

Asynchronous Transfer Mode (ATM)

Introduzione

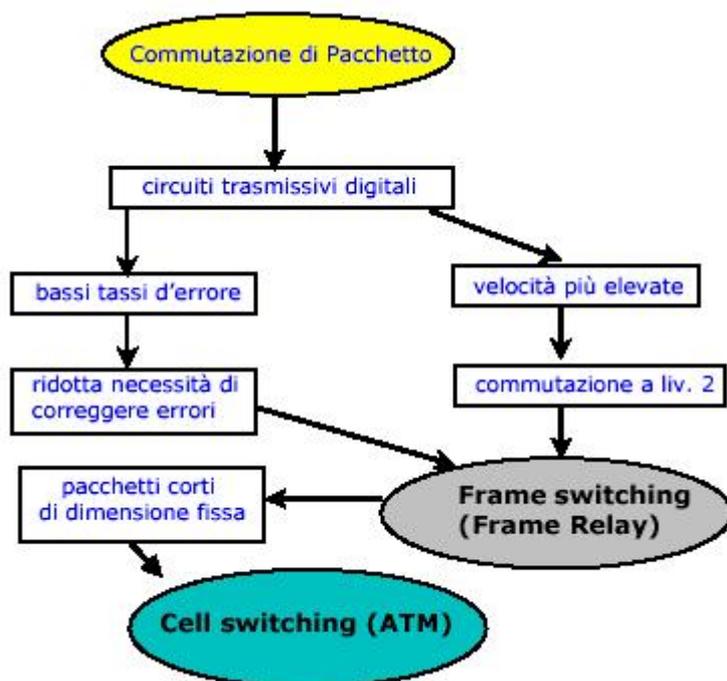
È importante precisare fin da questo punto che *Asynchronous Transfer Mode* si delinea come tecnologia, piuttosto che come rete. Non prevede infatti, nella maggior parte delle implementazioni, un'assegnazione di indirizzi.

Come servizio *WAN*, fornisce all'utente informatico, ovvero all'utente amministratore delle reti corporate, un tubo non trasparente e numerato (con etichetta e non con indirizzo) per il trasporto di aggregati di pacchetti dati che terminano in apparati predefiniti.

Con ATM si realizzano infrastrutture in cui gli estremi della comunicazione sono preliminarmente identificati e le connessioni vengono impostate da un sistema di gestione dell'infrastruttura su una base contrattuale e statica.

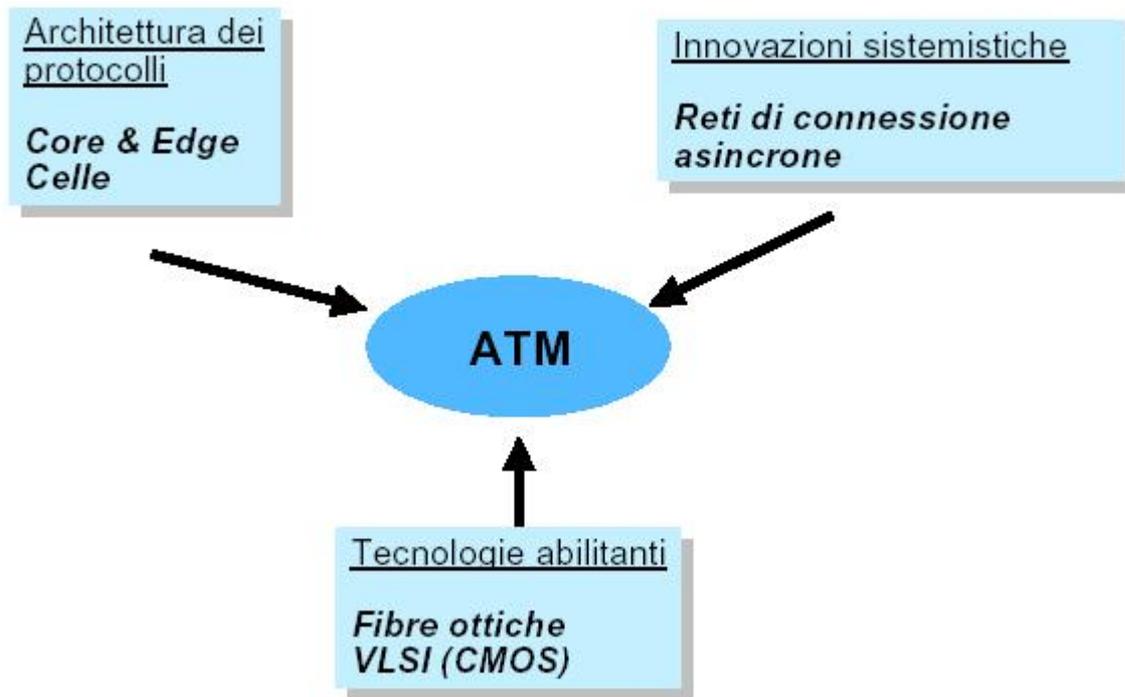
La maggior parte dei servizi ATM forniti da *carrier* in tutto il mondo è di tipo PVC (Permanent Virtual Connection).

Evoluzione della commutazione di un pacchetto



Agli inizi degli anni '80 i gestori delle TLC pubbliche hanno avviato la realizzazione sistematica di reti specializzate per l'offerta commerciale del trasferimento dati a pacchetto (reti X.25). Successivi miglioramenti sono stati apportati a queste reti, in particolare per aumentare la velocità di trasporto dei dati (reti **Frame Relay**). Oggi il traffico dati è in forte crescita e nel giro di pochi anni sorpasserà il traffico telefonico: V.Cerf (MCI) ha posto il punto di incrocio a metà del 2001 (per quel che riguarda la rete MCI). Una conseguenza di questo fatto è che nel futuro sarà conveniente progettare una rete ottimizzata per i dati (e quindi a pacchetto), in grado di trasportare anche la voce. La tecnologia ATM permette di trasferire in modo integrato tutti i tipi di traffico numerico su una singola infrastruttura.

Genesi di ATM



Anche ATM, al pari di *frame relay* predilige la velocità a discapito dell'affidabilità. In ATM le funzioni svolte dai nodi di rete sulla presenza di errori nei dati trasportati, si esplicano solo sull'etichetta dei pacchetti (detti celle) e non sul contenuto informativo.

La realizzazione di una infrastruttura ATM presuppone quindi un'alta affidabilità delle tecnologie trasmissive adottate (fibre ottiche fra nodi e fino alla sede di utente).

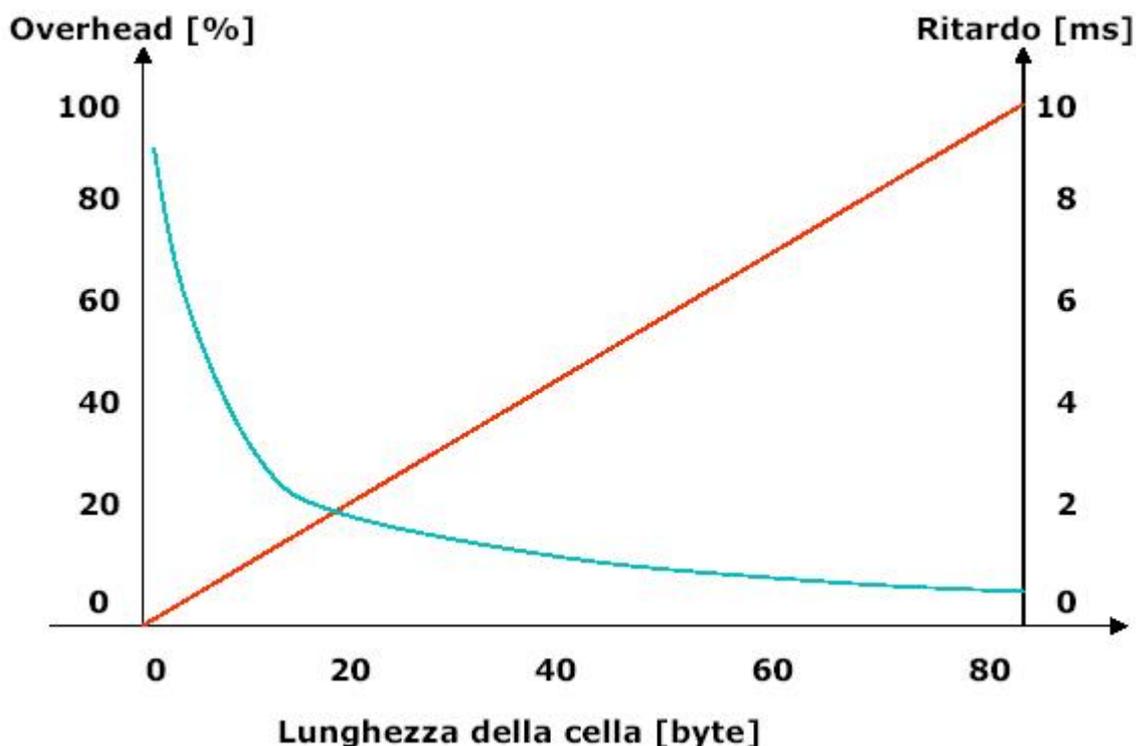
Requisiti di ATM

- Alta velocità (centinaio di Mb/s).
- Allocazione di banda dinamica.
- Granularità fine nell'assegnazione della banda.
- Supporto anche di traffico di tipo *bursty*.
- Adattabilità sia ad applicazioni sensibili al ritardo che alla perdita.
- Possibilità di connessioni multipunto e *broadcast*.

ATM è stato concepito per superare le limitazioni dell'ISDN a banda stretta:

- banda statica e fissa (64 kbit/s).
- Assenza di supporto per il *burst* dei dati.
- Assenza di un modo di trasferimento unico.
- Utilizzazione non ottimale della banda trasmissiva.

Lunghezza cella ATM (ritardo di pacchettizzazione per la voce)

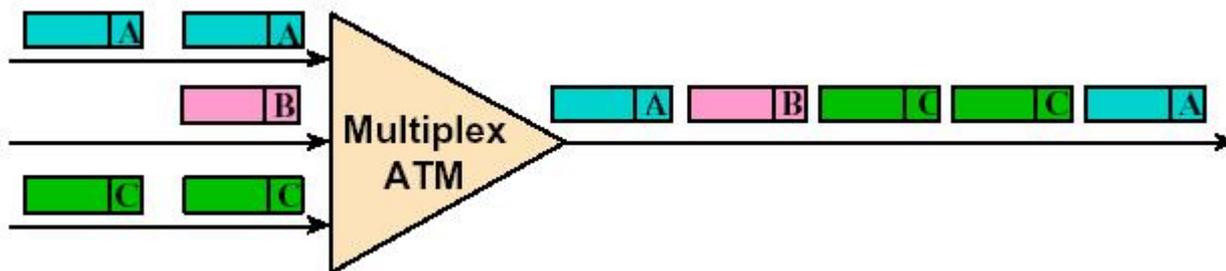


ATM effettua il trasferimento delle informazioni in formato numerico tramite unità elementari di trasporto, denominate celle, di lunghezza fissa (53 *byte*). Tutti i tipi di informazione (voce, fax, dati, immagini, video) sono trasportate tramite lo stesso formato di cella. I criteri che hanno guidato la scelta della lunghezza delle celle possono essere ricondotti essenzialmente a due motivi che giustificano rispettivamente l'adozione della lunghezza fissa rispetto a quella variabile, nonché la scelta della specifica lunghezza impiegata per la cella. I principali vantaggi della lunghezza fissa della cella, rispetto a quella variabile, sono connessi alla significativa riduzione di complessità degli apparati di commutazione e moltiplicazione, nonché alla semplificazione del trattamento delle celle nella rete, venendo meno la necessità di determinare in ogni nodo le loro lunghezze. Per quanto riguarda l'impatto sugli apparati, occorre tener presente che la necessità di trasportare flussi ad alta (155 Mbit/s, 622 Mbit/s) o altissima velocità (2,5 Gbit/s ed oltre) richiede che la moltiplicazione e la commutazione siano effettuate in *hardware* e non in *software* (come per esempio accade nel *Frame Relay*, ove appunto per questa scelta la velocità rimane limitata intorno ai 2 Mbit/s). La complessità di commutatori di cella a lunghezza variabile avrebbe costituito un collo di bottiglia rispetto alla crescente capacità di trasporto permessa dalla tecnologia della trasmissione su fibra ottica. La lunghezza della cella è stata determinata tenendo presente quattro fattori principali: l'effetto sulla voce del ritardo per la costituzione dei pacchetti, l'efficienza del trasporto (incidenza dell'*header*), la velocità della commutazione e il tempo complessivo di attraversamento dei nodi di rete. Il ritardo introdotto per la formazione dei pacchetti della voce è tanto minore quanto più corta è la lunghezza della cella; ma tanto più corta è la cella tanto maggiore è la perdita di efficienza nel trasporto per l'aumento dell'incidenza dell'*header* (*overhead*). Per i servizi voce su ATM, ITU-T raccomanda l'impiego di cancellatori d'eco se il ritardo *end-to-end* supera i 24 ms. La scelta della lunghezza della cella è stata lungamente discussa in ambito internazionale ed il valore di 48 *byte* (per il *payload*) è risultato dal compromesso finale tra la proposta europea di 32 *byte* e quella americana di 64 *byte*. Le preferenze degli americani per una cella di 64 *byte*, tendente a una utilizzazione più efficiente della banda di trasmissione, era giustificata dal fatto che, vista l'estensione geografica del continente, erano già presenti cancellatori d'eco sulle reti tradizionali. Al contrario in Europa la rete è organizzata e progettata proprio per evitare il controllo dell'eco e quindi per escludere i cancellatori d'eco.

Schema di moltiplicazione ATM

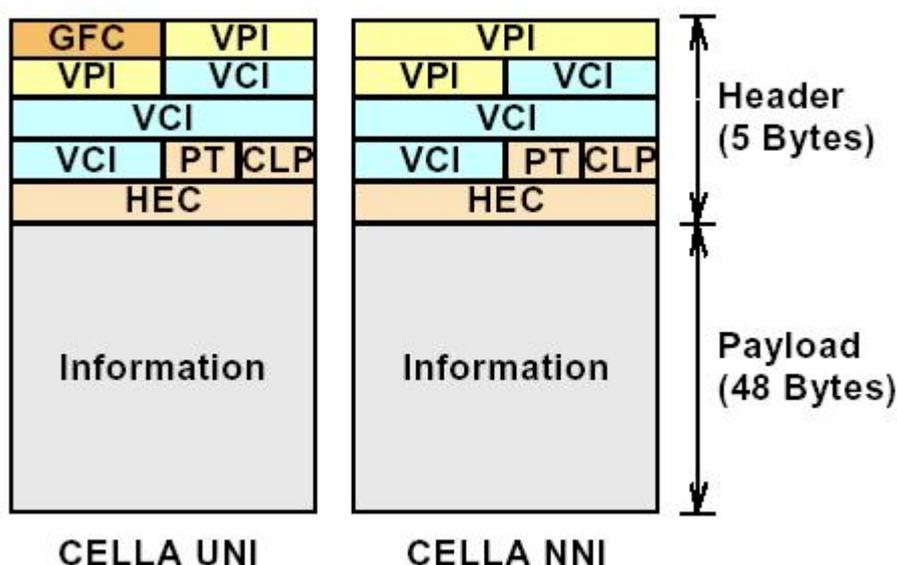
ATM: *Asynchronous Transfer Mode*:

- Multiplazione asincrona
 - flussi informativi slottati in celle di lunghezza fissa (53 byte);
 - allocazione di banda dinamica.



ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) una tecnica di trasporto, multiplazione e commutazione pensata per flussi informativi ad alta velocità. Non trova un esatto riscontro nei livelli OSI, ma si può posizionarla tra il livello 1 ed il livello 2. È descritta nella Raccomandazione I.361 *B-ISDN ATM layer specification* dell'ITU-T (ex CCITT). ATM è una tecnica efficiente di multiplazione e commutazione, basata su di un principio di commutazione veloce di pacchetto. Essa utilizza unità informative di lunghezza fissa (48 byte di dati e 5 byte di intestazione o *header*), denominate celle ATM. La caratteristica principale della tecnica ATM risiede nella sua flessibilità nel meccanismo di allocazione della banda, mediante la multiplazione asincrona di differenti flussi informativi (celle). Lo schema di multiplazione adottato è caratterizzato dalla suddivisione della banda trasmissiva del multiplo (e dei segnali tributari) in slot di ugual misura (celle): nella maggior parte dei casi in assenza di celle valide da trasmettere, un apparato ATM genera in trasmissione celle vuote (riconoscibili dal particolare valore dell'*header*) che hanno unicamente funzione di riempitivo e che vengono rivelate in ricezione e cestinate senza consegnarle ai livelli opportuni di elaborazione (per riassettaggio di un messaggio lungo o di uno *stream* o per le operazioni di commutazione).

Formato della cella ATM



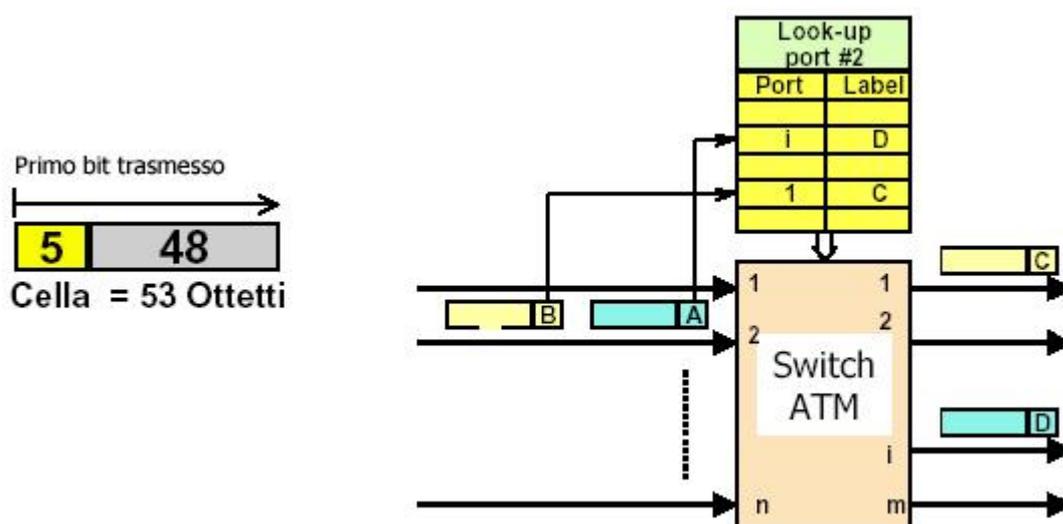
Sono previsti due formati dell'intestazione: uno per l'interfaccia tra i terminali e la rete (UNI) e

l'altro per l'interfaccia tra nodi della rete (NNI). L'intestazione della cella ATM contiene le informazioni che consentono alla rete ATM di trasferire il carico informativo dalla sorgente a destinazione e sono quindi informazioni critiche dal punto di vista del corretto instradamento delle informazioni. Un errore nell'intestazione potrebbe indirizzare la cella verso una destinazione errata. Per questo motivo è stato definito un meccanismo molto robusto di controllo degli errori sul contenuto dell'intestazione, che utilizza il campo HEC ed è in grado sia di rivelare gli errori sia, quando possibile, di correggerli. La cella ATM non contiene meccanismi di controllo dei dati d'utente trasportati nella parte *payload* della cella stessa: il controllo degli errori sui dati d'utente è fatto al livello AAL ai bordi della rete.

Tecnica di commutazione ATM

ATM: *Asynchronous Transfer Mode*:

- Commutazione con connessione
 - identificatore della connessione nell'etichetta della cella;
 - attraversamento eseguito in *hardware*.

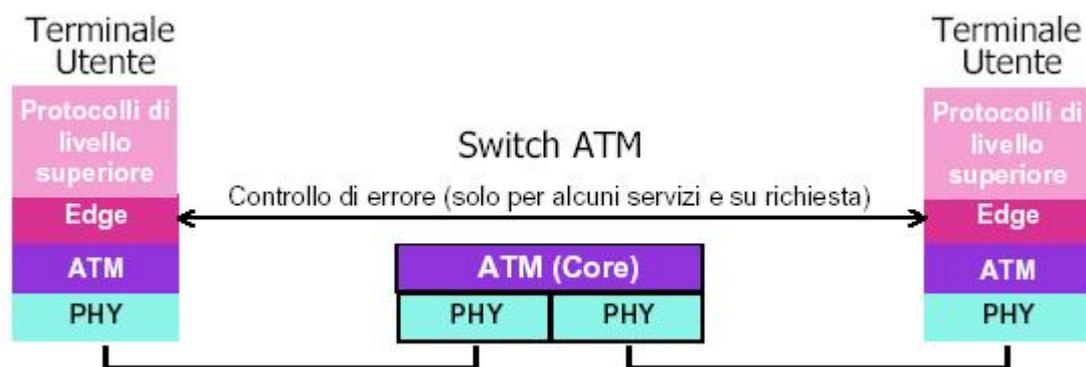


L'ATM è una tecnica orientata alla connessione: prima della effettiva trasmissione delle informazioni occorre predisporre il cammino che sarà seguito dalle celle attraverso tutta la rete tra i due estremi che devono comunicare tra loro. La connessione ATM è di tipo virtuale nel senso che non risulta fisicamente trasparente. In relazione alla modalità di costruzione, si possono avere *Permanent Virtual Circuit (PVC)* e *Switched Virtual Circuit (SVC)*. Le PVC vengono aperte e chiuse (non in tempo reale) dal gestore della rete con opportune operazioni di configurazione tramite un sistema di gestione della rete. Le SVC sono invece aperte, modificate e chiuse dinamicamente, su richiesta dell'utente, mediante una procedura di segnalazione, come avviene nel caso di connessione telefonica o di una connessione a chiamata virtuale X.25.

Architettura dei protocolli ATM

Protocolli: principio del *Core and Edge*

- nei nodi sono eseguite solo le funzioni essenziali (commutazione e multiplazione) a livello ATM (1-2 della pila OSI).
- Le funzionalità residue, specifiche per i diversi tipi di servizio, sono svolte agli estremi.



Il profilo dei protocolli dell'architettura ATM è stato concepito nell'ottica *core and edge*. In altri termini la rete si semplifica notevolmente e quindi può fornire servizi di trasporto ad alta velocità, ma deve impiegare mezzi trasmissivi affidabili e di ottima qualità, consentendo così alti *throughput* e relegando ai margini delle connessioni (terminali *edge* di utente) le funzioni di adattamento alle applicazioni, recupero degli errori, e quant'altro la rete non implementa).

Caratteristiche generali di ATM

- Mezzi trasmissivi veloci (purchè con basso tasso di errore):
 - tipicamente ≥ 150 Mb/s.
- Bassi ritardi:
 - idoneo per dati, voce e immagini video.
- Meccanismi sofisticati per il controllo di flusso (i tradizionali meccanismi a finestra non sono efficienti).
- Segnalazione sofisticata (capace di gestire connessioni *multiparty*).
- Tecnica di trasferimento adatta a realizzare LAN e *WAN*.
- Tecnica di trasferimento scelta per la B-ISDN.

La commutazione ATM è detta anche ad etichetta, per via delle funzioni che ciascun nodo realizza sul flusso di unità informative che riceve.

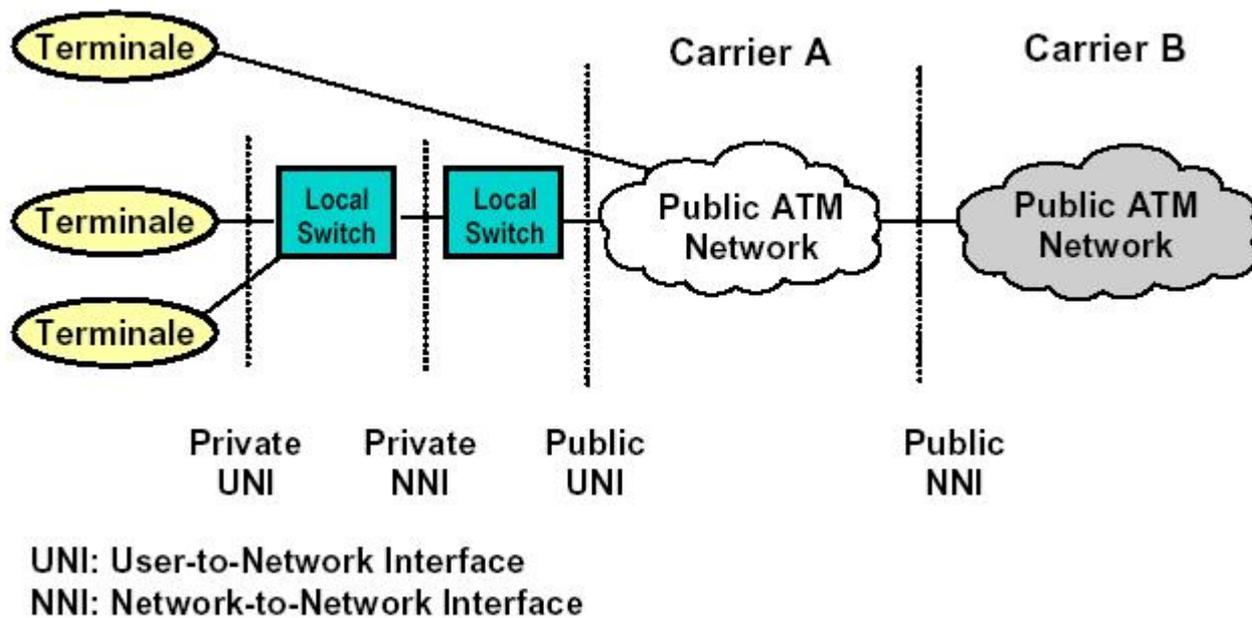
In particolare la commutazione ATM si esplica mediante:

- traduzione dell'etichetta dal valore entrante al valore uscente;
- trasferimento della cella dal *multiplex* entrante verso il *multiplex* uscente;
- eventuale replica della cella verso più uscite fisiche (con etichette distinte e tradotte), nel caso di connessioni multicast.

Per poter operare a velocità di parecchie centinaia di Mbit/s, la funzione di commutazione deve avvalersi di appositi organi *hardware* (analogamente a quanto accade nei nodi per la commutazione di circuito, dove però la presenza di organi di connessione *hardware* è legata a garantire l'allocazione di un cammino fisico fra la linea entrante e la linea uscente).

Tale organo interno al nodo, nella maggior parte dei casi è progettato e realizzato con componenti ASIC ottimizzati per l'elaborazione delle celle ATM ed opera senza l'intervento di *software* di controllo a livello di singola cella. In altri termini una proprietà spesso implementata per tali organi (reti di connessione asincrone) consente l'*autorouting* all'interno del nodo.

Interfacce di rete



La rete ATM è costituita da un insieme di nodi di commutazione e da un insieme di nodi terminali. I nodi o celle di commutazione sono collegati tra loro con linee punto-punto e formano il *core* della rete con una topologia a maglia. I nodi terminali sono connessi ai nodi di commutazione con una topologia a stella. L'interfaccia tra nodo di commutazione e terminale viene detta *User to Network Interface* (UNI), mentre quella tra nodi di commutazione è detta *Network to Network Interface* (NNI). Le UNI e le NNI sono le specifiche formali su cui basarsi per realizzare una rete ATM: si possono collegare delle stazioni solo a nodi di commutazione con UNI compatibili come, d'altra parte, è possibile interconnettere tra loro solo nodi di commutazione con NNI interoperabili.

Funzioni dei protocolli ATM

- Fornire, se necessario, un servizio *connectionless*.
- Fornire ai diversi servizi connessioni che rispondano agli specifici requisiti prestazionali.
- Segmentare e riassemblare i flussi informativi in celle.
- Commutare le celle nei nodi.
- Adattare il flusso di celle al particolare tipo di supporto trasmissivo.
- Inviare i singoli bit sul portante fisico.

L'architettura dei protocolli ATM è stata ideata seguendo la filosofia *core and edge*, la quale prevede che le funzionalità di protocollo atte al trasporto di informazioni tra gli utenti della rete non sono implementate nello stesso modo su tutti i nodi attraversati dalla comunicazione. Nella parte interna della rete, nel *core*, sono operativi solo i protocolli di livello più basso, che svolgono solo il minimo delle operazioni necessarie al trasferimento delle informazioni; nei punti terminali sono presenti anche i protocolli di livello superiore, che forniscono altre funzionalità al trattamento dei flussi informativi. La filosofia *Core and Edge* è concettualmente molto diversa da quella su cui si basano le reti a pacchetto più vecchie come X.25 dove, per mantenere un elevato livello qualitativo della comunicazione nonostante l'infrastruttura poco affidabile, bisogna effettuare un controllo di errore su ogni collegamento interno alla rete; l'evoluzione dei mezzi trasmissivi ha ridotto drasticamente il tasso di errore e ciò consente alla rete di effettuare il controllo di errore solo agli estremi (*Edge*) e di alleggerire dal punto di vista computazionale i compiti dei nodi interni (*Core*): ciò comporta una semplificazione dell'architettura e quindi un miglioramento dal punto di vista delle prestazioni. L'architettura protocollare di ATM è simile a quella del modello di riferimento OSI, con uno sviluppo tridimensionale dovuto alla presenza di 3 piani di lavoro: *User Plane*, per il trasporto delle informazioni di utente, *Control Plane*, per il trasporto e il trattamento della

segnalazione e un *Management Plane* suddiviso in un *Layer Management*, con lo scopo di gestire i flussi informativi di *Operation And Maintenance* (OAM) per configurazione e manutenzione della rete e quelli di segnalazione, e in un *Plane Management*, per il coordinamento dei piani di lavoro precedenti. Ogni piano, a differenza dell'ultimo che si occupa del coordinamento e quindi è trasversale agli altri, è diviso in tre livelli: *Physical Layer*, *ATM layer* (ATM), *ATM Adapter Layer* (AAL).

Modello di riferimento dei protocolli

Convergence sublayer	Livello adattamento	
Segmentation and Reassembly	AAL (ATM Adaptation Layer)	
Cell header generation/extraction	Livello ATM	
Cell VPI/VCI translation		
Cell multiplex/demultiplex		
Cell rate decoupling	Transmission Convergence	Liv. fisico
HEC generation/verification		
Cell delineation		
Transmission frame generation		
Bit timing	Physical medium dependent	
Bit TX/RX		

Da questa rappresentazione si vede chiaramente come il Livello Fisico comprenda tutte le funzionalità comprese tra il mezzo fisico (tipicamente ottico o elettrico) ed il livello ATM (che controlla le funzioni di commutazione e moltiplicazione).

Il Livello Fisico è inoltre suddiviso in due sottolivelli: il sottolivello più basso (PM: *Physical Medium*) dipende dalle caratteristiche del mezzo trasmissivo ed ha il compito di convertire le caratteristiche fisiche del segnale (ovvero variazioni nel tempo di un segnale ottico o elettrico) in flusso continuo di bit, salvaguardandone l'integrità e la sequenza di trasmissione. Il sottolivello più alto (TC: *Transmission Convergence*) ha il compito di identificare all'interno della sequenza di bit i confini delle celle, separare quelle di pertinenza del Livello Fisico da quelle utilizzate dal livello ATM e passare queste ultime al circuito che svolgerà le opportune funzioni. Il TC si preoccupa anche della generazione/estrazione di celle vuote, utilizzate per riempimento del flusso trasmissivo.

In pratica è opportuno suddividere il sottolivello TC in due sottolivelli separati, a seconda che le funzioni svolte siano tipiche del sistema trasmissivo utilizzate o più strettamente legate alla presenza di celle ATM. Infatti, mentre le funzionalità legate al sistema trasmissivo possono essere comuni anche ad altri apparati (non ATM) che utilizzano lo stesso sistema e le stesse modalità di organizzazione dei bit presenti in linea, le funzioni legate alla presenza di celle ATM sono indipendenti dal sistema trasmissivo utilizzato e sono comuni a tutti gli apparati in tecnica ATM.

La pila ATM si completa con il protocollo di adaptation, che sarà descritto più avanti e che ha il

compito di isolare i protocolli applicativi (anche IP, *frame relay*, ecc.) dal tipo di trasmissione a celle.

UNI ATM

<i>Private ATM</i>			<i>Public ATM</i>		
<i>ATM Forum Physical Layer UNI Interfaces</i>			<i>ATM Forum Physical Layer UNI Interfaces</i>		
<i>Frame Format</i>	<i>Bit rate/Line rate</i>	<i>Transmission Media</i>	<i>Frame Format</i>	<i>Bit rate</i>	<i>Transmission Media</i>
<i>Cell Stream</i>	25.6 Mb/s	UTP-3	DS1	1.544 Mb/s	<i>Twisted Pair</i>
STS-1	51.84 Mb/s	UTP-3	DS3	44.736 Mb/s	<i>Coax Pair</i>
FDDI	100 Mb/s	MMF	STS-3c, STM-1	155.520 Mb/s	SMF
STS-3c, STM-1	155.52 Mb/s	UTP-5, STP	E1	2.048 Mb/s	<i>Twisted or Coax Pair</i>
STS-3c, STM-1	155.52 Mb/s	SMF, MMF, Coax	E3	34.368 Mb/s	<i>Coax Pair</i>
<i>Cell Stream</i>	155.52 Mb/s - 194.4 Mbaud	MMF / STP	J2	6.312 Mb/s	<i>Coax Pair</i>
STS-3c, STM-1	155.52 Mb/s	UTP-3	NxT1	Nx 1.544 Mb/s	<i>Twisted Pair</i>
STS-12, STM-4	622.08 Mb/s	SMF, MMF	NxE1	Nx 2.048 Mb/s	<i>Twisted Pair</i>

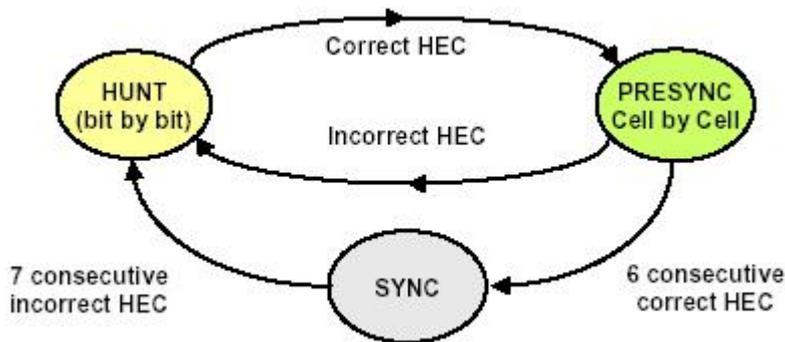
Il primo livello fisico per il trasporto delle celle ATM è stato normalizzato dall'ITU ed è relativo al trasporto su sistemi trasmissivi SDH con velocità 155 Mbit/s nei primi anni '90.

Successivamente, ad opera dell'ATM Forum sono stati proposti altri livelli fisici per impieghi in ambito locale o per ambito di reti pubbliche meno esigenti dal punto di vista delle funzioni di strato fisico.

In particolare la figura riassume le UNI normalizzate in ambito ATM Forum. Una parte delle interfacce per reti pubbliche sono state normalizzate in tempi recenti anche in ambito ITU; in particolare quelle per sistemi trasmissivi plesiocroni (E1, E3, T1, T3).

Cell delineation

- *Cell Delineation*: identificazione dei confini delle celle all'interno del *payload* in ricezione mediante analisi del campo HEC:
 - HUNT (stato iniziale). Il ricevitore sposta una finestra di cella bit per bit e calcola HEC.
 - PRESYNC. La finestra si sposta di cella in cella fino a quando non sono stati rilevati 6 HEC corretti consecutivi.
 - SYNC. Struttura del *payload* identificata; HEC viene ora usato per il rilevamento degli errori. Il sincronismo è perso quando si rilevano 7 HEC errati consecutivi.

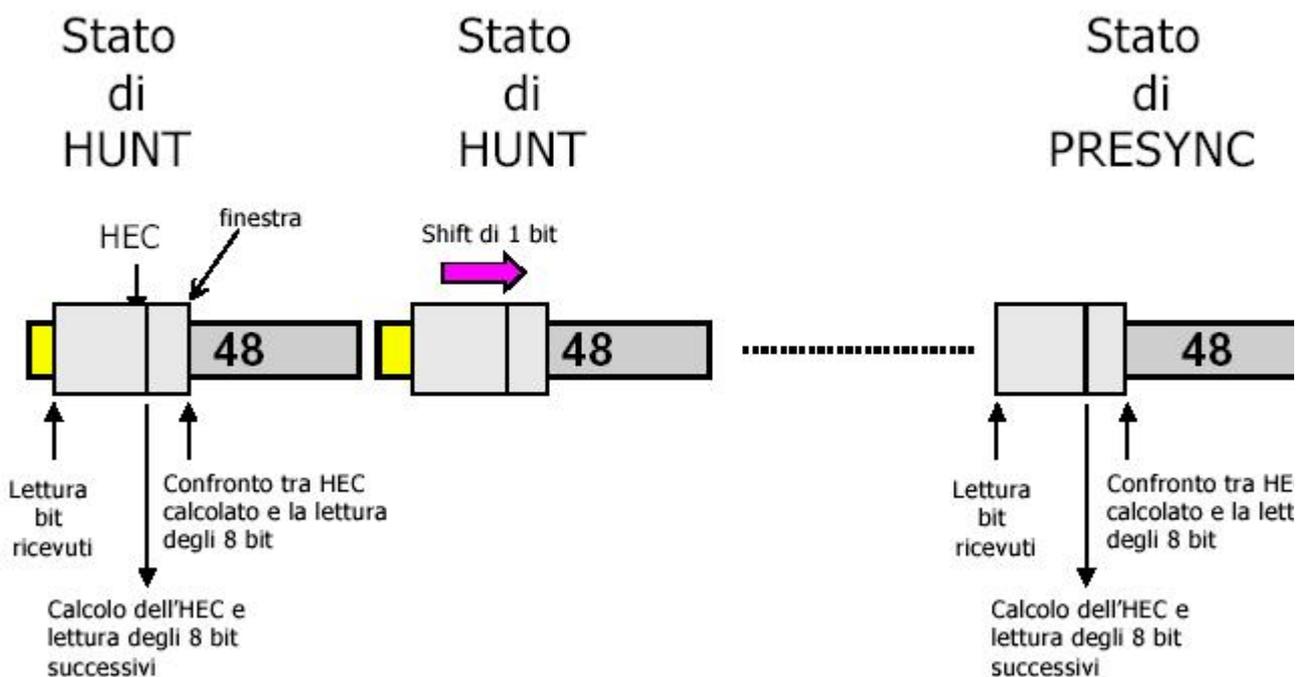


Il codice HEC consente di rivelare errori presenti nell'etichetta della cella ed opera anche con lo scopo di garantire l'allineamento di cella fra il trasmettitore ed il ricevitore (esempio: *router* di utente e nodo di rete).

Lo stato iniziale in cui si attiva il ricevitore è quello di ricerca. Il ricevitore cattura 4 *byte* e calcola il codice HEC come se i 4 *byte* ricevuti fossero l'etichetta di una cella. A tale scopo utilizza la stessa regola di calcolo standard impiegata dal trasmettitore. Se i due codici (il quinto *byte* ricevuto e il *byte* calcolato in base ai primi 4 ricevuti) coincidono, ciò che è stato ricevuto potrebbe essere l'inizio di una cella. Il passo successivo consiste nel memorizzare l'evento (cambio di stato e incremento di un contatore inizialmente a 0). Il ricevitore si sposta di cella in cella (e non più di *byte* in *byte*) ed effettua di nuovo il controllo sul codice HEC. Ad ogni buon esito del confronto, si ha permanenza nello stato di pre-sincronismo e l'incremento del contatore degli eventi. Se il conteggio giunge al valore 6 (standard), si dichiara agganciato il sincronismo di cella. Se il confronto fallisce, il contatore viene reimpostato a 0 e lo stato assunto è di nuovo quello di ricerca iniziale.

Dallo stato di sincronismo, 1 errore manifesto sull'etichetta di 7 celle consecutive farà perdere il sincronismo e determinerà il ritorno allo stato di ricerca iniziale.

La conseguenza è: *burst* di errori determinano la perdita del sincronismo di cella.



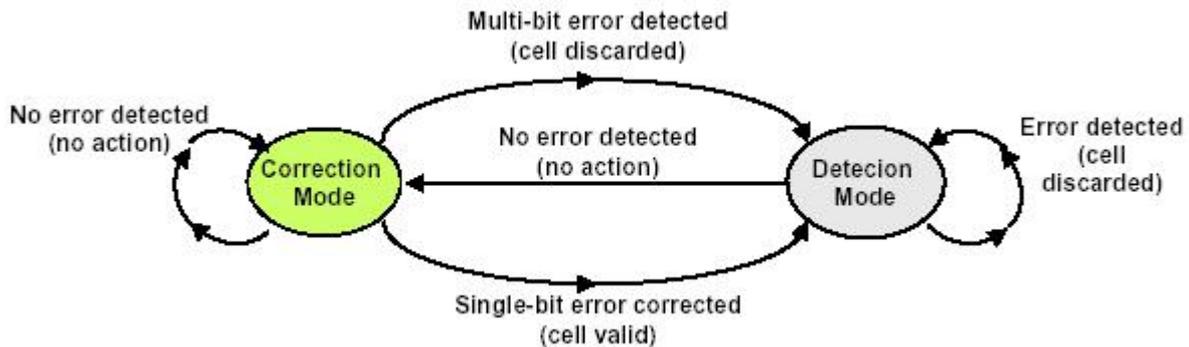
La figura illustra il meccanismo di scorrimento della finestra di 5 *byte*, prima bit a bit (stato HUNT)

e poi cella a cella (stato PRESYNC).

HEC generation/verification

HEC *Generation / Verification*:

- TX: generazione del campo HEC delle celle utilizzando il polinomio generatore:
 - $X^8 + X^2 + X + 1$.
- RX: rilevamento errori multipli e correzione errori singoli:
 - Stato iniziale ed errori sporadici: *Correction Mode*;
 - *Burst* di errori: *Detection Mode*.



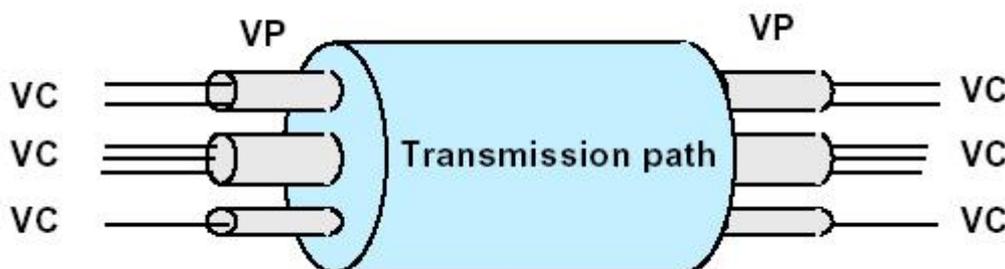
Per ciascuna cella ricevuta, il ricevitore controlla sempre la presenza di errori nell'intestazione.

Un errore singolo riscontrato nello stato *CORRECTION MODE* determina la correzione dello stesso errore ed il cambiamento di stato in *DETECTION MODE*.

Un singolo errore riscontrato sulla etichetta di una cella ricevuta durante la permanenza nello stato di *DETECTION MODE* determina l'eliminazione della cella e l'incremento del contatore di sincronismo.

Il ripristino dello stato di *DETECTION* si ha non appena si riceve una cella priva di errori di etichetta. Ciò determina la reimpostazione a 0 del contatore del sincronismo. La cella viene quindi considerata valida e passata agli strati di protocollo successivi (strato ATM).

Virtual Path e Virtual Channel



VP = *Virtual Path*: rappresenta un flusso di celle, all'interno di un canale trasmissivo, caratterizzate da uno stesso valore di VPI.

VC = *Virtual Channel*: flusso di celle con lo stesso valore di VPI e VCI.

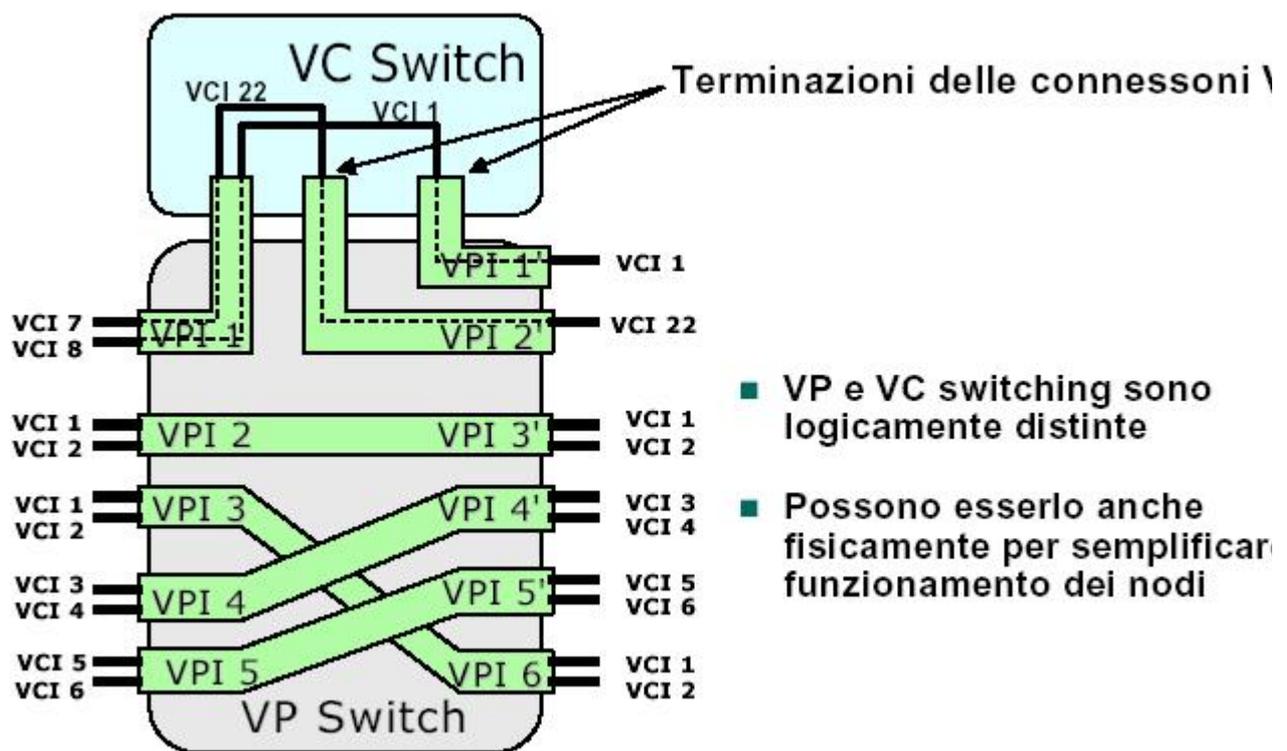
Un VP può contenere uno o più VC.

Il concetto di fascio di canali virtuali è analogo al gruppo di canale logico presente nell'architettura X.25.

In questo caso il VP può essere utilizzato per diversi scopi:

- come strumento di pianificazione a disposizione del gestore della rete pubblica, al fine di suddividere la banda trasmissiva dei link fisici internodali tra più fasci, almeno in prima approssimazione;
- come strumento di esercizio della rete, sempre per il gestore, al fine di affasciare insieme omogenei di canali logici assegnati a differenti utenti (canali virtuali accomunati da caratteristiche particolari), ad esempio:
 - originati da interfacce afferenti allo stesso nodo A e terminati tutti su interfacce dello stesso nodo B;
 - relativi a categorie di traffico simili;
- come *facility* per semplificare il trattamento dell'etichetta delle celle nei nodi della rete (nel senso che una cella appartenente ad una connessione VP viene elaborata per tutte le parti dell'etichetta ad eccezione del VCI che resta inalterato da estremo ad estremo).

VP/VC switch

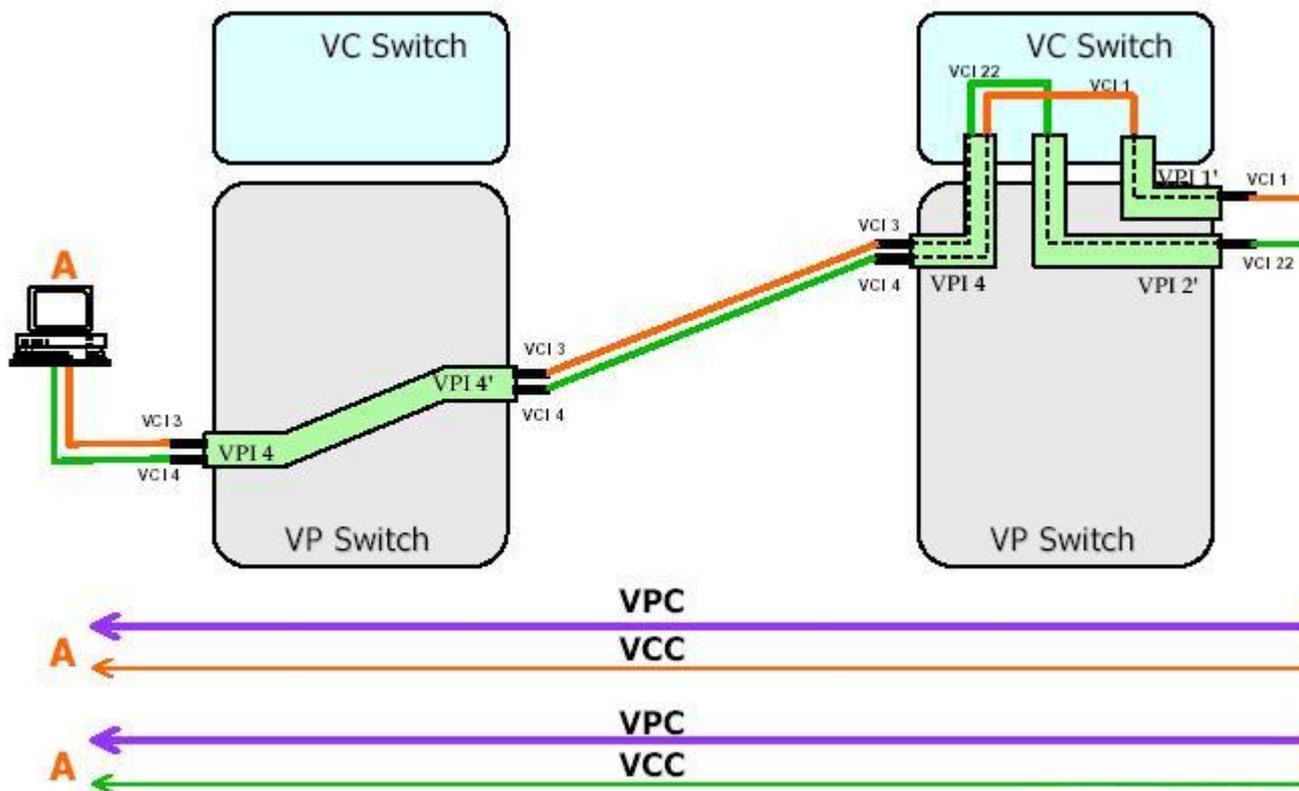


- VP e VC *switching* sono logicamente distinte
- Possono esserlo anche fisicamente per semplificare il funzionamento dei nodi

In una connessione VP, i nodi interessati dal transito sono trasparenti rispetto all'attivazione e al consumo di banda da parte degli stessi VC. Inoltre, in un VP *switch*, le celle appartenenti ad una connessione VP vengono modificate solo nel campo VPI, lasciando inalterato il campo VCI. Si dice in tal caso che i VC sono di tipo *end to end*.

Un VC *switch* opera un controllo più fine, poiché modifica l'etichetta sia nel campo VPI sia nel

campo VCI. Le funzioni di controllo del traffico vengono attuate per singolo VC.



La tecnologia attuale consente di realizzare nodi (disponibili sul mercato già da diversi anni) in grado di realizzare sia le funzioni di VP switch, sia le funzioni di VC switch.

La differenza di operazioni risiede in opzioni di configurazioni che l'amministratore della rete imposta.

Perché VP e VC

- Ma perché due identificativi (VPI e VCI) e non uno solo (Il protocollo X.25 utilizza il Numero di Canale Logico - NCL, il FR utilizza il DLCI).
- L'utilizzo di due identificativi permette di aggregare più flussi di celle (VC) in un unico VP.
- Grazie all'aggregazione di VC in VP è possibile:
 - instaurare tra due terminali una connessione VP su base semipermanente e le connessioni VC su base chiamata (si pensi a due PABX connessi con una VPC);
 - fare una prima ripartizione della capacità trasmissiva (canale) di un collegamento tra vari VP e, successivamente, ripartire la capacità di ciascun VP fra diversi VC; ciò facilita la pianificazione e la progettazione della rete;
 - aggregare VC aventi caratteristiche simili (per esempio, in termini di QoS); ciò facilita la gestione della rete.

Qualità del servizio di rete ATM

L'utente può chiedere ad una rete ATM di trasferire i dati secondo diverse qualità di servizio

Sono realizzati due tipi di QoS:

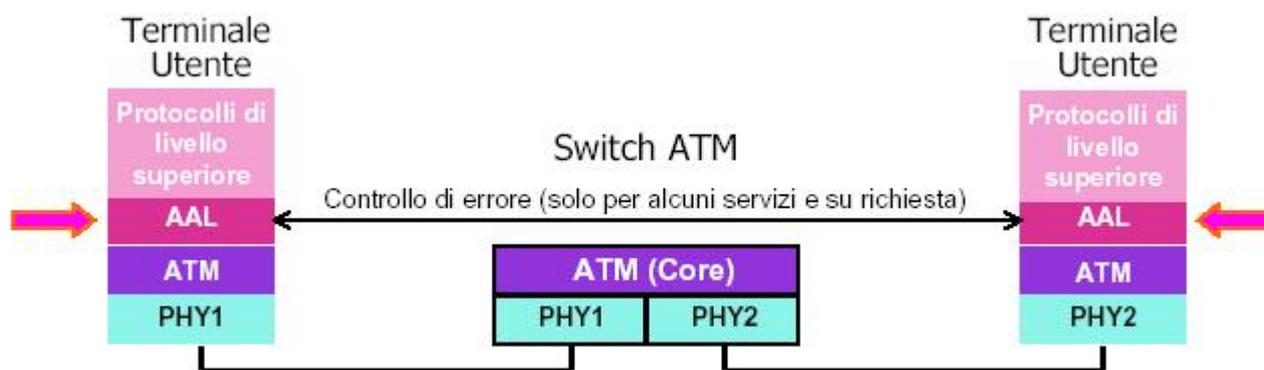
- *Specified QoS:*

- Garantisce le prestazioni in termini di ritardo massimo delle celle, variazione del ritardo e numero di celle perse.
- Garantisce la banda in termini di *Peak Cell Rate*, *Sustained Rate*, *PeakBurst Length*.
- *Unspecified QoS*:
 - *Best Effort Delivery*.

ATM: lo strato di adattamento

L'indipendenza delle funzioni dello strato ATM dalle caratteristiche del teleservizio (applicazione d'utente) si ottiene con un ulteriore strato protocollare detto *ATM Adaptation Layer* (AAL).

Lo strato AAL svolge infatti funzioni specifiche per una certa applicazione (per esempio, controllo e recupero di errori multipli nelle applicazioni dati).



Le varie applicazioni esistenti si basano in genere su protocolli di comunicazione diversi da ATM che impongono procedure e funzioni specifiche per l'adattamento al trasporto su celle di dimensione ridotta e fissa, quali la segmentazione ed il riassemblaggio dei pacchetti dati. Le applicazioni, inoltre, presentano caratteristiche peculiari e differenziate delle quali bisogna tener conto al fine di renderne efficiente il trasporto (non sempre si riesce ad ottemperare a questa esigenza). È quindi necessario definire alcuni protocolli intermedi in grado di tradurre messaggi in sequenze di celle e viceversa di riassemblare in messaggi significativi per i protocolli alti, le sequenze di celle ricevute. Dal punto di vista della stratificazione protocollare, l'AAL è posto tra il livello ATM ed il livello immediatamente superiore, in ciascuno dei piani: Utente, Controllo e Gestione.

Esempi dei servizi forniti dall'AAL comprendono: la gestione degli errori di trasmissione; la gestione dell'effetto di quantizzazione dovuto alla dimensione della cella ATM; la gestione della perdita o inserzione di celle; il controllo di flusso e della temporizzazione sorgente-destinazione.

In teoria, occorrerebbe definire uno strato AAL per ogni tipo di teleservizio. In realtà si è proceduto a raggruppare tutti i possibili teleservizi secondo criteri ben definiti.

Si sono così ottenute solo quattro Classi di Servizio (A, B, C, D) e, quasi corrispondentemente, quattro tipi di AAL:

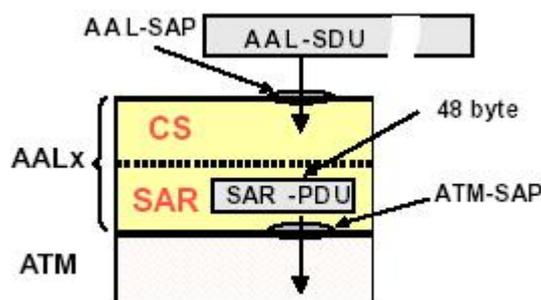
- AAL1;
- AAL2;
- AAL3/4;
- AAL5.

Una funzione comune a tutti gli AAL è quella di *segmentation and reassembling* (SAR).

Le funzioni del livello AAL sono organizzate in due sottolivelli denominati SAR (*Segmentation and Reassembly*) e CS (*Convergence Sublayer*).

Il SAR provvede alla segmentazione delle PDU del livello superiore nel campo informativo delle celle ATM (48 byte) e viceversa alla loro ricostruzione.

Il CS è dipendente dal servizio e fornisce, in corrispondenza dell'AAL-SAP, lo specifico servizio AALx.



Classi di servizio e AAL

Le caratteristiche considerate per raggruppare i teleservizi sono:

- necessità di avere requisiti di tempo reale (per esempio, la fonia e il video);
- variabilità o meno del *bit rate* (per esempio alcuni servizi video sono a *bit rate* variabile);
- modalità di connessione (per esempio, i servizi IP sono *connectionless*).

Classe di Servizio	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D
Relazione temporale tra sorgente e destinazione	Richiesta		Non Richiesta	
<i>Bit rate</i>	Costante	Variabile		
Modo di connessione	<i>Connection Oriented</i>		<i>Connectionless</i>	
Tipo di AAL	1	2	3/4, 5	3/4, 5

Anche se teoricamente possibile, non sono stati sviluppati *Adaptation Layer* specifici per ciascun servizio. Le funzionalità di adattamento sono state definite in base alla classificazione dei vari servizi in un ristretto numero di categorie denominate classi di servizio. La definizione di queste classi è stata effettuata tenendo presente tre parametri:

- Relazione temporale tra sorgente e destinazione.
- Costanza/variabilità del *bit rate*.
- Modalità di connessione (riferita al servizio *end to end*, dal momento che la tecnica ATM prevede servizi di rete a connessione).

Classe A: relazione temporale tra sorgente e destinazione, *bit rate* costante, teleserviziorientati alla connessione; sono compresi in tale classe l'emulazione di circuito (trasporto su rete ATM di un segnale a velocità Nx64 kb/s, 2 Mb/s, 34 Mb/s, eccetera), voce, video a *bit rate* costante.

Classe B: relazione temporale tra sorgente e destinazione, *bit rate* variabile, teleserviziorientati alla connessione; la classe comprende le applicazioni video e audio a *bit rate* variabile (esempio: MPEG su ATM).

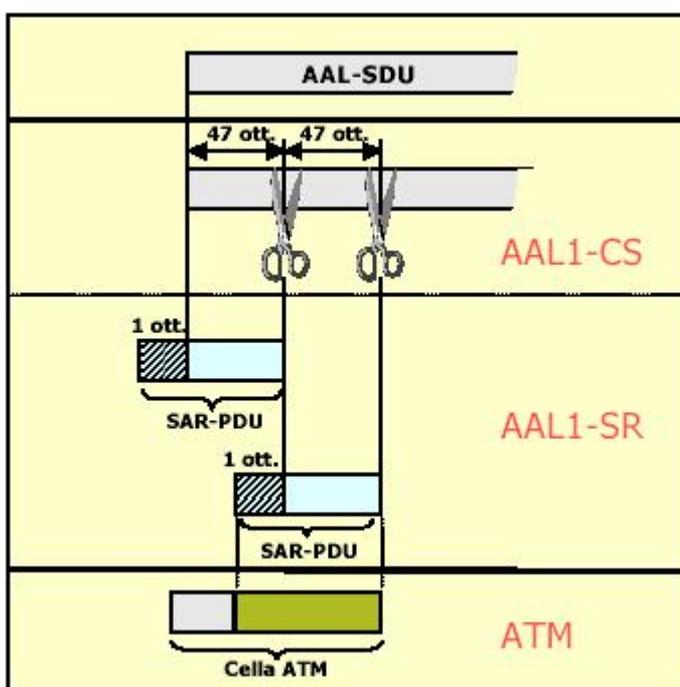
Classe C: assenza di relazione temporale tra sorgente e destinazione, *bit rate* variabile, servizio

orientato alla connessione; la classe comprende teleservizi di trasporto dati *connection-oriented*, segnalazione.

Classe D: simile alla classe C, per teleservizi senza connessione; sono compresi teleservizi di trasporto dati *connectionless* (IP su ATM, *LAN emulation*, eccetera).

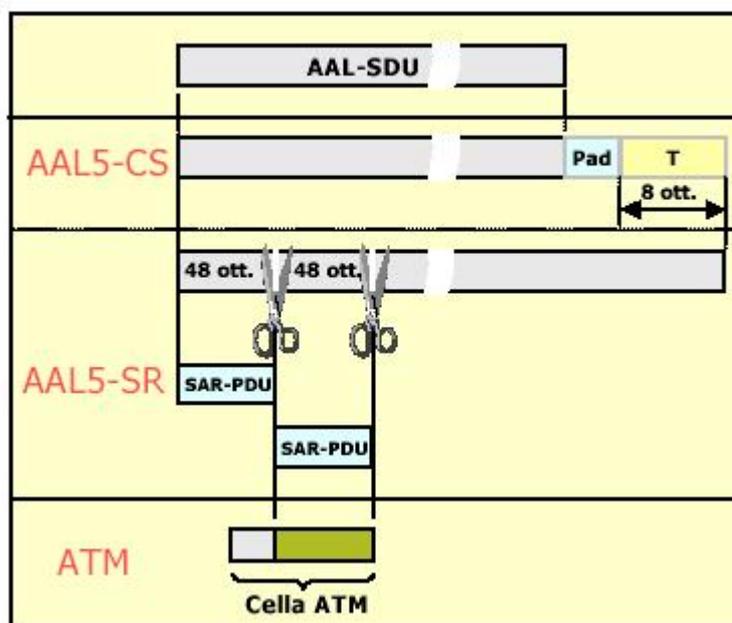
Per implementare le funzioni di adattamento necessarie al supporto delle quattro classi di servizio definite, l'ITU-T aveva originariamente individuato quattro differenti AAL (numerati da 1 a 4), ciascuno funzionalmente adatto al supporto di una specifica classe. A tale impostazione sono seguite una serie di modifiche. In particolare, per quanto riguarda le classi C e D, vista la loro somiglianza strutturale e funzionale, lo sviluppo dei rispettivi AAL è confluito in un unico protocollo denominato AAL 3/4; successivamente, vista la complessità dell'AAL 3/4, è stato definito un nuovo AAL, funzionalmente più semplice, denominato AAL 5.

AAL 1



Tutti i tipi di AAL sono organizzati in due sottostrati di protocollo: il *Segmentation And Reassembly* (SAR), funzionalmente legato allo strato ATM, che provvede alla segmentazione delle PDU del sottostrato superiore in blocchi da 48 byte (*payload* delle celle ATM) e viceversa alla loro ricostruzione, e il *Convergence Sublayer* (CS), che è *service dependent*, in quanto le funzioni svolte dipendono dalla specifica classe di servizio. La Raccomandazione ITU-T I.362 descrive alcuni protocolli AAL, che consistono in combinazioni di funzioni SAR e CS, per il supporto di servizi appartenenti alle classi A..D. I servizi CBR utilizzano l'AAL di Tipo 1. Servizi di tipo *connectionless* utilizzano l'AAL di Tipo 3/4 o 5; altre funzioni necessarie a fornire il servizio CL (esempio indirizzamento e *routing* a livello di rete), devono essere svolte da un protocollo di convergenza di livello superiore. Nel caso degli AAL di tipo 3/4 e 5, è stata introdotta una ulteriore suddivisione, all'interno del livello CS, in due sottolivelli: *Common Part Convergence Sublayer* (CPCS) e *Service Specific Convergence Sublayer* (SSCS).

AAL 5



L'AAL 5 nasce da un'esigenza di semplificazione e di miglioramento dell'efficienza dell'AAL 3/4 (per semplicità non trattato in questo documento). In particolare, le caratteristiche salienti dell'AAL 5 sono:

- non prevede il *multiplexing* di messaggi: su ciascuna connessione ATM ogni messaggio non può essere intercalato con altri (il *multiplexing* può essere effettuato eventualmente da altri protocolli montati sull'AAL);
- utilizza un'unico bit per identificare le AAL-PDU nel flusso di celle;
- usa il CRC a livello CPCS anziché a livello SAR (può essere uno svantaggio, nel momento in cui i supporti trasmissivi non sono caratterizzati da ottima qualità, cosa che del resto non consente a monte di impiegare ATM; lo svantaggio si verifica anche quando ciascuna *protocol data unit* è di lunghezza tale da far superare in trasmissione il limite stabilito nel contratto di traffico, ed in tal caso le celle di coda vengono scartate dalla rete, costringendo il trasmettitore a ripetere l'emissione di tutta la trama: il risultato è che il terminale sorgente non riesce a trasmettere);
- allinea le PDU a multipli interi del *payload* di una cella.

Parametri di QoS

La Raccomandazione Q.2931 (segnalazione B-ISDN) prevede 7 parametri che definiscono la QoS per una connessione ATM:

- *cell error rate*;
- *serious cell block errors*;
- *cell loss ratio*;
- *cell misinsertion rate*;
- *cell delay*;
- *mean cell transfer delay*;
- *cell delay variation*.

L'utente può chiedere ad una rete ATM di trasferire i dati secondo diverse qualità di servizio. In particolare per le reti ATM sono previsti due tipi di QoS:

- *Specified QoS*

- Garantisce le prestazioni in termini di ritardo massimo delle celle, variazione del ritardo e numero di celle perse.
- Garantisce la banda in termini di *Peak Cell Rate*, *Sustained Rate*, *PeakBurst Length*.
- *Unspecified QoS*
 - *Best Effort Delivery*.

La Raccomandazione Q.2931 (segnalazione B-ISDN) prevede lo scambio fra elementi della rete di 7 parametri che definiscono la QoS per una connessione ATM:

- *cell error rate*;
- *serious cell block errors*;
- *cell loss ratio*;
- *cell misinsertion rate*;
- *cell delay*;
- *mean cell transfer delay*;
- *cell delay variation*.

In una chiamata effettuata da un terminale per richiedere una SVC (connessione virtuale commutata) il mancato soddisfacimento di uno dei parametri specificati dal messaggio di chiamata determina il rifiuto della richiesta di connessione.

Alcuni parametri di QoS importanti e definibili tra due estremi (UNI) A e B di una connessione ATM sono:

- *Cell Loss Ratio (CLR)* = numero di celle perse tra le N inviate da A verso B in un tempo T diviso il numero totale N di celle inviate (ovviamente, il valore di CLR dipende da T).
- *Cell Transfer Delay (CTD)* = intervallo di tempo intercorrente tra l'istante di immissione del primo bit di una cella in A e l'istante di ricezione dell'ultimo bit della medesima cella in B.
- *Cell Delay Variation (CDV)* = esprime la variabilità dei ritardi di trasferimento da A a B (la sua valutazione è specificata dalla Raccomandazione I.371 e dalla *Traffic Management Specification* di ATM Forum).



Descrittori di traffico

Si dividono in:

- Descrittore di traffico di una sorgente ATM (STD, *Source Traffic Descriptor*); è un set di parametri che descrivono le caratteristiche del traffico di una sorgente ATM:
 - Tipo e Categoria di Servizio;
 - *Peak Cell Rate (PCR)*;
 - *Sustainable Cell Rate (SCR)*;
 - *Maximum Burst Size (MBS)*;
 - *Minimum Cell Rate (MCR)*.
- Descrittore di traffico di una connessione ATM (CTD, *Connection Traffic Descriptor*); è un set di parametri che descrivono le caratteristiche proprie di una connessione:
 - Descrittori di traffico di sorgente ;
 - *Cell Delay Variation Tolerance (CDVT)*;
 - Definizione di conformità.

Quindi il CTD contiene anche il STD.

Il Descrittore di Traffico (DdT) può essere riferito a una sorgente di traffico ATM o a una connessione virtuale ATM.

Il DdT di una sorgente ATM è costituito da un insieme di parametri di traffico che descrivono in modo opportuno le caratteristiche del traffico della sorgente ATM. Esso viene utilizzato durante la fase di instaurazione di una chiamata, per specificare le caratteristiche della connessione ATM richiesta.

Il DdT di una connessione ATM costituito dall'insieme di parametri che descrivono le caratteristiche proprie di una connessione. Esso include in genere:

- il DdT della sorgente;
- il valore di *Cell Delay Variation Tolerance* definito all'interfaccia UNI/INI;
- la definizione di conformità adottata per specificare il criterio di conformità delle celle alla connessione ATM.

Su queste informazioni si baseranno le procedure di accettazione della chiamata (CAC) per allocare le risorse di rete e derivare i parametri necessari alla funzione di *policing* UPC/NPC). Tutti i parametri di traffico contenuti in un descrittore di traffico pertanto dovrebbero essere:

- semplici e facilmente comprensibili da parte dell'*end system*;
- utili alla funzioni di CAC per l'allocazione del risorse di rete;
- utili alla rete per il raggiungimento e il mantenimento degli obiettivi di QoS;
- definiti in modo tale che la funzione di UPC/NPC li possa far rispettare.

Questi parametri costituiscono il riferimento in base al quale un terminale scambia informazioni all'atto dell'instaurazione di una connessione e successivamente invia traffico in rete. Essi devono inoltre consentire i test sul flusso di celle ATM utili alla verifica di conformità della connessione ATM.

Definizione di conformità

In una richiesta di connessione (VCC o VPC) si dichiarano certe caratteristiche di Traffico tramite i Descrittori di Traffico.

Per una richiesta di connessione accettata, la rete applica dei controlli sulla UNI (*Usage Parameter Control*) per verificare il rispetto dei dati di traffico dichiarati.

L'algoritmo usualmente utilizzato per il monitoraggio dei dati di traffico (per esempio PCR e CDVT) è il *Generic Cell Rate Algorithm*.

Se i dati di traffico non sono rispettati, la rete intraprende determinate azioni tendenti a mantenere la QoS di altre connessioni che rispettano invece i dati di traffico dichiarati.

Il Descrittore di Traffico di una connessione ATM deve sempre contenere una Definizione di Conformità (DdC).

La DdC si applica alle celle che, transitando attraverso una interfaccia UNI pubblica, vengono valutate in base ad uno specifico algoritmo per verificarne l'effettiva rispondenza al contratto di traffico; superati tali criteri mediante appositi test le celle sono dichiarate conformi.

La DdC costituisce uno strumento di verifica per l'utente di quanto gli viene reso disponibile dalla rete, oltre a proteggere la rete, mediante i sistemi di UPC/NPC da condizioni di traffico anomale.

La regola operativa generale adottata per la DdC è basata sull'algoritmo GCRA (*Generic Cell Rate Algorithm*), illustrato nel seguito.

Categoria di servizio

Category of Service (secondo ATM Forum) e *Transfer Capability* (secondo ITU-T) indicano entrambe diverse modalità di allocazione e gestione delle risorse (di elaborazione, di memoria e di capacità di trasferimento) da parte della rete per le connessioni ATM.

Tale differenziazione è stata fatta in modo complementare alle funzioni AAL con l'intento di ottimizzare l'impiego delle risorse di rete.

Sia ATMF che ITU-T hanno fatto una classificazione delle CoS/TC in base ai descrittori di traffico e ai parametri di QoS.

L'introduzione del concetto di Categoria di Servizio ATM (CoS) deriva dall'aver riconosciuto che le molteplici tipologie di connessioni che possono presentarsi in una rete ATM non possono essere discriminate solo in base al valore di certi parametri di traffico o di QoS, ma possono richiedere l'impiego di parametri diversi e l'applicazione di funzioni di controllo diverse.

Le diverse CoS ATM sono state quindi introdotte per raggruppare le connessioni a cui può essere applicata la stessa descrizione parametrica e lo stesso insieme di funzioni di controllo.

Categorie di servizio vs Transfer capabilities

ITU-T	ATM Forum
<i>ATM Transfer Capability</i>	<i>ATM Service Category</i>
<i>Deterministic Bit Rate (DBR)</i>	<i>Constant Bit Rate (CBR)</i>
<i>Statistical Bit Rate (SBR)</i>	<i>Variable Bit Rate-real time (VBR-rt)</i> <i>Variable Bit Rate-non real time (VBR-nrt)</i>
<i>Available Bit Rate (ABR)</i>	<i>Available Bit Rate (ABR)</i>
<i>ATM Block Transfer (ABT)</i>	-
-	<i>Unspecified Bit Rate (UBR)</i>

Categorie di servizio attualmente definite per ATM (specifica ATM Forum UNI 4.0) sono:

- ***Constant Bit Rate (CBR)***. Una connessione con classe di servizio CBR mette a disposizione una banda garantita (definita dal parametro PCR, *Peak Cell Rate*) per tutto il suo tempo di vita. È adatta al trasferimento affidabile di traffico *real-time* in quanto la rete offre prestazioni garantite in termini di CDV, max CTD e CLR. Tale classe si applica al traffico a *bit-rate* costante pari al PCR (esempio: *circuit emulation*) e trasmissione di traffico a *bit rate* variabile con banda di picco inferiore a quella allocata (sfruttamento non ottimale delle risorse).
- ***Real time Variable Bit Rate (rt-VBR)***. È stata pensata esplicitamente per applicazioni *real-time* che generano traffico a *bit-rate* variabile cioè che necessitano di ritardi contenuti ed il più possibile costanti. La sorgente deve comunicare le caratteristiche del traffico generato in termini di PCR, SCR e MBS (*MaximumBurst Size*, dimensione massima del blocco di celle consecutive trasmesse). La rete offre una QoS garantita con riferimento a: tempo di trasferimento a destinazione (max CTD) e tasso di perdita sulla connessione (CLR). Tale

categoria consente la moltiplicazione statistica di più flussi informativi e si adatta ad applicazioni di trasferimento di audio e video interattivi su ATM (esempio MPEG2 su ATM).

- **non real time Variable Bit Rate (nrt-VBR).** Pensata esplicitamente per applicazioni non *real-time* che generano un traffico di tipo *bursty*. La sorgente deve comunicare le caratteristiche del traffico generato in termini di PCR, SCR e MBS. La rete offre una QoS garantita con riferimento al tasso di perdita sulla connessione (CLR). Non viene garantita alcuna prestazione con riferimento al tempo di trasferimento. Le applicazioni possibili riguardano il trasferimento di traffico dati a *bit-rate* variabile (esempio traffico generato da WWW).
- **Unspecified Bit Rate (UBR).** Una connessione UBR offre un servizio di trasporto dati di tipo *best-effort*. La sorgente può trasmettere un flusso di celle a *bit-rate* variabile fino ad un valore massimo specificato e pari al PCR. La rete non garantisce alcuna prestazione con riferimento al tasso di perdita ed al tempo di trasferimento delle celle. Le applicazioni riguardano il trasporto su ATM del traffico dati generato dai protocolli attualmente utilizzati in ambito di rete locale (esempio: *Ethernet*, IP).
- **Available Bit Rate (ABR).** La categoria di servizio ABR offre un servizio di tipo *best-effort* controllato, in grado di sfruttare in modo più efficiente le risorse di rete. Tale categoria prevede un meccanismo di controllo di flusso mediante il quale la rete può sollecitare la sorgente a (la sorgente può stimolare la rete a): ridurre il *bit-rate* trasmesso in caso di congestione incrementare il *bit-rate* trasmesso (a valori specificati dalla stessa sorgente e comunque fino ad un valore massimo pari al PCR) se vi sono risorse disponibili. Nella fase di *set-up* della connessione può essere specificata anche la banda minima che si vuole sia garantita dalla rete (MCR).

Le applicazioni riguardano il trasporto su ATM dei protocolli (esempio: IP) attualmente utilizzati sulle reti locali di tipo tradizionale (esempio: *Ethernet*).

Categorie di servizio ATM Forum

Categorie di servizio ATM					
	CBR	Rt-VBR	Nrt-VBR	UBR	ABR
Parametri di Traffico					
PCR	Specificato			Specificato	Specificato
SCR, MBS	N/A	Specificati		N/A	
MCR	N/A				Specificato
Parametri di QoS					
CDV picco-picco	Specificato	Non Specificato			
CDT max	Specificato	Non Specificato			
CLR	Specificato		Non Specificato	Eventualmente Specificato	

Constant Bit Rate (CBR): la rete assicura la disponibilità di un *data rate* costante per la durata della connessione; adatta per applicazioni che richiedono basso tasso di perdita delle celle e minimo ritardo (assoluto e sua variazione).

Variable Bit Rate - real time (VBR-rt): adatta per traffico con *data rate* variabile e *delay-sensitive* con requisiti di basso tasso di perdita di celle.

Variable Bit Rate - non real time (VBR-nrt): adatta per traffico con *data rate* variabile con requisiti di basso tasso di perdita di celle.

Unspecified Bit Rate (UBR): servizio di tipo *best-effort*; non è garantita alcuna capacità trasmissiva e qualsiasi cella può essere scartata.

Available Bit Rate (ABR): è garantito un minimo di capacità, con la possibilità di emettere, quando possibile, ad un *rate* superiore minimizzando la probabilità di perdita di celle.

Contratto di traffico

Quando si richiede una connessione (VCC o VPC) si specificano alla rete:

- le caratteristiche del traffico (Descrittori di Traffico della Connessione);
- i parametri di QoS per la connessione (non nel caso di UBR).

La rete, mediante la funzione di *Call Admission Control (CAC)* stabilisce se può accettare tale richiesta, cioè se può assegnare risorse alla connessione e mantenere nel contempo la QoS concordata per le altre connessioni.

Se la richiesta è accettata, la rete si impegna a garantire il servizio concordato in termini di traffico e QoS solo se l'utente rispetta i dati di traffico dichiarati.

Tutto ciò ha le caratteristiche di un contratto, detto appunto Contratto di Traffico.

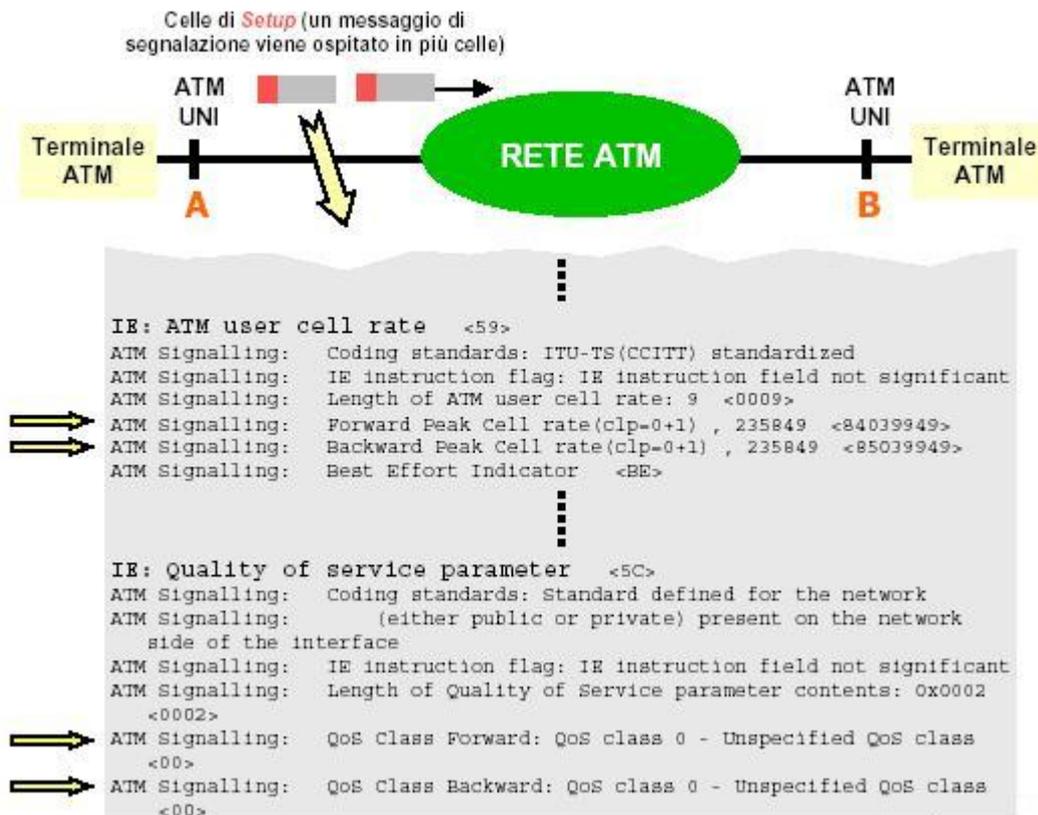
Il problema della gestione del traffico è molto importante nelle reti ATM in quanto il traffico trasportato può essere di natura eterogenea (audio, video, dati, eccetera) e l'utente può richiedere alla rete servizi a qualità (QoS) garantita e servizi di tipo *best-effort*. Gli obiettivi della gestione del traffico sono volti a garantire all'utenza la QoS concordata, ottimizzando l'utilizzo delle risorse di rete (banda, *buffer*, eccetera) e minimizzando la complessità degli apparati d'utente. Nella fase di *set-up* della connessione l'utente stipula con la rete un contratto di traffico (*Traffic Contract*) costituito dai seguenti elementi:

- ***Traffic Descriptor*** - insieme di parametri che definiscono le caratteristiche del traffico che sarà generato dalla sorgente.
- ***Requested QoS*** - insieme di parametri che definiscono le prestazioni che ci si attende siano garantite dalla rete.
- ***Conformance Definition*** - definizione della regola da utilizzare per stabilire quali celle siano conformi al *Traffic Contract*.

Le risorse di rete vengono allocate in modo da realizzare le prestazioni richieste fintanto che il traffico generato è conforme al *Traffic Contract*. I parametri di QoS attualmente definiti nella specifica UNI 4.0 di ATM Forum sono i seguenti:

- ***peak-to-peak Cell Delay Variation (peak-to-peak CDV)*** - massima tolleranza per la variabilità del tempo di trasferimento delle celle.
- ***Maximum Cell Transfer Delay (max CTD)*** - massimo tempo di trasferimento tollerato per le celle trasmesse sulla connessione.
- ***Cell Loss Ratio (CLR)*** - massimo tasso di perdita tollerato sulla connessione.

Esempio di richiesta di connessione (su segnalazione)



Controllo del traffico e della congestione

Il Controllo del Traffico serve per evitare l'insorgenza di fenomeni di congestione.

Il Controllo della Congestione serve per ridurre l'intensità, l'estensione e la durata della congestione.

Le funzioni di controllo (del traffico e della congestione) possono avere tempi di risposta su diverse scale temporali:

- tempo di inserzione di cella: reagiscono nel tempo di cella;
- tempo di propagazione A/R: reagiscono nel tempo di vita di una cella nella rete;
- durata della connessione: su questa base temporale si determina se una nuova connessione può essere accettata e con quali prestazioni (esempio: CAC);
- lungo termine: il controllo agisce su più connessioni.

Per controllo del Traffico si intende l'insieme di azioni intraprese dalla rete per evitare situazioni di congestione:

- **Connection Admission Control (CAC)**: insieme di azioni intraprese dalla rete durante la fase di segnalazione per verificare se una nuova connessione chiesta su chiamata, possa essere accettata. La verifica avviene sulla base degli elementi del *Traffic Contract* specificati dall'utente. La chiamata viene accettata solo se sono presenti risorse sufficienti a garantire la QoS richiesta senza degradare la QoS delle connessioni già esistenti. Il CAC non fa parte della UNI e quindi i suoi schemi implementativi sono a completa discrezione del *Network Provider*.
- **Usage Parameter Control (UPC) o policing**: insieme di azioni intraprese dalla rete per assicurare che il traffico offerto da un utente sia conforme al *Traffic Contract* negoziato nella fase di *set-up* della connessione. Il *policing* evita che comportamenti scorretti di un utente abbiano ripercussioni negative sulla QoS di connessioni appartenenti ad altri utenti. Il *policer*, localizzato alla UNI dal lato della rete (scheda ATM su cui risulta attestato l'utente), svolge

due compiti:

- verifica la validità del VPI/VCI di ogni cella;
- verifica se il traffico entrante nella rete attraverso VCC/VPC valide stia violando i parametri negoziati nel *Traffic Contract*.
- **Traffic Shaping**: è un meccanismo che consente ad un apparato di utente (terminale ATM oppure apparato *general purpose* con interfaccia ATM verso rete pubblica) di rendere conformi al *Traffic Contract* negoziato i flussi di celle che immette in rete. Lo *shaper* è localizzato alla UNI dal lato dell'utente ed adotta ovviamente lo stesso algoritmo del *policer*. Esempi di *traffic shaping*: abbassamento del PCR, limitazione della durata dei *burst* e opportuna spaziatura delle celle nel tempo.

Call Admission Control e Usage Parameter Control

Agisce su base durata della connessione.

Se la rete, mediante la funzione CAC, accetta una richiesta di connessione, attiva una funzione di monitoraggio dei dati di traffico (UPC, *Usage Parameter Control*).

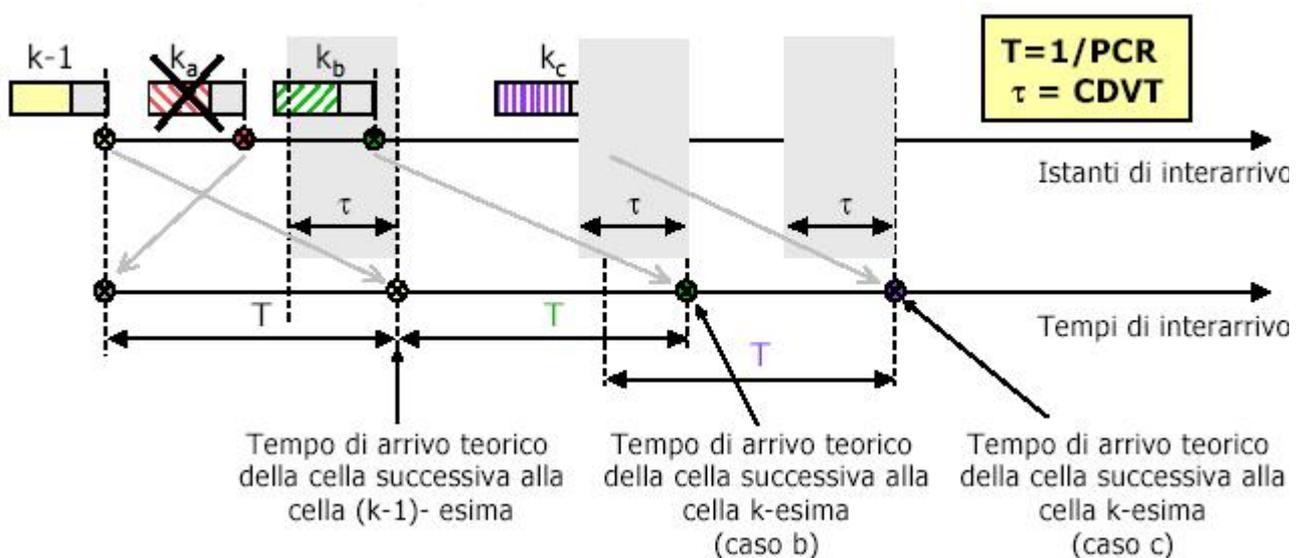
Se ci sono violazioni rispetto al contratto di traffico, la rete intraprende delle azioni tendenti, principalmente, a garantire la QoS alle connessioni attive e conformi al relativo Contratto di Traffico (per esempio scartando alcune celle della connessione non conforme) -> *Policing*.

Un primo tipo di UPC riguarda PCR e CDVT e l'algoritmo che lo implementa si chiama *Virtual Scheduling Algorithm*.

Lo stesso algoritmo si applica per il monitoraggio di SCR e MBS; per questo motivo l'algoritmo è stato chiamato anche *Generic Cell Rate Algorithm*.

Generic Cell Rate Algorithm

Consideriamo l'esempio di GCRA applicato al parametro PCR:



N.B.: se una cella arriva come la k c il tempo di arrivo teorico viene calcolato a partire dall'effettivo tempo di arrivo della cella stessa; ciò serve per evitare la trasmissione di celle *back-to-back* (trasmissione di celle alla piena capacità del link trasmissivo) dopo periodi di *idle*.

L'algoritmo GCRA (*Generic Cell Rate Algorithm*) è la regola pratica adottata da ITU-T e ATM Forum per la verifica di conformità delle celle di una connessione ATM all'interfaccia UNI/INI pubblica. Tale algoritmo viene usato per effettuare la funzione di UPC/NPC. Anche se le due cose sono strettamente legate, è comunque importante distinguere i due concetti: la definizione di conformità, e le azioni conseguenti ad essa (*policing*).

L'algoritmo di GCRA utilizza in ingresso due variabili: una variabile incremento (I), ed una variabile limite (L): la prima tiene conto della velocità delle celle, mentre la seconda considera il massimo valore di CDV tollerato. Il risultato è dunque funzione dei valori assunti da queste due variabili:

GCRA = GCRA (I,L)

Nella Raccomandazione ITU-T I.371 sono definite due versioni equivalenti dell'algoritmo di GCRA:

- *Virtual Scheduling (VS)*;
- *Continuous State Leaky Bucket*.

I due algoritmi sono equivalenti nel senso che, per ogni sequenza di istanti di arrivo di celle, essi individuano come o non conformi le stesse celle.

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

L'algoritmo GCRA applicato al parametro PCR permette di definire se una cella è conforme o meno ai dati di traffico dichiarati (PCR e CDVT).

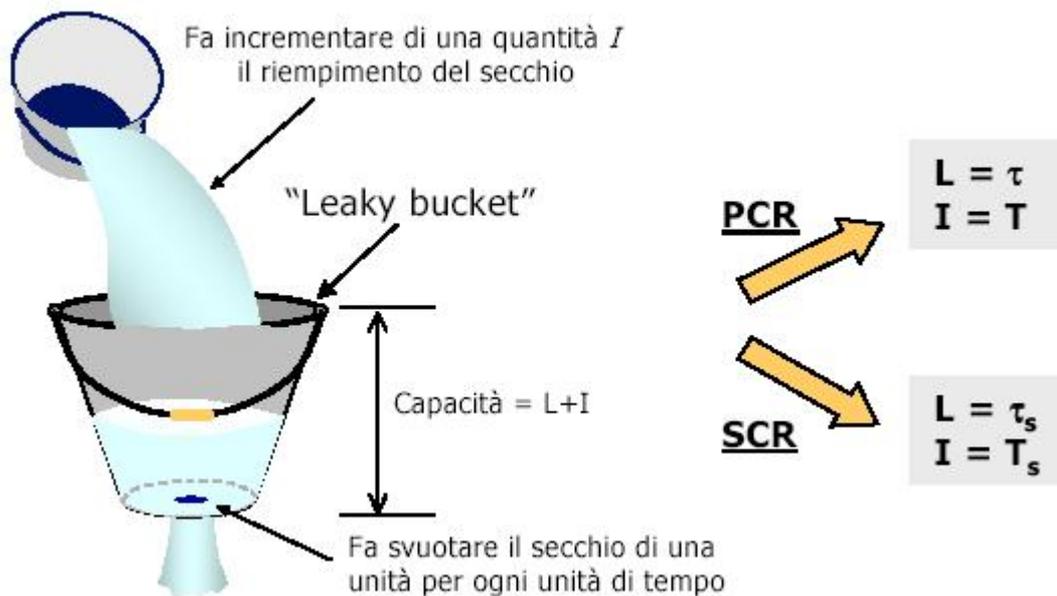
Inoltre, l'algoritmo GCRA applicato al parametro PCR pone un limite al numero massimo di celle trasmesse *back-to-back* alla piena capacità del link; tale numero è fissato dalla relazione seguente:

$$N = \text{int} [1 + t/(T - d)]$$

Dove:

- $T = 1 / \text{PCR}$;
- $t = \text{CDVT}$;
- $d =$ tempo di trasmissione di cella alla velocità del link fisico;
- $\text{int} [x]$ vuol dire il numero intero uguale o immediatamente inferiore a x .

Algoritmo del secchio bucato



L'algoritmo GCRA può essere espresso anche come algoritmo del secchio bucato (*leaky bucket*). L'algoritmo considera un contatore, il cui valor minimo è zero, che viene incrementato di una quantità pari ad I ogni volta che arriva una cella conforme e che viene decrementato di una unità per ogni unità di tempo. Il valore massimo del contatore è pari a $(L+I)$; una cella che fa superare tale valore massimo viene dichiarata non conforme. Il nome dell'algoritmo deriva dal fatto che è equivalente al caso di un secchio bucato la cui capacità sia pari a $(L+I)$ e che perda liquido con un tasso di una unità di capacità per unità di tempo e che riceva ad ogni immissione una quantità di liquido pari a I .

Policing

L'azione che consegue alla verifica di conformità delle celle nonché la verifica stessa costituiscono la funzione di *Policing* del traffico ATM.

Se, applicando l'algoritmo GCRA, una cella viene dichiarata non conforme, essa può essere:

- marcata (*tagging*);
- scartata (*discarding*).

Esistono diverse possibili alternative per applicare il *Policing*.

L'obiettivo del controllo del traffico a livello di cella è quello di garantire che il moltiplicatore soddisfi determinati requisiti di prestazioni o, in altre parole, sia in grado di offrire la QoS desiderata. Il problema è analogo a quello che si presenta in una qualsiasi rete a commutazione di pacchetto; deve però essere particolarizzato tenendo conto delle specificità delle reti ATM, in particolare:

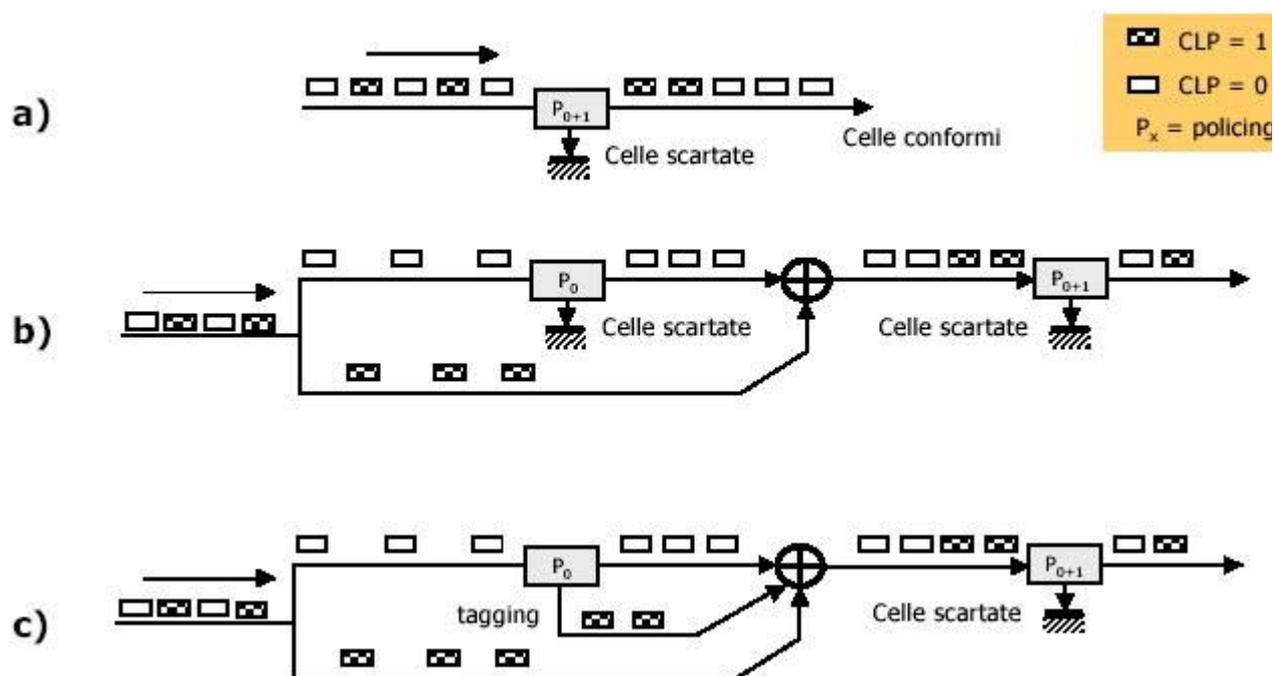
- la dimensione piccola e costante dei pacchetti;
- l'estrema variabilità delle caratteristiche che può avere il traffico generato dalle diverse connessioni;
- la necessità di garantire diversi gradi di QoS alle diverse connessioni.

Le particolarità della tecnica ATM hanno richiesto lo sviluppo di soluzioni specifiche per il controllo del traffico, che comprendono l'uso combinato di funzioni di controllo di tipo sia preventivo che reattivo.

Le funzioni di controllo preventivo hanno l'obiettivo di limitare a priori il traffico immesso nel moltiplicatore e sono rese indispensabili dalla necessità di soddisfare requisiti di QoS stringenti quali quelli richiesti da servizi con vincoli di tempo reale. Queste funzioni consistono essenzialmente nel valutare se il moltiplicatore possiede risorse sufficienti a supportare una nuova connessione sulla base delle caratteristiche del traffico offerto dalla connessione (controllo di accettazione delle connessioni), e nel verificare che il traffico immesso nel moltiplicatore non superi quello atteso (funzione di *policing*, ossia, controllo dei parametri di traffico). È possibile inoltre utilizzare particolari funzioni di sagomatura del traffico (*Traffic Shaping*) per dare al traffico in ingresso caratteristiche tali da ridurre la criticità per le risorse del moltiplicatore.

Le funzioni di controllo reattivo costituiscono invece un ulteriore strumento di protezione applicabile alle connessioni prive di vincoli di tempo reale nel caso si verificano problemi di congestione. Queste funzioni consistono essenzialmente in controlli di flusso ad anello chiuso (*feedback*) che consentono di limitare il traffico inviato al moltiplicatore in modo da facilitare il ristabilirsi delle normali condizioni operative.

Alternative di policing



Il disegno si riferisce a tre possibili alternative di *Policing* del traffico ATM. Il caso a) è relativo all'applicazione del criterio di conformità al flusso aggregato di celle ATM (celle con CLP = 0 insieme a celle con CLP = 1).

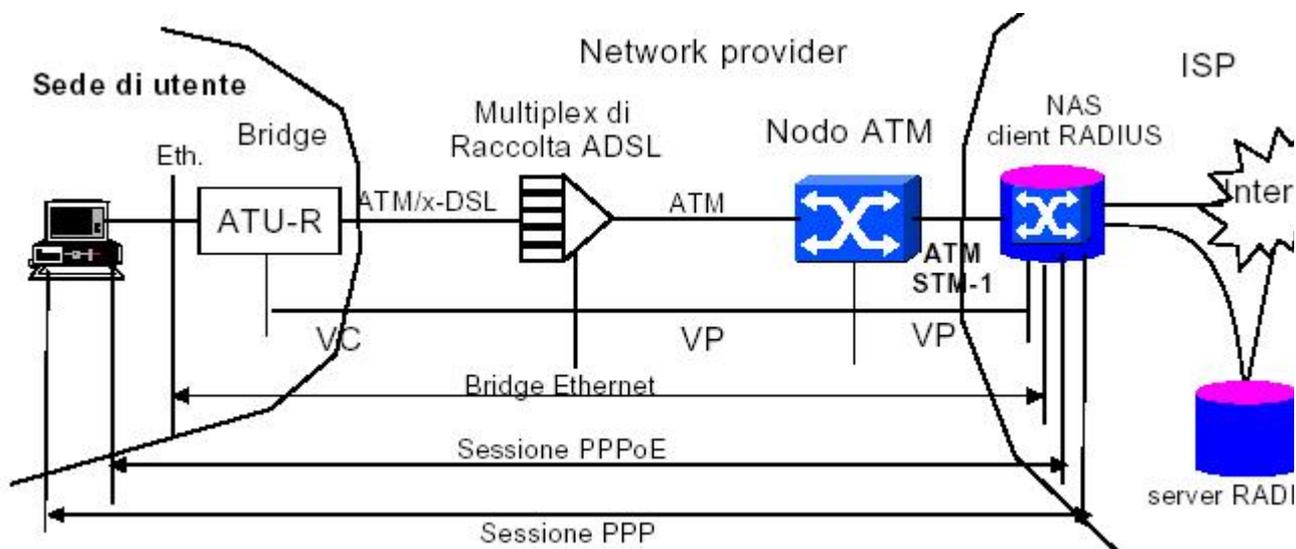
I casi b) e c) si riferiscono alla possibilità di trattare in modo differenziato celle ad alta (CLP = 0) e a bassa priorità (CLP = 1). La differenza tra il caso b) e quello c) è che nel secondo le celle CLP = 0 non conformi vengono marchiate con CLP = 1 (*tagging*) e non scartate e subiscono un'altra verifica insieme alle celle che hanno CLP = 1 sin dall'origine.

Applicazioni di ATM per l'utente

- *Desktop* (una scheda ATM costa troppo rispetto ad una scheda LAN).
- Integrazione di servizi sul *backbone* di una rete *Corporate* (possibile, ad oggi ancora economicamente praticabile, poco utilizzato).

- Per trasporto di traffico IP (poco efficiente; il *celltax* non tollerato dall'utente).
- Se l'utente della rete ATM è un *Internet Service Provider* importante e non ha una sua struttura di rete capillare per la raccolta dell'utenza...

Accesso remoto mediante interfaccia Ethernet



NAS = *Network Access Server* (tipicamente è un *router* fornisce l'indirizzo IP all'utente)

ATU-R = *ADSL Terminating Unit - Remote*

ADSL = *Asymmetrical Digital Subscriber Loop*

RADIUS = standard per autenticazione, autorizzazione, *accounting* centralizzati

STM-1 = standard trasmissivo di tipo sincrono (*Synchronous Time-division Multiplexing*)

VC = *Virtual Channel*

VP = *Virtual Path*

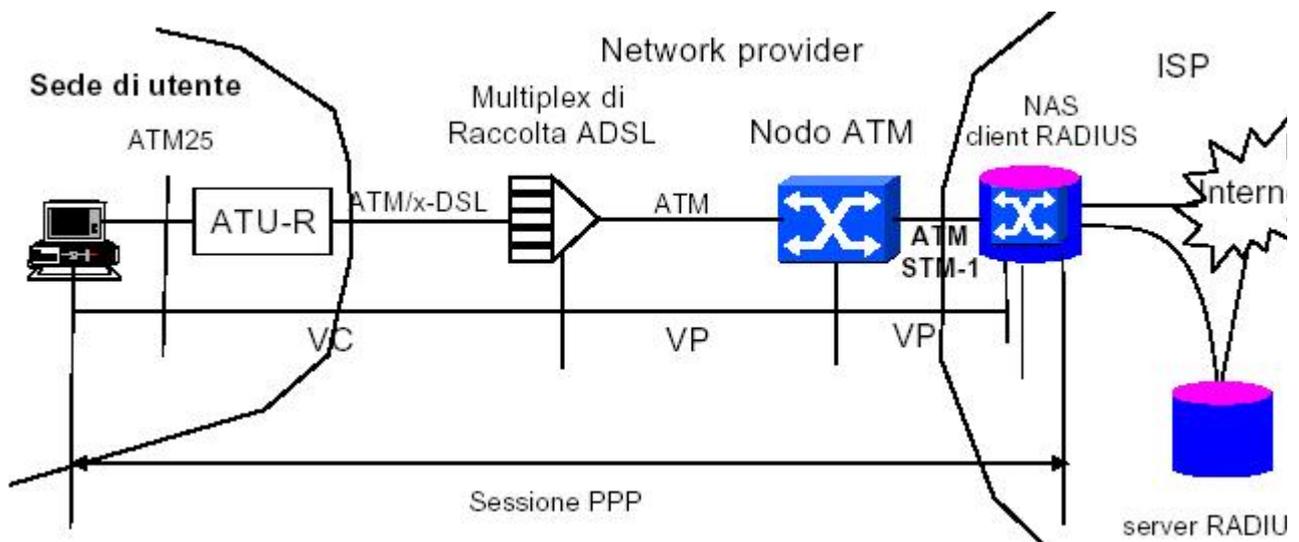
La figura illustra uno scenario di impiego di ATM come tecnologia per l'accesso a reti dati IP ad alta velocità, per utenti di tipo residenziale. In tale scenario si ipotizza l'esistenza di diverse entità:

- *network provider*.
- *Service provider*.

Il *Network provider* fornisce la connettività di tipo ATM fra il modem di utente e il punto di presenza del *service provider* designato da quest'ultimo.

Il *service provider* utilizza un servizio di rete di tipo ATM VP e raccoglie i singoli flussi a livello di VC provenienti dagli utilizzatori finali. I flussi dati vengono concentrati su un apparato del *service provider*, dove hanno luogo le funzioni di elaborazione a livelli più alti (autenticazione, assegnazione dell'indirizzo IP, *accounting*, eccetera).

Accesso remoto mediante interfaccia ATM25



NAS = *Network Access Server* (tipicamente è un *router* fornisce l'indirizzo IP all'utente)

ATU-R = *ADSL Terminating Unit - Remote*

ADSL = *Asymmetrical Digital Subscriber Loop*

RADIUS = standard per autenticazione, autorizzazione, *accounting* centralizzati

ATM25 = interfaccia ATM a 25Mbit/s

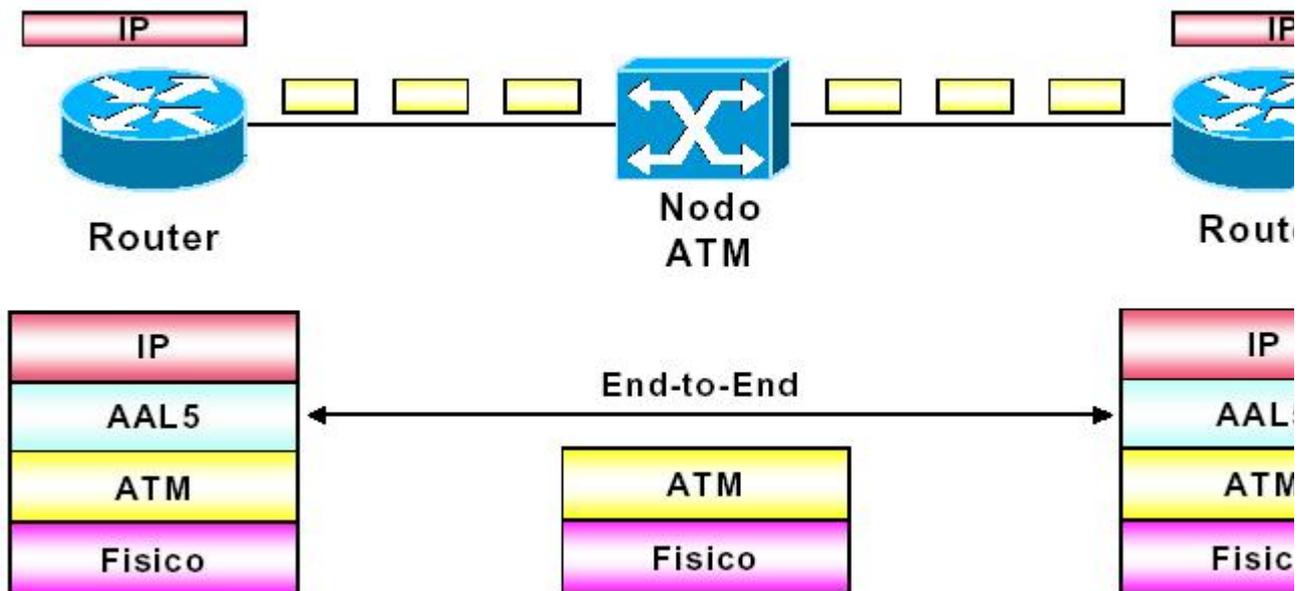
STM-1 = standard trasmissivo di tipo sincrono (*Synchronous Time-division Multiplexing*)

VC = *Virtual Channel*

VP = *Virtual Path*

Lo scenario di rete rappresentato è simile a quello precedentemente illustrato, con la differenza che in questo caso, l'*end system* di utente accede alla rete con una scheda ATM piuttosto che *Ethernet*.

IP su ATM



Il trasporto di IP su ATM avviene attraverso dispositivi (*host/router*) dotati di interfaccia verso un nodo di commutazione ATM. Il pacchetto IP subisce un processo di segmentazione in celle ATM che vengono trasportate fino al dispositivo successivo (*host/router*) da una rete ATM e qui i vari segmenti del pacchetto vengono riassemblati, il pacchetto viene ricomposto e consegnato al dispositivo di destinazione.

Due questioni molto importanti sono l'adattamento dei pacchetti IP allo strato ATM:

- l'imbustamento in celle ATM;
- la corrispondenza degli indirizzi IP con quelli ATM tramite traduzione.

L'imbustamento dei pacchetti IP nelle celle ATM avviene tramite uno strato di adattamento ATM (AAL). A tale scopo si utilizza sempre lo strato di adattamento AAL5, poiché questo introduce meno *overhead* rispetto agli altri strati AAL. Per distinguere il tipo di protocollo trasportato e permettere una corretta estrazione dei pacchetti imbustati ci sono due metodologie, *VC multiplexing* e LLC/SNAP.

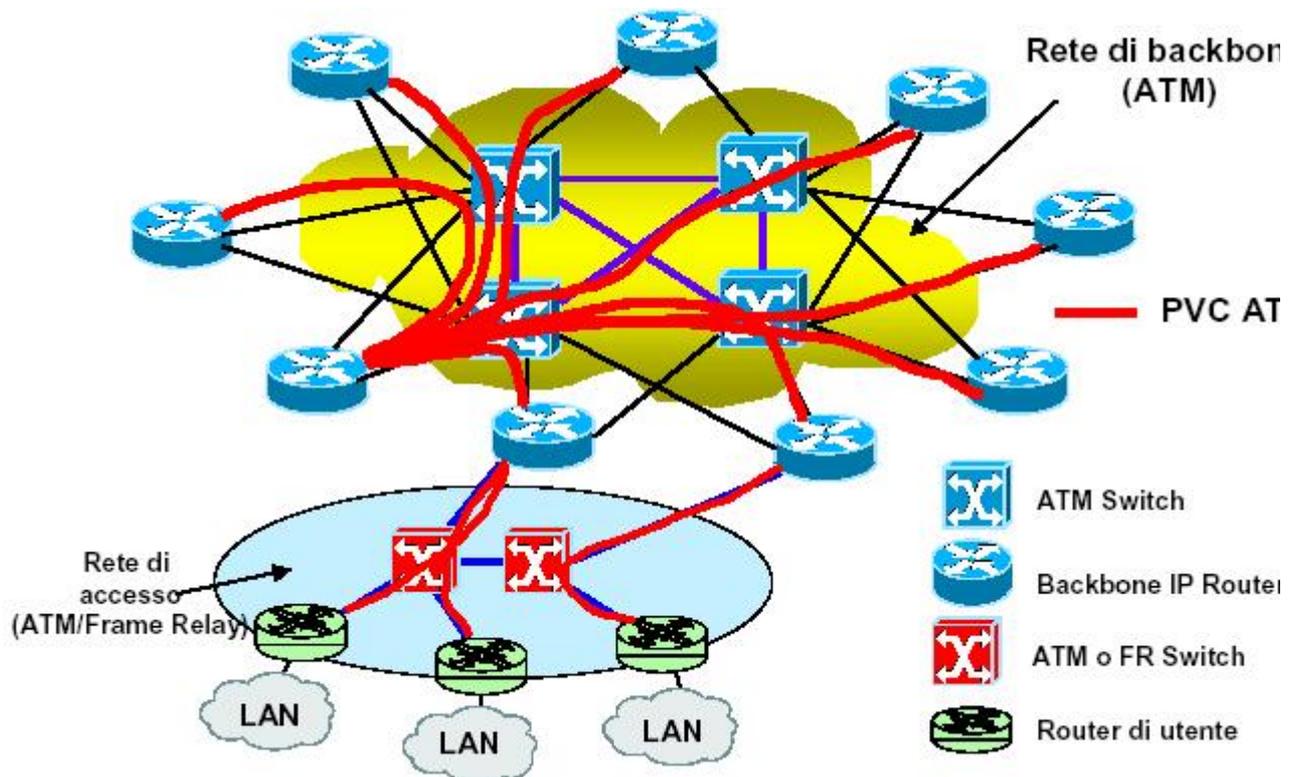
La corrispondenza degli indirizzi IP-ATM avviene o su base configurazione, oppure introducendo in rete un *ARP server* (*ATMARP server*).

Tra i vantaggi dell'utilizzo della tecnica ATM per il trasporto del protocollo IP si ricordano:

- alta velocità nel trasporto e nella commutazione dei pacchetti;
- possibilità di realizzare con ATM una piattaforma multiservizio non limitandosi al solo trasporto di flussi IP;
- possibilità di sfruttare i meccanismi di QoS ATM per offrire servizi differenziati;
- granularità di banda offerta da ATM;
- protezione e affidabilità offerta dal trasporto su infrastrutture ATM.

Il trasporto di IP su ATM ha però anche delle limitazioni, di cui si parlerà nel seguito, che mettono in dubbio per il futuro la possibile integrazione di queste due tecnologie.

IP classico su ATM: architettura di rete IP



Il modello IP classico su ATM ha riscosso un largo successo nella modalità con soli PVC grazie all'interesse per il supporto di ATM come *backbone* geografico di una rete IP. Diversi IBP (*Internet*

Backbone Provider) di grandi dimensioni adottano ormai su larga scala collegamenti (virtuali permanenti) ATM per collegare i *router* di un *backbone* IP, sui quali gira il protocollo InATMARP per la risoluzione degli indirizzi IP sulle connessioni PVC ATM.

Nell'applicazione tipica, i *router* comunicano tra di loro attraverso un insieme di PVC ATM, che quindi funzionano come circuiti logici che garantiscono la connettività tra i *router* di *edge*. I *router* non conoscono la topologia fisica della rete, hanno conoscenza soltanto dei PVC, che appaiono quindi a loro come semplici collegamenti punto-punto. Viene attivato su ciascun PVC un protocollo di *routing* in modo che i *router* possano stabilire delle adiacenze (*peer relationships*) e scambiarsi le informazioni di *routing*. Tipicamente tutti i PVC sono di tipo UBR o ABR.

È da notare che se N è il numero dei *router* di *backbone*, nel caso si volesse tagliare completamente la rete bisogna configurare $N(N-1)/2$ PVC (oltre ad eventuali necessari PVC di *backup*). Ciò comporta un elevato numero di adiacenze, che potrebbero portare ad uno stress del protocollo di *routing* IP in caso di fuori servizio contemporaneo di molti PVC (cosa che potrebbe facilmente verificarsi, ad esempio, con il fuori servizio di un nodo ATM).

Il modello IP classico su ATM è stato adottato dai grandi IBP a partire dalla metà degli anni '90, quando la richiesta di banda da parte degli ISP (*Internet Service Provider*) si è fatta sempre più pressante per rispondere al crescente volume di traffico Internet.

Intorno alla metà degli anni '90 quindi, gli IBP sono stati costretti a migrare le loro reti in modo da supportare link a velocità maggiore di 155 Mbit/s. Molti IBP hanno quindi realizzato reti utilizzando *router* con interfacce ATM SAR a 155 Mbit/s all'*edge* e *switch* ATM con interfacce a 155 Mbit/s nel *backbone* della rete.

Successivamente (dopo circa un anno) i link tra gli ATM *switch* del *backbone* sono stati portati a 622 Mbit/s, mentre oggi alcuni grandi IBP (esempio: UUNET) hanno portato i link internodali del *backbone* a 2,5 Gbit/s e stanno già preparando la transizione a 10 Gbit/s. Le interfacce trasmissive seguono gli standard SONET/SDH.