



**Università degli Studi di Padova**  
Facoltà di Ingegneria  
Corso di Laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni

Tesi di Laurea

# **Analisi delle reti ottiche attuali e future**

Verso una rete tutta ottica

Relatore: Ch.mo Prof. G. Tronca

Laureando: Enrico Lovato

## Introduzione

### Architettura Rete

- ISO/OSI

- Approfondimenti Livello Fisico

- Synchronous Digital Hierarchy

  - La Trama SDH

  - Struttura di trasporto del payload

  - Meccanismo di Multiplazione e Demultiplazione

  - Meccanismi di protezione

  - La Rete SDH

  - SDH di nuova generazione

### Le Fibre Ottiche

- Caratteristiche

  - Attenuazione

  - Dispersione Cromatica

  - Dispersione di polarizzazione

  - Non-linearità

- Sistemi Ottici di Trasmissione

  - I sistemi a canale singolo

  - I sistemi WDM

  - I sistemi DWDM

  - I sistemi CWDM

### L'evoluzione delle Reti Ottiche

- Optical Transport Network

- Passive Optical Network

  - Descrizione delle soluzioni PON

  - La terminazione di linea ottica (OLT)

  - La Optical Network Unit (ONU)

  - L'accesso al mezzo condiviso

- Optical Packet Metro

- Automatic Switched Optical Network

- All Optical Network

### Conclusioni

# Introduzione

Il mondo delle comunicazioni offre sempre più servizi e informazioni da proporre al cliente, e il cliente esige sempre più qualità d'informazione; questo comporta che i canali di trasmissione devono migliorare in capacità ed efficienza.

Ecco che entra quindi sempre più importante l'utilizzo delle fibre ottiche nei canali trasmissivi, andando così via via a sostituire il vecchio e sovrautilizzato rame.

In questo scritto andremo ad analizzare nel dettaglio come sta evolvendo e come probabilmente evolverà la rete trasmissiva, cercando di soffermarci sui vantaggi e svantaggi, ma soprattutto problematiche che comporta questo mutamento.

Nella prima parte si è voluto soffermarsi sui concetti base del mondo delle telecomunicazioni, analizzando in particolare il livello fisico, dove si è voluto dare una conoscenza piena della tecnologia al momento utilizzata maggiormente.

La seconda parte tratterà in modo ampio tutto quello che c'è da sapere sulle fibre ottiche, capendo così le possibilità di questo mezzo non ancora totalmente sfruttato dal sistema attuale di telecomunicazione.

Nella terza parte infine osserveremo l'evoluzione dell'uso delle fibre ottiche come mezzo trasmissivo, dai primi e limitati utilizzi, fino al fine ultimo, non ancora raggiunto, e per alcuni anche insensato, cioè alla rete tutta ottica, fino al cliente ultimo.

# Architettura di una rete

Una rete è un gruppo di dispositivi di comunicazione interconnessi tra loro. Tradizionalmente quando si parla di una rete, si pensa ad una rete di computer, ma, specie negli ultimi tempi, le tipologie di dispositivi non convenzionali stanno crescendo: si pensi semplicemente alle stampanti, ma anche a cellulari e smartphone (e relativi accessori), televisioni, decoder, console di gioco, per non parlare delle future reti domestiche o veicolari.

Una rete poi, oltre che dai suoi dispositivi, è caratterizzata anche da:

- il tipo di collegamenti che si usano per interconnettere i dispositivi. Si parla quindi del mezzo da usare: doppino di rame, cavo coassiale, fibra ottica, collegamenti senza fili. Ma si parla anche delle modalità di accesso al mezzo da parte dei dispositivi, e delle modalità di trasmissione dell'informazione.
- il tipo di commutazione usata ai nodi della rete di trasmissione. Si parla della modalità in cui un nodo deve reinstradare un flusso di informazione da una sua linea in ingresso verso una sua linea in uscita. Questo determina come devono essere costruiti i nodi, ma anche in che modo viene sfruttato il collegamento, quindi se viene dedicato ad una sola trasmissione o condiviso da più utenti.
- i protocolli scelti per la trasmissione. I vari dispositivi infatti devono "saper parlare la stessa lingua" se vogliono comunicare tra loro.

Il grande numero di soluzioni trovate per risolvere questi tre problemi ha fatto nascere fin da subito l'esigenza di definire degli standard. Il collegamento prima tra dispositivi e poi tra reti che utilizzavano standard diversi per quanto riguarda sia l'hardware sia il software era oneroso sia dal punto di vista dell'implementazione tecnologica ma soprattutto dal punto di vista economico, come costi di progettazione e mantenimento della rete.

## Il modello ISO/OSI

La International Standard Organization (ISO) venne fondata nel 1947 allo scopo di definire a livello mondiale degli standard, che permettono a sistemi diversi di poter cooperare tra loro. Gli standard possono essere creati dalla stessa ISO, oppure questa può recepire degli standard cosiddetti defacto (cioè diventati di uso comune senza imposizioni giuridiche) o di altre organizzazioni di standardizzazione locali (ad esempio l'ANSI americana o la UNI europea) o specifiche di un settore (per l'ingegneria l'IEEE: Institute of Electrical and Electronic Engineers; per Internet l'IETF: Internet Engineering Task Force).

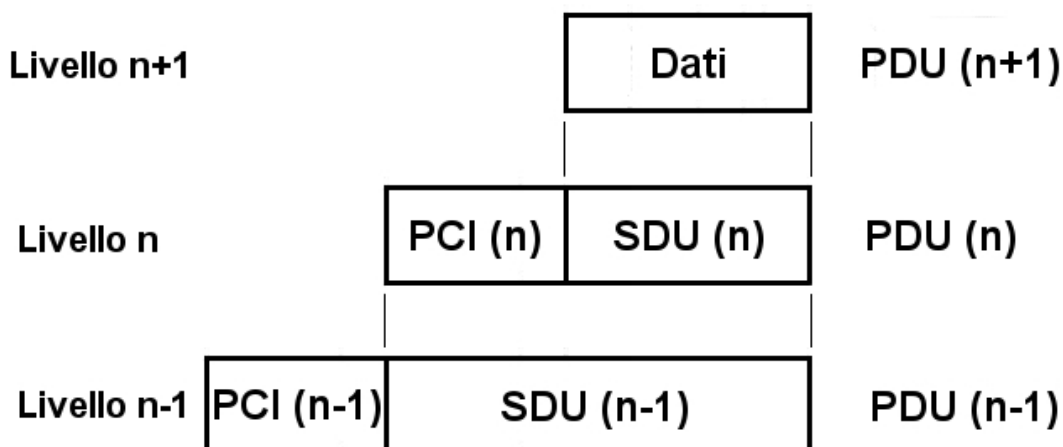
Nel 1978 venne definito il modello ISO/OSI, che avrebbe dovuto diventare lo standard dominante nelle telecomunicazioni. L'Open Systems Interconnection (OSI) non definisce nessun protocollo, definisce invece un modello di architettura di rete che sia robusta ma allo stesso tempo estremamente flessibile, e che permetta l'interoperabilità tra sistemi aperti, cioè sistemi che non lavorano con un solo standard.

L'intera architettura è costruita sui livelli (layers). Il modello definisce sette livelli, in un ordine ben determinato. Per ogni livello sono ben definite delle funzionalità (facilities): sono i servizi (services) e le funzioni (functions) che il livello deve implementare. Le unità fisiche che lo fanno sono dette entità (entities). L'ordine è importante perchè ogni livello può interagire solo con i livelli superiore ed inferiore, più precisamente ogni livello deve offrire una interfaccia a quello superiore (SAP: Service Access Point).

In questo modo i livelli superiori, nel momento in cui devono trasmettere una informazione, utilizzano le funzionalità offerte dai livelli inferiori.

Mano a mano che l'unità di informazione (SDU: Service Data Unit) ridiscende i livelli, ad essa viene aggiunta ulteriore informazione che riguarda la trasmissione (PCI: Protocol Control Information); al livello inferiore viene quindi inviato un nuovo pacchetto di informazione formato dalla concatenazione dei due (PDU: Protocol Data Unit).

La comunicazione tra due macchine distinte che implementano questa architettura può avvenire solo tra entità paritarie (peer-to-peer entities), cioè entità appartenenti allo stesso livello. La comunicazione avviene mediante un protocollo (protocol) ben definito (non dall'OSI però). E' il protocollo a definire la sintassi del pacchetto trasmesso (quindi cosa deve contenere la PCI), ma anche il tipo di connessione (simplex, half duplex, full duplex) e la modalità di connessione (connection mode o connectionless mode).



Come già detto, i livelli previsti dal modello ISO/OSI sono sette, e per ognuno sono ben definite le sue funzionalità.

7	<b>Livello Applicazione</b>
6	<b>Livello Presentazione</b>
5	<b>Livello Sessione</b>
4	<b>Livello Trasporto</b>
3	<b>Livello rete</b>
2	<b>Livello Collegamento Dati</b>
1	<b>Livello Fisico</b>

### **Livello Fisico (Physical Layer)**

E' il livello più basso, e si occupa della trasmissione di un bit su di un mezzo fisico. Deve definire uno standard per gli aspetti meccanici ed elettrici della trasmissione. In breve essi sono:

- le caratteristiche fisiche e meccaniche delle interfacce di collegamento e del mezzo
- la rappresentazione fisica dei bit, cioè come i bit vengono trasformati in segnali, ovvero la codifica (encoding)
- la velocità di trasmissione
- la modalità di sincronizzazione dei bit
- la configurazione della linea, cioè se un collegamento è dedicato a due sole macchine (point to point) o condiviso (multipoint)
- la topologia della rete (interamente connessa, a stella, ad anello, a bus)
- la modalità di trasmissione (simplex, half duplex, full duplex)

### **Livello Collegamento dati (Data Link Layer)**

Si occupa di trasformare una semplice trasmissione di bit offerta dal livello fisico in una trasmissione da un dispositivo ad un altro (in gergo una trasmissione point to point oppure hop to hop) di un blocco di informazione (che in questo livello è chiamato frame). Facoltativamente, aggiunge delle funzioni di affidabilità della trasmissione, facendola apparire priva di errori al livello superiore.

Le funzioni di questo livello, non tutte indispensabili, sono:

- la suddivisione dell'informazione da inviare in frames
- un sistema di indirizzamento fisico
- un controllo del flusso, nel caso la velocità di assorbimento dei dati in ricezione sia inferiore alla velocità di invio
- il controllo degli errori, con meccanismi di individuazione dell'errore, di ritrasmissione dei pacchetti errati o persi, di individuazione di pacchetti duplicati
- il controllo dell'accesso al mezzo, nel caso questo sia condiviso da più dispositivi.

## **Livello Rete (Network Layer)**

E' responsabile della trasmissione di un pacchetto di informazione da un dispositivo sorgente a un dispositivo destinazione (in gergo una trasmissione end to end o source to destination), senza che sia necessario che i due condividano lo stesso collegamento. Il pacchetto quindi può attraversare più collegamenti e più nodi, e per far questo utilizza appunto più trasmissioni point to point offerte dal livello collegamento dati.

Perchè la consegna sia possibile il terzo livello deve implementare queste funzioni:

- \_ un indirizzamento logico, sovrapposto all'indirizzamento locale offerto dal secondo livello, in modo che sia ancora possibile ricavare le informazioni su sorgente e destinazione in una rete allargata;
- \_ un sistema di routing, cioè un meccanismo di instradamento dei pacchetti all'interno dei nodi.

## **Livello Trasporto (Transport Layer)**

E' responsabile della trasmissione di un messaggio da un processo ad un altro (process to process). Un processo è una applicazione in esecuzione in un dispositivo; spesso ci sono più applicazioni nello stesso dispositivo che utilizzano la rete contemporaneamente: la funzione principale del quarto livello è appunto dividere il messaggio in pacchetti, inviarli attraverso il terzo livello, e poi ricostruirli in maniera corretta per inviarli all'applicazione destinatario.

Le funzioni svolte da questo livello sono quindi:

- \_ un nuovo indirizzamento che riguardi le applicazioni di un dispositivo (service point addressing o port addressing);
- \_ la suddivisione e il riassettaggio di un messaggio mediante pacchetti numerati;
- \_ il controllo della connessione, cioè la gestione di trasmissioni sia connection oriented sia connectionless;
- \_ il controllo del flusso con la regolazione della velocità di trasmissione;
- \_ il controllo degli errori, cioè la gestione di pacchetti errati, persi o duplicati, e la gestione della ritrasmissione.

Si può notare come i compiti del livello trasporto siano molto simili a quelli del livello collegamento dati, solo che il secondo gestisce la trasmissione di informazioni da dispositivo a dispositivo, il primo da processo a processo, con processi non necessariamente in dispositivi adiacenti.

## **Livello Sessione (Session Layer)**

Questo livello si occupa semplicemente di controllare il dialogo attraverso la rete, cioè di stabilire una comunicazione, mantenerla attiva, chiuderla alla fine, e mantenerla sincronizzata nel caso di trasferimenti di molti dati.

I suoi compiti quindi sono:

- \_ controllo del dialogo, sia esso in modalità half duplex o full duplex;
- \_ sincronizzazione del dialogo, cioè aggiunta di checkpoints nella trasmissione (synchronization points) in modo che in caso di caduta della connessione si possa recuperare parte del messaggio.

## **Livello Presentazione (Presentation Layer)**

Controlla la sintassi e la semantica della comunicazione; i suoi compiti sono:

- \_ la traduzione del messaggio nelle codifiche in uso nei dispositivi di invio e ricezione: il formato della sorgente viene convertito in un formato comune, alla fine della trasmissione viene riconvertito nel formato del ricevitore;
- \_ una eventuale codifica del messaggio, se si tratta di dati sensibili;
- \_ una eventuale compressione del messaggio, specie se si tratta di contenuti multimediali.

## **Livello Applicazione (Application Level)**

E' il livello più alto, quindi ha la sola funzione di fornire una interfaccia tra l'utente e il sistema di comunicazione.

Gli usi di un sistema di trasmissione sono svariati, ma possono essere raccolti in queste categorie:

- \_ terminale virtuale: un software che permette di controllare attraverso un terminale un dispositivo remoto;
- \_ accesso, trasferimento e gestione di files di un dispositivo remoto;
- \_ servizi di posta elettronica;
- \_ accesso a database o altri tipi di servizi di informazione remoti.



## Approfondimenti sul Livello Fisico

Il Livello Fisico si preoccupa quindi della gestione del mezzo trasmissivo (ad esempio, cavo coassiale (connettore BNC), cavi STP o UTP, fibre ottiche) su cui avviene lo scambio di informazioni, occupandosi della trasmissione di singoli bit su un mezzo trasmissivo.

Esso definisce per questo le modalità di connessione tra il cavo e la scheda di rete e di conseguenza le caratteristiche cui i mezzi di collegamento fisico devono sottostare, quali:

- caratteristiche fisiche, come forma, dimensioni, numero di piedini di un connettore, specifiche meccaniche;
- caratteristiche funzionali, come il significato dei pin di un componente;
- caratteristiche elettriche, come i valori di tensione per i livelli logici, e di conseguenza la codifica, la sincronizzazione e la durata di ogni bit;
- codifica del segnale digitale su un mezzo trasmissivo che è inerentemente analogico (modulazione).

Esistono diversi standard relativi alla gestione del mezzo trasmissivo, sia esso analogico o digitale.

### Mezzi trasmissivi

I mezzi trasmissivi utilizzati per la realizzazione di un canale in una rete vengono solitamente suddivisi in tre categorie, a seconda del fenomeno fisico utilizzato per trasmettere i bit:

- mezzi elettrici: per la trasmissione utilizzano la proprietà dei metalli di condurre l'energia elettrica (come doppini telefonici, cavi coassiali);
- mezzi ottici: per la trasmissione utilizzano la luce (come le fibre ottiche multimodale o monomodale o la trasmissione in aria via laser);
- mezzi wireless: per la trasmissione utilizzano le onde elettromagnetiche (come le trasmissioni radio a microonde e le trasmissioni radio via satellite). In questo caso il mezzo trasmissivo può essere considerato lo spazio "vuoto" tra mittente e destinatario.

### Caratteristiche dei mezzi trasmissivi

Caratteristiche basilari di un mezzo trasmissivo sono:

- la riduzione della potenza del segnale al crescere della distanza percorsa (o attenuazione);
- la suscettibilità alla degradazione del segnale a causa di elementi esterni (o rumore o interferenza);
- i fenomeni di distorsione che avvengono al segnale trasmesso;
- la capacità (o banda passante);
- i costi;
- i suoi requisiti in maneggevolezza, aggiornabilità e gestione.

Uno stesso mezzo trasmissivo può essere utilizzato su diverse bande trasmissive. In tal caso le caratteristiche di attenuazione, rumore, distorsione possono essere diversi per ciascuna banda. Questo accade ad esempio per le fibre ottiche, che hanno tre diverse finestre trasmissive.

## Synchronous Digital Hierarchy

La ***Synchronous Digital Hierarchy*** (Gerarchia Digitale Sincrona), comunemente detta anche **SDH**, è un protocollo di livello fisico usato per la trasmissione telefonica e di dati in reti geografiche su fibra ottica o via cavo elettrico.

Il compito dell'SDH è quello di aggregare flussi dati a bit rate diversi e ritrasmetterli tutti insieme su grandi distanze. A differenza del PDH, Plesiochronous Digital Hierarchy (Gerarchia Digitale Plesiocrona), il protocollo SDH si basa sul fatto che tutti gli elementi della rete sono tra loro sincronizzati con lo stesso clock. In combinazione a questo, la definizione di una speciale struttura di trama con l'aggiunta di informazioni di servizio (*overhead*) permette non solo l'estrazione di un singolo traffico tributario senza dover effettuare l'intera demultiplazione dell'intero flusso ma anche di trasferire informazioni essenziali per la corretta gestione della rete e per la sua auto-protezione a fronte di guasti o di condizioni anomale o di degrado. Il risultato finale è che il protocollo SDH consente di raggiungere elevatissimi livelli di qualità del servizio (disponibilità del 99,999%) e notevoli strumenti per il controllo e monitoraggio in tempo reale dell'intera rete di trasmissione.

Il protocollo SDH è stato standardizzato nella sua prima versione dall'Unione Internazionale delle Telecomunicazioni (ITU) nel 1988. Da allora sono stati prodotti diversi aggiornamenti ed estensioni dello standard, che è ricoperto da una serie di normative tra cui le più importanti attualmente in forza sono la G.707, la G.783 e la G.803.

Il protocollo SDH è diffuso in tutto il mondo con l'eccezione del Nord America e di poche altre nazioni dove viene invece usato un analogo protocollo, SONET (*Synchronous Optical NETWORKing*), che utilizza gli stessi concetti di base dell'SDH ma che segue uno standard definito da Telcordia e più aderente alle caratteristiche specifiche delle reti di trasmissione telefonica nord-americane. A differenza di quanto avviene per i protocolli PDH, per le loro forti analogie i protocolli SONET e SDH sono in grado di interoperare, entro certi limiti.

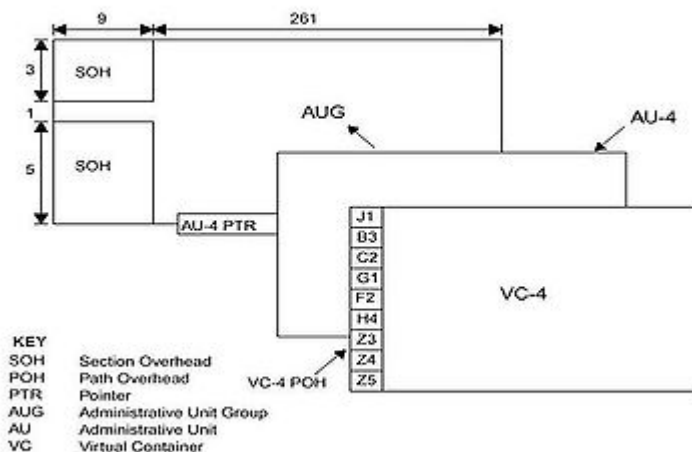
## La trama SDH

A differenza della moltiplicazione PDH, che avviene intercalando tra loro i singoli bit dei segnali tributari (*bit interleaving*) la moltiplicazione SDH avviene intercalando tra loro i singoli byte dei segnali tributari (*byte interleaving*), organizzandoli secondo una struttura di trama ben precisa che nel suo modulo elementare (*Synchronous Transport Module* di livello 1 o STM-1) viene meglio rappresentata sotto forma di una matrice di byte disposti su 9 righe x 270 colonne. Ciascun singolo byte della trama SDH costituisce un canale di bit rate pari a 64 Kbit/s, equivalente a un singolo canale di telefonia: da questo discende che ogni trama elementare di tipo STM-1 viene trasmessa in 125 microsecondi.

La trama SDH è suddivisa in due parti fondamentali:

- una parte di informazioni di servizio globali denominata *Section Overhead* (*overhead di sezione, SOH*) contenuta nelle prime nove colonne della trama
- una parte che trasporta il traffico vero e proprio (*payload*) contenuta nelle restanti 261 colonne, denominata *Administrative Unit* (AU).

### STM-1 frame structure



### Struttura di trasporto del payload

#### Administrative Unit (AU)

L'Administrative Unit, AU, contiene tutto il flusso risultante dal processo di moltiplicazione dei tributari, prima dell'inserimento finale nel complesso della trama SDH.

In generale, la posizione di inizio dell'AU non è allineata con il primo byte utile dopo l'overhead: in fase di generazione della trama finale l'AU viene normalmente allocato a partire da un punto intermedio dei 261x9 byte destinati al payload. Il riferimento (puntatore) alla posizione della trama in cui viene allocato il primo byte dell'AU viene memorizzato in una posizione fissa dell'overhead di trama, ovvero nelle prime nove colonne della quarta riga. Questa informazione di posizionamento costituisce l'*Administrative Unit Pointer* o AU Pointer. L'insieme dell'Administrative Unit e dell'AU Pointer viene denominato *Administrative Unit Group*, AUG.

## Virtual Container (VC) e Tributary Unit (TU)

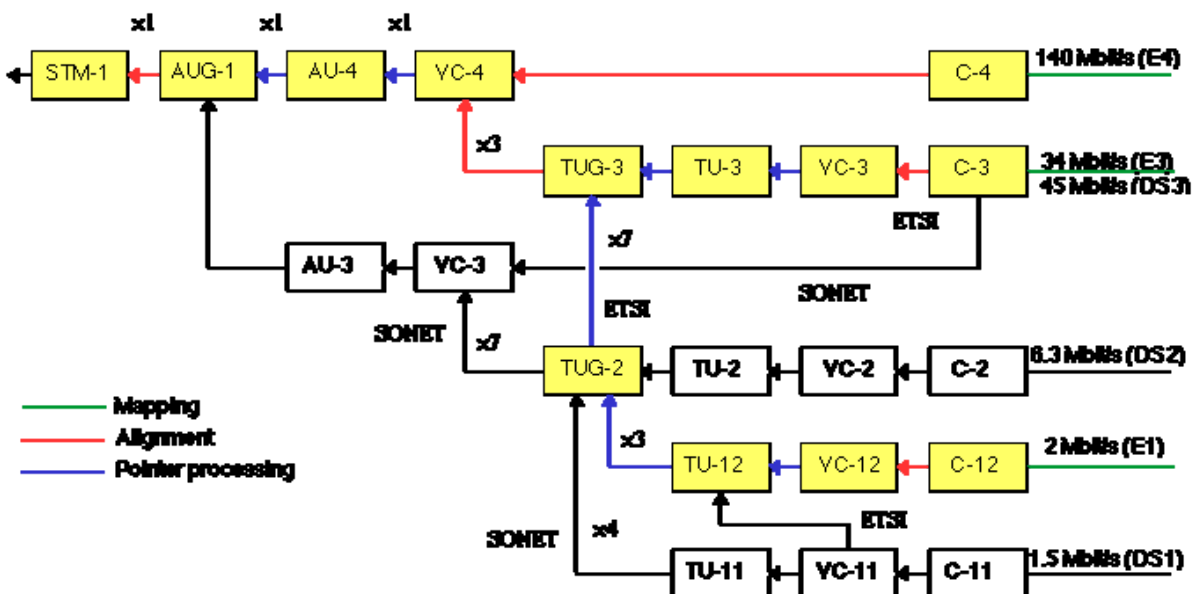
All'interno dell'AU, i singoli flussi tributari sono organizzati come sequenza di strutture omogenee denominate *Virtual Container*, VC (contenitore virtuale). A seconda della bit rate dei tributari multiplati, si distinguono diversi tipi di Virtual Container: per esempio, VC-12 per un trasporto a 2 Mbit/s; VC-3 per un trasporto a 48 Mb/s; VC-4 per un trasporto a 140 Mb/s. La dimensione in byte dei Virtual Container è predefinita, in funzione della gerarchia di trasporto associata.

Ciascun VC comprende una parte di informazioni di servizio aggiuntive (*path overhead*, POH) usate per la gestione, il monitoraggio e la protezione, seguita dal flusso informativo vero e proprio costituito dal tributario adattato alla trama SDH.

Come nel caso dell'AU, il primo byte utile del Virtual Container non ha una posizione prefissata e anche in questo caso si ricorre a un puntatore (*Tributary Unit Pointer*, TU Pointer) posizionato in modo predeterminato nella trama SDH, che indica il punto di inizio del VC stesso. L'insieme del VC e del suo TU Pointer viene denominato *Tributary Unit*, TU.

## Meccanismo di Multiplazione e Demultiplazione

### STM-1



La multiplazione SDH si basa su tre operazioni fondamentali, che possono essere applicate anche in modo ricorsivo:

- la mappatura (*mapping*) del tributario all'interno del contenitore SDH
- l'allineamento (*alignment*) del tributario mappato con la trama SDH vera e propria
- l'elaborazione dei puntatori (*pointer processing*) per l'accesso diretto al tributario all'interno della trama.

Come prima operazione, il segnale tributario in ingresso (flusso PDH, flusso ATM, flusso Ethernet, flusso dati generico) viene mappato in un contenitore (Container) e quindi allineato all'interno di un Virtual Container di dimensione fissa e di rate corrispondente o superiore alla rate del tributario stesso. In quest'ultimo caso, la capacità di banda in eccesso viene riempita con informazioni nulle (*stuffing*). Infatti i VC originariamente sono stati concepiti con bit rate particolarmente adatte per le gerarchie PDH esistenti ma con l'evoluzione delle reti di telecomunicazione, soprattutto con l'utilizzo crescente per il trasporto dei dati (Internet, Voice over IP, video compreso il video on demand e la pay per view via cavo), sono state sviluppate evoluzioni che consentono di adattare le gerarchie di VC esistenti anche a bit rate differenti da quelle classiche delle gerarchie PDH. Anche il VC è strutturato in due sezioni: una riservata a informazioni di servizio (*Path Overhead*), posizionata sempre all'inizio del VC e l'altra destinata per il Container.

Nella fase di allineamento, il Container viene posizionato all'interno del VC. Dato che la fase del Container non è correlata con la fase del VC, il primo byte logico del Container generalmente non corrisponderà con il primo byte dell'area ad esso riservata nel VC ma si troverà in una posizione intermedia.

La terza fase della moltiplicazione, l'elaborazione dei puntatori, serve proprio per memorizzare nel TU Pointer, che si trova nel Path Overhead, la posizione di inizio del Container all'interno del VC. Alla fine di queste operazioni si ottiene così come risultato finale la Tributary Unit, TU.

I tributari così moltiplicati vengono raggruppati in un *Tributary Unit Group*, TUG, che allinea i TU pointer dei TU componenti e costituisce la base per la moltiplicazione a livello successivo. I TU/TUG così ottenuti possono a loro volta essere moltiplicati all'interno di un VC di gerarchia superiore, tramite la medesima sequenza di mappatura, allineamento ed elaborazione dei puntatori, fino ad ottenere un TU/TUG di ordine superiore e così via fino all'ultimo stadio possibile, in cui il flusso moltiplicato riempie l'intera sezione di payload della trama SDH, costituendo così l'Administrative Unit.

Dato che a sua volta l'Administrative Unit non è in fase con la trama SDH, in generale la posizione del suo primo byte logico non corrisponderà con il primo byte fisico riservato al payload ma si troverà in un punto intermedio dell'area dedicata di 261x9 byte. La posizione del primo byte viene quindi memorizzata nell'AU pointer, che si trova sempre nelle prime 9 colonne della quarta riga della trama SDH.

L'insieme dell'AU e del relativo AU Pointer costituisce infine l'*Administrative Unit Group* (AUG).

In testa alla trama viene infine aggiunta l'informazione di overhead di sezione (SOH), completando così la generazione del flusso STM-1, la cui bit-rate finale è di 155 Mbit/s: questo significa che una singola trama STM-1 viene trasmessa in 125 microsecondi, con ogni singolo byte equivalente a un canale a 64 kbit/s.

La demoltiplicazione di un singolo tributario avviene tramite il processo inverso di elaborazione dei puntatori: tramite l'AU Pointer si identifica all'interno del payload il primo byte dell'AU-4, ossia il primo byte della trama moltiplicata. Dato che ogni tributario è allocato in un numero fisso di byte, una volta nota questa posizione iniziale è possibile individuare immediatamente in modo ricorsivo la posizione di inizio di tutti i TU/TUG della trama e tramite elaborazione ricorsiva del TU/TUG pointer è possibile estrarre (o inserire) direttamente dalla trama il singolo tributario finale, senza dover distruggere e ricreare l'intero flusso come invece avviene nella moltiplicazione PDH.

## STM-N

Per flussi SDH di gerarchia più elevata (STM-N), la trama e il meccanismo di moltiplicazione e demoltiplicazione seguono un meccanismo ricorsivo in base al quale la SOH e l'AUG del flusso moltiplicato si ottengono combinando insieme le SOH e gli AUG dei singoli flussi componenti a gruppi di quattro, conformemente alla definizione della gerarchia SDH (STM-4 come moltiplicazione di quattro STM-1, STM-16 come moltiplicazione di quattro STM-4 e così via).

La trama di un flusso STM-N è quindi rappresentabile come una matrice di byte disposti su 9 righe per 270xN colonne. La parte di SOH della trama STM-N è composta dalle prime 9xN colonne, che combinano gli N SOH tributari; l'AU pointer è costituito dalla concatenazione degli N AU pointer; l'AUG-N è costituito dalla concatenazione (*byte interleaving*) dei quattro AUG componenti di gerarchia inferiore. Con questa struttura, grazie all'informazione degli AU pointer è possibile estrarre o inserire direttamente il singolo flusso STM-x oppure il singolo tributario dal singolo flusso STM-x tramite l'applicazione ricorsiva del meccanismo di processazione dei puntatori, senza dover demoltiplicare e rimoltiplicare l'intero flusso.

### Section Overhead (SOH)

Le prime nove colonne della trama SDH costituiscono la cosiddetta *section overhead* (SOH). Questa parte della trama contiene informazioni di servizio relative alla trama nel suo complesso ed essenziali per il riconoscimento della trama stessa e per l'accesso ai singoli flussi tributari, nonché un insieme di informazioni di controllo per la gestione, il monitoraggio e la protezione dell'intero modulo.

La SOH è suddivisa in due parti distinte: la *Regenerator Section Overhead* (RSOH), che viene terminata (ossia generata) ad ogni tratta di rigenerazione ottica del segnale, e la *Multiplex Section Overhead* (MSOH) che attraversa in modo trasparente le tratte di rigenerazione, senza essere modificata, e viene terminata quando viene eseguita la moltiplicazione della trama SDH con la costruzione dell'AUG.

RSOH e MSOH occupano due posizioni ben distinte e separate nella SOH. La RSOH utilizza le prime tre righe della SOH complessiva (dalla 1 alla 3) mentre la MSOH usa le ultime cinque righe (dalla 5 alla 9) dato che la quarta riga è riservata per l'AU pointer.

	col1	col2	col3	col4	col5	col6	col7	col8	col9
riga1	RSOH								
riga2									
riga3									
riga4	AU POINTER								
riga5	MSOH								
riga6									
riga7									
riga8									
riga9									

In trame di tipo STM-N, i byte relativi alla RSOH/MSOH dei singoli STM-1 sono posizionati in maniera ordinata e interallacciata su N colonne: il byte numero 1 del flusso STM-1 numero 1 è seguito dal byte numero 1 del flusso STM-1 numero 2, dal byte numero 1 del flusso STM-1 numero 3 e così via in sequenza. In questo modo è possibile ricostruire e accedere in modo diretto alle informazioni di RSOH e MSOH relative al singolo STM-1 del flusso multiplato.

### Regeneration Section Overhead (RSOH)

La RSOH è composta da 27 byte, ognuno equivalente a un canale a 64 Kb/s, così strutturati:

	col1	col2	col3	col4	col5	col6	col7	col8	col9
<b>riga1</b>	A1	A1	A1	A2	A2	A2	J0	BN	BN
<b>riga2</b>	B1	B	B	E1	B		F1	BN	BN
<b>riga3</b>	D1	B	B	D2	B		D3		

Il significato di ciascun byte è il seguente:

- A1, A2: byte di allineamento complessivo della trama
- J0: *regenerator section trace*
- B1: controllo di parità della trama (monitoraggio degli errori di trasmissione)
- E1: canale telefonico di servizio (*orderwire*)
- F1: riservato per usi proprietari
- D1,D2,D3: informazioni di gestione (canale dati a 192 Kb/s)
- BN: byte riservati per uso nazionale
- B: byte per informazioni dipendenti dal mezzo di trasporto

### Multiplex Section Overhead (MSOH)

La MSOH è composta da 45 byte, ognuno equivalente a un canale a 64 Kb/s, così strutturati:

	col1	col2	col3	col4	col5	col6	col7	col8	col9
<b>riga5</b>	B2	B2	B2	K1			K2		
<b>riga6</b>	D4			D5			D6		
<b>riga7</b>	D7			D8			D9		
<b>riga8</b>	D10			D11			D12		
<b>riga9</b>	S1					M1	E2	BN	BN

Il significato di ciascun byte è il seguente:

- B2: controllo di parità della trama (monitoraggio degli errori di trasmissione)
- K1, K2: protocollo di gestione delle protezioni (*Automatic Protection Switch*)
- K2: informazione di guasto remoto
- D4-D12: informazioni di gestione (canale dati a 512 Kb/s)
- S1: informazioni di stato della sincronizzazione
- M1: conteggio errori di trasmissione
- E2: canale telefonico di servizio (*orderwire*)
- BN: byte riservati per uso nazionale

## Path Overhead (POH)

Le informazioni di *path overhead* (POH) sono associate ai VC. Questa parte della trama contiene informazioni di servizio e di controllo per la gestione, il monitoraggio e la protezione dell'intero VC e dei tributari in esso contenuti. La struttura è differente a seconda che si considerino i VC di ordine superiore (VC4 e VC3, *higher order*) o quelli di ordine inferiore (VC2, VC12 e VC11, *lower order*).

### POH di Higher Order

---

Il POH di *higher order* è associato ai VC3 e VC4 ed è costituito dai primi nove byte, corrispondenti alla prima colonna del Virtual Container stesso. La struttura è così definita:

J1
B3
C2
G1
F2
H4
F3
K3
N1

Il significato di ciascun byte è il seguente:

- J1: *path trace*
- B3: controllo di parità del Virtual Container
- C2: *signal label*
- G1: *path status*, informazioni relative allo stato della terminazione remota del VC
- F2, F3: canali a uso utente
- H4: indicatore di sequenza e di posizionamento, usato per la concatenazione virtuale
- K3: protocollo di protezione APS e protocolli utente per la gestione del link
- N1: *Tandem Connection Monitoring*



## **POH di Lower Order**

Per i VC di *lower order* il POH è costituito da quattro byte. A differenza degli overhead di sezione e dei VC di *higher order*, che vengono trasmessi completamente all'interno di una singola trama SDH, il POH di lower order viene trasmesso distribuito su quattro trame consecutive, consentendo così di utilizzare per esso solo il primo byte del VC stesso secondo una distribuzione multitrama. Con questo meccanismo, la periodicità di trasmissione di ciascun byte del POH diventa 500µs e il significato del primo byte del VC cambia a seconda della sua posizione nella sequenza di multitrama.

La struttura logica del POH di *lower order* è così definita:

<b>trama 1</b>	V5
<b>trama 2</b>	J2
<b>trama 3</b>	N2
<b>trama 4</b>	K4

Il significato di ciascun byte è il seguente:

- V5: informazioni di errore e *signal label*
- J2: *path trace*
- N2: *Tandem Connection Monitoring*
- K4: *signal label* estesa, protocollo di protezione APS e indicatore di sequenza e posizionamento per la concatenazione virtuale

## **Meccanismi di protezione**

Con la trama SDH si apre il campo anche a diverse tipologie di protezione del traffico di una rete utilizzando dei byte aggiuntivi presenti nella trama (overhead).

Le protezioni lineari si possono applicare a livello dell'intero flusso SDH (aggregato) o dei singoli tributari, indipendentemente dalla topologia della rete sottostante.

La protezione lineare di tipo MSP (Multiplex Section Protection) opera a livello di aggregato (Multiplex Section), ossia agisce a livello dell'AUG-N proteggendo quindi contemporaneamente tutti i tributari trasportati.

La protezione MSP bidirezionale sfrutta un protocollo di sincronizzazione usando due byte specifici dell'overhead di trama SDH chiamati K1 e K2, che servono a far colloquiare fra loro gli aggregati di trasmissione e ricezione. Nel momento in cui un lato del collegamento non riceverà più nessun segnale avvertirà il sistema remoto del malfunzionamento e quindi i due capi del collegamento di comune accordo utilizzeranno la via di riserva.

La protezione lineare di tipo SNCP (Sub Network Connection Protection) opera a livello di Virtual Container, ossia del singolo tributario che trasporta un singolo flusso (VC4, 140Mb/S; VC3 per DS3 45 Mb/S e E3 34 Mb/S; VC12 per E1 2 Mb/s). La protezione è solo di tipo 1+1 e agisce quando il segnale si interrompe, è fortemente degradato o non corrispondente al segnale atteso.

Esistono diverse varianti di protezione SNCP:

- SNCP-I (inherent) utilizzabile solo nei punti terminali del tributario, ossia nei nodi in cui il tributario viene inserito/rimosso.
- SNCP-N (non-intrusive) utilizzabile tra un punto terminale e un punto intermedio del tributario, ossia in un nodo in cui il tributario è in configurazione passante (pass-through), tramite un monitoraggio in sola lettura (per questo detto "non intrusivo") delle opportune informazioni trasportate in specifici byte dedicati dell'overhead del contenitore virtuale protetto.
- SNCP-S (segment) utilizzabile tra due punti qualsiasi (segmento) del tributario, in particolare anche tra due punti intermedi, tramite un monitoraggio più sofisticato (Tandem Connection Monitoring) di informazioni appositamente iniettate nei punti di protezione (Tandem Connection Termination) utilizzando specifici byte dedicati dell'overhead del contenitore virtuale protetto.

Le protezioni di tipo SNCP-N e SNCP-S si usano tipicamente per flussi tributari che attraversano più reti SDH tra loro indipendenti e interconnesse (come avviene per esempio nel caso della telefonia internazionale o della telefonia tra due reti di due operatori indipendenti), in modo da consentire la protezione completa e indipendente anche della singole tratte all'interno di ciascuna rete.

La protezione ad anello sfrutta le caratteristiche specifiche di questa topologia: nel caso di un guasto che rende non raggiungibile o non funzionante un nodo dell'anello, il traffico viene dirottato all'indietro sulle linee *protecting* sfruttando l'altro senso di rotazione dell'anello in modo da aggirare il punto di guasto. Questo tipo di protezione si applica solo al flusso aggregato (AU-4) ed è denominata MS-SPRing (Multiple Section - Shared Protection Ring) e utilizza 4 fibre o 2 fibre a seconda che si preveda la protezione di tutto il traffico o solo del traffico ad alta priorità, usando in questo caso la sezione *protecting* per traffico di bassa priorità in condizioni di assenza di guasto. Anche questa protezione viene gestita da un protocollo trasmesso nell'overhead di trama e che distribuisce su ciascun nodo le informazioni di stato e su come dirottare il traffico correttamente in caso di guasto nell'anello (*squelching tables*).

Anche per il protocollo MS-SPRing esistono alcune varianti, concepite apposta per il traffico intercontinentale su cavi transoceanici, che ottimizzano la protezione dirottando il traffico nel senso funzionante direttamente nel punto di ingresso nell'anello e non in adiacenza al punto di guasto, evitando così il triplo attraversamento dell'oceano che comporterebbe ritardi di trasmissione inaccettabili per la qualità del segnale telefonico.

## La Rete SDH

L'attuale rete di trasporto è basata essenzialmente sulla tecnologia SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*), in quanto si va esaurendo la presenza di apparati di tecnologia PDH (*Plesiochronous Digital Hierarchy*). La rete SDH ha molti punti di forza, quali la completa standardizzazione di tutte le caratteristiche funzionali (gerarchia di moltiplicazione, controllo delle prestazioni, modalità di protezione e di reinstradamento ecc.), un insieme di informazioni di gestione ritagliato sulle esigenze dei gestori e, oramai, una lunga operatività in campo che garantisce da tempo anche una sperimentata interoperatività tra apparati di fornitori diversi.

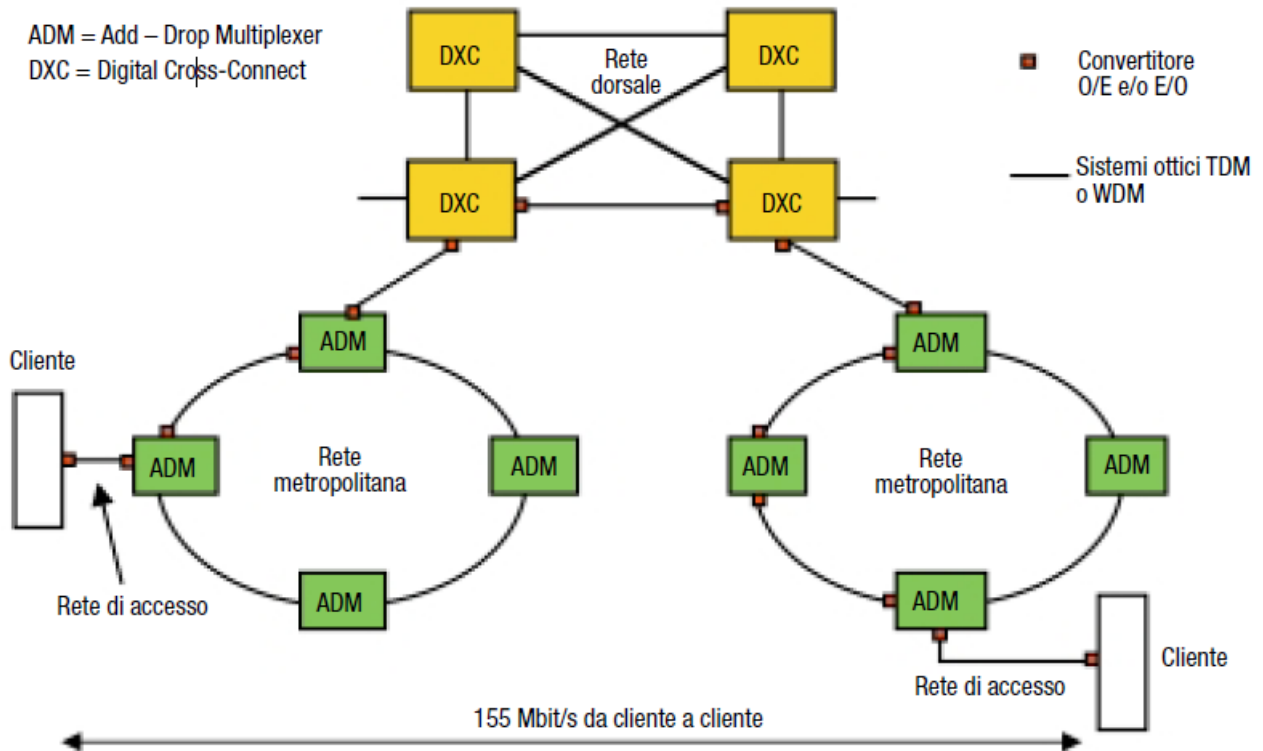
Essa presenta tuttavia alcuni punti di debolezza. Anzitutto, nonostante la quasi totalità dei collegamenti che costituiscono la rete dorsale e la maggior parte di quelli posati nelle reti metropolitane sia realizzato con tecnologie ottiche (fibre e sistemi), l'attuale rete di trasporto, basata sulla tecnologia SDH, non può essere considerata una rete ottica, perchè tutte le funzioni di trattamento del segnale (permutazioni, estrazione e successiva reintroduzione di segnali, conversione di lunghezza d'onda ecc.) sono ancora effettuate al livello elettrico negli apparati ADM (*Add Drop Insert Multiplexer*) e DXC (*Digital Cross-Connect*). Per effettuare queste operazioni risulta perciò necessario convertire il segnale ottico proveniente dai sistemi trasmissivi in uno elettrico in ogni punto terminale, anche quando non sarebbe necessario effettuare la conversione perchè le degradazioni ottiche accumulate nel percorso trasmissivo sono ancora limitate.

Gli elementi di rete SDH principali sono tre:

- gli Add-Drop Multiplexer (ADM): componenti di linea bidirezionali che hanno il compito di inserire ed estrarre i flussi cliente tributari a velocità di cifra inferiore rispetto alla portante. Di fatto costituiscono gli apparati di accesso alla rete SDH.

- i rigeneratori: rigenerano il segnale al fine di poter coprire lunghe distanze. Nel caso si trasmetta su fibra ottica eseguono una trasformazione del segnale da ottico ad elettrico e viceversa per la ritrasmissione dei dati eliminando o correggendo gli effetti negativi legati alla distanza percorsa (es. attenuazione).

- i cross-connect, componenti ad elevata capacità di commutazione e in grado di gestire un numero molto elevato di flussi SDH, tipicamente utilizzati per la realizzazione di dorsali telefoniche.



La figura mostra il numero di punti di conversione O/E (*Ottico - Elettrico*) e E/O (*Elettrico - Ottico*) presenti in un generico collegamento tra le due sedi di un cliente. La presenza di queste conversioni costituisce un pesante onere economico per i gestori. Un secondo punto di debolezza è relativo, in particolare, alla gerarchia di moltiplicazione SDH progettata per un'utilizzazione prevalente con segnali telefonici. La rete SDH presenta quindi alcuni limiti in una visione delle telecomunicazioni sempre più orientata al trasporto dei dati. In particolare, i dati devono essere sempre mappati nei *payload* SDH per essere trasportati sui sistemi ottici. Non è infatti possibile una trasmissione diretta al livello ottico, in quanto tutte le funzionalità di gestione sono concentrate negli apparati SDH. Gli attuali sistemi ottici di trasmissione non hanno alcuna funzione di controllo delle prestazioni, ma hanno solo alcune funzioni di allarme (mancanza della potenza ottica). In particolare, per esempio, i codici di linea NRZ (*Non Return to Zero*) e RZ (*Return to Zero*) non presentano alcuna ridondanza che consenta di effettuare una valutazione, anche se grossolana, delle prestazioni di errore al livello ottico, proprio perchè sono stati sviluppati per operare in sinergia con la SDH. L'ultima generazione di apparati SDH, arricchita di nuove prestazioni per essere più aperta al mondo dei dati (funzionalità di *Generic Frame Procedure* e *Virtual Concatenation*), mantiene però la necessità di dovere in ogni caso utilizzare lo strato SDH e sostenere il costo dei relativi apparati.

## SDH di nuova generazione

Lo sviluppo di SDH fu originariamente dovuto alla necessità di trasportare più flussi plesiocroni insieme a altri gruppi di traffico voce a 64 kbit/s multiplexato in PCM. Per avere banda sufficiente per grossi traffici ATM, si sviluppò la tecnica della concatenazione contigua, nella quale il segnale viene distribuito su più Administrative Unit (AU-3 o AU-4) consecutive, secondo una filosofia di *multiplazione inversa* in modo da costituire un'Administrative Unit equivalente di capacità maggiore pari alla somma delle AU componenti. In questo modo è possibile trasportare simultaneamente su una rete SDH sia voce che dati.

Un problema della concatenazione contigua, tuttavia, è la sua mancanza di flessibilità e la scarsa ottimizzazione dell'utilizzo di banda a causa delle dimensioni delle AU. Per esempio, il trasporto di una connessione 100 Mbit/s Fast Ethernet richiede l'uso di una AU-4 (155 Mbit/s), comportando lo spreco di un terzo della banda disponibile. Inoltre, la concatenazione contigua, obbligando l'uso di AU-3 o AU-4 consecutivi che devono rimanere tali lungo tutto il circuito comporta di conseguenza l'obbligo per tutti i flussi di seguire lo stesso percorso e l'obbligo di usare ovunque apparati in grado di gestire correttamente la concatenazione contigua. Questo non sempre è possibile, soprattutto su una rete già in esercizio in cui le risorse necessarie potrebbero essere state già occupate in precedenza.

La concatenazione virtuale (abbreviata in VCAT) consente un approccio più flessibile, ricorrendo alla concatenazione dei singoli Virtual Container e non più delle Administrative Unit di bit rate più elevata, consentendo così di usare granularità migliori. La concatenazione virtuale consiste nel distribuire il traffico su più VC indipendenti ma associati logicamente: un byte opportuno del POH individua quali sono i VC che fanno parte di una concatenazione e la loro posizione sequenziale all'interno del gruppo concatenato, per poter ricostruire il flusso originale nel nodo di terminazione. I vantaggi della concatenazione virtuale sono una miglior ottimizzazione della banda rispetto alla bit rate del flusso da trasportare e soprattutto un più facile inserimento in una rete già in esercizio, venendo a cadere i vincoli della contiguità all'interno della trama SDH e dell'obbligo di seguire lo stesso percorso, grazie all'indipendenza dei VC (ogni contenitore può seguire un suo percorso separato e indipendente da quello degli altri contenitori del gruppo, offrendo così anche una migliore protezione contro i guasti fisici) e soprattutto non richiedendo di modificare gli apparati se non nei punti terminali di una concatenazione virtuale (nei punti intermedi del percorso i VC appartenenti a una VCAT non richiedono alcuna processazione specifica e sono quindi indistinguibili dai VC ordinari, per cui possono essere processati correttamente anche da apparati non in grado di gestire la concatenazione virtuale).

Una ulteriore flessibilità è data dall'introduzione del protocollo *Link Capacity Adjustment Scheme* (LCAS), che consente una variazione dinamica della banda dedicata, tramite incremento o diminuzione dei membri usati per una concatenazione virtuale, rispondendo alle richieste di aumento o riduzione di banda in tempi quasi istantanei (nell'ordine dei secondi). Questa tecnica si usa sia per aumentare o diminuire in modo permanente la banda utilizzata sia in modo temporaneo a fronte di guasti del singolo contenitore virtuale, in modo da redistribuire il traffico sugli altri contenitori del gruppo.

L'insieme dei protocolli SDH di nuova generazione che consentono di trasportare traffico Ethernet viene spesso indicato con Ethernet over SDH (EoS).

# Le Fibre Ottiche



Nell'ambito delle reti metropolitane e delle reti dorsali la percentuale dei cavi ottici sul totale dei portanti impiegati in Italia supera di molto il 90%, in quanto, dalla seconda metà degli anni Ottanta, tutti i nuovi collegamenti sono stati realizzati in fibra ottica.

I vantaggi delle fibre ottiche sui conduttori metallici in termini di prestazioni, ingombro, peso, costo sono, infatti, tali che, non appena la tecnologia è stata sufficientemente matura, il loro impiego nelle reti di telecomunicazioni si è immediatamente generalizzato.

Le fibre ottiche impiegate nelle reti di trasporto sono tutte di tipo singolo-modo, costituite da un nucleo (*core*) e da un mantello (*cladding*) concentrici di silice variamente drogata per realizzare il desiderato profilo dell'indice di rifrazione, in particolare il cladding deve avere un indice di rifrazione minore (tipicamente vale 1,475) rispetto al core (vale circa 1,5).

Il diametro del mantello è di 125  $\mu\text{m}$ , diametro che, con il rivestimento protettivo primario (*buffer*), diventa di 250  $\mu\text{m}$  ; come ulteriore

caratteristica il buffer deve avere uno spessore maggiore della lunghezza di smorzamento dell'onda evanescente, caratteristica della luce trasmessa in modo da catturare la luce che non viene riflessa nel core.

La fibra ottica funziona come una specie di specchio tubolare. La luce che entra nel core ad un certo angolo (angolo limite) si propaga mediante una serie di riflessioni alla superficie di separazione fra i due materiali del core e del cladding.

All'esterno della fibra vi è una guaina protettiva polimerica detta jacket che serve a dare resistenza agli stress fisici e alla corrosione ed evitare il contatto fra la fibra e l'ambiente esterno.

Diversi tipi di fibre si distinguono per diametro del core, indici di rifrazione, caratteristiche del materiale, profilo di transizione dell'indice di rifrazione e drogaggio (aggiunta di piccole quantità di altri materiali per modificare le caratteristiche ottiche).

Il core e il cladding della fibra ottica possono essere realizzati in silice oppure in polimeri plastici.

Nel caso del silice la fibra ottica è una singola fibra di vetro, viene realizzata a partire da silice ultrapura, la quale viene ottenuta dalla reazione fra il tetracloruro di silicio e l'ossigeno. Nel silicio destinato alla produzione del core viene aggiunto del germanio (sotto forma di tetracloruro di germanio) in modo da aumentarne l'indice di rifrazione senza variarne l'attenuazione. Nella silice destinata al cladding invece viene aggiunto del boro allo scopo di ridurre l'indice di rifrazione.

Il principale svantaggio delle fibre ottiche realizzate in silice è la loro fragilità. A causa del diametro estremamente ridotto esse hanno anche una piccola apertura numerica ( $NA \approx 0.16$ ) e sono difficili da raccordare.

Nel caso di fibra ottica realizzata da polimeri, la fibra è costituita da una materia plastica.

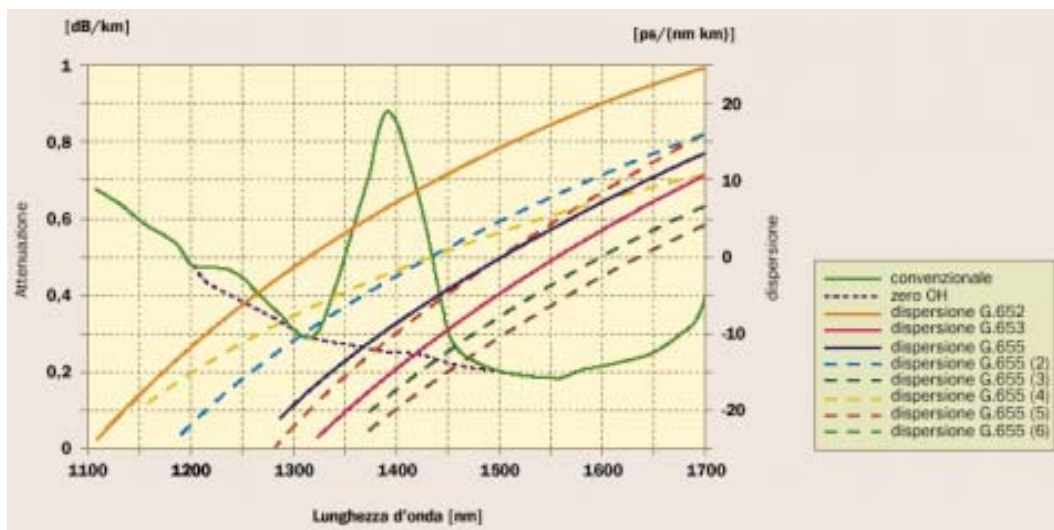
Queste fibre ottiche polimeriche sono molto più facili da maneggiare rispetto alle fragili fibre realizzate in vetro. La dimensione del core è molto più grande (1 mm) rispetto alle fibre in silice, quindi si ha un'apertura numerica più elevata e la possibilità di realizzare fibre multimodali. Tuttavia questo tipo di fibre ottiche ha un'attenuazione abbastanza elevata e una scarsa resistenza termica.

I segnali che si propagano lungo le fibre ottiche sono soggetti a degradazioni causate principalmente da: attenuazione, dispersione cromatica, dispersione di polarizzazione, effetti legati alle non linearità.

## Attenuazione

L'attenuazione subita da un segnale ottico nella sua propagazione lungo una fibra ottica è dovuta alla combinazione di diversi effetti (diffusione di Rayleigh, dovuta a fluttuazioni di densità a livello molecolare della silice vetrosa; assorbimento molecolare, massimo nel medio infrarosso; assorbimento atomico, massimo nell'ultra-violetto; presenza di impurezze nella silice della fibra, principalmente dovuta a presenza di ioni ossidrili ecc.).

L'attenuazione varia con la lunghezza d'onda del segnale trasmesso, come mostrato in figura 1, e linearmente con la lunghezza della fibra.



Nella figura sono mostrati due andamenti dell'attenuazione: il primo con un picco intorno a 1390 nm per la presenza nella fibra di ossidrili  $\text{OH}^-$ . Il secondo, relativo a fibre di recente produzione nelle quali l'ossidrile  $\text{OH}^-$  è stato eliminato, presenta invece un'attenuazione regolarmente decrescente con il crescere della lunghezza d'onda fino a circa 1700 nm. La figura mostra ancora che il campo di lunghezza d'onda più attraente, dal punto di vista dell'attenuazione, è nel vicino infrarosso ed è compreso tra 1260 nm e 1675 nm.

La banda oggi di gran lunga più utilizzata è la banda C (1530-1565 nm) perchè è quella dove si verificano le minori attenuazioni (0,20-0,22 dB/km) e nella quale si ha anche la disponibilità di una vasta gamma di componenti ottici.

Maggiori dettagli sull'impiego delle varie bande di lunghezza d'onda sono riportati nel paragrafo 3 che esamina i sistemi di trasmissione.

Infine l'andamento dell'attenuazione in funzione della lunghezza d'onda mostrato in figura 1 è praticamente lo stesso per tutti i diversi tipi di fibra impiegati nelle reti di trasporto in quanto è legato essenzialmente al tipo di materiale impiegato (la silice) e dipende molto poco dalle caratteristiche dimensionali e geometriche della fibra stessa.

### **Dispersione cromatica**

Un secondo tipo di degradazione che subisce un segnale che si propaga in una fibra è dovuto al fatto che la velocità di propagazione varia con la lunghezza d'onda.

Considerato che le sorgenti ottiche (laser) non sono in genere monocromatiche, le varie lunghezze d'onda che compongono ogni impulso immesso in fibra, in cui è codificato il segnale di trasmissione, arrivano al punto di ricezione in tempi differenti provocando un allargamento della forma dell'impulso trasmesso. Si ha, quindi, un'interferenza intersimbolica che, ove superi certi limiti, può provocare degli errori nella fase di identificazione alla ricezione degli impulsi o in quella di rigenerazione.

L'entità della dispersione cromatica dipende quindi dalla larghezza spettrale delle sorgenti ottiche e dalle caratteristiche di dispersione delle singole fibre. Tali caratteristiche variano fortemente a seconda del progetto della fibra stessa perchè esse risultano dalla combinazione di un effetto di dispersione del materiale (dovuta alla dipendenza spettrale dell'indice di rifrazione della silice costituente la fibra) e di un effetto di guida (dovuto alle caratteristiche ottico geometriche della fibra medesima). In conseguenza di questa situazione l'ITU-T ha standardizzato diversi tipi di fibre, ottimizzato ciascuno per un impiego specifico.

La figura 1 mostra l'andamento della dispersione cromatica in funzione della lunghezza d'onda per alcune tipologie di fibre, indicate con il numero della corrispondente Raccomandazione dell'ITU-T. Appare chiaro che l'andamento per le singole fibre è molto simile, ma il punto di zero è posto a lunghezze d'onda diverse, modellando soprattutto l'andamento dell'indice di rifrazione del nucleo, in funzione dei diversi tipi di applicazione (lunghezza d'onda di lavoro, impiego dei sistemi nelle brevi, medie o grandi distanze, sistemi a singolo canale ovvero multicanale ecc.) cui la fibra è destinata. La dispersione cromatica cresce linearmente con la lunghezza del collegamento ed è un fenomeno di natura deterministica per cui può essere compensata con adatti dispositivi prima che raggiunga valori critici.

### **Dispersione di polarizzazione**

La dispersione di polarizzazione è legata alla diversa velocità di propagazione delle due componenti ortogonali del campo elettromagnetico trasmesso lungo la fibra.

L'effetto è ancora quello di un allargamento dell'impulso di potenza ottico che dà origine a interferenza intersimbolica. L'entità della dispersione dipende da molti fattori (alcuni variabili nel tempo): il metodo di fabbricazione delle fibre, la struttura del cavo ottico, il tipo di posa, la temperatura ecc..

La dispersione di polarizzazione è quindi un fenomeno di tipo statistico e il problema della sua compensazione è più complesso e non così efficace come quello della dispersione cromatica. Questo tipo di dispersione si accumula con la radice quadrata della lunghezza del collegamento ed i suoi valori tipici non superano generalmente limiti compresi tra 0,2 e 0,5 ps/km<sup>-2</sup>.



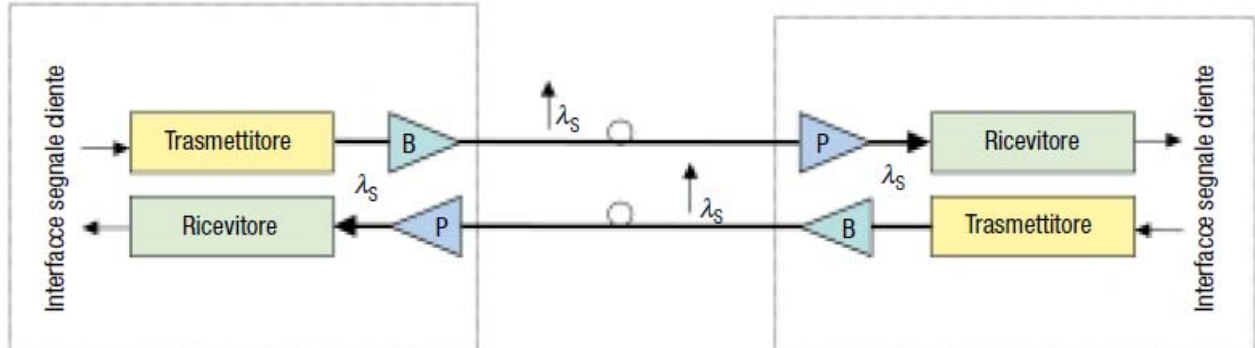
## Non-linearità

In generale l'indice di rifrazione del materiale costituente la fibra non dipende dall'intensità del campo elettromagnetico che lo attraversa. Ma per intensità particolarmente elevate, quali quelle rese disponibili da molti amplificatori ottici, l'indice di rifrazione può mostrare una dipendenza dall'intensità. La non-linearità può provocare diversi tipi di degradazione del segnale trasmesso. Il più temibile è generalmente l'interazione a quattro fotoni, più nota come FWM (*Four Wave Mixing*), che dà origine ad alcune repliche del segnale stesso a lunghezze d'onda diverse. Questi segnali spuri possono andare a cadere in corrispondenza di altri canali provocando rumore e/o diafonia. Naturalmente questo tipo di degradazione ha un impatto solamente nel caso di sistemi che trasmettono più canali ottici sulla stessa fibra (sistemi WDM). Gli effetti delle degradazioni dovute alla non linearità delle fibre sono tanto maggiori quanto più bassa è la dispersione cromatica nella gamma di lunghezze d'onda di lavoro.

Le caratteristiche geometriche, dimensionali e ottiche delle fibre possono essere scelte in modo da ridurre l'entità di una delle degradazioni di cui sopra (spesso però a scapito delle altre) in funzione della loro utilizzazione. La fibra G.652, che è decisamente la più diffusa (costituisce, infatti, oltre l'80% delle fibre posate nel mondo), presenta una dispersione cromatica relativamente alta nella banda 1530-1565 nm, ma ha effetti non lineari molto ridotti. La fibra G.655 è caratterizzata da una dispersione cromatica sufficientemente elevata nella stessa banda per limitare gli effetti delle non linearità, ma abbastanza bassa per non rendere eccessivamente complesso il problema della compensazione. La fibra G.656, che costituisce lo standard più recente, è invece caratterizzata da una dispersione cromatica relativamente bassa in tutta la banda 1460-1625 nm (bande S + C + L).

## I Sistemi Ottici di Trasmissione

I sistemi ottici di trasmissione comprendono gli apparati necessari per trasmettere sulle fibre ottiche i segnali clienti. Essi possono essere suddivisi in due grandi categorie: i sistemi a canale singolo e quelli multicanale.



B = Amplificatore ottico di potenza

P = Preamplificatore ottico

### I sistemi a canale singolo

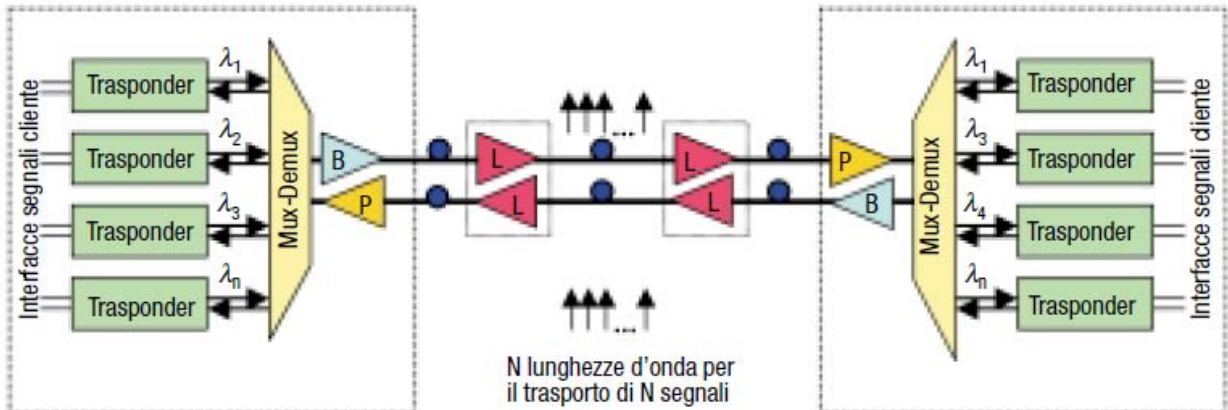
I sistemi a canale singolo, sono chiamati anche TDM (*Time Division Multiplexing*) in quanto i segnali trasmessi sono multiplati a divisione di tempo; essi trasmettono un solo canale ottico su una coppia di fibre, che è necessaria perchè i segnali cliente sono bidirezionali.

I sistemi ottici a canale singolo sono costituiti, in linea di principio, da un terminale trasmittente (dove si effettua, in particolare, la conversione elettro-ottica del segnale da trasmettere), da un terminale ricevente (dove si effettua, tra l'altro, la conversione ottico-elettrica del segnale ricevuto) e da un numero di amplificatori ottici che è funzione della lunghezza del collegamento da realizzare. In pratica, l'impiego dei sistemi TDM è limitato a collegamenti sufficientemente corti da non richiedere amplificatori intermedi. Il costo dell'inserzione in linea di amplificatori intermedi giustifica in genere l'installazione di un sistema WDM atto ad utilizzare gli amplificatori di linea con più canali.

Il campo di impiego dei sistemi ottici TDM va quindi dai raccordi all'interno delle centrali ai collegamenti periferici nelle reti metropolitane. Le Raccomandazioni ITU-T [3] prevedono lunghezze fino a 160 km per sistemi con capacità fino a 2,5 Gbit/s e lunghezze fino a 120 km per sistemi con capacità fino 10 Gbit/s. La tecnologia ottica attuale consente tuttavia di realizzare anche sistemi TDM senza amplificazione intermedia dell'ordine di 250-300 km per applicazioni particolari, come, per esempio, i collegamenti sottomarini.

## I sistemi WDM

I sistemi multi-canale, indicati generalmente come WDM (*Wavelength Division Multiplexing*), trasmettono invece molti canali a diversa lunghezza d'onda su una coppia di fibre ottiche. In questi sistemi i terminali trasmettenti, le cui uscite sono evidentemente a lunghezze d'onda differenti, sono seguiti da un moltiplicatore ottico che ha il compito di affiancare tutti i canali da trasmettere sulla stessa fibra.



B = Amplificatore ottico di potenza  
P = Preamplificatore ottico  
L = Amplificatore ottico di linea  
Mux-Demux = Moltiplicatore – Demoltiplicatore ottico

Un demoltiplicatore ottico con funzioni complementari a quelle del moltiplicatore riporta in ricezione tutti i canali alla stessa lunghezza d'onda. La lunghezza tipica delle sezioni di amplificazione è di 80 km. La rigenerazione elettrica fatta nel terminale ricevente annulla gli effetti di tutte le degradazioni (legate alle fibre e agli apparati) introdotte lungo il collegamento.

A seconda delle applicazioni, la spaziatura tra i canali in termini di lunghezza d'onda (o, equivalentemente, di frequenza) è diversa.

Da questo punto di vista i sistemi WDM si dividono in due grandi categorie: i sistemi DWDM (Dense WDM) con spaziature tra i canali dell'ordine dei 100 GHz in frequenza (circa 0,8 nm in lunghezza d'onda) e i sistemi CWDM (Coarse WDM) con spaziatura tra i canali di 20 nm in lunghezza d'onda (circa 1600 GHz in frequenza).

## I sistemi DWDM

Essendo piccola la spaziatura in frequenza tra i canali, hanno un'elevata capacità in termini di numero di canali trasmessi sulla stessa coppia di fibre; campo tipico di applicazione per questi sistemi è costituito oggi dalle reti dorsali.

I sistemi più diffusi consentono la trasmissione di 40 canali a 10 Gbit/s spazati di 100 GHz nella banda C (1530-1565 nm), su distanze di oltre 600 km senza rigenerazione elettrica intermedia.

Sono disponibili sul mercato anche soluzioni più avanzate con 80 e 160 canali a 10 Gbit/s, con spaziature inferiori a 100 GHz e allocazione nelle bande C + L, che possono coprire senza rigenerazione intermedia distanze superiori a 1000 km.

In applicazioni particolari, come i collegamenti transatlantici, si sono superate anche distanze di 8 mila km senza rigenerazione intermedia; questo risultato è stato reso possibile soprattutto dalla particolarità dell'ambiente di posa e dall'adozione di sezioni di amplificazione relativamente corte (50 km).

L'impiego di soluzioni così avanzate accresce l'importanza di alcuni aspetti del progetto e della gestione dei sistemi DWDM, quali, per esempio quelli di seguito riportati:

- a.** al crescere della distanza tra due punti di rigenerazione elettrica consecutivi, il problema del cumulo degli effetti delle degradazioni dovute alle fibre ottiche e agli apparati (soprattutto rumore introdotto dagli amplificatori ottici) diventa sempre più difficile da gestire. Sono quindi necessarie tecniche sempre più raffinate di compensazione delle dispersioni, di equalizzazione, di regolazione dei livelli ecc.;
- b.** sistemi DWDM dei tipi sopra indicati danno la possibilità di trasmettere su una coppia di fibre capacità superiori a 1 Tbit/s (1 Tbit/s = 1000 Gbit/s).

Considerato che i cavi ottici contengono sempre alcune decine di fibre (l'ultima rete di cavi ottici posata da Telecom Italia, la T-Bone, ha 48 coppie di fibre per cavo) si vede come la capacità trasmessa su un cavo ottico può arrivare a diverse decine di Tbit/s.

A fronte di capacità di quest'ordine di grandezza trasmissibili su un solo cavo, gli effetti di possibili guasti avrebbero conseguenze disastrose sul traffico su esse instradato, è perciò necessario adottare strutture di rete ridondanti (ad anello ovvero a maglia) con opportune capacità di scorta per effettuare, con tempestività, il reinstradamento dei flussi interessati dal guasto.

## **I sistemi CWDM**

Essendo elevata la spaziatura tra i canali, sono caratterizzati da un limitato numero di canali (non superiore a 18 con spaziatura di 20 nm) e dal fatto che essi occupano un'estesa gamma di lunghezze d'onda che va da 1260 a 1610 nm (banda O + E + S + C + L).

La frequenza di cifra massima oggi prevista dalla normativa ITU-T per tali sistemi è di 2,5 Gbit/s. Le distanze massime sono dell'ordine di 80 km, pari cioè ad una tratta senza amplificazione. Non sono infatti ancora disponibili amplificatori per l'intera gamma 1260 -1610 nm.

I sistemi CWDM trovano quindi applicazioni ideali nelle reti metropolitane.

La realizzazione di sistemi CWDM a 16-18 canali richiede inoltre la disponibilità di fibre caratterizzate dall'assenza del picco di attenuazione dovuto all'ossidrile OH-, fibre che oggi, come si è detto, sono però ancora poco diffuse.

Le applicazioni attualmente più comuni sono quindi limitate a 8 canali nella banda 1460 -1610 nm. A fronte di queste limitazioni i sistemi CWDM hanno però il vantaggio di costare molto meno dei sistemi DWDM, perché l'ampia spaziatura tra i canali consente l'impiego di componenti più a buon mercato, quali sorgenti laser non controllate in temperatura e filtri meno sofisticati.

# L'Evoluzione delle Reti Ottiche

## Optical Transport Network

Con l'OTN (*Optical Transport Network*) si persegue l'obiettivo di eliminare i punti di debolezza della rete SDH indicati al paragrafo precedente e, allo stesso tempo, di fare un ulteriore passo verso una Rete Tutta Ottica; le caratteristiche della OTN sono ormai ben definite in una serie di Raccomandazioni ITU-T.

Una OTN è composta da un insieme di elementi di rete ottici ONE (*Optical Network Element*), connessi da collegamenti in fibra ottica, atti a fornire funzionalità di trasporto, moltiplicazione, instradamento, gestione, supervisione di canali ottici che trasportano segnali, con un trattamento eseguito *predominantly* in regime fotonico.

Il termine *predominantly* chiarisce che la OTN non è una rete tutta ottica. I punti qualificanti della OTN sviluppati nel seguito sono: l'architettura, la gerarchia dei canali ottici, la loro trama e una certa trasparenza ottica.

In analogia con la rete SDH, l'architettura della rete OTN è strutturata su tre livelli: canale ottico, sezione di moltiplicazione dei canali ottici, sezione di trasmissione (tra terminali e/o tra amplificatori ottici adiacenti).

Ciascuno di questi tre livelli ha precisi obiettivi nel quadro generale del controllo e della gestione.

Per il trasporto di segnali cliente l'OTN definisce tre tipologie di contenitori: la prima (ODU-1) adatta a trasportare segnali cliente con frequenza di cifra fino a 2,5 Gbit/s; la seconda (ODU-2) per segnali da 2,5 a 10 Gbit/s; la terza (ODU-3) per segnali da 10 a 40 Gbit/s. Tali tipologie di contenitori costituiscono anche gli elementi di una gerarchia ottica OTH (*Optical Transport Hierarchy*) che consente il trasporto di quattro ODU-1 in un ODU-2 e di quattro ODU-2 in un ODU-3, nonché diverse altre combinazioni di canali.

Segnali cliente di ogni tipo (IP, ATM, Ethernet, STM-N) possono essere mappati in questi contenitori: all'ingresso della rete è previsto che i trasponder, oltre ad assegnare al canale ottico la giusta lunghezza d'onda, provvedano anche ad inserire i singoli segnali nei canali ottici (a seconda, naturalmente, della capacità che essi hanno, in modo da ottenere il massimo rendimento) e a completare con cifre di riempimento la parte della trama che rimane libera. Questa caratteristica della OTN garantisce un'elevata trasparenza ai segnali cliente all'interno del canale ottico prescelto.

La trama di ciascuno dei tre tipi di canale è costituita da un *payload*, nel quale sono mappati i dati, e da un *overhead*, dove sono contenute tutte le informazioni necessarie per la gestione delle configurazioni e degli allarmi, nonché per il controllo delle prestazioni. Con canali ottici OTN così strutturati (*payload + overhead*) si supera il vincolo dell'impiego del livello SDH, in quanto ciascun canale ottico è dotato di tutte le risorse necessarie per la propria gestione.

I segnali cliente dati possono essere quindi immessi e trasportati sui canali ottici senza dover essere prima mappati nelle trame SDH. D'altra parte i canali cliente SDH possono trovare posto nei canali ottici al pari dei segnali dati.

Una caratteristica della OTN è la trasparenza ottica, cioè la capacità della rete di trasportare segnali ottici su lunghe distanze e attraverso i suoi nodi senza necessità di conversioni O/E e E/O.

Questa trasparenza non è assoluta per via di diverse limitazioni (che rendono conto della parola *predominantly* posta nella definizione) dovute sia al già citato accumulo delle degradazioni nella trasmissione ottica sia al fatto che non tutte le funzionalità di rete possono al momento essere svolte al livello ottico.

La tecnologia rende infatti disponibili oggi apparati per la derivazione e per l'introduzione di canali ottici OADM (*Optical Add Drop Insert Multiplexer*), ma per i ripartitori ottici PXC (*Photonic Cross-Connect*) la situazione è più articolata.

I PXC attualmente sul mercato hanno infatti ancora caratteristiche insufficienti per un loro estensivo impiego in rete sotto l'aspetto dell'affidabilità, dell'ingombro, del consumo e soprattutto, del costo.

Dal punto di vista della trasparenza ottica, l'OTN si presenta quindi come costituita da un insieme di isole ottiche trasparenti (Figura 6) di dimensioni limitate (100-200 km), all'interno delle quali i canali ottici sono sempre mantenuti al livello ottico, collegate tra loro da rigeneratori 3R (per eliminare le degradazioni accumulate) e/o da permutatori per canali ottici, che effettuano tuttavia le permutazioni al livello elettrico.

## Passive Optical Network

Presentiamo una panoramica riguardante le Reti Ottiche Passive PON (*Passive Optical Networks*), una delle principali tecnologie su fibra ottica adatta al segmento di rete di accesso. In particolare viene effettuata un'analisi della tecnologia, degli aspetti sistemistici, architetture e della normativa di settore esistente, con un quadro delle principali sperimentazioni ed applicazioni realizzate nel mondo.

Le soluzioni PON offrono l'opportunità di conseguire significativi vantaggi economici per l'elevato grado di condivisione delle infrastrutture, fibra e apparati, soprattutto lato rete, e per la possibilità di eliminare elementi attivi nel segmento di rete di distribuzione ottica. Dall'analisi effettuata emergono numerosi punti d'interesse relativi all'impiego e alle prospettive di questa tecnologia.

L'opportunità di introdurre le tecnologie ottiche nel segmento di rete di accesso costituisce, per tutti gli operatori, una possibile risposta alla sempre crescente richiesta di servizi sia da parte dell'utenza affari (grandi e medie imprese) sia nei segmenti più bassi di clientela (piccole imprese, SOHO, clienti residenziali).

I servizi di interesse, in questo contesto, vanno ben al di là dell'esigenza di classica connettività vocale, e comprendono la connettività dati per accesso a Internet ad alta velocità, il commercio elettronico, I servizi di teleconferenza e telemedicina, fino a comprendere i servizi video (*broadcast e on demand*).

Questi servizi, oltre ad altri che saranno proposti in un prossimo futuro, hanno la caratteristica di essere particolarmente *band consuming* e richiedono pertanto l'impiego di adeguate *tecnologie abilitanti* per poter essere offerti ad un livello di costo che li rendano attraenti ad un bacino di utenza il più ampio possibile.

Nel segmento di rete di accesso la larga diffusione e capillarità della classica rete di distribuzione in rame, sviluppata per il servizio telefonico, ha indotto fino ad oggi tutti gli operatori a sfruttare il più possibile l'ingente patrimonio infrastrutturale disponibile, introducendo vari sistemi trasmissivi della famiglia *xDSL (x Digital Subscriber Loop)*; tale strategia, sicuramente efficace nel breve e medio periodo, non può tuttavia prescindere dalla sempre crescente richiesta di banda e dall'inevitabile futura obsolescenza della rete in rame, soprattutto nel cablaggio di nuovi insediamenti.

Questo spiega il crescente interesse da parte degli operatori di rete e dei costruttori di apparati verso soluzioni che prevedono l'impiego di tecnologie ottiche in rete di accesso.

Il problema principale nell'introduzione della fibra ottica in rete d'accesso è rappresentato dal costo dell'infrastruttura stessa, in particolare per quanto riguarda gli scavi, la posa delle tubazioni e dei cavi, le opere di ripristino; tale costo potrebbe essere dilazionato nel tempo per esempio, posando la fibra nelle zone di nuova urbanizzazione nei casi di manutenzione e/o sostituzione dei cavi in rame deteriorati.

Tra le possibili architetture che fanno uso della fibra, quelle che si basano su soluzioni punto-multipunto PON, presentano alcuni vantaggi che le rendono convenienti rispetto alle soluzioni puntopunto, quali:

- una affidabilità elevata rispetto a soluzioni a stella attiva con apparati attivi "in strada"
- la manutenzione semplificata
- la riduzione del numero di fibre in centrale e del costo per utente
- la possibilità di evoluzione mediante la sola sostituzione degli apparati terminali.

Tuttavia, come si vedrà nel seguito, parte di questi vantaggi possono andare perduti in funzione delle architetture di rete adottate. Per contro queste soluzioni presentano alcuni aspetti di criticità, soprattutto da un punto di vista tecnologico, come la complessità derivante dalla necessità di adottare tecniche di moltiplicazione, trasmissione e ricezione molto sofisticate.

Le specifiche di questi sistemi, a cui i prodotti attualmente sul mercato si attengono, sono state concepite da un organismo detto *FSAN (Full Service Access Networks)* composto da ben ventuno tra i più importanti operatori TLC a livello mondiale, che individuano e definiscono i meccanismi ritenuti indispensabili per una rete di TLC dal punto di vista degli operatori.

Tali meccanismi comprendono la gestione ed il controllo della QoS opportuna, la gestibilità, la configurabilità e l'interoperabilità di apparati tra diversi fornitori.

Le attività svolte in FSAN, i cui risultati sono stati proposti e sostanzialmente recepiti in ambito ITU-T nelle Raccomandazioni pertinenti, sono state condotte con il pieno supporto dei costruttori che stanno dando il massimo per rendere gli apparati particolarmente attraenti.

Nel corso del 2003 le attività di definizione degli standard sulle soluzioni *PON (Passive Optical Network)* hanno raggiunto una fase di avanzamento significativo. È stata, infatti, pressochè completata la serie delle Raccomandazioni ITU-T della serie G.983, con una G983.10 in fase di elaborazione, che definiscono le caratteristiche delle soluzioni *BPON (Broadband PON)*. Anche per le soluzioni più avanzate, le *GPON (Gigabit PON)* definite dalle Raccomandazioni ITU-T della serie G.984, le attività di standardizzazione sono ormai giunte alla loro fase conclusiva.

In alcuni Paesi l'impiego delle soluzioni PON rappresenta già oggi una realtà. È, ad esempio, il caso del Giappone dove, già a partire dal 1998, è iniziata l'introduzione commerciale di soluzioni FTTH (Fiber To The Home) basate su soluzioni PON. Sono numerosi gli operatori che adottano tali soluzioni. A fine 2003 erano 960mila gli utenti connessi, con un tasso percentuale di crescita superiore a quello dell'ADSL.

Negli Stati Uniti le soluzioni PON sono ad oggi impiegate in particolare da piccoli operatori locali o da municipalità che realizzano piani di cablaggio ottico per piccole comunità. A fine 2003 erano circa 180mila le abitazioni "passate" di cui circa 100mila risultavano connesse.

Nel corso del 2003 tre dei quattro operatori *incumbent* degli Stati Uniti e cioè Verizon, BellSouth ed SBC hanno avviato e concluso una RfP (Request for Proposal) per soluzioni del tipo *FTTH-FTTB (Fiber to the Home-Fiber to the Building)* basate su PON.

Nel corso del 2004 sono previsti i primi field trials e le prime applicazioni in determinate situazioni, quali ad esempio le aree *green field*.

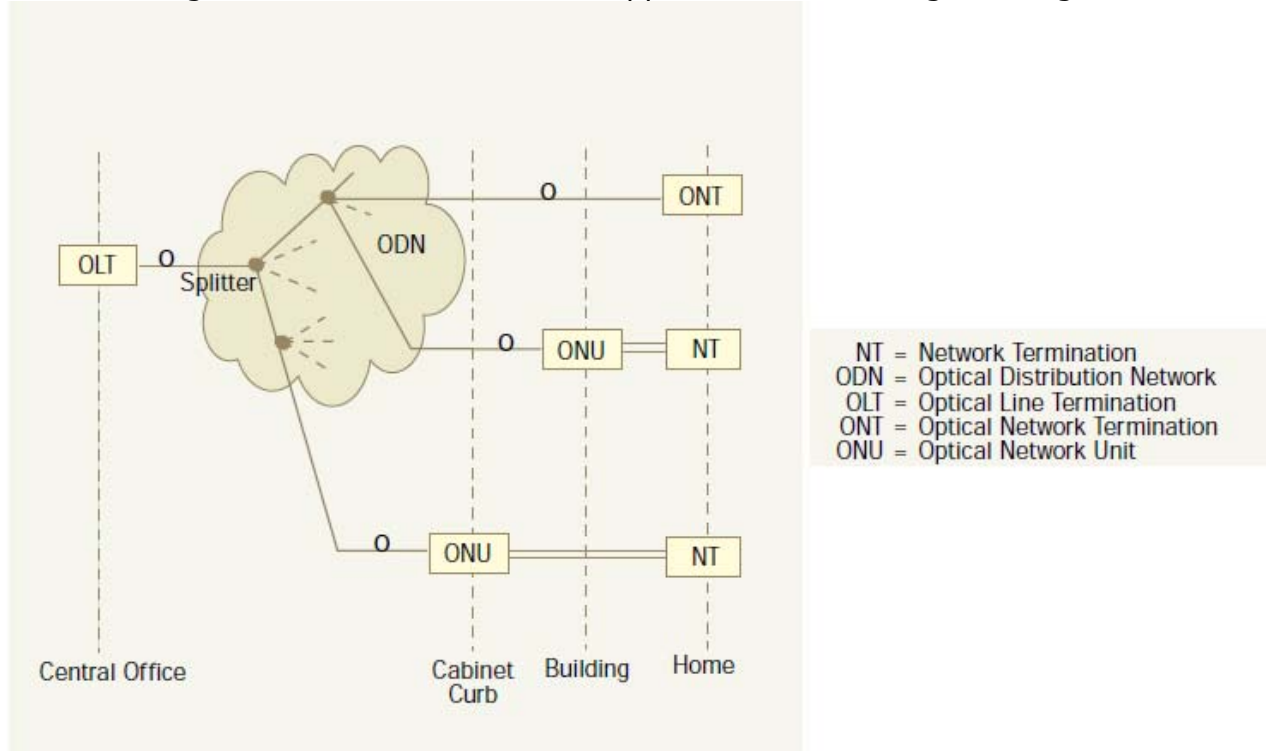
La prevedibile evoluzione dei sistemi PON comporterà la possibilità di supportare nuove potenzialità, quali le tecniche di *WDM (Wavelength Division Multiplexing)* acquisendone i vantaggi di ampliamento della capacità disponibile per singola fibra.



## Descrizione delle soluzioni PON

Una rete ottica passiva (PON) è una rete di accesso caratterizzata dall'assenza di apparati attivi al di fuori delle sedi ove sono collocate le *OLT (Optical Line Termination)* e le *ONT-ONU (Optical Network Termination-Optical Network Unit)*. È in genere basata su topologie di rete ad albero, realizzate mediante l'uso di ripartitori ottici di tipo passivo.

La struttura generale di una rete PON è rappresentata nella seguente figura:



## La terminazione di linea ottica (OLT)

Sul lato rete è presente la terminazione di linea ottica (OLT) che tipicamente si trova in un punto di raccolta, quale una centrale, e funziona da interfaccia condivisa tra tutti gli utenti connessi e la rete core. Una OLT comprende i seguenti blocchi funzionali:

- *Core shell*: questa sezione comprende le interfacce verso la rete e di distribuzione ottica (*ODN Interface Function*), la funzione di moltiplicazione di trasmissione (*Transmission Multiplexing Function*) e quella di permutazione (*Digital Cross Connect Function*).
- *Service shell*: comprende le interfacce dei tributari (*Tributary Interface Function*) e le funzioni di elaborazione della segnalazione (*Signalling processing Function*).
- *Common shell*: comprende le funzioni di elaborazione delle informazioni di gestione, manutenzione e controllo (*OAM Function*), oltre a quella di alimentazione della OLT (*Power supply Function*).

## La Optical Network Unit (ONU)

L'utente accede ai servizi offerti dalla rete tramite la terminazione di rete ottica (ONT o ONU) che contiene i seguenti blocchi funzionali:

- *Core shell*: comprende l'interfaccia verso la rete di distribuzione ottica (*ODN Interface Function*), la funzione di moltiplicazione di trasmissione (*Transmission Multiplexing Function*) e quella di moltiplicazione di utenti e servizi (*Customer and Services Multiplexing Function*);
- *Service shell*: comprende le interfacce dedicate ai differenti servizi supportati (*Service Interface Function*);
- *Common shell*: comprende le funzioni di elaborazione delle informazioni di gestione, manutenzione e controllo (*OAM Function*), oltre a quella di alimentazione della ONU (*Power supply Function*).

Le OLT e le ONU sono connesse dalla rete di distribuzione ottica *ODN (Optical Distribution Network)* in configurazione punto-multipunto<sup>1</sup> che può essere realizzata con uno o più livelli di diramazione e con i diramatori ottici disposti più o meno vicini alla OLT o alle sedi cliente, a seconda della disponibilità di fibra e delle strategie di introduzione della fibra ottica adottate dal gestore di rete; la fibra ottica impiegata è tipicamente di tipo single mode conforme allo standard ITU-T G.652.

La rete di distribuzione ottica rappresentata in figura 1 è totalmente passiva, ma possono essere concepite soluzioni che fanno uso di elementi attivi all'interno della rete di distribuzione ottica (es. amplificatori ottici) al fine di consentire la copertura di maggiori distanze, l'utilizzo di un minor numero di servire un numero più elevato di clienti (maggiore fattore di *splitting*, 2048 contro il 32-64 dello standard): in questo caso si parla di soluzioni "SuperPON".

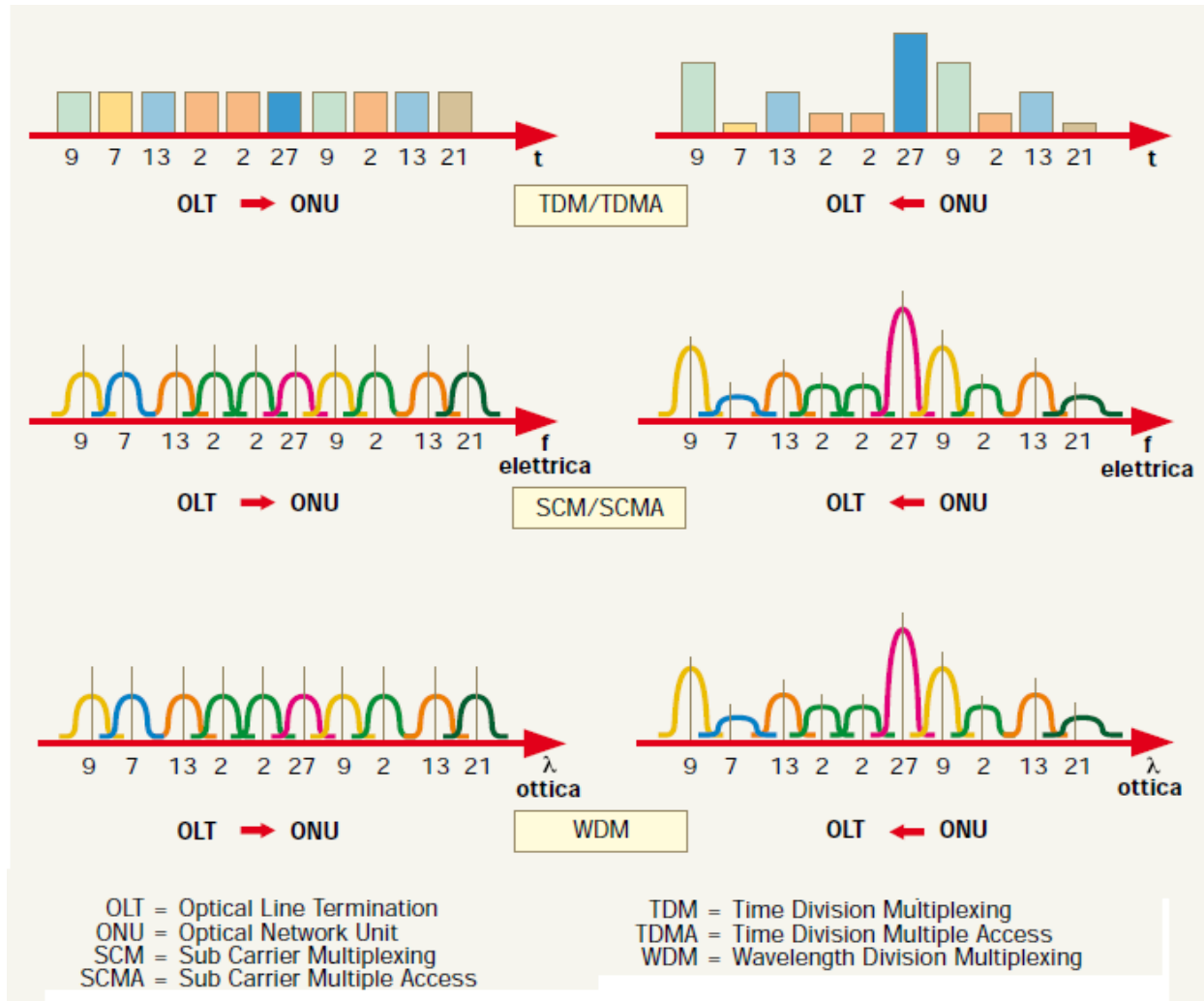
Tali soluzioni tuttavia sono, per il momento, in fase di sperimentazione nei principali laboratori di ricerca e sono state oggetto di studio in progetti di ricerca internazionali (ad esempio i progetti ACTS PLANET e PELICAN).

Come risulta evidente dall'esame della figura della struttura generale di una rete PON, il modello di rete presentato può essere applicato sia ad architetture di tipo *FTTH (Fiber to the Home)* - nelle quali la singola ONT è dedicata al singolo cliente - sia ad architetture con un maggior grado di condivisione della terminazione ottica (ONU) quali *FTTB (Fiber to the Building)* o *FTTC (Fiber to the Curb)*. È evidente che in questi due ultimi casi l'architettura di rete d'accesso potrà prevedere un parziale impiego di rete in rame, sfruttando così la capillarità di quest'ultima nel tratto terminale e riducendo notevolmente la necessità di posa di nuova fibra.

Per il drop su rame si possono utilizzare i sistemi trasmissivi ad alta velocità su rame della famiglia *VDSL (Very High Speed Digital Subscriber Loop)*. Con queste soluzioni architetture tuttavia si perde una delle proprietà essenziali delle soluzioni PON, cioè una rete puramente passiva tra apparato di rete e terminazione di utente. Tali differenti opzioni architetture, oltre al diverso grado di condivisione degli apparati, presentano notevoli differenze in termini di requisiti funzionali e di implicazioni di esercizio; la soluzione FTTC, per esempio, richiede l'installazione in ambiente esterno (strada) della terminazione di rete ottica (ONU): questo richiede la realizzazione di un adeguato armadio (cabinet) in grado di soddisfare tutti i necessari requisiti di sicurezza, dissipazione termica e di alimentazione in grado di offrire la continuità dei servizi adeguata alle aspettative della clientela.

## L'accesso al mezzo condiviso

Sono possibili diverse tecniche di accesso al mezzo condiviso: le tecniche di moltiplicazione più comunemente studiate e proposte sono la TDM/TDMA (Time Division Multiplexing/Time Division Multiple Access), la SCM/SCMA (Sub Carrier Multiplexing/ Sub Carrier Multiple Access) e la WDM (Wavelength Division Multiplexing) e, ma solo per citarla, la tecnica a divisione di codice.



Di seguito sono descritte le tecniche di accesso:

- TDM/TDMA: le informazioni destinate o provenienti dalle diverse ONU sono inserite in intervalli temporali (time slot) differenti della trama TDM/TDMA. Tali intervalli temporali possono essere di larghezza fissa o variabile. L'unità temporale utilizzata è un multiplo intero di byte (pacchetto).
- SCM/SCMA: le informazioni destinate alle diverse ONU modulano altrettanti sottoportanti elettriche per formare un multiplex in frequenza. Il segnale così generato è utilizzato per modulare in ampiezza l'emissione del laser. Le singole ONU trasmettono le informazioni d'utente ad esse assegnata. Un segnale multiplex in frequenza elettrico analogo a quello trasmesso dalla centrale all'utente, si rende così disponibile al ricevitore della OLT. I segnali provenienti dalle differenti ONU vengono estratti dal multiplex mediante filtraggio e poi demodulati.

- WDM: con questa tecnica, ciascuna ONU riceve e trasmette su una differente lunghezza d'onda ottica, ad essa riservata. Rispetto alla tecnica SCM/SCMA, in questo caso il filtraggio dei segnali avviene necessariamente a livello ottico, ma non è richiesta alcuna modulazione e demodulazione elettrica.

La tecnica TDM/TDMA è particolarmente adatta alla trasmissione di servizi numerici ed è quella più comunemente adottata. Essa consente di ottenere una notevole flessibilità nell'allocazione della banda, variando il numero medio di intervalli temporali (pacchetti) allocati nell'unità di tempo a ciascuna ONU. Per contro, tale allocazione è controllata da un complesso protocollo di accesso al mezzo condiviso MAC (Media Access Control). Inoltre il segnale multiplex numerico richiede una elevata velocità di trasmissione e sono necessarie opportune procedure di allineamento e calcolo del tempo di ritardo (ranging) per compensare le differenti distanze delle ONU dalla OLT.

La tecnica SCM/SCMA è stata studiata nelle fasi iniziali dello sviluppo delle soluzioni PON, nell'ottica di fornire servizi video diffusivi analogici in aggiunta ai servizi numerici. In tal caso, un segnale multiplex dei canali video compatibile con i ricevitori standard (apparati TV) può essere direttamente trasmesso sulla PON. La necessità di utilizzare laser ad elevata linearità (nella OLT) per ridurre gli effetti di intermodulazione e l'elevato numero di modulatori, demodulatori e filtri limitano l'impiego di tale tecnica.

La tecnica WDM riunisce in sé le caratteristiche positive delle due tecniche considerate in precedenza. Essa rende disponibile un differente canale ottico per ogni utente, con una banda pressoché illimitata e con la massima flessibilità d'uso. L'accesso a livello ottico consente anche di ottenere una elevata riservatezza delle informazioni. Peraltro, la tecnica WDM richiede l'uso di tecnologie ottiche ancora molto costose.

Quindi emergono in sintesi i seguenti punti di interesse relativi all'impiego e alle prospettive di questa tecnologia:

- le soluzioni PON offrono l'opportunità di conseguire significativi vantaggi economici per l'elevato grado di condivisione delle infrastrutture (fibra e apparati) e per la possibilità di escludere elementi attivi nel segmento di rete di distribuzione ottica;
- nelle configurazioni miste fibra e rame, utilizzando la ONU come elemento di snodo tra i due portanti, è possibile ridurre drasticamente la lunghezza del tratto in rame, elevando di conseguenza la capacità trasmissiva verso l'utente.

Questo approccio può rivelarsi molto interessante nei casi in cui l'attuale rete di distribuzione in rame è troppo lunga per supportare le velocità adeguate per fornire servizio larga banda; la definizione degli standard è praticamente conclusa per alcune soluzioni (BPON, Raccomandazioni ITU-T della serie G.983), mentre per altre soluzioni (es. GPON, EPON) le attività di standardizzazione sono in fase conclusiva

## Optical Packet Metro

La necessità di infrastrutture più scalabili ed efficienti, adatte a supportare al meglio e in tempi rapidi la transizione verso il broadband fisso e mobile secondo la strategia di convergenza recentemente intrapresa da Telecom Italia, ha portato alla nascita del Progetto *Optical Packet Metro (OPM)*.

Si tratta della prima infrastruttura "di livello metro-regional" del Gruppo che sarà in grado di trasportare in modo unificato tutti i servizi di accesso, di scalare in capacità di banda e di offrire differenti qualità di servizio.

OPM servirà ambiti a livello metropolitano e regionale a partire dalle principali aree metropolitane nazionali, estendendosi quindi verso una copertura nazionale.

La nuova rete metro-regional di Telecom Italia è un'infrastruttura "convergente" multi-servizio che utilizza tecnologie Ethernet allo stato dell'arte, in grado di supportare i servizi di nuova generazione per i clienti residenziali, per i clienti Business, nonché servizi infrastrutturali (*backhauling*), quali quelli per UMTS e le sue imminenti evoluzioni "*High Speed*".

Con OPM il principio del "delaying", ovvero la riduzione al minimo del numero di livelli utilizzati in rete per il trasporto e la gestione dei servizi end-to-end, viene esteso dall'*OPB (Optical Packet Backbone)* al trasporto metro-regional, con le collegate semplificazioni gestionali ed efficienze. Ad esempio i layer SDH ed ATM dell'accesso xDSL verranno gradualmente superati a favore di Ethernet e *Wavelength Division Multiplexing (WDM)*.

L'unificazione della infrastruttura di accesso potrà portare, nel medio/lungo termine, alla concentrazione di tutti gli sviluppi funzionali su OPM, superando progressivamente le altre infrastrutture attualmente utilizzate, eventualmente anche ribaltando su OPM i servizi residui forniti da altre reti, con attese efficienze di investimenti e di costi di gestione.

Il pieno ed efficiente sfruttamento di OPM potrà esservi con la progressiva riduzione delle esigenze di banda nativa a circuito: attualmente si stima che questo "punto di arrivo" si collochi attorno al 20% della banda complessiva in rete.

In futuro OPM potrà abilitare sia i servizi broadband a larghissima banda, quali le evoluzioni High Definition IPTV (HD-IPTV) con accessi fino a decine di Mbit/s per cliente, sia lo sviluppo del Mobile Broadband, costituendo l'elemento fondante di accesso della Next Generation Network di Telecom Italia.

L'attuale architettura di rete metro-regional per l'offerta di servizi broadband è basata sul trasporto regionale SDH/PDH e su una rete di raccolta in tecnologia ATM (Asynchronous Transfer Mode), strutturata su due livelli:

- livello di accesso, costituito da DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer) e concentratori ATM;
- livello di aggregazione, costituito da permutatori ATM.

La componente di trasporto della rete metro-regional supporta non solo l'offerta dei servizi di accesso alle reti dati ma anche i tradizionali servizi TDM:

- leased lines (CDA/CDF, CDN e circuiti parziali) per esigenze di clientela retail e per gli OLO (Other Licensed Operator);
- circuiti per la rete commutata (circuiti a 2 Mbit/s tra Stadio di Linea e Stadio di Gruppo Urbano, accessi a 2 e 155 Mbit/s per interconnessione fonia, accessi ISDN PRA), ... .

L'OPM è, come OPB (Optical Packet Backbone), una rete multi-servizio per la convergenza dei servizi, innovativi e legacy, fissi, nomadici e mobili, sia per clienti finali sia per esigenze infrastrutturali.

I principali requisiti infrastrutturali possono essere riassunti nelle seguenti categorie:

- QoS: in termini di controllo dei ritardi end-to-end, di jitter, di tecniche di policing e di shaping del traffico, di congestion control per poter supportare al meglio la più ampia gamma di servizi possibile;
- Scalabilità: in termini di capacità dei link, di throughput e di MAC address gestibili dai nodi di aggregazione, di VLAN configurabili;
- Affidabilità: nodi di aggregazione carrier-class (completa ridondanza, architettura hardware modulare), meccanismi robusti e veloci di fault protection;
- Disponibilità: high availability dei nodi di aggregazione (in-service software upgrade, no-stop forwarding, stateful switch-over);
- Flessibilità: in termini di servizi e di protocolli supportati;
- OA&M: sulla componente di trasporto e soprattutto sui nodi di aggregazione.

La nuova rete è costituita essenzialmente da apparati multilayer switch in grado di trattare grandi quantità di traffico sia a livello Ethernet che IP sia di mappare su Ethernet altre tipologie di traffico quali ATM, Frame Relay, ed in prospettiva traffico PDH e SDH garantendo tutti i requisiti di servizio richiesti.

La nuova rete è realizzata attraverso un "core" puramente Ethernet e IP e funzionalità "di bordo" dislocate negli apparati posti in sede Metro e nei *Gateway di Accesso (GTWA)* in grado di mappare su Ethernet, attraverso MPLS, altre tipologie di traffico quali ATM, TDM e Mobile.

Gli apparati della rete OPM sono distribuiti su 3 livelli principali: *Metro, Feeder e Gateway di Accesso (GTWA)*.

Il primo livello di apparati Multilayer switch della rete OPM è costituito dagli apparati Metro posizionati nei PoP del BackBone IP/MPLS di Telecom Italia (OPB) e svolgono principalmente la funzione di aggregazione del traffico raccolto dal livello sottostante e di interfacciamento della rete OPM verso i suddetti nodi di servizio. Le interfacce tra i nodi Metro ed i nodi di servizio sono principalmente di tipo GbE ad 1 Gbit/s.

I nodi Metro sono inoltre connessi ai router di bordo del Backbone OPB per permettere, tra l'altro e come descritto nel seguito, la distribuzione di canali televisivi su IP multicast dall'unico centro di servizio (Head End) ai DSLAM GbE distribuiti su tutto il territorio nazionale. Le interfacce tra i nodi Metro e i router del PoP OPB sono tipicamente GbE ad 1 Gbit/s.

Gli apparati denominati Feeder possono essere collocati nei PoP OPB o posizionati in "nodi cerniera" della rete trasmissiva ed hanno principalmente la funzione di aggregazione del traffico proveniente dai livelli più periferici. Le interfacce tra nodi Feeder e nodi Metro sono principalmente di tipo GbE a 10 Gbit/s.

La magliatura tra i nodi Feeder ed i nodi Metro è dimensionata per il supporto dei servizi previsti per l'utenza business, residenziale e mobile.

Nel caso di apparati Feeder non collocati con apparati Metro, il collegamento viene realizzato su anelli WDM (sia Coarse sia Dense).

Un terzo livello di aggregazione è costituito dagli apparati Gateway di Accesso (GTWA) collegati ai Feeder con n collegamenti GbE a 1 Gbit/s in single o eventualmente in dual homing (su due Feeder). Questi apparati sono installati generalmente nelle principali centrali di un'area regionale (in generale sedi SGU) ed hanno la funzione di estendere i punti di accesso della OPM per servizi business Ethernet e IP e di offrire l'accesso a servizi ATM, TDM (Circuit Emulation) e di rete Mobile (sfruttando funzionalità di mapping su ethernet attraverso MPLS).

La nuova rete OPM che Telecom Italia sta realizzando in ambito metro-regionale, basata sui protocolli Ethernet e IP, ha quindi le seguenti caratteristiche e prospettive d'impiego:

- OPM è una rete basata su tecnologia Gigabit Ethernet e WDM che permette il trasporto di nuovi servizi Triple Play ad elevate esigenze di banda (high Speed Internet e IPTV) sempre più basati su IP.
- OPM abilita l'accelerazione dell'integrazione fisso-mobile su cui il Gruppo Telecom Italia si sta orientando, costituendo una unica infrastruttura di rete a pacchetto condivisa tra servizi di rete fissa e mobile per servizi disponibili su diversi tipi di terminali.
- Grazie all'utilizzo del mappaggio su Ethernet di servizi ATM e TDM (attraverso l'uso di MPLS), l'attuale rete OPM potrà anticipare l'unificazione del trasporto su un'unica infrastruttura di rete a pacchetto Ethernet/IP anche se molti servizi non sono ancora completamente basati sul protocollo IP. In prospettiva la migrazione in atto dei servizi verso il paradigma IP renderà ancora più conveniente l'utilizzo della infrastruttura attualmente in corso di realizzazione.
- Il principio del delayering, cioè la riduzione al minimo numero di livelli di rete utilizzati per il trasporto e la gestione dei servizi end to end, già applicato al backbone IP OPB, con OPM viene esteso al segmento metro/regionale, permettendo di cogliere i relativi vantaggi in termini di riduzione costi e semplificazioni gestionali.
- In prospettiva OPM dovrà disporre di meccanismi di recupero dei guasti stabili e veloci e politiche di QoS sempre più sofisticate e flessibili, garantendo servizi di connettività anche per una clientela esigente quale quella business.

## Automatic Switched Optical Network

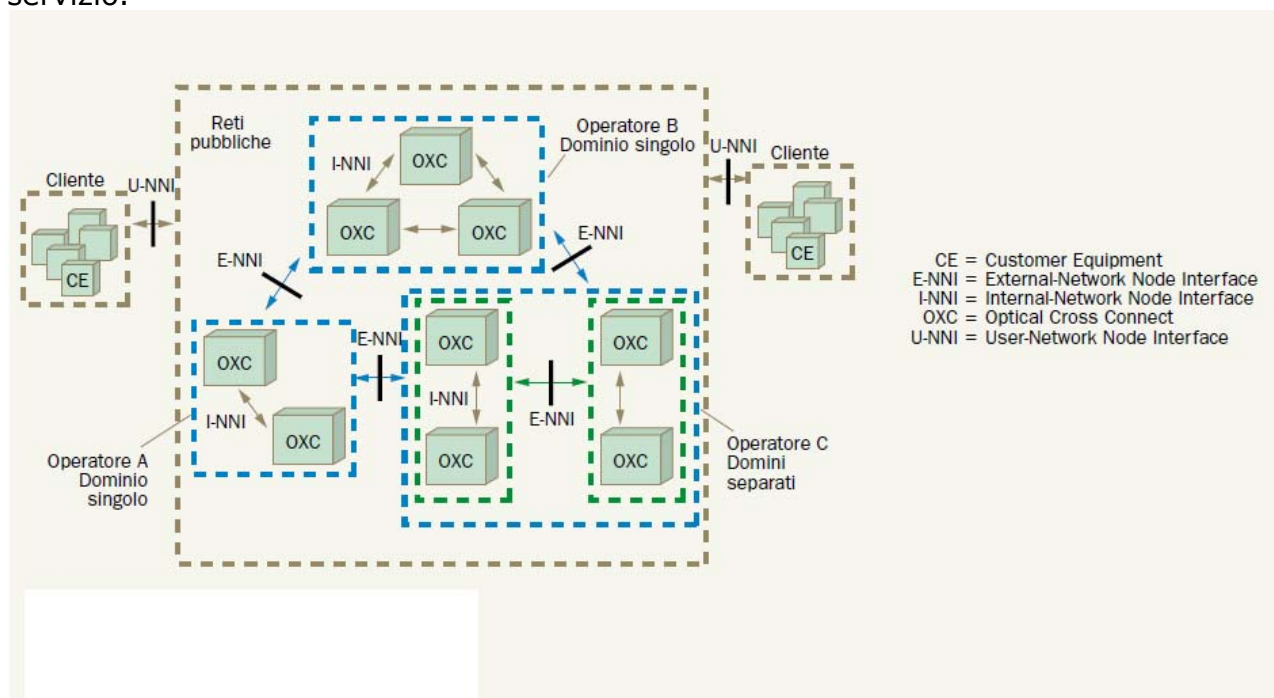
Un notevole arricchimento dell'OTN è dato dalla ASON (*Automatic Switched Optical Network*). L'evoluzione da una OTN puramente trasmissiva ad una OTN intelligente (ASON nella terminologia ITU-T), mediante l'introduzione di un Piano di Controllo, basato sui protocolli di routing e di segnalazione della suite *GPLS (Generalised MultiProtocol Label Switching)* è il passo avanti verso la AON.

A questo scopo ogni ONE dovrebbe essere dotato di un OCC (*Optical Connection Control*) in grado di interconnettersi con gli altri OCC e con il sistema di gestione centralizzato e di impartire comandi a uno o più ONE. Si vogliono così rendere più semplici, più diretti e più rapidi i processi di attivazione, di cessazione, di modifica di istradamento di ciascun canale ottico, facendo svolgere le operazioni direttamente dagli organi di controllo presenti negli ONE dove sono raccolte e continuamente aggiornate tutte le informazioni necessarie.

I tempi per l'esecuzione delle operazioni di configurazione si riducono a qualche decina di millisecondi o a qualche secondo a fronte di qualche decina di minuti necessari con il sistema centralizzato. Inoltre l'ASON consente non solo di migliorare la qualità dei servizi di trasporto offerti (in termini di tempi di attivazione e di reistradamento in caso di guasti), ma anche di offrire nuovi servizi come la *Bandwidth on Demand* e la *Optical Virtual PrivateNetwork*.

Un'architettura ASON con intelligenza distribuita presenta numerosi vantaggi rispetto ad un'architettura tradizionale con un'intelligenza concentrata nel sistema di gestione. Anche per questa transizione non ci sono state voci dissenzienti: i vantaggi sono tali che tutti gli esperti dicono che si dovrà fare, anche se con le dovute cautele, come sempre accade per tecnologie nuove.

Gli standard per la ASON sono stati ormai praticamente completati in ITU-T (vedi figura) e diversi Operatori hanno già iniziato le prime sperimentazioni in campo, anche Telecom Italia ha presentato a Cannes un articolo con la descrizione della prima sezione di rete ASON (costituita da 27 nodi distribuiti sul territorio nazionale) che è appena entrata in servizio.





Si è voluto mettere in evidenza le caratteristiche dei nodi *ODXC (Optical Digital Cross Connect)* impiegati, lo schema di realizzazione del Piano di Controllo e di criteri per le future evoluzioni. Al riguardo sono state evidenziate le problematiche relative alla gestibilità da parte del Piano di Controllo di apparati di fornitori differenti.

Allo stato attuale è necessaria, infatti, la realizzazione di Piani di Controllo specifici per gli apparati di rete di ogni venditore, mentre l'interlavoro tra i diversi Piani di controllo resta ancora un problema da risolvere.

In particolare è stato mostrato che una struttura di rete OTN a maglia con nodi ODXC è quella che consente di offrire ai clienti la disponibilità di servizio più elevata (fino a 99,9998%) e che una struttura di rete ASON consente di tenere in considerazione anche le esigenze dei clienti che non desiderano valori di disponibilità così elevati e non sono quindi disposti a pagare canoni di affitto altrettanto elevati.

Per giungere a questa conclusione hanno confrontato le prestazioni di diverse architetture di reti ad anello e a maglia (con diversi gradi di magliatura), SDH e OTN, realizzate con diverse tipologie di apparati (DXC, ODXC), calcolando per ciascuna architettura il costo e la disponibilità ottenibile per i canali ottici dei clienti.

## All Optical Network

La Rete Tutta Ottica costituisce per i gestori l'obiettivo finale dell'evoluzione della rete di trasporto, poiché essa consente di eliminare quasi completamente i rigeneratori elettrici posti all'interno della rete di trasporto e permette di avere una completa trasparenza ai servizi.

L'evoluzione della OTN verso la AON dovrebbe avvenire con una graduale estensione della superficie delle isole ottiche fino al costituirsi di un'unica isola ottica nella quale il segnale cliente subisce una conversione elettro - ottica nel punto di origine (sede A del cliente) e una conversione ottico/elettrica nel punto di destinazione (sede B del cliente).

Questa evoluzione sarà possibile a mano a mano che saranno disponibili gli elementi di rete che operano al livello ottico finora mancanti (PXC, convertitori di lunghezza d'onda, rigeneratori ottici ecc.) e che, al contempo, saranno ottimizzate le modalità di compensazione delle degradazioni che si accumulano al livello ottico (equalizzazione, regolazione ecc.).

In realtà la realizzazione di una AON non è solamente legata alla disponibilità di apparati e di componenti più evoluti, ma anche ad altri vincoli posti dalla operatività e dalla gestione della rete di trasporto.

Allo stato attuale una rigenerazione al livello elettrico sembra essere sempre necessaria nel punto di interfaccia tra la rete del cliente e la rete dell'operatore allo scopo di mantenere ben distinte e separate le responsabilità a fronte del rispetto del SLA (Service Level Agreement).

Uno o due punti di rigenerazione dovrebbero rimanere ancora presenti tra i diversi livelli di rete (accesso, rete metropolitana, connessioni dorsali) per effettuare operazioni di raggruppamento (grooming) dei segnali cliente di piccola media / capacità in flussi di capacità superiore, per avere un'elevata percentuale di utilizzazione dei sistemi di trasmissione.

Un altro punto critico di una rete tutta ottica riguarda la difficoltà di mantenere sotto controllo la qualità dei canali ottici .

La misura diretta delle prestazioni di errore, i cui obiettivi sono definiti nei SLA, è infatti possibile solo al livello elettrico.

Le misure effettuate al livello ottico (optical monitoring) come la potenza trasmessa e ricevuta dai singoli canali e dai segnali multiplati, il rapporto segnale / rumore ottico e la deviazione di frequenza dei canali, mentre consentono di effettuare una corretta gestione dei guasti, danno solo un'"indicazione" di come stanno andando le prestazioni di errore e non una misura delle prestazioni stesse.

Per rendersi conto della entità del problema basti pensare ad un canale ottico Venezia-Napoli nel quale si accumulerebbero le degradazioni di 800 km di cavo ottico, di sedici amplificatori ottici bidirezionali e di quattro permutatori ottici. Ove si registrasse all'interfaccia tra la rete e il cliente finale una degradazione, per esempio, del tasso di secondi con errore (senza un'interruzione del canale ottico), le "indicazioni" ottenute dai parametri ottici controllati sarebbero quasi sempre tardive (rispetto al momento nel quale il cliente avverte la degradazione) e spesso insufficienti a individuare con tempestività e precisione le cause e il punto del degrado.

Un miglioramento di questa situazione si verificherà con il diffondersi dei punti di misura dei parametri di qualità ottici in tutti i punti critici degli apparati e con l'acquisizione di una vasta messe di dati e di correlazioni. Tuttavia, allo stato attuale, una soluzione soddisfacente del problema non sembra vicina e quindi anche in una rete tutta ottica sarà necessario disporre di rigeneratori elettrici sui quali terminare provvisoriamente in più punti successivi il canale degradato, per localizzare il punto in cui si origina la degradazione del segnale.

A fronte delle criticità insite nelle nuove tecnologie, delle esigenze di raggruppamento di canali, delle carenze della supervisione al livello ottico, alcuni gestori cominciano a chiedersi se quello di una Rete Tutta Ottica sia veramente l'obiettivo da raggiungere o se invece sia solo un obiettivo a cui tendere.

A questa riconsiderazione degli obiettivi non è estranea la comparsa sul mercato di nuovi trasponder realizzati con tecnologia SFP (Small Form Factor Pluggable) che hanno già oggi dimensioni, consumi e costi inferiori a quelli tradizionali, e che lasciano intravedere la possibilità di essere realizzati in nuove versioni di costo ben inferiore.

L'impiego di questi trasponder potrebbe infatti ridurre di molto l'onere complessivo legato alla presenza di punti di conversione ottico-elettrico-ottico.

Nonostante tutti questi punti ancora allo studio, la transizione da una OTN ad una AON è di grande interesse per gli operatori perché renderebbe possibile l'eliminazione di tutte, o quasi, le conversioni O/E/O all'interno della rete dorsale, conversioni che attualmente sono presenti in migliaia di unità e che rappresentano una quota consistente del costo della rete stessa. È quindi ben comprensibile che operatori e manifatturieri discutano dell'argomento anche se con l'obiettivo di vederlo diventare una realtà non prima di 3-4 anni.

## Conclusioni

Le fibre ottiche e i sistemi di trasmissione ottici, a venti anni dalla loro prima introduzione nella rete di trasporto, hanno praticamente sostituito i conduttori in rame nelle reti metropolitane e nelle reti dorsali in tutte le applicazioni (collegamenti terrestri e sottomarini di ogni tipo e di ogni capacità).

Tuttavia, l'attuale rete di trasporto SDH è rimasta sostanzialmente elettrica perchè, anche se i nodi sono collegati con sistemi ottici, tutte le operazioni che sono effettuate sui segnali nei nodi stessi sono ancora svolte al livello elettrico.

Solo di recente sono state standardizzate architettura, funzionalità e apparati per una Rete di Trasporto Ottica (OTN) in grado di costituire e gestire canali ottici trasparenti all'interno di isole ottiche di limitata dimensione e le prime realizzazioni di questa rete sono ora in corso.

Di pari passo con la OTN sta procedendo lo sviluppo di una architettura di rete ottica intelligente (ASON) che ne costituisce un arricchimento realizzando un Piano di Controllo atto ad effettuare in modo automatico le funzioni di gestione delle configurazioni dei canali ottici.

La strada da percorrere per arrivare alla realizzazione di una Rete Tutta Ottica (AON) non sembra nè breve, nè facile, in quanto mancano ancora alcuni elementi essenziali (i permutatori fotonici) e allo stesso tempo perchè devono essere risolte numerose problematiche di gestione e, più in particolare, quelle legate ai limiti intrinseci del monitoraggio ottico.

Tuttavia i vantaggi che le società manifatturiere e i gestori di rete vedono all'orizzonte fanno ritenere che il cammino verso questo obiettivo procederà ancora speditamente, salvo l'effettuazione di periodiche verifiche per definire quale sia veramente il punto di arrivo più conveniente.

In questa rapida analisi dell'evoluzione della rete di trasporto verso una soluzione tutta ottica si è focalizzata più volte l'attenzione sugli standard e sui problemi di gestione, che spesso sono un pò trascurati nella letteratura tecnica, ma che, a parere dello scrivente, più di altri decretano il successo o il fallimento di una tecnologia.

## Bibliografia

G. Bonaventura – *Verso una Rete tutta Ottica* – Mondo Digitale n.3 Settembre 2005

G.Vannucchi, C.Spinelli – *New Generation Network: Strategie di ingresso* - Mondo Digitale n.4 Dicembre 2008

S.Augusto, P.Pagnan – *Phoenix: la nuovarete di trasporto nazionale* - Mondo Digitale n.2 Dicembre 2004

A. Bobbio – *La Struttura delle Reti in un Mondo Interconnesso* - Mondo Digitale n.4 Dicembre 2006

M. DeBortoli, A. Tofanelli - *Tecnologie Ottiche per l'Accesso: le Soluzioni Passive Optical Network* – Notiziario Tecnico Telecom Italia Anno 13 n. 1 - Giugno 2004

A. Ciarniello, M. Monacelli - *OPM, la nuova rete Metro Regional di Telecom Italia* – Notiziario Tecnico Telecom Italia Anno 14 n. 2 - Dicembre 2005

G. Bonaventura, P. Pagnan – *WDM & Metro Optical Networking* – Notiziario Tecnico Telecom Italia Anno 13 n. 2 - Dicembre 2004

Fonte Wikipedia.org