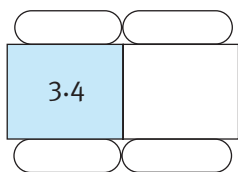




# LA RIVOLUZIONE NELLA RETE: ATM ED IP SONO DAVVERO NEMICI?

Paolo Ceccherini  
Gianni Grazia



Le reti del futuro saranno basate su IP oppure su ATM e IP? Ovvero: in un mondo di servizi ed applicazioni sempre più orientate verso la multimedia e monopolizzato da IP, c'è ancora spazio per ATM? La rivoluzione in atto nelle telecomunicazioni, suggerisce di analizzare le origini delle due soluzioni nell'intento di prevederne l'evoluzione.

## 1. INTRODUZIONE

**A**ppare oggi naturale parlare di linguaggi e protocolli come se da sempre esistessero in natura.

Nel secolo appena concluso si sono fatti grandi passi sia nella teoria dell'informazione [17] sia nella teoria della comunicazione [18]. Entrambe trovano ora nel *bit* e nelle sue manipolazioni la base per rappresentare ogni realtà e per trasmettere fedelmente a distanza tali rappresentazioni.

Il flusso di dati che ne consegue deve essere accompagnato da informazioni di controllo che ne garantiscano la fruibilità nel punto di destinazione: questo è il compito svolto dal **protocollo**.

Il mondo della comunicazione telefonica ha sem-

pre privilegiato la rapidità rispetto all'accuratezza. Questo perché il destinatario umano è in grado di comprendere anche una voce molto degradata, mentre il computer tollera più facilmente i ritardi che non gli errori e quindi nel mondo dati, si ricorre di preferenza alla ripetizione del messaggio anziché alla sua cancellazione quando è ricevuto con troppi errori.

Le due diverse esigenze: rapidità e accuratezza sono soddisfatte con compromessi diversi nei due protocolli oggi a confronto: ATM (*Asynchronous Transfer Model*), che viene dalla telefonia, privilegia la rapidità mentre IP (*Internet Protocol*) è invece teso a garantire l'accurato recapito di ciascun pacchetto anche a costo di ritardi indotti da ripetizioni e percorsi multipli.

Il **protocollo** nell'ambito delle telecomunicazioni, rappresenta l'insieme delle regole che devono essere applicate o realizzate affinché una trasmissione abbia luogo. I protocolli sono spesso associati ai livelli del modello OSI anche se, non necessariamente un livello deve essere rappresentato da un protocollo o viceversa. L'insieme dei protocolli che risultano coinvolti nel flusso di elaborazione delle informazioni dai livelli applicativi a quelli di rete e viceversa viene chiamata "Pila Protocolli" (Protocol Stack).

## 2. ATM ED IP: DUE PROTOCOLLI A CONFRONTO

ATM e IP rappresentano due tecnologie (o "filosofie", come qualcuno ama definirle) che, per anni, sono coesistite in modo indipendente l'una dall'altra. Sviluppatesi su seg-

menti di mercato e applicazioni completamente differenti, oggi stanno convergendo. Da più parti si avverte, tuttavia, il disagio provocato dall'incertezza sulla prossima evoluzione: "le reti del futuro saranno basate su IP oppure su ATM e IP"? In altre parole, in un mondo di servizi e applicazioni sempre più orientate verso la multimedialità e monopolizzato da IP, c'è ancora spazio per ATM?

Si cercherà, qui, di fare chiarezza sulle caratteristiche e peculiarità di queste tecnologie allo stato attuale e nella loro imminente evoluzione.

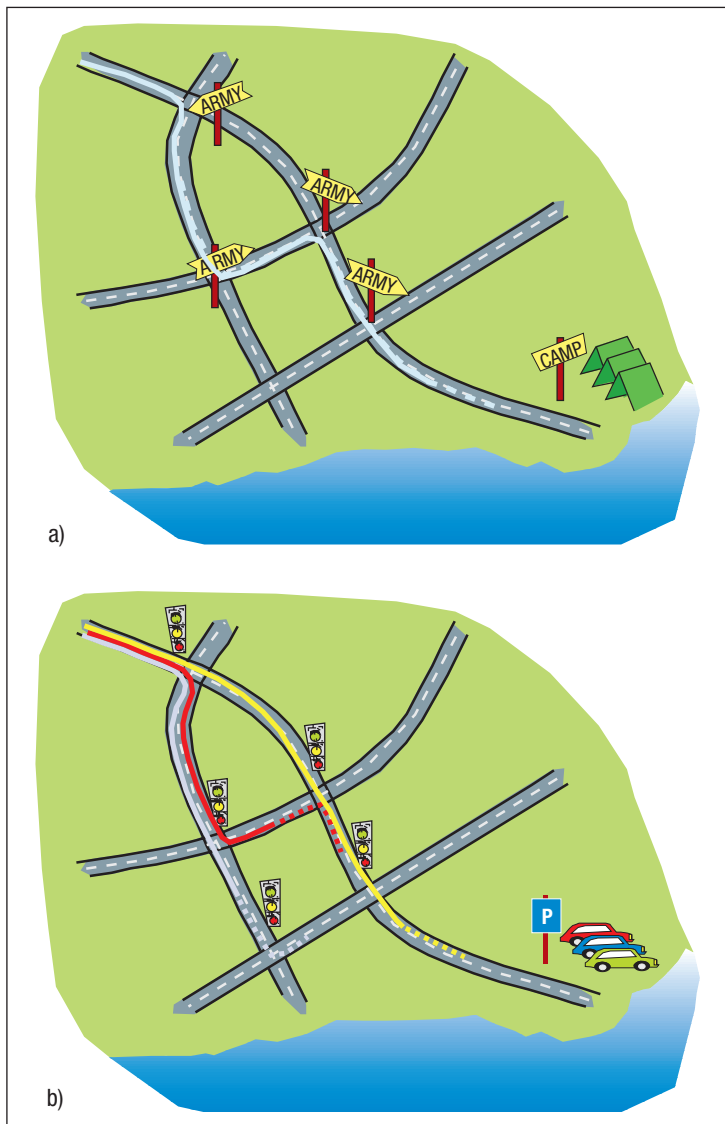
Oggi, tutti i sistemi di telecomunicazione operano sul principio della commutazione di pacchetto e possono essere classificati in sistemi *Connection-Oriented* oppure *Connection-less*.

Operare in modalità *connection-oriented* implica la necessità che i sistemi, prima di iniziare la trasmissione, realizzino una connessione logica fra trasmettitore e ricevitore. Durante questa fase, che viene definita di *setup*, sulla base del tipo di servizio e del tipo di informazioni che devono essere scambiate, nell'ambito dell'intera rete viene richiesto un determinato livello di qualità del servizio in funzione del quale viene definito "l'instradamento" per il percorso dei pacchetti. Al termine della trasmissione, la connessione viene "abbattuta" (*released*), in modo da liberare le risorse precedentemente allocate.

In contrapposizione con la precedente modalità operativa, esiste la cosiddetta *Connection-less*. Questa, in sostanza, non prevede alcuna fase di *setup*: le informazioni sono inviate, immediatamente, dal trasmettitore verso la rete la quale, non essendo "preparata" a riceverle potrebbe non accettarle, oppure, inoltrarle attraverso percorsi differenti all'interno della rete stessa dovendo, comunque, spendere del tempo per processare ogni singolo pacchetto in ogni nodo.

Per comprendere la sostanziale differenza tra le due modalità operative è di aiuto pensare a come un gruppo di amici e una Compagnia dell'esercito, organizzerebbero un viaggio verso una destinazione assegnata.

La Compagnia invierebbe una jeep di esplo-



ratori per tracciare la strada con un'apposita segnaletica a ogni incrocio (gli switch che attuano il *setup*) e solo dopo aver concluso questa fase, il convoglio partirebbe sul percorso prefissato preoccupandosi solo di seguire le indicazioni; in questo modo tutti i mezzi effettuano lo stesso tragitto e arrivano nello stesso ordine nel quale sono partiti (Figura 1 a).

Nel caso del gruppo di amici, stabilita la destinazione, ci si dà appuntamento all'arrivo: ognuno può procedere in modo autonomo scegliendosi il percorso che preferisce. Il risultato è che il gruppo di amici arriverà a destinazione in ordine sparso e bisognerà fare l'appello per ricomporre il gruppo (Figura 1 b).

**FIGURA 1**

Differenza tra un "percorso" *Connection-Oriented* a) e uno *Connection-less* b)

### 3. IL PROTOCOLLO ATM

Sviluppato in seno ad ITU-T (*International Telecommunication Union*), nell'ambito del progetto Broadband-ISDN (B-ISDN) [1], era stato, originariamente, concepito come una tecnologia per la trasmissione ad alta velocità su reti pubbliche di dati a supporto di applicazioni eterogenee. In seguito, ATM Forum (ATMF) ha esteso questa visione promuovendone l'impiego anche su reti private.

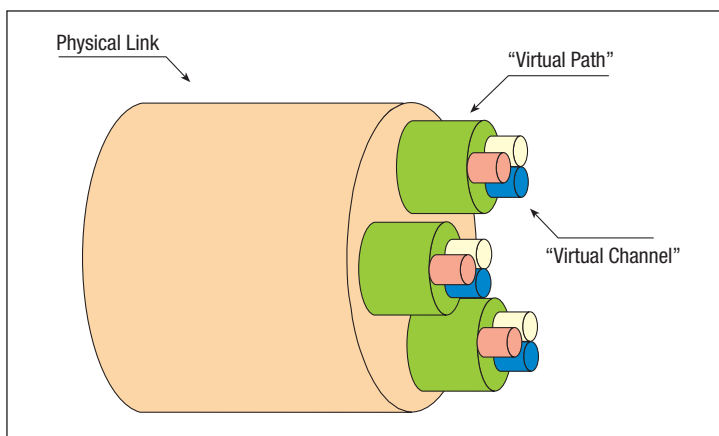
L'ATM, è un protocollo di comunicazione a commutazione di pacchetto di tipo Connection-Oriented.

I pacchetti o, più propriamente, le celle ATM hanno dimensione fissa e pari a 53 byte e sono composte da un *header* e da un *payload*. L'header è standard, mentre la parte di payload può contenere qualsiasi tipo di informazione, voce, video, testo, dati, grafica ed altro ancora. ATM offre un sistema omogeneo per il trasporto di tutte queste informazioni o servizi, in modo assolutamente trasparente alla rete. Come verrà esplicitato in seguito, in funzione della natura delle informazioni che devono essere trasportate i dati vengono inseriti nel payload delle celle nella maniera più appropriata associandovi la necessaria qualità del servizio.

Una rete ATM è composta da *switch* e da *end-point* (EP): i primi provvedono al transito delle celle attraverso la rete, mentre i secondi smistano il traffico sulle terminazioni. In pratica, lo switch riceve le celle da un EP, ne legge e aggiorna l'header e, immediatamente, reindirizza la cella verso l'opportuna interfaccia di uscita.

FIGURA 2

Rappresentazione di un "Virtual Path" e di un "Virtual Channel" ATM



Su un collegamento ATM, è trasmesso un flusso di celle e, in qualsiasi momento, un altro utente può decidere di trasmettere qualsiasi tipo di informazione; questa filosofia spiega il sostantivo "asincrono" del nome. D'altro canto, questo significa che il ricevitore non è in grado, come avviene per i sistemi basati su TDM (*Time Division Multiplexing*), di distinguere le informazioni provenienti da un determinato utente semplicemente estraendole da una trama temporale (*timeslot*). Per questo nell'header delle celle sono memorizzati due campi denominati VPI (*Virtual Path Identifier*) e VCI (*Virtual Channel Identifier*).

Le "connessioni" possono essere gestite in modo statico o dinamico. Nel primo caso, vengono chiamate PVC (*Permanent Virtual Circuit*); nel secondo SVC (*Switched Virtual Circuit*). In entrambi, i casi ogni connessione (VP) contiene un certo numero di Virtual Channel (VC), ed è univocamente individuata dai valori VPI e VCI contenuti nell'header della cella (Figura 2).

Come detto precedentemente, l'ATM opera in modalità Connection-Oriented, il che implica che la trasmissione sia preceduta da una fase di setup per "tracciare" il percorso tra i punti da connettere. Durante il setup avviene la verifica sulla disponibilità delle risorse di rete e viene negoziata la qualità di servizio da garantire (per esempio, il CLR, *Cell Loss Ratio*).

Un'altra importante conseguenza di questa modalità operativa è il fatto che la sequenza temporale delle celle viene mantenuta; si limita così uno dei principali problemi della trasmissione a pacchetto di informazioni in tempo reale: il **jitter**. In sistemi *connection-less*, infatti, potendo i pacchetti percorrere differenti percorsi non è possibile garantire un ritardo costante durante la ricezione né, al limite, il relativo ordine.

Il **jitter** nei sistemi di trasmissione dati a commutazione di pacchetto rappresenta la varianza del tempo impiegato dai singoli pacchetti per giungere a destinazione. Se per applicazioni non *real time* (per esempio e-mail) l'effetto del jitter è trascurabile, questo risulta essere un parametro fondamentale nel caso di applicazioni *real time* (per esempio *Voice over IP*), dato che, al limite, può portare alla perdita (scarto) del pacchetto stesso.

Come detto la qualità del servizio viene specificata al momento della creazione del VC. Attualmente sono state definite le seguenti *classi di servizio*:

■ **Constant Bit Rate (CBR)**: classe di servizio adatta al trasporto di flussi di traffico isocroni a bit rate costante. Tale classe è caratterizzata da valori di CLR, CDV (*Cell Delay Variation*) e CTD (*Cell Transfer Delay*) molto stringenti e viene tipicamente utilizzata ai fini della emulazione di CDN (*Collegamenti Digitali Numerici*, esempio PCM N × 64 kbit/s).

■ **Real Time - Variable Bit Rate (rt-VBR)**: classe di servizio adatta al trasporto di flussi di traffico isocroni a bit rate variabile. Tale classe è caratterizzata da valori di CDV e CTD molto stringenti, mentre il CLR non risulta particolarmente severo; viene di solito utilizzata per il trasporto del segnale video digitale compresso (MPEG, H.261 ecc.).

■ **Non-Real Time - Variable Bit Rate (nrt-VBR)**: classe di servizio adatta a flussi di traffico non isocroni a bit rate variabile che richiedano banda garantita; essa risulta particolarmente adatta all'interoperabilità tra reti ATM e reti Frame Relay in quanto il traffico offerto da queste ultime è un traffico dati (bit rate variabile non isocrono) ma necessita di banda garantita.

■ **Unspecified Bit Rate (UBR)**: classe di servizio adatta a flussi di traffico non isocroni a bit rate variabile che non richiedono alcuna garanzia su banda e latenza. Tale classe consente all'utente di trasmettere qualunque volume di traffico desideri, entro il limite consentito dalla PCR (*Peak Cell Rate*),

senza tuttavia assicurare alcunché circa CLR, CTD e CDV.

■ **Available Bit Rate (ABR)**: classe di servizio adatta a flussi di traffico non isocroni a bit rate variabile che non richiedono banda garantita. Tale classe è analoga alla UBR con la differenza che essa prevede un meccanismo di controllo di flusso per migliorare il *throughput* minimizzando la perdita di celle.

Le prime tre classi, CBR, rt-VBR e nrt-VBR, sono anche chiamate *Specified QoS Class* in quanto specificano caratteristiche peculiari del traffico; per motivi diametralmente opposti le ultime due sono anche denominate *Unspecified QoS Class*. La tabella 1 riassume quanto riportato precedentemente. Da notare che, nelle intenzioni degli autori, essa ha solo una funzione guida e non vuole assolutamente essere limitativa.

La natura connection-oriented, la relativa semplicità del protocollo (non è previsto né controllo d'errore, né di flusso) e la lunghezza fissa delle celle fanno sì che sia possibile commutarle in modo estremamente rapido (basti pensare, per esempio, che la capacità aggregata di elaborazione di un moderno Switch ATM è nell'ordine delle centinaia di Gbit/s). Occorre, tuttavia, tener presente che la procedura di *setup* è alquanto complessa e richiede una certa quantità di tempo ogni qual volta venga effettuata.

Senza voler scendere troppo nel dettaglio è utile descrivere il modello di riferimento dell'ATM [2]. Esso risulta composto da 3 strati: il primo, denominato *physical layer*, corrispon-

Aree di applicazione	CBR	rt-VBR	nrt-VBR	ABR	UBR
Dati critici	✓✓	✓	✓✓✓	✓	NA
Emulazione/Interconnessione LAN	✓	✓	✓✓	✓✓✓	✓✓
Trasporto dati (IP, FR)	✓	✓	✓✓	✓✓✓	✓✓
Emulazione di circuito	✓✓✓	✓✓	NA	NA	NA
Videoconferenza POTS/ISDN	✓✓✓		NA	NA	
Audio compresso	✓	✓✓✓	✓✓	✓✓	✓
Distribuzione video	✓✓✓	✓✓	✓	NA	NA
Multimedia interattivo	✓✓✓	✓✓✓	✓✓	✓✓	✓
Indicatore di "Vantaggio" per utente: Ottimo: ✓✓✓, Buono: ✓✓, Discreto: ✓, Non Applicabile: NA					

**TABELLA 1**

*Aree di applicazione per le categorie di servizio ATM (Fonte: Libro bianco Forum ATM su "ATM Service Categories: The Benefits to the User")*

Il **modello OSI** non è uno standard tecnologico ma un modello di riferimento comune per le tecnologie e i servizi della ICT. Viene rappresentato tramite una pila *stack* di 7 livelli, chiamati: *application, presentation, session, transport, network, data link, physical*. Il livello più basso descrive le caratteristiche fisiche che il sistema deve avere per interagire correttamente con il mezzo fisico (media); il livello più alto rappresenta l'applicazione utilizzata dall'utente (per esempio un *browser* per navigare in Internet o un *client* di posta elettronica).

de al livello 1 del **modello OSI** (*Open System Interconnection*) e gestisce tutti gli aspetti correlati al mezzo di trasmissione (rame, fibra, ...). Il secondo e il terzo, detti rispettivamente *ATM Layer* e *AAL* (*ATM Adaptation Layer*) [3], corrispondono all'incirca al livello 2 della pila OSI. L'*ATM Layer* è responsabile della condivisione contemporanea dei VC rispetto allo strato sottostante (*cell multiplexing*) e della trasmissione delle celle attraverso la rete (*cell relay*). L'*AAL* svolge il ruolo di isolare i protocolli di livello superiore dai dettagli dei processi ATM adattando i dati per poter essere segmentati e trasformati in *payload* di 48 byte. Nella figura 3 sono rappresentati il modello OSI e i relativi livelli di riferimento ATM.

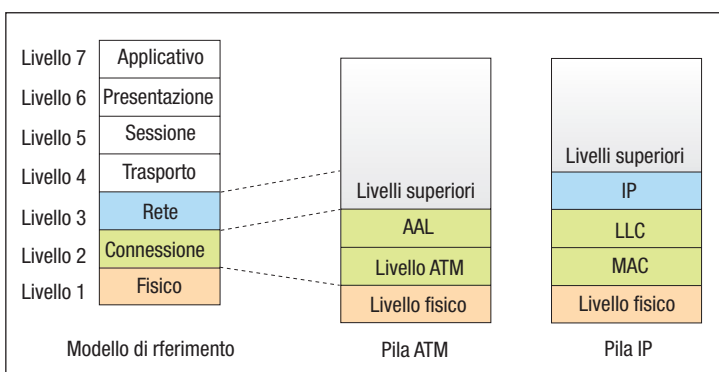
Riassumendo, dunque, ATM è un protocollo di rete di livello 2 (rispetto allo standard OSI), a commutazione di pacchetto, multiprotocollo (nel senso che attraverso *AAL* è in grado di supportare *payload* adatti al trasporto di voce, dati o video), e in grado di garantire una determinata qualità del servizio (*QoS, Quality of Service*).

**FIGURA 3**

Il Modello OSI e le relative trasposizioni su ATM e IP

#### 4. IL PROTOCOLLO IP

IP è, vista la molteplicità delle applicazioni basate su Internet, il protocollo più diffuso al mondo.



Intorno agli anni '70, il D-ARPA (*Defense Advanced Research Projects Agency*) avviò lo sviluppo di una rete a commutazione di pacchetto per connettere i diversi centri di ricerca presenti negli USA, realizzando la rete ARPANET. Verso il 1975, D-ARPA iniziò una cooperazione con l'università di Stanford che portò sul finire degli anni '70 alla nascita della rete Internet [4].

L'IP è un protocollo a commutazione di pacchetto di tipo connection-less. Facendo riferimento alla pila OSI, viene definito come un *Network-Layer protocol*, ovvero, un protocollo di livello 3 che, trasportando informazioni relative all'indirizzo e al controllo dei pacchetti, sovrintende all'instradamento di ogni singolo pacchetto all'interno di una rete. Una rete IP opera secondo il principio del *best effort*, il che significa che non esiste alcuna garanzia sul fatto che, una volta trasmesso, un pacchetto arrivi a destinazione.

Le dimensioni dei pacchetti IP possono variare: per esempio, l'header di un pacchetto è composto da 20 byte (40 byte, nel caso di pacchetti conformi alla più recente versione dello standard, la 6), mentre il *payload* può essere compreso tra 0 e 65535 byte (dimensioni tipiche sono comprese tra 576 o 1500 byte).

La natura connection-less della rete implica la necessità di prevedere risorse di elaborazione più complesse nei vari nodi per poter instradare i singoli pacchetti, da un punto all'altro, senza però dover effettuare alcuna procedura di setup.

L'instradamento dei pacchetti è realizzato sulla base delle informazioni contenute nel campo *Destination IP Address* dell'header del pacchetto: si tratta di un campo di 32 bit che consente, quindi, di indirizzare al massimo circa 4 miliardi di indirizzi. In generale, gli indirizzi IP sono unici, nel senso che ogni *host* connesso ad una rete IP ha un proprio indirizzo che univocamente lo identifica. In realtà, lo scenario è leggermente più complicato dalla presenza di altri meccanismi [5, 6] utilizzati per aumentare la sicurezza delle reti, che però esulano dallo scopo di questo articolo.

Una rete IP è composta, oltre che dai terminali (*host*), dai cosiddetti *router*, ai quali spetta il compito di instradare i pacchetti





dal mittente al destinatario. I router IP sono organizzati in maniera gerarchica e sono classificati in *Interior* o *Exterior*, a seconda che consentano lo scambio di informazioni tra sistemi chiusi o aperti. Questi router comunicano tra loro attraverso particolari protocolli tra i quali i più noti sono il RIP (*Routing Information Protocol*), e il BGP (*Border Gateway Protocol*).

I protocolli di instradamento IP operano in modo dinamico. Periodicamente, i router si scambiano quelle che comunemente sono chiamate *Routing Table* che consistono in coppie di valori *Destination Address/Next Hop*, dove Next Hop rappresenta il successivo tratto di rete che il pacchetto IP dovrà attraversare [7].

Come detto, il protocollo IP è un protocollo di livello 3 (Figura 3). Si vedano ora quali sono le funzioni svolte dai livelli inferiori; in generale, il compito del livello 2 della pila OSI (data link) è quello di trasmettere al media (mezzo fisico) i dati strutturati per poter identificare il destinatario. Si può dire che l'indirizzamento avviene quindi già a livello 2 (indirizzamento fisico) in modo indipendente dal protocollo di comunicazione.

La differenza fra l'indirizzamento fisico (layer 2) e l'indirizzamento logico (layer 3) sta proprio nell'utilizzo del tipo di indirizzo. A titolo di esempio, nel caso del trasporto di IP su Ethernet, il livello 2 utilizza l'indirizzo MAC (*Media Access Control*) che è del tutto indipendente dal protocollo di comunicazione adottato a livello 3.

Per meglio comprendere questa importante differenza, è necessario mettere in evidenza che il livello 2 del protocollo IP è composto da due sottolivelli noti come LLC (*Logical Link Control*), e MAC, appunto. Il sottolivello LLC (definito nella specifica IEEE 802.2), supporta sia i servizi connection-less che quelli connection-oriented. Esso definisce una serie di campi nella trama di *Data Link* che permettono ai protocolli di livello superiore di condividere lo stesso link fisico. LLC aggiunge ulteriori controlli ai dati ricevuti nel pacchetto IP dal livello 3. Questi ultimi riguardano informazioni sull'indirizzamento 802.2 e in particolare: il *Destination Service Access Point* (DSAP) e il *Source Service Access Point* (SSAP).

Questo re-impacchettamento del pacchetto IP verrà consegnato al sottostante livello MAC che si occupa dell'accesso concorrente al media e della scelta delle priorità di accesso al mezzo fisico. Tale attività può essere svolta solo in presenza di una conoscenza degli host fisicamente attaccati al *media* fisico. La conoscenza avviene attraverso un identificativo/indirizzo fisico chiamato appunto *MAC address*.

Sebbene il protocollo IP sia stato sviluppato circa 30 anni fa, il successo delle applicazioni basate su Internet ha fatto sì che sia stato soggetto ad una continua e rapida evoluzione. In particolare, le aree di sviluppo più fertili sono:

- **IPSec**: lo sviluppo di un sistema in grado di aumentare la sicurezza e la riservatezza delle informazioni scambiate attraverso Internet;

- **IP Multicast**: un protocollo che consente di inviare, evitando duplicazioni e dunque mantenendo una elevata efficienza, le stesse informazioni da un server ad un certo numero di client, consentendo di poter utilizzare Internet per applicazioni tipo la TV broadcast;

- **IPv6**: la versione attuale del protocollo IP, la 4, non è in grado di garantire un sufficiente numero di indirizzi visto che il numero di utilizzatori di Internet è in continua crescita, per questo IPv6 prevede l'estensione del campo indirizzi [8].

- **Quality of Service**: molti sforzi vengono profusi per cercare di offrire una qualche QoS su una rete IP in modo tale da permettere il trasporto di servizi o applicazioni real-time. Attualmente, sono stati definiti due modelli: il primo denominato *Integrated Services* (IntServ) [9] basato sul protocollo RSVP (*Reservation Protocol*) [10] che consente di allocare banda verso una determinata destinazione. Le difficoltà di implementare su larga scala il protocollo RSVP ha portato al secondo modello denominato *Differentiated Services* (DiffServ), basato sul principio che, in funzione del tipo di informazione trasportata, i pacchetti possono essere marcati *tagget* con un'indicazione relativa alla loro priorità.

Riassumendo, IP è un protocollo di livello 3 di tipo connection-less che non offre QoS. D'altra parte però è da sottolineare che l'efficienza del sistema di indirizzamento e dei meccanismi di instradamento e la diffusione pervasiva che continua ad avere, rappresentano

aspetti di assoluto rilievo tanto che oggi praticamente tutti gli apparati connessi in rete sono dotati di almeno un indirizzo IP piuttosto che di uno di tipo E.164 (la raccomandazione ITU-T che definisce il sistema di indirizzamento ATM).

## 5. IP SU TUTTO, ANCHE SU ATM

Oggi un pacchetto IP può essere trasmesso praticamente su qualsiasi media.

Per quanto illustrato finora, è facile verificare che tra IP e ATM esista un punto di contatto [11]. Facendo riferimento ai rispettivi modelli OSI, è evidente come a livello 2 lo strato ATM AAL coincida col corrispondente livello IP: LLC (Figura 3).

I metodi più comuni per effettuare questo "imbustamento" sono stati definiti in seno a IETF (*Internet Engineering Task Force*) e sono: LLC *Encapsulation e Virtual Connection Multiplexing*.

La prima è una modalità di imbustamento dei protocolli TCP/IP applicata, diffusamente, su molte tecnologie tradizionali; dal punto di vista architetturale, essa richiede di inserire il livello LLC tra lo strato di protocollo AAL5 e quello IP. I pacchetti IP sono imbustati in pacchetti LLC a loro volta inseriti nelle trame AAL5 [12]; la busta LLC consente di condividere lo stesso canale logico distinguendo, grazie ai campi *Destination Service Access Point* (DSAP) e *Source Service Access Point* (SSAP), il protocollo di livello superiore trasportato. Poiché il protocollo IP non è tra quelli standardizzati da OSI, l'adattamento tra LLC e AAL5 viene effettuata utilizzando l'estensione *Sub-Network Access Protocol* (SNAP).

Nel secondo caso, i pacchetti di livello rete sono trasportati all'interno delle trame AAL5 senza imbustamenti aggiuntivi; per ogni protocollo di livello rete è creata una diversa istanza di AAL5. Per distinguere protocolli differenti si utilizzano connessioni virtuali differenti, anche tra le stesse macchine, spostando la moltiplicazione fuori banda. Gli estremi delle connessioni virtuali sono i protocolli di livello rete, non i nodi della rete.

L'architettura descritta è conosciuta con il nome di *Overlay Model*. Tale modello potreb-

be essere rappresentato da un certo numero di router connessi per mezzo di una rete magliata tramite PVC ATM che offrono elevata banda e bassa latenza.

Tale modello, per quanto elegante e per molti aspetti efficace, non risulta essere né sufficientemente scalabile né facilmente amministrabile. Infatti, lo strato di rete IP è governato dai propri protocolli di instradamento, così come lo strato di rete ATM ha i suoi meccanismi di gestione, segnalazione, instradamento [13].

In particolare, per quanto riguarda la scalabilità dell'architettura è sufficiente notare che nella suddetta ipotesi di rete completamente magliata, se  $N$  è il numero di nodi, per connettere tutti i router sono necessari  $N(N-1)$  PVC. Tanto per dare un ordine di grandezza, se fossero presenti 200 router occorrerebbero all'incirca 40.000 connessioni!

## 6. VERSO L'INTEGRAZIONE: LA COMMUTAZIONE DI ETICHETTA

Il principale collo di bottiglia dei meccanismi di routing del protocollo IP è rappresentato dal loro funzionamento *hop-per-hop*, secondo il quale prima di poter decidere il cosiddetto *Next-Hop* è necessario che il router estragga tutte le informazioni contenute nel pacchetto ricevuto fino al livello 3.

Un meccanismo per aggirare questo problema è di instradare i pacchetti direttamente a livello 2 eliminando la costosa elaborazione a livello 3 che impegna risorse e capacità di elaborazione. Nel contesto IP su ATM, questo si traduce nella possibilità di trasferire pacchetti IP senza che vengano processati da alcun router.

Sono state sviluppate diverse architetture per realizzare quanto sopra, come per esempio NHRP (*Next Hop Resolution Protocol*), e MPLS (*Multi Protocol Label Switching*) [14, 15], sviluppati da IETF o, ancora, PAR (*Public-NNI Augmented Routing*) e I-PNNI (*Integrated Public-NNI*), sviluppati da ATM Forum. La figura 4, riassume tali protocolli mettendoli a confronto.

Sebbene nei loro intenti sia IETF che ATMF perseguissero l'obiettivo di realizzare un sistema ad alte prestazioni di instradamento del traffico IP su ATM [16], è bene sottolineare

che le loro motivazioni di fondo erano ben diverse. IETF mirava ad aumentare la banda del traffico best effort IP, mentre ATMF mirava a potenziare il più complesso, ma più efficace protocollo PNNI adattandolo a quello che si prospettava potesse diventare il principale cliente, l'IP.

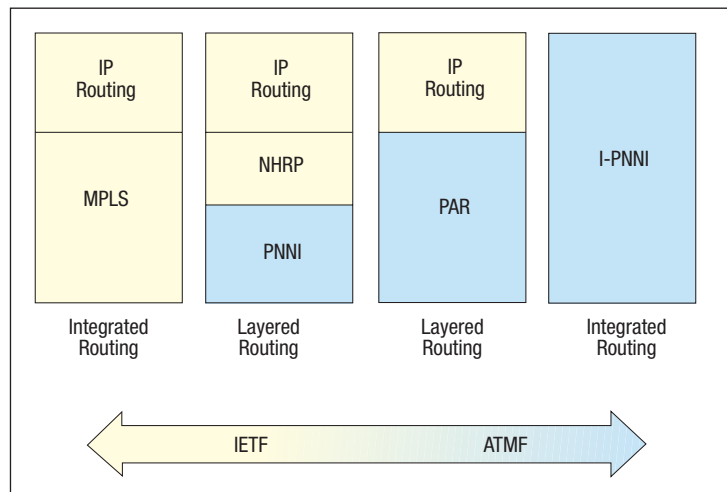
Sebbene ognuna delle suddette soluzioni abbia dei pro e dei contro, ad oggi, sembra che il mercato delle telecomunicazioni stia guardando sempre più insistentemente verso MPLS.

Per completezza, è bene sottolineare che l'obiettivo delle suddette tecnologie non è tanto quello incrementare le prestazioni dei sistemi, cosa peraltro ottenibile a livello *hardware* attraverso meccanismi di commutazione di livello 3 (Layer 3 Switching), i quali utilizzando opportuni ASIC (*Application-Specific Integrated Circuit*) instradano i pacchetti IP semplicemente "leggendone" l'indirizzo senza dover processare l'intera pila protocolare, quanto quello di aggiungere alle esistenti infrastrutture di rete l'intelligenza necessaria per garantire la richiesta qualità di servizio attraverso meccanismi che consentono il cosiddetto *Traffic Engineering* (TE).

Senza voler assolutamente affrontare i dettagli di questa tecnologia, né aver la pretesa di esaurirne in poche righe tutti gli aspetti, può, comunque, essere utile offrirne una brevissima descrizione.

Ai pacchetti che entrano in una rete MPLS vengono assegnate delle etichette (*label*) dai router periferici, chiamate *Label Edge Router* o LER. Le stesse LER si occupano di eliminare le etichette in uscita dalla rete MPLS. Le etichette vengono assegnate non solo in base a caratteristiche come l'ampiezza di banda o l'indirizzo di destinazione, ma anche guardando i campi dell'header del pacchetto IP come l'indirizzo sorgente e il *Type of Service*. All'interno della rete MPLS, il percorso del pacchetto - chiamato *Label Switching Path* o LSP - viene definito dalla nuova etichetta, non dall'indirizzo IP di destinazione originale.

Lungo un LSP, i router intermedi o *Label Switch Router* (LSR) si occupano di scambiare l'etichetta entrante con una uscente (in modo assolutamente identico a come opera uno switch ATM). Mediante lo smistamento su opportuni LSP, è possibile gestire



più facilmente diversi flussi di dati in base alla priorità e al tipo di servizio che si vogliono ottenere.

**FIGURA 4**

Architetture di integrazione tra IP e ATM

## 7. CONCLUSIONI

Per quanto detto è evidente che, in realtà, ATM ed IP possano essere considerati complementari tra loro. Il primo opera più vicino al livello fisico ed è diretto a fornire prestazioni di trasmissione ad alta velocità e basso ritardo su percorsi pre-tracciati. Esso è orientato ad ospitare i livelli superiori dei protocolli orientati alle applicazioni che chiedano per questo precisi requisiti al canale di trasmissione. ATM attuerà i meccanismi migliori per offrire quanto richiesto in funzione della tecnologia usata. Garantire il tasso d'errore in un collegamento radio od ottico è cosa totalmente diversa e ha soluzioni anch'esse diverse.

D'altra parte, il protocollo IP si basa sull'assunto che tutte le funzioni di instradamento e correzione debbano coinvolgere il livello 2, in tal modo IP attua dinamicamente percorsi multipli in modo tale che in qualunque momento possa venir meno anche il *link* fisico. Ciò dà all'IP una grande "capacità di sopravvivenza" anche in condizioni ostili, ma obbliga ogni router ad un superlavoro che ritarda lo smistamento e sovraccarica il nodo.

Sul piano dei servizi offerti, questi si stanno muovendo sempre più verso la multimedia tant'è che oggi si sente sempre più frequentemente parlare del cosiddetto *triple play*, ovvero, la possibilità per un operatore di convogliare telefonia, dati e video sulla



stessa rete. In particolare, i servizi telefonici e televisivi “consegnano” un prodotto finale che risente della qualità del canale su cui hanno viaggiato, in termini di tollerabilità nell’ergonomia di un’interazione umana.

Una possibile visione dell’evoluzione dunque, è che le funzioni di livello 2 si avvicinino progressivamente alle funzioni di trasmissione offrendo alla parte più prossima all’applicazione il compito di identificare le caratteristiche del contesto in cui i propri pacchetti vengono trasportati. Questo porterà ad una ridistribuzione delle funzionalità nei livelli OSI assegnando ai livelli inferiori il compito di garantire il contesto di trasmissione, e quelli superiori il compito di sceglierne i parametri di trasporto in funzione del contenuto che affidano alla rete.

D’altra parte, non è forse vero che si applica il francobollo “posta prioritaria” o le etichette: “fragile”, “non capovolgere” alle merci e lettere? Ci si fida poi del fatto che il vettore le tratti secondo tali etichette senza entrare nel merito di quanto vi è all’interno.

Come si è visto sopra, i processi evolutivi nella storia delle telecomunicazioni hanno chiesto sempre qualche decennio. Questo passo ormai avviato con MPLS, non potrà che totalizzare almeno un paio di lustri, soprattutto, a causa del gigantismo della rete che coinvolge, più che per la velocità di sviluppo della tecnologia disponibile.

### Bibliografia

- [1] AA.VV.: *B-ISDN asynchronous transfer mode functional characteristics*. Racc. I.150. ITU-T. Febbraio 1999.
- [2] AA.VV.: *B-ISDN ATM layer specification*. Racc. I.361. ITU-T. Febbraio 1999
- [3] AA.VV.: *B-ISDN ATM adaptation layer (AAL) functional description*. Racc. I.362. ITU-T. Marzo 1993.
- [4] Postel J: *Internet Protocol - Darpa Internet Program Protocol Specification*. RFC791. IETF. Settembre 1981.
- [5] Mogul J: *Internet Subnets*. RFC917. IETF. Ottobre 1984.
- [6] Postel J: Mogul J, *Internet Standard Subnetting Procedure*. RFC950. IETF. Agosto 1985.
- [7] Katz D, Piscitello D: *NBMA next Hop Resolution Protocol (NHRP)*. Work in progress: draft-ietf-rolc-nhrp-03.txt. IETF. Novembre 1994.

- [8] Bradner S, Mankin A: *The Recommendation for the IP Next Generation Protocol*. RFC 1752. IETF. Gennaio 1995.
- [9] Braden R, Clark D, Shenker S: *Integrated Service in the Internet Architecture: an Overview*. RFC 1633. IETF. Luglio 1994.
- [10] Zhang L, Estrin D, Herzog S, Jamin S: *Resource ReSerVation Protocol (RSVP)*. Ed. Work in progress: draft-ietf-rsvp-spec-05.ps. IETF. Marzo 1995.
- [11] Laubach M: *Classical IP and ARP over ATM*. RFC 1577. IETF. Gennaio 1994.
- [12] Atkinson R: *Default IP MTU for use over ATM AAL5*. RFC 1626. IETF. Maggio 1994.
- [13] Heinanen J: *Multiprotocol encapsulation over ATM adaptation layer 5*. RFC1483, IETF. Dicembre 1994.
- [14] Rosen E, Viswanathan A, Callon R: *Multiprotocol Label Switching Architecture*. RFC3031. IETF. Gennaio 2001
- [15] Davie B, Lawrence J, McCloghrie K, Rosen E, Swallow G, Rekhter Y, Doolan P: *MPLS using LDP and ATM VC Switching*. RFC3035. IETF. Gennaio 2001
- [16] Perez M, Liaw F, Grossman D, Mankin A, Hoffman A: *ATM signalling support for IP over ATM*. RFC 1755. IETF. Gennaio 1995.
- [17] Nycholas P: *Negroponte Being Digital*. 1995 Sperling & Kupfer Editori SpA.
- [18] Bell labs: <http://cm.bell-labs.com/cm/ms/what/shannonday/paper.html>

GIANNI GRAZIA laureato in Ingegneria Elettronica all’Università di Bologna nel 1966.

Ha frequentato corsi di commutazione telefonica e sviluppo software presso Michigan State University (nel 1970) e University of California Los Angeles (nel 1974). Negli anni ’70 ha progettato il controllo dell’Autocommutatore Fonia e Dati (AFD) del quale ha poi curato lo sviluppo software, pubblicando vari articoli sull’argomento.

È attualmente Direttore Tecnico di ALCATEL ITALIA e responsabile di Business Analysis e delle attività di Integrazione Servizi nell’ambito del Marketing di Alcatel Italia.

e-mail: Gianni.Grazia@alcatel.it

PAOLO CECCHERINI laureato in Ingegneria Elettronica all’Università “La Sapienza” di Roma nel 1995, si occupa di Architetture e Soluzioni di rete nell’ambito del Marketing di Alcatel Italia.

Precedentemente, ha svolto attività di ricerca e progettazione passando dallo sviluppo di ASIC, alla progettazione di apparati per trasmissione dati fino all’integrazione di sistemi complessi.

e-mail: Paolo.Ceccherini@alcatel.it