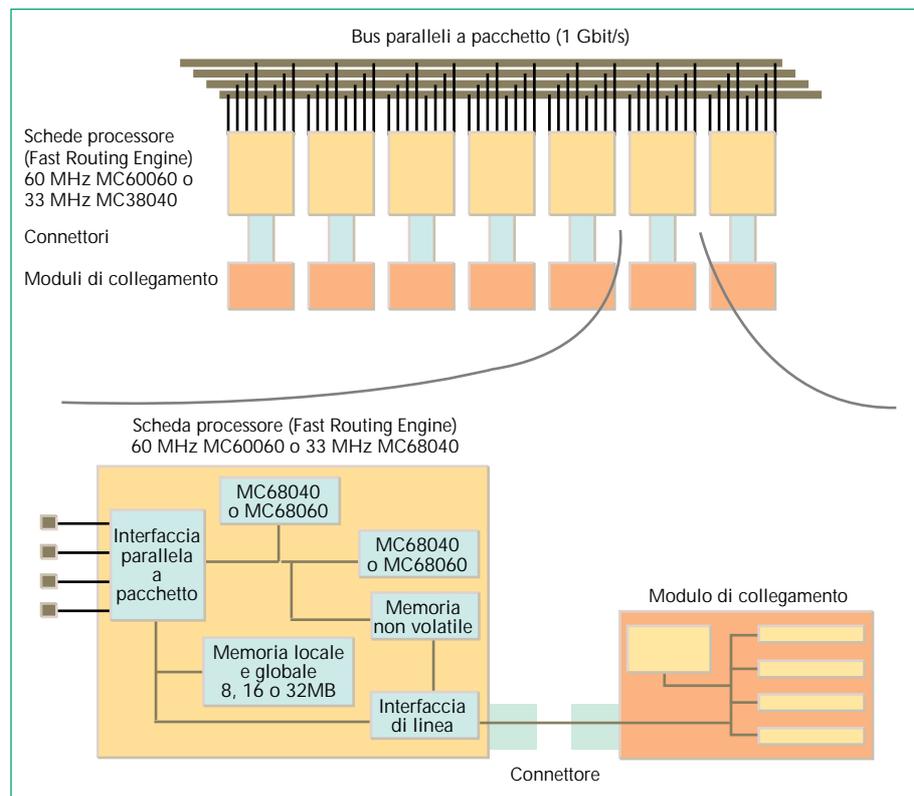


Figura 6 L'architettura simmetrica multiprocessore.

3.1 I servizi di rete offerti da SIRIUS

Al livello ATM è disponibile il servizio di cammino virtuale (connettività VP) con modalità permanente o su prenotazione, in ambito nazionale e internazionale.

Al livello IP il servizio IP su ATM è offerto con classi di accesso da 5 a 25 Mbit/s (con passi da 1 Mbit/s) ed è caratterizzato da funzionalità di instradamento

dinamico (protocolli OSPF e BGP-4) e dal supporto di comunicazioni multicast con protocollo *DVMRP (Distance Vector Multicast Routing Protocol)*.

3.1.1 I servizi multicast IP

Tra i servizi disponibili sulla piattaforma SIRIUS il multicast risulta di particolare importanza in quanto è una tecnica trasmissiva che ottimizza l'impiego delle risorse di rete per le comunicazioni con le quali una stessa sorgente invia dati a una molteplicità di stazioni riceventi. In assenza di meccanismi ad hoc, ciascuna delle destinazioni deve essere raggiunta da un flusso indipendente: in questo modo si ha uno spreco di banda in quanto uno stesso flusso attraversa in parte gli stessi circuiti. In effetti, la distribuzione delle informazioni a tutti i terminali riceventi avviene secondo una topologia ad albero in cui la radice rappresenta la sorgente e le foglie corrispondono alle stazioni riceventi. Il multicast evita quindi la duplicazione dei dati lungo i rami dell'albero che sono attraversati da più di uno dei percorsi diretti alle diverse destinazioni (figura 7).

Per realizzare il multicast devono essere utilizzati due protocolli: il primo permette lo scambio di informazioni tra i nodi di rete in modo da ottenere l'albero di instradamento ottimale; l'altro invece gestisce il colloquio attraverso il quale i terminali riceventi aderiscono ai gruppi multicast.

Ogni trasmissione multicast è identificata da un indirizzo di classe D³. I router interrogano periodicamente i terminali riceventi ad essi collegati per verificare se qualcuno di questi intenda partecipare a una delle sessioni multicast. In caso affermativo il terminale risponde indicando l'indirizzo che identifica la sessione di interesse ed è iscritto al gruppo corrispondente. L'albero multicast è quindi aggiornato in modo che anche il nuovo partecipante sia raggiunto dal flusso richiesto. Questo meccanismo di interrogazione e di conferma si ripete ad intervalli di tempo regolari: la mancata risposta è interpretata implicitamente come indicazione dell'abbandono del gruppo da parte del terminale. Il protocollo *IGMP (Internet Group Management Protocol)* definisce i messaggi scambiati tra i terminali e i rispettivi router di appartenenza.

I protocolli mediante i quali i router comunicano per costruire e aggiornare l'albero multicast sono più di uno. Il più consolidato è il *DVMRP (Distance Vector Multicast Routing Protocol)*; altri protocolli sono in fase di definizione o di sviluppo. Tra questi i più accreditati sono il *PIM (Protocol Independent Multicast)* ed il *CBT (Core Based Tree)*.

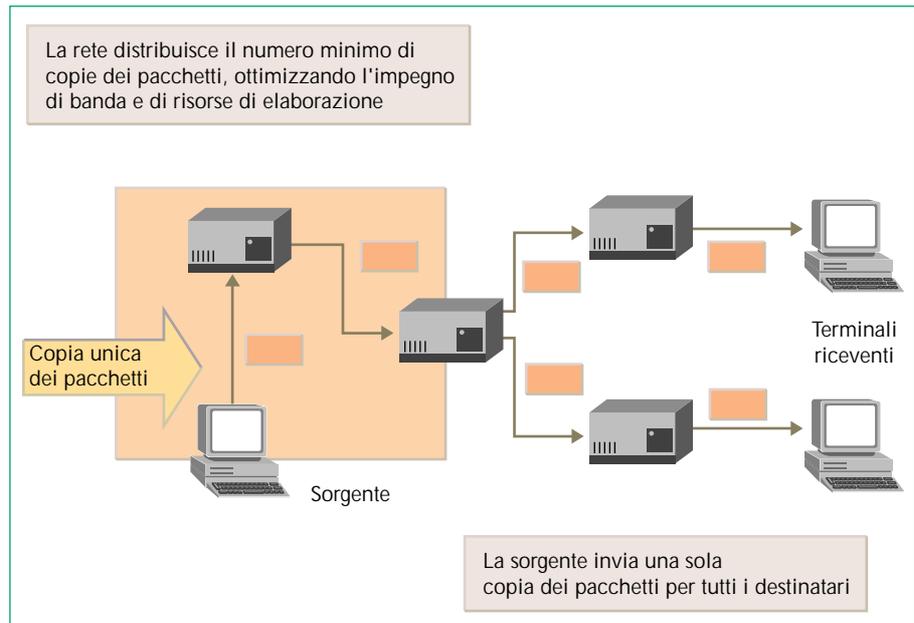


Figura 7 Principio di funzionamento del multicast.

4. Aspetti di gestione della piattaforma SIRIUS

La gestione della piattaforma SIRIUS avviene in maniera centralizzata dal Centro di Gestione SIRIUS situato presso la sede di Roma Inviolatella; questo Centro ha la responsabilità dell'esercizio e della manutenzione della rete internodale e degli apparati (*server*) attraverso i quali sono offerti i servizi IP, mentre richiede l'intervento del *CN ATM (Centro Nazionale ATM)* nel caso di eventuali malfunzionamenti a livello ATM o fisico. Oltre alla supervisione e al controllo della rete, il Centro svolge importanti funzioni quali l'amministrazione degli indirizzi e del *DNS (Domain Name System)*⁴.

Le principali attività svolte presso il Centro di Gestione SIRIUS possono essere sintetizzate nei punti seguenti:

- gestione dei router della piattaforma SIRIUS (guasti, configurazioni, prestazioni, sicurezza delle informazioni);
- gestione dei server della piattaforma SIRIUS (guasti, configurazioni, prestazioni, sicurezza delle informazioni);
- amministrazione del servizio DNS (gestione nomi simbolici);
- amministrazione degli indirizzi IP;
- misura dei parametri di qualità dei servizi IP;
- sviluppo della rete internodale (backbone) della piattaforma.

⁽³⁾ La suddivisione dello spazio di indirizzamento in base al formato degli indirizzi IP prevede per gli indirizzi della classe D l'arco di numerazione da 224.0.0.0 a 239.255.255.255.

⁽⁴⁾ Si tratta di sistemi per la traduzione istantanea di indirizzi alfanumerici (ad esempio *www.tin.it*) in indirizzi di rete IP (ad esempio 194.243.155.155).

Il controllo dei router della piattaforma avviene "in banda", ossia sfruttando le stesse connessioni ATM utilizzate per il traffico tra gli utenti; tuttavia, come si è già accennato, è stato predisposto un accesso tramite modem ISDN, configurati in gruppo chiuso alle porte "consolle" di ciascun router, in modo da permettere la gestione "fuori banda" delle macchine in condizioni di criticità di funzionamento (ad esempio per le operazioni di riavvio).

La supervisione della rete è svolta mediante la piattaforma *Open View* della Hewlett Packard (figura 8) che fornisce, in forma grafica, la rappresentazione dello stato degli apparati e dei collegamenti. La piattaforma di gestione notifica tutti gli eventi che si sono verificati sui router e permette di tracciare diagrammi relativi ai parametri delle principali prestazioni. In particolare sono riportati i tassi di errore al livello IP e ATM, il traffico gestito da ciascuno dei router, sia in termini di pacchetti IP che di celle ATM: sono infatti disponibili dati specifici per le singole interfacce e per ognuno dei protocolli su di esse configurati. Impostando opportune soglie di tolleranza, è possibile rilevare eventuali situazioni di sovraccarico e pianificare di conseguenza gli interventi infrastrutturali per il potenziamento delle linee o dei nodi di rete. *Open View* consente infine di reperire le informazioni di

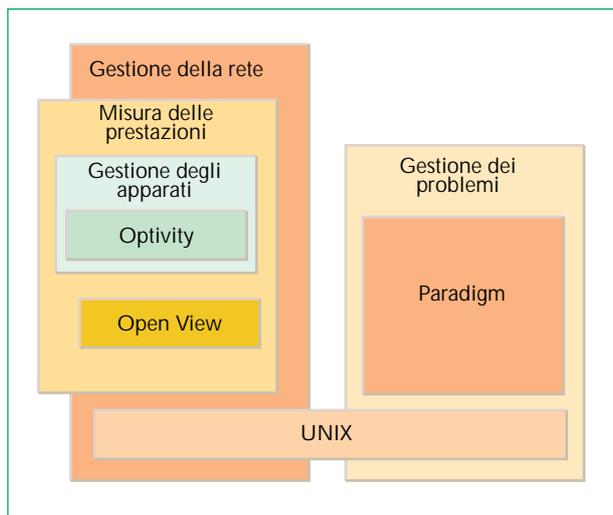


Figura 8 Architettura del sistema di gestione della rete SIRIUS.

configurazione degli apparati, quali ad esempio gli indirizzi delle interfacce e le tabelle di instradamento.

Per la configurazione dei router è invece utilizzato *Optivity*, un applicativo per gli apparati realizzati da Bay Networks. *Optivity* è integrato in *Open View* su un'unica postazione di gestione: permette di impostare nuovi circuiti, riconfigurare quelli esistenti, aggiungere nuovi protocolli. Con *Optivity* sono anche definiti i criteri di instradamento e i filtri di pacchetto che regolano l'accesso ai servizi IP.

Sia *Open View* sia *Optivity* prevedono modalità di accesso alle funzionalità di gestione differenziate secondo i diversi profili dei singoli tecnici. È possibile restringere l'ambito di intervento in base a criteri geografici (definendo le aree di competenza),

oppure limitare le azioni consentite in modo che i tecnici possano unicamente supervisionare la rete, ma non possano agire sui comandi di configurazione che, per loro natura, comportano una maggiore criticità e richiedono una conoscenza più approfondita degli apparati e dei protocolli IP e quindi interventi di personale specializzato.

5. Sviluppo della piattaforma

Uno degli aspetti caratteristici della piattaforma SIRIUS è quello di costituire un banco di prova per le nuove tecnologie non appena queste siano disponibili anche in una forma pre-commerciale. Nell'ambito del progetto sono perciò seguite con grande interesse le attività di standardizzazione in ambito *IETF* (*Internet Engineering Task Force*) relative allo sviluppo di nuovi protocolli, con particolare riferimento all'evoluzione dei protocolli multicast e al protocollo IP della prossima generazione (IPv6). Sebbene ancora non esistano prodotti sufficientemente maturi per pensare ad una introduzione su ampia scala delle tecnologie associate a questi nuovi servizi ed ai relativi protocolli, è possibile tuttavia valutare potenzialità e caratteristiche salienti di ciascuno di essi.

5.1 L'evoluzione del protocollo IP: IPv6

Il successo di Internet, l'esaurimento dei numeri IP e la diffusione di applicazioni multimediali sono state concause dello sviluppo di una nuova specifica del protocollo IP denominata IPv6. Il nuovo protocollo non modifica i principi posti alla base della versione precedente, ma aggiunge nuove funzionalità per rispondere meglio ai requisiti di servizio imposti dalle nuove applicazioni multimediali e dalla diffusione della rete Internet a livello mondiale.

Telecom Italia partecipa all'innovazione tecnologica nel campo dell'interconnessione tra reti e si sta predisponendo alla transizione verso IPv6: è infatti in corso di realizzazione una rete IPv6 sovrapposta a SIRIUS che permetterà di valutare le modalità di integrazione e di interlavoro tra le due versioni del protocollo e di analizzare le nuove funzionalità, man mano che esse saranno rese disponibili.

IPv6 offre un servizio di trasmissione dati non orientato alla connessione (*connectionless*) e presenta le seguenti caratteristiche principali:

- è predisposto per l'offerta di servizi a qualità controllata, distinguendo tra traffici dati (E-Mail, WWW, ftp), real-time (fonia e video) e di controllo (gestione e instradamento);
- introduce l'instradamento gerarchico, in analogia a quanto previsto nelle reti pubbliche di telecomunicazione, e l'instradamento sulla base dell'indirizzo della sorgente (*source routing*);
- prevede meccanismi opzionali per la sicurezza come la crittografia e l'autenticazione a livello di singolo pacchetto IP;
- semplifica e ottimizza il formato del pacchetto per le macchine ad architettura a 64 bit.

Il pacchetto IPv6 è costituito da una intestazione di 40 Byte, contenente gli indirizzi della sorgente e

QUALI SONO GLI UTENTI DI SIRIUS?

- L'accesso alla piattaforma è offerto a Enti e ad Istituzioni di ricerca scientifica e industriale che siano interessati ad attività sperimentali in collaborazione con Telecom Italia di carattere non-profit, altamente innovative e con significativo contenuto tecnologico.
- Oggi sono collegati alla rete sette laboratori appartenenti a differenti realtà del mondo della ricerca nazionale: i laboratori CSELT di Torino, il Centro di ricerca Cefriel a Milano, i laboratori del CNUCE/CNR presso la MAN Toscana, la Scuola dell'Aquila SSGRR, il Centro di Ricerche CRS4 a Cagliari, il Cantiere Multimediale presso il Dipartimento di Informatica e Sistemistica dell'Università di Napoli e infine i laboratori di Telecom Italia a Roma.

della destinazione e l'identificatore del flusso dati con specifiche esigenze di qualità del servizio. Sono inoltre previste intestazioni opzionali (*Extension Header*) per le funzionalità di source routing, autenticazione, frammentazione. La parte finale è riservata al trasporto dei dati di utente.

Le capacità di indirizzamento sono estese rispetto ad IPv4, essendo disponibili 128 bit per il campo di indirizzo; sono definiti tipi differenti di indirizzi gerarchici, distinti da un prefisso.

Il lavoro di specifica dell'IETF, iniziato fin dal 1992, ha raggiunto oggi un buon punto di maturazione, tanto che numerosi costruttori di apparati hanno già annunciato di avere pronto il software per IPv6. Tuttavia queste realizzazioni consentono finora un insieme ristretto di funzionalità.

Recentemente, sotto il patrocinio dell'IETF, si è dato il via alla costituzione di una rete IPv6 sovrapposta alla Internet denominata "6Bone" (in analogia a quanto già fatto per la rete multicast MBONE⁵) che interessa il Nord America, il Giappone e l'Europa. Questa infrastruttura da un lato segna l'inizio della transizione verso IPv6 e dall'altro mette a disposizione una rete internazionale di prova (test-bed) utilizzabile dai costruttori e dai gestori delle reti. Telecom Italia partecipa a questa sperimentazione avendo realizzato una rete IPv6 tra i laboratori di CEFRIEL, CSELT e Telecom Italia interconnessa alla rete 6Bone attraverso CSELT.

6. Le attività di ricerca e di innovazione su SIRIUS

Nell'ambito delle attività di analisi e sperimentazione di soluzioni di rete innovative per l'offerta di servizi multimediali interattivi è stato avviato un programma di collaborazione tra Telecom Italia e un insieme qualificato di centri di ricerca (figura 9).

L'accesso alla piattaforma è offerto a Enti e Istituti di ricerca scientifica e industriale che siano interessati ad attività in collaborazione con

Telecom Italia di carattere non-profit, altamente innovative e con significativo contenuto tecnologico. L'accesso alle infrastrutture comporta la condivisione con Telecom Italia dei risultati della sperimentazione; Telecom Italia dal canto suo partecipa alle sperimentazioni assicurando la copertura dei costi di comunicazione verso le sedi dei laboratori interessati. Sulla piattaforma è esclusa completamente la possibilità di transito di traffico commerciale legato alle normali attività svolte presso i Centri di ricerca stessi.

Finora sono attestati alla rete sette laboratori appartenenti a differenti realtà del mondo della ricerca nazionale: i laboratori CSELT di Torino, il centro di ricerca CEFRIEL a Milano, i laboratori del CNUCE/CNR presso la MAN Toscana, la Scuola Superiore Guglielmo Reiss Romoli dell'Aquila, il Centro di ricerche CRS4 a Cagliari, il Cantiere Multimediale presso il Dipartimento di Informatica e Sistemistica dell'Università di Napoli e i laboratori di Telecom Italia di Roma (situati presso la Linea Ingegneria delle Reti Dati e Multimediali dell'Area Pianificazione e Sviluppo della Direzione Rete). È infine attiva, limitatamente al

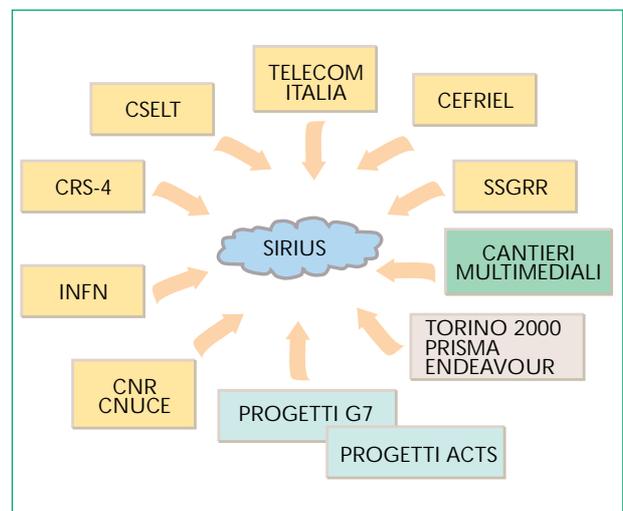


Figura 9 I partner di SIRIUS e i progetti intrapresi.

⁽⁵⁾ MBONE (Multicast backBONE) è una rete virtuale che condivide il livello fisico della rete Internet ed è in grado di trasportare traffico multicast di tipo multimediale.

traffico di tipo multicast, una connessione con i laboratori dell'INFN di Bologna.

6.1 I progetti ACTS e il Consorzio ITINERA

Nei Paesi europei, come in altre realtà mondiali, sono disponibili una serie di infrastrutture di rete in grado di permettere sperimentazioni di servizi di telecomunicazioni avanzati. Molti dei progetti intrapresi in questo contesto sono svolti sotto l'egida della Comunità Europea, quali ad esempio i progetti *ACTS* (*Advanced Communications Technologies and Services*), volti allo sviluppo di una infrastruttura di comunicazioni europea competitiva a livello internazionale.

Le singole reti per la ricerca, nate spesso in modo indipendente nei diversi contesti nazionali, si sono raggruppate per costituire un certo numero di "National Host" e per fornire una piattaforma distribuita per l'offerta di servizi sui rispettivi territori nazionali. L'infrastruttura di collegamento a livello transeuropeo dei singoli National Host è la rete ATM paneuropea, fornita da diciassette operatori pubblici nell'ambito del progetto *JAMES* (*Joint ATM Experiment on European Services*).

Il National Host Italiano, denominato "ItalHost", è costituito dalla rete SIRIUS di Telecom Italia e da alcuni laboratori, quali il CNR presso la MAN Toscana, Neanet a Napoli, CSELT a Torino, Italtel e Alcatel a Milano, Olivetti a Pozzuoli ed a Bari, IBM a Cagliari. ItalHost è gestito dal Consorzio *ITINERA* (*ITalian INfostructure for European Research in Advanced communications*) ed è costituito dalle principali aziende di telecomunicazioni operanti in Italia; il 51,6 per cento del fondo consortile è posseduto da Telecom Italia (figura 10).

6.2 I progetti G7: GIBN ed i progetti applicativi

Il progetto *GIBN* (*Global Interoperability for Broadband Networks*) è uno degli undici progetti pilota approvati e avviati in ambito G7 con l'obiettivo di predisporre una comune infrastruttura per lo sviluppo di attività di ricerca, dimostrazioni e sperimentazioni pre-commerciali nell'ambito dei servizi e delle applicazioni ad alta velocità. In particolare, il progetto *GIBN* è concepito per offrire la connettività internazionale a larga banda agli ulteriori dieci progetti applicativi, riguardanti settori quali, ad esempio, la telemedicina, la fisica nucleare, i musei e le biblioteche elettroniche.

Telecom Italia partecipa al progetto *GIBN* tramite la piattaforma SIRIUS. Il diretto coinvolgimento di Telecom Italia consentirà di effettuare, nell'ambito di alcuni dei più significativi progetti applicativi sviluppati in Italia, sperimentazioni ad alta velocità collegandosi con i maggiori centri di ricerca operanti all'estero.

7. Conclusioni

La tecnologia IP costituisce oggi un elemento essenziale nel processo di convergenza tra tecnologie informatiche e telecomunicazioni. L'indipendenza dei servizi offerti dallo strato IP rispetto alla infrastruttura

di trasporto utilizzata (ATM, CDN, ADSL, ISDN, LAN) consente un'integrazione trasversale delle risorse di rete, dall'area locale a quella geografica, mentre il continuo sviluppo di nuove applicazioni IP è favorito dalla costante evoluzione delle potenzialità di calcolo dei computer.

SIRIUS realizza una piattaforma di rete basata sul protocollo IP che si avvale della infrastruttura di trasporto offerta dalla rete ATM nazionale e adotta soluzioni tecnologiche di assoluta avanguardia, in termini sia di prestazioni sia di funzionalità degli apparati. Questa piattaforma fornisce un insieme di servizi di rete, come l'instradamento dinamico o il multicast e abilita all'uso dei protocolli applicativi impiegati con successo in un'ampia varietà di applicazioni multimediali: ad esempio *RTP* (*Real time Protocol*) e *RTCP* (*Real Time Control Protocol*).

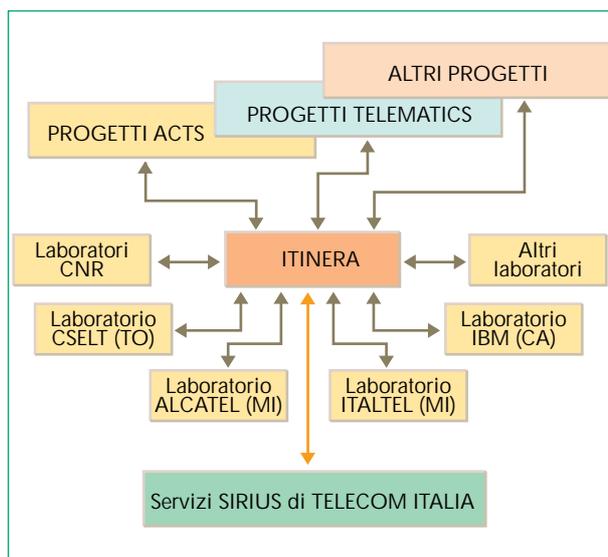


Figura 10 Il consorzio ITINERA.

L'avvio di un programma di collaborazione tra Telecom Italia e un insieme qualificato di Centri di ricerca, di primario rilievo nello scenario nazionale, ha fatto di SIRIUS un laboratorio operativo per la verifica sul campo di servizi e soluzioni tecniche avanzate. Parallelamente, SIRIUS costituisce oggi il punto di avvio per ulteriori sviluppi, come i progetti *PRISMA* (*Piattaforma di Rete Integrata per Sperimentazioni Multimediali Avanzate*), *ENDEAVOUR* (*END to End ad Alta Velocità con l'Ottimizzazione dello User Return channel*) e l'iniziativa Torino 2000. I primi due progetti sono finalizzati alla valutazione rispettivamente tecnica e di mercato di nuove tecnologie di accesso, quali *ADSL* (*Asymmetrical Digital Subscriber Line*) e *Cable Modem*; l'iniziativa Torino 2000 è volta alla realizzazione di una struttura di telecomunicazioni metropolitana a larga banda per l'offerta di servizi telematici di pubblica utilità.

Infine, la costante evoluzione degli standard IP si riflette in un continuo aggiornamento di SIRIUS. È ormai prossima l'introduzione in rete di servizi IP a qualità garantita, mentre nuovi protocolli per il multicast, più efficienti e adatti a reti di vaste

dimensioni, sono in fase di definizione e di sviluppo presso l'IETF (Internet Engineering Task Force). È stata avviata infine la migrazione verso il protocollo IP di prossima generazione, l'IPv6, che consentirà di espandere in misura molto elevata lo spazio di indirizzamento, che permetterà l'introduzione di servizi a qualità garantita e che offrirà, a livello di singolo pacchetto IP, meccanismi di sicurezza come la crittografia e l'autenticazione.

Abbreviazioni

AAL	ATM Adaptation Layer
ACTS	Advanced Communications Technologies and Services
AS	Autonomous System
ATM	Asynchronous Transfer Mode
ADSL	Asymmetrical Digital Subscriber Line
BGP	Border Gateway Protocol
CBT	Core Based Tree
CDN	Circuito Diretto Numerico
CN ATM	Centro Nazionale ATM
DNS	Domain Name System
DVMRP	Distance Vector Multicast Routing Protocol
EGP	Exterior Gateway Protocol
FTP	File Transfer Protocol
GIBN	Global Interoperability for Broadband Networks
IAB	Internet Architecture Board
IETF	Internet Engineering Task Force
IGMP	Internet Group Management Protocol
IGP	Interior Gateway Protocol
IP	Internet Protocol
IPv6	Internet Protocol versione 6
ISDN	Integrated Services Digital Network
JAMES	Joint ATM Experiment on European Services
LAN	Local Area Network
MAN	Metropolitan Area Network
MBONE	Multicast backBONE
NICE	National host InterConnection Experiments
OSPF	Open Shortest Path First
PDU	Protocol Data Unit
PIM	Protocol Independent Multicast
PRISMA	Piattaforma di Rete Integrata per Sperimentazioni Multimediali Avanzate
PVC	Permanent Virtual Circuit
RFC	Request For Comment
RTP	Real Time Protocol
RTCP	Real Time Control Protocol
SIRIUS	Servizi di Interconnessione per le Reti Italiane ad Uso Sperimentale
VC	Virtual Channel
VP	Virtual Path
VCI	Virtual Channel Identifier
VPI	Virtual Path Identifier
WAN	Wide Area Network
WWW	World Wide Web

Bibliografia

- [1] Antonelli, F.; Carissimi, M.; Iuso, F.; Pugliese, F.: *I protocolli TCP ed IP*. «Notiziario Tecnico Telecom Italia», Anno 4, n. 1, luglio 1995.
- [2] Moy, J.: *OSPF Version 2*. RFC 2178, luglio 1997.
- [3] Yakov Rekhter, Tony Li: *A Border Gateway Protocol 4 (BGP-4)*. RFC 1771, marzo 1995.
- [4] Fioretto, G.: *La standardizzazione nelle telecomunicazioni*. «Notiziario Tecnico Telecom Italia», Anno 5, n. 1, maggio 1996.



Alessandro Cajano. Si è laureato in Ingegneria Elettronica presso la II Università degli Studi di Roma "Tor Vergata". Opera nell'Area Pianificazione e Sviluppo della Direzione Rete di Telecom Italia presso la Linea di Ingegneria delle Reti Dati e Multimediali. In passato si è occupato di tematiche relative al servizio SMDS su reti ATM e reti MAN. Oggi si occupa dei servizi a larga banda basati sul protocollo IP con particolare riferimento agli aspetti di qualità del servizio. Ha partecipato sin dall'inizio allo sviluppo della piattaforma SIRIUS ed è coinvolto in alcune delle sperimentazioni in corso in Telecom Italia per lo sviluppo di servizi multimediali interattivi.

dall'inizio allo sviluppo della piattaforma SIRIUS ed è coinvolto in alcune delle sperimentazioni in corso in Telecom Italia per lo sviluppo di servizi multimediali interattivi.



Claudio Montechiarini. Si è laureato in Ingegneria Elettronica presso l'Università degli Studi di Roma "La Sapienza". Opera nell'Area Pianificazione e Sviluppo della Direzione Rete di Telecom Italia presso la Linea di Ingegneria delle Reti Dati e Multimediali. Si è occupato in passato di problematiche di sicurezza, sistemi di supporto al lavoro cooperativo e della gestione delle reti per dati. Oggi si occupa di servizi a larga banda basati sul protocollo IP con particolare riferimento agli aspetti di qualità del servizio e alle analisi delle prestazioni. Partecipa al progetto SIRIUS e alle sperimentazioni in corso in Telecom Italia per lo sviluppo di applicazioni multimediali interattive destinate alla clientela residenziale.

servizio e alle analisi delle prestazioni. Partecipa al progetto SIRIUS e alle sperimentazioni in corso in Telecom Italia per lo sviluppo di applicazioni multimediali interattive destinate alla clientela residenziale.



Michele Volpe. Si è laureato in Ingegneria Elettronica presso l'Università degli studi di Napoli e ha svolto le sue prime esperienze di lavoro presso la Fondazione "Ugo Bordoni" di Roma, occupandosi di sistemi esperti applicati alle basi di dati e di programmazione logica e funzionale. Coordina oggi le attività di standardizzazione internazionali e segue le iniziative innovative di Information and Communications Technology, nell'ambito dell'Area Affari Comunitari e Organismi Internazionali. Dal 1994 al 1997 è stato responsabile del progetto "Piattaforme di Rete per Servizi Globali", nell'ambito della Divisione Rete, che aveva l'obiettivo di individuare, valutare e sperimentare in campo tecnologie avanzate di rete in grado di permettere lo sviluppo di servizi multimediali basati sul protocollo IP da offrire ai clienti residenziali. In passato, dopo essersi occupato delle evoluzioni del modello di protocolli OSI, ha contribuito alle attività sulle architetture di gestione di rete di tipo TMN e sulle relative tecnologie basate su piattaforme software avanzate. Ha inoltre operato nei settori della sicurezza, e nello sviluppo di servizi di lavoro cooperativo.

Internazionali. Dal 1994 al 1997 è stato responsabile del progetto "Piattaforme di Rete per Servizi Globali", nell'ambito della Divisione Rete, che aveva l'obiettivo di individuare, valutare e sperimentare in campo tecnologie avanzate di rete in grado di permettere lo sviluppo di servizi multimediali basati sul protocollo IP da offrire ai clienti residenziali. In passato, dopo essersi occupato delle evoluzioni del modello di protocolli OSI, ha contribuito alle attività sulle architetture di gestione di rete di tipo TMN e sulle relative tecnologie basate su piattaforme software avanzate. Ha inoltre operato nei settori della sicurezza, e nello sviluppo di servizi di lavoro cooperativo.

Esperienze in Telecom Italia

L'energia pulita di Ginostra

MAURIZIO GROSSONI



Il ponte radio di Ginostra, sullo sfondo il vulcano Stromboli.

Ginostra - dove:

Stromboli, la più isolata delle sette isole che costituiscono l'arcipelago delle Eolie a nord della Sicilia, ha due paesi: il primo ha lo stesso nome dall'isola ed è dotato di un molo attrezzato per l'attracco delle navi e degli aliscafi; l'altro, Ginostra, ne è sprovvisto.

In questo angolo di mondo in cui l'unico mezzo di trasporto terrestre è il mulo, l'energia elettrica è un



Il piccolo molo di Ginostra.

bene prezioso in quanto non è ancora disponibile la rete di distribuzione pubblica.

Ginostra è quindi un'isola nell'isola con tutti i pregi e i difetti che ne conseguono; dove il desiderio di chi vuole dimenticare gli affanni della vita per qualche breve periodo si scontra con le esigenze della piccola comunità che vive in questa località per tutto l'anno.

Meta estiva di moderni Robinson Crusoe, Ginostra è sottoposta al controllo severo degli ambientalisti, ai quali non dispiacerebbe fare di questo angolo di isola un'oasi naturale.

Ginostra - quando:

Telecom Italia ha installato a Ginostra circa nove anni fa un ponte radio per assicurare un legame, quello telefonico, tra questa piccola località e il mondo esterno, e ha raccolto la sfida con le difficoltà insite nella particolarità dell'isola.

Nella centrale è stato così installato un ponte radio numerico del tipo CTR 190 della SIEMENS Telecomunicazioni a 7 GHz ed a 8 Mbit/s che trasportava il segnale in uscita con un Multiplatore 2/8 Mbit/s in configurazione 1+0.

Il ponte è collegato con il centro radio di Lipari, l'isola più grande delle Eolie.

La centrale è stata alimentata usufruendo dell'unica energia disponibile in loco, ovvero quella solare, mediante l'impiego di un sistema fotovoltaico.

Questa soluzione ha, così, consentito di coniugare le esigenze delle più moderne tecnologie di telecomunicazioni con il rispetto e la salvaguardia di un angolo incontaminato della nostra Terra.

Da più di un anno Telecom Italia ha potenziato questo impianto dotandolo di una riserva di energia di emergenza di nuova concezione: la *pila alluminio-aria*.

Questo apparato ha già superato con successo le severe prove di affidabilità di Telecom Italia, nonché numerosi anni di collaudo sul campo presso vari Gestori di telecomunicazione.

Ginostra - come:

La nuova riserva di energia è stata messa in parallelo all'impianto di alimentazione esistente.

Questo consiste in un array fotovoltaico a 48 V (figura 1), prodotto dall'Ansaldo, provvisto di regolatore della tensione per la ricarica della batteria di accumulatori.



Figura 1 I pannelli fotovoltaici.

Questa utilizza la coppia elettrochimica al piombo-acido ed è del tipo regolato con valvola con elettrolito immobilizzato nel gel. La capacità della batteria è stata prodotta per assicurare all'impianto, in caso di condizioni meteorologiche avverse, un'autonomia superiore a 100 ore.

La pila alluminio-aria

La pila alluminio-aria (figura 2) è una cella a combustibile di nuova concezione che sfrutta l'energia prodotta dalla coppia alluminio/ossigeno e che ha come elettrolita una soluzione basica.

La sua caratteristica vincente è l'elevata energia specifica, il cui valore, grazie al basso peso specifico dell'anodo in alluminio e alla disponibilità infinita dell'ossigeno, che costituisce il catodo e non è contenuto all'interno della cella stessa, è circa sei volte quello delle normali batterie al piombo-acido.

Altre caratteristiche particolarmente interessanti sono la ridotta diminuzione percentuale della tensione durante la scarica e la possibilità di rimanere per lunghi periodi a circuito aperto senza riduzione della capacità. L'energia elettrica è prodotta dalla ossidazione elettrochimica dell'alluminio immerso in un elettrolito alcalino; l'anodo, realizzato in una speciale lega di alluminio, ha un coefficiente molto basso di corrosione in soluzioni alcaline e, quindi, un basso sviluppo di idrogeno.

L'elettrolito è idrossido di potassio concentrato, mentre il catodo è costituito dall'ossigeno, ricavato dall'aria, che circola sulla superficie degli elettrodi di carbone porosi all'aria stessa.

Ciascun elemento è costituito da una struttura di plastica e da due catodi di aria con interposto l'anodo d'alluminio. Un gruppo di questi elementi è sistemato su un collettore distributore di elettrolito in modo da formare l'insieme delle celle.

Per un gruppo da 600 W è impiegata una serie di 24 di questi elementi. Il gruppo più grande da 1200 W utilizza due gruppi da 600 W, interconnessi in serie per ottenere una uscita a 48 V o in parallelo per ottenere una uscita a 24 V.

Il gruppo di celle è montato sopra un serbatoio di elettrolito ed è racchiuso in una camera stagna attraverso la quale viene soffiata l'aria per fornire l'ossigeno per la reazione.

Esternamente alla camera stagna si trovano una pompa per la circolazione dell'elettrolito attraverso le celle, una soffiante di aria e uno scambiatore di calore con ventilatore di raffreddamento per asportare il calore prodotto durante la reazione. L'aria, dopo aver attraversato la camera, è convogliata verso il basso nel serbatoio dell'elettrolito, dove passa lambendo la superficie e fuoriesce attraverso un filtro che contiene un assorbente caustico. Il funzionamento della pompa, del ventilatore e della soffiante dell'aria è direttamente controllato da una unità di monitoraggio.

Dopo una scarica completa la pila alluminio-aria è ricaricata per via meccanica sostituendo gli anodi; dopo due scariche complete è necessario sostituire completamente anche l'elettrolito.



Figura 2 Pila alluminio-aria.

Conclusioni

La sperimentazione eseguita ha permesso di mettere a punto un prodotto d'avanguardia che risponde completamente alle esigenze di Ginostra e che potrà essere utilizzato in altre condizioni impiantistiche con un funzionamento analogo.



Maurizio Grossoni dopo la laurea in Ingegneria Elettrotecnica presso l'Università di Roma, consegue un Master in Telecomunicazioni. Nel 1975 entra a far parte del settore Energia della Direzione Generale di Telecom Italia, con la responsabilità dei nuovi sviluppi dei Sistemi di Alimentazione per Telecomunicazioni. Dopo un periodo di tre anni, durante il quale opera presso il settore Pianificazione e Progettazione della rete, nel 1992 diviene responsabile per i Sistemi di Alimentazione presso la Direzione

Generale di Telecom Italia. Le sue attività internazionali, cominciate nel 1979 con la partecipazione ai lavori dell'INTELEC, lo hanno, nel 1980, visto vice relatore nazionale per il GAS 4 del CCITT, con compiti di coordinamento dei gruppi di lavoro sugli accumulatori e sui sistemi ibridi; vice presidente, nel 1989, del comitato organizzativo dell'INTELEC, nonché presidente del Sotto-Comitato Tecnico EE2 dell'ETSI. E' nominato presidente del Comitato Tecnico EE dell'ETSI nel 1994. Partecipa inoltre a numerosi Comitati in ambito IEC.

"Le opportunità emergenti nel mondo delle tlc all'alba del nuovo millennio"

XXXVI Giornate Europee delle Telecomunicazioni

FITCE 1997

Carla Montanari

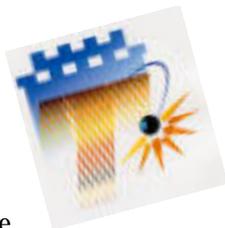
Riflessioni generali

La cultura e la tradizione greca e le nuove soluzioni tecnologiche che saranno realizzate nelle reti di telecomunicazione del nuovo millennio hanno trovato un punto di incontro nelle XXXVI Giornate Europee delle Telecomunicazioni che si sono svolte a Salonicco, capitale della Macedonia e capitale culturale europea per il 1997, dal 22 al 27 settembre nel palazzo dei congressi Helexpo.

La costante evoluzione tecnologica nella diffusione delle informazioni e nel campo delle telecomunicazioni sta provocando una nuova rivoluzione industriale a livello mondiale con risultati ed implicazioni senza precedenti.

Questa rivoluzione apre nuove prospettive all'intelligenza umana e altera profondamente le modalità di cooperazione e di interazione in tutti i settori del mondo del lavoro: il progresso tecnologico permette infatti ad ogni persona di elaborare, modificare, confrontare e trasmettere qualsiasi tipo di informazione, verbale, scritta o visiva, quasi indipendentemente dalle distanze, dal tempo e dalla quantità.

Le reti di telecomunicazioni e le relative infrastrutture esistenti, ma soprattutto quelle che saranno realizzate nell'immediato futuro, unite all'evoluzione della tecnologia numerica, costi-



La sala durante la cerimonia di apertura del congresso.



tuiscono le fondamenta per una circolazione delle informazioni, caratterizzata da una rapidità inimmaginabile solo qualche anno fa.

Durante il convegno sono state affrontate tematiche riguardanti la storica divisione tra telefonia, dati e immagini che ha causato nel tempo la separazione tra le reti e tra i gestori: oggi il mercato impone di superare questa suddivisione artificiale dei servizi di telecomunicazione per avviarsi a realizzare un'unica rete multi-servizi che soddisfi le nuove e sempre crescenti esigenze dei clienti.

Infatti, l'ambizioso programma di disegnare un quadro della complessa realtà che il mondo delle telecomunicazioni presenta all'alba del prossimo millennio, ha trovato la sua attuazione nell'insieme dei contributi presentati al congresso. Essi hanno confermato il buon livello qualitativo che ha caratterizzato la manifestazione negli anni scorsi. La maggior parte dei temi sui quali si concentrano l'attività e l'attenzione di quanti si occupano di comunicazione e di informazione è stata illustrata nelle trentasei memorie presentate e discusse nel corso di dodici sessioni.

Accanto agli argomenti di carattere tecnico, che costituiscono la tradizione di questa manifestazione, hanno suscitato interesse le problematiche relative sia agli aspetti di mercato e di regolamentazione sia alle prospettive che si aprono per le piccole e medie imprese, in uno scenario caratterizzato da un'evoluzione così profonda e veloce quale

quella cui stiamo assistendo. Di particolare rilievo sono state le relazioni riguardanti iniziative e sperimentazioni eseguite o in atto, come la costituzione di reti locali per la fornitura di servizi tradizionali e a larga banda (Helsinki Arena 2000) o la

realizzazione di servizi avanzati (DECT). Va anche segnalata la buona partecipazione di giovani, un aspetto sicuramente positivo e di buon auspicio per il futuro della manifestazione.

Conferenze

Sembra opportuno infine segnalare che al congresso hanno partecipato, in numero sempre crescente rispetto alle edizioni passate, 324 delegati provenienti da diciannove Paesi (vedere box).

Dopo la cerimonia di apertura è stata tenuta una tavola rotonda su "The telecommunications "players" strategies at the dawn of the new millennium" che ha avuto come moderatore S. Konidaris, responsabile del programma di azione della Comunità Europea di D/J13, e come partecipanti i rappresentanti di alto livello di EURESCOM e dell'ETNO, oltre a D. Papoulias, amministratore delegato dell'OTE, e George Skarpelis, direttore generale OTE.

Paese	Partecipanti
Albania	1
Austria	3
Belgio	26
Bulgaria	1
Finlandia	1
Francia	9
Georgia	1
Germania	41
Gran Bretagna	15
Grecia	158
Irlanda	9
Italia	31
Lussemburgo	1
Olanda	10
Portogallo	5
Repubblica Ceca	4
Romania	2
Spagna	5
Svizzera	1
Totale	324

Che cosa è emerso dalle XXXVI Giornate Europee della FITCE?

Nel corso delle singole sessioni tecniche si è percepita la necessità di riflettere sulla imminente liberalizzazione dei mercati: è ormai noto che la convergenza tra industrie di telecomunicazione, di computer e di intrattenimento è fortemente guidata dalle richieste dei clienti, ma per realizzare nuove piattaforme di rete è necessaria una forte cooperazione tra i gestori per una standardizzazione globale.

Nei cinque giorni in cui si è svolto il convegno sono stati trattati in particolare le seguenti tematiche:

- Opportunità economiche.
- Comunicazioni mobili e personali.
- Risorse umane e servizio universale.
- Reti di accesso a larga banda e reti transeuropee.
- Reti di informazione e telematiche.
- Reti sottomarine regionali in fibra ottica.

È stata dedicata molta attenzione alle principali opportunità e possibilità economiche che possono presentarsi a piccole e medie imprese in un ambiente deregolamentato e le strategie di sviluppo delle telecomunicazioni per rispondere a queste necessità nel nuovo millennio.

Nell'ambito delle sessioni dedicate alle comunicazioni mobili e personali, sono stati descritti i passi per realizzare un sistema di telecomunicazioni mobile universale UMTS (Universal

Mobile Telecommunication System) considerato come una evoluzione possibile di sistemi come il GSM ed il DECT.

Per quanto riguarda le risorse umane e il servizio universale, è stata sottolineata l'importanza di nuovi servizi dedicati alla teledidattica nelle scuole anche alla luce delle esigenze delle persone disabili, spesso dimenticate dalla frenetica evoluzione della tecnologia.

Nelle sessioni dedicate alle reti di accesso a larga banda e reti di transito europee sono state presentate sia le soluzioni tecnologiche sia le scelte architettoniche che i principali gestori realizzeranno nell'immediato futuro, sia gli impatti economici sulle infrastrutture.

Nella sessione riguardante le reti di informazione e telematiche è stata esaminata la possibile integrazione delle

reti intelligenti nella piattaforma di rete multimediale, le architetture ed i servizi per autostrade informatiche cittadine ed i progetti europei esistenti per le applicazioni telematiche. Particolare interesse ha suscitato il progetto di Helsinki Arena 2000, una piattaforma multimediale per celebrare il nuovo millennio e la capitale culturale dell'Europa dell'anno 2000.

Infine, sono state analizzate le reti sottomarine regionali in fibra ottica, con particolare attenzione ai collegamenti tra Grecia, Balcani e le altre reti europee.

L'Italia ha partecipato al congresso con sei memorie: Serena Tamburrini (TIM) ha presentato il processo di pianificazione nelle reti mobili con un ruolo competitivo; Gennaro Alfano (Telecom Italia) ha illustrato la tecnologia DECT e le sperimentazioni italiane in corso; Maurizio Montagna (Alcatel) ha descritto le architetture e i servizi per l'interconnessione di reti di telecomunicazione cittadine; Stefano Teodori (RAI) ha presentato lo sviluppo delle tecniche numeriche nelle reti diffuse; Pierluigi Di Martino

(Sirti) ha mostrato le nuove architetture di rete d'accesso a larga banda; infine, Giovanni Fruscio (Coritel) ha illustrato una possibile architettura per i protocolli necessari per l'integrazione della mobilità nella IBCN (Integrated Broadband Communication Network). Queste presentazioni sono sembrate in genere



George Skarpelis, direttore generale della OTE, nel corso della tavola rotonda iniziale.

Conferenze

di interesse anche a giudicare dalle numerose domande poste sia al termine di ciascuna esposizione sia, successivamente, durante gli intervalli tra le sessioni del congresso.

In accordo con la consuetudine della FITCE, al termine del congresso il Comitato Direttivo ha premiato i contributi più interessanti: il premio per la migliore memoria è stato assegnato a Keith Morgan (BT), che nel suo intervento *"Education services for schools in the new millenium"* ha illustrato i possibili servizi di carattere educativo per le scuole nel nuovo millennio; è stata anche premiata Patricia Vargas Simon (Telefonica de Espana) per la migliore memoria presentata da un giovane ingegnere partecipante al Congresso: nel suo contributo, dal titolo *"L'inserimento delle fibre ottiche nei sistemi sottomarini ed il loro ruolo nelle reti di telecomunicazioni"*, ha presentato i diversi aspetti da tenere presenti nella progettazione e nella realizzazione di un sistema sottomarino in fibra ottica e il ruolo svolto da questi portanti nelle reti di telecomunicazione.

La discussione finale (Closing Panel) ha permesso di focalizzare alcune questioni di grande interesse per i Gestori delle reti di telecomunicazioni quali: l'importanza delle alleanze tra i diversi fornitori di servizi, di contenuti e di reti, conseguente alla novità costituita dalla presenza di più attori sul mercato delle telecomunicazioni, il continuo evolvere della tecnologia e di conseguenza la necessità di personale sempre più qualificato necessario per poter gestire sistemi non più stabili come un tempo, ed infine il vantaggio competitivo derivante dall'uso dell'informatizzazione e della telematica nelle strutture e nei processi aziendali e quindi la possibilità, per ogni gestore, di essere il primo cliente della propria piattaforma di rete.

Prossime Giornate Europee della FITCE

È stato comunicato che la prossima riunione della FITCE si svolgerà a Londra dal 24 al 28 agosto 1998 e tratterà il seguente tema: "I ruoli divergenti in un mercato delle telecomunicazioni convergente".

Conclusioni

A commento delle Giornate può essere osservato che continuano ad essere presentate in questa sede memorie con un buon contenuto tecnico ed efficaci; è così confermato il salto di qualità compiuto negli ultimi anni da questa manifestazione, pur essendo essa un congresso non specialistico. Inoltre, le presentazioni in genere sono molto curate e la qualità dei trasparenti o, comunque, dei supporti grafici impiegati come ausilio all'esposizione, sono di anno in anno migliorati sensibilmente e contribuiscono a rendere più chiare e più interessanti le singole presentazioni. Per quanto riguarda invece le tematiche trattate, come è già stato sottolineato in precedenza, si è avuta la conferma che i gestori sentono primariamente la necessità di stringere alleanze internazionali per conquistare una salda posizione nel mercato competitivo e per soddisfare un numero sempre crescente di clienti.

Una lacuna accusata riguarda l'ampiezza del tema generale svolto per queste Giornate, che faceva passare da una sessione all'altra ad argomenti molto diversi (dai cavi sottomarini, alla rete di accesso, alla teledidattica).

Forse in futuro sarebbe opportuno scegliere alcuni argomenti da trattare ciclicamente a distanza di alcuni anni nelle diverse edizioni del Congresso: in questo modo, si darebbe l'opportunità agli ingegneri della FITCE di aggiornarsi di anno in anno sugli sviluppi delle telecomunicazioni.

L'assemblea della FITCE ha nominato Presidente Mr. Guntran Kraus di Deutsche

Telekom in sostituzione di Gomes De Azevedo di Telecom Portugal, dimissionario, ed ha approvato il rapporto finale sul "futuro della FITCE" che stabilisce le nuove linee che la federazione potrebbe seguire per rispondere in modo migliore alle attese degli associati. Va segnalata da ultimo la perfetta organizzazione delle Giornate Europee da parte dell'Associazione greca della FITCE per cui, a parere dei partecipanti abituali a questa

manifestazione, il congresso è risultato essere uno dei migliori tenuti nell'ultimo decennio.



Gennaro Alfano presenta la tecnologia e la sperimentazione del DECT di Telecom Italia. Sotto, l'intervento di Hans Stephan Maruszczak, vicepresidente della FITCE, che ha sostituito il presidente Antonio Gomes De Azevedo.



Ing. Carla Montanari - Telecom Italia DG - Roma

Evoluzione globale della rete: convergenza o collisione?

International Switching Symposium - ISS'97

Enzo Garetti, Riccardo Melen, Romolo Pietroiusti

1. Organizzazione e riorientamento della conferenza

"What happens when you put the telecommunications industry's brightest luminaries on the same stage at the same time and ask them to talk about where the technology revolution is leading us?"

Questa è la domanda (ripresa dal giornale ISS'97) che, magari con un po' di enfasi, sottolinea quanto successo nel corso della sedicesima edizione del Congresso tenuto a Toronto dal 21 al 27 settembre 1997 e che ha visto la partecipazione di oltre 1600 tecnici provenienti da 56 Paesi.

L'edizione 1997 ha segnato un momento di significativo riposizionamento di questa conferenza, che si conferma come una delle più importanti nel settore delle telecomunicazioni e come luogo privilegiato per uno scambio di vedute sulle prospettive evolutive di questo settore. Da questa edizione il congresso è stato denominato "World Telecommunications Congress" in modo da rifletterne un ampliamento dell'ambito di interesse, che attualmente comprende, oltre alle tematiche tradizionali più strettamente tecniche della commutazione, delle architetture di rete e dei connessi servizi, anche aspetti più generali del mondo delle telecomunicazioni.

Il riposizionamento della conferenza tende a rispondere all'esigenza di una maggiore aderenza all'attuale contesto caratterizzato da profondi cambiamenti indotti dalla competizione, dalla formazione di nuove catene di valori e dai processi di convergenza fra telecomunicazioni, informatica, televisione ed elettronica di consumo.

L'ISS ha quindi esteso l'interesse ad aree scarsamente rappresentate in passato, quali ad esempio Internet, reti d'impresa, CATV,

Information Technology, e ha posto altresì attenzione anche agli impatti sulla società e sui processi di globalizzazione dei mercati.

Allo stesso tempo, l'ISS ha puntato a mantenere il primato come forum di discussione sulla ricerca più avanzata e di più stretta attualità; a questo scopo sono stati ridotti in maniera drastica i tempi fra l'invio delle bozze delle memorie (sottoposte all'approvazione del Comitato Scientifico Internazionale) e la loro presentazione alla conferenza, in modo da salvaguardarne il più alto livello di aggiornamento.

Per ospitare nella maniera migliore le varie tipologie di contributi rilevanti per l'ISS (quali quelli tecnici, strategici, relativi al mercato) è stata scelta una organizzazione articolata in tre tipologie di sessioni, e cioè: ad invito, di presentazione e interattive.

Le sessioni ad invito hanno costituito una novità dell'ISS'97 e sono state concepite come forum di discussione ad alto livello su alcuni dei temi di rilevante attualità nel mondo delle telecomunicazioni. I relatori che hanno partecipato a queste sessioni sono stati, volta a volta, i più grandi esperti delle tematiche trattate con interventi coordinati da personaggi di spicco o giornalisti esperti del settore. Il target di audience per queste sessioni è stato orientato soprattutto verso i manager di alto livello che hanno partecipato alla conferenza. I temi trattati nelle sessioni ad invito sono stati: L'impatto sulla società e sugli stili di vita, Le autostrade dell'informazione, La morte della distanza, La distribuzione dell'intelligenza, Il futuro del networking d'impresa, La voce su IP e ATM, La visione dell'evoluzione delle reti del Gruppo di Studio XIII dell'ITU. Anche le sessioni di apertura e di chiusura sono state riorganizzate come forum di discussione interattiva sul tema di base del congresso "Evoluzione globale della rete: Convergenza o Collisione?". Infatti, nella sessione di apertura è stato superato il vecchio schema con l'oratore che parla e con l'uditorio che ascolta ma è stato richiesto a circa mille dei presenti di esprimere una propria opinione su diverse questioni presentate da relatori che partecipavano alla tavola rotonda di apertura: e così ad esempio la maggior parte dei presenti ha risposto affermativamente al quesito: "Qualcuno riuscirà ad avere degli utili con Internet?" Questa modalità interattiva di condurre i Congressi sfrutta le possibilità offerte dalla tecnologia e permette di impiegare nuove forme di comunicazione.

Le sessioni di presentazione sono state orga-



Conferenze

nizzate in modo tradizionale, con presentazioni di quattro memorie per ciascuna sessione seguite da domande formulate per iscritto dall'uditorio. Le sessioni di presentazione sono state sedici e hanno trattato una vasta gamma di argomenti: Indirizzi e strategie, Rete intelligente, Internet, Mobilità, Reti di accesso, Servizi, ATM, Multimedialità, Convergenza IP e ATM, Architetture di rete a larga banda, Ingegneria del software, Gestione della rete.

Le sessioni interattive sono state organizzate per rispondere alla necessità di una migliore strutturazione e di una maggiore partecipazione attiva alle sessioni di tipo "poster", già realizzate nelle precedenti edizioni dell'ISS. In quelle edizioni si riscontrava infatti una notevole eterogeneità nelle modalità di presentazione (dalla sola affissione dei poster a presentazioni vere e proprie con lucidi), e una mancanza di sincronismo fra le presentazioni, effettuate in salette separate, che rendeva molto difficile alle persone interessate passare dalla presentazione di una memoria all'altra. A Toronto è stata prevista per queste sessioni una presentazione molto più estesa delle singole memorie con ampia possibilità di interazione con il pubblico (30 minuti di presentazione più 15 di discussione). Le sessioni interattive sono state quattro; ciascuna articolata con le presentazioni di un totale di venti memorie in parallelo, ripetute ciascuna per quattro volte nel corso di una mezza giornata. I temi trattati in queste sessioni sono stati: Reti, Architetture dei sistemi, Tecnologie e ingegnerizzazione dei sistemi, Applicazioni e servizi.

Come di consueto all'ISS, mercoledì 24 settembre è stata organizzata una serie di visite tecniche presso gestori, società manifatturiere e centri di ricerca sulle realizzazioni o sperimentazioni connesse ai temi trattati nel congresso.

Un'altra innovazione di rilievo introdotta in questa occasione riguarda la disponibilità degli atti dell'ISS'97: essi sono stati distribuiti su CD-ROM, e solo su richiesta e a pagamento sono stati forniti in forma cartacea, con l'obiettivo tendenziale quindi di tenere un congresso del tipo "paperless".

2. L'ISS e il nuovo contesto delle telecomunicazioni

Come si è osservato in precedenza, il comitato organizzatore dell'ISS ha compiuto un notevole

sforzo di riorientamento e di riorganizzazione della conferenza nell'ottica di inserirvi contenuti e caratteristiche che riflettessero adeguatamente i mutamenti in atto nel contesto complessivo del mondo delle telecomunicazioni.

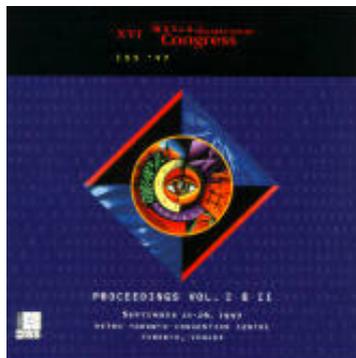
Un tempo il valore principale dell'ISS consisteva nelle informazioni di natura tecnica che vi si potevano raccogliere. Queste informazioni provenivano dai costruttori, che presentavano (e pubblicizzavano) i propri sistemi di commu-

tazione, e dai gestori che discutevano le proprie strategie evolutive di lungo termine. Questo approccio era coerente con un contesto caratterizzato dal monopolio delle telecomunicazioni pubbliche, e da un ambito industriale in cui il fattore competitivo dominante era la capacità tecnologica ben più che l'ottimizzazione dei processi o l'orientamento al cliente. Questo scenario era condizionato anche dal fatto che in passato, a differenza di oggi, le occasioni di cooperazione e di confronto fra gestori erano molto più limitate, e la diffu-

sione delle informazioni tecniche era assai più lenta; di conseguenza il congresso diventava un momento chiave di verifica e di confronto dei propri orientamenti rispetto a quelli del resto del mondo delle telecomunicazioni.

Negli ultimi anni lo scenario di riferimento è cambiato radicalmente e le conseguenze sull'ISS sono state evidenti, specialmente a partire dalla scorsa edizione (ISS'95 a Berlino). I processi di liberalizzazione e globalizzazione dei mercati hanno portato i gestori ad una certa prudenza nella comunicazione delle proprie posizioni, ed a questo si aggiunge la oggettiva difficoltà di formulare strategie di medio-lungo termine. Una conferma in tal senso può essere vista nel contributo di memorie marginale dato dai gestori che operano negli ambiti di competizione e di globalizzazione più spinti, come ad esempio il BT, le BOC Americane e l'AT&T. Bisogna pure notare che alcuni centri di ricerca che partecipavano in passato molto attivamente al congresso, hanno vissuto in tempi recenti una fase di riorganizzazione interna che ha indirettamente causato una diminuzione del numero di contributi presentati: è il caso ad esempio di Bellcore e del CNET.

Per quel che riguarda le manifatturiere, queste sono spinte dalla competizione ad adottare strategie di prodotto orientate al breve termine che non favoriscono certamente un impegno di



Gli atti dell'ISS'97 sono stati distribuiti su CD-ROM: uno sforzo per passare a un congresso "paperless".

Conferenze

ricerca per uno sviluppo tecnologico avanzato; in generale quindi è molto difficile ricavare indicazioni strategiche provenienti dalle soluzioni proposte da costruttori sostanzialmente orientati alla soddisfazione a breve termine delle richieste dei clienti.

Un altro aspetto da sottolineare è che l'ISS è sempre stato un congresso orientato al mondo delle reti pubbliche, e ad esso hanno in genere partecipato i grandi gestori e i costruttori legati a questo mondo. La rilevanza del mercato delle reti private, particolarmente per quel che riguarda la comunicazione dati, è oggi assolutamente primaria, e i costruttori orientati a questo mercato cominciano a svolgere un ruolo di sempre maggior rilievo anche nel mercato delle reti pubbliche. Si sono avuti numerosi articoli presentati dai costruttori tradizionali come Lucent, Alcatel, Siemens, Ericsson e Nortel, ma nessuno da Cisco, Newbridge, Bay Networks, 3COM o Cabletron (e questo è particolarmente sorprendente in un congresso che, quando ha menzionato la commutazione, ha parlato quasi esclusivamente di ATM!). Rimane

quindi una specie di barriera culturale fra i due mondi, che tra l'altro non riguarda tanto l'ISS, quanto il concetto stesso di congresso: molto semplicemente, le aziende manifatturiere del secondo gruppo in genere annunciano i propri prodotti attraverso comunicati stampa, li mostrano a fiere internazionali come Interop e ne diffondono le caratteristiche tecniche attraverso i propri siti Web, ma sono restii a partecipare a congressi di carattere scientifico (caratterizzati da un processo di revisione dei contributi) in quanto non corrispondenti ad esigenze di marketing immediato dei prodotti da essi messi a punto.

Anche l'ISS'97 è stato quindi di fatto dominato dal primo gruppo di manifatturiere, seppure con un approccio molto centrato su aspetti di tipo tecnico-scientifico e molto più attenuato nella valenza di vetrina pubblicitaria per i rispettivi prodotti. È da segnalare poi che anche l'edizione '97 (come già quella del 1995 a Berlino) ha mostrato un tasso di innovazione tecnologica piuttosto limitato, e che anche dal punto di vista sistemistico si direbbe che i

costruttori tradizionali di TLC si muovano con prudenza in uno scenario reso più complesso dall'ingresso nel mercato TLC di nuovi costruttori di tipo informatico e dalla crescente convergenza tecnologica, sistemistica e di business fra Telecomunicazioni e Informatica. Si è notata anche una attenuazione dei collegamenti privilegiati che fino a poco tempo fa legavano di fatto alcuni grossi gestori e le rispettive manifatturiere di riferimento, da un lato a causa della crescente globalizzazione e internazionalizzazione (sia da parte di gestori sia da parte delle manifatturiere) e dall'altro a causa delle crescenti difficoltà di previsione nel lungo termine del mercato dei servizi e di conseguenza dei requisiti riguardanti gli apparati. È apparsa comunque chiara, anche nel corso dell'ISS'97,

la validità di specifici accordi di "partnering" fra gestori e costruttori, oltre alla validità in generale di collaborazioni nell'ambito della ricerca fra i diversi attori del settore.

Dal punto di vista della liberalizzazione, appare chiaro che ormai nessuno dei gestori tradizionali vede più la competizione come una minaccia

(anche se ancora pochi di essi hanno già maturato una significativa esperienza in ambienti competitivi) e che tutti stanno operando sia dal punto di vista tecnico sia dal punto di vista strategico per cercare di ottenere il migliore posizionamento in questo nuovo contesto. A questo proposito, come è già stato accennato, occorre rilevare che anche nell'ISS'97 è mancata quasi completamente la partecipazione di gestori emergenti nelle Telecomunicazioni, sia come "secondi gestori", sia soprattutto come "gestori di tipo alternativo", come ad esempio *ISP (Internet Service Provider)*, gestori di impianti CATV, gestori di reti satellitari.

I fenomeni sopra menzionati erano già emersi a Berlino, e il comitato organizzatore ha tentato di portare all'interno dell'ISS aziende ed esponenti, contigui al settore delle telecomunicazioni (quali, ad esempio quelli legati alle tecnologie dell'informazione o al networking) che potessero presentare i propri punti di vista, ed esponenti del mondo delle telecomunicazioni che potessero fornire indicazioni strategi-



Veduta della città di Toronto dove si è tenuto il congresso.

che, sulle tematiche oggi di maggiore interesse. A tale scopo sono state organizzate le sessioni ad invito. Nel corso della conferenza alcune di queste sessioni sono state effettivamente di notevole interesse ed hanno centrato gli obiettivi, mentre altre sono rimaste decisamente al di sotto delle aspettative.

In conclusione l'ISS rimane, anche nel nuovo contesto, un evento di notevole importanza, ma, a differenza di un tempo, le indicazioni che esso fornisce non sono immediatamente evidenti e, per essere pienamente valorizzate devono essere integrate in una analisi più ampia dei molteplici altri elementi che caratterizzano la situazione presente del mondo delle telecomunicazioni.

3. Le linee di tendenza emerse

3.1 I differenti paradigmi di rete

Il confronto di prospettive di sviluppo fra le reti a circuito e le reti a pacchetto, e all'interno di queste fra reti senza connessione (connectionless) e reti orientate alla connessione, è stato uno dei temi maggiormente dibattuti nella conferenza. Esso sottende naturalmente la contrapposizione fra Internet, con la pila dei protocolli IP particolarmente adatti alla trasmissione dati, e le reti di telecomunicazioni, basate sulla commutazione a circuito (fisico o virtuale) e quindi ottimizzate per servizi con requisiti di trasporto in tempo reale (tipicamente il segnale fonico).

A tale riguardo è emersa chiaramente nell'ISS'97 la previsione di una futura dominanza della comunicazione dati e, per estensione, della multimedialità, rispetto alla comunicazione telefonica. Il dato statistico su cui si basa questa osservazione è la crescita nel volume di traffico generato dai dati, che nel giro di pochi anni sopravvanzerà il traffico telefonico: Vinton Cerf (MCI), uno dei promotori originari dei protocolli Internet, nel suo intervento alla sessione di apertura ha posto il punto di incrocio, per quel che riguarda la rete del gestore americano MCI, a metà del 2001; la stessa previsione è stata sottolineata in altre presentazioni (ad esempio Anders Rockstrom [1]), facendo riferimento ad un analogo quadro temporale.

Questa previsione prospetta per il futuro la convenienza a progettare una rete ottimizzata per i dati in grado di trasportare anche il segnale fonico. La tendenza al consolidamento delle infrastrutture di rete sulla base di una

tecnica a pacchetto pone evidentemente la questione del ruolo che ATM ed IP dovranno giocare in questa architettura.

Un primo elemento emerso con chiarezza è che tutte le volte che si fa riferimento ai dati si parla del protocollo IP, e viene dato per scontato che questo sarà l'unico protocollo di rete (o meglio di "livello 3") che sopravviverà nel giro di pochi anni. Invece, per quel che riguarda la fonia e i servizi video e multimediali non si ha la stessa uniformità di opinione, anche se spesso per il video si considera il trasporto di MPEG direttamente su ATM, e la maggioranza dei contributi sulla voce a pacchetto considerano un supporto ATM.

Sul tema del confronto fra IP ed ATM sono da tempo presenti due differenti orientamenti: il primo completamente basato sull'approccio di Internet e che tende a risolvere i problemi dell'integrazione di tutte le tipologie di servizio confidando sulla evoluzione del protocollo IP; l'altro basato invece sull'uso di reti orientate alla connessione, e in particolare di tipo ATM, per le esigenze dei servizi che richiedono garanzie sulla qualità delle prestazioni. I due approcci, che manifestano una perdurante differenza nel modo in cui vengono affrontati i problemi quali quelli legati all'architettura delle reti e al supporto alla Qualità di Servizio, sono stati oggetto di dibattiti anche vivaci:

- da parte del mondo Internet si tende a considerare il paradigma e i protocolli IP come la soluzione unica a tutti i problemi, appoggiandosi unicamente a "puri" collegamenti trasmissivi per interconnettere i router Internet: questo approccio punta a concentrare un ricco insieme di funzionalità nei router (non solo instradamento, ma anche funzioni di sicurezza e di gestione degli utenti, compressione dei dati e così via) e a spostare l'intelligenza di rete in terminali e server, relegando le reti di telecomunicazioni a un puro supporto trasmissivo. La tecnica ATM è considerata come una possibilità tecnologica per incrementare le prestazioni e rendere più flessibile l'interconnessione dei router (soprattutto con lo sviluppo di prodotti misti switch/router);
- da parte degli attori tradizionali di tipo Telecom (e questa è stata la posizione prevalente riscontrata all'ISS) viene espressa una netta preferenza per la tecnica ATM come base per lo sviluppo di infrastrutture potenti e flessibili per il supporto di una ampia gamma di servizi ed applicazioni, compreso il trasporto del traffico Internet.

La prospettiva di una rete integrata basata su ATM per applicazioni voce, video e dati è stata anche oggetto di valutazioni tecnico-economiche come quella effettuata da Nortel e BellSouth [2] che sostiene la convenienza economica di questa rete nella situazione di traffico prevista per l'anno 2000. Conclusioni di questo genere devono essere temperate da molteplici considerazioni sulla reale possibilità di risolvere per quella data tutti i problemi tecnici aperti, sulla necessità di ammortizzare gli investimenti già fatti sulle reti attuali, sui costi di esercizio indotti da un massiccio ricambio tecnologico; ma evidentemente pongono l'enfasi sulla opportunità di una valutazione attenta sulle scelte per gli investimenti futuri nella infrastruttura di rete.

La tendenza evolutiva verso un trattamento a pacchetto dei servizi è stata messa in evidenza anche dall'interesse mostrato per la voce a pacchetto, che si può indicare come una delle tematiche più in evidenza al congresso, con almeno una dozzina di articoli. Tra l'altro i contributi riguardanti questi aspetti, cioè voce su IP e/o voce su ATM, non sono stati focalizzati solo sulle tecniche di codifica, ma hanno trattato pure gli aspetti architetturali e sistemistici, indice anche questo di una situazione di maturità tecnologica. Fra gli altri sono state interessanti diverse presentazioni quali la sintesi delle problematiche su questi temi fatta nell'articolo di Derek Underwood (Siemens - Stromberg Carlsson) [3] e gli articoli presentati da Josef Singer (Siemens) [4] e Jan Holler (Ericsson) [5] dedicati alla gestione delle chiamate in situazioni di interlavoro e la proposta di gateway per la fonia verso Internet di Lucent [6].

3.2 L'impatto di Internet

Alla rete Internet è stata intenzionalmente data una rilevanza primaria al congresso, permeando lo stesso tema di fondo della conferenza *"Evoluzione globale della rete: Convergenza o Collisione?"*.

Nella sessione di apertura della conferenza sono state evidenziate alcune delle più importanti diversità fra il mondo Internet e quello delle tradizionali reti di telecomunicazioni, pur nella consapevolezza generale che entrambe usano lo stesso mix di infrastrutture (cavi, centrali, satelliti) e che entrambe continueranno ad avere una rilevanza fondamentale nella costruzione delle società dell'Informazione. I due paradigmi comprendono diversi regimi regolatori, diversi modelli commerciali, diverse modalità di tariffa-

zione, diverse architetture di rete e così via. Si è in presenza quindi di una grande difficoltà nel tentativo di riconciliare concezioni così distanti, considerati anche gli interessi industriali sottesi e la diversità degli attori coinvolti. Per rappresentare la complessità nell'identificazione delle prospettive evolutive e di convergenza dei due mondi, si può fare riferimento ad una frase di Vinton Cerf (MCI), che ha detto nel corso del dibattito nella sessione di apertura: *"If you are not confused by what's going on these days, you don't know what's going on"*.

Per quanto riguarda gli aspetti tecnici, i contributi su Internet hanno riguardato quasi esclusivamente due tematiche: il trattamento del traffico di utenti collegati attraverso modem telefonici e il supporto efficiente del protocollo IP, con una netta prevalenza di contributi per il trasporto di IP su ATM. Come si nota si tratta di problemi legati al servizio di trasporto dell'informazione su rete geografica; mentre sono stati del tutto trascurati aspetti come le applicazioni, la sicurezza delle reti, l'architettura e le prestazioni dei router, le reti locali e corporate. Rimane la sensazione che per diverse caratteristiche il fenomeno Internet sia vissuto ancora come esterno alle reti di telecomunicazioni di cui bisogna gestire l'impatto sulla rete, piuttosto che tentare di governarne gli sviluppi e mutuarne gli approcci architetturali e di servizio. Questo atteggiamento si sta però progressivamente modificando; basti pensare alla strategia, particolarmente centrata su Internet, di un'azienda come WorldCom che si è recentemente proposta all'attenzione del mondo delle telecomunicazioni, o della stessa MCI.

Per quel che riguarda il trattamento del traffico generato da modem, la maggior parte delle soluzioni proposte si basa sull'identificare le chiamate come "Internet" nell'ottica di separarne il traffico in modo da decongestionare le giunzioni telefoniche urbane con funzioni di commutazione di pacchetto posizionate il più vicino possibile all'utente. Fra le proposte che ricadono in questa categoria sono da ricordare quelle presentate da Hans-Ulrich Schoen (Siemens) [7], che prevede una stretta integrazione delle funzioni di gestione del protocollo IP nell'architettura di centrale, e quella descritta da Sian Morgan (Nortel) [8]. Nel corso di quest'ultima presentazione è stata menzionata l'esperienza in campo di Southwestern Bell, che ha realizzato questa soluzione in tredici città.

Sembra infine opportuno sottolineare un altro aspetto emerso nel rapporto fra telefonia ed

Conferenze

Internet: Pekka Tarjanne (Segretario Generale ITU) nella sessione di apertura ha ricordato come i gestori di infrastrutture telefoniche finiscano per incassare buona parte del valore del business generato da Internet. Una diapositiva presentava il confronto fra diversi Paesi, che dimostrava che solo nel Messico e negli Stati Uniti meno del 50 per cento del conto totale pagato dagli utenti finisce ai gestori, mentre la percentuale in Paesi come la Gran Bretagna e la Germania sale fino a oltre l'80 per cento. Questa situazione è destinata a cambiare rapidamente sia in seguito alla revisione delle strutture tariffarie che stanno alla base di questo mercato, sia a causa dell'erosione di quote del mercato telefonico tradizionale (a partire dai servizi fac-simile) attuata dagli *ISP (Internet Service Provider)* specialmente sulle grandi direttrici internazionali: tuttavia l'accesso a Internet deve essere visto oggi come una significativa fonte di introiti per i gestori telefonici.

3.3 Morirà la distanza?

Il modello di tariffazione di Internet (flat-rate) indipendente dalla distanza e la sua possibilità di estensione come riferimento complessivo dell'evoluzione delle reti è stato discusso in un'apposita sessione.

L'opinione prevalente al riguardo è che la crescita del traffico e quindi la necessità di investimenti specifici, lo sviluppo di applicazioni Internet a qualità garantita con possibilità di distinzione fra diverse classi di servizio, porteranno anche per Internet l'impiego di una tariffazione articolata.

D'altra parte il ribilanciamento fra i costi delle chiamate di lunga distanza e di quelle internazionali e quelli delle chiamate locali comporteranno progressivamente anche negli Stati Uniti che si provveda ad applicare una tariffa a tempo per le chiamate locali e quindi anche per le chiamate di accesso a Internet. A riguardo molti hanno espresso l'opinione che non è sostenibile avere linee attive per molte ore al giorno senza applicare tariffe adeguate. È stato notato altresì che i costi delle reti emergenti di accesso a larga banda dipendono molto dalla distanza e questa osservazione potrebbe influenzare anche il tipo di tariffazione dei servizi.



Da sinistra, il professor Raymond Steele, Amministratore Delegato della Multiple Access Communications, e il Dr. Pekka Tarjanne, Segretario Generale dell'ITU, nel corso della tavola rotonda della sessione di apertura.

3.4 Evoluzione delle reti

Per quanto riguarda l'evoluzione dell'architettura delle reti pubbliche, la tendenza al riserbo e la oggettiva difficoltà ad impostare strategie di lungo termine, già sottolineate in precedenza, hanno portato ad una sostanziale carenza di contributi.

Il numero assai limitato di interventi ha riguardato soprattutto l'evoluzione della rete telefonica tradizionale, con l'eccezione di alcune aree ad alto valore aggiunto come la comunicazione personale e il radiomobile. Sono mancati contributi sulla commutazione telefonica, su nuove idee di servizi avanzati su rete telefonica, così come non sono state fornite indicazioni sulla risposta da parte dei clienti per

nuovi servizi introdotti di recente. Poca attenzione è stata dedicata altresì alla Rete Intelligente tradizionale: le uniche considerazioni a tal proposito hanno riguardato le relazioni con il percorso evolutivo della tecnologia radiomobile. Nell'ambito delle reti di accesso a larga banda i contributi tecnici alle due sessioni dedicate a questa tematica sono venuti principalmente

da manifatturiere tradizionali (Alcatel, Lucent, Italtel e Nortel), e hanno fornito indicazioni di consolidamento delle alternative tecniche più note, come HFC, xDSL e FTTx. Sono invece mancate indicazioni su progetti estesi di cablatura da parte dei gestori. La sensazione è che, per problemi di rilevanza degli investimenti e di incertezza di mercato, non si abbia un interesse immediato ad uscire dalle fasi di sperimentazione in campo, pur in una situazione di disponibilità tecnologica dei sistemi.

Per le reti di trasporto a larga banda si sono avuti pochi contributi, specialmente rispetto al recente passato, e una assenza pressoché totale di novità. Fa eccezione l'articolo di Thomas Schreiber (Deutsche Telekom) [9], che ha invece presentato piani di medio termine, raccolti ad una visione strategica di ampio respiro. DT ha ora in campo una rete ATM commutata, e prevede di introdurre nodi ATM di nuova generazione a fine anno. Nel Duemila pensa di realizzare la completa interoperabilità con l'ISDN a banda stretta. Per il futuro DT considera la possibilità di mirare ad un'architettura in cui la flessibilità sarebbe fornita esclusi-

Conferenze

vamente dal livello ATM, evitando la presenza di permutatori SDH. Quest'ultima posizione, alquanto insolita, potrebbe avere un peso assai rilevante sulle strategie di investimento riguardanti la futura architettura di rete di DT.

3.5 Architettura e impiego basati su ATM

Le memorie dell'ISS'97 relative alle tecniche e tecnologie di commutazione sono state in grande maggioranza dedicate ad architetture basate su ATM; non sono però emerse proposte innovative di particolare peso, e ciò può essere considerato come indice di una stabilizzazione della commutazione ATM a livello industriale. Anche per l'ISS'97 (come già per l'edizione 1995) ha comunque pesato in maniera notevole, come è già stato sottolineato, l'assenza dei costruttori normalmente operanti nel mercato delle reti locali e geografiche di tipo privato: tale assenza non ha permesso di confrontare direttamente le loro posizioni con quelle dei costruttori tradizionali di apparati per reti pubbliche.

In relazione al trasporto del traffico dati con il protocollo IP è stata rilevata una uniformità di vedute sulla realizzazione di reti geografiche basate sul supporto di IP su ATM (un'ottima rassegna delle soluzioni possibili è stata presentata da Eugenio Guarene di CSELT [10]). Se a ciò si aggiunge che nel campo della mobilità le tendenze evolutive prevedono l'integrazione con la larga banda nell'ambito dei sistemi di terza generazione (vedi ad esempio il contributo di Hiroshi Nakamura della NTT [11]), si può trarre la conclusione che, nel mondo delle reti pubbliche, rappresentato all'ISS, l'ATM sia diventato il comune denominatore nella tecnologia delle reti. Una indicazione immediata del ruolo dominante di questa tecnologia può essere data dal fatto che più di un terzo dei contributi presentati all'ISS'97 hanno la parola ATM nel titolo e probabilmente almeno i tre quarti di essi ne parlano.

Per quel che riguarda l'architettura dei nodi di commutazione non sono stati presentati contributi dedicati alla descrizione specifica di sistemi commerciali; l'attenzione si è invece

focalizzata sugli aspetti tecnici di progetto. In particolare sono stati numerosi gli interventi dedicati alla gestione delle varie categorie di servizio previste in una rete ATM. Devono essere ricordate al riguardo l'articolo di Uwe Briem (Siemens) [12], sui meccanismi di accodamento separati per circuito virtuale, e quello presentato da Luigi Verri (Italtel) [13] sull'introduzione della classe di servizio *ABR* (*Available Bit Rate*). Occorre ancora sottolineare che sono mancati i contributi tecnici sull'ATM da parte proprio di quelle aziende che di fatto dominano il mercato (anche in ambito nazionale).

3.6 La mobilità

Nell'ambito delle tecnologie per la mobilità l'attenzione principale si è concentrata sui servizi e sulla loro portabilità, sia fra reti radiomobili diverse nel caso di roaming, sia fra rete fissa e rete radiomobile. È stato enfatizzato in particolare il problema della convergenza fra l'evoluzione dell'intelligenza nelle reti mobili e la Rete Intelligente fissa.

Sull'integrazione delle reti mobili con quelle a larga banda si è notata una certa cautela e la necessità di operare con gradualità nell'evoluzione delle reti radiomobili esistenti. Un

esempio di strategia al riguardo è il contributo di Hiroshi Nakamura (NTT DoCoMo) [11] molto apprezzato e tecnicamente interessante; lo scenario evolutivo in esso previsto, con ben quattro passi evolutivi, sembra essere tuttavia un po' astratto.

Per quel che riguarda le tecnologie wireless e

la comunicazione personale la quantità dei contributi è stata assai modesta. Fra questi spicca per qualità l'articolo presentato da Pierpaolo Marchese [14] riguardante la sperimentazione italiana sul DECT. Ha stupito, come peraltro già accaduto a Berlino, l'assenza di articoli sul sistema giapponese PHS, anche in considerazione del successo commerciale di questa tecnologia e della sua adozione da parte di un numero crescente di Paesi oltre al Giappone.

Per quanto riguarda la personalizzazione dei servizi, occorre sottolineare l'interesse per la realizzazione di soluzioni che permettano la

Una fase del congresso.



Conferenze

portabilità del numero, e in prospettiva di fornire numeri personali di validità universale combinando la mobilità del terminale con quella personale.

3.7 Evoluzione e distribuzione dell'intelligenza: bitways e middleware?

La distribuzione dell'intelligenza è un tema certamente di interesse in quanto riguarda la ripartizione delle funzioni a più elevato valore aggiunto fra gli elementi (di rete, di utente, del fornitore di servizio) costituenti la catena complessiva necessaria alla soddisfazione delle esigenze degli utenti. Essa può costituire da una parte elemento distintivo in un contesto competitivo sia per la possibilità di offerta di servizi avanzati sia per la riduzione dei costi dei processi di produzione dei servizi stessi; d'altra parte essa può essere un fattore abilitante di processi di liberalizzazione (ad esempio: portabilità dei numeri, interconnessione). Nelle reti di telecomunicazioni, l'intelligenza è stata tradizionalmente concentrata nella rete (in particolare nelle centrali e nei sistemi di gestione) a supporto di terminali senza intelligenza. Nei nuovi paradigmi associati ad Internet e alla tecnologia dell'informazione si configurano invece sistemi terminali molto intelligenti basati su computer che interagiscono e cooperano con sistemi di rete per fornire i servizi all'utente.

Se si considerasse l'ISS '97 come unica sorgente di informazioni circa il futuro del mondo delle telecomunicazioni, il ridotto ruolo riservato al middleware di rete ed alle applicazioni sembrerebbe indicare un orientamento verso il ruolo di semplice fornitore di "bitways" (puro trasporto) per le future autostrade informatiche, il che corrisponderebbe alla scelta di rimanere in un mercato caratterizzato da elevata competizione a limitato valore aggiunto. Tale atteggiamento può essere comprensibile se si considerano le applicazioni, ma non è chiaramente coerente con la possibilità concreta per i gestori di giocare un ruolo come fornitori non solo di servizi avanzati come la mobilità ed i tradizionali servizi di rete intelligente, ma anche di middleware (elaborazione distribuita, sicurezza, servizi di directory, service trading e così via). In questo ambito si presenterà sicuramente una competizione con il mondo IT che prevede di fornire le stesse funzioni fuori della rete (Gary Herman, di HP, nella sessione ad invito sulla distribuzione dell'intelligenza ha definito funzioni come la sicurezza "natural-

mente al di fuori della rete"). Questa competizione riguarda un mercato il cui valore è destinato a crescere nel tempo, a differenza di quello del puro trasporto dell'informazione.

3.8 Il mondo del software e le relazioni con l'Information Technology

Di grande interesse è stata la sessione conclusiva, in cui tre partecipanti provenienti dal mondo della Information Technology hanno offerto dibattendo la possibilità di un confronto di strategie e interessi. I partecipanti in questione erano Michael Cowpland (Corel), che ha dato un preciso quadro dei più recenti criteri di distribuzione degli applicativi basata sul concetto di Network Computer e sull'utilizzo intensivo della banda disponibile sulle Intranets, Neil Knox (Sun) che ha centrato la propria presentazione sulla importanza e la flessibilità di JAVA, visto come paradigma universale di programmazione per qualsiasi oggetto interconnettibile alla rete, e Cameron Myhrvold (Microsoft) la cui presentazione è stata forse la più interessante: per Microsoft le telecomunicazioni rappresentano un settore di primario interesse soprattutto per la possibilità che hanno di aggiungere valore al personal computer. L'azienda è coinvolta in diverse prove in campo basate su ADSL e Cable Modem, e nella sperimentazione di servizi di rete a elevato contenuto gestionale (con BT, MCI, Compuserve ed altri). L'obiettivo finale che questa azienda si pone è quello di assumere un ruolo da protagonista nel software di telecomunicazioni, e in particolare nelle aree dei servizi Internet, dei servizi a valore aggiunto, degli OSS, della segnalazione e controllo, delle comunicazioni a larga banda. Parte integrante di questa strategia è la proposta di Windows NT come sistema operativo di base per i server di rete. Un aspetto sorprendente è la velocità di azione e di reazione di Microsoft: l'azienda ad esempio poco più di un anno fa era fuori dalle tematiche dei "sistemi client leggeri" ma si è inserita rapidamente con l'acquisizione di WebTV, ed ora è già presente sul mercato con un prodotto caratterizzato come Network PC, (200 mila unità vendute e gestite in maniera centralizzata), e ha un sistema operativo per elettronica di consumo (Windows CE, Consumer Electronics). Per quanto riguarda le strutture di controllo delle reti, sono stati presentati alcuni contributi su architetture software di rete basate sui principi *TINA* (*Telecommunication Information Networking*

Conferenze

Architecture), che prevedono la separazione fra lo strato di trasporto della rete (commutazione e trasmissione) e quello di controllo dei servizi e di gestione; questi principi continuano infatti ad essere presi come riferimento per l'evoluzione della intelligenza di rete. In relazione alle tematiche relative alla gestione delle reti, permane la mancanza di analisi dei problemi di interlavoro dei sistemi di gestione nell'ambito di reti aperte; si è iniziato comunque a confrontare l'approccio di tipo *TMN (Telecommunication Management Network)*, tipico del mondo Telecom, con quello di tipo *SNMP (Simple Network Management Protocol)* prevalente nei prodotti di derivazione informatica e nelle reti di tipo "corporate".

3.9 Le tecnologie di base

Gli aspetti di ricerca tecnologica, sono stati trattati solo marginalmente in questa edizione dell'ISS, confermando una tendenza emersa già nelle ultime edizioni. Sono stati presentati in effetti un numero abbastanza alto di articoli relativi alle tecnologie ottiche; ma su nove articoli dedicati a tale argomento ben cinque sono state di provenienza NTT; non si può rilevare quindi un interesse diffuso per l'argomento, tanto più che NTT sembra muoversi in uno scenario di riferimento in cui non è ancora avvenuto il riorientamento delle attività verso il breve termine, che hanno dovuto attuare altri gestori. Le prospettive più concrete prevedono l'impiego della tecnologia ottica per le interconnessioni fra moduli di grandi nodi di commutazione ATM: sono state presentate sia soluzioni ottiche in spazio libero, sia con l'impiego di tecniche *WDM (Wavelength Division Multiplexing)*. Una buona discussione dello stato dell'arte e delle prospettive di impiego dell'ottica nella commutazione è stata fornita da Luigi Licciardi (CSELT) [15].

4. Il contributo italiano

Da parte italiana sono state presentate quattordici memorie di cui otto nelle sessioni di tipo presentazione e sei nelle sessioni interattive mentre rappresentanti dello CSELT e di Italtel sono stati coautori di altre quattro memorie presentate da autori stranieri. Gli autori di riferimento italiani sono stati prevalentemente di



Stefano Pileri di Telecom Italia presiede la sessione sulle "architetture di rete a larga banda".

CSELT e Italtel con presenze anche di Telecom Italia, Alcatel e Politecnico di Torino. Il numero di memorie italiane è stato sensibilmente superiore alla media delle passate edizioni (dieci memorie accettate nel '95 e nove nel '92); questo risultato può essere stato favorito da una minore partecipazione di alcuni

Enti tradizionali (ad esempio Bellcore e CNET), ma dimostra senz'altro la buona qualità dei contributi italiani confermata anche dall'attenzione suscitata dalle stesse nel corso delle relative presentazioni.

In particolare, nell'ambito della sessione "Convergenza di IP e ATM", ha destato molto interesse la memoria CSELT, relativa alle possibilità di integrazione fra IP e ATM, uno degli argomenti più "caldi" dibattuti nel corso dell'ISS'97. Questa memoria [10] è stata scelta come una delle otto memorie "Best of ISS", che saranno pubblicate in una edizione speciale della rivista IEEE

Communications (prevista per gennaio 1998). Oltre agli articoli già citati, vi sono vari altri contributi che meritano di essere menzionati. In particolare:

- nell'ambito della sessione "Servizi per utenza affari" la memoria CSELT-Telecom Italia, relativa alle soluzioni di networking per clienti affari basate sulla rete commerciale ATM [16];
- nell'ambito della sessione "La mobilità e la rete intelligente", la memoria CSELT-Telecom Italia-Italtel relativa alle sperimentazioni di servizi di mobilità locale e di comunicazione personale [14];
- nella sessione "Reti e Servizi" la memoria CSELT-Telecom Italia relativa a nuove architetture di Rete Intelligente orientate al "mastering" dei servizi [17].

Le altre memorie presentate da CSELT hanno riguardato sia argomenti di ricerca di tipo avanzato, sia aspetti di tipo più operativo; esse hanno trattato la commutazione ottica [15], i sistemi di segnalazione per la gestione dinamica della banda ATM su SDH [18], i metodi e strumenti per la verifica di sistemi di commutazione e di reti ATM [19].

Hanno anche suscitato l'interesse degli specialisti del settore le memorie presentate da Alcatel Telecom [20] sul tema della gestione della banda in reti ATM su trasporto SDH, quella presentata dal Politecnico di Torino in collaborazione con CSELT [21] sulle opzioni

architetture di reti telefoniche a commutazione di pacchetto, e quelle dell'Italtel su aspetti realizzativi di strutture di commutazione ATM [13], sulle strutture di accesso di tipo APON (*ATM Passive Optical Network*) [25], sul supporto della mobilità con accessi DECT [22], e sul supporto di servizi e applicazioni di tipo multimediale [23] e [24]; quest'ultima memoria conteneva i risultati del progetto europeo AMUSE condotto in collaborazione con altri partner europei fra cui Telecom Italia.

Il contributo italiano è stato importante anche a livello di presidenza delle sessioni; in particolare Cesare Mossotto (CSELT) ha presieduto la sessione sulla distribuzione dell'intelligenza, Stefano Pileri (Telecom Italia) ha presieduto la sessione sulle architetture di rete a larga banda e Giovanni Colombo (CSELT) ha presieduto la sessione sulla terza generazione delle reti mobili.

5. Conclusioni

L'ISS'97 (ora *World Communication Congress*) ha fatto, rispetto alle edizioni precedenti della conferenza, progressi notevoli nel tentativo di migliorare l'aderenza al contesto attuale delle telecomunicazioni, ampliando il campo di interesse per includere, oltre alla commutazione, alle reti e ai servizi tradizionali di telecomunicazioni, anche molteplici aspetti contigui di grande attualità e rilevanza, come ad esempio Internet, le autostrade dell'informazione, la convergenza delle telecomunicazioni con l'informatica, l'elettronica di consumo e la televisione. Questo ha consentito, tra l'altro, di avere una buona visione delle principali alternative, contrapposizioni e convergenze che pervadono il contesto attuale, come ad esempio Internet verso le reti tradizionali di telecomunicazioni, reti a connessione verso reti senza connessione, ATM verso IP, commutazione ATM verso commutazione TDM, e ancora convergenza fra IP e ATM, convergenza fisso-mobile e così via.

Il congresso ha posto altresì attenzione agli impatti sulla società e sul processo di globalizzazione dei mercati.

Diversi interventi hanno prospettato, già a partire dai prossimi tre o quattro anni, una prevalenza del traffico dati, e in particolare del traffico IP, su quello telefonico.

Nella conferenza è apparso evidente l'effetto della crescente concorrenza in atto nel settore

delle telecomunicazioni, sia per il contributo marginale alla conferenza dato da diversi grandi gestori (ad esempio BT e AT&T) che nel passato sono stati molto più presenti ed attivi, sia per la carenza di esposizioni su scelte, piani e strategie. È mancato anche il contributo dei gestori di reti alternative e dei fornitori di servizio.

I rappresentanti delle ditte manifatturiere tradizionali delle reti pubbliche di telecomunicazione (Alcatel, Ericsson, Italtel, Lucent, NEC, Nortel, Siemens) sono stati presenti e hanno presentato numerosi contributi. Tuttavia essi hanno concentrato gli interventi prevalentemente su tematiche tecnico-scientifiche, senza quindi presentazioni di nuovi prodotti e senza far intravedere impegni verso significative innovazioni tecnologiche.

I costruttori emergenti dai settori della tecnologia dell'informazione, delle reti private e del networking (ad esempio Cisco, Newbridge, 3COM, Bay Network), hanno continuato, come nel passato, a disertare la conferenza pur avendo assunto oggi un ruolo di assoluto rilievo anche nelle reti pubbliche di telecomunicazioni.

Bibliografia

- [1] Rockstrom, A.; Zdebel, B.: *A Network Strategy for Survival*. P-02.1.
- [2] Morrison, S.; Pemberton, J.: *Consolidated ATM Networks Versus Overlay Techniques*. P-12.3.
- [3] Underwood, D.: *Using ATM-Based Tandem Switches to Consolidate Narrowband Trunking*. IS-04.4.
- [4] Singer, J.; Koehn, I.; Schink, H.: *Narrowband Services over ATM Networks: Evaluation of Trunking Methods*. IS-04.3.
- [5] Holler, J.: *Switched Voice Over ATM with Full Value Added Services Support*. P-15.1.
- [6] Houghton, T. et al.: *A Packet Telephony Gateway for Public Network Operators*. IS-04.5.
- [7] Schoen, H. et al.: *Convergence Between Public Switching and the Internet*. P-03.1.
- [8] Morgan, S.; Delaney, M.: *The Internet and the Local Telephone Network: Conflicts and Opportunities*. P-03.2.
- [9] Schreiber, T.: *ATM at Deutsche Telekom - Rollout and Strategic Aspects*. P-12.2.
- [10] Guarene, E.; Fasano, P.; Vercellone, V.: *IP and ATM Integration Perspectives*. P-04.2.

Conferenze

- [11] Nakamura, H.; Nakajima, A.; Tsuboya, H.: *Applying ATM to Mobile Infrastructure Networks*. IS-01.10.
- [12] Briem, U. et al.: *Traffic Control for an ATM Switch with Per VC Queuing: Concept and Implementation*. IS-03.3.
- [13] Verri, L. et al.: *ABR Implementation in a ATM Public Switching Node*. IS-02.7.
- [14] Marchese, P.; Chiarenza, C.; Dionisi, S.: *An Extended Technical Trial of Cordless Communication in Public Environment*. P-05.2.
- [15] Bostica, B.; Gambini, P.; Licciardi, L.: *The Role of Electronics and Photonics in the Architectural Evolution of Switching Systems*. P-15.3.
- [16] Ferrero, F.; Brosco, C.: *Advanced Networking Solutions for Business Customers*. P-06.3.
- [17] Minerva, R.; Grossi, L.; Lo Russo, G.; Rocuzzo, M.: *A New Paradigm for Network Intelligence: From Bundled to Open and Programmable Systems*. I-04.10.
- [18] Girardi, G.; Ercole, D.; Fasano, P.; Rouaud, Y.; Huon, Y.; Gerard, R.: *Dynamic Bandwidth Management by Means of Advanced Signalling Capabilities*. I-01.2.
- [19] Cociglio, M.; Cole, R.: *Discovering the Secrets of ATM Networks*. I-01.7.
- [20] Huterer, M.: *ATM Over SDH: Bandwidth Management*. I-01.3.
- [21] Baldi, M.; Bergamasco, D.; Guarene, E.: *Architectural Choice for Packet Switched Telephone Networks*. I-01.17.
- [22] Gobbi, R.; Ferrari, G.; Grande, S.: *IN Evolution to Support Mobility in DECT Access Networks*. P-10.3.
- [23] Daniele, A.; Del Bo, M.; Montagna, S.; Rossi, F.: *Distributive and Interactive Multimedia Services: An Integrated Approach*. P-13.2.
- [24] Gallassi, S.; Costa, L.; Di Biase, V.; Hessenmuller, H.; Lowdell, D.; Tshanz, M.; Woborschil, W.: *Results of the AMUSE Multimedia Trial*. P-13.4.
- [25] Profumo, A.; Casaschi, P.; Costa, M.; D'Ascoli, L.: *Interoperability Issues in APON - Based Broadband Access Networks*. P-08.3.

Ing. Enzo Garetti - CSELT - Torino; ing. Riccardo Melen - Politecnico - Milano; ing. Romolo Pietroiusti - Telecom Italia DG - Roma

2IN'97

Intelligent Network & Intelligence in networks

La Rete Intelligente: una via preferenziale per una rapida introduzione di nuovi servizi per le reti a larga banda

Fabrizio Pozzi

La conferenza ha inteso mostrare lo stato dell'arte e i nuovi campi di ricerca e di sviluppo dell'intelligenza in rete, indagando in particolare sulla possibilità di impiegare la Rete Intelligente per la fornitura di servizi multimediali e multiutente, tenendo anche in considerazione le mutate esigenze del mercato e la forte riduzione del "time to market" richiesto per i nuovi servizi.

Essa è stata organizzata dall'IFIP (*International Federation for Information Processing*) e sponsorizzata dall'IEEE, ha visto la presenza di ottantasei partecipanti provenienti da oltre quindici Paesi, in rappresentanza del mondo accademico e di quello dell'industria manifatturiera, nonché di alcuni fra i maggiori gestori mondiali di servizi di telecomunicazione tra cui France Telecom, NTT, Telecom Italia. Sono stati presentati due tutorial e ventotto memorie suddivise in undici sessioni tecniche che sono state anche raccolte in un libro edito dalla Chapman & Hall dal titolo "Intelligent Networks & Intelligence in networks".

Sono qui di seguito riportate le principali conclusioni emerse nella conferenza Intelligent Networks & Intelligence in networks (2IN'97) che è stata tenuta a Parigi dal 2 al 5 settembre 1997, presso il Ministero delle Telecomunicazioni.

1. Contenuti della conferenza

La conferenza si è aperta con due tutorial: in essi è stato messo in evidenza come la Rete Intelligente non è più vista come un mezzo per fornire soltanto servizi supplementari ma

Conferenze

come una piattaforma alla quale affidare la definizione e il controllo dei nuovi servizi multimediali.

Le sessioni tecniche sono iniziate con un intervento introduttivo di Patrice Collet della Divisione Rete di France Telecom, che, partendo da un'analisi della situazione sui mercati che si verrà presumibilmente a creare con la liberalizzazione del primo gennaio 1998, ha posto in luce gli aspetti basilari per il mantenimento della leadership del mercato:

- soddisfare le esigenze di qualità e di disponibilità del servizio, richieste dal cliente;
- allargamento e diversificazione della gamma dei servizi offerti.

Il raggiungimento di questi obiettivi può essere perseguito rendendo la rete flessibile e integrando le reti in modo da ottenere un'unica infrastruttura capace di fornire tutti i servizi richiesti.

All'obiettivo di integrazione va affiancata la scelta, non semplice, della migliore tecnica di trasferimento. Le modalità più plausibili sono l'ATM e l'IP o una convivenza di entrambi i sistemi.

Il problema più urgente da affrontare e risolvere riguarda comunque il *potenziamento delle funzionalità di controllo*, e la soluzione che oggi sembra più vicina è quella di rendere la rete di trasporto trasparente ai vari servizi, demandando la gestione globale di questi ultimi a piattaforme software specifiche. Si avrà, così, la presenza di più intelligenze nella stessa rete. In questa ottica saranno determinanti gli sviluppi dell'architettura TINA e il completamento della standardizzazione della Rete Intelligente (CS 2 - CS 3) che presumibilmente avverrà entro la fine di questo decennio.

Dai diversi contributi presentati nel corso delle sessioni tecniche della conferenza è emerso come le ricerche sulla Rete Intelligente investano tutti i campi dell'*information technology*, poiché se l'impiego diffuso dell'elaborazione in rete da un lato aumenta la flessibilità e l'adattabilità della Rete alle specifiche esigenze del cliente, dall'altro esso pone pesanti problemi di gestione dei processi con impatto sull'evoluzione dei protocolli e dei modelli delle entità funzionali di rete.

Nel campo della *definizione di nuovi protocolli*, che facilitino l'interazione con le funzionalità di Rete Intelligente, gran parte della ricerca si va sempre più orientando verso l'architettura

CORBA; diversi contributi della conferenza erano infatti mirati all'analisi delle prestazioni della piattaforma CORBA quando questa è usata al posto della tradizionale segnalazione B-ISDN o INAP, sia per il controllo di connessioni video e voce, sia per l'accesso alle base dati presenti in rete.

La ridefinizione dell'entità funzionale di rete si sta sempre più indirizzando verso *modelli "object-oriented"*, al fine di avere una maggiore duttilità nella predisposizione di nuovi servizi e una efficiente interazione fra funzionalità di controllo e di trasporto. Numerosi interventi hanno proposto nuovi modelli funzionali ed è stato particolarmente apprezzato il contributo di Ericsson Telecom e di Communicator Teleplan che ha mostrato una rappresentazione ad oggetti per il controllo della sessione che utilizzava JAVA e che è capace di gestire servizi multimediali e multiutenti. Questa soluzione permette di non richiedere un nuovo tipo di architettura di Rete Intelligente ma è applicabile a quella oggi standardizzata.

Il *problema del controllo* è stato affrontato mettendo in evidenza come l'architettura fortemente centralizzata della Rete Intelligente, nata per fornire servizi a valore aggiunto, potrebbe rivelarsi inadatta a ospitare una piattaforma di gestione globale dei nuovi servizi.

Per questo motivo una distribuzione del controllo fra i diversi attori coinvolti nella fornitura di

servizi di RI sembra oggi la soluzione più idonea per essere realizzata in tempi rapidi, in attesa che le standardizzazioni della B-ISDN consentano di far migrare alcune funzionalità di gestione delle connessioni di rete dal livello "intelligente" a quello di trasporto. Su questo tema, è stato particolarmente interessante il contributo dell'università di Helsinki relativo al progetto Calypso, che ha come obiettivo lo sviluppo di un'architettura per la gestione del servizio su reti a larga banda basate su ATM. Nella soluzione proposta, il controllo è distribuito fra terminazioni (workstation) dei clienti, server e nodi di rete e l'interazione, invece di essere realizzata tramite il protocollo INAP o B-ISDN, avviene tramite il protocollo TCP/IP. Alle problematiche del *controllo dei servizi* in rete sono interessati anche i gestori che cercano di trovare soluzioni che consentano di aprire le loro piattaforme di Rete Intelligente alla definizione personalizzata dei servizi e, nello stesso tempo, definiscono architetture di rete che per-



Parigi. Palais de Chaillot.

Conferenze

mettano ad essi di presentarsi all'appuntamento della liberalizzazione dei mercati con la possibilità di offrire a nuovi "carriers" una struttura di rete aperta. La soluzione proposta dalla NTT in questo quadro consiste nel permettere ai fornitori di servizi di intervenire sugli SSP della NTT e, attraverso un menu funzionale, di mettere a disposizione servizi avanzati di telecomunicazione controllati dal proprio SCP. Saranno in sostanza realizzate interfacce INAP aperte fra le diverse reti e questi sviluppi permetteranno ai "carriers" minori di fornire servizi di RI senza che essi debbano dotarsi dell'infrastruttura di rete necessaria per il trasporto di questi ultimi. La soluzione consente alla NTT di rispondere alla nuova regolamentazione prescritta dal Governo giapponese, che ha imposto per il prossimo anno la totale interconnessione delle reti di tutti i "carriers" nipponici; ma, allo stesso tempo, questa scelta permette ad essa di mantenere una posizione di predominio strategico del mercato.

La partecipazione italiana si è concretizzata in due interventi: uno nell'area delle nuove applicazioni, l'altro in quella di definizione delle specifiche.

Il primo intervento ha riguardato il progetto Telecom-Università ed ha avuto come autori, oltre allo scrivente, Marco Listanti (docente di Sistemi di Commutazione presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università "La Sapienza" di Roma) e Francesca Cuomo (ricercatore presso la stessa Facoltà di Ingegneria). Questo contributo prendeva in considerazione il servizio di Videoconferenza a Larga Banda e mostrava come il supporto della Rete Intelligente può essere impiegato per aggiungere valore alle funzionalità di trasporto e di commutazione della B-ISDN, e permette lo sviluppo rapido e flessibile di servizi di rete che richiedono funzionalità di controllo non previste dalle standardizzazioni finora realizzate per la B-ISDN; esse infatti, allo stato attuale, consentono di gestire solo chiamate con una sola connessione, punto-punto bidirezionali o punto-multipunto unidirezionali. Per assegnare questo nuovo ruolo alla Rete Intelligente sono stati sviluppati nuovi modelli da inserire nell'architettura funzionale finora standardizzata della Rete Intelligente, capaci di rendere più potente e flessibile l'interazione fra il piano di controllo, in essa residente, e il piano di trasporto costituito dalla B-ISDN. Sono state presentate, inoltre, diverse soluzioni per questa

interazione, che prevedono un approccio centralizzato o distribuito per il controllo del servizio, e un'analisi delle prestazioni per le soluzioni proposte che prendeva in considerazione aspetti di utilizzo delle risorse per il trasferimento dell'informazione d'utente e di carico elaborativo sui nodi della rete. (Questi temi sono anche sviluppati nell'ambito del progetto europeo ACTS INSIGNIA che vede la partecipazione di Telecom Italia, CSELT e Italtel). L'altro intervento italiano, realizzato da Stefano Salsano (ricercatore presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università "La Sapienza" di Roma) e ancora da Marco Listanti, approfondiva la modellizzazione della gestione della chiamata punto-multipunto realizzata tramite funzionalità di Rete Intelligente.

2. Conclusioni

La conferenza è stata un'occasione per confrontare da diversi punti di vista lo stato dell'arte e le nuove sfide, nonché le aspettative, che riguardano la Rete Intelligente.

L'esigenza dei gestori di rete è quella di disporre di mezzi che consentano di ridurre notevolmente il tempo necessario per l'introduzione di nuovi servizi, soprattutto in un clima di completa concorrenza nel quale essere tempestivi nel rispondere alla domanda dei clienti è un'arma vincente per imporsi sul mercato.

La ricerca e l'industria manifatturiera cercano di rispondere a questa esigenza sfruttando da un lato al meglio la struttura attuale di Rete Intelligente e dall'altro cercando di accelerare il processo di standardizzazione di nuove architetture (TINA, CORBA).

Nonostante i numerosi problemi ancora aperti, riguardanti soprattutto la complessità del controllo delle nuove reti a larga banda, i sensibili investimenti effettuati in questo campo sono incoraggiati dalla disponibilità di soluzioni di Rete Intelligente che sembrano al momento molto promettenti poiché risultano applicabili a reti che impiegano protocolli eterogenei, ne favoriscono l'integrazione e pongono le basi per permettere la realizzazione di un'unica piattaforma per i servizi ad alto contenuto tecnologico.



L'invito alla conferenza.

Ing. Fabrizio Pozzi - Telecom Italia DG - Roma

Cooperare per competere

European Network Planning Workshop '97

Milena Buttò, Maurizio Naldi

IN UNO SCENARIO CARATTERIZZATO DALLA COMPETIZIONE GLOBALE SI SENTE COMUNQUE LA NECESSITÀ DI MANTENERE VIVO IL COLLOQUIO TRA ESPERTI DELLO STESSO SETTORE APPARTENENTI A GESTORI DIVERSI. È IN QUESTA OTTICA CHE SI INQUADRA LO EUROPEAN NETWORK PLANNING WORKSHOP (ENPW). IL CONVEGNO, NATO CON L'OBIETTIVO DI CREARE UN AMBIENTE INFORMALE DI DISCUSSIONE E DI CONFRONTO SUI TEMI DELLA PIANIFICAZIONE DELLE RETI È GIUNTO ALLA TREDECESIMA EDIZIONE, E COSTITUISCE ORMAI UN APPUNTAMENTO CONSOLIDATO NEL QUALE METTERE A FATTOR COMUNE LE ESPERIENZE DI DIVERSI GESTORI PUBBLICI. L'incontro presenta la doppia particolarità di essere ospitato sempre da France Telecom nella medesima località (Les Arcs) e di essere a numero chiuso (quarantadue partecipanti provenienti da undici nazioni). Quest'anno la delegazione italiana era composta da otto persone (tre di Telecom Italia, quattro di CSELT, ed uno della Fondazione Ugo Bordoni). L'edizione di quest'anno si è tenuta dal 9 al 15 Marzo 1997.

Come d'usanza, in ogni edizione del convegno sono trattati solo due temi che, per il 1997, sono stati: "Planning Intelligent Networks and Signalling Networks" e "Planning Access Networks for Multimedia Services", per i quali sono state presentate rispettivamente dodici e sei memorie. Oltre all'esposizione delle memorie, la struttura del convegno prevede la partecipazione a tavole rotonde focalizzate su un paio di argomenti nell'ambito di ogni tema.

Nella discussione del primo tema è emersa la necessità di disporre di procedure e algoritmi per il dimensionamento e la valutazione delle prestazioni delle reti (rete di segnalazione e rete POTS con servizi di RI¹ e servizi mobili), soprattutto in un contesto competi-

tivo quale quello in cui si collocano i servizi di tipo RI. Le procedure consentono di valutare l'impatto di un nuovo servizio sulle prestazioni della rete esistente e quindi di scegliere la soluzione a minimo costo: sette degli undici operatori partecipanti al convegno hanno infatti dichiarato di utilizzare strumenti automatici di progettazione basati su algoritmi di ottimizzazione.

Le chiamate di massa risultano un fenomeno diffuso su tutte le reti europee e dovunque creano disservizio; il controllo della congestione causata da queste chiamate è in genere attuato con interventi di tipo manuale (da operatore) applicati a livello di nodo terminale. I meccanismi di filtro utilizzati per ridurre l'intensità di traffico sono il Call Gapping² o il Leaky Bucket³. La maggior parte dei gestori pubblici ha istituzionalizzato, ritenendola efficace, una cooperazione con i mass media (TV e radio) che scatenano tali fenomeni.

Quanto ai tradizionali problemi connessi con la pianificazione di una rete RI e riguardanti la collocazione delle varie funzionalità e la capacità delle risorse, sono emerse nuove esigenze derivanti dalle caratteristiche dei nuovi servizi che si intende offrire e dalla necessità di inter-lavoro tra reti. In particolare, sono stati messi in luce i seguenti problemi: "Quali sono i parametri di qualità del servizio e quali valori si debbono assegnare per i diversi servizi?", "Come si può realizzare in modo efficace la tariffazione?", "Quali standard dei



(1) RI sta per Rete Intelligente ed indica tutta una categoria di servizi che richiedono, oltre al normale servizio di comunicazione, funzionalità aggiuntive svolte da nodi intelligenti.

(2) Il meccanismo di Call Gapping associa ad ogni chiamata accettata un timer (intervallo di gap): tutte le chiamate che si presentano prima dello scadere del timer sono rifiutate ed è accettata solo la prima che si presenta dopo tale intervallo. Esso rappresenta la massima frequenza offerta alla rete.

(3) Nel Leaky Bucket è presente un contatore, che viene incrementato ogni volta che arriva una chiamata e viene decrementato con frequenza costante; quando il contatore raggiunge un valore limite (ovvero le chiamate arrivano più velocemente della frequenza attesa) le chiamate vengono scartate.

Conferenze

protocolli è necessario richiedere in presenza di ambienti multi-vendor?", "Come è possibile integrare e gestire la mobilità?". *Nel convegno è emersa la tendenza a considerare l'intera rete di telecomunicazione di base come una rete intelligente e a non considerare più quest'ultima come un'infrastruttura che si sovrappone alla rete esistente.*

Circa le funzionalità dei nodi intelligenti, alcuni gestori guardano con attenzione a sistemi SCP⁴ basati su piattaforme costituite da elaboratori piuttosto che su architetture di commutazione, in quanto risultano semplificati i problemi di inter-connessione. Soluzioni in questo senso sono allo studio in Bellcore. Inoltre è opinione comune che le funzionalità legate alla logica del servizio (SCF) e quelle più propriamente di dati (SDF)⁵ debbano in futuro risiedere su risorse elaborative distinte per rendere disponibile a diversi utilizzatori lo stesso insieme di dati. Nella maggioranza dei casi oggi le due funzioni sono integrate sulla stessa risorsa.

Le strutture delle reti adottate dai diversi gestori per il trasporto dei messaggi di segnalazione relativi alle applicazioni TUP (ISUP) e TCAP⁶ sono tutte diverse, risentendo ciascuna sia della particolare struttura della rete POTS sia dei vincoli funzionali degli impianti. Tuttavia appare come tendenza evolutiva comune alla *maggior parte di gestori l'adozione di una rete di segnalazione unica* per i due tipi di segnalazione, sostenuta da motivazioni di costo e dal superamento dei problemi di controllo e di gestione che oggi ancora si intravedono.

Nel caso di integrazione dei due tipi di segnalazione, la rete risulta essere costituita

da STP remoti per la maggior parte dei gestori, oppure da STP integrati nelle centrali di transito per alcuni. Quasi tutti i gestori hanno collocato la funzione GTT⁷ in questi nodi; i pochi gestori che non utilizzano questa funzione non forniscono il servizio di richiamata su occupato (CCBS) oppure hanno SCP dedicati per servizio (ad esempio i tedeschi) oppure hanno l'accesso alla RI a livello di nodi di transito (ad esempio i francesi) e non hanno per ora la necessità di disporre di questa funzionalità dato il numero ridotto di punti di accesso. In tutti i casi si assiste ad un passaggio da uno scenario di carico relativamente contenuto ad uno in cui il volume di traffico di tipo RI cresce rapidamente imponendo la definizione di nuove strutture.

Molta enfasi è stata data, infine, alla determinazione degli elementi di costo in base ai quali confrontare le diverse soluzioni sistemiche e di rete. Si è ritrovato un accordo unanime nel considerare tra gli elementi di costo anche quelli derivanti dalle procedure di gestione della rete. Nei contributi i costi annuali di gestione sono stati valutati come entità proporzionali (8-10 per cento) a quelli di investimento degli apparati, ritenendo tuttavia che debbano essere ricercati modelli di costo più corretti.

Il tema della pianificazione delle reti di accesso ha visto una partecipazione nettamente minore rispetto a quello della rete di segnalazione: il numero di contributi presentati è stato infatti esattamente la metà (sei contro dodici). Si è tuttavia avuta l'impressione che ciò fosse dovuto non alla mancanza di interesse, ma piuttosto all'estrema delicatezza del tema, data la rilevanza e l'importanza strategica degli investimenti in gioco.

La maggior parte degli interventi (quattro memorie su sei) è stata dedicata alla presentazione ed alla analisi di metodologie per la valutazione economica delle scelte tecnologiche ed architetture per la rete di accesso. Si deve in proposito rilevare che la discussione è stata molto aperta sulle metodologie impiegate ma non altrettanto sull'indicazione delle effettive scelte operate dal gestore.

E' emerso comunque che tutti i gestori stanno mettendo a punto e stanno utilizzando strumenti di analisi abbastanza complessi, il cui obiettivo finale è quello di stimare il rendimento economico delle diverse scelte infrastrutturali in modo da poter orientare così il processo decisionale.

Una descrizione abbastanza completa, e con-

⁽⁴⁾ SCP sta per Service Control Point e rappresenta il nodo intelligente su cui risiede la logica del servizio RI.

⁽⁵⁾ SCF e SDF stanno per Service Control Function e Service Data Function.

⁽⁶⁾ TCAP sta per Transaction Capability Application Part e rappresenta le funzionalità aggiuntive del protocollo di segnalazione #7 non associate alla chiamata.

⁽⁷⁾ GTT sta per Global Title Translation e rappresenta la funzione del nodo di segnalazione che traduce un indirizzo logico di un messaggio di segnalazione (basato ad esempio sul numero di utente) in un indirizzo fisico di nodo.

Conferenze

divisa da tutti i presenti, di questi strumenti è stata fornita dalla delegazione norvegese (Telenor).

E' stato chiaramente indicato che il punto di partenza (e maggiormente critico) di ogni strumento di valutazione è costituito dalla costruzione di uno scenario di servizi e dalle relative previsioni di utenza e di traffico. Tutti i partecipanti (di estrazione tecnica) hanno lamentato l'assenza di indicazioni al riguardo da parte dei responsabili del marketing o della pianificazione strategica delle rispettive società. Un riferimento comune è invece fornito da un programma di ricerche svolto sotto l'egida della UE e denominato RACE/TITAN (ancora in corso con la denominazione ACTS/OPTIMUM), il cui obiettivo era proprio quello di stimare la domanda di servizi (con un orizzonte temporale approssimativo di dieci anni) e di mettere a punto una metodologia di valutazione.

Queste informazioni di carattere generale - non riferite quindi a una particolare area geografica - sono poi combinate con informazioni di carattere demografico ed economico relative alla particolare area geografica di interesse per stimare i costi derivanti dalla introduzione della nuova architettura di rete.

L'altro parametro di rilievo riguarda la stima degli introiti, ottenuta sulla base della domanda di traffico e delle tariffe previste (per le quali è in genere assunta una evoluzione, funzione della diffusione del servizio).

Il risultato finale è una stima del ritorno sull'investimento e quindi del periodo di pay-back necessario affinché l'investimento diventi redditizio: il risultato dell'analisi è comunque di tipo probabilistico. Data la non modesta incertezza sulla maggior parte delle grandezze considerate, queste vengono caratterizzate mediante una distribuzione di probabilità, in modo da valutare l'effetto della incertezza sul risultato finale. Questo tipo di analisi (denominata *risk analysis*) è stata in particolare messa in luce nell'intervento del gestore olandese (KPN).

Un'altra caratteristica importante della metodologia presentata è la presenza di un anello di reazione che, sulla base del rendimento economico ottenuto, modifica l'architettura di rete (numero, dimensioni e locazione delle reti di distribuzione secondarie) mediante un algoritmo di ottimizzazione del rendimento stesso.

Benché non sia possibile utilizzare diretta-

mente le (poche) valutazioni comparative fornite sulle diverse scelte tecnologiche, sono comunque emerse due conclusioni abbastanza generali.

Anzitutto *l'evoluzione della rete in doppino degli operatori telefonici mediante tecniche ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) - o VDSL (Very high rate Digital Subscriber Lines)* e si è particolarmente ottimisti sullo sviluppo del mercato a larga banda - *è considerata più economica e sicuramente preferibile rispetto all'introduzione del cavo coassiale sulla tratta cabinet-utente (soluzione HFC (Hybrid Fiber-Coax))*. L'impiego di una soluzione HFC è sostanzialmente vista come propria degli operatori di CATV ma non di quelli telefonici.

In secondo luogo è stato messo in evidenza *che non esiste una soluzione che risulti ottima per tutti i casi. Nessun gestore ritiene conveniente adottare un'unica soluzione per tutto il territorio nazionale* e quindi la ricerca della soluzione più idonea va condotta specificamente per ogni tipologia di area (città grande, media, piccola, area rurale), considerando in casi particolari anche tecnologie radio come la *MMDS (Multichannel Multipoint Distribution Service)* che possono soddisfare esigenze che si presentano in un mercato di nicchia.

La rappresentanza italiana ha presentato tre memorie: Milena Buttò, M. Negro, R. Verduci (Telecom Italia/CSELT): "Signalling network planning in Telecom Italia"; Guglielmo Aureli, S. Balzaretti, W.F. Ibba, M. Ravera (Telecom Italia/CSELT): "Developing multimedia broadband networks: an integrated approach to the access network planning"; Maurizio Naldi (Telecom Italia): "Traffic characteristics of multimedia services and their impact on access network dimensioning".

La prossima edizione del convegno che si terrà nel marzo 1998, tratterà i seguenti temi: "Planning for New Information and Broadband Networks" e "Planning Network Interconnection".

Ingg. Milena Buttò, Maurizio Naldi - Telecom Italia DG
- Roma

L'EVOLUZIONE DEL PIANO DI NUMERAZIONE NAZIONALE DELLE TELECOMUNICAZIONI

1. Introduzione

Con la liberalizzazione del mercato delle telecomunicazioni, il piano di numerazione nazionale, definito nell'ambito del Piano Regolatore Nazionale delle Telecomunicazioni approvato nel 1990, risulta in qualche misura superato e non completamente idoneo a soddisfare le esigenze di un mercato liberalizzato. Infatti il piano finora in vigore, oltre a presentare una capacità insufficiente di numerazione per alcuni distretti telefonici, non è in grado di soddisfare del tutto la richiesta aggiuntiva di numerazione prevedibile che i nuovi gestori e i nuovi servizi richiederanno nei prossimi anni. Sarà necessario quindi disporre in futuro di una capacità più ampia di numerazione e, allo stesso tempo, occorrerà evitare cambiamenti troppo radicali e comunque di difficile comprensione dalla maggior parte degli utilizzatori del sistema di telecomunicazione. Alcune Direttive della Commissione Europea (95/62/CE e 96/19/CE), recepite nel nostro ordinamento con la legge 650/96 e attuate con il "Regolamento per l'attuazione di direttive comunitarie nel settore delle telecomunicazioni" (DPR n.318

del 19 settembre 1997), danno indicazioni sull'approccio da seguire nella definizione dei nuovi piani di numerazione. Le principali linee guida che emergono dalla normativa comunitaria e che un recente Libro Verde sulla numerazione in Europa ripropone con ampi e dettagliati riferimenti, possono essere riassunte nei punti seguenti:

- i numeri devono essere disponibili nella quantità necessaria ad un mercato liberalizzato e multigestore quale quello che si prospetta per il prossimo futuro;
- la struttura della numerazione non deve in alcun modo essere fonte di discriminazione per i nuovi gestori;
- le procedure di assegnazione della numerazione devono seguire criteri di proporzionalità, tempestività, trasparenza e non discriminazione.

2. Il nuovo piano di numerazione

La necessità di predisporre un Nuovo Piano di Numerazione Nazionale, adatto ai bisogni prevedibili e che rispetti i termini previsti dalla normativa europea, era da tempo avvertita dagli addetti ai lavori; essa tuttavia solo di recente è stata recepita dall'Autorità competente che ha provveduto ad indicare Organi e modalità attraverso le quali formulare le decisioni in proposito. A questo scopo, il Ministero delle Comunicazioni, con Decreto Ministeriale del 24 aprile 1997, ha costituito la "Commissione per la normativa tecnica sulla numerazione delle telecomunicazioni" ai cui lavori partecipano esperti del

Ministero, rappresentanti dei gestori che già oggi operano nella rete pubblica, altre organizzazioni che intendono richiedere licenza di servizio, rappresentanti di organismi di ricerca.

Alla Commissione è stato assegnato il mandato di formulare una serie di proposte scandite da precise scadenze temporali; essa ha già redatto alcuni provvedimenti normativi e dovrà in futuro approntare proposte per ulteriori regolamentazioni al riguardo. Gli studi della Commissione hanno richiesto notevoli sforzi tesi da un canto ad accelerarne i tempi di lavoro e, dall'altro, ad individuare soluzioni capaci di contenere i costi e, naturalmente, di ridurre i disagi per gli utenti.

La necessità di ottenere capacità di numerazione aggiuntiva senza che questo aumento di capacità causi variazioni di rilievo rispetto al Piano di Numerazione oggi impiegato e, d'altra parte, l'esigenza di recuperare capacità di numerazione nel lungo periodo, non solo per i servizi geografici¹, ma anche per quelli mobili e per quelli di nuova o di futura introduzione - quali, ad esempio, i servizi satellitari e quelli multimediali - hanno fatto individuare alla Commissione soluzioni da attuare in due fasi: la prima relativa al recupero di capacità di numerazione, ottenuto con l'introduzione di un metodo di

⁽¹⁾ I servizi geografici sono quelli caratterizzati da una numerazione che permette di individuare la località di destinazione di una comunicazione mediante il prefisso telesslettivo (non è un servizio geografico, ad esempio, il servizio radiomobile mentre lo è quello fornito mediante una terminazione della rete fissa).

Osservatorio

selezione che può essere definito completo; la seconda fase riguarda invece l'organizzazione strutturale e per servizi della numerazione.

2.1 Selezione completa (prima fase)

La selezione dei numeri telefonici prevede oggi una differenza tra le chiamate di tipo urbano e quelle interdistrettuali: infatti, mentre per le prime si seleziona solo il numero di abonato del

chiamate urbane e quelle interdistrettuali (nel caso della cifra "0") e tra le chiamate urbane e quelle verso i servizi speciali (con la cifra "1").

Con la selezione completa si aggiunge il prefisso teleselettivo al numero chiamato anche nel caso di una chiamata urbana (allo stesso modo di quanto oggi si fa per le chiamate originate da un terminale mobile).

Con l'impiego della selezione completa si ottiene quindi un incremento della capacità di numerazione in quanto, a

Resterà anche invariata la chiamata fatta dall'estero per i cellulari dei clienti degli operatori nazionali per i quali si continuerà a togliere lo "0" del prefisso (0039+ numero dell'utente mobile).

Invariata rimarrà anche la selezione per chiamate dall'Italia verso l'estero.

2.2 Numerazione per servizi (seconda fase)

L'introduzione della modalità di selezione completa, effettuata

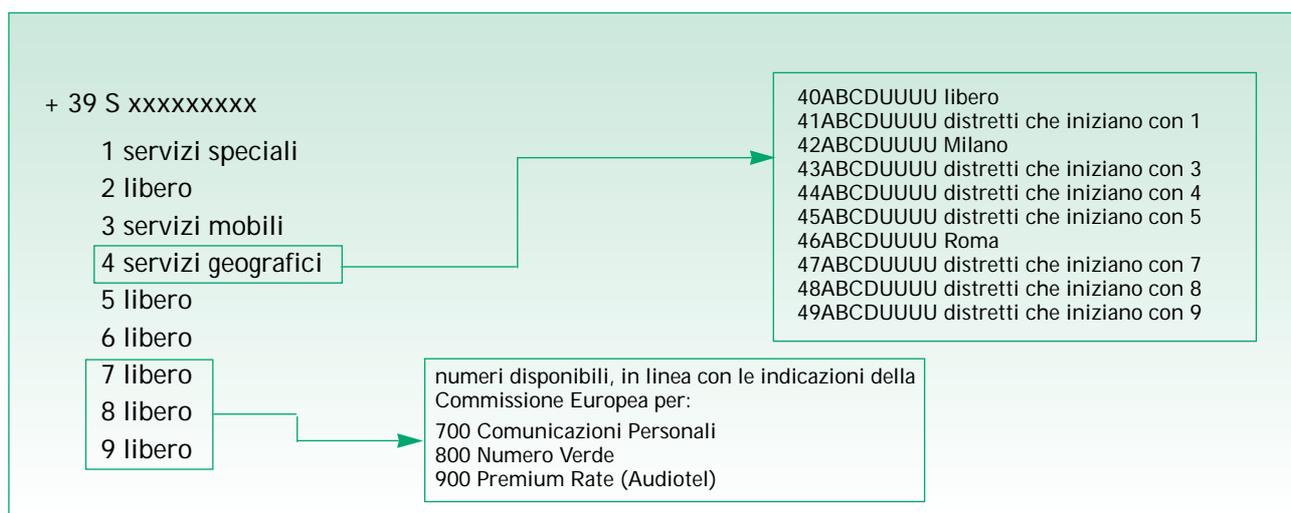


Tabella 1 Organizzazione finale per servizi della struttura di numerazione.

chiamato, per le seconde è necessario far precedere al numero di abonato il prefisso teleselettivo comprensivo del prefisso "0" e del codice di distretto.

La modalità di selezione differente nei due casi non permette quindi di assegnare numerazioni di abonato che iniziano con "0" o con "1": l'utilizzazione di queste due cifre determinerebbe infatti ambiguità nell'istradamento effettuato dalle centrali tra le

differenza di quanto avviene oggi, possono essere utilizzate le cifre "0" e "1" poste subito dopo il prefisso teleselettivo. In questo modo si liberano due decadi in ogni distretto telefonico, ottenendo in tal modo un aumento di circa il 20 per cento della capacità di numerazione.

Questa fase (e la successiva) non tocca i numeri che iniziano con "1" (come 112 o 119) che quindi non dovranno essere preceduti da nessun prefisso.

nella fase precedente, dà la possibilità di riorganizzare il Piano di Numerazione per servizi; in questa fase si sostituisce lo "0", posto in testa ad ogni numero telefonico della rete fissa, con un'altra cifra, identificando così un servizio specifico.

La nuova organizzazione per servizi della struttura del numero sulla base della prima cifra prevede la seguente classificazione:

0 Servizi interni di rete

Osservatorio

compreso il prefisso internazionale 00

- 1 Servizi speciali nazionali
- 2 Riservato ad esigenze future
- 3 Servizi mobili
- 4 Servizi geografici di rete fissa
- 5 Riservato ad esigenze future
- 6 Riservato ad esigenze future
- 7 Riservato ad esigenze future
- 8 Riservato ad esigenze future
- 9 Riservato ad esigenze future

Per la telefonia su rete fissa sarà sostituito così lo "0" iniziale con il "4"; questo nuovo numero dovrà essere composto anche

selezione per le numerazioni valide per la rete fissa e mobile, nelle due fasi sopra descritte.

2.3 Tempi di introduzione della modalità di selezione completa e dello schema di numerazione organizzato per servizi

Il nuovo piano di numerazione nazionale è stato recepito dal nostro ordinamento con decreto del Ministro delle Poste e delle Telecomunicazioni del 1° luglio

gestore. Tuttavia nel periodo compreso fra il 19 giugno e il 18 dicembre 1998, accanto alla modalità di selezione completa sarà ancora ammesso l'uso della modalità di selezione differenziata. L'utenza potrà così prendere confidenza con la nuova modalità di selezione, senza che si presentino gravi disservizi;

- dal 18 dicembre 1998 l'unica procedura di selezione operante sulle reti

ESEMPIO DI CHIAMATA IN AMBITO NAZIONALE

(0) 6 7654321	con la selezione completa diventa anche in ambito urbano con la riorganizzazione per servizi diventa	067654321 467654321
0337 765432	con la selezione completa rimane con la riorganizzazione per servizi diventa	0337765432 337765432

ESEMPIO DI CHIAMATA DA SEDE ESTERA

+39 6 7654321	con la selezione completa diventa con la riorganizzazione per servizi diventa	+39 067654321 +39 467654321
+39 337 765432	con la selezione completa rimane con la riorganizzazione per servizi rimane	+39 337765432 +39 337765432

Tabella 2 Esempi di modifiche della numerazione nelle due fasi.

per le chiamate dall'estero verso l'Italia. Una variante dovrà essere introdotta anche per le chiamate verso la rete radiomobile per la quale dovrà essere eliminata la cifra "0" iniziale.

La tabella 1 illustra ulteriori caratteristiche delle scelte effettuate.

Nella tabella 2 sono riassunte invece le considerazioni espresse con esempi di

1997, n.175, e riguarda la "Normativa tecnica sulla numerazione delle telecomunicazioni", pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale del 29 luglio 1997.

Il decreto prevede che le realizzazioni siano effettuate secondo il seguente calendario:

- dal 19 giugno 1998 la modalità di selezione completa sarà l'unica per tutti i clienti di qualunque

pubbliche nazionali sarà la modalità di selezione completa. Solo da questa data sarà disponibile la capacità aggiuntiva di numerazione messa a disposizione dalla selezione che utilizzi la cifra "0" e quella "1" dopo i prefissi teleselettivi delle reti pubbliche fisse e mobili;

- dal 29 dicembre 2000 nelle numerazioni delle reti fisse

sarà sostituita la cifra "0" in testa al numero significativo nazionale con la cifra "4", utilizzata per tutti i tipi di chiamate nazionali e per le chiamate internazionali entranti.

A partire dalla stessa data sarà eliminata la cifra "0" posta all'inizio delle numerazioni delle reti pubbliche mobili (sia per le chiamate interne alla rete sia per quelle provenienti da altre reti, fisse e mobili) che quindi inizieranno con la cifra "3".

2.4 Selezione del gestore della rete a lunga distanza e portabilità del numero

La gestione della numerazione in un ambiente competitivo multigestore comporta anche la necessità di definire le regole relative alla selezione del gestore della rete di lunga distanza (*Carrier Selection*) e alla portabilità del numero (*Number Portability*).

Per quanto riguarda la scelta e quindi la selezione del gestore della rete di lunga distanza, nazionale o internazionale da parte del generico cliente, la Commissione citata costituita nell'ambito del Ministero delle Comunicazioni sta definendo le regole riguardanti gli aspetti di numerazione, per le due modalità previste nell'ambito della Comunità Europea; esse sono:

- *easy access*;
- *equal access*.

Nella prima modalità il gestore di lunga distanza coincide con quello che fornisce il servizio in ambito locale. Nella seconda, il gestore di lunga distanza può essere definito con un contratto specifico e quindi può differire da quello locale. Tuttavia in entrambi i casi l'utente ha la possibilità di scegliere per ogni

singola chiamata da esso effettuata un qualunque gestore di lunga distanza, tramite l'utilizzo di un codice di accesso.

Per quanto riguarda la scelta del gestore (*Carrier Selection*), la semplicità tecnica e gestionale di attivazione, almeno per quanto riguarda la modalità *easy access*, potrà essere introdotta dal 1998 in linea con quanto prescrivono le indicazioni Comunitarie.

La prestazione relativa alla "portabilità del numero" permette al generico cliente di mantenere, in ambito locale, il proprio numero quando cambia il gestore pubblico al quale esso è abbonato. Anche per questa prestazione la Commissione deve definire gli aspetti di numerazione e le regole di gestione dei *numeri portati* dal singolo cliente nel trasferimento da un gestore ad un altro.

L'introduzione della prestazione relativa alla portabilità del numero risulta particolarmente complessa dal punto di vista tecnico e gestionale e presenta al contempo alti costi. Le esperienze maturate in alcuni Paesi, che hanno già introdotto questa prestazione, hanno messo in luce che la definizione e la suddivisione degli oneri economici tra le parti coinvolte, è particolarmente difficoltosa. Dal punto di vista normativo la prestazione di portabilità del numero è prescritta in ambito nazionale nel "Regolamento di attuazione di direttive comunitarie nel settore delle telecomunicazioni" con la seguente prescrizione:

"Gli Organismi di telecomunicazioni sono tenuti a provvedere, nei tempi più brevi possibili, all'introduzione della portabilità del numero affinché gli utenti finali che ne facciano

richiesta possano conservare il loro numero o i loro numeri nella rete telefonica pubblica fissa in un luogo specifico, a prescindere dall'organismo che fornisce il servizio. In ogni caso gli Organismi di telecomunicazioni devono garantire che detta prestazione sia disponibile almeno nei maggiori centri abitati entro il primo gennaio 2001". D'altra parte, la "Number Portability" è ritenuta la prestazione principale e irrinunciabile per una effettiva apertura del mercato delle telecomunicazioni e, in ambito europeo, è in discussione una proposta di direttiva che mira ad anticiparne l'introduzione obbligatoria negli Stati membri.

*Giovanni Martini
Telecom Italia DG - Roma*

*Opera attualmente
nell'Area Strategie, Piani e
Innovazione*

RAPPORTI SULLA NORMATIVA TECNICA NELLE TELECOMUNICAZIONI

STATO DELLA NORMATIVA SULLA RETE OTTICA DI ACCESSO

L'EVOLUZIONE VERSO SOLUZIONI A LARGA BANDA

ASPETTI DI GESTIONE DELL'INTERCONNESSIONE: UNA PANORAMICA SULLA SITUAZIONE IN NORD AMERICA

IL PROBLEMA DELLA MOLTEPLICITÀ DELLE INTERFACCE

LE RETI OTTICHE DI ACCESSO HANNO RACCOLTO UN CRESCENTE FAVORE NEGLI ULTIMI ANNI, E SI STANNO PROPONENDO COME VALIDA SOLUZIONE NELLA DIREZIONE DI FORNIRE IN MODO INTEGRATO SERVIZI VOCE, DATI E VIDEO DIFFUSIVI (FULL SERVICE NETWORKS).

L'interesse dei gestori a conseguire nuove aree di mercato con l'offerta di servizi a larga banda, oppure semplicemente l'esigenza di rendere più economici i servizi telefonici tradizionali con la possibilità di mettere a disposizione successivamente nuovi servizi, sono tra i fattori che giocano a favore dell'introduzione delle tecnologie ottiche nella rete di accesso.

La decisione di muovere verso queste tecnologie rivela anche la necessità di un approccio orientato alla razionalizzazione delle infrastrutture di rete viste nel loro complesso.

L'elevato costo delle opere civili, specialmente nelle grandi aree urbane, rappresenta un ostacolo evidente, che consiglia di utilizzare per quanto possibile la rete in rame esistente, sfruttandone appieno la capillarità.

La combinazione delle tecnologie xDSL e di quelle ottiche hanno prodotto una architettura, nota sotto il termine di FTTx, che presenta soluzioni estremamente flessibili, in grado di adattarsi alle più svariate esigenze degli operatori, dei servizi e degli utenti.

Su questa architettura è fiorita una notevole attività di standardizzazione a partire dagli ambiti ITU ed ETSI, anche sulla spinta dei gruppi di interesse FSAN, ATM Forum e DAVIC. L'obiettivo comune perseguito è la disponibilità di standard o specifiche in grado di consentire lo sviluppo di prodotti destinati ad un mercato ampio e quindi di favorire un conseguente abbassamento dei costi.



LA NORMATIVA INTERNAZIONALE HA AFFRONTATO GLI ASPETTI DEI SISTEMI DI GESTIONE LEGATI ALLA TEMATICA "INTERCONNESSIONE" IN MODO MOLTO VARIO. INFATTI, MENTRE IN AMBITO NORD-AMERICANO L'UNBUNDLING DEI SISTEMI DI GESTIONE È PARTE INTEGRANTE DELLE IMPOSIZIONI DETTATE AGLI OPERATORI DOMINANTI, LA NORMATIVA EUROPEA E IL SUO RECEPIMENTO IN CHIAVE NAZIONALE NON CONTENGONO RIFERIMENTI PRECISI, QUANTO PIUTTOSTO AFFERMAZIONI CHE FANNO INTENDERE LA NECESSITÀ DI INSTAURARE CON IL COMPETITOR UN DIALOGO.

Negli USA la *FCC (Federal Communications Commission)* ha espressamente incluso l'apertura dell'accesso agli *OSS (Operational Support Systems)* nella lista degli obblighi degli *ILEC (Incumbent Local Exchange Carrier)*.

Rimane tuttavia aperto il problema, di non poco conto, della molteplicità delle interfacce offerte dagli operatori dominanti, per superare il quale si stanno coalizzando nell'ambito del *NM (Network Management)* Forum forze orientate a promuovere negli ambiti di standardizzazione la definizione di un "gateway nazionale".

La definizione degli aspetti "semantici" delle interfacce ricade quasi completamente sotto il controllo dell'*ATIS (Alliance for Telecommunications Industry Solutions)*, della quale fanno parte, tra gli altri, l'*Ordering and Billing Forum* - che si occupa di analisi di problematiche relative ad *Ordering, Billing e Provisioning* di servizi di accesso ed altri tipi di connettività -; il *T1* - nel quale in particolare il sottocomitato *T1M1.5* si occupa di architetture, interfacce e protocolli per *OAM&P (Operation, Administration, Maintenance e Provisioning)* secondo i modelli *TMN* -; il *Network Interconnection Interoperability Forum* e il *TCIF (TeleCommunications Industry Forum)*.

L'INTEGRAZIONE TELEFONO-COMPUTER E L'ATTIVITÀ DELL'ECTF

RIDUZIONE DEI COSTI DI INTEGRAZIONE E DEI TEMPI DI SVILUPPO

L'INTENTO PERSEGUITO CON L'INTEGRAZIONE TRA COMPUTER ED APPARATI TELEFONICI - IDENTIFICATA CON IL TERMINE *CTI (COMPUTER TELEPHONY INTEGRATION)* - È QUELLO DI ACCRESCERE LE FUNZIONALITÀ DELLE APPLICAZIONI BUSINESS.

Tre sono i filoni in cui sono raggruppate le applicazioni CTI: il primo comprende le applicazioni relative alla gestione dei contatti con la clientela, il secondo quelle legate alla produttività dell'ufficio; il terzo quelle concernenti la produttività personale in ambiente *SOHO (Small Office/Home Office)*. Le previsioni di mercato indicano una crescita della richiesta per le applicazioni in questione, motivata dal bisogno di aumentare la qualità e l'efficienza delle comunicazioni sia all'interno che all'esterno dell'azienda. Un'adeguata disponibilità di standard de jure o de facto è importante ai fini di un incremento dell'offerta.

CSTA (Computer Supported Telecommunications Applications) è il primo standard definito - in ECMA - per applicazioni CTI; stabilisce l'interazione tra computer e PBX, in termini di protocolli e servizi, in architetture di tipo client-server.

Standard de facto relativi alle *API (Application Programming Interfaces)* di controllo delle chiamate sono apparsi successivamente, tra i quali *TAPI (Telephony API)* di Microsoft, *TSAPI (Telephony Services API)* di Novell, *JTAPI (Java Telephony API)*, definito da un consorzio di sei società (Sun, Lucent, Nortel, Novell, IBM, Intel); da segnalare, infine, i risultati di Versit, un'iniziativa di Apple, AT&T, IBM e Novell.

L'*Enterprise Computer Telephony Forum (ECTF)* è stato attivato nel '95 con l'intento di accogliere ed armonizzare, in un quadro di riferimento unitario, gli standard disponibili e di facilitare lo sviluppo di quelli necessari per garantire la completa copertura dei requisiti identificati. Le società iscritte sono circa settanta, le più significative del settore CTI. Tra i risultati ottenuti, sono da menzionare i documenti "ECTF S.100 Media Services API" ed "ECTF H.100: CT bus for PCI Specification".



CORDLESS TERMINAL MOBILITY IL SUPPORTO DELLA RETE INTELLIGENTE

STANDARD PER LA FORNITURA DI SERVIZI DI MOBILITÀ LOCALE SU RETE FISSA

L'INTERESSE DA PARTE DEGLI OPERATORI DI RETE FISSA PER I NUOVI SERVIZI DI MOBILITÀ LOCALE BASATI SU TECNOLOGIE CORDLESS È CRESCENTE. INFATTI, TALI SERVIZI BENE SI PRESTANO AD ESSERE IMPIEGATI IN CONTESTI PROBLEMATICI PER LE RETI CELLULARI QUALI, AD ESEMPIO, GLI INTERNI DI EDIFICIO OPPURE I LUOGHI PUBBLICI CON ELEVATO TRAFFICO TELEFONICO.

Le funzionalità di rete intelligente assicurate dalle infrastrutture in possesso degli operatori di rete fissa costituiscono un'interessante base di partenza per il loro supporto. Il potenziamento di tali funzionalità consentirà di estendere l'offerta a disposizione dell'utenza di reti fisse a servizi di mobilità tanto del terminale quanto personale.

In ETSI è in corso un progetto di standardizzazione per la definizione del *CTM (Cordless Terminal Mobility)* finalizzato appunto a consentire di fornire agli utenti delle reti fisse un servizio di mobilità locale basato su tecnologie di accesso cordless (DECT o CT2).

L'intento, in particolare, è quello di permettere il roaming del terminale in ambito residenziale, business e urbano, mediante l'impiego di piattaforme di rete intelligente centralizzate. In un'ottica evolutiva, il CTM è visto come un passo necessario, dal lato delle reti fisse, verso l'*UMTS (Universal Mobility Telecommunication System)*.

La prima fase dei lavori di standardizzazione del CTM, che terminerà entro il 1997, è orientata ad applicazioni vocali. Le fasi successive, già avviate, prevedono un allargamento del campo di interesse. La fase 2 pre-

vede un ampliamento dei servizi supplementari considerati, includendo il completo supporto delle chiamate di emergenza e della prestazione di handover all'interno di un'area di copertura radio continua. In seguito, in direzione di una convergenza ulteriore verso i servizi offerti dalle reti cellulari, grazie alla disponibilità di terminali dual mode DECT/GSM saranno presi in esame anche servizi dati e di messaggistica *SMS (Short Message Service)*.



**NORMATIVA SUL CABLAGGIO PER
TELECOMUNICAZIONI NEGLI
EDIFICI**

CON IL PROGREDIRE DEI SERVIZI DI TELECOMUNICAZIONE, IL CABLAGGIO CHE DEVE ESSERE PREDISPOSTO NEGLI EDIFICI PER TRASPORTARLI È DIVENTATO UN ELEMENTO SEMPRE PIÙ IMPORTANTE. TALE CABLAGGIO, CHE UN TEMPO DOVEVA PORTARE ESSENZIALMENTE IL SERVIZIO TELEFONICO DI BASE, SI STA OGGI SEMPRE PIÙ INTEGRANDO CON QUELLO RELATIVO ALLA TECNOLOGIA DELL'INFORMAZIONE (RETI DI CALCOLATORI) E A NUOVI SERVIZI INTERATTIVI AD ALTA VELOCITÀ.

Motivi storici e tecnici, portano a considerare separatamente il caso degli edifici "commerciali", prevalentemente destinati ad uffici, e quello degli edifici residenziali: per i primi le maggiori esigenze di servizi di comunicazione avanzati, essenzialmente scambio di dati su LAN, hanno già portato all'affermarsi di standard relativi al cablaggio per uso generale, spesso indicato con il termine di "Cablaggio Strutturato", mentre per i secondi l'esigenza sta emergendo oggi, e riguarda un insieme di servizi alquanto diversi, dove gioca un ruolo importante anche la trasmissione di segnali di tipo video.

Il primo standard relativo al cablaggio strutturato degli edifici è stato sviluppato in USA, è di fonte EIA e risale al luglio del 1991 (è così stato pubblicato, come EIA/TIA-568).

All'inizio degli anni Novanta anche gli enti di normativa internazionali, IEC congiuntamente a ISO a livello mondiale e CENELEC a livello europeo, hanno avviato un lavoro di standardizzazione sul cablaggio strutturato. Ciò ha portato nel 1995 alla pubblicazione dello Standard ISO/IEC IS 11801, che segue le linee fondamentali del suddetto standard TIA/EIA, e nel 1996 alla pubblicazione della norma Europea EN 50173, che è molto simile allo standard ISO/IEC.

La normativa sui cablaggi per uso generale negli edifici residenziali non è avanzata come quella per gli edifici commerciali. La sola norma che può essere citata in proposito è lo standard nazionale americano EIA/TIA 570. Il cablaggio specificato, a coppie simmetriche e con tipologia a stella, è pensato essenzialmente per il servizio telefonico di base e per l'accesso base ISDN.

Il lavoro per lo sviluppo di norme future è però intenso: due sono le azioni che meritano di essere citate. La prima è quella che ha per oggetto la definizione dell'architettura di una rete per la connessione dei sistemi elettronici della casa e dell'edificio e del relativo cablaggio. La seconda è quella avente per oggetto le architetture di riferimento per sistemi di distribuzione di servizi multimediali in edifici.

Sono infine da evidenziare gli aspetti di compatibilità elettromagnetica e di protezione nei confronti delle sovratensioni che, fino a quanto saranno usati i cavi metallici, dovranno essere considerati di massima importanza nella realizzazione e standardizzazione dei cablaggi di edificio.

*Giorgio Fioretto
Normative Tecniche CSELT - Torino*

**IL CABLAGGIO DI EDIFICIO STA
DIVENTANDO SEMPRE PIÙ IMPORTANTE
ANCHE PER GLI EDIFICI RESIDENZIALI**

Negli ultimi mesi sono stati compiuti diversi progressi sul tema della ristrutturazione organizzativa nell'ambito dei Consorzi satellitari INTELSAT, EUTELSAT e INMARSAT, dei quali Telecom Italia è firmatario (Socio finanziatore e utilizzatore) per l'Italia.

L'ASSEMBLEA HA ACCETTATO FORMALMENTE LA PROPOSTA DI CREARE PER SCORPORO DALL'INTELSAT UNA SOCIETÀ PRIVATA INDIPENDENTE QUOTABILE SUL MERCATO (INC); a essa sarebbero assegnati in dotazione (con trasferimento a valore di libro) cinque satelliti INTELSAT, oltre ad un satellite ad hoc per TV - K TV - in costruzione. L'INC si concentrerà sul business relativo ai nuovi servizi (quali, ad esempio, la distribuzione punto-multipunto per segnali televisivi e dati e la multimedialità) offrendo capacità e servizi anche del tipo chiavi in mano direttamente all'utente finale. La nuova società, nella quale l'INTELSAT avrà un investimento diretto pari al 10 per cento, avrà un azionariato posseduto inizialmente per il 100 per cento dagli attuali firmatari, che si ridurrà nel tempo con l'apertura a investitori esterni ad un azionariato massimo individuale pari al 17 per cento. La INC avrà la propria sede legale in Olanda e dovrebbe essere costituita verso la metà del 1998. L'INTELSAT continuerà ad offrire a livello mondiale tramite i satelliti rimasti - e con la struttura intergovernativa attuale - capacità spaziale ai propri membri.



L'ASSEMBLEA HA ACCOLTO LE PROPOSTE DEL CONSIGLIO DI PORTARE A COMPIIMENTO QUANTO PRIMA GLI STUDI SUL MODELLO DI RISTRUTTURAZIONE CHE PREVEDE LA TRASFORMAZIONE DEL CONSORZIO INTERGOVERNATIVO IN UNA SOCIETÀ PER AZIONI ALLA QUALE SARANNO TRASFERITI L'INTERO BUSINESS E I SATELLITI DELL'EUTELSAT. Il ruolo dei governi nella nuova società privata, che potrebbe nel tempo aprirsi a un azionariato esterno ed essere anche quotata sul mercato, sarà limitato al controllo del rispetto da parte di EUTELSAT dei doveri che essa si assumerebbe relativamente alle funzioni di servizio pubblico. La decisione finale sulla ristrutturazione potrebbe essere presa nel corso di una nuova riunione della Assemblea nel 1998, a conclusione dell'attuale fase di studi del Consiglio.



PROSEGUONO I LAVORI DEL CONSIGLIO BASATI SULLA PROPOSTA DI CREARE UNA COMPAGNIA PRIVATA DI TIPO PUBBLICO ALLA QUALE SARANNO TRASFERITI TUTTI I CESPITI E I SERVIZI DELL'INMARSAT E IL CUI AZIONARIATO SARÀ DETENUTO INIZIALMENTE DAI SOLI FIRMATARI ATTUALI. L'azionariato sarà comunque scambiabile e aperto a investitori strategici. Le funzioni di servizio pubblico (GMDSS, salvaguardia della vita umana in mare) non subiranno discontinuità e saranno controllate dalle parti (Governi) tramite una nuova Organizzazione tra Governi (IGO) alla quale la Compagnia si impegna a offrire i servizi relativi a tali funzioni su base gratuita. Il Consiglio di Amministrazione della Compagnia sarà di tipo fiduciario e limitato a 13-15 membri; esso comprenderà anche direttori cosiddetti "indipendenti" (non azionisti). La quota di investimento necessaria per assicurare un seggio nel Consiglio sarà molto elevata, in modo da escludere la presenza della maggior parte degli attuali firmatari a meno che essi non acquistino nuove azioni o stipulino alleanze. Nei documenti costitutivi della Compagnia sarà inserito un impegno esplicito a procedere entro due anni dalla sua incorporazione a una offerta pubblica di vendita per acquisire nuovi capitali. Nell'aprile 1998 l'Assemblea dovrebbe approvare queste modifiche e l'intero approccio legato al modello di ristrutturazione descritto. Potrebbe poi essere costituita la nuova Compagnia che inizierà ad operare appena le modifiche saranno entrate in vigore.

*Enzo Vitali
Telecom Italia DG - Roma*

INTELSAT

EUTELSAT

INMARSAT

Il telegrafo ad acqua. Un'invenzione di Aeneas Tacticus

(ne parla Polibio)

La necessità di trasmettere a distanza messaggi, più velocemente della corsa di un corriere, a piedi o a cavallo, fu sentita nell'antichità, specie presso le civiltà più evolute. Di giorno il fumo, di notte la fiamma servivano a comunicare a distanza che si era verificato un avvenimento, atteso o temuto.

Furono così realizzate reti che consentivano di trasmettere di montagna in montagna una notizia ed esse furono chiamate "fryctoriae" da φρυκτος ("frictos" - faro, torcia) e Ὠρα ("hora" - cura, ausilio).

Una fryctoria permise di comunicare nel 1184 a.C. a Micene la caduta di Troia; e poi, quasi un millennio più avanti, una rete analoga consentiva ad Alessandro Magno, re della Macedonia dal 336 a.C., di ricevere nella capitale Pella dove risiedeva, gli oracoli a lui diretti dal "Santuario" di Delfi, dedicato ad Apollo, posto sul monte Parnaso.

Anche i Crociati realizzarono nel 1204 d.C. il collegamento più lungo per trasmettere le informazioni: esso univa Costantinopoli a Taranto e aveva punti di ripetizione a 3 chilometri di distanza l'uno dall'altro (le nostre dorsali di ponti radio terrestri ricordano forse le fryctoriae!).

La possibilità di trasmettere l'informazione a distanza è stata raccontata già da antichi scrittori: Eschilo (525-456 a. C.) fa dire alla moglie di Agamennone, Clitennestra, che Troia è caduta e che la notizia è giunta dal monte Ida assai velocemente, con il fuoco "messaggero" (Agamennone versi 278-283).

Polibio, nato a Megalopoli e vissuto dal 203 al 121 a.C., scrisse "una storia universale mai prima scritta, nel senso che abbracciava, almeno virtualmente, tutti i Paesi allora conosciuti". Nelle sue "Storie", lo scrittore interrompe la narrazione delle vittorie di Publio Cornelio Scipione sui Cartaginesi in Spagna e dell'arrivo della flotta di Attalo I, re di Pergamo, nelle acque greche, per fare una digressione sull'impiego delle segnalazioni luminose in guerra. Polibio (libro X, 43) critica energeticamente l'impiego delle torce usate a quel tempo per la trasmissione delle informazioni:

"Quanto al genere delle segnalazioni fatte col fuoco, che rendono ora un grandissimo servizio in guerra, ma la cui tecnica in precedenza non era stata sviluppata, ritengo sia utile non passarle sotto silenzio, ma parlarne in modo conveniente. 2. È a tutti evidente che in ogni caso la scelta del momento giusto è importante ai fini del successo di una impresa, ma è importantissimo nelle imprese militari e, tra i mezzi che aiutano ad attuare questa scelta, il più efficace è costituito dai segnali fatti

col fuoco. 3. Essi infatti informano su quanto è appena accaduto e su quanto sta ancora accadendo e colui al quale ciò interessa può venirne a conoscenza anche se è distante tre o quattro o più giorni di cammino. 4. In tal modo, grazie ai messaggi comunicati tramite questo genere di segnali, nelle situazioni che lo richiedono, arriva sempre, inaspettato, l'aiuto. 5. Ora, siccome nei tempi passati il metodo usato per fare queste segnalazioni era molto elementare, esse riuscivano per lo più inutili a coloro che ne facevano uso. 6. Il servizio, infatti, doveva essere eseguito mediante segnali predeterminati, ma, dato che il numero dei fatti possibili è indefinito, la maggior parte di questi non poteva essere comunicato attraverso l'uso delle

segnalazioni fatte col fuoco. Proprio come nel caso che ho appena riferito. 7. Era certamente possibile a coloro che già si erano messi d'accordo su questo, segnalare che una flotta era giunta ad Oreo, o a Pepareto, o a Calcide. 8. Ma con le segnalazioni fatte col fuoco non si riusciva a comunicare fatti come questi: che, cioè, alcuni cittadini stavano cambiando partito, o che stavano perpetrando un tradimento, o che nella città era avvenuta una strage o qualche fatto del genere, cose che pure avvengono di frequente, ma che non si possono prevedere tutte quante. 9. E sono soprattutto le situazioni impreviste che richiedono consigli ed aiuti istantanei. 10. Or dunque non era possibile segnalare quei fatti che non si potevano prevedere".

Dopo questa lunga premessa, lo storico greco parla dell'invenzione del generale Aeneas Tacticus, nato in Arcadia e scrittore di cose militari, vissuto nel IV Secolo a.C. Il sistema descritto, abbastanza ingegnoso, consisteva nel costruire alcuni vasi d'argilla, tutti uguali, da riempire con acqua (con un liquido non inquinante!). Ogni vaso era posto in una "stazione ripetitrice" assieme ad una torcia. I vasi presentavano un piccolo orifizio in basso e contenevano all'interno un'asta verticale graduata, che nella parte inferiore presentava una base galleggiante. Seguiamo, quindi, la descrizione dell'invenzione, fatta da Polibio (libro X, 44):



Calco dell'invenzione di Aeneas Tacticus (Technology Museum of Thessaloniki).



Modello del telegrafo ad acqua (Technology Museum of Thessaloniki).

Le nostre radici

“Enea, l'autore di trattati sulla scienza militare, volendo rimediare a tale difficoltà, fece fare qualche piccolo progresso a questa materia, ma la sua invenzione rimase ancora lontana le mille miglia da ciò che veramente occorreva fare. 2. E lo si può vedere dalla esposizione che segue. Egli dice che coloro i quali si accingono a comunicarsi con segnalazioni fatte col fuoco un messaggio urgente, devono approntare dei recipienti di argilla, perfettamente uguali quanto a larghezza e a profondità; tale profondità deve essere di circa tre cubiti⁽¹⁾, mentre la larghezza di uno. 3. Poi devono preparare dei pezzi di sughero, larghi poco meno delle bocche dei vasi e nel mezzo di ciascuno di questi deve esservi conficcato un bastone graduato secondo sezioni uguali tra loro, ognuna della misura di tre dattili⁽²⁾ è delimitata da una chiara linea circolare. 4. All'interno di ciascuna sezione, poi, devono esservi scritti i più evidenti e comuni casi che si verificano in guerra. 5. Ad esempio: subito nella prima va scritto «la cavalleria è arrivata nel territorio»,

nella seconda «fanteria pesante». 6. Nella terza «fanteria leggera», poi «fanteria e cavalleria», poi «navi», poi «grano», e così di seguito, finché in ogni sezione siano state indicate le principali eventualità che si prevede ragionevolmente possano presentarsi durante il periodo della guerra in corso. 7. A questo punto egli dice che si devono forare entrambi i vasi, facendo attenzione a che i fori siano perfettamente uguali, in modo da permettere l'uscita di una stessa quantità di acqua; quindi, una volta riempiti i vasi di acqua, vi si devono porre sopra i pezzi di sughero con infissi i bastoni e lasciare che l'acqua scorra fuori contemporaneamente dai fori dei due vasi. 8. È chiaro che durante tale operazione, poiché i vasi hanno tutte le caratteristiche perfettamente simili, dovrà necessariamente avvenire che, nella misura in cui l'acqua defluisce dai due fori, nella stessa misura si abbassino i pezzi di sughero e i bastoni scompaiano dentro i vasi. 9. Quando, mediante una prova, si è constatato che tale contemporaneo deflusso dai due

vasi avviene con una velocità perfettamente uguale, allora quelli delle due parti che ne hanno l'incarico devono portare nel posto in cui dovranno osservare le segnalazioni fatte col fuoco, e qui sistemare, i propri rispettivi vasi. 10. Poi, quando si verifica un qualche avvenimento di quelli segnati sul bastone, Enea dice che bisogna alzare una torcia e aspettare, finché l'incaricato della parte opposta ne alzi un'altra. Una volta che le torce delle due parti sono apparse bene evidenti, colui che segnala deve abbassare e far immediatamente scorrere l'acqua dal foro. 11. In tal modo, il bastone conficcato nel sughero comincia ad abbassarsi e quando la sezione in cui è scritta la notizia che si vuol comunicare è arrivata al livello della bocca del vaso, egli dice che il segnalatore deve alzare la torcia. 12. E quelli della parte opposta devono immediatamenteappare il foro ed osservare quale dei messaggi riportati sul bastone si trova al livello della bocca del vaso. 13. Se i movimenti delle due parti avvengono in perfetta sincronia, questo sarà il messaggio comunicato”.

(Polibio, Storie, Libro X, traduzione di Alessandro Vimercati, Rusconi Editore, 1989, pp. 743-746)

Lo storico conclude che “questo metodo di trasmissione è un po' migliore rispetto alla segnalazione col fuoco ... ma è ancora impreciso”. Polibio infatti nota che “non è possibile prevedere tutto il futuro né, ammesso che ciò si possa fare, scrivere sul bastoncino tutto quanto può accadere”. Lo scrittore propone quindi un nuovo sistema per trasmettere l'informazione, inventato da Cleosseno e da Democrito e perfezionato da lui. Ma di questo metodo potremmo parlarne un'altra volta.

⁽¹⁾ Un cubito corrisponde a 1 piede e mezzo, cioè a circa 44,3 cm.

⁽²⁾ Un dattilo corrisponde a 1/16 di piede, cioè a circa 1,85 cm.

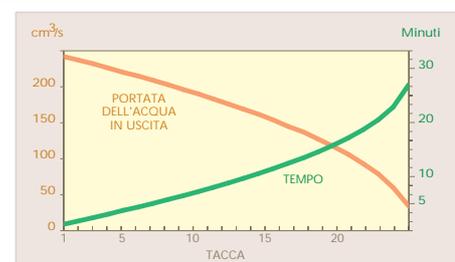
r.c.

LA VELOCITÀ DI TRASMISSIONE DEL TELEGRAFO AD ACQUA

Il sistema di segnalazione a distanza dell'informazione descritto da Polibio richiama, anche se in maniera molto semplificata, la “Pulse Position Modulation”: non disponendo di un orologio, il tempo per trasmettere ciascuna informazione era misurato con il volume di acqua defluito a passi discreti dal vaso d'argilla. Il testo però non chiarisce se veniva utilizzata tutta l'altezza dell'asta o se era esclusa la parte terminale.

Può essere comunque tentata una valutazione approssimata del tempo di trasmissione dell'informazione: il vaso d'argilla era alto tre cubiti (133 cm) ed aveva un diametro di un cubito (44,3 cm). La distanza tra le diverse tacche incise sull'asta era di tre dattili (5,55 cm). La velocità di uscita dell'acqua dal vaso può essere calcolata in via approssimata con l'espressione (teorema di Torricelli) $U_{med} = \sqrt{2gh}$ cm/s con g accelerazione di gravità e h distanza tra il punto medio compreso tra due iscrizioni e il fondo. La portata in uscita dal foro di ampiezza S può essere valutata (sempre in via approssimata) con $Q = \mu S \sqrt{2gh}$ cm³/s con μ coefficiente di contrazione e di efflusso che tiene conto che la sezione S' , che si forma poco più a valle dell'orifizio S posto nella parte più bassa del vaso d'argilla, risulta avere un'area inferiore a S ; secondo Hamilton e Smith $\mu \approx 0,61$.

I diagrammi riportati in figura mostrano che, nel caso di un foro di 1 cm, il ritardo tra l'arrivo della prima informazione e la ventiquattresima passerebbe da circa mezzo minuto a quasi mezz'ora; la decima tacca si raggiungerebbe dopo sette minuti. L'informazione quindi viaggiava sempre a minor costo e più velocemente di quella trasportata da un corriere a cavallo!



Angelo Luvison,
Federico Tosco

LA RETE DI ACCESSO PER TELECOMUNICAZIONI ARCHITETTURE, SISTEMI E COMPONENTI

*Editore: CSELT
Torino dicembre 1996
pp. 599, L. 60.000
Distribuzione UTET Libreria*

L'evoluzione della domanda di servizi di telecomunicazioni come pure i progressi compiuti nelle tecnologie ottiche, nella microelettronica e nel software si ripercuotono significativamente sull'architettura di rete nel suo complesso e in particolare sul segmento di accesso e di distribuzione più vicino agli utilizzatori finali: il cosiddetto "ultimo miglio".

L'importanza dell'accesso risiede nel fatto di costituire la parte più capillare dell'intera rete di telecomunicazioni e di rappresentare una quota considerevole dell'insieme degli investimenti di un gestore di rete pubblica. È in effetti questa la parte della rete dove i gestori hanno concentrato l'attenzione, poiché rappresenta la porzione più estesa su cui agire per poter offrire servizi video o altri servizi a larga banda, in aggiunta al servizio telefonico di base.

Il libro, che costituisce la seconda edizione di una prima andata rapidamente esaurita, raccoglie le conoscenze che lo CSELT ha sviluppato riguardo non solo ai principi tecnici ma anche a problemi, soluzioni, applicazioni,

stato della normativa e situazione nei diversi Paesi, il nostro compreso, sulla rete di accesso e di distribuzione per telecomunicazioni.

I curatori, Angelo Luvison e Federico Tosco, sono responsabili rispettivamente, delle Collaborazioni nell'Area della Società dell'Informazione e dei Servizi Mobili e Radio presso il Centro Studi e Laboratori Telecomunicazioni (CSELT). Entrambi hanno un'esperienza pluridecennale sulle reti e i sistemi di telecomunicazioni innovativi e su progetti di ricerca anche in collaborazione con i maggiori centri internazionali.

Il testo è suddiviso in tre parti: Architetture e sistemistica di rete; Sistemi ottici avanzati; Tecnologie e componenti ottici.

La Parte I è la più estesa e fornisce in sei capitoli una panoramica delle architetture e dei sistemi per la rete di accesso di telecomunicazioni, partendo dalle soluzioni tradizionalmente basate sul rame come mezzo trasmissivo. Considera poi gli sviluppi sistemistici più recenti che, in relazione ai nuovi servizi di telecomunicazione, vanno dalle reti integrate all'impiego delle fibre ottiche e all'accesso con il mezzo radio. Questa parte è corredata di un'appendice sui principali risultati dell'attività di normativa, svolta in sedi a carattere internazionale e riguardante la rete di accesso.

La scelta di limitare l'attenzione

al settore delle telecomunicazioni ha indotto a non considerare sistematicamente le reti per televisione via cavo, benché in diversi punti vengano citati sistemi, esperimenti e componenti per la distribuzione del segnale televisivo, con riferimento a un possibile scenario che vede integrati servizi e applicazioni tradizionalmente gestiti con reti separate.

Nella prospettiva di approfondire gli argomenti riguardanti le comunicazioni di tipo ottico, i due capitoli della Parte II sono rivolti ai sistemi più avanzati, ad esempio a quelli basati sull'impiego contemporaneo di più lunghezze d'onda. Questa tecnica costituisce un'apertura verso il campo della fotonica, in cui tutte le operazioni, essendo svolte nel dominio ottico, non

sono affette dall'inefficienza inerente alle conversioni elettroottiche.

La Parte III - di carattere tecnologico - descrive i componenti ottici sia passivi (fibre, cavi, giunti, accoppiatori) sia attivi (sorgenti, fotorivelatori e amplificatori ottici) che stanno alla base dell'evoluzione delle reti di accesso in fibra.

L'opera si rivolge al vasto pubblico di operatori nel campo delle telecomunicazioni: gestori, costruttori, ricercatori e studenti universitari. E certo essa è d'interesse per tutti coloro che intendono comprendere la natura dei profondi cambiamenti tecnologici che stanno alla base delle nuove reti di telecomunicazioni.

r.c.

