

## ***B-ISDN E TECNOLOGIA ATM.***

### ***1.1 INTRODUZIONE.***

La crescente necessità di trasmettere dati attraverso la rete telefonica ha portato quest'ultima a subire negli anni profonde modificazioni.

Inizialmente, per rispondere alle nuove richieste di servizio, gli operatori di TLC hanno cercato di adattare la rete esistente o, quando ciò non era possibile in termini di costi e prestazioni, di sviluppare infrastrutture di comunicazione dedicate e sovrapposte, capaci di soddisfare quella determinata esigenza.

Lo scenario passato è stato quindi costellato dalla presenza di numerose tecnologie e reti di comunicazione, quali la rete telex o le reti dati a commutazione di pacchetto X.25, ciascuna specificatamente dedicata al supporto di una ben determinata tipologia di servizio.

Le tecnologie convenzionali si sono rivelate ben presto incapaci a fornire una risposta adeguata a queste nuove esigenze e ciò ha reso necessario ripensare al progetto e allo sviluppo della rete di TLC.

Il passaggio dalla rete telefonica numerica a quella ISDN ha rappresentato il primo tentativo di superare questi limiti.

Sfortunatamente, mentre il processo di standardizzazione per l'ISDN ha impiegato diversi anni a svilupparsi, la tecnologia delle telecomunicazioni si è mossa molto più rapidamente, tanto da renderlo di fatto già obsoleto.

Ciò che rende l'ISDN obsoleto è la massima banda utile per l'accesso pari a 2 Mbit/sec, la quale è sufficiente per le applicazioni di tipo voci o dati a bassa velocità, ma inadeguata per le applicazioni innovative come il trasporto d'immagini in real time ad alta qualità.

Queste nuove esigenze hanno spinto la comunità scientifica internazionale a definire la B-ISDN.

Il termine B-ISDN costituisce l'acronimo di Broadband Integrated Service Digital Network, ovvero rete di telecomunicazione a larga banda integrata nelle tecniche e nei servizi. Anche se B-ISDN e ISDN, indicata anche con Narrowband-ISDN (N-ISDN), a giudicare dalla terminologia sembrano essere due concetti simili, esiste fra essi un confine oggettivo che ne evidenzia la natura completamente diversa.

Infatti, se con la N-ISDN si è realizzato, di fatto, uno standard d'accesso integrato alla rete pubblica per le diverse terminazioni d'utente (terminali dati e telefoni), con la B-ISDN si vuole invece dar vita ad una piattaforma di rete pressoché universale per tutti i servizi di comunicazione, sia a larga banda sia a banda stretta.

Il modello logico di riferimento della B-ISDN, nato verso la fine degli anni 80 in ambito ITU-T, è sostanzialmente un modello stratificato su 4 livelli, che ricorda quello OSI (fig.1).

I primi tre livelli del modello sono rappresentati dal protocollo ATM (Asynchronous Transfer Mode), scelto dall'ITU-T come Transfer Mode per la B-ISDN; la tecnologia ATM costituisce, di fatto, il cuore del modello.

I requisiti fondamentali di un Transfer Mode sono rappresentati dalla sua flessibilità, cioè dalla sua indipendenza dalla natura del servizio trasportato, dalla sua compatibilità con tutte le reti esistenti (capacità d'interworking) e dalla sua trasparenza rispetto all'informazione trasportata e rispetto al tempo.

La trasparenza rispetto all'informazione trasportata rappresenta la capacità della rete di trasferire correttamente l'informazione, dall'origine alla destinazione, minimizzando il tasso d'errore (BER) introdotto dal processo di trasmissione.

Quella rispetto al tempo indica la capacità della rete a trasportare l'informazione, dalla sorgente alla destinazione, in un tempo ritenuto accettabile per il tipo di servizio.

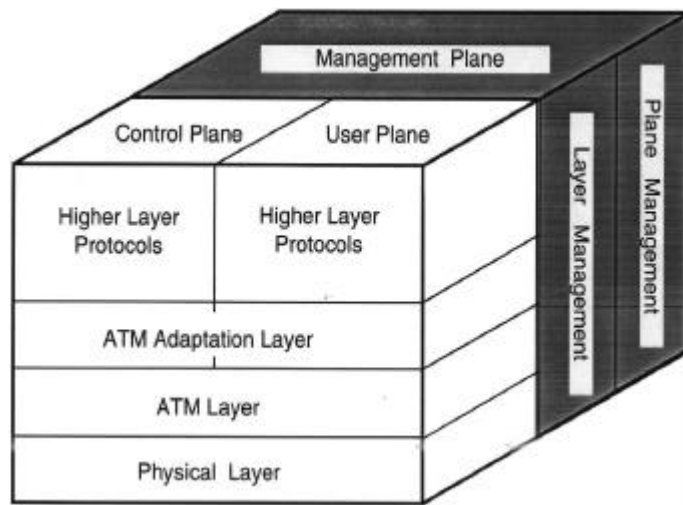
I Trasfer Mode principali, anche da un punto di vista storico, sono rappresentati da:

- Synchronous Trasfer Mode (STM)
- Packet Trasfer Mode (PTM).

Nel modo STM, tecnologia base delle reti a commutazione di circuito, il canale di comunicazione è mantenuto disponibile per tutta la durata della connessione, assicurando valori di ritardo e banda ben definiti e costanti nel tempo (questi requisiti sono indispensabili nei servizi real time come la voce).

Nel PTM, tecnologia base delle reti a pacchetto, gli utenti devono condividersi la banda trasmissiva, che comporta da un lato un aumento dell'efficienza totale di quest'ultima e dall'altro valori di ritardo nella trasmissione non noti a priori (non è adatta a servizi real time).

Presi singolarmente l'STM e il PTM non sono sufficienti a coprire lo spettro dei requisiti delle diverse applicazioni.



**Figura 1: Pila protocollare del B-ISDN.**

L'estrema flessibilità del protocollo ATM gli ha permesso di avere una diffusione che è andata ben oltre il solo contesto B-ISDN ed oggi può essere considerato come la tecnologia di riferimento per tutti i sistemi trasmissivi che offrono un'ampia banda.

La relazione tra ATM e B-ISDN può essere paragonata a quella che esiste tra il motore e l'automobile; mentre l'ATM fornisce la cella e il meccanismo di commutazione, vale a dire il motore, la B-ISDN rappresenta l'architettura completa del servizio di trasporto, comprensiva degli elementi organizzativi e applicativi e cioè la carrozzeria, il sistema di guida ecc.

ATM rappresenta quindi il motore che, mediante opportuni adattamenti, può essere utilizzato da altri mezzi di trasporto (non solo dal B-ISDN), diversi dalla semplice automobile.

Il protocollo ATM rappresenta inoltre la risposta alle esigenze dei nuovi servizi che richiedono una sempre maggiore integrazione fra segnali audio e dati.

Per loro natura, tali tipi di segnali sono caratterizzati da requisiti notevolmente differenti in termini di connettività, banda e ritardi; infatti, mentre le informazioni

audio sono caratterizzate dal fatto che devono essere trasferite ed arrivare all'utente con un ritardo non superiore a 80/100 ms, legato al tempo di reazione umano, quelli di natura informatica (dati) richiedono una banda di tipo burst e cioè molto elevata, ma per tempi brevissimi e non prevedibili.

Generalmente per il trasferimento dei segnali audio, si è utilizzato l'STM, mentre per la trasmissione di dati di tipo burst si ricorre a protocolli come l'X.25 o al più recente internet protocol (IP).

Il vantaggio principale offerto dalla tecnologia ATM è quello di riuscire a trasferire, con la stessa efficacia, questi due tipi di segnale, venendo incontro ad esigenze fortemente contrastanti.

In questo capitolo saranno descritti i principi fondamentali della tecnologia ATM e della pila protocollare B-ISDN.

## *1.2 LA TECNICA ATM: PRINCIPI BASE.*

Il principio fondamentale su cui si basa l'ATM consiste nella segmentazione di tutti i flussi informativi in una sequenza di celle elementari, le quali sono immesse in rete per essere trasmesse e commutate.

Ogni cella attraversa la rete sfruttando le risorse e le funzioni di trasmissione, moltiplicazione e commutazione in modo condiviso con celle appartenenti ad altri flussi informativi; inoltre, ciascuna di esse porta con se le informazioni necessarie al suo instradamento fino al nodo di destinazione.

L'ATM è a tutti gli effetti un Trasfer Mode in quanto rappresenta una tecnica di:

- Moltiplicazione, ovvero una tecnica per condividere la risorsa di un canale di comunicazione tra gli utenti che la vogliono utilizzare;
- Commutazione, ovvero l'insieme delle operazioni atte a predisporre una connessione tra il mittente ed il destinatario;
- Trasmissione.

Con il termine "asincrono" s'indica invece che, all'interno del flusso complessivo, tra le celle appartenenti alla stessa connessione, non esiste alcuna relazione temporale. Le differenze tra l'ATM e i Trasfer Mode STM e PTM sono rappresentati in figura 2.

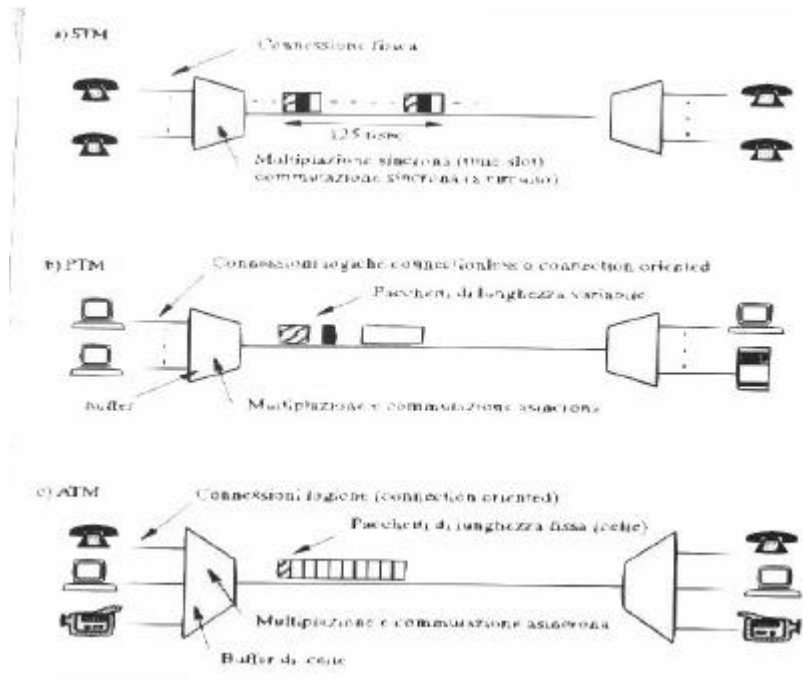


Figura 2: Trasfer Mode STM, PTM e ATM.

Nell'STM i bit di una stessa connessione si susseguono a intervalli periodici, alternati con i bit appartenenti ad altre connessioni.

La periodicità è legata al tipo di servizio; per la voce ad esempio un campione del segnale, quantizzato e codificato a 8 bit, viene inserito nella trama ogni 125μs.

L'appartenenza dei bit ad una data connessione è legata alla loro posizione temporale all'interno della trama.

Nel PTM, invece, i dati sono organizzati in pacchetti di lunghezza variabile, trasmessi periodicamente ma singolarmente, senza relazioni temporali tra il precedente e il successivo.

Ciascun pacchetto contiene un identificativo che ne determina l'appartenenza al flusso informativo ed un indirizzo che consente alla rete di determinare il destinatario.

L'ATM presenta alcune caratteristiche comuni ad entrambe.

Come nell'STM, i dati sono strutturati in unità di lunghezza fissa (celle) e come nel PTM queste celle contengono le informazioni necessarie per l'indirizzamento; è la capacità di indirizzamento che rende non necessario trasmettere le celle ad intervalli periodici, come avviene invece nell'STM.

Nell'STM il ritardo è garantito in quanto ad ogni connessione è riservata una parte delle risorse della banda del canale, indipendentemente dall'uso effettivo.

Nel PTM invece la banda di comunicazione è condivisa tra più utenti ed allocata dinamicamente; il ritardo in questo caso non è garantito in quanto la capacità di rete non è sempre disponibile all'istante.

L'ATM consente invece un'allocazione della banda in modo fisso o variabile con il bit rate desiderato ed inoltre la lunghezza fissa delle celle consente di controllare facilmente il ritardo di trasmissione; in altri termini, la tecnologia ATM è in grado di trasportare segnali caratterizzati da bit rate diversi, con una qualità del servizio garantita.

Con un'analogia, si può affermare che il modo di operare dell'ATM è simile a quello utilizzato dalle compagnie aeree per l'allocazione dei posti ai passeggeri.

Ai passeggeri, che hanno preventivamente riservato un posto in aereo, è offerto un servizio con posto garantito.

I passeggeri in eccedenza sono accettati a completamento dei posti disponibili o inseriti nelle liste d'attesa.

Eventuali posti disponibili, dovuti a defezioni dell'ultimo momento, saranno assegnati ai clienti in lista d'attesa secondo certi criteri di precedenza, mentre ai restanti passeggeri non resterà che prendere l'aereo successivo.

Allo stesso modo, nella tecnologia ATM, alle applicazioni real time o sensibili al ritardo (come la voce e il video) sono garantite bande e tempi di trasmissioni entro

limiti prefissati, mentre una vasta categoria di servizi dati (e-mail, file a bassa priorità, ecc.) sono trattati come servizi di seconda classe, per i quali è tollerata una certa segmentazione temporale (diversi aerei) ed un maggiore ritardo.

### *1.2.1 CELLA ATM.*

La cella ATM è un pacchetto di lunghezza fissa, costituito da un campo di 48 byte, dove viene inserita l'informazione utile (payload), e da un campo di intestazione (header) di lunghezza pari a 5 byte.

La scelta della dimensione della cella nasce dal compromesso fra le esigenze del trasporto della voce, sotto forma di pacchetti sufficientemente piccoli per evitare eccessivi ritardi nella fase d'accodamento e di ricostruzione del segnale in ricezione, e di quelle dei servizi dati.

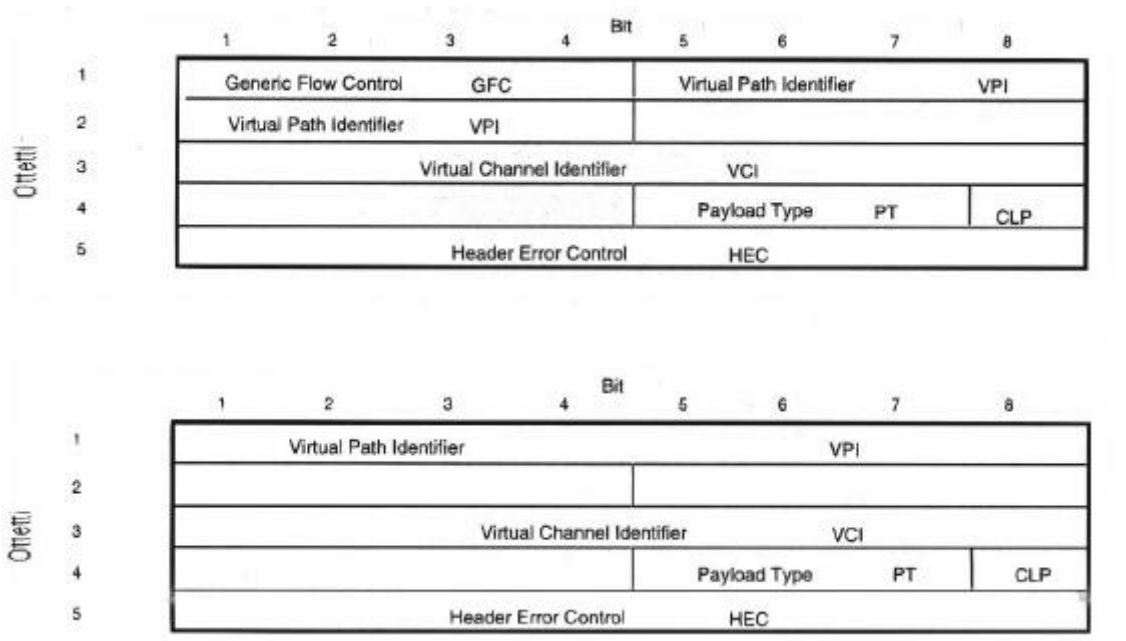
L'header rappresenta contemporaneamente il punto di forza e il limite maggiore di questa tecnologia.

Se da un lato, infatti, si evidenzia la capacità dell'header di gestire completamente il controllo e l'instradamento delle celle, dall'altro si rileva che ciò comporta un eccessivo overhead (5 byte) rispetto all'informazione utile (48 byte).

La struttura della cella ATM è stata definita in funzione delle due tipologie d'interfaccia previste dalla normativa:

- UNI (User Network Interface), per l'accesso degli utenti alla rete ATM;
- NNI (Network Node Interface), per la connessione tra nodi di una rete ATM e per la connessione tra diverse reti ATM.

La figura 3 mostra l'header della cella ATM all'interfaccia UNI e di quella all'interfaccia NNI.



**Figura 3: Header della cella ATM all'interfaccia UNI e all'interfaccia NNI.**

L'header è costituito da:

- GFC (generic flow control (4 bit)): questo campo è utilizzato per il controllo del flusso all'interfaccia utente-rete. Le raccomandazioni prevedono due modalità di funzionamento:
  1. Accesso controllato, nel quale il nodo, che rappresenta il sistema controllante, e l'utente, che rappresenta quello controllato, si scambiano messaggi. In particolare, è previsto un messaggio di Halt (primo bit del campo

GFC posto a 1) che interrompe la trasmissione delle celle ATM, la quale riprende solo dopo il messaggio di NoHalt (primo bit del GFC posto a 0).

2. Accesso non controllato, nel quale l'utente trasmette in maniera non controllata. Le funzioni del campo GFC non sono usate e la codifica dei bit viene posta a 0000.

All'interfaccia NNI, il campo GFC scompare e i 4 bit vengono utilizzati per estendere il campo VPI. L'estensione del campo VPI si traduce in una maggiore capacità d'instradamento.

- Il VPI (virtual path identifier (8 bit per le celle UNI e 12 bit per quelle NNI)) e il VCI (virtual channel identifier (16 bit)) sono i due campi che permettono di realizzare le operazioni di moltiplicazione, commutazione e instradamento. Le sequenze di celle ATM appartenenti ad uno stesso flusso informativo sono caratterizzate dai medesimi valori di VPI e VCI. Questi hanno solo un significato locale, nel senso che i loro valori possono cambiare durante il trasferimento di una cella, dalla sorgente alla destinazione, ad ogni passaggio attraverso i nodi della rete.
- Il PT (payload type (3 bit)) contiene il valore di PTI (payload type identifier), il quale specifica il tipo di informazione contenuta nel payload della cella. Nel payload della cella possono, infatti, essere presenti, oltre al traffico d'utente, informazioni di servizio, come quelle di manutenzione o di segnalazione, o il carico può perfino appartenere a celle che non hanno alcun significato per il livello ATM (celle idle).
- Il CLP (cell loss priority (1 bit)) indica due possibili livelli di priorità attribuibili al flusso ATM. Le celle ad alta priorità sono contrassegnate con il bit CLP posto a 0, mentre quelle con bassa priorità hanno il bit posto ad 1. Il controllo del bit CLP

può essere effettuato sia dai terminali di utenti che dai nodi della rete. I meccanismi di controllo del traffico prevedono lo scarto delle celle a più bassa priorità in presenza di congestione ai nodi della rete.

- L'HEC (header error control (8 bit)) viene utilizzato per la rilevazione e la correzione dell'header della cella; esso viene inoltre utilizzato per la delimitazione della cella stessa.

### 1.2.2 INSTRADAMENTO DELLE CELLE.

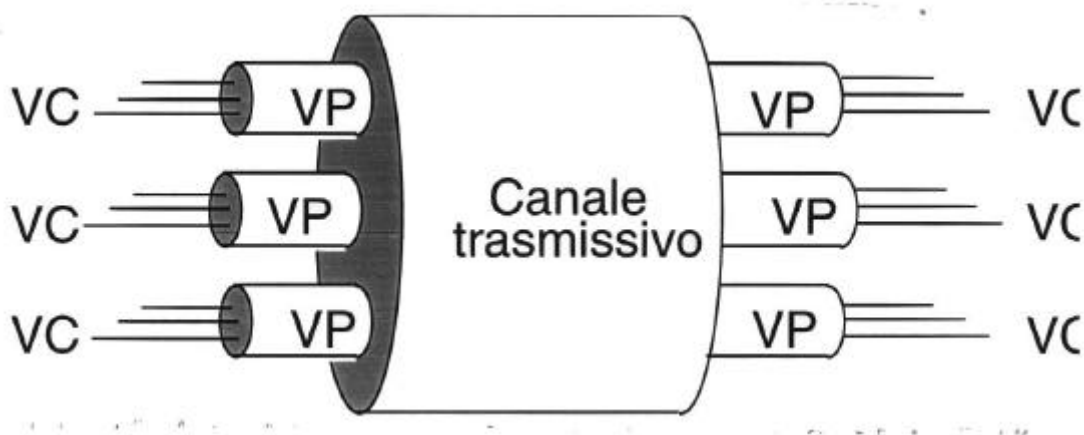
L'ATM è un Trasfer Mode di tipo connection oriented che effettua il trasferimento delle celle, dall'origine alla destinazione, utilizzando la commutazione a circuito virtuale (o connessione virtuale).

Il concetto di connessione virtuale può essere riassunto in tre punti:

1. non viene instaurata una connessione fisica, assegnata permanentemente ed esclusivamente alla coppia di utenti in comunicazione, per tutta la durata del collegamento, indipendentemente dall'uso effettivo del canale (come avviene invece nella commutazione a circuito);
2. nella fase di inizializzazione della chiamata (setup), in base al traffico presente in rete, viene attribuito un canale logico (e non fisico) tra i due utenti, che verrà utilizzato per scambiarsi tutti i pacchetti, assicurando la corretta sequenzialità in arrivo;
3. il compito dei nodi instradatori sarà quello di analizzare il campo della cella, che contiene l'identificatore di percorso ed in base al valore prelevato ricavare, dalla tabella di instradamento, il canale (link) su cui inoltrarla e il nuovo valore di identificatore che il pacchetto informativo dovrà usare fino al nodo successivo.

In pratica la commutazione a circuito virtuale unisce i vantaggi della commutazione a circuito e di quella a pacchetto, consentendo il rispetto della sequenzialità delle celle in arrivo, la condivisione di uno stesso tratto di collegamento tra più utenti e tempi d'instradamento e d'attivazione della connessioni molto contenuti.

La connessione virtuale è realizzata attraverso i canali logici detti Virtual channel (VC) e Virtual path (VP) (vedi fig.4).



**Figura 4: VP, VC e canale trasmissivo.**

Il VC consente il trasporto unidirezionale di celle ATM ed è identificato da un identificatore che prende il nome di Virtual Channel Identifier (VCI).

Una successione di VC che collegano due terminali della rete ATM formano una connessione virtuale VCC (virtual channel connection).

Il Virtual Path (VP) consente il trasporto unidirezionale di celle ATM, appartenenti a VC diversi, ma identificati da un unico identificatore denominato Virtual path identifier (VPI).

Tutti i VC, che seguono lo stesso collegamento fisico per una certa sezione della rete, sono trasportati all'interno di uno stesso Virtual path (VP); tutti i VP a loro volta sono trasportati dal canale trasmissivo (transmission path).

Analogamente ai VC, l'insieme dei VP consecutivi, che collegano due terminali della rete ATM, formano una connessione virtuale VPC (virtual path connection).

Il VP non è strettamente necessario per l'instradamento ma è stato introdotto in quanto consente una semplificazione dell'architettura della rete, portando vantaggi sul piano della commutazione e nella fase di setup (instaurazione della connessione virtuale).

Il vantaggio dal punto di vista della commutazione è dovuto alla possibilità, operando sui VP, di commutare simultaneamente tutte le connessioni contenute all'interno di un Virtual Path (switch VP).

Il secondo vantaggio è rappresentato dalla riduzione del tempo di setup<sup>1</sup>. Il setup di una connessione consiste nell'attribuzione del percorso e delle risorse di rete, le quali saranno riservate fino al momento della disattivazione.

Se la richiesta di connessione è rivolta ad un nodo per il quale ce n'è già un'altra attiva, allora quella nuova è inserita nello stesso VP di quella preesistente; questo comporta una notevole riduzione di tempo.

La flessibilità dell'operazione di moltiplicazione e commutazione, ottenuta grazie all'impiego dei VP e VC, rappresenta uno dei punti qualificanti della tecnologia ATM.

Inoltre, i circuiti logici VP e VC possono avere qualsiasi velocità.

Il vantaggio introdotto è rappresentato dal fatto che, il servizio è commisurato alle effettive necessità di comunicazione e non vincolato ad una struttura rigida di rete trasmissiva.

---

<sup>1</sup> Il setup è indispensabile in quanto l'ATM è una tecnica di tipo connection oriented, caratterizzata da tre fasi per ogni connessione: instaurazione (setup), trasferimento e abbattimento. Ad ogni connessione virtuale è associata una qualità del servizio (QoS). La fase di setup può non aver successo in quanto una rete ATM rifiuta sia le chiamate per le quali non si trova la connessione virtuale, sia quelle la cui accettazione comporterebbe un degrado della QoS delle connessioni già attive.

Un ulteriore vantaggio introdotto dai VP e dai VC è rappresentato dal fatto che essi consentono di essere configurati in modo unidirezionale o bidirezionale, simmetrico o asimmetrico, vale a dire con una banda diversa nelle due direzioni.

I vantaggi introdotti dai VP e dai VC, aggiunti alla capacità di trasmettere sia dati che segnali audio, fanno dell'ATM la tecnologia più efficace per le esigenze delle moderne reti di telecomunicazione.

### *1.3 DESCRIZIONE DEL MODELLO B-ISDN.*

Il modello del B-ISDN, rappresentato in figura 1, è costituito da una struttura stratificata di piani e di livelli. In generale ogni piano è composto da una serie di livelli. La struttura a piani è così articolata:

- User plane;
- Control plane;
- Management plane, a sua volta suddiviso in Layer management e in Plane management;

I livelli funzionali definiti nel modello sono:

- Physical layer;
- ATM layer;
- ATM Adaptation layer, AAL;
- Higher layer.

I primi tre livelli costituiscono il protocollo ATM e realizzano le funzioni di comunicazione base necessarie per qualsiasi tipo di servizio; i livelli superiori forniscono invece all'utente le funzioni specifiche del servizio B-ISDN richiesto.

### 1.3.1 Funzioni dei piani.

In questo paragrafo si descriveranno le funzioni svolte dai piani relativi al modello B-ISDN.

**User Plane:** questo piano è strutturato a livelli e provvede al trasferimento dei flussi informativi d'utente (dati, voci, immagini). I dati trasferiti tra due terminali della rete attraversano tutti i livelli presenti in questo piano. Nel piano d'utente sono definite le funzioni necessarie per realizzare tale trasporto: correzione degli errori, controllo della congestione, analisi del flusso dei dati, ecc.

**Control Plane:** anche questo piano è strutturato a livelli. Esso espleta le funzionalità necessarie alla realizzazione dei processi d'instaurazione, controllo e abbattimento delle connessioni virtuali (operazioni di segnalazioni). La verifica delle disponibilità di risorse di reti (banda, indirizzi, ecc.) è realizzata da un'apposita procedura di accettazione della chiamata, che consente di assegnare, a ciascun nodo della rete, gli identificativi di connessione (VPI, VCI).

**Management Plane:** questo piano non è strutturato a livelli. Esso svolge due funzioni fondamentali:

1. La gestione dei livelli attraverso il layer management;
2. La gestione dei piani attraverso il plane management.

Il Layer management provvede alle funzioni di gestione e di manutenzione della rete (OAM, Operation Administration and Maintenance).

Il monitoraggio e la gestione della rete sono realizzati attraverso flussi di esercizio e manutenzione che utilizzano apposite celle denominate celle OAM.

La normativa definisce i seguenti flussi di celle OAM che operano sul livello fisico:

- F1, flusso OAM per la sezione di rigenerazione;
- F2, flusso OAM per la sezione di moltiplicazione;
- F3, flusso OAM per la sezione di trasmissione.

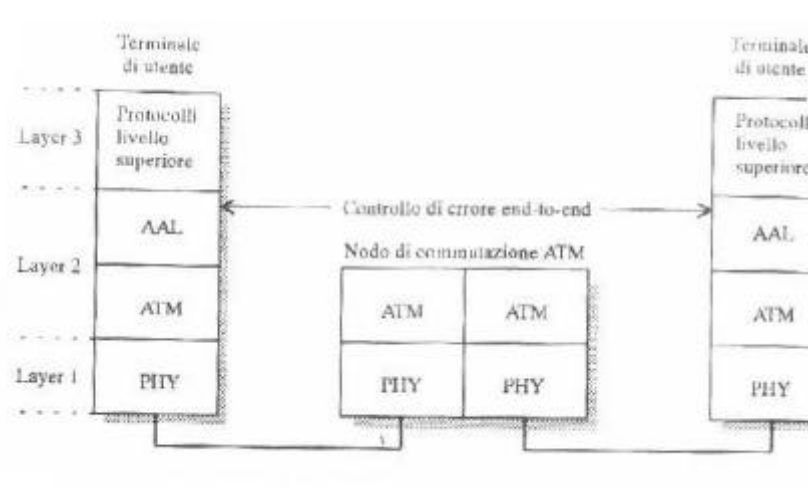
Al livello ATM invece sono definiti i seguenti flussi:

- F4, flusso OAM a livello di Virtual Path;
- F5, flusso OAM a livello Virtual Channel.

Il plane management provvede alle funzioni di gestione delle risorse complessive e coordina le attività fra il management plane e tutti gli altri piani.

### *1.3.2 FUNZIONE DEI LIVELLI.*

In questo paragrafo saranno descritti le funzioni svolte dai livelli e le loro interazioni con i piani. Il livello fisico e quell'ATM sono sempre presenti in ogni elemento della rete, mentre il livello d'adattamento AAL è tipicamente implementato nei terminali d'utente o negli apparati d'accesso alla rete (fig.5).



**Figura 5: Rappresentazione di una rete ATM.**

Prima di mostrare le funzioni svolte dai livelli, si descriveranno brevemente i meccanismi che essi utilizzano per lo scambio d'informazioni.

Questi meccanismi sono quelli utilizzati in tutte le pile protocollari che si rifanno al modello OSI.

Gli elementi attivi in ogni livello sono spesso chiamati **entità**. Una entità può essere software (un processo), o hardware (un componente intelligente di gestione dell'input/output). Le entità allo stesso livello su macchine diverse sono chiamate **entità pari**. Le entità al livello  $n$  implementano servizi usati a livello  $n+1$ . In questo caso il livello  $n$  è detto **fornitore di servizi** e il livello  $n+1$  è detto **utente di servizi**. Il livello  $n$  può usare i servizi del livello  $n-1$  per fornire i propri. I servizi sono disponibili presso i **SAP (Service Access Point)**. I SAP del livello  $n$  sono i luoghi in cui il livello  $n+1$  può accedere ai servizi che vengono offerti. Ogni SAP ha un indirizzo che lo identifica univocamente. Per chiarire questo punto, i SAP del sistema telefonico sono le prese dove possono essere inseriti i telefoni, e gli indirizzi SAP sono i numeri telefonici di queste prese. Per chiamare qualcuno, bisogna conoscere gli indirizzi di SAP. In modo analogo, nel sistema postale, gli indirizzi di SAP sono i

numeri civici e i numeri delle cassette postali. Per spedire una lettera, bisogna conoscerne l'indirizzo di SAP. Quindi la richiesta-offerta di servizi, tra livelli adiacenti, avviene attraverso i SAP, mentre le informazioni scambiate costituiscono le Interface Data Unit (IDU) (vedi fig.6).

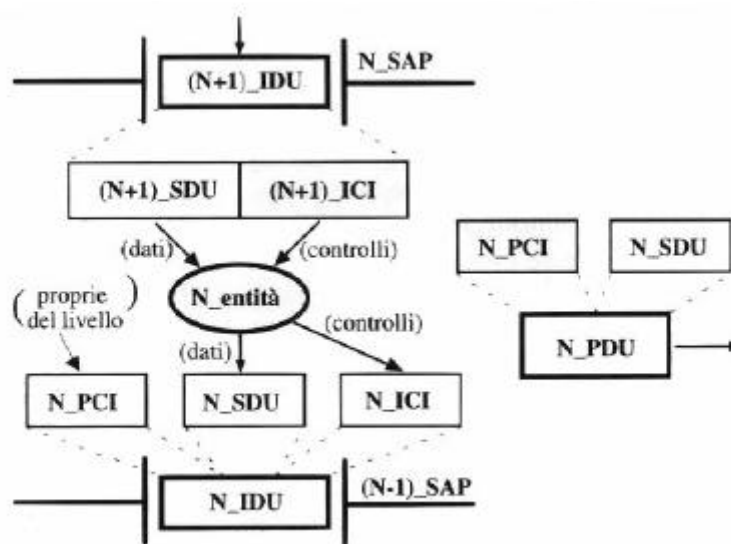


Figura 6: Trasferimento delle informazioni tra i diversi livelli.

L'informazione che giunge dal livello superiore, (n+1)-IDU, viene opportunamente analizzata dal livello N, individuandone due campi, denominati (N+1)-Interface Control Information ((N+1)-ICI) e (N+1)-Service Data Unit ((N+1)-SDU).

Il primo contiene informazioni di controllo temporanee, per il particolare servizio richiesto, mentre il secondo contiene i dati su cui dovrà operare il servizio.

L'entità N, in base al servizio richiesto, analizza il contenuto dell'ICI, lo interpreta ed effettua le funzioni di controllo richieste; l'ICI, dopo essere stato utilizzato, è poi abbandonato.

Per svolgere il servizio richiesto, la N-entità deve a sua volta richiedere un servizio all'entità (N-1) e quindi deve aggiungere una nuova ICI ai dati da passare al livello inferiore.

La N-SDU prodotta dal livello N generalmente coincide con quella (N+1)-SDU, a meno che il livello non abbia tra i suoi compiti anche quello di effettuare una suddivisione del messaggio proveniente dal livello superiore in più pacchetti, che dovranno proseguire in maniera indipendente.

Aggiungendo all'N-ICI ed alla N-SDU un ulteriore campo, detto N-Protocol Control Information (N-PCI), si ottiene la nuova N-IDU da inviare al livello (N-1). La N-PCI contiene il protocollo del livello N e cioè l'insieme di procedure standardizzate per lo scambio d'informazioni tra l'entità del livello N.

Le informazioni N-PCI e N-SDU formano la N-Protocol Data Unit (N-PDU), che rappresenta l'informazione "virtualmente" inviata dal livello N del sistema mittente al medesimo livello del sistema destinatario, vale a dire rappresenta l'informazione scambiata tra due N-entità attraverso una N-conessione.

La N-conessione è un servizio fornito dal livello N-1 che consente alle due N-entità di attuare una comunicazione come se esistesse fra esse un canale, che in realtà è fisicamente presente solo per l'entità di livello 1.

Un servizio è formalmente specificato da un insieme di **primitive** (operazioni) disponibili ad un utente o ad altre entità per accedere ai servizi stessi. Queste primitive dicono al servizio di eseguire delle azioni o di fare rapporto su un'azione realizzata da una entità pari. Un modo per classificare le primitive dei servizi è di dividerle in quattro classi.

L'entità che effettua l'inizializzazione effettua una `CONNECT.request`. Il ricevente riceve una `CONNECT.indication` che annuncia che un'entità da qualche parte desidera attivare una connessione. L'entità che riceve la `CONNECT.indication` utilizza la primitiva `CONNECT.response` per dire se vuole accettare o meno la connessione proposta. In ogni caso l'entità che aveva inviato l'iniziale `CONNECT.request` verifica che cosa è avvenuto attraverso una primitiva `CONNECT.confirm`. Le primitive possono contenere parametri e la maggior parte di esse ne ha. I servizi possono essere sia **confermati** che **non confermati**: in un servizio confermato ci sono le primitive *request*, *indication*, *response* e *confirm*, mentre in un servizio non

confermato, ci sono solo le primitive *request* e *indication*. Servizi e protocolli sono nozioni distinte, tuttavia sono frequentemente confuse. Un servizio è un insieme di primitive che un livello fornisce al livello superiore. Il servizio definisce quali operazioni il livello è pronto ad eseguire per conto dei propri utenti, ma non dice nulla su come tali operazioni vengono implementate. Un protocollo, invece, è un insieme di regole che governano il formato e il significato dei blocchi di informazione, dei pacchetti o dei messaggi che vengono scambiate fra le entità pari di un certo livello.

Il modello OSI è basato su una proposta sviluppata dalla Organizzazione per gli Standard Internazionali (ISO - International Standard Organization) come primo passo verso la standardizzazione internazionale dei protocolli utilizzati nei vari livelli. Il modello è chiamato **modello di riferimento ISO-OSI (Open System Interconnection)** perchè si interessa di collegare sistemi aperti (cioè sistemi che sono aperti a comunicazioni con altri sistemi). Tale modello verrà chiamato OSI per brevità.

**Physical Layer:** la funzione del livello fisico è quella di permettere il trasferimento dei segnali sulla rete trasmissiva tra due elementi della rete (nodi o apparati terminali), con un efficiente utilizzo del mezzo fisico impiegato.

La presenza del livello fisico rende i livelli superiori completamente indipendenti dal sistema trasmissivo di volta in volta impiegato.

Il physical layer è costituito da due sottolivelli:

1. Trasmission Convergence (TC);
2. Physical medium (PM).

Il primo sottolivello (TC) costituisce l'elemento di confine del livello fisico con il livello ATM sovrastante. Al TC competono le seguenti funzioni:

- Adattamento del tasso di rigenerazioni delle celle;
- Generazione e verifica del campo di controllo d'errore HEC;
- Delimitazione delle celle;
- Adattamento della cella alla trama in trasmissione;
- Generazione e recupero delle trame.

Le prime tre funzioni sono sempre presenti nel sottolivello TC, qualunque sia il Physical Medium (PM) e il mezzo trasmissivo utilizzato, mentre la presenza delle altre due è legata al tipo di modalità di trasporto scelta.

Le norme prevedono due modalità per l'adattamento della cella ATM al trasporto sul canale trasmissivo:

- Cell based: in questo caso le celle ATM sono trasportate direttamente dal mezzo fisico senza l'impiego di una struttura di trama (ATM puro);
- Frame based: questa modalità, notevolmente più diffusa, prevede il trasporto delle celle ATM su trame numeriche basate su gerarchia PDH oppure SDH. Le funzioni di adattamento e di generazione e recupero, assenti nella prima modalità, sono essenziali per il frame based.

Di seguito si descriveranno i meccanismi utilizzati dal sottolivello TC per l'espletamento delle prime tre funzioni sopradescritte.

Il meccanismo d'adattamento del tasso di generazione delle celle prevede l'inserimento, nel flusso trasmissivo, di celle prive di contenuto informativo ogni volta che non vi sono informazioni utili da trasmettere.

Queste celle, denominate idle, sono trattate dagli apparati trasmissivi come normali celle e solo l'elemento della rete (nodo o apparato terminale), posto all'estremo ricevente del collegamento, è in grado di riconoscerle e quindi scartarle prima dell'inoltro al livello ATM.

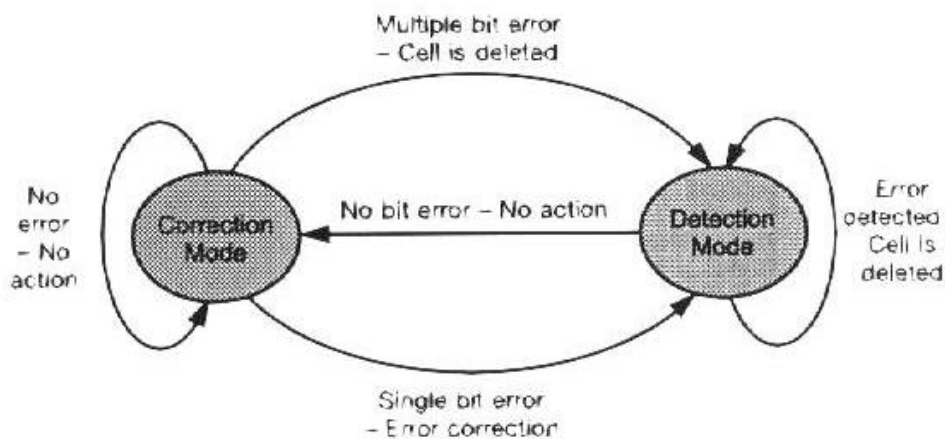
La seconda funzione, che prevede la generazione e la verifica dell'Header Error Control (HEC), è indispensabile in quanto nell'intestazione delle celle sono contenute le informazioni necessarie al loro instradamento attraverso la rete.

La politica di semplificazione adottata dall'ATM si basa sul controllo del solo header, trascurando il contenuto informativo contenuto nel payload.

Il meccanismo per la generazione dell'HEC prevede l'utilizzo di un codice di ridondanza ciclica che calcola il valore del byte di controllo a partire dai valori dei primi 4 byte dell'header.

La parola di controllo così generata è inserita nel campo HEC della cella, vale a dire nell'ultimo byte dell'header.

In ricezione, il meccanismo di verifica dell'HEC consente la correzione del singolo errore e la rivelazione d'errori multipli.



**Figura 7: Meccanismo di rivelazione degli errori.**

In condizioni di funzionamento normale (vedi fig.7) il ricevitore opera nella modalità correction. Il ricevitore a partire dai valori dei primi 4 byte dell'header determina, con lo stesso algoritmo utilizzato per determinare l'HEC, un valore che viene confrontato con l'Header Error Control.

In caso d'errore, il ricevitore passa nello stato detection; gli errori singoli sono corretti, gli errori multipli sono solo rivelati e la cella corrispondente è scartata.

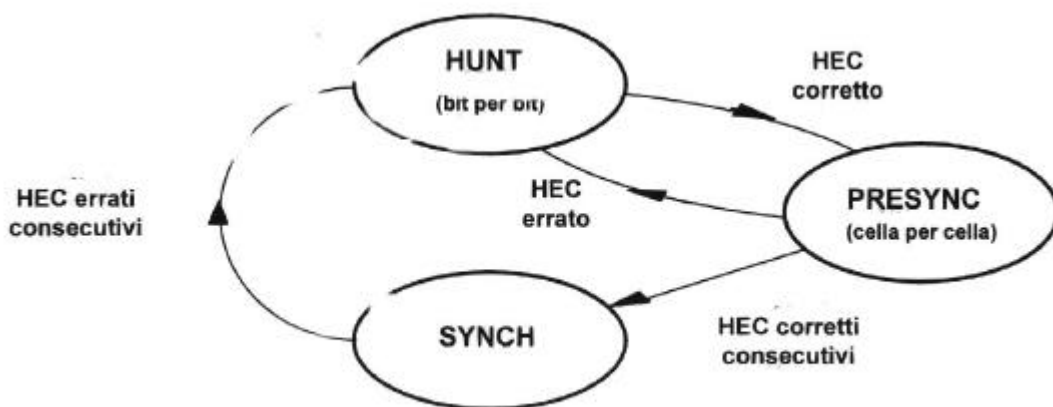
Quando non ci sono più errori nell'header della cella, il ricevitore ritorna nello stato correction.

La terza funzione, che permette di individuare l'inizio e la fine delle celle all'interno del flusso di bit ricevuto, è realizzata utilizzando lo stesso meccanismo. Il livello TC, in ricezione, calcola, con lo stesso algoritmo usato per calcolare l'HEC, il byte di checksum per ogni sequenza di 4 byte consecutivi ricevuti e lo confronta con il quinto byte ricevuto (campo HEC).

Quando i due valori coincidono, il livello TC decreta la possibile identificazione dell'header di una cella.

Il verificarsi di un numero sufficiente di tali informazioni, ad intervalli costanti (53 byte), decreta l'allineamento del TC al flusso di celle, dando inizio all'uso effettivo del canale di comunicazione.

Supponendo che il ricevitore possa assumere tre differenti stati (vedi fig.8), il modo di procedere è riassunto dal seguente diagramma.



**Figura 8: Delimitazione delle celle.**

Si parte dallo stato HUNT e si considera la sequenza dei primi 5 byte del flusso trasmissivo.

L'analisi del contenuto del quinto byte potrebbe dare esito positivo o negativo. Se l'esito è positivo, allora si può essere sicuri che i primi 5 byte analizzati costituiscono l'intestazione di una cella e il ricevitore passa nello stato PRESYNC.

In caso contrario, il ricevitore resta nello stato HUNT e il procedimento viene ripetuto spostando di un byte la finestra d'analisi del flusso di bit. Dallo stato PRESYNC si può tornare allo stato HUNT, a seguito di una non corretta rilevazione dell'intestazione di cella o passare allo stato SYNCH, nel caso in cui vengono rilevate correttamente  $m$  header consecutivi.

Lo stato PRESYNC è uno stato di transizione nel quale si può supporre di essere sincronizzati, ma non se ne ha la certezza. Dallo stato SYNCH, a seguito di  $n$  rilevazioni consecutive incorrette dell'header, si può tornare allo stato HUNT. Il vantaggio di poter tornare allo stato HUNT dopo un significativo numero di rilevazioni non corrette, risiede nella possibilità di fronteggiare casi in cui il sincronismo è giusto, ma la rilevazione non è avvenuta a seguito d'errori nell'header dovuti ad una pessima trasmissione. Valori tipici di  $m$  e  $n$  sono  $m=6-8$  e  $n=7$ .

Il sottolivello Physical medium (PM) si occupa della trasmissione e ricezione delle celle verso il mezzo trasmissivo, traducendo i flussi di bit in segnali elettrici od ottici e viceversa.

Compito del PM è quello di assicurare il trasferimento dei segnali binari che compongono le celle ATM, rendendo questa comunicazione indipendente dal mezzo utilizzato (fibra ottica o cavo coassiale).

Il controllo della comunicazione al livello fisico è svolto dalle celle OAM F1, F2 e F3, che sono inserite nel flusso informativo generato e che contengono informazioni per la gestione e il monitoraggio della rete.

In particolare, se si utilizza la modalità di trasmissione Cell based, la normativa prevede l'inserimento di una cella OAM ogni 26 celle di traffico ed inoltre sono utilizzati i soli flussi OAM F1 e F3.

Nel caso in cui la modalità di trasmissione è del tipo Frame based, le celle OAM vengono mappate all'interno delle trame; se la trasmissione avviene su linee PDH

sono utilizzati solo i flussi F1 e F3 mentre se avviene su linee SDH si utilizzano tutti i flussi (F1, F2 e F3).

In generale, le funzioni svolte dal flusso F1 sono le seguenti:

- Rilevazione del segnale ricevuto (una mancata rilevazione è attribuita ad un guasto sulla linea);
- Allineamento di trama (nel caso Frame based); una perdita d'allineamento rappresenta una situazione anomala da segnalare.

Il flusso F2 rileva l'eventuale degrado delle prestazioni che rendono inaccettabile la qualità del segnale ricevuto (ad esempio, la rilevazione di un tasso d'errore superiore ad una certa soglia fissata su una tratta di trasmissione).

Il flusso F3 controlla le funzioni di delimitazioni e sincronizzazione delle celle, l'inserimento corretto d'eventuali celle idle e la perdita di qualche puntatore (nel caso SDH).

In generale il verificarsi di un guasto innesca due segnalazioni d'allarme propagate a valle (AIS Alarm Signal Indication) e a monte (RDI Remote Defect Indication) verso i nodi della rete, in modo da avviare le procedure di ripristino del servizio.

La ricezione di una cella OAM contenente informazioni d'allarme è riportata, attraverso un messaggio d'errore, al layer management.

La tecnologia ATM potrebbe essere utilizzata senza l'impiego di strutture di trama (ATM puro), ma è preferibile ricorrere all'SDH in quanto offre funzioni di gestione dei guasti e di controllo delle prestazioni più complete e sofisticate.

L'ATM e l'SDH non sono tecnologie contrapposte e alternative ma sono complementari; infatti, l'SDH offre una rete trasmissiva flessibile ed efficiente mentre l'ATM consente l'utilizzo efficiente della capacità trasmissiva, grazie alle celle di dimensione fissa, ed offre servizi a banda variabile.

**ATM Layer:** Il livello ATM garantisce le funzioni di trasferimento, commutazione e gestione del traffico, mediante l'uso di celle di lunghezza fissa (celle ATM).

Le funzioni di comunicazione svolte dall'ATM layer sono indipendenti sia dal mezzo fisico utilizzato, sia dalle applicazioni, definite ai livelli superiori.

In particolare, il livello ATM svolge le seguenti funzioni sulle celle di traffico:

1. Controllo del flusso all'interfaccia UNI attraverso il GFC;
2. Generazione/estrazione dell'header delle celle ATM;
3. Traduzione dei label VPI/VCI;
4. Multiplazione e demultiplazione delle celle ATM.

La prima funzione è presente solo all'interfaccia UNI, mentre le altre tre sono sempre presenti in ogni elemento della rete ATM (nodo terminale o switch).

La funzione di generazione dell'header prevede che quando dal livello superiore arrivano i dati segmentati che ne costituiscono il payload, il livello ATM genera l'header, inserendovi i valori di VPI e VCI, e invia la cella al livello fisico.

Viceversa, la funzione d'estrazione prevede che in ricezione, quando le celle arrivano dal livello fisico, lo strato ATM estrae l'header e legge i valori dei campi VPI e VCI; inoltre, se il nodo rappresenta un terminale della rete, il livello ATM invia il contenuto del payload al livello superiore.

All'interno di uno switch ATM sono poi realizzate le altre due funzioni che consentono di espletare l'operazione di commutazione delle celle.

Per eseguire tale funzione, il nodo analizza l'header della cella, ed in particolare i valori di VPI e VCI, e determina sia il link d'uscita su cui la cella deve essere instradata (multiplazione e demultiplazione) e sia i nuovi valori dei campi VPI e VCI, che dovranno essere mantenuti fino al successivo nodo della rete.

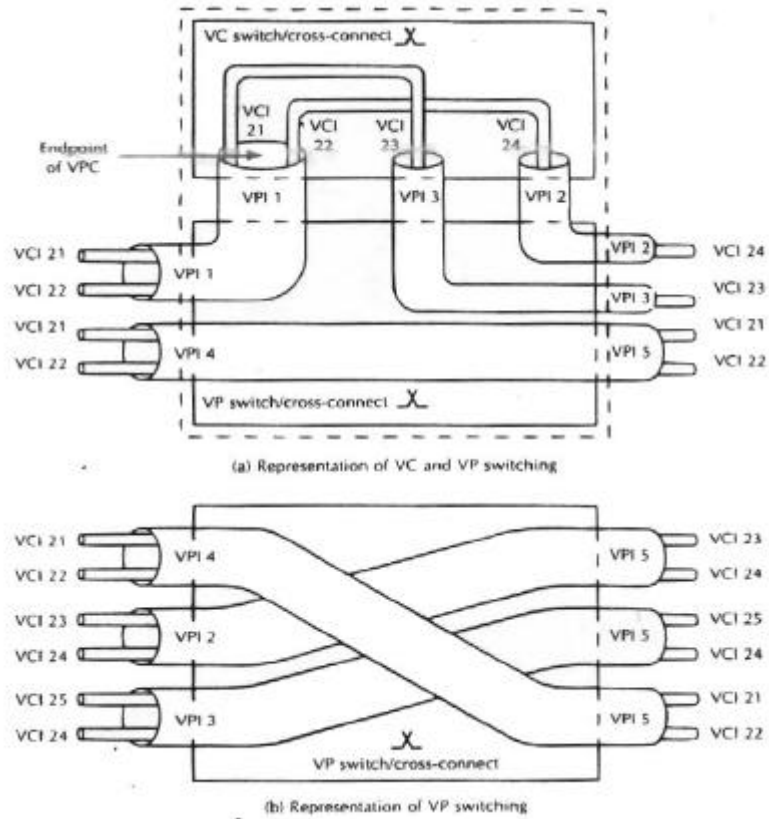


Figura 10: VP switch e VC Switch.

L'ATM prevede due tipi di commutazione (vedi fig.10):

- VP switch: in questo caso, il nodo ATM analizza l'header limitandosi al solo campo VP senza considerare i VC in esso contenuti. All'uscita del nodo il valore del VPI sarà cambiato mentre i VCI rimangono inalterati;
- VC switch: questa commutazione realizza l'instradamento di ciascun VC contenuto all'interno di un determinato VP. In ricezione, il nodo estrae i singoli VC dai VP per commutarli separatamente, analizzando l'header delle celle ed assegnando il nuovo valore di VPI/VCI.

Un'altra funzione svolta al livello ATM sulle celle è il controllo della congestione, attraverso il campo CLP contenuto nell'header della cella.

Infine, il livello ATM prevede anche funzioni per l'amministrazione, manutenzione ed esercizio della rete attraverso il flusso di celle OAM F4 e F5.

Le celle appartenenti ai flussi OAM devono essere distinte dalle normali celle d'utente per essere trasferite al Layer management del Management plane.

Il loro formato prevede una particolare codifica dell'header; le celle relative al flusso F4 sono caratterizzate dai valori VCI= 3-4 mentre quelle relative al flusso F5 presentano nel campo PTI i valori binari 100 e 101.

Le funzioni di gestione effettuate dal livello ATM, attraverso i flussi F4 e F5, possono essere classificate nel seguente modo:

1. Fault management, che si occupa della gestione delle situazioni di guasto o d'errore sulle connessioni VCC o VPC, mediante allarmi, e della verifica di continuità delle connessioni. In particolare, quando si verifica un guasto su una connessione VPC o VCC, s'inverranno le indicazioni d'allarme AIS e RDI.
2. Performance management che si occupa del controllo delle prestazioni delle connessioni VP e VC.

**AAL:** Il livello di adattamento rappresenta il punto di confine tra l'ATM e le applicazioni di alto livello. La sua funzione è quella di adattare il formato dei dati di livello superiore a quello del payload della cella ATM. Per evitare di sviluppare livelli di adattamento per ciascun tipo di servizio, la normativa ha classificato questi ultimi in base alle seguenti caratteristiche:

1. Bit rate: alcuni servizi danno origine a flussi di dati con bit rate costante mentre altri sono caratterizzati da emissioni variabili nel tempo.

2. Modalità di connessione: anche in questo caso i servizi possono dividersi in due categorie, quelli connection oriented (la rete instaura una connessione tra sorgente e destinazione prima di iniziare il trasferimento dei dati) e quelli connectionless.
  
3. Relazioni temporali tra sorgente e destinazione (isocroni e non isocroni): alcune tipologie di servizi richiedono una sincronizzazione fra sorgente e destinatario (come ad esempio, il trasporto della voce) mentre altri non richiedono sincronizzazione (per esempio, la posta elettronica).

Sulla base di queste caratteristiche le raccomandazione hanno portato alla definizione di 4 classi di servizio (vedi tabella 1):

PARAMETRO	SERVIZIO	CLASSE A	CLASSE B	CLASSE C	CLASSE D
Relazione temporale fra sorgente e destinazione		Richiesta		Non richiesta	
Bit rate		Costante	Variabile		
Modalità di connessione		Connection oriented			Connectionless

**Tabella 1 : Classe dei servizi.**

Per ognuna di queste classi di servizio sono stati definiti 4 specifici protocolli:

- AAL1: utilizzato per servizi di classe A;
- AAL2: utilizzato per servizi di classe B;
- AAL3/4: utilizzato in passato per servizi di classe C e D;
- AAL5: ha sostituito l'AAL3/4 per la sua semplicità

Le funzioni eseguite dallo strato d'adattamento sono:

1. gestione degli errori di trasmissione;
2. segmentazione e ricostruzione;
3. gestione di eventi di perdita e duplicazione;
4. controllo di flusso e temporizzazione.

Lo strato AAL contiene due sottostrati:

- Segmenting and Reassembly (SAR)
- Convergence Sublayer (CS)

Il SAR, in trasmissione, è responsabile delle operazioni di segmentazione delle unità informative, provenienti dai livelli superiori, in PDU di lunghezza pari al payload delle celle ATM (48 byte).

In ricezione, il SAR realizza l'operazione di riassettaggio delle informazioni, a partire dalle celle ATM, mediante la ricostruzione delle AAL-PDU da consegnare al sottolivello superiore nella forma di AAL-SDU.

Il sottolivello CS ha invece il compito di realizzare le funzioni fortemente dipendenti dal tipo di servizio trasportato.