

7 Le reti ottiche

Con la tecnologia WDM si può aumentare notevolmente la capacità di una fibra. In questo modo per aumentare la capacità di una fibra non è più necessario mettere dei mux/demux con capacità elevate, ma basta mettere dei mux/demux TDM di capacità inferiore e moltiplicare in lunghezza d'onda i fasci TDM su di essa. Tutto ciò oggi si può realizzare grazie alla presenza degli amplificatori ottici EDFA che permettono di amplificare simultaneamente più canali ottici.

I singoli canali ottici sono moltiplicati nella fibra con i moltiplicatori WDM. Questi permettono una selezione precisa delle lunghezze d'onda con una bassa perdita di accoppiamento.

Con l'avvento di WDM quindi i costi per le apparecchiature sono diminuiti notevolmente e questo si può vedere anche facendo un esempio di un collegamento punto-punto.

Confrontiamo due sistemi di trasmissione formati entrambi da 16 trasmettitori e 16 ricevitori TDM SDH a 2.5 Gb/s, di cui uno è un sistema tradizionale e l'altro un WDM. La distanza che si deve coprire è di 600 Km e la capacità complessiva è di 40 Gb/s.

Nel sistema tradizionale occorrono 18 rigeneratori per fibra e quindi un totale di 272 rigeneratori, nel sistema WDM occorre innanzitutto una sola fibra invece di 16 e poi bastano 4 amplificatori EDFA posizionati ogni 120 Km oltre ai mux e demux WDM.

Il risparmio di risorse è notevole e in più nel sistema WDM è facilmente modificabile se si richiede una capacità ulteriore.

Fino ad ora quindi la tecnica WDM ha rappresentato soltanto un aumento della capacità di trasporto e un notevole risparmio nei componenti usati, le potenzialità di questa tecnologia ci fanno però intravedere l'uso per formare un vero e proprio strato di rete ottico WDM. Questo strato dovrà essere in grado di fornire tutte le

funzionalità date oggi da SONET/SDH e ATM già a livello ottico. Dovrà quindi gestire: le lunghezze d'onda come SONET/SDH fa con i circuiti virtuali, l'instradamento, la commutazione, protezione e tutte le altre funzionalità di management della rete.

Per realizzare ciò fa uso di dispositivi che andremo brevemente a spiegare nel prossimo paragrafo.

7.1 Le reti convenzionali

La rete di fonia

Dal punto di vista architetture, la rete di trasporto dei servizi di fonia, presente in Italia, utilizza la rete di trasporto nazionale che è organizzata su tre livelli gerarchici, denominati livello nazionale, livello regionale e livello locale. In questi livelli gerarchici sono compresi i portanti trasmissivi, i sistemi trasmissivi e le centrali di commutazione. La raccolta del traffico a livello locale si effettua negli SL (Stadi di Linea), a valle di un'eventuale concentrazione di linee effettuata nell'UCR (Unità di Concentrazione Remota). La commutazione locale si effettua negli Stadi di Linea, mentre il traffico non locale viene instradato verso lo SGU (Stadio di Gruppo Urbano) che raccoglie il traffico regionale. La commutazione tra SGU viene effettuata dalla rete magliata degli SGT (Stadi di Gruppo di Transito). La Fig. 7-1 illustra e integra quanto appena descritto.

Le reti dedicate per dati

Una rete che negli anni Novanta ha portato un buon ritorno economico a Telecom Italia è la CDN (*Collegamenti Diretti Numerici*), orientata all'affitto di linee dedicate. La richiesta sempre crescente di traffico dati affidabile e sicuro ha consentito uno sviluppo del mercato CDN presso la clientela affari. Nonostante l'affermazione di Internet e delle VPN (*Virtual Private Network*), la rete CDN continua ancora a costituire un'infrastruttura ben remunerativa e efficientemente utilizzata, consentendo di fornire linee affittate da 1,2 kbit/s a 2,5 Gbit/s. Inoltre, la rete CDN ha trovato grande giovamento, a partire dalla metà degli anni Novanta, dall'introduzione dei sistemi SDH e della rete di sincronizzazione nazionale, che hanno consentito d'innalzare la flessibilità della permutazione dei flussi anche a frequenze di cifra molto elevate, mantenendo altissime prestazioni di qualità del servizio offerto nel trasporto dei dati.

La rete IP

L'eventuale introduzione della tecnologia IP in una rete di trasporto nazionale potrebbe portare a notevoli migliorie, sia dal punto di vista della gestione delle risorse trasmissive sia da quello della gestione di rete, rendendo possibile la gestione della qualità di servizio e la realizzazione di politiche di tariffazione specifiche per i vari tipi di servizio forniti. Tali migliorie sono essenzialmente legate alla possibilità insita nel trasporto IP di sostituire le centrali di commutazione e gli *switch* ATM con i *router*. Attualmente alcuni gestori di reti pubbliche hanno avviato sperimentazioni, al fine di verificare l'effettiva realizzabilità di reti geografiche di trasporto basate sull'IP.

L'architettura di Telecom Italia della nuova rete per il supporto di IP sarà basata su una piattaforma costituita da 32 POP, che garantirà la gestione integrata di voce e dati consentendo un graduale abbandono della rete ATMosfera attualmente impiegata per il trasporto di IP.

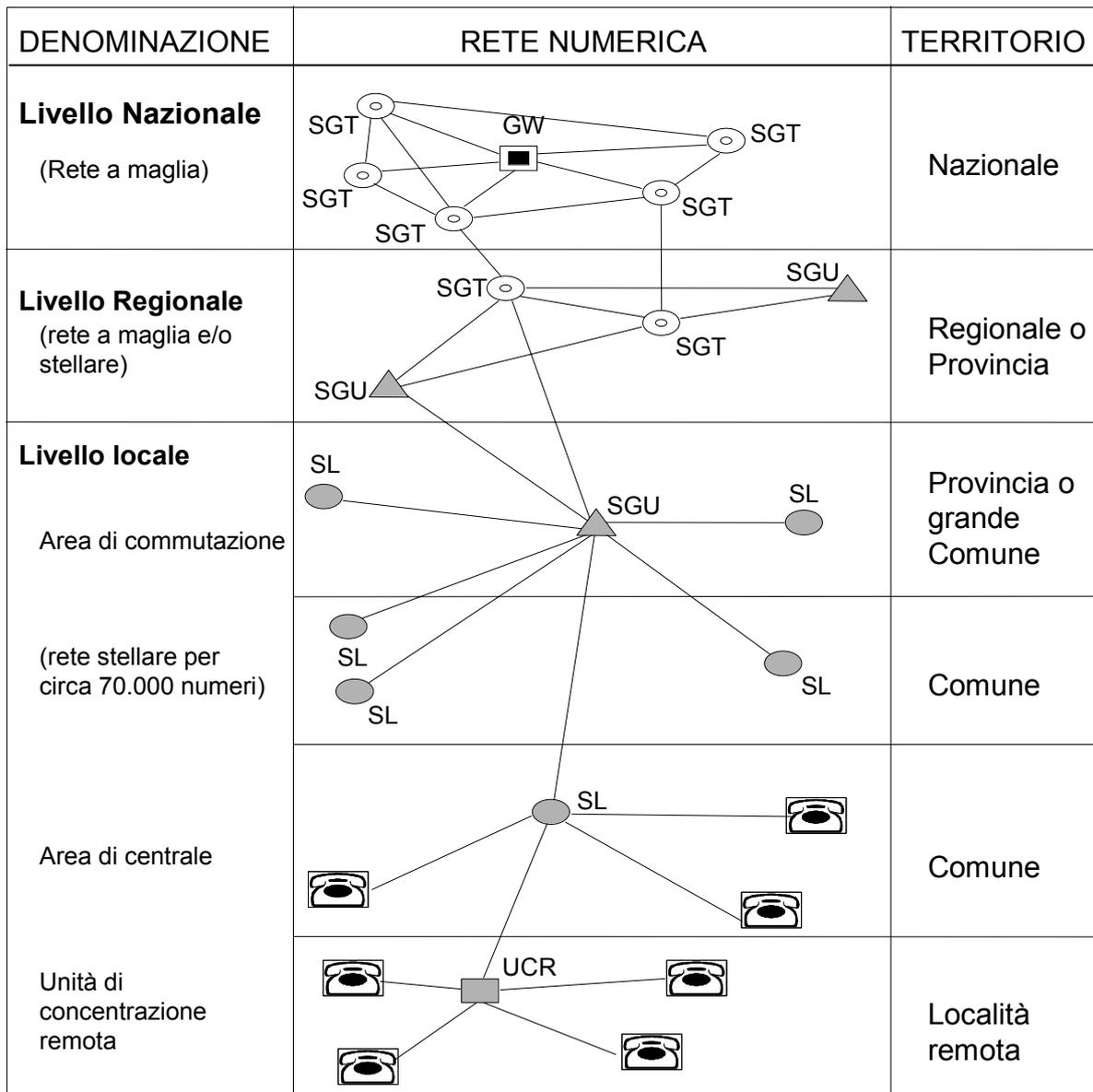


Fig. 7-1. La rete di fonia nazionale

7.2 Componenti ottici

Optical Couplers (Accoppiatori ottici)

Per raggruppare o separare lunghezze d'onda dentro o fuori un seganle WDM è richiesto un dispositivo ottico passivo il coupler. Un accoppiatore ottico dovrebbe demoltiplicare o moltiplicare tutte le lunghezze d'onda di un sistema WDM. Il segnale è diviso passivamente, la perdita di inserzione deve poi essere tenuta in conto per

calcolare la misura della distanza di un sistema ottico ; difatti generalmente i coupler sono preceduti o seguiti da amplificatori ottici per tener in conto di questa perdita.

Ciascun costruttore di dispositivi ottici usa approcci differenti per manipolare le lunghezze d'onda in ricezione e trasmissione. Alcuni separano la trasmissione e ricezione di lunghezze d'onda in fibre separate, altri usano bande differenti all'interno della stessa fibra.

Electrical Repeaters

I ripetitori elettrici sono ancora richiesti nelle long haul WDM, questo perchè ci sono deterioramenti causati dalla cascata di amplificatori così come il rumore che si accumula in tali cascate diviene così grande da essere corretto otticamente.

La rigenerazione elettrica è definita in tre livelli : 1R,2R, e 3R.

La 1R è “full transparent” essa prende semplicemente i segnali in ingresso e li amplifica, un esempio è l' EDFA . La 2R “digitally transparent” converte il segnale elettrico in ottico , rigenera l'impulso, e lo riconverte in ottico amplificandolo. Un esempio sono i transponders che accettano segnali in ingresso di qualsiasi protocollo non-SONET. La 3R “SONET” aggiunge la ritemporizzazione al processo per eliminare il jitter.

La maggior parte dei ripetitori elettrici usati in SONET/SDH WDM sono del tipo 3R. Come limite superiore della rigenerazione elettrica si può considerare 40 Gbps, questo sebbene sia il limite superiore del throughput della maggior parte dei sistemi WDM.

Alcuni costruttori di dispositivi elettronici, amplificano e rigenerano tutte le lunghezze d'onda come un gruppo, mentre altri fanno la rigenerazione elettrica su una lunghezza d'onda tramite principi sulla lunghezza d'onda.

Un costo maggiore dei sistemi WDM può essere la presenza dei rigeneratori elettrici che sono richiesti ogni 200-500 Km , ciò può essere evitato tramite il ridispiegamento asimmetrico dei trasmettitori e ricevitori di lunghezze d'onda. La capacità della lunghezza d'onda ottica può essere ancora presente nel sistema , ma

gruppi di date lunghezze d'onda in trasmissione o in ricezione non possono essere elettricamente amplificate insieme a ciascun nodo di una long haul WDM se soltanto una faccia dell'amplificatore elettrico è impiegata.

La gran parte delle long haul WDM correntemente impiegate sono progettate per supportare quasi esclusivamente reti SONET/SDH quindi i dispositivi di rigenerazione elettrica sono progettati per i frame SONET/SDH . Per questa ragione il framing SONET/SDH dovrebbe essere richiesto su queste reti per il prossimo futuro senza tener in conto se lo stro superiore di rete sia un SONET/SDH, ATM o IP.

Comunque con l'avvento dei sistemi Gigabit Ethernet WDM questo costo aggiuntivo della rigenerazione elettrica può essere fatto con gli switches GigaBit Ethernet connessi ai trasponder che fanno la rigenerazione 2R regolando i laser in uscita prima che siano mandati nell'accoppiatore WDM.

Transponders

I transponders sono dispositivi che convertono il segnale ottico proveniente da un router o da un altro dispositivo e producono un segnale ottico alla ITU corretta per essere inserito a un coupler ottico. Il transponders nella sua piu semplice forma, può soltanto essere un convertitore di lunghezze d'onda e può migliorare la conversione strettamente nel dominio ottico usando gating ottici o tecniche di wave-mixing senza rigenerazione o conversione ottico-elettrica.

Alcuni transponders sono “data transparent” e sono ideali per WDM Gigabit Ethernet

Ci sono transponders molto costosi usati in reti SONET/SDH che rigenerano e ritemporizzano i dati in ingresso dai router per uniformare la velocità di trasmissione dei della ret WDM.

I transponders servono anche come dispositivi di demarcazione , assicurano l'integrità della rete fornendo la “tenuta in vita “ del segnale e test di capacità.

Tornando in dietro si può dire che i transponders SONET/SDH possono essere usati come repeater nelle long haul WDM.

Gli OADM

Nella figura 7.1 riportiamo lo schema di un OADM, esso è un dispositivo che permette l'inserimento e l'estrazione di una lunghezza d'onda in/da una fibra. Attualmente sono dispositivi fondamentali e sono gli elementi essenziali delle reti ad anello.

Sebbene la tecnologia sia ormai in grado di fornire molteplici soluzioni allo scopo di aggiungere o spillare lunghezze d'onda, le configurazioni che si contendo il mercato in questo momento sono le seguenti. Il tipo più semplice di OADM è costituito da una coppia di multiplexer/demultiplexer, detti anche arrayed waveguide router (AWG), e da un numero di switch ottici 2x2 posti sui cammini delle lunghezze d'onda che devono essere spillate o inserite (Fig 7.2 a).

Gli AWG altro non sono che accoppiatori a stella collegati da un array di guide con differenti cammini a formare un grating in grado di separare le lunghezze d'onda provenienti dal segnale WDM di ingresso. Tutto il dispositivo è costruito in tecnologia planare su di un substrato semiconduttore.

Il problema di questa tipologia di OADM è insito nelle perdite di inserzione, di solito intorno ai 5 dB, dovute essenzialmente all'accoppiamento tra fibre e guide; il loro utilizzo risulta vincente nelle situazioni in cui si è di fronte a un numero elevato di lunghezze d'onda essendo tali perdite più o meno costanti lungo tutto il range di interesse. Inoltre non sono presenti incrementi di perdite dovute a configurazioni in cascata, presenti invece negli OADM, trattati successivamente, basati su grating e su filtri a film sottile.

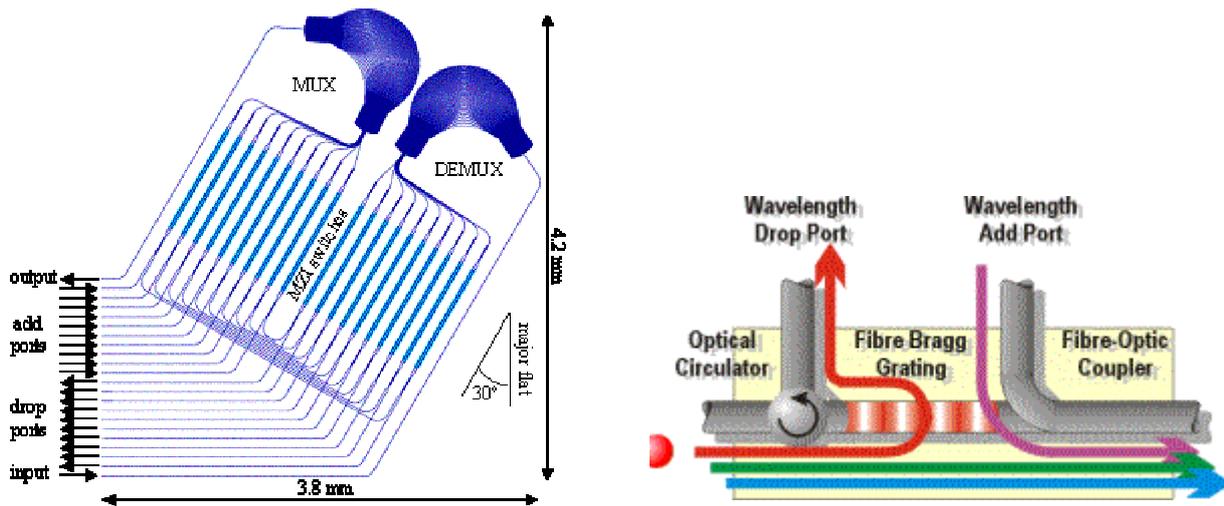


Fig 7.2: a) OADM-AWG b) OADM-FBG

Come già accennato in precedenza, un'altra soluzione comunemente utilizzata fa uso di grating di Bragg in fibra (FBG) e circolatori (Fig.7.2 b). I FBG, generati in fibra tramite esposizione a luce laser modulata in intensità attraverso l'interferenza di due fasci, risultano trasparenti alle lunghezze d'onda che devono solo transitare, quindi non introducono degradazioni sui corrispondenti segnali, e possono essere accordati variando il passo del reticolo per via termica o meccanica. I grating sono di per se stessi dispositivi a banda stretta, quindi ideali per filtraggi in sistemi DWDM; se opportunamente costruiti possono raggiungere facilmente una riflettività del 99%. Il fattore limitante proviene dalle perdite introdotte dai circolatori, che si stimano nell'ordine dei 0.5-1 dB, i quali hanno il compito di separare la lunghezza d'onda riflessa da quelle incidenti, in ogni caso le limitazioni risultano meno stringenti rispetto al caso precedente, se la situazione di sistema prevede l'utilizzo di un numero ristretto di lunghezze d'onda, ed inoltre può essere adottata una configurazione con gratings in cascata in modo da limitare il numero di circolatori e quindi le perdite da essi introdotte (a patto di non eccedere con la cascata). C'è comunque bisogno di un controllo di temperatura molto preciso.

Gli OXC

Nella figura 7.3 riportiamo lo schema di un OXC.

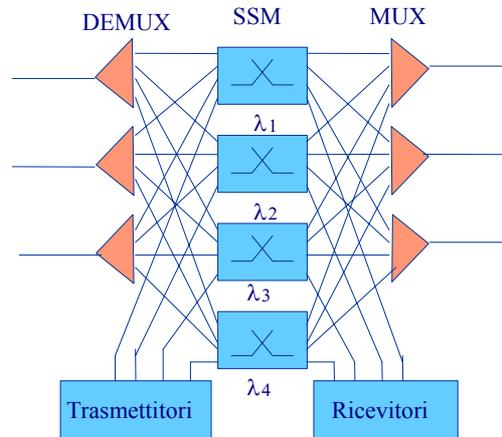


Fig. 7.3: schema di un Optical Cross Connect (OXC)

Anche la struttura di uno switch router potrebbe essere basata su OXC. Infatti i flussi informativi trasportati su alcune lunghezze d'onda, che dovrebbero solo transitare in un nodo, potrebbero essere semplicemente instradati nelle opportune direzioni in uscita mediante gli OXC. In tale dispositivo, le lunghezze d'onda che arrivano in una porta di ingresso sono smistate e inviate nelle opportune porte di uscita. In questo modo si realizza un funzionamento LFE a livello ottico.

In questi processi si suppone che la commutazione di pacchetto avvenga sempre a livello elettrico nel senso che tutte le operazioni come la lettura dell'indirizzo, il confronto con le tabelle di instradamento ecc... avviene sempre a livello elettrico. L'instradamento può avvenire anche a livello ottico, ma su flussi in cui l'incapsulamento è già avvenuto in precedenza realizzando un trasporto di pacchetti su una certa lunghezza d'onda. In questo caso è la lunghezza d'onda che può essere instradata, mediante ad esempio un OXC, ma non viene effettuata una analisi sul singolo pacchetto. Diciamo che con questo metodo si tende comunque a ritrasformare una commutazione di pacchetto in una commutazione di circuito.

Gli OXC, permettono la connessione dei nodi in una rete a maglia, che dal punto di vista IP è la topologia che permette di raggiungere le migliori prestazioni. Infatti in questo modo al pacchetto è data la possibilità di avere più percorsi prima di giungere alla destinazione finale. Tuttavia, occorre tener presente che, specialmente a livello locale o metropolitano, la struttura di una rete è tipicamente ad anello o a bus. Un altro vantaggio della tecnica WDM è che a livello logico si può trasformare una rete ad anello in una rete magliata.

7.3 WDM Network, accesso multiplo.

Le reti ad accesso multiplo differiscono da quelle per broadcast per un aspetto principale: l'accesso multiplo offre un accesso bidirezionale casuale, ovvero gli utenti non solo ricevono, ma possono anche trasmettere ad ogni altro utente della rete.

Il servizio telefonico rappresenta un esempio di tale sistema.

La maggiore limitazione a queste tecniche è che ogni nodo della rete deve essere capace di elaborare l'intero traffico, per questo motivo è difficile superare valori di 10 Gb/s, soprattutto per limitazioni inerenti i circuiti elettronici.

L'uso del WDM permette un nuovo approccio nel quale, nel campo della lunghezza d'onda stessa, si provvede alle operazioni di instradamento, commutazione e distribuzione di ogni canale al proprio destinatario, tali sistemi sono detti completamente ottici (all optical network AON).

I sistemi WDM utilizzati per l'accesso multiplo sono detti WDMA (wavelength division multiple access).

I WDMA sono a loro volta suddivisi in due categorie principali : i sistemi single-hop e multi-hop.

La differenza fra i due sistemi consiste nel fatto che nei single-hop tutti i nodi della rete sono direttamente connessi tra loro, realizzano quindi una rete completamente connessa, nei sistemi multi-hop invece i nodi sono solo parzialmente connessi, così il segnale per passare da un nodo all'altro deve spesso passare per altri nodi intermedi.

Sono state numerose le architetture multi-hop studiate in questi anni, la più famosa è senza dubbio la struttura ad ipercubo, utilizzata per interconnettere processori multipli in un supercomputer.

Un accoppiatore a stella è utilizzato per collegare tutti i nodi.

Ogni nodo della rete Lambda-net è equipaggiato con un unico trasmettitore che emette ad una sola lunghezza d'onda e con N ricevitori operanti ad N lunghezze d'onda, dove N è il numero dei nodi. Così ogni nodo riceve l'intero traffico e

realizza una rete completamente connessa e trasparente ai diversi bit rate e formati di modulazione.

Nel 1987 si riuscì a realizzare reti con 18 canali a 1.5 Gb/s con una capacità totale di 27 Gb/s. I canali possono essere trasmessi per oltre 57.8 Km senza un power penalty rilevante.

Le maggiori limitazioni alle prestazioni di questi sistemi sono dovute alla limitata disponibilità di lunghezze d'onda, inoltre ogni nodo richiede molti ricevitori (uguale al numero dei nodi), e ciò si traduce in un elevato costo della struttura Hardware.

Un ricevitore sintonizzabile può ridurre il costo e la complessità di una rete Lambdanet. Questo è il sistema sfruttato dalle reti Rainbow, le quali possono collegare più di 32 nodi ognuno dei quali trasmettono a 1 Gb/s per 10-20 Km, utilizzando una stella centrale passiva insieme ad una interfaccia parallela ad alte prestazioni. Un filtro ottico sintonizzabile è utilizzato per selezionare l'unica lunghezza d'onda associata con ogni nodo.

La limitazione principale allo sviluppo delle reti Rainbow è rappresentata dalla lentezza nella risposta dei ricevitori.

LE RETI PON

Le reti WDM che fanno uso di accoppiatori a stella passivi sono spesso chiamati PON (passive optical network) in cui ogni nodo riceve tutto il traffico eliminando la necessità di un commutatore attivo.

La stazione centrale contiene N trasmettitori che emettono alla lunghezza d'onda $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$ e N ricevitori a lunghezza d'onda $\lambda_{N+1}, \lambda_{N+2}, \dots, \lambda_{2N}$ per una rete con N utenti. Un nodo remoto (RN) multipla i segnali degli utenti e li invia alla stazione centrale la quale demultipla i segnali per ogni canale.

I sistemi PON possono essere utilizzati solamente per reti locali ed in area metropolitana (MAN), questo perchè i nodi non possono essere più di 100 per il fatto che dobbiamo usare una lunghezza d'onda per ogni canale. Più strutture MAN possono essere però interconnesse tra loro per realizzare una rete in area estesa (WAN wide area network) che rappresenta la base per una rete nazionale.

Per far fronte a questa esigenza è stato avviato lo sviluppo di una rete cosiddetta PON (passive optical network) basata sulla tecnologia ATM (figura 1). La tecnica ATM consente di trasferire in modo integrato tutti i tipi di traffico in una singola infrastruttura. Qualunque sia la sua origine, l'informazione è trattata nei nodi di accesso ATM dove è trasferita in pacchetti (celle) di lunghezza fissa, indipendente dalla velocità di cifra dell'informazione della sorgente. Queste celle sono commutate in rete e possono essere trasmesse su qualsiasi tipo di portante (fibra ottica, ponte radio, ...) e, in ricezione, permettono di ricostruire l'informazione originaria.

Le PON a larga banda con tecnica di trasporto ATM (APON) sono fra i sistemi con maggiori prospettive di sviluppo per perseguire un impiego massiccio di fibre ottiche nella rete di distribuzione; esse, infatti, consentono una buona condivisione delle fibre fra gli utenti, con costi relativamente contenuti, prospettando, quindi, possibilità di offerta di servizi a larga banda alla piccola utenza affari ed alla utenza residenziale.

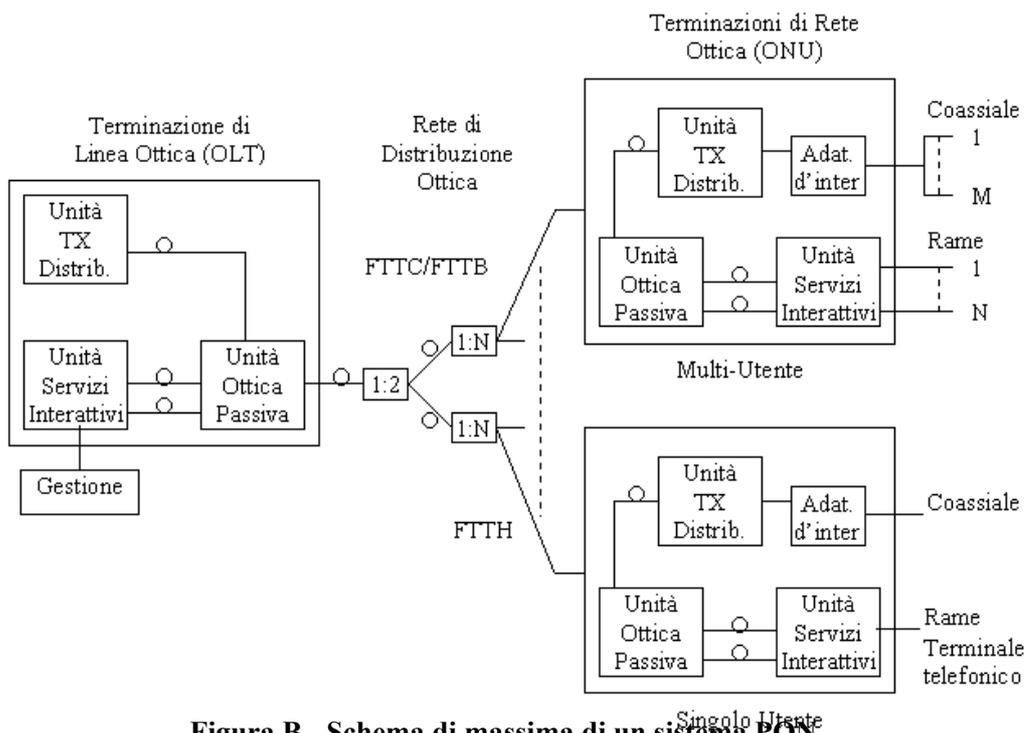


Figura B - Schema di massima di un sistema PON

Fig. 7.4: schema di rete PON

I sistemi punto-multipunto sono quindi in grado di supportare servizi interattivi e/o distributivi. La stessa rete ottica PON è impiegata in taluni casi per il trasporto contemporaneo dei segnali ottici relativi ad entrambi i servizi, generati da differenti sistemi di ricetrasmisione ottica. In figura 1 è mostrato uno schema di massima di un sistema PON atto al supporto dei servizi POTS e della televisione.

La fibra ottica utilizzata è quella monomodale, che offre prestazioni decisamente migliori di quella multimodale, in termini di dispersioni, rumore modale e banda offerta.



Figura 7.4 - Uso di modulo WDM per trasportare i segnali in entrambe le direzioni, su lunghezze d'onda differenti

Nella rete PON si utilizzano accoppiatori simmetrici che suddividono egualmente sui rami d'uscita il segnale in ingresso. Lo stesso albero può essere utilizzato per trasportare i segnali in entrambe le direzioni, su lunghezze d'onda differenti o sulla stessa lunghezza d'onda. Nel primo caso, i due segnali sono inseriti o estratti dalla fibra di connessione tra l'albero e la terminazione, utilizzando nella terminazione un moltiplicatore a divisione di lunghezza d'onda (Wavelength

Division Multiplexer), come mostrato in fig. 7.4. Le due lunghezze d'onda impiegate sono di 1300 e 1530 nm, corrispondenti alla seconda e alla terza finestra della fibra.

8 LE INFRASTRUTTURE DI RETE IN ITALIA

In questo paragrafo si presenta lo stato delle infrastrutture di telecomunicazioni in Italia con particolare riguardo a:

- rete di backbone nazionale (rete di trasporto sia dell'incumbent che degli altri operatori);
- rete di giunzione cittadina (anelli ottici cittadini, interconnessi con i backbone nazionali di diversi operatori);
- rete di accesso (ultimo miglio: dagli stadi di linea urbani alle abitazioni e alle unità produttive).

8.1 Considerazioni generali

L'Italia ha avuto negli ultimi anni un grande impegno per la larga banda, e, a parte le statistiche che riguardano il numero delle connessioni a larga banda, occorre dire che l'Italia è il primo paese europeo in cui è entrata in funzione la telefonia di terza generazione ed è il primo paese in Europa a porsi un obiettivo preciso per la conversione totale del sistema televisivo su tecnologie digitali, fissandone il termine ultimo entro la fine del 2006.

Per quanto riguarda le infrastrutture di rete fissa, le connessioni in fibra ottica continuano a crescere: ammontavano a circa 5,4 milioni di chilometri di fibra posata alla fine del 2001, ed hanno toccato quota 6,4 milioni alla fine del 2002 (4.6 milioni di chilometri nella rete dorsale e 1.8 milioni in quella di giunzione). E' una crescita significativa (+13,5%) ma inferiore rispetto a quella (+22,9%) del periodo 2001/2000. In particolare, è aumentato il peso dell'ultimo miglio nell'economia del broadband. La crescita delle dorsali è invece fortemente rallentata ed è a un livello che per gli analisti è ormai fisiologico, perchè legato quasi esclusivamente alle operazioni di manutenzione e aggiornamento della rete. Ciò è testimoniato anche dal fatto che i lavori di scavo per la realizzazione fisica dei backbone sono sensibilmente calati: quasi 4.200 chilometri di strade "lavorati" nel 2002 contro i circa 17.200 del 2001.

Nonostante la diffusione della fibra sul territorio sembri abbastanza omogenea se vista a livello di macroregioni (Nord Ovest, Nord Est, Centro e Sud/Isole), in realtà la situazione è ben diversa se la si esamina più in dettaglio. Dai 122 chilometri di fibra per mille abitanti del Centro si passa ai 107 del Nord Ovest, ai 103 del Nord Est per scendere decisamente ai 65 di Sud/Isole.

In sostanza, esiste una disparità nella disponibilità di banda potenziale per abitante. Tale disparità è legata alle politiche di sviluppo delle reti seguite dagli operatori concorrenti all'ex incumbent (che è presente in maniera omogenea sul territorio), i quali hanno ovviamente privilegiato le aree a maggior densità di utenza potenziale.

Per quanto riguarda la telefonia di terza generazione H3G è oggi in Italia l'unico operatore che offre servizi UMTS alla clientela, grazie ad una rete di accesso radio UMTS a standard 3GPP che conta alla fine del mese di giugno del 2003 circa 3200 stazioni radio base; detta rete assicura la copertura di gran parte dei capoluoghi di regione in chiaro anticipo rispetto al 30 giugno 2004, data prevista per la loro copertura dalla licenza. Va sottolineato il forte impulso alla realizzazione della rete che si è ottenuto dalla fine del 2002 con l'applicazione del decreto legislativo 198/02.

8.2 Rete backbone italiana

Sul backbone, strato infrastrutturale a monte della rete di accesso, già prima del 1998 erano presenti diverse reti alternative a quella dell'incumbent (es. Autostrade, Ferrovie dello Stato, Snam ed Enel), realizzate prevalentemente in fibra ottica con finalità diverse dalla fornitura di servizi di TLC al pubblico. Queste infrastrutture, i cui costi sono stati già ammortizzati furono una importante piattaforma per il paese. Negli anni passati la rete dorsale ha avuto una grande crescita per la presenza di nuovi operatori. Nella figura 3.1 riportiamo le reti in fibra ottica dei 3 principali operatori italiani.

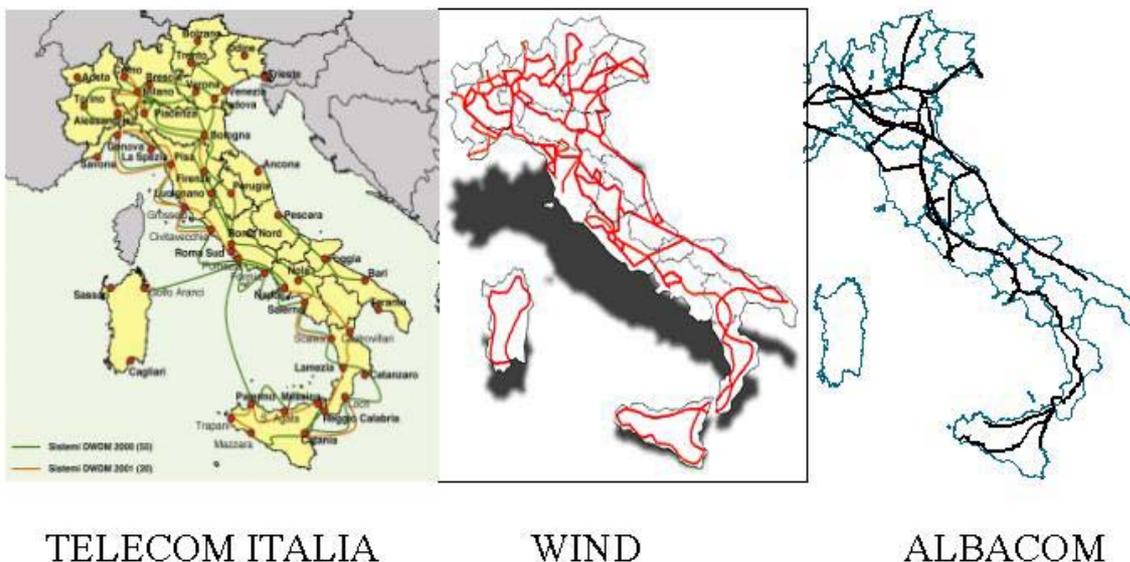


Fig. 8.1: le reti dorsali dei principali operatori di telecomunicazione italiani

La rete di trasporto è composta essenzialmente dai sistemi SDH a 2.5-10 Gbit/s. Negli ultimi anni sono stati installati i più moderni sistemi utilizzando la tecnologia WDM, che consente di incrementare notevolmente la capacità disponibile su ogni singola fibra ottica, utilizzando fino a 64 lunghezze d'onda sulla stessa fibra.

Telecom Italia sta completando un'evoluzione della propria rete di dorsali, realizzando anelli ottici ad alta capacità di trasporto (80 Tbit/s). L'architettura finale sarà basata su una piattaforma IP con 32 POP, che garantirà la gestione integrata di voce e dati; non saranno comunque penalizzati gli operatori che vorranno continuare ad utilizzare l'attuale infrastruttura ATM per i dati.

La trasformazione della rete backbone è stata stimolata dalla bassa efficienza e dagli elevati costi gestionali della rete esistente, ingegnerizzata per la banda stretta e non per gestire in digitale voce e dati integrati. In totale, il backbone di Telecom Italia è costituito da 86.000 Km di cavi ottici (2,7 milioni di cavi di fibra).

Per quanto riguarda gli altri principali operatori:

- Wind-Infostrada ha una dorsale nazionale in fibra ottica, costituita da 18.000 Km di cavo, realizzata per rendersi autonoma da Telecom Italia e che sfrutta parte delle infrastrutture acquistate dalle Ferrovie dello Stato;
- Albacom possiede una delle più capillari reti di trasporto a lunga distanza esistenti in Italia, che si estende per circa 7,500 km ed è collegata al backbone Paneuropeo di BT. L'azienda sta potenziando tale infrastruttura attraverso la rete della sua società Basicstel, che utilizza cavo aereo sugli impianti di alimentazione elettrica della rete ferroviaria. La rete Basicstel è equipaggiata con tecnologia DWDM in grado di trasportare su singola fibra fino a 40 diverse lunghezze d'onda ciascuna con capacità di 2.5 Gbps. Albacom è in grado di offrire qualunque tipo di servizio dati, voce ed Internet attraverso le proprie reti di telecomunicazioni fisse. Riguardo ai servizi di trasmissione dati l'affidabilità della rete, in caso di guasto è garantita dalla prestazione degli switch ATM e Frame Relay di reinstradamento automatico delle connessioni. I router ad elevate prestazioni con protocollo IP/MPLS forniscono servizi integrati internet ed a valore aggiunto (come le VPN IP/MPLS) per connettività dati ad alta velocità, trasmissione di informazioni multimediali ed Internet. L'accesso ai servizi voce, dati ed IP può avvenire in maniera tradizionale, attraverso circuiti affittati, dial up o ISDN, oppure con la tecnologia xDSL. In questo caso, oltre ad usufruire di tutti i servizi di fonia e di trasmissione dati, il cliente è in connessione permanente ("always on") alla rete IP di Albacom. In particolare l'architettura xDSL di Albacom combina apparati di rete (quali broad band access gateways e servers) con speciali dispositivi, denominati integrated access device, collocati direttamente presso il cliente. Tale soluzione offre la possibilità di usare contemporaneamente diverse connessioni telefoniche

ed una linea dati ad alta velocità sfruttando come risorsa fisica un unico doppino in rame. Albacom ha due Internet Data Centres (IDC) (Roma and Milano) che offrono servizi di hosting e housing di hardware e software, per ottimizzare la creazione di applicazioni avanzate e la gestione delle piattaforme tecnologiche. Gli IDC Albacom, noti per la loro affidabilità, sicurezza e connettività a larga banda, sono gestiti da personale altamente qualificato, disponibile 24 ore su 24.

8.3 Rete di giunzione.

Negli ultimi anni le infrastrutture di reti cittadine si sono arricchite grazie all'ingresso di nuovi operatori, quali ad esempio: Wind-Infostrada, Albacom, Edisontel, Atlanet ed e.Biscom.

Molti di questi operatori hanno in corso impegnativi programmi di infrastrutture di rete di giunzione, che si affiancano a quelle di Telecom Italia, nei principali centri urbani (anelli ottici cittadini) con lo scopo principale di servire anche a breve termine le utenze affari, in quanto immediatamente redditizie. Tali infrastrutture vengono generalmente realizzate laddove le condizioni di mercato risultano più favorevoli e, quindi, spesso si sovrappongono, sia tra loro, sia rispetto alla rete di Telecom Italia.

La rete di giunzione è realizzata in prevalenza con anelli in fibra, utilizzando le tecnologie SDH (Synchronous Digital Hierarchy) e LAN estesa con interfacce GBE (GigaBit Ethernet).

8.4 Rete di accesso

In Italia prima del 1998, anno in cui per il mercato delle telecomunicazioni è stata avviata la liberalizzazione, l'infrastruttura di rete di accesso, nota anche come “ultimo miglio” o “local loop”, aveva caratteristiche peculiari rispetto ai maggiori paesi europei ed agli USA, in quanto realizzata dall'incumbent attraverso un'unica tecnologia, il rame.

L'iniziativa di realizzazione di una rete alternativa per la fornitura di servizi diffusivi a larga banda (piano Socrate) con fibra ottica e cavo coassiale (FTTC) è stata successivamente bloccata dall'incumbent, che ne aveva attivato la progettazione e la realizzazione, alla luce dei vantaggi di costo della soluzione satellitare.

In questo modo non si è più realizzata quella infrastruttura in cavo coassiale che in altri paesi, a causa della preesistente TV via cavo, è stata il principale fattore abilitante al passaggio della larga banda. Dopo la liberalizzazione del mercato, sono state realizzate opere infrastrutturali con tecnologie diverse dal rame, in particolare utilizzando la fibra ottica.

La rete in rame di Telecom Italia costituisce l'unica vera infrastruttura di accesso attualmente disponibile in Italia.

In termini generali si tratta di una rete di buona qualità. La qualità della rete di rame potrà rimanere buona però solo se saranno effettuati gli investimenti necessari in manutenzione. Telecom Italia nel 2001 ha effettuato investimenti sulla propria struttura di accesso per circa 200 milioni di Euro per interventi sul rame.

La rete di accesso in rame dispone attualmente di 45,8 Milioni di rilegamenti di utente sui quali sono attive 27 Milioni di linee. La percentuale di occupazione della rete è quindi pari al 58,9 %.

La lunghezza media di un rilegamento d'utente è pari a 1.5 km. La rete primaria in rame è costituita di norma da cavi sotterranei (in canalizzazione o direttamente in trincea) da 400-2400 coppie, mentre la rete secondaria è costituita da cavi sotterranei da 10-400 coppie o da cavi aerei da 10-200 coppie. In Italia l'utilizzo della rete in rame per l'applicazione delle tecnologie di compressione del segnale (xDSL) è favorita proprio dalle caratteristiche qualitative della rete:

- la sezione del rame, inferiore solo a quella della rete Tedesca;
- la lunghezza dei doppini: più il doppino è corto più l'efficacia della decompressione del segnale è elevata (a velocità di 640 Kbit/s la distanza massima per il funzionamento delle tecnologie xDSL è 4 Km; a velocità di 1,5 Mbit/s si riduce a 3 km).
- In Italia oltre l'80% dei doppini ha una lunghezza inferiore ai 2 km, un dato che non trova riscontro in altri paesi europei.

Dal confronto fra i dati riportati, si evince che sarebbe possibile fornire flussi ADSL a 2 Mbit/s a più dell'80% delle utenze.

ADSL è ormai distribuito nella totalità dei capoluoghi di provincia e nella stragrande maggioranza dei comuni con più di 10.000 abitanti, sia pure con evidenti squilibri regionali; è invece pressoché assente nei Comuni con meno di 10.000 abitanti, dove pure risiede circa un terzo della popolazione italiana (dati ISTAT censimento 2001) [4].

A questo si aggiunge l'abituale dislivello tra Centro-Nord e Sud e Isole. La copertura media in Italia è del 64% della popolazione, ma nel Centro raggiunge il 76% e nel Nord Ovest il 65%, per precipitare al 58% del Sud e al 57% delle Isole. Il quadro è però ancora più contrastato se si scende a livello regionale: vale la pena di osservare che esistono vere e proprie sacche di esclusione anche al Nord, in particolare nelle aree montane (Valle d'Aosta e Trentino sono tra le ultime cinque regioni d'Italia per popolazione raggiunta con rispettivamente il 45 e il 47%). Con coperture inferiori al 40% della popolazione chiudono la classifica il Molise, la Basilicata e la Calabria, penalizzate dall'alta percentuale di residenti in piccoli centri.

La copertura dei Comuni con più di 10.000 abitanti si attesta in tutta Italia su livelli superiori al 75%, con punte massime del 100% ed una media nazionale dell'88%. Quando invece ci si sposta nei Comuni sotto i 10.000 abitanti, ADSL è disponibile soltanto per il 15% della popolazione. Tuttavia

vi è un radicale peggioramento man mano che si procede da Nord a Sud: in Piemonte e Lombardia è raggiunto il 23% degli abitanti nei piccoli Comuni, in Emilia il 29%; ma già in Toscana siamo sotto il 15%, Lazio, Abruzzo, Molise e Sardegna non arrivano al 10% e Calabria, Puglia, e Sicilia oscillano fra l'1,5 ed il 4%.

Anche se l'utilizzo delle tecnologie xDSL è il metodo più semplice per l'introduzione veloce della larga banda, per l'Italia l'uso della fibra è comunque considerato un fatto strategico per esser pronti alla transizione rame-fibra. Ritardi in questo senso sarebbero difficili da rimediare con soluzioni a medio termine.

Telecom Italia in rete di accesso ha ad oggi installato 406 mila Km di fibra; la lunghezza media dei collegamenti tra centrale e utilizzatore finale è inferiore ai 2 km. Tuttavia, Telecom Italia dichiara di non avere l'intento strategico, almeno per i prossimi tre anni, di portare la fibra ottica a tutti i cittadini e a tutte le aziende, e quindi di non avere in programma investimenti tali da innescare un processo significativo di sostituzione del rame con la fibra. Telecom Italia possiede anche strutture civili (rete di cavidotti) risalenti al progetto Socrate, per un totale di 7.300 Km/tracciato. La rete Socrate può essere un'opportunità per accelerare il livello di copertura delle città con la fibra ottica, e può costituire quindi un asset al fine dello sviluppo della fibra ottica in rete di accesso, necessario per l'Italia nel medio lungo periodo.

L'unica rete di accesso in fibra ottica alternativa presente ad oggi in Italia, che mira a raggiungere porzioni significative di clienti residenziali, è quella di e-Biscom.

La rete in fibra ottica di E-biscom è una rete a larghissima banda, di telefonia, di trasmissione dati, di televisione interattiva (videocomunicazione) e on demand, in grado di servire dalla grande azienda fino alla famiglia. La tecnologia chiave è l'IP, l'Internet protocol, la trasmissione di pacchetti che consente di trattare allo stesso modo una voce digitalizzata, un video digitalizzato e la trasmissione dati. Nel marzo del 2000 la rete ha iniziato a funzionare sulla città di Milano, proponendosi come completamente alternativa a quella di Telecom Italia. La rete è oggi presente e funzionante a Milano, Torino, Genova, Roma e Napoli, anche se la copertura in alcuni casi non è ancora completa. Lo sviluppo supera i 6 mila chilometri, con 300 mila appartamenti raggiunti in questo momento.

WIND ha creato collegamenti diretti in fibra ottica in alcune nicchie geografiche (cablatura di utenza business). Nel 2000 Wind ha dichiarato di aver stanziato 2 Miliardi di Euro per realizzare anelli ottici urbani broadband.

La grande difficoltà incontrata dagli OLO per creare reti alternative è rappresentata dallo scavo, che ha un'incidenza significativa in termini di costi, l'80% dell'investimento, e di tempi (permessi e

autorizzazioni). Le criticità sulle attività di scavo sono emerse in diversi contesti territoriali provocando attriti tra gli operatori ed i comuni e/o le municipalizzate.

A giugno 2003 i collegamenti a larga banda disponibili in Italia erano 1.721.000, di cui 975.000 erano linee DSL Telecom Italia, 65000 i collegamenti satellitari e 127 000 quelli in fibra.

9. Verso le reti ottiche tlc intelligenti

In questo capitolo riportiamo quali sono i principali passi tecnologici che porteranno alla realizzazione di reti di telecomunicazione completamente ottiche. Verranno esaminate in particolare quelle tecniche che tenderanno ad ottimizzare il trasporto dell'informazione di tipo IP e si focalizzerà l'attenzione su quella parte della rete del trasporto che opera nell'ambito metropolitano, rete spesso denominata di "raccolta". Vedremo in particolare che questa rete tenderà ad essere realizzata con anelli ottici con trasmissione di tipo WDM, utilizzando tecniche di trasporto IP molto più semplici ed economiche di quelle SDH. Inoltre ci sarà sempre più una gestione della rete basata su un indirizzamento effettuato in particolari aree o domini della rete, denominato Multi Protocol Label Switching (MPLS) con una gestione delle risorse effettuata in maniera dinamica (Automatic Switched Optical Networks e Generalized MPLS, GMPLS). Inoltre nel futuro ci sarà anche l'introduzione della conversione di frequenza che permetterà di limitare la congestione della rete e di migliorare il ripristino in caso di guasti.

9.1 L'evoluzione della rete

La caratteristica della rete del trasporto è che sta divenendo sempre più una rete tutta "ottica" nel senso che non solo è ottica la trasmissione dei segnali ma diverrà ottico anche il processamento dei segnali stessi. Sono ormai presenti precise normative che descrivono come deve essere realizzata una Rete di Trasporto Ottica (OTN, Optical Transport Network) ed in particolare la definizione della OTN è formulata nella raccomandazione ITU-T G.872.

Sia nelle reti dorsali che nelle reti di raccolta le tecniche ottiche hanno avuto un ruolo fondamentale sin dagli inizi degli anni novanta e negli ultimissimi anni si è assistito all'installazione di sistemi con capacità sempre più alta sia singolo canale (10 Gbit/s) che multicanale (WDM).

E' certo che oggi le capacità che sono disponibili nella attuali reti sono sicuramente di gran lunga superiori alle esigenze del traffico attuale, ma la struttura di queste reti potrebbe essere non adatta a sopportare le esigenze del traffico del futuro specialmente se vi sarà, come si spera, una forte diffusione della larga banda a casa dell'utente. Due sono infatti gli aspetti che le future reti di telecomunicazioni dovranno prendere in considerazione: il forte incremento di banda totale e la natura del traffico che sarà completamente diversa da quella del traffico telefonico. Attualmente le reti sono basate sulla commutazione di circuito ma l'assegnazione di connessioni a larga banda è una operazione lenta che può richiedere anche dei giorni. Questa caratteristica non è stato un

problema fino ad oggi in quanto il traffico trasportato dalle reti era essenzialmente telefonico e quindi con un comportamento costante nel tempo. Ma con l'avvento di Internet e con la diffusione della larga banda, le reti attuali potrebbero avere grossi problemi e sicuramente dei grossi costi perché per supportare dei picchi di traffico intensi ed istantanei le capacità dei collegamenti dovrebbero essere fortemente sovradimensionate. Oggi si è quindi diffusa la convinzione che le nuove reti di telecomunicazioni dovranno essere realizzate con la presenza di tecniche in grado di assegnare banda in maniera rapida e automatica per rispondere in maniera molto efficiente alla richiesta degli utenti. Sulla base di queste considerazioni ci si aspetta, non nell'immediatissimo futuro, ma nel giro di qualche anno una profonda rivoluzione che colpirà tutta la rete del trasporto. Questa rivoluzione avverrà sotto diversi aspetti, non necessariamente disgiunti tra loro, ma tutti con due fattori comuni: profondo inserimento delle tecniche ottiche e paradigma di riferimento basato sul protocollo IP. E' certo che la realizzazione di una rete idonea a sostenere le comunicazioni Internet potrà permettere come prima conseguenza un forte risparmio per gli utenti. Secondo la nostra visione l'evoluzione della rete avverrà in tre campi distinti che sono:

- i) Collegamento tra nodi;
- ii) piano di controllo della rete;
- iii) processamento del segnale.

In questo rapporto descriveremo tutte le tecniche che dovrebbero essere utilizzate nelle reti del futuro. In particolare nella sezione 2 descriveremo quali sono i punti più importanti della rete del trasporto ottico, intesa sia come rete di giunzione che come rete dorsale, nella sezione 3 ci concentreremo sul problema del trasporto IP, nella sezione 4 affronteremo il problema del piano di controllo ed in particolare considereremo la tecnica GMPLS, nella sezione 5 descriveremo il funzionamento completo delle future reti ottiche, con particolare riferimento alla rete di raccolta e le conclusioni verranno riportate nella sezione 6.

9.2. Principali esigenze e caratteristiche della rete del trasporto ottico

- i) Collegamento tra i nodi

I collegamenti tra i nodi sfrutteranno in gran parte i collegamenti in fibra ottica già esistenti e l'incremento della capacità avverrà mediante l'introduzione sia di sistemi singolo canale con capacità più elevate (10 Gbit/s e 40 Gbit/s) e di sistemi WDM. Verranno utilizzate tecniche particolari per adattare le fibre già presenti alle esigenze dei nuovi sistemi come ad esempio la

compensazione della dispersione cromatica nelle fibre G.652 e l'amplificazione ottica in banda L nelle fibre G.653. Tuttavia non sono escluse anche installazioni di nuovi cavi, come mostrato dalla stessa Telecom Italia (Notiziario Tecnico Telecom Italia, aprile 2001), che avverranno per due precise ragioni: da una parte l'uso di nuove fibre, denominate G.655, realizzate proprio per sistemi WDM ad alta capacità, dall'altra per la realizzazione di topologie che permettono una protezione migliore. In questo modo si assisterà alla realizzazione di un certo numero di anelli anche in area dorsale.

Per quanto riguarda i formati di trasmissione, si cercherà di utilizzare tecniche più semplici e soprattutto più economiche dell'SDH (o SONET). Poiché questo è un argomento molto dibattuto e al momento sono presenti molte soluzioni, le tecniche del trasporto del traffico internet verranno descritte in dettaglio nella sezione successiva.

Possiamo qui premettere che una buona soluzione è data dalla trasmissione GigabitEthernet (GBE), che ha un costo di gran lunga inferiore all'SDH. L'unico grosso inconveniente è che la GBE non può essere utilizzata per collegamenti superiori ai 70 km. Per questo è probabile che mentre in area metropolitana si assisterà ad una profonda installazione di sistemi GBE, nell'area dorsale sarà ancora l'SDH ad avere un ruolo preminente. Tuttavia oggi è presente una nuova proposta che prevede la mappatura di segnali numerici diversi all'interno di una stessa struttura numerica a cui si è dato il nome di canale ottico (Och, Optical Channel). L'Och non ha limitazioni intrinseche in termini di distanza. Per fare un paragone con il mondo dei trasporti possiamo dire che l'Och è l'equivalente di un traghetto, mentre il treno è l'SDH e gli autoveicoli sono altri formati più semplici come la GBE. Possiamo concludere che le future reti nazionali saranno costituite da un insieme di reti; in ogni rete circoleranno segnali adatti alle caratteristiche della rete stessa, per esempio WDM-GBE in area di raccolta, SDH in aree regionali. Le reti avranno poi delle interfacce comunicanti con segnali Och permettendo il trasferimento dei segnali locali senza necessità di una profonda elaborazione nelle interfacce stesse.

ii) Piano di controllo

Come detto in precedenza una delle caratteristiche fondamentali delle reti di nuova generazione sarà quella di poter fornire una assegnazione di risorse, o banda, in maniera automatica e dinamica per far fronte alle esigenze del traffico internet. Attualmente vi sono due proposte di architettura che sono la Generalised Multi Protocol Label Switching (GMPLS), definita nell'ambito dell'Internet Engineering Task Force (IETF), e la Automatic Switched Optical Network (ASON), definita in ambito ITU-T [1-2].

I principi dell'architettura GMPLS risiedono nella tecnica MPLS, ormai ben consolidata, che permette l'instradamento dei pacchetti in maniera più efficiente grazie alla creazione di domini in una rete all'interno del quale l'indirizzamento è effettuato grazie ad una particolare etichetta numerica aggiunta al pacchetto stesso. Con la diffusione del WDM si è capito che l'MPLS aveva una immensa potenzialità perché l'etichetta poteva essere sostituita dal colore di un canale. Questa tecnica di indirizzamento ottico prende il nome di MPλS (Multi Protocol Lambda Switching) e presenta il grosso vantaggio che i circuiti elettronici dei routers possono essere sostituiti da dei semplici filtri ottici. Nella tecnica MPλS un pacchetto, in linea di principio può saltare da un nodo all'altro fino alla destinazione finale, senza essere mai processato a livello elettronico.

Con la architettura GMPLS si fa un altro grande passo avanti perché si propone di trattare nella stessa rete segnali con caratteristiche diverse (SDH, GBE, TDM, WDM).

L'aspetto più rilevante della architettura GMPLS/ASON è che permette una assegnazione automatica di banda, che avviene mediante una verifica da parte del piano controllo sullo stato delle risorse tra i nodi e permette di instaurare i collegamenti in tempi dell'ordine dei secondi.

Queste operazioni avvengono mediante uno scambio di informazioni che può essere gestito a livello centralizzato (overlay model) o periferico (peer model).

Si prevede che proprio un controllo efficiente, come quello proposto da queste architetture, potrà ridurre l'installazione di nuovi sistemi di trasmissione con capacità sempre più alte, ma anche più costosi, senza perdere però la qualità del servizio anche in presenza di un continuo incremento di banda. Grazie a questo si prevede che nel futuro il costo per bit potrebbe profondamente diminuire permettendo un abbassamento dei costi all'utenza. Dettagli sulla architettura GMPLS verranno dati nella sezione 4.

iii) Processamento del segnale

E' ormai ben consolidato che un risparmio dei costi di gestione della rete potrà avvenire se il processamento del segnale sarà sempre più fatto a livello ottico. Oggi questo già parzialmente avviene con i sistemi WDM, in cui grazie ai dispositivi Optical Add Drop Multiplexer (OADM) i canali ottici vengono inseriti ed estratti dalla rete. Gli OADM sono dispositivi base per gli anelli ottici e la ricerca sta cercando di far drasticamente scendere il loro prezzo. Un'altra classe di dispositivi per le nuove reti sono gli Optical Cross Connect (OXC) che sono dispositivi che permettono lo scambio di segnali all'interno di matrici con moltissime porte. Nelle reti del futuro i nodi saranno connessi tra loro realizzando diverse topologie, e per ragioni di ripristino e instradamento è certo che dovranno avere molti ingressi/uscite. Lo smistamento del traffico avverrà mediante un solo OXC localizzato all'interno di ogni nodo. Attualmente gli OXC sono già

commerciali ma il loro prezzo è ancora proibitivo, ma si prevede un costo accettabile nel giro di un paio di anni.

Un altro dispositivo chiave sarà il convertitore di frequenza che dovrà permettere il cambiamento del colore del segnale secondo le esigenze di traffico, di congestione della rete e di ripristino. I convertitori sono ancora dispositivi in fase di ricerca.

Infine un altro dispositivo chiave per la rete ottica di trasporto è il rigeneratore ottico 3R che è quello che permette di “ripulire” un segnale. Il 3R sta ad indicare 3 processi che devono avvenire sul segnale e che sono l’amplificazione, la risagomazione dell’impulso e l’eliminazione delle fluttuazioni nel tempo. E’ il dispositivo che attualmente vede con maggiore distanza la sua commercializzazione.

9.2.1 Principi generali delle reti di telecomunicazione del futuro

Come già detto nella introduzione, la realizzazione di reti IP di nuova generazione potrebbe essere basata su alcune tecniche ottiche che negli ultimi anni hanno mostrato come immense quantità di informazioni possono essere trasmesse in collegamenti molto lunghi. Tra queste tecniche, la trasmissione di segnali multiplati in lunghezza d’onda è certamente quella più interessante. In particolare quando si utilizza una spaziatura tra canali adiacenti inferiore ad 1 nanometro la tecnica è denominata Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM). Attualmente, si è dimostrato che per sistemi punto-punto un centinaio di canali possono essere trasmessi su distanze transoceaniche, mentre quando la distanza è ridotta al centinaio di chilometri il numero può essere molto più alto, specialmente utilizzando una riduzione della spaziatura tra canali adiacenti a 25 GHz. Questi successi nei sistemi punto-punto hanno aperto la strada verso lo studio di reti di telecomunicazioni basate su DWDM. In particolare nel campo delle reti di trasporto si è visto che l’utilizzo della moltiplicazione WDM, oltre a permettere un profondo incremento della capacità di trasmissione, permette anche di realizzare efficacemente alcune funzioni come l’*adding*, il *dropping* e il *routing*. Inoltre è stato dimostrato che, utilizzando la tecnica WDM, la congestione del traffico può essere limitata, specialmente quando si utilizza il processo della conversione di frequenza mediante i convertitori ottici. L’interesse per il DWDM per reti ottiche di tipo IP deriva dal fatto che i pacchetti potrebbero essere direttamente instradati su opportune lunghezze d’onda che potrebbero rappresentare una sorta di indirizzo. Nella figura 1 schematizziamo il funzionamento che dovrebbe avere uno switch router per reti IP over WDM.

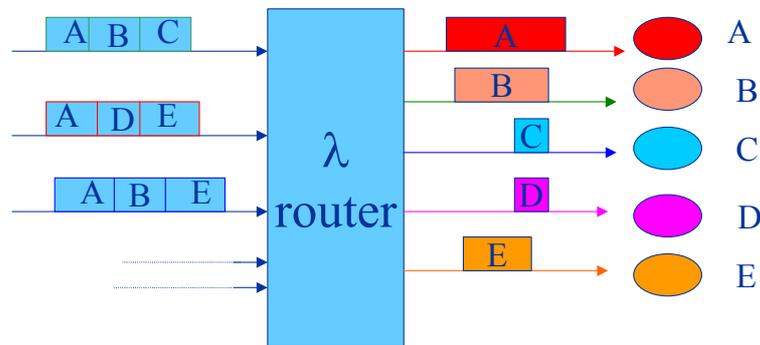


Fig. 9.1: ipotetico schema di uno switch router per reti IP over WDM

I pacchetti con destinazioni A, B, C..., provenienti da altri nodi, arrivano all'ingresso di uno switch router WDM. In tale router i pacchetti aventi la stessa destinazione vengono convogliati su una lunghezza d'onda che in pratica rappresenta l'indirizzo della destinazione. Quella che abbiamo ora descritto è certamente una rete molto innovativa, ed è basata sul cosiddetto Optical Packet Switching (OPS), che comunque è una tecnica che non sarà disponibile nell'immediato futuro, poiché gli switch ottici ancora non sono così veloci. Per questo nell'immediato futuro le reti di telecomunicazioni saranno ancora basate sostanzialmente su una commutazione di circuito, effettuata comunque in maniera dinamica come descritto nella sezione 2. Viceversa una strada alternativa, certamente molto affascinante, che potrebbe essere percorsa è quella di mantenere il principio della commutazione di pacchetto a livello ottico, il che significa un processo in cui il pacchetto transita nel router sempre a livello ottico, ne viene letto l'indirizzo e viene quindi instradato, senza mai essere riportato al livello elettrico.. Sfortunatamente la tecnologia è ancora lontana dalla possibilità di realizzare la commutazione di pacchetto a livello ottico a causa della difficoltà della elaborazione tutta ottica e dalla lentezza che i commutatori ottici ancora hanno rispetto al tempo di bit dei segnali oggi utilizzati o di quelli che si pensa di utilizzare nei prossimi anni. Oggi è stato dimostrato come realizzare in maniera efficace una soluzione ibrida elettro-ottica per la commutazione di pacchetti che trasportano informazioni ad altissima frequenza di cifra (10 Gbit/s o 40 Gbit/s) in cui il riconoscimento dell'indirizzo è fatta a livello elettrico, mentre l'instradamento è fatto a livello ottico. Ciò è ottenuto realizzando pacchetti in cui l'header è

caratterizzato da un basso bit rate, mentre il payload presenta una frequenza di cifra molto più elevata.

Attualmente siamo in una fase in cui la commutazione è ancora di tipo a circuito e pur essendo ormai il traffico prevalentemente a pacchetto, le lunghezze d'onda tendono ad essere utilizzate per creare dei percorsi preferenziali. Come riportato nella introduzione, tre sono i temi di ricerca per le infrastrutture di telecomunicazione: il trasporto IP (IP over WDM), il piano di controllo intelligente (GMPLS) e il processamento ottico. A questi 3 temi dedichiamo i successivi 3 capitoli.

9.3. Il problema del trasporto IP (IP over WDM)

Vediamo ora di vedere più in dettaglio come le reti dovrebbero essere sviluppate per permettere un trattamento più efficiente del traffico IP. La trasmissione dell'informazione di tipo Internet è basata sulla trasmissione di pacchetti con protocollo IP (Internet Protocoll). Attualmente i pacchetti IP non sono inviati direttamente nel supporto fisico, ma necessitano di un trasporto che avviene su più livelli. La tecnica di trasporto più utilizzata consiste nell'imbastimento dei pacchetti IP in celle ATM, celle che poi vengono inserite in una trama SDH o SONET. Tale metodo è generalmente denominato come *IP over ATM over SDH (Sonet)*. Questo metodo risulta comunque inefficiente poiché nel passaggio dall'IP all'ATM e quindi alla trasmissione SDH, devono essere inseriti diversi bytes di controllo e questo comporta uno spreco di risorse. Da questa considerazione nasce quindi l'esigenza di pensare ad appropriate tecniche che permettano la realizzazione di reti per una più efficiente trasmissione dei pacchetti IP.

Un altro aspetto delle reti IP è che esse presentano delle caratteristiche in termini di traffico totalmente differenti da quelle di una rete telefonica; in particolare il traffico IP può essere fortemente asimmetrico e presenta un comportamento frattale (presenza di forti picchi). Alla luce di queste brevi considerazioni anche il trasporto su SDH o SONET, progettato fondamentalmente per il traffico telefonico, può risultare non idoneo per reti IP. Il trasporto SDH (SONET) per traffico IP può essere visto come una rete ferroviaria che per supportare efficacemente un numero di viaggiatori, che varia molto fortemente nel tempo, utilizza sempre convogli molto lunghi, con il risultato che molto spesso i vagoni potrebbero risultare del tutto vuoti. Un'altra considerazione è data dal fatto che nei sistemi SDH (SONET), per ovviare al problema della rottura della fibra si utilizza una fibra di riserva (protezione), con il risultato che le risorse sono sfruttate solo al 50%. Un'ultima considerazione riguarda il problema della protezione e del ripristino che sono funzionalità presenti e ben operanti nella metodologia SDH, ma rischiano di essere ridondanti nella trasmissione IP. Infatti in quest'ultima, grazie alla aggiunta del protocollo Transmission Control Protocol (TCP),

è già presente una protezione che, tra le altre cose, permette un nuovo instradamento nel caso di rottura del collegamento tra due nodi [3].

In base a queste considerazioni, una rete IP dovrebbe avere la possibilità di utilizzare una banda di trasmissione variabile nel tempo secondo le esigenze del traffico, ed in particolare secondo la direzione del traffico. In secondo luogo i servizi dovrebbero essere distinti secondo le loro caratteristiche di “qualità” e trasmessi con differenti priorità. Per esempio un’alta qualità è richiesta per le comunicazioni telefoniche su IP (o addirittura video), in cui i pacchetti debbono arrivare entro un certo intervallo di tempo. In terzo luogo si dovrebbe utilizzare un formato più semplice di quello SDH.

Una tecnica di trasmissione che permetterebbe di avere delle caratteristiche idonee al traffico IP è quella del Wavelength Division Multiplexing (WDM) che negli anni ha mostrato come flussi dell’ordine del Terabit al secondo possono essere trasmessi su distanze transoceaniche.

L’interesse per il WDM per reti ottiche di tipo IP deriva dal fatto che i pacchetti potrebbero essere direttamente instradati su opportune lunghezze d’onda che potrebbero rappresentare una sorta di indirizzo. Vedremo che ovviamente la gestione di un simile meccanismo è assai complessa e alla commutazione IP a livello ottico si arriverà per fasi successive, cercando sostanzialmente di eliminare degli strati intermedi tra IP e WDM. Così si passerà dalla tecnica *IP over ATM over SDH (SONET) over WDM*, alla *IP over SDH over WDM* ed infine alla *IP over WDM*.

9.3.1 Generalità sulla commutazione di tipo IP

Le comunicazioni di tipo IP sono trasmissioni basate su una commutazione di pacchetto di tipo datagramma. Questo significa che un messaggio è composto da una serie di pacchetti che per giungere alla destinazione finale possono saltare da un nodo all’altro facendo strade diverse. Questo metodo di trasmissione è stato sviluppato dalla ARPANET che a partire dal 1960 era stata incaricata dal Dipartimento della Difesa degli Stati Uniti d’America di realizzare una rete di calcolatori che fosse in grado di comunicare anche in presenza di un attacco atomico. A partire dagli anni ’80 l’ARPANET, introducendo la commutazione di pacchetto con il nuovo protocollo IP, realizzò una potentissima rete di calcolatori, denominata *Internet*, che permetteva lo scambio di diversi tipi di informazioni. Da allora il numero di connessioni è cresciuto in maniera esponenziale. Questo metodo di trasmissione è molto efficiente per le trasmissioni dati e si è largamente diffuso poiché supporta delle applicazioni molto utili come la posta elettronica, il File Transfer Protocol (FTP) e il World Wide Web (WWW) [3]. Un altro vantaggio fornito da questa trasmissione è la semplicità con cui ogni calcolatore può attaccarsi ad una rete IP, in quanto il protocollo IP non

dipende dal tipo di strato fisico. A questo va aggiunto il fatto che è ormai disponibile anche la trasmissione di servizi che si servono tipicamente di una commutazione di circuito come ad esempio la telefonia e le trasmissioni televisive.

Attualmente la comunicazione di tipo IP ha superato come importanza un altro tipo di commutazione a pacchetto che è quella ATM (Asynchronous Transfer Mode) i cui dettagli verranno descritti nel paragrafo 3.3. Come vedremo il trasporto mediante ATM, che è un metodo che presenta oggi un livello tecnologico molto avanzato, può anche essere utilizzato per il trasporto degli stessi pacchetti IP. E' da tener presente che il traffico IP è stato sinora trasportato dalle convenzionali reti telefoniche, ma poiché il traffico dati sta divenendo sempre più pesante di quello vocale, si intuisce che per una efficiente gestione del traffico IP oggi sarebbe importante la realizzazione di reti dedicate al traffico dati.

I pacchetti IP a differenza di quelli ATM, presentano una lunghezza di tipo variabile, con una lunghezza che può oscillare tra il centinaio e le migliaia di byte. Il pacchetto per arrivare alla destinazione finale deve attraversare una serie di dispositivi, detti *routers*. I routers possiedono in genere più ingressi e più uscite e in tal modo sono in grado di collegare gli utenti mediante una rete densamente magliata. Ciascun router possiede una tabella di instradamento, che in funzione dell'indirizzo posseduto dal pacchetto, è grado di inviare il pacchetto su una sua uscita. Le tabelle dei routers sono aggiornate in modo da gestire in maniera efficiente il transito nella rete e far fronte ad eventuali congestioni o guasti.

Il protocollo IP presenta alcune caratteristiche che potrebbero produrre alcuni problemi per una efficiente rete di telecomunicazione; in particolare IP di per se è "senza connessione" (mancanza di segnalazione prima della trasmissione del pacchetto), non presenta un metodo di correzione di eventuali errori avvenuti durante la propagazione del pacchetto e non permette la ritrasmissione dei pacchetti persi. Tuttavia queste limitazioni possono essere evitate se al protocollo IP si aggiunge un protocollo di controllo, e quello più noto è il TCP. Attualmente la maggior parte delle trasmissioni di tipo IP sono controllate dal TCP, e quando si parla di IP in realtà spesso si intende il TCP/IP. Una importante conseguenza del TCP/IP è che quando si invia un pacchetto si è certi che esso arriverà alla destinazione finale, poiché non appena il pacchetto arriva a destinazione, il destinatario invia un pacchetto al mittente indicando la corretta ricezione. Se il mittente entro un certo tempo non riceve tale segnalazione significa che il pacchetto è andato perso e si può pensare quindi alla sua ritrasmissione.

Il TCP/IP presenta altri metodi di protezione e tra questi c'è il fatto che si evita ai pacchetti di vagare per tempi troppo lunghi nella rete a causa di un qualche problema nel raggiungimento della destinazione finale, comportamento che potrebbe dar luogo ad intasamenti. Questo mal

funzionamento è evitato mediante un contatore interno al pacchetto che è incrementato ad ogni passaggio in un router; quando il contenuto del contatore raggiunge una certa soglia il pacchetto è cancellato dalla rete.

Attualmente sono presenti due versioni di protocolli IP non pienamente compatibili: la Ipv4 e la più recente Ipv6, e la differenza fra le due sta nel metodo di indirizzamento, nel senso che nella versione Ipv6 l'indirizzo può essere rappresentato con un maggiore numero di bit (128 anziché 32) e quindi permette in pratica un più alto numero di utenti, che cominciavano ad esser limitati nella versione Ipv4.

La versione Ipv6, rispetto alla versione Ipv4 ha anche altri vantaggi, e una tra le più importanti è quella di fornire alcune priorità nella trasmissione dei pacchetti. In particolare si possono distinguere servizi con priorità più alta (Quality of Service, QoS), che in caso di congestione avranno la priorità nella trasmissione. Occorre comunque osservare che senza l'aggiunta di un ulteriore protocollo in grado di riservare delle appropriate risorse, anche questa versione non sarebbe in grado di assicurare la effettiva trasmissione di un pacchetto con alta priorità. Un protocollo aggiuntivo che permette questa caratteristica è il RSVP (resource reservation).

I routers sono oggi macchine in grado di smistare migliaia di pacchetti al secondo con flussi complessivi dell'ordine del centinaio di Gigabit al secondo. Questi routers ad alta capacità hanno una struttura basata su matrici di commutazione che possono lavorare in maniera centralizzata o parallela. Nella attuale terminologia, questi routers, che presentano le uscite con flussi ad alto bit rate (622 Mbit/s o 2.5 Gbit/s), vengono chiamati *switches routers*, mentre il semplice termine router viene utilizzato per quei dispositivi a più bassa capacità destinati allo smistamento del traffico locale.

Negli switch routers si possono distinguere due metodi di instradamento: uno locale e l'altro centralizzato. Nell'instradamento locale i pacchetti hanno nella rete dei percorsi ben prestabiliti e quindi possono essere rilanciati con una semplice analisi dell'indirizzo, senza dover essere processati a livello centrale; in questo caso l'invio del pacchetto in un altro nodo è gestito a livello locale attraverso un dispositivo denominato LFE (Local Forwarding Engine) [4]. Nel caso più complesso l'analisi dell'indirizzo e il successivo invio deve essere fatto a livello centrale mediante il dispositivo MFE (Main Forwarding Engine). Configurando opportunamente la rete è quindi possibile mediante i dispositivi LFE rendere più rapido lo smistamento del traffico all'interno di una rete poiché il processo nell'LFE è molto più rapido che nell'MFE.

Prima di concludere questa parte introduttiva sul trasporto del protocollo IP riportiamo alcune informazioni su un tipo particolare di indirizzamento il cui principio è molto importante per i possibili utilizzi della tecnica WDM. Questo metodo di indirizzamento è denominato Multi

Protocol Label Switching (MPLS) ed è basato sulla creazione di domini costituiti da diversi nodi (switch routers) in cui sono individuati dei percorsi prestabiliti per i pacchetti. Quando un pacchetto arriva al bordo di tale dominio gli viene assegnata una particolare etichetta che gli permette di arrivare molto rapidamente alla destinazione finale all'interno del dominio.

9.3.2 Trasporto dei pacchetti IP e adattamento allo strato WDM

Dopo aver visto le principali caratteristiche del protocollo IP e le potenzialità offerte dalla tecnica WDM o DWDM, vediamo in questa sezione i principali metodi per trasmettere pacchetti IP, scartando il discorso della commutazione di pacchetto ottica, perché la tecnologia è ancora troppo lontana dalle esigenze che oggi la commutazione richiede. Prima di descrivere i più recenti metodi proposti per l'IP over WDM mostreremo le principali caratteristiche del metodo che è stato fino ad oggi più utilizzato per il trasporto IP e cioè l'*IP over ATM over SDH over WDM*. Vedremo poi i vantaggi di un'altra tecnica che si sta molto diffondendo e cioè la *IP over SDH* [6]. Entrambe queste tecniche possono essere utilizzate in un contesto WDM, anche se appare evidente come la prima risulti un po' inefficiente. Infine nella sez. 3.3 vedremo le principali proposte per l'*IP over WDM*.

Nell'ambito della tecnica IP over WDM occorre subito precisare che i pacchetti IP non possono essere inviati direttamente su un canale ma debbono comunque prima inseriti in un "telaio" necessario per alcune funzioni di base come la sincronizzazione in ricezione e il controllo degli errori. Questa intelaiatura può essere ottenuta mediante una trama più snella ma simile all'*SDH* (*SDH light* o *slim*) in modo da rendere compatibile la trasmissione con i diffusi sistemi *SDH* oppure può essere scelta una via del tutto diversa che potrebbe rispondere maggiormente alle esigenze del *DWDM*. Appartiene alla prima soluzione (*SDH light*) il metodo della *DPT* (*Dynamic Packet Transport*) proposto dalla *CISCO*, mentre sono attualmente presenti diverse proposte per la seconda soluzione e tra queste la trasmissione *Gigabit ETHERNET (GbE)*, il metodo *SDL* (*Simple Data Link*) proposto dalla *Lucent* e il metodo *DTM* (*Dynamic Synchronous Transfer Mode*) proposto dalla svedese *Net Insight*. Occorre comunque precisare che i metodi *DPT* e *DTM* introducono nuovi protocolli e hanno ripercussioni sulla struttura della rete utilizzata; ad esempio il *DPT* utilizza l'*SDH/SONET* come puro framing e un protocollo di tipo *MAC*, *SRP* (*Spatial Reuse Protocol*) per la gestione dei pacchetti IP ed inoltre fa riferimento ad una rete con doppio anello [7].

9.3.3 IP over ATM over SDH over WDM

In questa tecnica il contenuto dei pacchetti IP è suddiviso in pezzi che sono inseriti in celle ATM che dovranno presentare un indirizzo corrispondente al pacchetto IP di partenza. Questo passaggio tra l'IP e l'ATM avviene mediante uno strato di adattamento denominato ATM Adaptation Layer (AAL) e tra questi il più diffuso è l'AAL5. Le celle ATM sono quindi trasportate con la tecnica SDH (SONET) mediante metodi oggi ben consolidati. Il segnale SDH (SONET) può quindi essere inviato ad un trasmettitore ottico che opera ad una particolare lunghezza d'onda e l'insieme delle lunghezze d'onda trasmesse costituisce la trasmissione WDM. Utilizzando la tecnica ATM è possibile usufruire di alcuni vantaggi, ma come vedremo sono presenti anche molti svantaggi.

I vantaggi sono qui di seguito riportati:

- Alta velocità nel trasporto e nella commutazione una volta che i pacchetti vengono inoltrati.
- E' possibile un controllo dei flussi IP con garanzie di Quality of Service (QoS) e creare cammini diretti tra sorgente e destinazione.
- Trasformazione di reti IP locali in reti ATM operanti su aree geografiche.
- Protezione e affidabilità offerta dal trasporto su infrastrutture ATM e utilizzo di una tecnologia ormai ben standardizzata.

I principali svantaggi sono invece:

- Eccessivo overhead introdotto da AAL5 e ATM sui pacchetti frammentati, in quanto per trasportare un pacchetto IP occorrono alcuni pacchetti ATM, il che introduce troppo overhead. Studi hanno riportato che questa tecnica può comportare uno spreco di risorse fino al 22% rispetto al bit-rate del sistema SDH (SONET) [8].
- Le operazioni di spezzettamento e di ricostruzione del pacchetto IP (SAR, Segmentation and Reassembly) introducono complessità e ritardi, oltre che spreco di banda per via della trasmissione delle idle cells durante i tempi morti. E' da tener presente comunque che il problema dello spreco di banda è presente anche nella trasmissione SDH, poiché il segnale SDH è comunque trasmesso anche in assenza di pacchetti.
- Per ultima, ma non meno importante il costo della tecnologia ATM.

9.3.4 IP over SDH (SONET) over WDM

Le tecniche di trasmissione SDH (standardizzata in ambito ITU) e SONET (diffusa negli USA) sono attualmente le più diffuse poiché permettono multiplazioni nel dominio del tempo molto elevate. In particolare sono già sul mercato i sistemi a 10 Gbit/s (STM-64 per l'SDH e OC-192 per il SONET) e sono in fase di sperimentazione i sistemi a 40 Gbit/s. In base alle conclusioni del

paragrafo precedente si è dedotto che l'impacchettamento IP con tecnica ATM è poco efficiente a causa della presenza di un grosso overhead, e quindi si potrebbe pensare ad una trasmissione IP direttamente su SDH (SONET). E' da tener presente comunque che l'SDH (SONET) presenta una gestione meno flessibile rispetto all'ATM.

Nella trasmissione IP over SDH i pacchetti vengono incapsulati in pacchetti più grandi e gestiti mediante un protocollo denominato Point-to-Point Protocol (PPP). Tali pacchetti usano la struttura di trama tipo HDLC (High-Level Data Link Control), trama che ha come funzione principale quella della demarcazione dei pacchetti PPP nel collegamento sincrono tramite l'inserimento dei campi flags all'inizio e alla fine del pacchetto.

Sfortunatamente la trasmissione di pacchetti IP (e ATM) tramite SDH (SONET) genera alcuni problemi che sono stati comunque risolti mediante tecniche aggiuntive.

Il primo problema è che la trasmissione di pacchetti vuoti può determinare una perdita di sincronizzazione che può causare la perdita di segnale (LOS, Loss Of Signal) e di intelaiatura (LOF, Loss Of Frame). Ai fini di proteggere la trasparenza del payload dei pacchetti IP (ATM) e per evitare che le informazioni del payload replichino le sequenze di sincronizzazione dello scrambling SDH (SONET), si è aggiunto un altro scrambling, questa volta a livello di pacchetto, rispetto a quello normalmente presente nella trasmissione SDH (SONET). Si ricorda che la funzione di scrambling consiste nell'introduzione di un adeguato numero di transizioni 0-1 proprio per il recupero della sincronizzazione dal lato ricevente. Un altro problema è che l'SDH (SONET) non è intrinsecamente orientato per il multicasting, che è caratteristico dell'IP. Anche questo problema può comunque essere superato ricorrendo ad un protocollo, denominato MAPOS/POL (Multiple Access Protocol Over SONET/ Packet Over Lightwave).

Anche in questo caso, una volta generato il segnale SDH (SONET) è inviato ad un trasmettitore ottico che opera ad una certa lunghezza d'onda, ottenendo così una trasmissione di tipo WDM.

Vediamo quali sono i vantaggi della tecnica IP over SDH (SONET):

- Innanzitutto l'interoperabilità tra i routers dotati di scheda di rete SDH (SONET) con le tante diffuse reti SDH (SONET) già esistenti.
- Overhead contenuto rispetto a quello introdotto dall'ATM che si traduce in un throughput più efficiente. In pratica il flusso IP ha una perdita di efficienza del solo 6% rispetto al bit rate della trasmissione SDH (SONET) [11].

A questi si aggiungono i vantaggi propri della trasmissione SDH (SONET) e che sono validi anche per la tecnica IP over ATM over SDH (SONET) e cioè i meccanismi di protezione garantiti da fibre suppletive di protezione (reti ad anello) e dal meccanismo di Automatic Protection Switching

(APS), il ripristino efficiente e garantito in 50 ms, il monitoraggio continuo delle prestazioni per determinare la bontà del collegamento ed avviso in caso di LOS o LOF.

Per quanto riguarda gli svantaggi i principali sono dovuti al fatto che IP è fondamentalmente asincrono e quindi non richiederebbe una sincronizzazione così spinta. La conseguenza diretta è che nei sistemi SDH (SONET) ci può essere uno spreco di banda quando si verificano alcune condizioni di traffico IP. Altri svantaggi sono:

- SDH (SONET) non fornisce una allocazione dinamica delle risorse così come avviene nell'ATM e quindi ci può essere una perdita di pacchetti in presenza di un sovraccarico del sistema nei periodi di denso traffico.
- Non fornisce delle differenziazioni nella QoS, come conseguenza si ha che la QoS risulterebbe eccessiva per i servizi dati, ma limitata per esempio per la trasmissione telefonica su IP.
- Il traffico IP può essere fortemente asimmetrico tra due centrali (direzioni upstream e downstream) e SDH (SONET) non è ottimizzato per questo.
- Il meccanismo di delimitazione HDLC presenta criticità di funzionamento alle alte frequenze di cifra.

E' da tener comunque presente che ormai la tecnica IP over SDH (SONET) sta avendo una discreta diffusione. Tra i prodotti più diffusi ci sono quelli della CISCO con la sua proposta POS (Packet over SONET). Tra questi ricordiamo i routers della serie 12000 e 7500 [10].

9.3.5 IP direttamente su WDM

Nelle precedenti sezioni si è visto che tale strato di adattamento poteva essere del tipo ATM over SDH (SONET) o direttamente SDH (SONET). Abbiamo anche visto comunque che in generale queste tecniche aggiungono complessità e ridondanza. La ridondanza tra il protocollo IP e la trasmissione SDH è ad esempio nel fatto che l'IP di per se ha già un funzionamento di protezione.

Come già detto i pacchetti IP non possono essere trasmessi così come sono, cioè modulando direttamente la corrente di alimentazione di una sorgente ad una certa lunghezza d'onda (WDM), bensì è necessario uno strato di adattamento. Le principali funzioni, che deve presentare uno strato di adattamento, sono tutti quei processi necessari per la sincronizzazione del segnale in ricezione. Tali funzioni possono riassumersi nel framing e nello scrambling. Il framing è il processo con cui viene creata la trama in cui viene inserita l'informazione, mentre lo scrambling è il processo che consente di evitare nella trasmissione del segnale sequenze troppo lunghe di uni o zeri.

Uno strato di adattamento deve poi consentire la migrazione di alcune funzioni di protezione direttamente sullo strato WDM, funzioni che sono invece presenti nella trasmissione SDH. Bisogna

comunque osservare che la protezione SDH potrebbe essere rimossa considerando che la garanzia della trasmissione del pacchetto IP è data dal protocollo TCP/IP, tramite le funzioni di avviso di mancato arrivo del pacchetto. Per sfruttare meglio questa protezione una tipologia della rete di tipo a maglia è preferibile rispetto a quella ad anello, in quanto, nel caso di rottura di una fibra, risulterebbe più facile trovare un cammino alternativo.

Il processo di multiplexazione temporale dell'SDH (SONET) potrebbe risultare più semplice perché invece di utilizzare flussi TDM ad altissimo bit rate (10 Gbit/s o 40 Gbit/s), potrebbero essere utilizzati più flussi a diverse lunghezze d'onda con più basso bit rate (622 Mbit/s o 2.5 Gbit/s).

Le funzioni di comunicazione di servizio e di gestione denominate DCC (Data Communication Channel), che nell'SDH (SONET) sono contenute in appositi byte della trama, potrebbero essere trasmesse in un canale di servizio, utilizzando una particolare lunghezza d'onda, al limite ben al di fuori della banda del segnale WDM (1310 nm o 1510 nm).

Fatte queste premesse sulle caratteristiche principali che deve possedere uno strato di adattamento vediamo ora nel dettaglio alcune tecniche utilizzate per l'IP over WDM.

9.4. La tecnica GMPLS

Le reti trasmissive per dati della nuova generazione saranno costituite da elementi come routers, commutatori, sistemi DWDM, Add-Drop Multiplexer (ADM), cross-connect ottici (OXC), ecc. e utilizzeranno Generalized Multiprotocol Label Switching (GMPLS) per rendere disponibili dinamicamente le risorse e fornire "survivability" di rete usando tecniche di protezione e ripristino.

GMPLS presenta un unico piano di controllo distribuito per reti ed elementi eterogenei ed è in grado di supportare non solo dispositivi che realizzano commutazione di pacchetto, ma anche quelli che realizzano la commutazione nei domini del tempo, della lunghezza d'onda e dello spazio.

La tecnica GMPLS, o come spesso si indica ASON/GMPLS perché si basa sull'utilizzo di reti ottiche con commutazione automatica (ASON), permette essenzialmente di fornire delle connessioni in tempi veloci permettendo quindi una assegnazione di larga banda dinamica, in grado quindi di rispondere alle esigenze degli utenti. Presenta inoltre altri vantaggi come la conoscenza dello stato della rete in tempo reale, la veloce restaurazione in caso di guasto, e di effettuare il cosiddetto *traffic engineering*. Inoltre risulta particolarmente adatta a fornire servizi come la *bandwidth on demand* e le *optical virtual private networks*.

Il piano di controllo di GMPLS supporta un modello overlay, un modello peer e un modello ibrido, combinazione dei due precedenti. Il modello Overlay nasconde i dettagli della rete interna, risultando in due piani di controllo separati con minima interazione tra di loro. Un piano di controllo opera all'interno della rete ottica, e l'altro tra la rete ottica e i dispositivi circostanti di interfaccia che si trovano ai bordi della rete ottica (chiamati user-network interface, UNI). I dispositivi di interfaccia supportano percorsi ottici che sono segnalati dinamicamente attraverso la rete ottica o forniti staticamente senza vedere all'interno della topologia della rete. Questo è molto simile alle attuali reti che combinano IP e ATM. Nel modello Peer un solo piano di controllo si estende su un dominio amministrativo comprendente la rete ottica e i dispositivi di interfaccia ai bordi della rete ottica. Questo consente ai Service Providers di vedere la topologia della rete ottica attraverso i dispositivi di interfaccia. Un altro possibile approccio è il modello Hybrid che combina i modelli Overlay e Peer.

Il supporto di tipi aggiuntivi di commutazione ha portato GMPLS a estendere certe funzioni di base del tradizionale MPLS e, in alcuni casi, ad aggiungere funzionalità alla sua architettura originale. In particolare lo sviluppo di GMPLS richiede modifiche agli attuali protocolli di segnalazione e di routing, l'aggiunta di nuove funzionalità per superare determinate limitazioni del piano di controllo di MPLS, e l'introduzione di un nuovo protocollo come LMP. Queste possono essere elencate come segue:

- Arricchimenti ai protocolli di routing OSPF/IS-IS per rendere nota la disponibilità di risorse ottiche nella rete e altri attributi e vincoli di rete;
- Arricchimenti ai protocolli di segnalazione RSVP-TE e CR-LDP per scopi connessi all'ingegneria del traffico per permettere la segnalazione e l'instaurazione di percorsi anche esplicitamente specificati in canali ottici nelle reti di trasporto ottico;
- Nuovo protocollo LMP progettato per risolvere le questioni inerenti alla gestione dei link nelle reti ottiche.

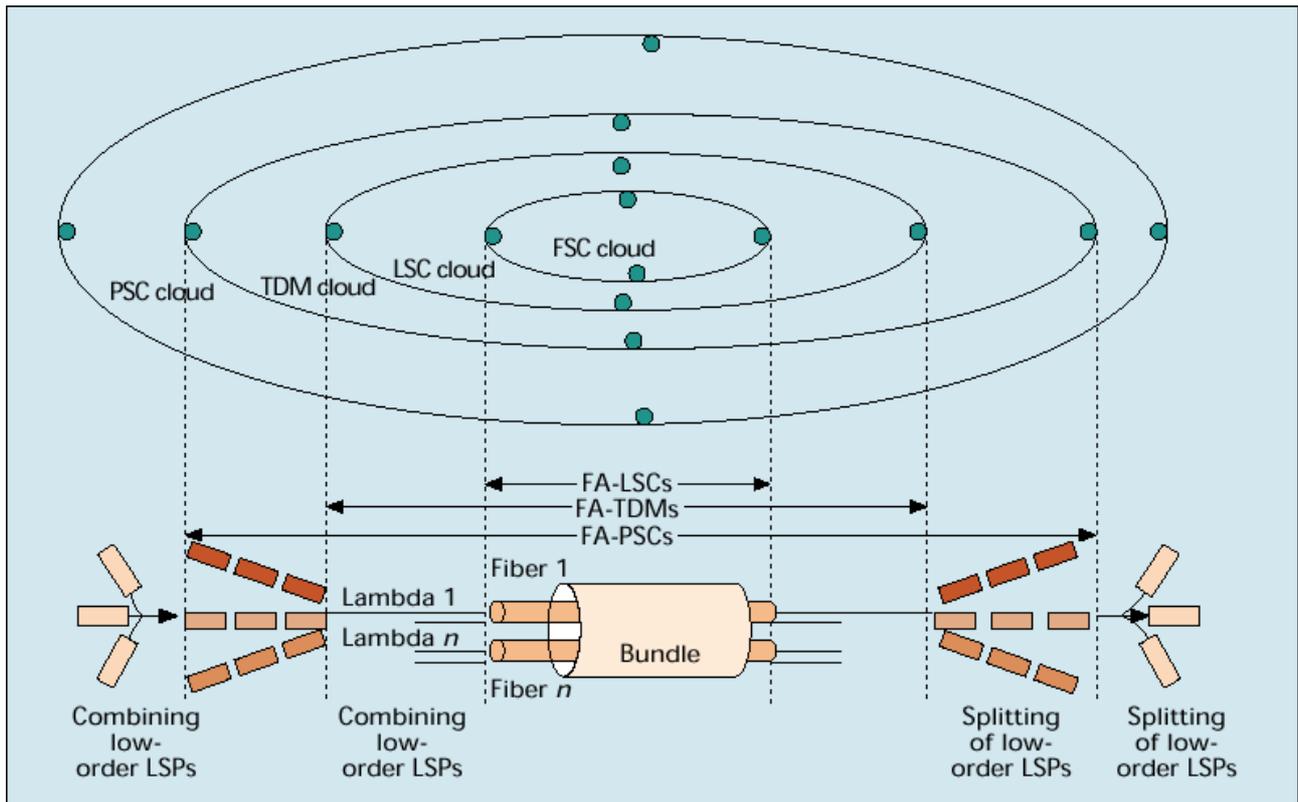
Nel seguito verranno presi in esame questi nuovi aspetti introdotti in GMPLS e verranno illustrati i meccanismi utilizzati in GMPLS per consentire la protezione e il ripristino in caso di guasti. In particolare si descriverà come vengono attivati i percorsi denominati Label Switched Path (LSP).

La gerarchia degli LSP

La tecnica GMPLS è basata sul trasporto dell'informazione attraverso un percorso denominato LSP e il GMPLS supporta il concetto di gerarchia di LSP, secondo il quale un nuovo LSP può essere incanalato o annidato all'interno di un LSP preesistente ma di ordine superiore in modo tale che quest'ultimo serva come collegamento lungo il percorso del nuovo LSP. Esiste una gerarchia naturale che detta l'ordine in cui gli LSP possono essere annidati gli uni dentro gli altri. Questa gerarchia è basata sulla capacità di moltiplicazione dei collegamenti da parte dei nodi. Si noti che gli LSP iniziano e terminano sempre su interfacce dello stesso tipo. In cima a questa gerarchia ci sono i nodi che hanno interfacce in grado di eseguire commutazioni di fibra (fiber-switch capable, FSC), seguiti da nodi che hanno interfacce in grado di eseguire commutazioni di lunghezza d'onda, (LSC), seguiti da nodi che hanno interfacce in grado di eseguire commutazioni di intervalli temporali TDM, seguiti da nodi che hanno interfacce capaci di eseguire commutazioni di pacchetto (PSC), (Fig.4). Seguendo questa gerarchia un LSP che inizia e termina su un'interfaccia PSC può essere annidato, insieme ad altri LSP, in un LSP di tipo TDM, cioè che inizia e termina su una interfaccia TDM. Questo TDM- LSP a sua volta può essere annidato, insieme ad altri TDM-LSP, in un LSC-LSP che inizia e termina su un'interfaccia LSC, che a sua volta può essere annidato (insieme ad altri LSC-LSP) in un LSP che inizia e termina su di un'interfaccia FSC.

Gli LSP figurano nel database di routing dei protocolli di link state IS-IS/OSPF come nuovi tipi di collegamenti. Grazie alle informazioni di segnalazione scambiate dai nodi attraverso la rete ogni nodo si costruisce al suo interno un identico link state database, che contiene le informazioni riguardanti non solo i link convenzionali con tutti i loro attributi, ma anche tutti gli LSP attivi. Dunque un nodo, quando realizza il calcolo di un percorso, è in grado di utilizzare non solo i collegamenti convenzionali, ma anche gli LSP che rispondono a determinati requisiti. Gli LSP che entrano nel dominio ottico da uno stesso nodo ed escono ancora da uno stesso nodo possono essere aggregati e incanalati all'interno di un singolo LSP ottico. Questa aggregazione aiuta a limitare il numero di lunghezze d'onda utilizzate nel dominio MPLS.

Il concetto di gerarchia di LSP è utile anche per affrontare la questione riguardante la natura discreta della banda ottica. Infatti mentre in MPLS gli LSP possono utilizzare per instaurare un percorso valori di banda presi da uno spettro continuo, l'allocazione di banda ottica si può effettuare solo da un set discreto e limitato di valori. Tuttavia quando un LSP ottico è considerato come un link, la banda di quel link non è più vincolata ad essere discreta. Per es. un LSP di MPLS da 100Mb/s che attraversa il dominio ottico può essere incanalato in un LSP ottico da 2.488Gb/s , lasciando liberi 2.388 Gb/s per altri LSP di MPLS che possono aggiungersi successivamente.



□ **Figura 9.2.** Gerarchia di LSP

Link bundling

Il numero complessivo di collegamenti in una rete ottica/TDM può essere di molti ordini di grandezza più grande di quello di una rete MPLS. Infatti l'uso di tecnologie come DWDM implica che si possono avere un elevato numero di link paralleli tra due nodi direttamente adiacenti (centinaia di lunghezze d'onda o persino migliaia di lunghezze d'onda se sono usate fibre multiple). Come conseguenza diretta anche il Link State Database, che è costituito da tutti i nodi e i collegamenti esistenti in una rete, insieme agli attributi relativi ad ogni collegamento (come indirizzo IP, costo, banda disponibile), assume dimensioni troppo elevate. Un numero così elevato di link non era stato considerato originariamente per un piano di controllo di IP o MPLS, così sono necessari alcuni lievi adattamenti di quel piano di controllo, se vogliamo utilizzarlo al meglio nel contesto GMPLS. È stato così introdotto il concetto di link bundling. Per risolvere questa questione aggregiamo gli attributi di collegamento di numerosi collegamenti paralleli aventi caratteristiche simili, e assegnamo questi attributi aggregati ad un singolo link affasciato (bundled link). In questo modo riusciamo a ridurre notevolmente la dimensione del link state database, ed aumentiamo la scalabilità del link state protocol. Nell'unificare gli attributi di molti collegamenti in uno solo

Fig. 9.2: schema di una rete tutta ottica. E' supposto che l'informazione trasportata da un canale può avvenire su una lunghezza d'onda che cambia durante il percorso.

Vediamo quali sono i passi fondamentali per la realizzazione di una rete, diciamo in ambito metropolitano, che connette un certo numero di nodi N ad alta capacità, che raccolgono i flussi informativi provenienti da utenti o da reti LAN.

I nodi dovranno essere connessi fisicamente da collegamenti in fibra ottica cercando di realizzare dei percorsi ridondanti per avere una buona protezione, per esempio con strutture tipo ad anello.

Su ciascuna fibra oggi è ipotizzabile l'uso di 64 canali ma con opportune precauzioni possono essere anche molte di più. Per quanto riguarda il metodo di trasporto IP, in base alle considerazioni del par. 3 possiamo concludere che la migliore trasmissione è quella con canali GbE a 1.25 Gbit/s.

Occorre osservare che un po' in tutto il mondo si stanno intraprendendo sperimentazioni di questo tipo di reti, e abbiamo potuto constatare come la ricetta appena riportata sia in genere rispettata. Tra i progetti più avanzati, nel campo delle reti IP over WDM, vale la pena di menzionare il progetto Canet2 che prevede il collegamento delle principali città del Canada mediante una rete il cui schema generico, nel caso di due nodi, è riportato in figura 10. Tale schema utilizza la trasmissione GbE, ma la rete è anche compatibile con la tecnica SDH (SONET). Infatti i due nodi sono connessi con una struttura ad anello in cui il tratto A rappresenta il percorso principale mentre il tratto B la protezione. Ai fini di un maggior sfruttamento delle risorse, il percorso B può essere invece sfruttato per alcuni servizi IP, al limite con più bassa priorità. Nello schema di fig. 10, due lunghezze d'onda (oltre a due di riserva rappresentate dalle linee tratteggiate) sono utilizzate dai sistemi SDH (SONET) mentre sul tratto A e B tre e due lunghezze d'onda rispettivamente sono utilizzate per il traffico IP. E' da tener presente come il traffico IP è riportato con caratteristiche fortemente asimmetriche come mostrato dal verso delle frecce delle linee.

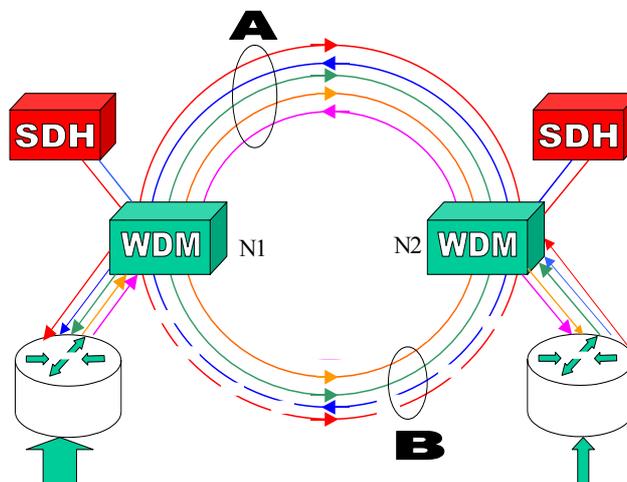


Fig. 9.3: schema di una rete ad anello del tipo IP over WDM compatibile con sistemi SDH (SONET)

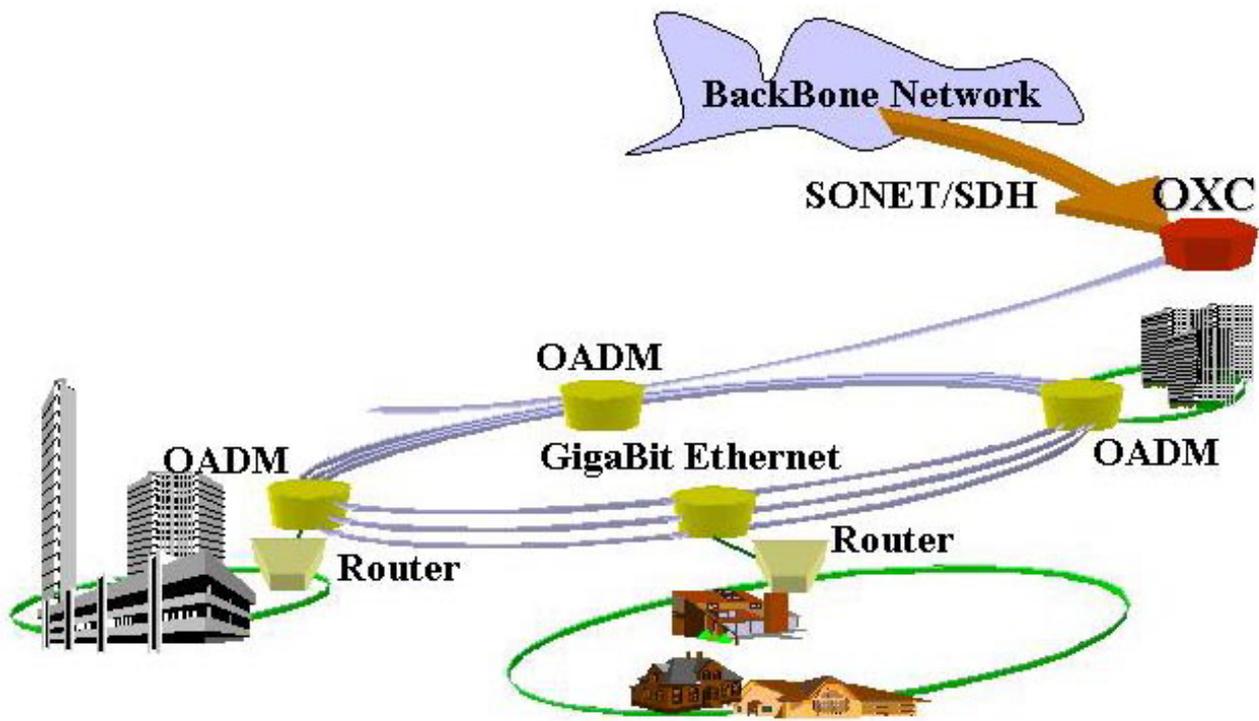


Fig 9.4: Tipologia di Rete ad anello

In figura 11 vediamo un tipico esempio di struttura di rete, che comprende sia la raccolta che la dorsale, nella quale i segnali, trasportati attraverso le dorsali su SDH, vengono inviati alle sottoreti regionali e locali Gigabit Ethernet attraverso cross-connect ottici (OXC) e OADM. In questa figura si riporta espressamente l'aspetto fisico dell'infrastruttura, ma la grande innovazione sta nell'utilizzo di un adeguato piano di controllo come riportato nella sezione 4. Nel seguito riportiamo i maggiori risultati ottenuti nell'ambito di una sperimentazione su reti ASON/GMPLS nell'ambito del progetto europeo IST LION [3].

APPENDICE A: LE TECNOLOGIE PER LA LARGA BANDA

Per Larga Banda si intendono tutte quelle tecniche di telecomunicazione che permettono alla utenza il trasporto di molta informazione (intesa sia da centrale ad utente e viceversa), informazione che può essere utilizzata per tutta una serie di servizi che vanno dalla telefonia convenzionale, alla trasmissione dati, fino ai servizi di nuova generazione legati alla videocomunicazione. Il concetto di Larga Banda è intrinsecamente connesso a quello di internet, tecnica di trasmissione dati che sta profondamente rivoluzionato non solo il campo delle telecomunicazioni, ma tutta la nostra vita. Occorre subito precisare che oggi la connessione ad Internet è possibile per chiunque, basta avere un PC e una presa telefonica e la connessione può essere ottenuta mediante un apparecchio attaccato alla presa, denominato MODEM. Il problema è che questo tipo di connessione avviene a bassa velocità e quindi comporta un servizio lento con alcune applicazioni che possono risultare inadeguate. La Larga Banda serve a velocizzare questa trasmissione ed avere disponibile ogni tipo di servizio e soprattutto scaricare in tempi rapidi i documenti.

A.1 Definizione di Larga Banda

Per Larga Banda si intende la possibilità di trasporto da parte di un utente di grandi quantità di informazione e tale trasporto può essere effettuato mediante una serie di sistemi di trasmissione che verranno analizzati. Si utilizza il termine larga banda per la casa, per il cellulare e per qualunque utente di telecomunicazioni, e il concetto è sempre lo stesso: trasporto di grandi quantità di informazioni. Ma grandi quanto?

Ebbene si parte come punto partenza dalla capacità di trasmissione di un apparecchio telefonico convenzionale. La classica telefonata avviene ad una velocità di 64 Kb/s (cioè 64 mila bit al secondo) e quindi saranno sistemi a larga banda quelli in grado di trasportare una capacità ben superiore ai 64 Kb/s.

La definizione di larga banda è stata ed è tuttora oggetto di discussione nell'ambito dei gruppi di lavoro istituiti dai governi di vari paesi, europei e non. Tale dibattito verte sia sull'ampiezza di banda, sia sui servizi erogabili [1].

In particolare sono emerse posizioni differenziate tra chi, come l'FCC (USA) ha scelto una definizione di larga banda basata esclusivamente sulla capacità trasmissiva (numero di Kb/s) e chi invece, come il Canada, ne ha dato una definizione basata prevalentemente sulla tipologia di servizi erogabili.

Vale forse la pena di accennare alla definizione di larga banda usata dall'OECD (v. “The Development of Broadband Access in OECD Countries”, 2001) che l'aveva definita come una connessione alla rete telefonica che fornisca un accesso downstream di 256 kbit/s e upstream di 128 Kb/s (il più comune ADSL); mentre esiste una Raccomandazione T dell'ITU, la I.113 del 1997, che definisce larga banda solo quella sopra i 2 Mbit/s.

In Italia, la “Task Force sulla Larga Banda” (Commissione interministeriale di studio istituita dal Ministro delle Comunicazioni e dal Ministro per l'Innovazione e le Tecnologie), ha adottato la seguente definizione:

per larga banda si intende l'ambiente tecnologico che consente l'utilizzo delle tecnologie digitali ai massimi livelli di interattività.

L'ambiente tecnologico è costituito da applicazioni, contenuti, servizi ed infrastrutture.

Le applicazioni informatiche distribuite ed i servizi su rete evolvono in modo tale da richiedere una capacità della banda di comunicazione sempre più elevata.

Al momento attuale una disponibilità dell'ordine di centinaia di Kb/s per usi privati può essere considerata sufficiente mentre già nel breve/medio periodo è necessario pensare ad una disponibilità di banda, anche per usi privati, dell'ordine di qualche Mb/s.

Per le imprese e per la Pubblica Amministrazione già oggi vi è la necessità di almeno alcuni Mb/s, mentre nel futuro saranno necessarie capacità di banda di ordine di grandezza superiore.

1.2 Classificazione delle tecnologie

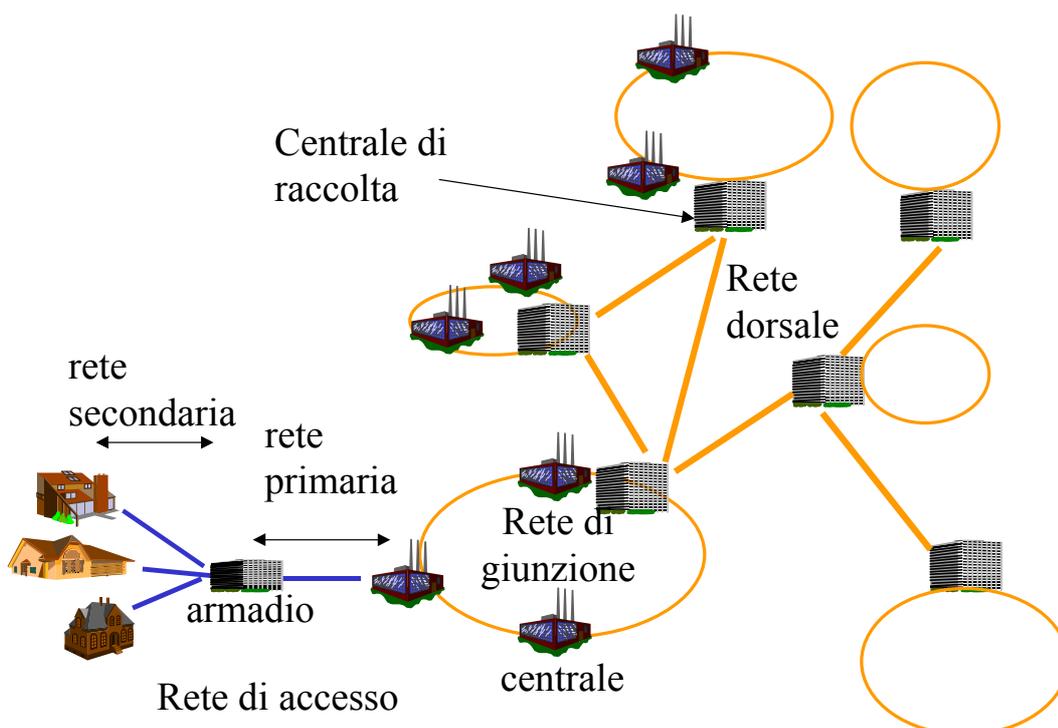


Fig. A.1: schema della rete di telecomunicazione. La rete di giunzione e quella dorsale costituiscono la rete del trasporto.

Uno schema generale della rete di telecomunicazione fissa è riportata nella fig. 1.1 [2]. Quando si parla in generale di tecnologie a larga banda si fa riferimento alla rete di accesso ed in particolare alle connessioni tra centrale e utenti (ultimo miglio).

Il panorama attuale delle tecnologie di accesso è assai variegato e complesso: la larga banda non si identifica con una sola tecnologia, più tecnologie possono essere usate a seconda dei casi. In particolare le architetture di accesso a banda larga di riferimento si basano:

- sulla preesistente rete di accesso telefonica in rame (in particolare il doppino telefonico attraverso le tecnologie xDSL);
- sull'utilizzo di rilegamenti in fibra ottica fino alla sede del cliente o fino all'edificio con architetture Fiber To The Home (FTTH) o Fiber To The Building (FTTB) rispettivamente;
- sull'utilizzo di frequenze radio e tra queste rientrano le reti WI-FI, i collegamenti via satellite, la telefonia di terza generazione UMTS e la TV digitale terrestre;
- sull'utilizzo della preesistente rete in rame per l'alimentazione elettrica, tecnica conosciuta come Powerline.

Per le famiglie e le piccole e medie aziende, ad oggi, non vi è una vera e propria alternativa all'accesso su rame, in quanto in Italia non esiste la televisione via cavo e le tecniche radio non sono ancora molto diffuse. Il doppino di rame dovrà comunque rappresentare un importante volano per l'affermazione di tecnologie evolute per la banda larga, quali la fibra ottica ed eventualmente il wireless local loop ed il satellite bidirezionale. La pluralità e la combinazione di diverse tecnologie è infatti uno strumento che da maggiore flessibilità al mercato, rappresentando un asset strategico nel medio-lungo termine.

A.3 Le tecnologie su rame

A.3.1 Il doppino telefonico

Il doppino telefonico (o coppia ritorta o twisted pair) è di gran lunga il componente fisico più utilizzato per la realizzazione dei collegamenti di accesso tra gli utenti e gli apparati di centrale della rete telefonica tradizionale e le tecnologie x Digital Subscriber Line¹ (xDSL) consentono di

¹ L'ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) è una tecnica trasmissiva asimmetrica che consente, se utilizzata al massimo delle sue potenzialità, di fornire capacità di 8 Mbit/s verso l'utente e di 800 kbit/s verso la rete, con doppi di lunghezza massima di 2 km. Attualmente le versioni più diffuse in Italia prevedono, per l'utenza residenziale 640 K/s verso l'utente e 128 Kb verso la rete; per l'utenza "business" 2 Mb/s verso l'utente e 512 K/s verso la rete.

raggiungere capacità di trasporto elevate su questo mezzo attraverso la compressione del segnale [1]. Si tratta di una famiglia di tecnologie le cui prestazioni dipendono fortemente dalla qualità e dalla lunghezza del doppino telefonico e dagli effetti della paradiafonia indotti da sistemi trasmissivi utilizzando lo stesso settore di cavo.

Il ruolo attuale del mondo xDSL è quindi quello di anticipare ed incoraggiare l'utilizzo di servizi che richiedono disponibilità di banda, rappresentando il cammino di transizione verso la larga banda effettiva (oltre 2 Mbit/s). Il mondo xDSL, ad oggi, non può tuttavia aggredire la multimedialità video ad alta qualità o altre forme di trasmissione con elevate esigenze di banda, in quanto le capacità teoricamente fornite potrebbero risultare in pratica molto inferiori.

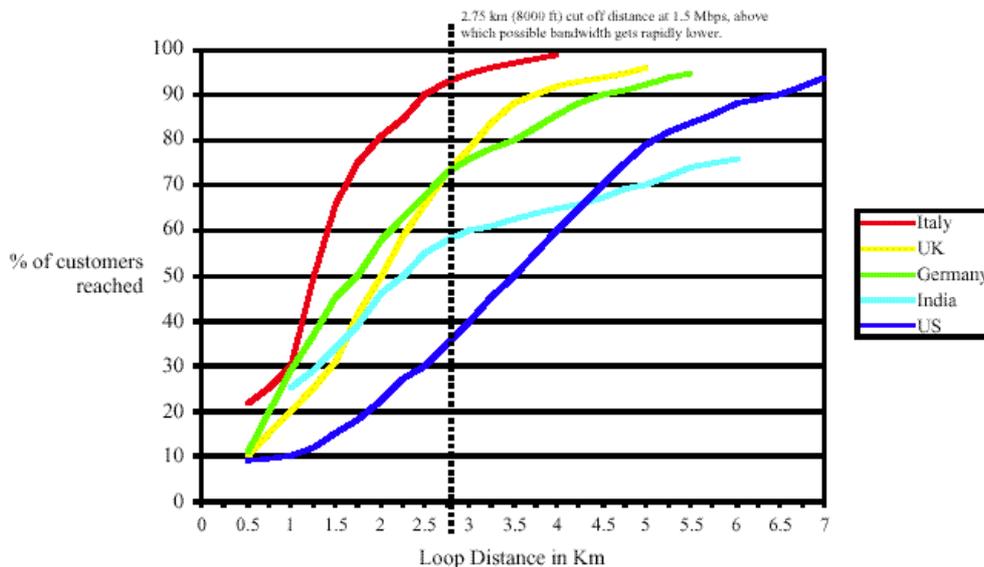


Figura 1.2: Distribuzione delle lunghezze del local loop

L'Italia è particolarmente favorita nell'uso delle tecnologie xDSL in quanto dispone di una rete d'accesso in rame caratterizzata, nelle metropoli, da una lunghezza media dei doppini normalmente inferiore ai 1000 metri (fig. 1.2). Nei prossimi anni si prevede un incremento importante della

L'SDSL (Symmetrical Digital Subscriber Line) e l'HDSL-2 (High bit rate Digital Subscriber Line) sono sistemi simmetrici su doppino singolo con una larghezza di banda che può raggiungere le decine di Mb/s. Attualmente sono disponibili offerte commerciali per l'HDSL-2 che consentono collegamenti a 2 Mb/s su distanze fino a 2,5 km. Inoltre sono disponibili anche sistemi HDSL a 2 Mb/s che utilizzano 2 o 3 doppini.

Il VDSL (Very High Speed Digital Subscriber Line), è sostanzialmente una evoluzione dei sistemi asimmetrici ADSL verso capacità fino a 50 Mb/s verso l'utente e dell'ordine di alcuni Mb/s verso la rete, per doppini di lunghezza massima dell'ordine di alcune centinaia di metri.

penetrazione dell'xDSL nel mercato consumer, SOHO e PMI, grazie anche ad una forte competizione tra i produttori di dispositivi di trasmissione, con una conseguente riduzione dei costi. Inoltre esistono sviluppi delle tecnologie in questione che consentono di raggiungere capacità di banda significativamente più elevate rispetto a quelle ad oggi disponibili, con la possibilità di fornire a particolari condizioni e in zone poco distanti dalla centrale di linea capacità trasmissive teoricamente superiori ai 10 Mbit/s bidirezionali.

Nonostante le prospettive sopra delineate, restano da verificare i limiti della tecnologia xDSL legati ai problemi di interferenza che ne condizionano l'implementazione su larga scala; si fa riferimento in particolare al fenomeno della paradiafonia.

A.3.2 Powerline

La tecnologia di comunicazione Powerline, spesso denominate Power Line Communication (PLC), consente di utilizzare la rete elettrica come mezzo di trasporto per la trasmissione digitale di dati e voce. Attraverso la trasmissione di segnali su linee elettriche è possibile fornire al cliente finale una modalità alternativa di accesso a banda larga di tipo simmetrico ed always-on. Tale modalità di trasmissione si presenta fortemente innovativa rispetto alle tecnologie di accesso attualmente disponibili.

L'estensione e la capillarità della rete elettrica permette inoltre alle PLC di raggiungere una ampia base di clienti. In tal modo si ritiene possibile garantire una maggiore coesione sociale riducendo il fenomeno del digital divide.

La trasmissione dei segnali richiede di installare presso la casa dell'utente un modem di dimensioni ridotte, da collegare direttamente ad una delle prese elettriche. La propagazione del segnale avviene attraverso i cavi dell'impianto elettrico fino ad un altro dispositivo da collocare all'esterno dell'edificio e da qui, lungo le linee di distribuzione a bassa tensione, arriva alle cabine secondarie di trasformazione (media/bassa tensione) cui sono collegate le diverse abitazioni per l'alimentazione elettrica. Nelle cabine viene infine installato un altro apparato d'interfaccia (master) che estrae il segnale dalle linee elettriche e lo immette nella rete convenzionale di telecomunicazione (e viceversa).

Una sperimentazione della tecnologia PLC è in corso nel Comune di Grosseto.

Attualmente le principali limitazioni di questa tecnica sono nella banda disponibile per l'utente (specialmente nel caso di molti accessi attaccati allo stesso dispositivo) e alle emissioni elettromagnetiche che possono creare interferenze. La tecnologia ha degli spazi di crescita ma non sono oggi disponibili dati per fare delle previsioni.

A.4 Tecnologie ottiche

1.4.1 Fibra ottica

La fibra ottica è ad oggi e sarà in futuro la tipologia di accesso più importante e più consistente per Grandi Imprese e Pubblica Amministrazione, che hanno esigenze di molte centinaia di Mb/s non compatibili con un accesso in rame.

Le soluzioni di cablatura in fibra ottica sono sostanzialmente 3:

- raggiungere i singoli utenti con un accesso in fibra ottica, la cosiddetta FTTH (Fibre To The Home);
- effettuare il cablaggio ottico fino agli edifici, la cosiddetta FTTB (Fibre To The Building). provvedendo al rilegamento dell'edificio con doppini in rame o con cavi elettrici che realizzano una rete locale (ETHERNET Passive Optical Network, EPON);
- effettuare il cablaggio fino alle immediate vicinanze dell'utente, con una soluzione intermedia, spesso indicata in letteratura come FTTC (Fibre To The Curb), con l'ultimo tratto, molto breve, coperto dal portante in rame adottando le tecnologie xDSL;

Ad oggi la più adottata è la FTTB (Fibre To The Building), mirata anche agli utenti domestici oltre che ai grandi clienti come aziende o enti di rilievo nazionale o locale (industrie, banche, università, assicurazioni, ecc).

Anche se nella fase attuale, per la diffusione della Larga Banda si utilizzeranno infrastrutture essenzialmente basate sulle tecnologie che al momento forniscono il miglior compromesso tra prestazioni e costi, è fuori dubbio che nel futuro le infrastrutture saranno sempre più basate sul concetto di "fibra ottica vicino all'utente". In questo ambito si tenderà sempre più ad installare sistemi del tipo FTTC e FTTB per convergere verso sistemi FTTH. Queste infrastrutture avranno un architettura ad albero (Passive Optical Networks, PON), arrivando sino all'edificio dell'utente e per poi raggiungere gli utenti con collegamenti in rete di tipo ETHERNET (ETHERNET PON, EPON). Il vantaggio di queste reti è che gli utenti potranno disporre di capacità veramente elevate (migliaia di Mb/s), anche perché vi sarà un uso sempre maggiore della tecnica WDM (Wavelength Division Multiplexing) o più precisamente della tecnica Course WDM (CWDM) estremamente meno costosa della WDM. Diversi studi mostrano che il costo dei componenti ottici è un continua diminuzione e il che significa che nel futuro il costo del bit trasmesso potrà scendere fortemente.

A.4.2 Optical wireless

Un'altra importante trasmissione nel dominio ottico è quella della propagazione in aria libera (optical wireless). In questa tecnica la trasmissione tra due punti è effettuata da un fascio di luce che si propaga nello spazio libero [3]. E' una tecnica particolarmente interessante per la trasmissioni in città ed in particolare tra grandi edifici. Si hanno delle limitazioni in presenza di nebbia o pioggia, tuttavia se le distanze sono brevi (centinaia di metri) si possono raggiungere altissime velocità (milioni di Kb/s). E' una tecnica che è stata molto utilizzata negli USA dopo il crollo delle Torri Gemelle per l'immediato ripristino dei collegamenti.

A.5 Tecnologie su onde radio

La possibilità di utilizzare la trasmissione radio nello spazio libero per la realizzazione di porzioni del collegamento tra utente e rete è alla base di molti differenti sistemi che vanno dalle cosiddette reti personali (tecnologia Bluetooth) alle reti locali (WLAN - Wireless Local Area Network) alle reti cellulari (UMTS), fino alla TV Digitale terrestre. L'utilizzo delle risorse radio ha in generale gli effetti di ridurre i costi per la realizzazione dell'infrastruttura di rete ed i tempi di deployment del servizio sul territorio. Per contro, la trasmissione tramite onde radio porta intrinsecamente con se la criticità delle risorse (bande di frequenza limitata). La realizzazione di collegamenti radio per la sostituzione della rete di accesso fissa è allo studio da tempo e alcune aziende hanno già vinto delle gare regionali. Le tecnologie utilizzate a questo scopo sono indicate con il nome collettivo di WLL (Wireless Local Loop). Negli ultimi anni, si stanno diffondendo anche tecnologie radio nate per la realizzazioni di reti locali in ambito aziendale (WLAN) che stanno avendo una grande rilevanza in alcuni casi di rete di accesso a causa delle loro buone prestazioni e del costo limitato.

A.5.1 Wireless Local Loop

Con gli acronimi WLL (Wireless Local Loop) e WFA (Wireless Fixed Access) si indicano solitamente i sistemi di trasmissione radio operanti sulle frequenze dei 3,5, 5, 24, 28 e 40 GHz che realizzano collegamenti punto-multipunto a livello di rete di accesso, ovvero che permettono di connettere via radio gli utenti ad una stazione ricetrasmittente locale su aree di raggio dell'ordine del Km o di alcuni Km a seconda della tecnologia, sostituendo così la rete di accesso in fibra o rame.

Come tutte le tecnologie che operano sulle onde radio, l'uso di sistemi WLL è regolamentato e concesso solo su alcune frequenze tra quelle disponibili. Nel caso dell'Italia, l'utilizzo del WLL è stato regolamentato tramite la concessione di licenze emesse su base regionale. Le tecnologie utilizzate in Italia sono spesso indicate anche con l'acronimo LMDS (Local Multipoint Distribution System).

I sistemi LMDS sono realizzati con il principio delle “celle”: una Stazione Base (BS) ricetrasmittente utilizza una certa banda di frequenze per realizzare i collegamenti radio con le stazioni periferiche presenti nei siti di utente. Per aumentare la banda disponibile la stessa frequenza può essere utilizzata in maniera direzionale su diversi archi per servire differenti clienti.

A seconda delle tecnologie utilizzate possono essere disponibili velocità trasmissive dell'ordine dei 2 Mb/s per un numero limitato di utenti, o anche 34 Mb/s condivisi tra tutti gli utenti di una stessa cella.

A.5.2 Wireless Local Area Network



Figura 1.3: Schema della tecnologia WLAN

La tecnologia WLAN (Wireless Local Area Network) è stata sviluppata per fornire connettività wireless a banda larga tra i nodi di una rete locale come un ufficio o un campus. È sufficiente installare uno o più rice-trasmettitori (Access Point) e montare schede apposite sui PC che si vogliono collegare in rete. Le schede WLAN hanno un costo ridotto e vengono spesso fornite già integrate nei laptop. Data la bassa potenza di emissione l'area di copertura tipica di un apparato WLAN si aggira intorno ai 100 m in caso di diffusione senza ostacoli (all'aperto) e diminuisce sostanzialmente in presenza di pareti, superfici metalliche, o altri tipi di ostacoli. Le frequenze utilizzate (2,4 e 5 GHz) dagli standard WLAN appartengono a due bande che sono considerate di uso libero a livello di standardizzazione internazionale. In alcuni casi questi sistemi possono essere utilizzati anche come sistemi di accesso pubblico; è ad esempio possibile creare una WLAN in luoghi densamente affollati come aeroporti, stazioni e hotel; gli utenti possono quindi identificarsi e connettersi alla rete utilizzando un'unica scheda WLAN per tutti i siti di accesso al servizio.

Tra le reti WLAN meritano particolare attenzione la connettività offerta dalle cosiddette Wi-Fi, basate sugli standard esistenti (802.11b) ed emergenti (802.11a e 802.11g). Lo standard utilizzato da tutte le specifiche 802.11 è relativamente simile allo standard ethernet da consentire un'ottima compatibilità tra le due reti, che si riflette anche in un basso costo degli apparati radio Wi-Fi.

A..5.3 Sistemi satellitari

I sistemi di comunicazione via satellite sono stati prevalentemente utilizzati per la diffusione di segnali televisivi. Solo recentemente tale tecnologia ha iniziato ad affermarsi come sistema alternativo e complementare per l'accesso a larga banda.

Recenti esperienze commerciali di accesso via satellite hanno mostrato la possibilità, con costi relativamente contenuti, di utilizzare il comune apparecchio televisivo, dotato di un opportuno set-top box, ovvero un personal Computer con hardware e software aggiuntivi come terminali di un sistema di comunicazione che può accedere a servizi a banda fra 300 Kbit/s e 2 Mbit/s.

In questi casi il canale di ritorno (per le informazioni uscenti dal terminale d'utente) utilizza tipicamente la rete telefonica commutata e modem a 56 kbit/s.

Sono disponibili anche sistemi bidirezionali².

Nel futuro ci sarà una espansione di questa tecnologia, usando costellazioni di satelliti in orbite geostazionarie, operando nella banda Ka (20/30 GHz) e offrendo alte capacità di connessione (fino a 34 Mb/s per utente).

Dal punto di vista dell'utente due sono i grandi vantaggi:

- non è indispensabile disporre di un computer, in quanto il collegamento ad internet può effettuarsi tramite il solo Set Top Box fornito di tastiera (il monitor diventa il televisore casalingo). In questo caso, l'uso di servizi di comunicazione interpersonali (e-mail) sarebbe estremamente facilitato e a disposizione anche di utenti non "alfabetizzati" all'uso del computer;
- la tecnologia di accesso ad internet sarà integrata in quella della tv satellitare e della tv digitale terrestre.

Un aspetto particolarmente interessante della tecnologia satellitare è la totale e uniforme copertura del territorio nazionale: questa caratteristica potrebbe essere utilizzata per raggiungere località particolarmente disagiate, sia da un punto di vista orografico, sia per motivi di bassa convenienza economica a realizzare altre infrastrutture di larga banda.

² L'architettura della rete satellitare bidirezionale è composta da due elementi principali:

- Il sistema Hub centrale: invia e riceve dati attraverso un'antenna di 5 metri di diametro in banda Ku sul satellite Eutelsat W2
- I terminali remoti: sono dispositivi VSAT (Very Small Aperture Terminal) che comprendono: Un'antenna da 0,96 metri di diametro e un Radio Frequency Terminal da 2 Watt (outdoor unit), un router IP satellitare.

Attualmente sono disponibili sul mercato servizi di connettività satellitare bidirezionale con una capacità trasmissiva condivisa su Eutelsat W2 @ 16° EST, e sono disponibili sul mercato sistemi con diverse caratteristiche di banda, che arrivano fino a 2048Kbps in ricezione e 512Kbps in trasmissione.

APPENDICE B: RETI TCP/IP

In questo capitolo si parlerà della rete Internet, dalla sua nascita fino agli ultimi protocolli che vengono usati oggi. Si parlerà in dettaglio del protocollo di rete IP e del protocollo di trasporto TCP. Si parlerà poi di come aggregare i flussi di traffico IP per permettere di usare la trasparenza data dalla commutazione ottica oggi ancora lenta rispetto a quella elettrica. A tale proposito vengono presentati due protocolli che potrebbero aiutare nella formazione di tali flussi come il protocollo MPLS e il protocollo RSVP che permette anche un certo controllo della qualità del servizio.

B.1 Internet

La rete mondiale internet è erede della progenitrice di tutte le reti di calcolatori cioè Arpanet. Arpanet era una rete di ricerca sponsorizzata dal dipartimento di difesa statunitense, essa collegava centinaia di università e strutture governative utilizzando le linee telefoniche. Col passare del tempo vennero aggiunte le reti satellitari e via radio, e i protocolli esistenti diedero problemi di compatibilità, e venne richiesto un nuovo modello di riferimento. Quindi la capacità di collegare più reti tra loro si presentò come un principale aspetto di progettazione. Questo tipo di architettura divenne poi nota come modello di riferimento TCP/IP, a causa dei suoi due protocolli principali.

Un altro tra gli obiettivi principali fu di rendere la rete capace di sopravvivere al guasto di parti di hardware, in modo tale che le conversazioni non fossero danneggiate. Inoltre il Pentagono richiese un'architettura flessibile capace di supportare tipi diversi di applicazioni. Tutte queste

richieste portarono alla scelta di una rete a commutazione di pacchetto basata su un livello privo di connessione (Livello Internet).

Dopo che TCP/IP nel 1° Gennaio 1983 divenne l'unico protocollo ufficiale, macchine e utenti collegati ad Arpanet crebbe rapidamente; quando poi Arpanet si unì ad Nsfnet (rete che serviva per collegarsi con Arpanet senza avere il permesso del dipartimento della difesa) la crescita divenne esponenziale. A metà degli anni ottanta, si iniziò a vedere la collezione delle reti come un internetwork, e in seguito come Internet, anche se non ci fu mai un'inaugurazione ufficiale.

La crescita continuò esponenzialmente, e nel 1990 Internet raggiunse 3000 reti e 200000 calcolatori. Nel 1992 venne collegato il milionesimo host, nel 1995 vi erano molteplici dorsali, centinaia di reti di livello medio (regionali), decine di migliaia di reti locali, milioni di host e decine

di milioni di utenti. Oggi la situazione è tale che la dimensione approssimativamente ogni anno raddoppia.

La colla che tiene insieme Internet è il modello di riferimento TCP/IP e la relativa pila di protocolli. Essere su Internet significa che una macchina utilizza una pila di protocolli TCP/IP, ha un suo indirizzo IP, e ha la capacità di spedire pacchetti IP a tutte le macchine su Internet. Tradizionalmente la rete Internet aveva quattro applicazioni principali: posta elettronica, News, collegamento remoto, trasferimento di archivi; e veniva usata soprattutto da ricercatori. Con l'introduzione da parte del fisico del Cern Tim Berners-Lee del WWW (World Wide Web - raginata intorno al mondo) cambiò tutto e richiamò sulla rete milioni di utenti non accademici. Il WWW rendeva possibile installare pagine di informazioni contenenti testo, immagini fisse ed in movimento, suoni ed ulteriori collegamenti ad altre pagine con la sola pressione del pulsante del mouse.

B.1.1 Il modello OSI

Per ridurre la complessità di progettazione, la maggior parte delle reti è organizzata in una serie di strati o livelli, ognuno costruito su quello inferiore. Il numero dei livelli, il nome, il contenuto e le funzionalità differiscono da una rete all'altra.

Di comune però in tutte le reti, ogni livello ha lo scopo di offrire certi servizi al livello superiore, nascondendo però a quest'ultimo il modo in cui sono realizzati i servizi offerti. Il livello n può comunicare con il livello $n+1$ di un'altra macchina seguendo delle regole e convenzioni che sono descritte nel protocollo di livello n .

Un insieme di livelli e protocolli è chiamato architettura della rete.

Il modello OSI (Open System Interconnection) ha sette livelli come si vede dalla figura (2-1), ma tale modello non costituisce un'architettura perché non specifica con precisione i servizi e i protocolli che devono essere usati in ogni livello.

Esso dice solo cosa dovrebbe fare ciascun livello senza entrare nel dettaglio.

B.1.2 Livello Internet

Il suo compito è quello di permettere ad un Host di inserire pacchetti in una qualsiasi rete in modo tale che questi viaggino indipendentemente verso la destinazione. Il livello Internet definisce un formato di pacchetto e un protocollo chiamato IP (Internet Protocol). Lo scopo del livello Internet è di consegnare i pacchetti IP verso la destinazione. La scelta del cammino dei pacchetti e la limitazione delle congestioni sono alcuni tra i problemi principali. Per questi motivi le funzionalità del livello Internet si possono avvicinare a quelle del livello di rete del modello OSI. (fig 2-1)

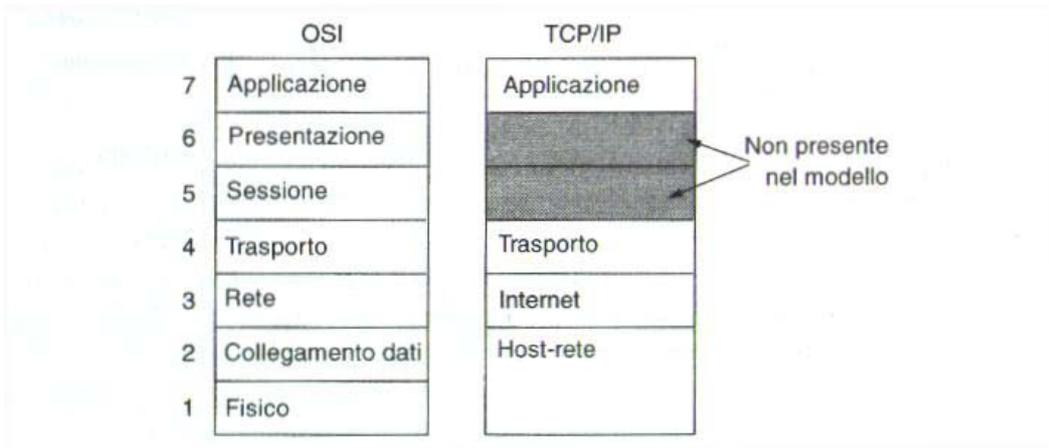


Fig. 2-1 Modello di riferimento TCP/IP.

B.1.3 Il livello di trasporto

Questo livello serve per permettere alle entità di pari livello sugli host sorgente e destinazione di portare avanti una conversazione. In questo livello sono definiti due protocolli di collegamento. Il primo, TCP (Transmission Control Protocol) è un protocollo orientato alla connessione che permette a sequenze di byte originate su una macchina di essere consegnate senza errori su una qualsiasi altra macchina della rete. Esso frammenta la sequenza entrante di byte in messaggi e li passa al livello Internet. Sulla destinazione, il processo TCP ricevente riassume i messaggi

ricevuti nella sequenza in uscita. Il protocollo TCP gestisce anche il controllo del flusso per garantire che un mittente veloce non possa sovraccaricare un ricevente lento.

Il secondo protocollo di questo livello è l'UDP (User datagram protocol), questo è un protocollo inaffidabile, privo di connessione, per applicazioni che non desiderano la sequenzializzazione o il controllo del flusso del protocollo TCP e che desiderano gestire tutto questo in modo autonomo. È usato per comunicazioni veloci, per richieste e risposte fra un client e un server, o in applicazioni in cui la velocità di consegna conta di più della sua accuratezza (fig 2-2).

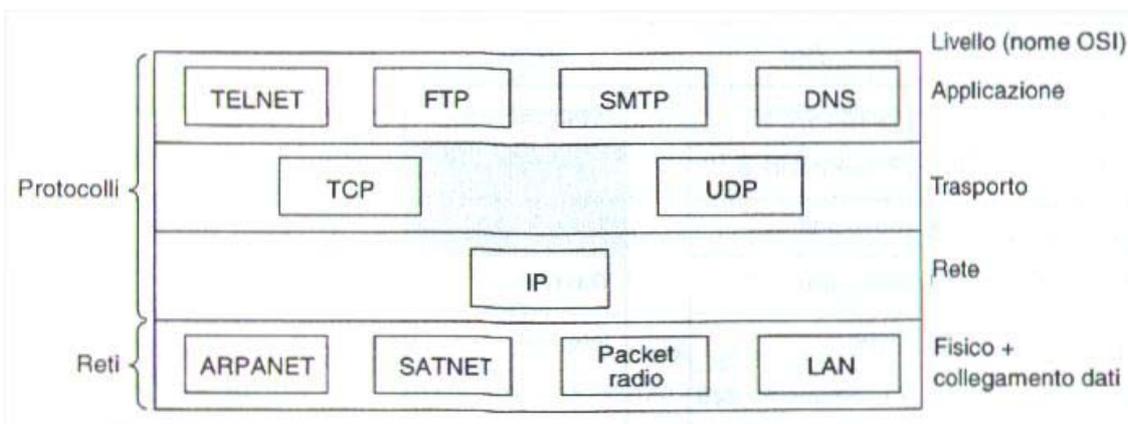


Fig. 2-2 Protocolli e reti originali nel modello TCP/IP (tratta da [3])

B.1.4 Il livello delle applicazioni

Il modello TCP/IP non ha i livelli di presentazione e sessione perché questi non sono necessari nella maggior parte delle applicazioni.

Il livello applicazione contiene tutti i protocolli ad alto livello ;tra i più antichi c'è TELENET(terminale virtuale),FTP(trasferimento di archivi),SMTP(la posta elettronica).Molti protocolli sono stati aggiunti nel corso degli anni come :DNS(il servizio per i nomi del dominio)per associare ad ogni host il proprio indirizzo di rete,NNTP il protocollo per muovere i messaggi dei gruppi di discussione,e HTTP, il protocollo per caricare pagine sul World Wide Web, e altri ancora.

B.1.5 Il livello host-to-network

Sotto il livello internet c'è un grande vuoto.Il modello di riferimento TCP/IP non dice molto a proposito di quello che avviene a questo livello ,eccetto che l'host deve connettersi alla rete utilizzando un protocollo in modo da inviare pacchetti IP lungo di essa

B.2 Confronto tra modello OSI e TCP/IP

Entrambi sono basati sul concetto di una pila di protocolli indipendenti e sovrapposti., anche le funzionalità dei vari livelli sono abbastanza simili ,inoltre in entrambi i modelli i livelli superiori al livello di trasporto sono costituiti da servizi orientati alle applicazioni che utilizzano i servizi di trasporto.

Tre concetti sono fondamentali nel modello OSI :

- 1.Servizi
- 2.Interfacce.
- 3.Protocolli.

Il modello TCP/IP non distingueva in origine fra servizi ,interfacce e protocolli ,tuttavia si è cercato successivamente di renderlo più simile al livello OSI .

Il modello di riferimento OSI venne consegnato prima che i protocolli venissero inventati, questo indica che non c'erano preferenze per qualche insieme particolare di protocolli.Per il modello TCP/IP prima venivano progettati i protocolli e il modello risultava una descrizione dei protocolli esistenti,inoltre il modello non si adattava a nessuna altra pila di protocolli.

Passando a differenze più tecniche, una differenza ovvia è il numero di livelli ,che nel modello OSI sono sette e nel TCP/IP sono quattro. Entrambi hanno il livello di rete trasporto e applicazione ma gli altri livelli sono diversi.

Inoltre il modello Osi fornisce comunicazioni che possono essere orientate alla connessione e senza connessione a livello di rete,ma solamente orientato alla connessione a livello di trasporto,dove conta(in quanto i servizi del livello di trasporto sono quelli visibili all'utente .Il modello TCP/IP ha solo un modo a livello di rete(privo di connessione) ma fornisce entrambi i modi a livello di trasporto, dando la possibilità di scegliere all'utente.

Le critiche che si possono muovere al modello TCP/IP sono :è del tutto generale e non è adatto a descrivere una qualsiasi pila di protocolli, il livello host-to-network non è un livello nel vero senso del termine,esso è un interfaccia (fra i livelli di rete e data link).Il modello TCP/IP non distingue il livello fisico dal livello data link un buon modello li dovrebbe contenere entrambi come livelli separati

