

19

B-ISDN E ATM

19.1 INTRODUZIONE

Attualmente esistono diverse reti di telecomunicazioni, ciascuna specializzata nel fornire un dato servizio: ad esempio la telefonia, il telex, la televisione via cavo, i dati a commutazione di circuito e a commutazione di pacchetto.

Un primo passo verso l'integrazione delle reti è stato compiuto con l'ISDN (*Integrated Services Digital Network*), il quale è in grado di veicolare fonia, dati e video a bassa velocità utilizzando una rete numerica con una banda da 64 Kb/s a 2 Mb/s, assegnabile al servizio richiedente in multipli interi di 64 Kb/s (si veda il paragrafo 12.7).

Le esigenze di mercato spingono verso l'introduzione di una serie di servizi a più larga banda mirati ad utenze sia di tipo affari, ad esempio, trasmissione dati ad elevata velocità, full-motion e full-color video, videoconferenza, interconnessione di LAN e workstation, sia di tipo domestico, ad esempio Video On Demand, Hi-Fi audio e games downloading.

Per rispondere a detta esigenza gli organismi di standardizzazione internazionale hanno discusso come far evolvere ISDN verso una rete a larga banda (*Broadband ISDN* o *B-ISDN*) capace di gestire in modo flessibile il maggior numero possibile di servizi di telecomunicazione [1]. Questi servizi, facendo riferimento alla figura 19.1, possono essere classificati come segue:

- *bassissima velocità*: telemetria, telecontrollo, teleallarmi;
- *bassa velocità*: fonia, fax, POS (Point Of Sale), sessioni di lavoro con host remoti, transazioni remote come prenotazioni su linee aeree, ecc.;
- *media velocità*: Hi-Fi audio, video a bassa velocità, fax ad alta risoluzione (HQ fax);
- *alta velocità*: interconnessione di LAN, file transfer;

- *Altissima velocità*: broadcast video, video on demand, televisione ad alta definizione (HDTV), video library, videoconferenza.

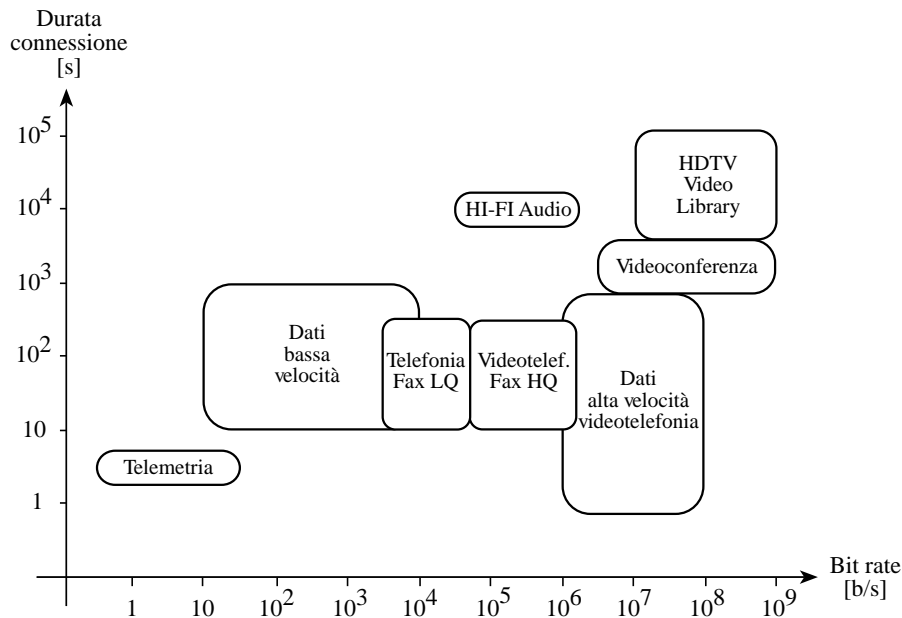


Fig. 19.1 - Caratteristiche delle sorgenti di traffico.

Data la grande varietà dei servizi da fornire, sia in termini di velocità, sia di durata della comunicazione, il B-ISDN deve essere il più possibile:

- *flessibile, scalabile e indipendente dall'applicazione*: in modo da poter essere aggiornato in futuro con l'introduzione di nuovi servizi, preservando nel tempo gli investimenti;
- *efficiente*: dovendo far condividere le risorse di rete ad una pluralità di servizi senza che le prestazioni di questi vengano a risentirne;
- *economico*: i costi di progettazione, installazione, gestione e manutenzione di B-ISDN devono essere inferiori ai costi aggregati delle reti che sostituisce.

Lo schema generale di una interconnessione B-ISDN è mostrato in figura 19.2, dove è possibile osservare che il bus S tipico dell'ISDN tradizionale (*Narrow Band ISDN*) continua ad esistere e prende il nome di S_0 ed è affiancato dai due bus S_B e S_D tipici del B-ISDN. Il bus S_B ha uno scopo simile a quello del bus S_0 , cioè fornire servizi interattivi, ma a larga banda. Il bus S_D serve invece per i servizi

distributivi in cui un segnale a larga banda viene distribuito ad un ampio numero di terminali (ad esempio, televisione via cavo).

Dalla figura 19.2 emerge inoltre come per realizzare B-ISDN le velocità trasmissive debbano essere comprese nell'intervallo 150 Mb/s - 600 Mb/s.

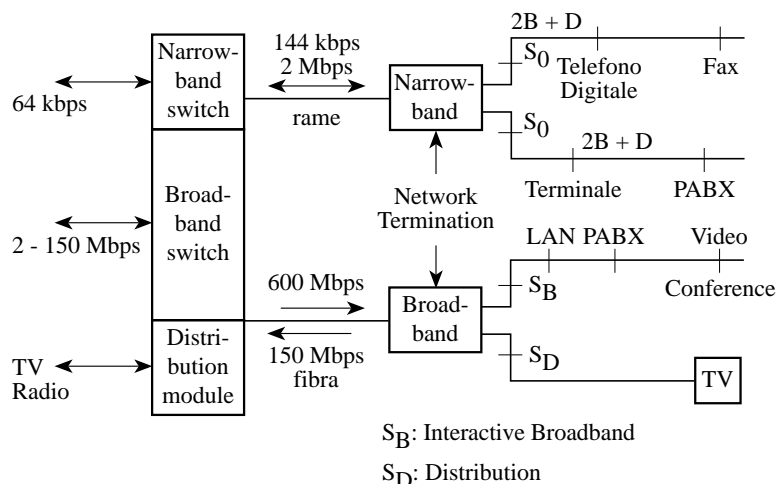


Fig. 19.2 - Connessione B-ISDN.

Nel 1987 il CCITT ha deciso di basare il B-ISDN, per quanto riguarda gli aspetti trasmissivi su SDH (si veda il paragrafo 12.6) e per quanto riguarda gli aspetti di commutazione su ATM (*Asynchronous Transfer Mode*).

Questa decisione ha fatto di ATM lo standard universalmente accettato per le reti nel mercato delle telecomunicazioni, dei calcolatori elettronici e dell'elettronica di consumo. Il grande mercato potenziale di ATM ha spinto un numero elevato di costruttori ad impegnarsi in modo significativo sia nella realizzazione di apparati e componenti ATM, sia nella veloce definizione degli standard, tramite una associazione di costruttori e utenti, creata nel novembre 1991, denominata *ATM Forum*.

ATM Forum raggruppava a giugno '94 570 membri, tra cui 168 costruttori, 69 utenti e 333 ascoltatori. ATM Forum ha lo scopo di accelerare il processo di standardizzazione di ATM, con particolare riferimento all'interoperabilità dei prodotti, come specificato nell'atto costitutivo: "An Industry Group of Vendors, Service Providers and Network Users that Formulate Implementations of the ATM Standards".

Oltre al ruolo rivestito nell'ambito di B-ISDN, è certo che ATM sarà utilizzata come

infrastruttura di trasporto per reti di tipo privato e come struttura di interconnessione intra-dispositivo. Ad esempio già oggi si costruiscono commutatori Frame Relay e concentratori di rete locale (HUB) aventi una struttura interna realizzata con tecnica ATM. Molti costruttori di calcolatori hanno annunciato che nel prossimo futuro abbandoneranno le reti locali tradizionali a favore di quelle ATM.

19.2 FONDAMENTI DELLA TECNICA ATM

La tecnica ATM si occupa del trasporto di informazioni in forma numerica, sia di tipo continuo, come fonia e video, sia di tipo discontinuo (a burst), come il traffico dati generato dalle LAN. Questo trasporto viene effettuato su una rete costituita da un insieme di nodi di commutazione e da un insieme di nodi terminali (figura 19.3).

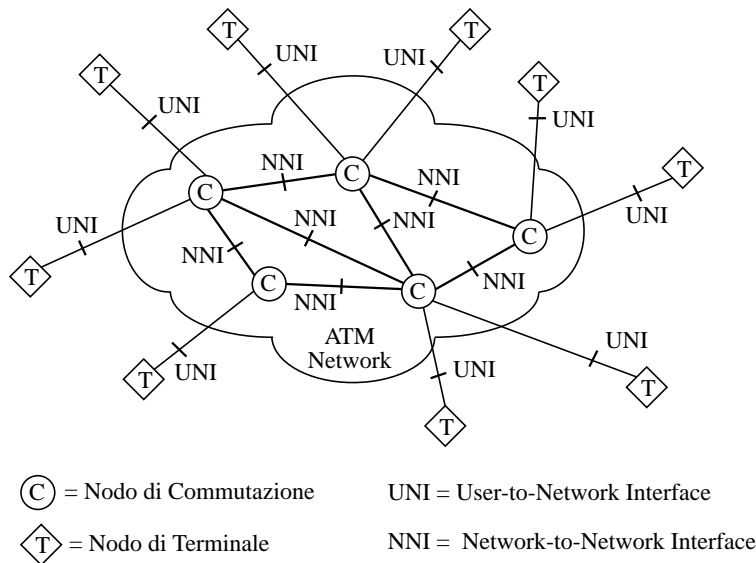


Fig. 19.3 - Struttura di una rete ATM.

I nodi di commutazione, detti brevemente commutatori, sono collegati tra loro con linee punto-punto secondo una topologia assolutamente arbitraria, che ammette la presenza di magliature. I nodi terminali invece possono essere collegati unicamente ai nodi di commutazione, anch'essi con linee punto-punto, con una topologia stellare.

L'interfaccia tra commutatore e terminale utente viene chiamata *User-to-Network*

Interface (UNI) [4] mentre quella tra commutatore e commutatore prende il nome di *Network-to-Network Interface* (NNI). Le UNI e la NNI sono i principali standard su cui basarsi per realizzare una rete ATM ed esistono standard per queste interfacce in ambito pubblico e privato, come mostrato dalla figura 19.4.

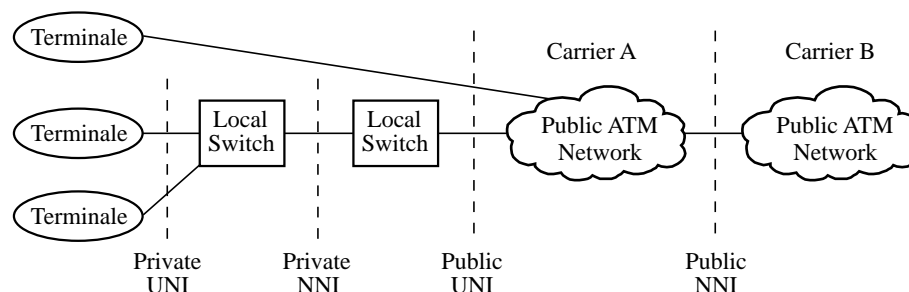


Fig. 19.4 - Interfacce pubbliche e private.

Ovviamente un alto livello di standardizzazione di queste interfacce è auspicabile in quanto alla base dell'interoperabilità tra apparati di costruttori diversi.

La comunicazione tra due terminali utente avviene su una *connessione virtuale*, cioè su un canale logico. L'informazione viene instradata su un percorso fisico associato alla connessione virtuale sotto forma di una sequenza di unità informative elementari dette *celle*.

Le celle ATM possono essere di due tipi (si veda la figura 19.5), a seconda dell'interfaccia su cui transitano. Entrambi i tipi di celle hanno una lunghezza fissa pari a 53 byte, di cui 5 dedicati all'intestazione (Header) e 48 al campo informazioni (Payload).

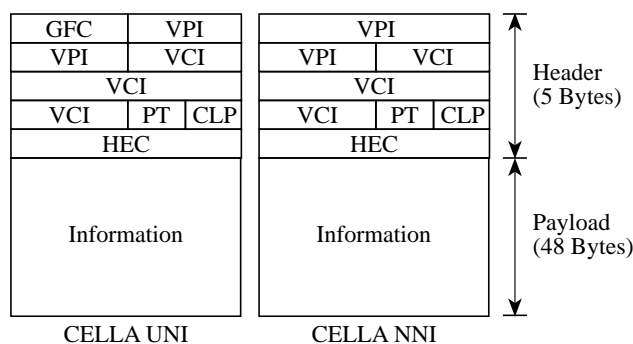


Fig. 19.5 - Formati delle celle ATM.

Il significato dei campi dell'intestazione è il seguente:

- GFC (*General Flow Control*): è lungo 4 bit nelle celle UNI ed è assente in quelle NNI. Dovrebbe essere utilizzato per il controllo del traffico e delle congestioni, ma attualmente non ne sono ancora state definite le funzioni. Questo campo è presente solo nelle celle UNI perché la gestione del traffico è solo di competenza di questa interfaccia;
- VPI (*Virtual Path Identifier*): è lungo 8 bit nelle celle UNI e 12 bit in quelle NNI. Costituisce una parte dell'identificatore di connessione virtuale. Identifica un gruppo di canali virtuali (è l'analogo del *fascio di circuiti* nella commutazione di circuito);
- VCI (*Virtual Channel Identifier*): la sua lunghezza è pari a 16 bit per entrambi i tipi di celle. Costituisce la restante parte dell'identificatore di connessione virtuale. Identifica un canale virtuale tra due stazioni nell'ambito di un percorso virtuale;
- PT (*Payload Type*): è lungo 3 bit per entrambe le celle. Indica se il campo dati trasporta effettivamente dati utente oppure informazioni di servizio per la gestione della rete;
- CLP (*Congestion Loss Priority*): un solo bit di lunghezza. Indica se una cella può essere scartata da un commutatore qualora si verificano condizioni di congestione;
- HEC (*Header Error Control*): lunghezza 8 bit. È il CRC calcolato sulla sola intestazione della cella e permette la correzione di un errore singolo e la rilevazione di un errore doppio nell'header della cella.

I commutatori hanno il compito di trasferire le celle provenienti da un canale in ingresso verso un canale in uscita. Questa operazione viene svolta in un modo semplice e veloce. Infatti, l'intestazione di ogni cella contiene un *identificatore di connessione virtuale*, detto anche *etichetta*, che è costituito dall'insieme di VPI/VCI e serve a determinare la connessione a cui una cella appartiene. L'etichetta, essendo costituita da un numero limitato di bit, identifica in modo univoco una connessione solo all'interno di un canale, quindi nel passaggio da un canale di ingresso ad un canale di uscita deve essere opportunamente sostituita. Per ogni linea di ingresso di un nodo di commutazione, l'etichetta funge da puntatore ad una tabella di transcodifica (look-up) che contiene la nuova etichetta da porre nell'intestazione e la linea su cui la cella deve essere ritrasmessa. Una successione di cambi di etichetta (label swapping, si veda anche il paragrafo 14.1.1) e di linea determina di conseguenza il percorso di una cella all'interno della rete, dal terminale di origine a quello di destinazione. Se la connessione è di tipo multicast allora l'etichetta individua un

insieme di nuove etichette e di linee di uscita e la cella sarà replicata un numero di volte pari alle possibili destinazioni.

Un commutatore ATM (figura 19.6) deve quindi essere in grado di effettuare, per ogni cella che riceve, due operazioni:

- *Commutazione di multiplex*: trasferire fisicamente una cella da una terminazione di ingresso ad una o più terminazioni di uscita;
- *Commutazione di etichetta*: variare l'identificatore di connessione virtuale da quello valido sul multiplex di ingresso a quello valido sul multiplex di uscita.

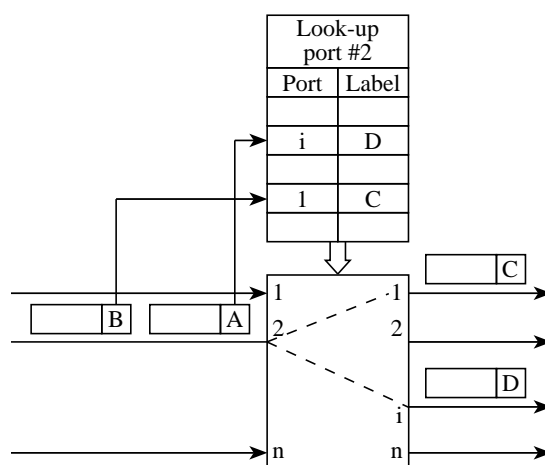


Fig. 19.6 - Nodo di commutazione ATM.

Queste due funzioni, essendo semplici ed operando su dati di dimensioni contenute e fisse, possono essere implementate interamente in hardware, rendendo così la commutazione estremamente veloce.

Le celle vengono trasmesse sulle linee con velocità trasmissive molto elevate (tipicamente maggiori o uguali a 155 Mb/s) e su una stessa linea possono transitare più connessioni virtuali. Più flussi di celle ATM possono essere riuniti in un unico flusso a velocità superiore attraverso un'operazione di *multiplazione* (figura 19.7).

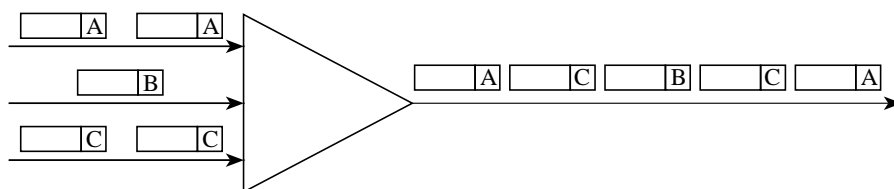


Fig. 19.7 - Multiplazione.

Tale moltiplicazione è *asincrona* in quanto non esiste alcuna relazione tra la posizione che occupa una cella nel flusso moltiplicato ed il flusso da cui la cella proviene. Di conseguenza la demoltiplicazione in ricezione avviene separando le celle in base al loro identificatore di connessione virtuale e non in base a informazioni temporali.

Esistono due tipi di connessioni virtuali: *Permanent Virtual Connections* (PVC) e *Switched Virtual Connections* (SVC). Le connessioni PVC vengono create dal gestore della rete con opportune operazioni di configurazione e sono l'equivalente di una linea dedicata tra due utenti. Le connessioni SVC sono invece create dinamicamente, su richiesta di un utente, mediante procedure di segnalazione, esattamente come nel caso di connessioni telefoniche commutate.

Ad una connessione virtuale è associato un percorso fisico sulla rete e la sua attivazione comporta la generazione di una nuova etichetta per ogni interfaccia che compone il percorso fisico e la configurazione delle tabelle di look-up nei commutatori attraversati.

Ad ogni connessione virtuale è inoltre associata una qualità del servizio (*QoS: Quality of Service*) che viene negoziata all'atto dell'instaurazione della connessione stessa. La qualità del servizio definisce dei parametri contrattuali tra il terminale e la rete ATM come, ad esempio, la banda desiderata, la priorità dell'informazione, il ritardo massimo ed il tasso di perdita delle celle. La qualità del servizio serve a caratterizzare il traffico affinché la rete possa trattarlo adeguatamente riservando ad esso opportune risorse.

Ad esempio, un traffico generato da una videoconferenza ha una banda ed una priorità molto elevate, non tollera ritardi che superino poche centinaia di millisecondi, ma sopporta dei tassi di perdita diversi da zero; per contro, un traffico causato dal backup remoto di un file server ha esigenze di banda e di priorità abbastanza contenute, sopporta ritardi dell'ordine dei secondi, ma non tollera assolutamente la perdita di celle.

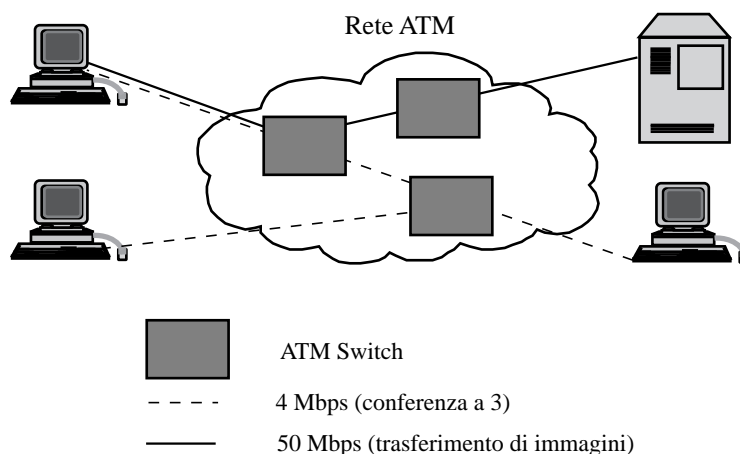


Fig. 19.8 - Connessioni virtuali.

La figura 19.8 mostra un esempio di due connessioni virtuali con QoS diverse. Una delle due connessioni è punto-punto, mentre l'altra è di tipo punto-multipunto.

19.3 ASPETTI DI INDIRIZZAMENTO

Per poter stabilire una connessione virtuale con un'altra stazione occorre che ogni stazione abbia un indirizzo ATM. Questo non deve essere confuso con il VPI/VCI: l'indirizzo ATM è un identificatore univoco a livello mondiale di una stazione ATM ed è utilizzato in fase di segnalazione per stabilire una SVC. Una volta creata la SVC, essa viene identificata dal VCI/VPI assegnato dalla rete durante la segnalazione.

Un indirizzo ATM deve:

- avere una struttura gerarchica che consenta di definire domini di routing e reti all'interno di questi;
- contenere un identificatore unico ed invariante della stazione, incorporato nell'hardware ed assegnato da una autorità internazionale che ne assicuri l'unicità (esattamente come accade per l'indirizzo di livello MAC delle LAN Ethernet);
- essere creato dinamicamente quando una stazione viene connessa ad una data porta di un dato commutatore.

Per soddisfare questi requisiti gli indirizzi ATM hanno una lunghezza fissa pari a 20 ottetti e sono basati sugli indirizzi NSAP di OSI [6] (si veda il paragrafo 17.8). Sono ammessi tre formati come evidenziato in figura 19.9.

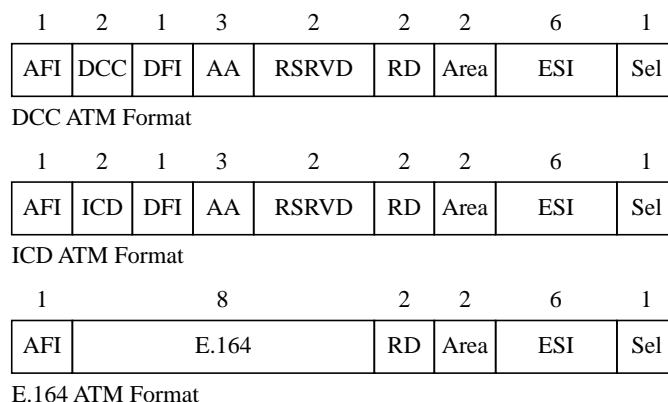


Fig. 19.9 - Indirizzi ATM.

Gli indirizzi E.164 sono principalmente usati per le reti ATM pubbliche, mentre gli ICD e i DCC sono utilizzate per le reti private.

Il significato dei campi è spiegato in modo integrativo a quanto già detto nel paragrafo 17.8:

- AFI (*Authority and Format Identifier*): assume il valore 39 nel caso DCC ATM format, 47 nell'ICD ATM format e 45 nell'E.164 ATM format.
- DCC (*Data Country Code*): codice della nazione che ha assegnato l'indirizzo in accordo allo standard ISO 3166 (per le codifiche dei principali paesi si veda la tabella 17.2).
- ICD (*International Code Designator*): identificatore di una organizzazione unico a livello mondiale.
- E.164: numero telefonico per ISDN.
- DFI (*Domain specific part Format Identifier*): specifica la struttura, il significato semantico e i requisiti amministrativi dei restanti campi a destra del DFI.
- AA (*Administrative Authority*): identifica quale autorità amministrativa è responsabile dell'assegnazione dei restanti campi a destra del campo AA.
- RSRVD (*Reserved*): riservato per usi futuri.
- RD (*Routing Domain*): identifica il dominio di routing all'interno di una organizzazione.
- Area: identifica una rete all'interno di un dominio di routing.
- ESI (*End System Identifier*): identifica una stazione ATM all'interno di una rete; normalmente è scritto in una ROM della scheda ATM.
- Sel (*Selector*): non utilizzato per il routing ATM, a disposizione della stazione ATM.

Dato che una stazione può essere posizionata o spostata in un qualunque punto della rete in un qualunque momento, è indispensabile la presenza di un protocollo di configurazione automatica che consenta:

- alla stazione di rilevare la sua posizione apprendendo la parte iniziale dell'indirizzo (da AFI ad Area) e completandolo con l'ESI;
- alla rete di rilevare l'indirizzo ATM della stazione per aggiornare i database di instradamento.

I database di instradamento rivestono un ruolo fondamentale nell'instaurazione delle connessioni virtuali e possono essere gestiti in vari modi: la proposta a livello di P-NNI è di utilizzare un algoritmo di tipo link state packet (si veda il paragrafo 14.7) e un protocollo tipo OSPF o IS-IS* per costruire ed aggiornare dinamicamente tali database.

* OSPF (*Open Shortest Path First*) e IS-IS (*Intermediate System to Intermediate System*) sono due dei protocolli di routing maggiormente utilizzati sulle reti TCP/IP ed OSI.

19.4 ASPETTI ARCHITETTURALI

Si è precedentemente accennato al fatto che un nodo di commutazione ATM deve svolgere due funzioni: un cambiamento di multiplex, che corrisponde nella normale commutazione di circuito ad una commutazione spaziale ed un cambiamento di etichetta, che è l'analogo di una commutazione di slot nella tecnica TDM (*Time Division Multiplexing*). In ATM infatti, l'appartenenza di una cella ad una data connessione è riconoscibile non dalla sua posizione temporale sul flusso in ingresso (l'arrivo di una cella è un evento asincrono), ma dai valori di VPI/VCI (cioè dall'etichetta).

La funzione di traslazione di etichetta viene realizzata fisicamente mediante una tabella di transcodifica (*look-up table*) associata a ciascuna porta di ingresso del commutatore. A tale tabella si accede con la vecchia etichetta per estrarre quella nuova, mentre la commutazione di multiplex viene implementata per mezzo di una struttura di commutazione spaziale dotata di *buffer*, cioè di memorie in cui le celle vengono immagazzinate in attesa della commutazione per periodi di tempo dalla durata non deterministica, dipendenti dalle condizioni di carico della rete. Tali buffer sono indispensabili a causa delle caratteristiche intrinseche della tecnica asincrona: essi servono a risolvere i conflitti che si generano tra le celle che giungono su differenti porte di ingresso di un commutatore e sono destinate alla stessa porta di uscita.

In base al posizionamento dei buffer rispetto allo stadio spaziale si possono classificare le strutture di commutazione nel modo esposto nei seguenti sottoparagrafi.

19.4.1 Commutatori con buffer in ingresso

Ad ogni ingresso del commutatore è associato un buffer nel quale vengono memorizzate le celle che sono in attesa di essere instradate. A questa categoria appartengono i commutatori *Batcher-Banyan* (figura 19.10) così chiamati perché sono costituiti da una cascata di un ordinatore Batcher e da una rete Banyan* che è in grado di commutare senza blocco l'insieme di celle fornitegli dall'ordinatore Batcher.

* Un ordinatore Batcher è un dispositivo che presenta, su un insieme contiguo di uscite, le celle che si presentano ai suoi ingressi, ordinandole per indirizzo di destinazione crescente. Le reti Banyan costituiscono una famiglia di strutture di commutazione spaziale; sono realizzate interconnettendo secondo una certa topologia elementi di commutazione 2×2 .

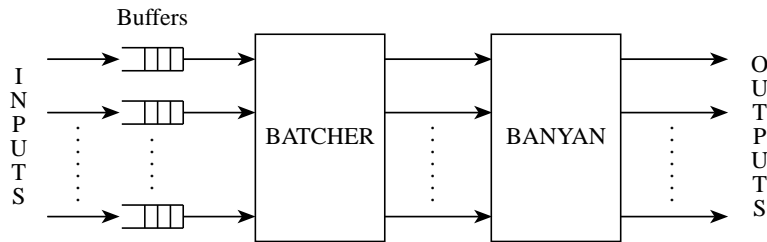


Fig. 19.10 - Commutatore Batcher-Banyan.

La struttura risultante è in grado, ad ogni ciclo di rete, di instradare in modo non bloccante un insieme di celle, a patto che queste siano dirette verso uscite differenti. Se ci sono dei conflitti, questi vengono risolti dai buffer, i quali memorizzano le celle contendenti e le fanno procedere nella struttura spaziale in base a determinati criteri, di solito FCFS (*First Come First Served*). Si possono verificare delle perdite di celle qualora uno o più buffer saturino a causa del fenomeno dell'*Head Of Line blocking* (HOL) e cioè il blocco della coda di attesa, causato dalla cella che si trova in posizione di testa la quale è impossibilitata a raggiungere l'uscita desiderata.

19.4.2 Commutatori con buffer in uscita

I buffer sono associati ad ogni singola uscita del commutatore e vengono caricati, ad ogni ciclo di rete, con un determinato numero di celle selezionate tra quelle destinate alla corrispondente uscita. Se il numero di celle che si presentano agli ingressi e che sono destinate tutte alla stessa uscita è minore o uguale al limite prestabilito non si ha perdita, altrimenti è necessario attuare una selezione per eliminare le celle in esubero. Anche in questo caso occorre stabilire una politica di selezione facendo, ad esempio, passare le celle con la priorità più elevata.

Un tipico commutatore appartenente a questa classe è il *Knock-out switch* proposto da AT&T (figura 19.11). Esso consta di più bus di ingresso ai quali sono collegati un certo numero di blocchi di uscita. Questi blocchi sono costituiti da:

- filtri di cella *F*, che lasciano proseguire solo le celle indirizzate verso l'uscita cui i filtri appartengono;
- un concentratore (*knock-out concentrator*), dal quale deriva la denominazione dell'intero commutatore che effettua la selezione delle celle;
- un buffer, nel quale vengono memorizzate le celle selezionate prima di essere avviate verso l'uscita.

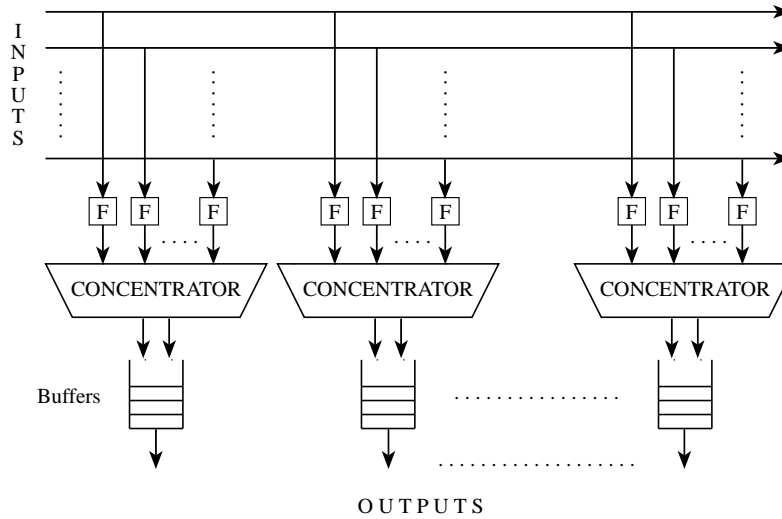


Fig. 19.11 - Knock-out switch.

19.4.3 Commutatori con buffer condiviso

Le strutture di commutazione appartenenti a questa classe dispongono di un'area di memorizzazione che è comune sia agli ingressi sia alle uscite. Un esempio di un tale sistema è il commutatore *Switch-on-a-chip* (figura 19.12), proposto da IBM.

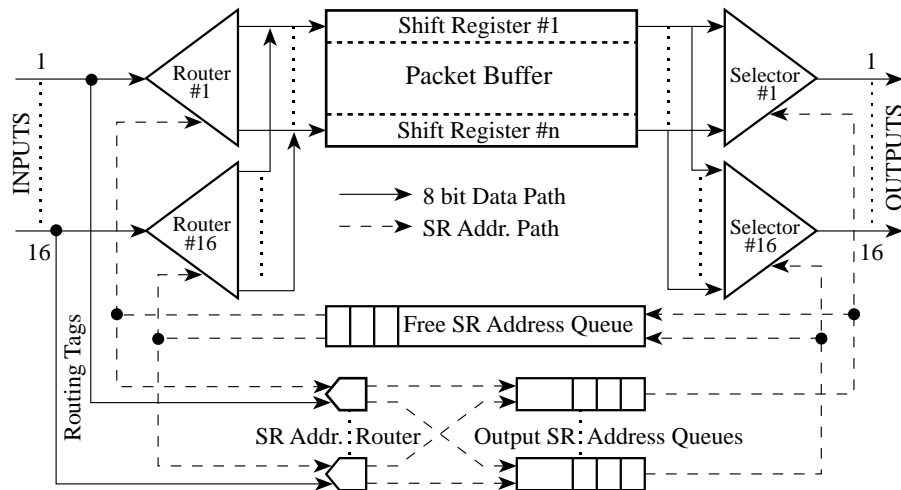


Fig. 19.12 - IBM Switch-on-a-chip.

Si tratta di un commutatore single-chip sviluppato dal laboratorio di ricerca IBM di Zurigo (clock a 50 MHz, 2.4 milioni di transistor, 472 pin di I/O). Le sue caratteristiche principali sono: una matrice di commutazione 16 x 16, velocità delle connessioni sino a 400 Mbps, capacità trasmissiva totale pari a 6.4 Gbps e possibilità di connettere più chip per realizzare una matrice con un maggior numero di porte.

Ogni cella in arrivo viene memorizzata nel buffer condiviso costituito da un banco di Shift Register (SR). All'ingresso, attraverso i router possono entrare fino a 16 celle contemporaneamente e analogamente, tramite i selector possono uscire fino a 16 celle contemporaneamente.

19.5 ASPETTI TRASMISSIVI

Come abbiamo già visto, la tecnica ATM può essere impiegata sia nelle reti di telecomunicazione pubbliche sia nelle reti locali e, conseguentemente, la UNI è stata specificata a livello fisico per poter operare con i diversi standard riportati in figura 19.13.

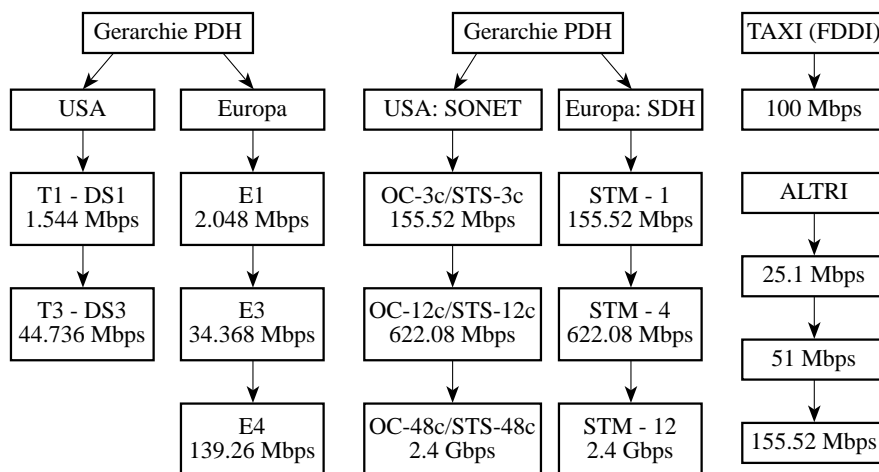


Fig. 19.13 - Standard a livello fisico.

Alcuni di questi prevedono di usare ATM in modo "nativo" sul canale trasmissivo e sono quindi idonei solo in ambito LAN. Tra questi evidenziamo il 25 Mb/s proposto da IBM, in grado di operare su cavo UTP di categoria 3 e accettato come standard dall'ATM Forum, il 51 Mb/s e il 155 Mb/s pensato quest'ultimo principalmente per la fibra ottica multimodale.

Sempre in ambito di rete locale esiste la possibilità di trasportare celle ATM usando il livello fisico di FDDI (interfaccia detta TAXI). Si noti come in questo caso, a causa della presenza della codifica 4B5B, non sia più possibile utilizzare l'HEC per correggere errori singoli, ma solo per rilevare errori di trasmissione.

Altri standard sono stati concepiti per utilizzare ATM in ambito geografico, incapsulando le celle nelle trame plesiocrone (PDH, si veda il paragrafo 12.5), oppure in quelle sincrone (SDH/SONET, si veda il paragrafo 12.6).

La gerarchia sincrona SDH/SONET dovrebbe soppiantare la precedente gerarchia plesiocrona PDH e gli standard nativi per fibra ottica e TAXI poiché:

- esistono ormai dei single-chip contenenti un trasmettitore/ricevitore SDH/SONET;
- SDH/SONET garantisce una ottima interoperabilità in ambienti multivendor, sia su base locale, sia su base geografica;
- SDH/SONET fornisce ottime funzionalità di gestione remota degli apparati di rete da parte di un centro di controllo.

19.6 ASPETTI DI PROTOCOLLO

L'architettura dei protocolli ATM è stata ideata seguendo la filosofia *Core & Edge*, la quale prevede che le funzionalità di protocollo atte al trasporto di informazioni tra gli utenti della rete non siano implementate in modo paritetico in ogni punto attraversato dalla comunicazione [5]. Ciò implica che nei punti interni alla rete siano operativi solo i protocolli di livello più basso, i quali devono svolgere il minimo delle funzionalità necessarie al trasporto dell'informazione; nei punti terminali, invece, devono essere presenti, oltre ai precedenti, anche protocolli di livello superiore atti a fornire all'utenza ulteriori funzionalità per il trattamento di flussi informativi specifici.

Concettualmente la filosofia *Core & Edge* è profondamente diversa da quelle su cui si basano le reti a commutazione di pacchetto esistenti come, ad esempio, le reti X.25. Queste, per mantenere un elevato livello qualitativo della comunicazione end-to-end, nonostante l'infrastruttura trasmissiva inaffidabile per la quale erano state concepite, devono effettuare un controllo di errore su ogni collegamento fisico interno alla rete mediante un protocollo HDLC (si veda paragrafo 13.2 e la figura 19.14a). Questo fatto comporta un overhead computazionale che penalizza pesantemente le prestazioni della rete.

L'evoluzione dei mezzi trasmissivi, soprattutto nel campo delle fibre ottiche, ha ridotto drasticamente il tasso di errore all'interno della rete. Ciò ha consentito di demandare interamente il controllo degli errori agli estremi (*Edge*) della connessione, lasciando alla rete (*Core*) il solo compito di trasportare il bit stream utilizzando nodi

di commutazione dotati di protocolli di linea molto leggeri ed efficienti dal punto di vista computazionale (figura 19.14b). Questa suddivisione di compiti ha condotto ad una notevole semplificazione architetturale, la cui principale conseguenza è stato un incremento significativo nelle prestazioni della rete.

La figura 19.15 mostra il *Protocol Reference Model* (PRM) raccomandato da CCITT per ATM, nell'ambito del progetto B-ISDN.

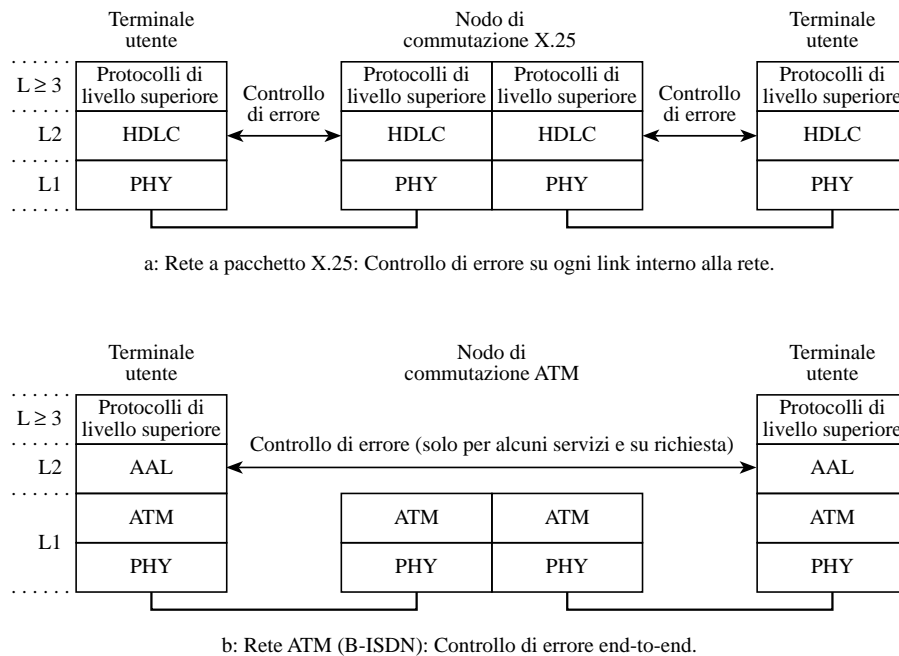


Fig. 19.14 - Confronto tra le architetture di rete X.25 e ATM.

Si può notare un'architettura stratificata simile a quella del modello di riferimento OSI, ma, a differenza di questo, si ha anche uno sviluppo tridimensionale dovuto alla suddivisione dei protocolli su tre piani:

- 1) uno *User Plane*, atto al trasporto delle informazioni d'utente, quali fonìa, video e dati;
- 2) un *Control Plane* che si occupa del trasporto e del trattamento dell'informazione di segnalazione;
- 3) un *Management Plane* che è strutturato in:
 - un *Layer Management Subplane*, il cui scopo è la gestione dei flussi informativi di OAM (Operation And Maintenance, configurazione e manutenzione della rete) e dei canali di segnalazione;

- un *Plane Management Subplane*, che riveste le funzioni di coordinamento tra i piani precedenti e supervisione a livello locale del sistema.

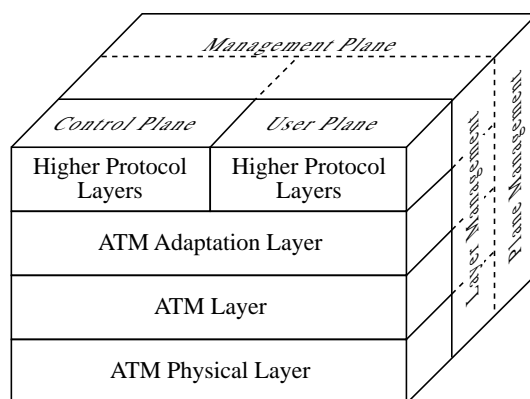


Fig. 19.15 - B-ISDN Protocol Reference Model.

Ogni piano, eccetto il Management Plane, è a sua volta suddiviso su tre livelli (figura 19.16): *Physical Layer*, *ATM Layer* e *ATM Adaptation Layer*.

Convergence sublayer	ATM Adaptation Layer	
Segmentation and reassembly		
Cell header generation/extraction	ATM Layer	
Cell VCI/VPI translation		
Cell MUX/DEMUX		
Cell rate decoupling	Transmission Convergence	Physical Layer
HEC generation/verification		
Cell delineation		
Transmission frame generation		
Bit timing	Physical Medium Dependent	
Bit TX/RX		

Fig. 19.16 - Suddivisione in livelli e sottolivelli dei piani del PRM.

19.7 PHYSICAL LAYER

Il livello fisico isola e rende indipendente il livello ATM dal particolare sistema trasmissivo adottato. Esso è costituito da due sottolivelli: il *Physical Medium Dependent* (PMD) ed il *Transmission Convergence* (TC). Come indica chiaramente il nome, il PMD dipende strettamente dal particolare portante fisico adottato (doppino, cavo coassiale, fibra ottica) e la sua funzione è quella di trasmettere/ricevere i bit di informazione ed i segnali di sincronismo sul canale.

Il compito del TC è invece quello di generare la trama da inviare in linea (*transmission frame generation*) ed inserirvi le celle che gli passa il livello ATM soprastante. In ricezione deve riconoscere i confini delle celle (*cell delineation*) all'interno della trama ed estrarle. Un altro compito del TC è quello di adattare il flusso di celle ricevute dal livello ATM alla capacità netta del suddetto frame (*cell rate decoupling*) inserendo (ed estraendo in ricezione) opportune celle vuote. Deve infine generare/verificare il campo HEC presente nello header delle celle (*HEC generation/verification*).

19.8 ATM LAYER

Il livello ATM si occupa dell'instradamento e del (de)multiplexing delle celle sulle connessioni virtuali. Come si è visto in precedenza, questa funzione viene svolta con cambio di multiplex (*cell mux/demux*) ed un cambio di etichetta (*cell VCI/VPI translation*) da parte dei nodi di commutazione attraversati dalla connessione. Un'altra funzione del livello ATM è quella di generare/estrarre l'intestazione per le celle in partenza/arrivo (*cell header generation/extraction*).

Il livello ATM può essere collocato nell'ambito del modello di riferimento OSI al livello Fisico (figura 19.17): un canale virtuale tra due terminazioni della rete ATM è esattamente analogo ad un collegamento fisico, è un *cavo virtuale* che trasporta un flusso di bit senza effettuare alcun controllo su di essi.

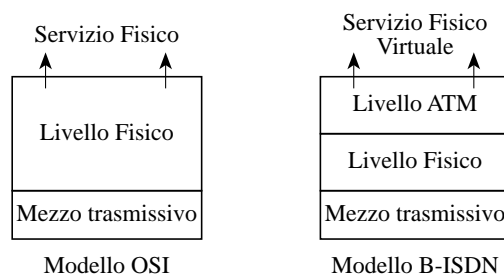


Fig. 19.17 - Modelli B-ISDN ed OSI: il Servizio Fisico.

Un circuito virtuale ATM non è però pienamente assimilabile ad un collegamento fisico punto-punto per due motivi. In primo luogo, la rete ATM può realizzare tra due terminazioni d'utente un qualunque numero di connessioni virtuali fino alla saturazione delle linee di interfaccia UNI; inoltre ad ogni punto di accesso alla rete ATM, corrispondente all'interfaccia UNI, possono essere collegati un certo numero di terminali utente che condividono tale interfaccia per formare la cosiddetta *Customer Premises Network* (CPN) (figura 19.18).

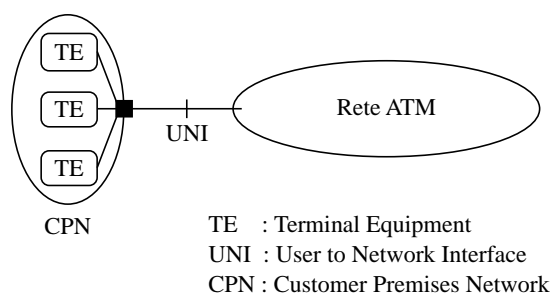


Fig. 19.18 - Customer Premises Network.

Questo fatto è ovvio se si pensa che lo scopo di B-ISDN è quello di fornire una serie di servizi integrati che sono fruibili tramite un unico punto di collegamento utilizzando diversi tipi di terminali (televisori, telefoni, calcolatori), almeno fino a quando non saranno disponibili terminali multimediali.

19.9 ATM ADAPTATION LAYER (AAL)

Il servizio di trasporto di celle offerto dal livello ATM è di un ordine talmente basso da essere praticamente inutilizzabile dalla maggior parte delle applicazioni. Per questo motivo è stato introdotto un livello di adattamento ATM (AAL: *ATM Adaptation Layer*) il quale è in grado di fornire una certa classe di servizi attivabili in base alle esigenze dell'utenza. CCITT ha definito quattro classi di servizio come mostrato in figura 19.19.

La classificazione dei servizi avviene tenendo conto di tre parametri:

- riferimento temporale tra sorgente e destinazione;
- bit rate;
- modalità di connessione.

Nella classe A si ha un riferimento temporale tra sorgente e destinazione, il bit rate è costante ed il servizio è connection oriented: essa risulta particolarmente

adatta per la telefonia numerica con codifica PCM a 64 Kb/s oppure all'interconnessione trasparente di canali numerici di tipo T1 o E1*. Per questo motivo tale classe di servizio è anche denominata *emulazione di circuito*.

	CLASSE A	CLASSE B	CLASSE C	CLASSE D
Riferimento temporale tra sorgente e destinazione	Necessario		Non necessario	
Bit rate	Costante (CBR)	Variabile (VBR)		
Modalità di connessione	Connection oriented			Connectionless

Fig. 19.19 - Classi di servizio offerte da AAL.

La classe B si differenzia dalla precedente per via del bit rate, che in questo caso è variabile. Viene usata per il trasporto di audio e video numerico generati mediante codec a bit rate variabile.

La classe C perde il riferimento temporale tra sorgente e destinazione e pertanto non è più adatta ad applicazioni real time. Offrendo un servizio connection oriented, viene usata per trasferimenti dati a pacchetto tipo X.25 sul piano utente o per attività di segnalazione sul piano di controllo.

Esiste infine la classe D che offre un servizio connectionless, privo di riferimenti temporali e con bit rate variabile. Essa è adatta al trasporto del traffico dati di tipo datagram, caratteristico delle LAN.

Per implementare le classi di servizio precedenti CCITT ha definito tre tipi di AAL: tipo 1 per la classe A, tipo 2 per la classe B e tipo 3/4 per le classi C e D. È stato anche proposto da parte dell'ATM Forum l'AAL di tipo 5, denominato ufficialmente *Simple and Efficient Adaptation Layer* (SEAL), che è una semplificazione del tipo 3/4 atta a rendere il protocollo più efficiente e, di conseguenza, più adatto ad un impiego nelle LAN ATM.

Tutti i tipi di AAL sono suddivisi in due sottolivelli: *Segmentation And Reassembling* (SAR) e *Convergence Sublayer* (CS). SAR si occupa di segmentare le PDU (*Protocol Data Unit*) provenienti dai livelli superiori in celle ATM e viceversa, mentre CS svolge delle funzioni particolari a seconda della classe di servizio implementata.

Dal momento che in questa sede si è interessati alle problematiche di interconnessione di LAN mediante reti ATM, è opportuno soffermarsi con maggior attenzione sui servizi di trasporto dati offerti da AAL3/4 e da AAL5 [2].

* T1 è l'elemento base della gerarchia di multiploazione PDH statunitense e corrisponde a 1.5 Mb/s. E1 (2 Mb/s) è il suo equivalente europeo (si veda il paragrafo 12.5).

19.9.1 AAL tipo 3/4

AAL tipo 3/4 è molto simile al livello MAC dello standard IEEE 802.6 per le MAN, noto anche come DQDB (*Distributed Queue Dual Bus*), discusso nel capitolo 9. Questa rassomiglianza è sottolineata dal fatto che la SAR-PDU* di AAL 3/4 e la MAC-PDU di DQDB sono identiche (si vedano le figure 19.20 e 9.14).

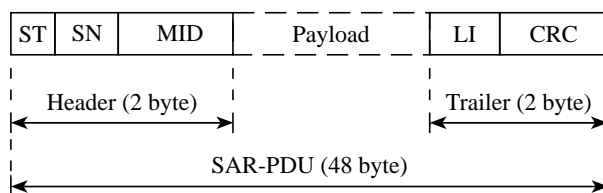


Fig. 19.20 - Formato della SAR-PDU di AAL tipo 3/4.

Il significato dei campi della SAR-PDU è il seguente:

- ST (*Segment Type*, 2 bit): specifica a quale sezione del messaggio (CS-PDU) corrisponde una SAR-PDU. I valori possibili di ST sono:
 - BOM (*Beginning Of Message*),
 - COM (*Continuation Of Message*),
 - EOM (*End Of Message*),
 - SSM (*Single Segment Message*);
- SN (*Sequence Number*, 4 bit): indica qual è la posizione di un segmento di tipo COM all'interno del messaggio, con numerazione modulo 16;
- MID (*Message Identifier*, 10 bit): stabilisce a quale messaggio appartiene un determinato segmento; utilizzato per moltiplicare più CS-PDU su una sola connessione virtuale;
- PAYLOAD: campo dati lungo 44 byte;
- LI (*Length Indicator*, 6 bit): viene usato per stabilire la lunghezza effettiva del payload qualora sia necessario effettuare il *padding* in una SAR-PDU di tipo EOM o SSM;
- CRC (*Cyclic Redundancy Code*, 10 bit): codice per il controllo degli errori; copre tutta la SAR-PDU.

* Ai fini di una più agevole comprensione delle definizioni date nel seguito, in figura 19.21 è stata riportata la terminologia B-ISDN per quanto concerne la denominazione delle unità dati di protocollo.

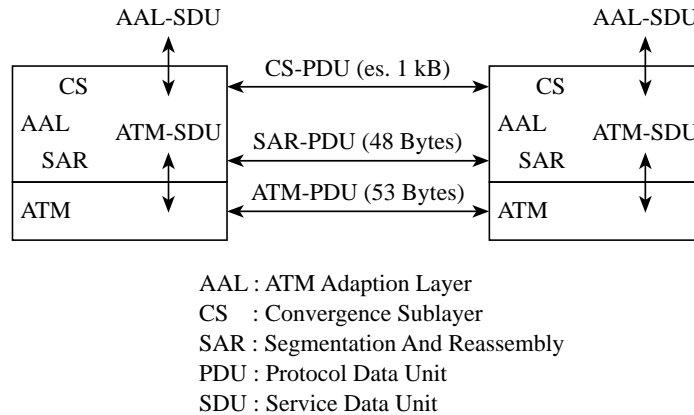


Fig. 19.21 - Terminologia nel modello di riferimento B-ISDN.

Il trasferimento delle AAL-SDU può avvenire nei seguenti modi (figura 19.21):

- se le AAL-SDU sono molto brevi (ad esempio se trasportano i caratteri digitati da un utente durante una sessione remota con un host) possono essere accorpate in un'unica CS-PDU (*blocking/deblocking*);
- se invece sono molto lunghe (ad esempio blocchi di 64 KByte derivanti da una operazione di file transfer) vengono suddivise in una o più CS-PDU (*segmentation/reassembling*).

Il sottolivello SAR dell'entità AAL in trasmissione deve:

- segmentare una CS-PDU in una sequenza di SAR-PDU del tipo BOM-COM...COM-EOM (oppure una singola SSM se la CS-PDU è molto breve);
- assegnare il corretto valore di SN e calcolare il CRC per ogni segmento;
- moltiplicare, se necessario, più CS-PDU, contraddistinguendo le varie sequenze di SAR-PDU ottenute con valori di MID diversi.

I compiti del sottolivello SAR della entità AAL in ricezione sono:

- verificare il CRC di tutte le PDU ricevute;
- assemblare una CS-PDU raggruppando tutti i segmenti con lo stesso MID, verificandone la completezza attraverso numeri di sequenza ed il campo ST;
- passare al livello CS tutte le CS-PDU riassemblate correttamente e scartare quelle incomplete o con segmenti corrotti.

Il sottolivello CS ha invece il compito di gestire le comunicazioni in modo connectionless (Classe D) e connection oriented (Classe C), effettuando:

- mapping tra AAL-SAP (utente del livello AAL) e le connessioni virtuali;
- accorpamento/separazione di AAL-SDU di piccole dimensioni oppure segmentazione/riassemblaggio di AAL-SDU di grosse dimensioni;
- gestione dei buffer di ricezione/trasmissione;
- controllo di errore sulle CS-PDU, con eventuale richiesta di ritrasmissione se si opera in classe C (modalità connection oriented).

Da quanto sopra esposto è evidente che il sottolivello CS di AAL 3/4 consente di disaccoppiare le AAL-SDU, cioè i blocchi di informazione passati dai livelli di protocollo superiori (ad es. IP, XNS, IPX), dalle SAR-PDU.

I servizi offerti da AAL 3/4 sono orientati unicamente al trasferimento di AAL-SDU e sono accessibili tramite due primitive:

- AAL-UNITDATA-REQ: è la primitiva mediante la quale un livello superiore richiede all'entità AAL locale di trasferire una AAL-SDU all'entità o alle entità AAL remota/e;
- AAL-UNITDATA-IND: è la primitiva che indica al livello superiore dell'entità AAL locale che è giunta una AAL-SDU dall'entità AAL remota.

A seconda della classe di servizio richiesta ad AAL si hanno i seguenti modi operativi:

- *Operazioni non sicure* (Classe D): le AAL-SDU possono essere perse o danneggiate in quanto non si effettua alcun controllo sulle CS-PDU;
- *Operazioni sicure* (Classe C): le AAL-SDU sono trasferite con garanzia di consegna e correttezza dei dati, dato che le CS-PDU perse o danneggiate vengono ritrasmesse; esiste anche una forma di controllo del flusso. Queste operazioni consentono di realizzare, con un intrinseco degrado del throughput, delle connessioni ATM end-to-end assolutamente error-free. In genere si preferisce però non usare questa modalità operativa e demandare il controllo di errore e flusso ad un protocollo di trasporto di livello superiore, dal momento che una rete ATM è in grado di fornire un servizio dalla qualità estremamente elevata (BER: Bit Error Rate $\sim 10^{-8}$).

Alla luce di quanto è stato detto finora sul livello AAL tipo 3/4, risulta chiaro (figura 19.22) che esso è equivalente al livello Data Link del modello OSI. CCITT ha addirittura raccomandato che il servizio di classe C offerto da AAL tipo 3/4 sia compatibile con HDLC.

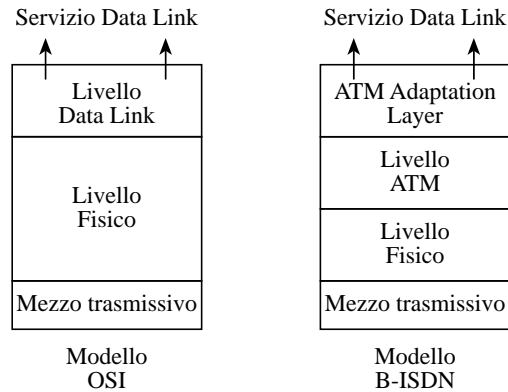


Fig. 19.22 - Modelli B-ISDN ed OSI: il Servizio Data Link.

19.9.2 AAL tipo 5

Dopo aver analizzato le caratteristiche fondamentali di AAL tipo 3/4 è facile rendersi conto che si tratta di un livello di protocollo decisamente pesante dal punto di vista computazionale. Per questo motivo ATM Forum ha proposto SEAL (*Simple and Efficient Adaptation Layer*), ratificato successivamente da CCITT come AAL tipo 5.

Come risulta evidente dal nome, SEAL è una semplificazione di AAL 3/4 che tende a renderlo più efficiente. Il guadagno in efficienza va però a scapito della robustezza del protocollo: questo tipo di AAL è in grado di offrire soltanto un servizio non connesso.

La semplificazione è molto drastica, sia per quanto concerne il sottolivello CS che è stato praticamente svuotato, sia per quanto riguarda il sottolivello SAR. La SAR-PDU, riportata in figura 19.23, è lunga 48 byte e coincide con il payload della cella ATM. Una CS-PDU viene suddivisa in una sequenza di segmenti di 48 byte che non sono né numerati né identificati in alcun modo. L'ultimo segmento, oltre ad un eventuale riempimento per normalizzare la lunghezza a 40 byte, contiene anche il CRC a 32 bit calcolato sull'intera CS-PDU e un campo CTRL/Length su 4 byte. Questo segmento viene contraddistinto dal settaggio ad 1 del bit PT (*Payload Type*) dell'intestazione della cella ATM.

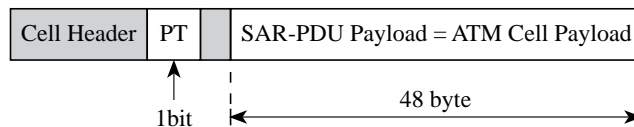


Fig. 19.23 - Formato della SAR-PDU di AAL tipo 5.

Quando al sottolivello SAR dell'entità AAL 5 in ricezione giunge una cella con PT settato, essa assembla tutte le SAR-PDU estratte in precedenza in una CS-PDU, aggiunge al tutto l'ultimo segmento e verifica la length e il CRC (figura 19.24). Se la CS-PDU è valida viene restituita al livello CS, altrimenti viene scartata senza ulteriori provvedimenti, esattamente come una trama del livello MAC di Ethernet.

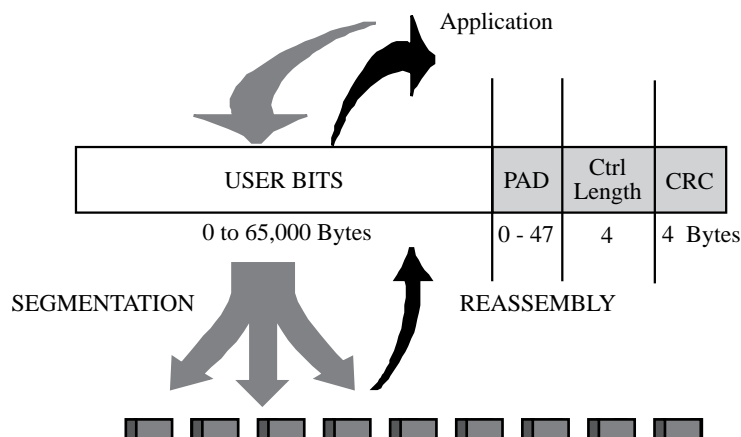


Fig. 19.24 - Processo di segmentazione e riassettaggio in AAL tipo 5.

19.10 ASPETTI DI SEGNALEZIONE

La segnalazione serve ad attivare e disattivare le connessioni virtuali stabilendone il tipo: punto-punto o punto-multipunto. La segnalazione deve anche fornire la negoziazione della classe di servizio desiderata, con la relativa QoS, e dei parametri del traffico offerto, sia in fase di apertura delle connessioni, sia in fase di riconfigurazione durante il corso di una chiamata.

Si distinguono due tipi di segnalazione: la *segnalazione di accesso*, usata dalle terminazioni d'utente per richiedere l'attivazione di connessioni virtuali, e la *segnalazione in rete*, usata per propagare sulla rete tali richieste. La segnalazione di accesso viene trasferita su una connessione virtuale tra terminale e nodo di commutazione. Tale connessione virtuale viene creata tramite una operazione di *metasegnalazione* su un VPI/VCI riservato. Una volta aperta la connessione per la segnalazione, vengono attivate le suddette procedure di negoziazione dei parametri di comunicazione.

I sistemi di segnalazione attualmente adottati sulle reti ATM sono descritti nello standard CCITT Q.93B. Questo deriva dallo standard Q.931 impiegato su ISDN che si basa sul protocollo di segnalazione a canale comune *Signaling System Number 7*

(SSN7) sviluppato da BellCore.

La figura 19.25 mostra i messaggi scambiati su una rete per l'instaurazione di una connessione.

La figura 19.26 mostra i messaggi scambiati su una rete per l'abbattimento di una connessione.

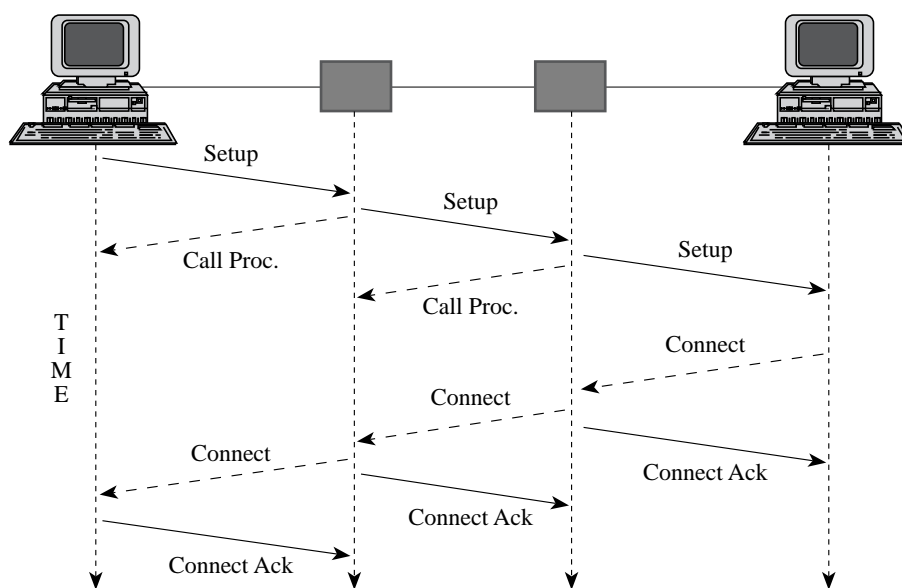


Fig. 19.25 - Segnalazione per "Call Setup".

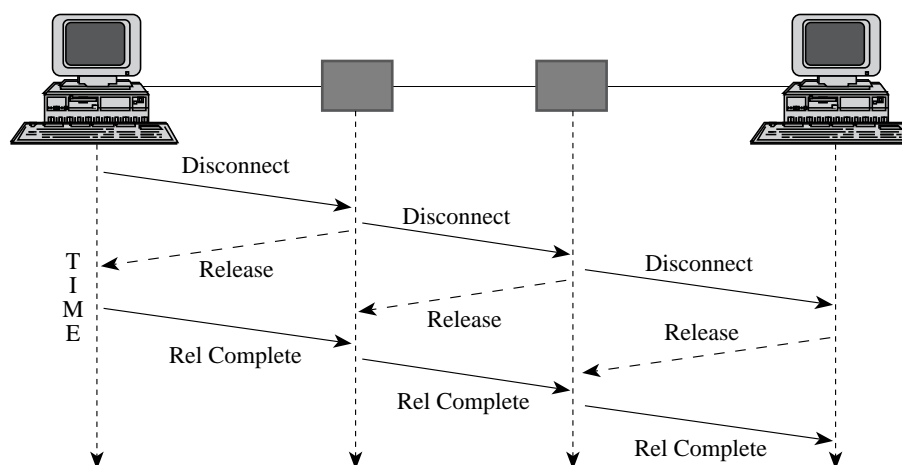


Fig. 19.26 - Segnalazione per "Call Clear".

19.12 ASPETTI DI TRAFFICO

Si è accennato in precedenza che le reti ATM devono essere in grado di gestire flussi informativi aventi caratteristiche molto differenti. In generale si può caratterizzare il traffico in base alla banda richiesta ed alla continuità (flusso di dati continuo oppure a burst). È pertanto necessario dotare la rete di robuste e, contemporaneamente, efficienti procedure di controllo del flusso al fine di assicurare un corretto funzionamento in qualunque condizione di carico.

Queste procedure operano su due livelli distinti: a livello di chiamata, accettando o respingendo le chiamate a seconda delle risorse disponibili, ed a livello di interfaccia UNI, controllando effettivamente il flusso di traffico inviato dall'utente (operazione detta *policing*).

19.12.1 Accettazione della connessione

Nelle reti telefoniche classiche una connessione viene rifiutata qualora tutti i circuiti fisici tra i due estremi interessati dalla comunicazione siano occupati. Allo stesso modo una rete ATM tende a rifiutare le chiamate per le quali non è possibile trovare un circuito virtuale su cui instradarle oppure se una loro eventuale accettazione causa un degrado inaccettabile delle prestazioni delle connessioni già instradate.

Di conseguenza, l'accettazione di una nuova connessione dipende sia dalla sua occupazione di banda, sia dalle risorse di rete ancora libere. Affinché la rete possa effettuare le verifiche precedenti è necessario che l'utente chiamante fornisca una descrizione dettagliata del traffico che ha intenzione di richiedere in termini di:

- banda di picco;
- banda media;
- fattore di *burstiness* (rapporto tra le due bande precedenti nell'ordine di elencazione);
- durata media dei burst.

In base a questi parametri la rete riesce a stabilire se ha ancora banda sufficiente per instradare la nuova chiamata e, in caso affermativo, se il traffico generato dalla nuova connessione non va ad inficiare quello delle altre già stabilite a causa, ad esempio, di burst troppo lunghi con banda di picco elevata.

La stazione di utente, una volta stabilita la connessione, dovrà rispettare i parametri di traffico pattuiti, dotandosi di un modulo di *shaping* in grado di spaziare le celle prima di trasmetterle in modo che non violino il contratto. Ad esempio, se la stazione ha aperto una connessione per trasferire dati a 2 Mb/s su un canale a 155 Mb/s e si trova

a dover trasmettere un pacchetto IP di 4KB, dopo averlo frammentato in celle, dovrà distanziare temporalmente la trasmissione delle stesse, generando quindi un flusso a 2 Mb/s e non trasmetterle una dietro l'altra generando un flusso a 155 Mb/s.

19.12.2 Controllo dei parametri utente

Nelle reti a commutazione di pacchetto di tipo convenzionale il flusso del traffico viene controllato mediante protocolli a finestra che, essendo di tipo *reattivo*, comportano un overhead inaccettabile per le applicazioni real time come la videoconferenza. Per questo motivo nelle reti ATM si adottano meccanismi di tipo *preventivo* basati sulla verifica che i parametri del traffico offerto su ogni connessione siano conformi a quelli dichiarati dall'utente all'atto dell'instaurazione della stessa.

Il metodo più utilizzato per il controllo dei parametri utente è il *Leaky Bucket* (scolapasta). La rete associa ad ogni connessione un contatore che incrementa al ricevimento di una cella e decrementa con frequenza costante, calcolata in base ai parametri dichiarati all'inizializzazione. Se il conteggio eccede una soglia prefissata, calcolata come sopra, allora la rete scarta tutte le celle provenienti dalla connessione associata al contatore in overflow fino a quando questo non sia tornato sotto il livello di guardia.

BIBLIOGRAFIA

- [1] William Stallings, "ISDN and Broadband ISDN", MacMillan Publishing Company, New York, 1992.
- [2] TA-NWT-001113: "Asynchronous Transfer Mode (ATM) and ATM Adaptation Layer (AAL) Protocols Generic Requirements", Bellcore, Issue 1, August 1992.
- [3] S. Giorcelli: "La Tecnica ATM nelle Reti ad Alta Velocità", CSELT, 1991.
- [4] The ATM Forum: "ATM: User-Network Interface Specification V 3.0", Prentice-Hall, 1993.
- [5] M. De Prycker, R. Peschi, T. Van Landegem: "B-ISDN and the OSI Protocol Reference Model", IEEE Network Magazine, March 1993.
- [6] Colella, E. Gardner, R. Callon, "RFC 1237: Guidelines for OSI NSAP Allocation in the Internet", 07/23/1991.
- [7] Autori vari, "Issues and Challenges in ATM Networks", Communications of the ACM, Vol. 38, No. 2, February 1995.