

La nascita dell'ARPA

La storia inizia nei tardi anni '50. Nel pieno della guerra fredda, il dipartimento della difesa USA commissionò una rete di comando e controllo che fosse in grado di resistere ad un attacco nucleare. All'epoca tutte le comunicazioni militari usavano la rete telefonica pubblica, considerata vulnerabile: il motivo di questo timore si può capire osservando la Figura 1.25(a). I punti neri rappresentano le centrali di commutazione telefonica, ognuna delle quali era connessa a migliaia di telefoni.

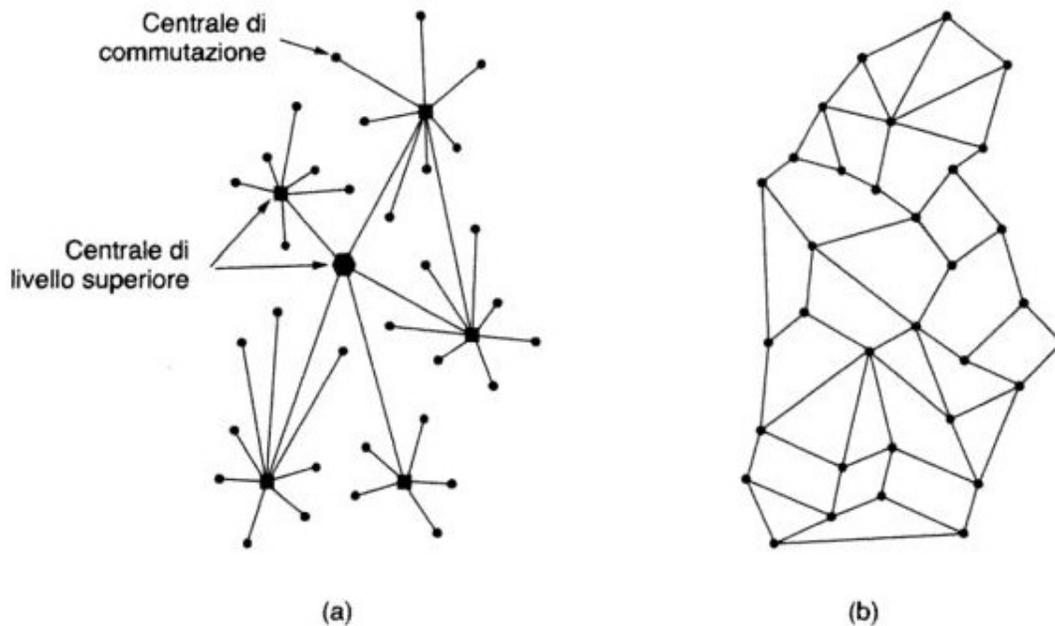


Figura 1.25. (a) Struttura della rete telefonica. (b) Il sistema distribuito a commutazione proposto da Baran.

A loro volta queste centrali erano collegate da centrali di commutazione di livello superiore per formare una gerarchia nazionale con scarsa ridondanza. **La vulnerabilità del sistema stava nel fatto che la distruzione di poche centrali di alto livello avrebbe frammentato la rete in molte isole separate.**

L'obiettivo era dunque quello di avere una rete di comunicazione che riuscisse a sopravvivere ad un attacco nucleare da parte dell'Unione Sovietica per dare la possibilità agli USA di lanciare il contrattacco. La preoccupazione era che, se gli USA non avessero avuto la capacità di reagire, l'URSS avrebbe potuto decidere di attaccare per prima o sarebbero stati gli stessi leaders politici americani, preoccupati dalla minaccia sovietica, a decidere di sferrare l'attacco iniziale per evitare che una simile eventualità potesse accadere.

Attorno al 1960 il dipartimento della difesa assegnò il compito di trovare la soluzione alla RAND Corporation, un'organizzazione di ricerca no-profit. Uno dei suoi impiegati, **Paul Baran**, sviluppò il progetto di una rete distribuita illustrato in Figura 1.25(b) in cui

ogni nodo era indipendente dagli altri e aveva la medesima capacità di generare, ricevere e inoltrare messaggi, ovvero non vi era nessuna gerarchia tra i vari nodi e ognuno poteva svolgere le funzioni dell'altro. Poiché il percorso tra due centrali di commutazione qualunque era diventato molto maggiore di quello che i segnali analogici potevano percorrere senza distorsioni, Baran propose di usare quella che oggi definiremmo una **tecnologia digitale a commutazione di pacchetto(packet switching)**. L'idea era quella di suddividere i messaggi in "blocchi" prima di spedirli attraverso la rete.

I vari "blocchi" sarebbe stati inoltrati in maniera indipendente dai nodi di commutazione della rete e il messaggio sarebbe stato ricomposto a destinazione.

Questo metodo aveva diversi vantaggi.

Anche se i singoli blocchi non erano immuni al rumore essi consentivano di "isolare" gli errori e di correggerli attraverso sofisticati algoritmi di correzione o semplicemente di richiedere la risedizione dei pacchetti alterati.

Rappresentava un modo molto efficiente di trasmettere i dati in termini di utilizzo della banda disponibile in quanto, al contrario di quanto avveniva nella tecnica a commutazione di circuito, il canale di comunicazione non era dedicato e quindi non era lasciato inutilizzato come poteva accadere invece nel corso di una conversazione telefonica durante le pause.

Inoltre se un nodo cessava di funzionare(o veniva distrutto) i blocchi sarebbero stati inoltrati lungo un percorso alternativo.

Il protocollo di instradamento permetteva infine il controllo della congestione, distribuendo il traffico su tutta la rete invece di concentrarlo solo su poche linee.

Lo schema di routing proposto era quello *hot-potato* di tipo *store-and-forward*(in quanto il pacchetto veniva memorizzato, quindi esaminato e infine inviato al "router" meno congestionato).

Baran scrisse diverse relazioni per il dipartimento della difesa descrivendo nei dettagli le sue idee, che furono apprezzate dagli ufficiali del Pentagono spingendoli a chiedere alla AT&T (che allora gestiva in monopolio la rete telefonica USA) di costruire un prototipo. AT&T rigettò in pieno le idee di Baran.

La più grande e potente Corporation del mondo non avrebbe consentito a qualche giovane esaltato di darle lezioni su come costruire una rete telefonica. Dissero che la rete di Baran non si poteva costruire e il caso fu chiuso.



Paul Baran

Passò qualche anno e il dipartimento della difesa continuava a non avere una rete di comando e controllo migliore. Per capire ciò che successe in seguito, dobbiamo tornare

all'ottobre 1957 quando l'Unione Sovietica batté gli USA nella corsa allo spazio con il lancio del primo satellite artificiale, Sputnik. Quando il presidente Eisenhower cercò di capire chi aveva "dormito", rimase sconvolto scoprendo come l'esercito, la marina e l'aviazione si contendevano il budget per la ricerca del Pentagono. La sua risposta immediata fu la creazione di una singola organizzazione per la ricerca denominata **ARPA(Advanced Research Projects Agency)** che avesse come scopo quello di riaffermare la supremazia degli USA in ambito tecnologico(in particolare in campo militare) e che fosse indipendente dalle altre agenzie governative.

ARPA non aveva scienziati o laboratori; in effetti non aveva altro che un ufficio e un piccolo (per gli standard del Pentagono) budget. **Il suo compito era erogare fondi e stipulare contratti con università e aziende che avevano idee promettenti.**

L'IPTO e Licklider

In particolare tra i vari dipartimenti vi era l'IPTO, (*Information Processing Techniques Office*) la cui direzione era stata affidata a Joseph Carl Robnett Licklider.

Nel 1951 quando era ancora all'MIT, aveva lavorato sul Progetto Charles che poi avrebbe portato al Progetto Lincon da cui il nome dell'omonimo centro di ricerca presso l'MIT.

Il progetto commissionato dall'Air Force(l'Aviazione Statunitense) all'MIT mirava a costituire un sistema di difesa in grado di allertare le forze armate in caso di un'attacco nucleare.

La novità consisteva nel fatto che il rilevamento radar, l' inseguimento dei missili e le altre operazioni sarebbero state coordinate da una nuova generazione di computer basati su un prototipo messo a punto all'MIT e noto come *Whirlwind*, il primo calcolatore "real-time" del mondo, in grado cioè di rispondere agli eventi in tempo reale.

Il Progetto Lincon prevedeva la realizzazione di 23 centri di controllo ognuno con 50 operatori radar e 2 computer real-time(nel caso in cui uno si guastasse) in grado di tracciare fino a 400 aerei contemporaneamente.

Si trattava di una serie di radar allineati, idealmente dalle Hawaii all'Alaska attraverso l'arcipelago canadese fino alla Groenlandia, all'Islanda e alle Isole Britanniche.

Problemi di comunicazione, controllo e analisi per una struttura così estesa e complessa potevano essere trattati solo con l'ausilio di un computer.

Il progetto successivo venne chiamato SAGE (*Semi-Automatic Ground Environment*).

Basato su un grosso calcolatore Ibm, il sistema SAGE era così gigantesco che i ricercatori ci camminavano letteralmente dentro.

Esso espletava tre funzioni principali: riceveva dati dai vari radar di rilevazione e puntamento; interpretava i dati relativi ai voli non identificati; puntava armi di difesa contro nemici in avvicinamento.

Sage era solo “semi-automatico” perché l’operatore umano rimaneva una parte rilevante del sistema. Come il suo predecessore Sage era un sistema real-time e interattivo. Gli operatori comunicavano con il computer attraverso monitor, tastiere, interruttori e piccoli dispositivi di puntamento ottenendo risposte dopo pochi secondi.

Licklider era allora professore di psicologia sperimentale all’MIT e lavorava all’interazione degli operatori con la console radar del SAGE.

L’interattività dei computer del SAGE colpì molto Licklider.

Egli immaginò che questa interattività potesse rappresentare un formidabile strumento per aiutare le persone a prendere delle decisioni in qualunque campo.

Fino ad allora infatti l’elaborazione era di tipo *batch*, i programmi insieme ai dati erano forniti nella forma di un pacco di schede perforate ai computer che li elaboravano fornendo i risultati solo molto tempo dopo.

Questo comportava che ogni minimo errore o modifica significava ripartire da zero.

L’interazione in tempo reale invece consentiva di apportare modifiche e visualizzare i risultati immediatamente permettendo di concentrarsi più sui problemi che non su compiti “meccanici” del tipo di assicurarsi che i dati fossero nel formato giusto, eseguire stampe, etc...

Quando fu chiamato a dirigere l’IPTO il suo lavoro si diresse proprio nel campo delle ricerche sull’interattività.

Egli mise insieme una squadra di formidabili ricercatori che chiamò Rete Informatica Intergalattica (Intergalactic Computer Network); dalle loro ricerche sono derivate molte delle attuali tecnologie alla base dell’interfaccia grafica, dell’intelligenza artificiale, del mouse, dei sistemi condivisi.



J.Licklider

Il primo progetto di Licklider fu il Progetto MAC in cui vennero sviluppati i primi sistemi *time-sharing* nei quali gli utenti erano connessi con i computer(chiamati *mainframes*) attraverso dei terminali remoti e ne condividevano il tempo di esecuzione.

Il computer eseguiva i programmi dei vari utenti in rapida rotazione dando all’utente la sensazione di lavorare con un proprio computer in “real-time”.

E’ difficile farsi un’idea di quanto visionarie fossero le idee di Licklider all’epoca

Licklider intravide il problema insito nel fatto che tutti i computer dislocati presso i differenti centri di ricerca fossero reciprocamente incompatibili. La comunità di ricerca dell'ARPA rischiava di trasformarsi in una Torre di Babele high-tech e tale tendenza era senza dubbio favorita dalle enormi distanze geografiche che li separavano.

Licklider pensò che fosse necessario collegare tra di loro i vari centri e che i vari computer dislocati per gli USA parlassero un linguaggio comune, ma la tecnologia dell'epoca non era ancora pronta per un passo simile.

Non lo era neanche per il suo successore Ivan Sutherland.

La sua visione di una "simbiosi tra uomo e computer" avrebbe lasciato un'impronta indelebile sul lavoro dell'IPTO e sullo sviluppo della nascente disciplina informatica.

Quando Licklider lasciò l'A.R.P.A. nel 1964 era riuscito a spostare l'obiettivo dell'agenzia: dal campo delle ricerche informatiche per sistemi di comando da guerre stellari a luogo di ricerche avanzate sui sistemi condivisi, grafica computerizzata e migliori linguaggi informatici.

Problemi di comunicazione

Dal 1958 al 1965, l'attenzione dell'agenzia fu diretta a quelli che erano considerati obbiettivi prioritari, quali: la conquista dello spazio, la difesa contro i missili balistici e il rilevamento di test nucleari.

Quando nel 1960 la [NASA](#) le subentrò nella gestione dei programmi spaziali civili e le forze armate in quelli militari, l'ARPA assunse il controllo di tutte le ricerche scientifiche a lungo termine in campo militare.

Verso il [1965](#) l'ARPA iniziò ad avere dei seri problemi di gestione: aveva diversi computer sparsi in varie sedi (tutti molto costosi) che non potevano parlarsi: non avrebbero potuto farlo nemmeno se fossero stati nella stessa stanza. Scambiare file fra loro era quasi impossibile, per via dei formati di archiviazione completamente diversi (e proprietari) che ognuno di essi usava, quindi era necessario molto tempo e molto lavoro per passare dati fra i vari computer, per non parlare dello sforzo necessario per portare e adattare i programmi da un computer all'altro.

Inoltre vi erano continue richieste di fondi per acquistare computer più potenti. Come se non bastasse spesso i ricercatori utilizzavano queste alquanto dispendiose risorse computazionali, messe a loro esclusivo beneficio, per condurre le medesime ricerche.

[Bob Taylor](#), allora direttore della divisione informatica dell'ARPA l'IPTO, si rese presto conto della necessità di affrontare il problema in modo radicale.

Nel suo ufficio infatti erano state installate tre telescriventi collegate ai maggiori centri di ricerca finanziati dall'ARPA.

Ogni terminale nell'ufficio di Taylor era un'estensione di un'ambiente informatico differente: differenti linguaggi di programmazione, differenti sistemi operativi, etc... all'interno di ciascun mainframe remoto.

Bob Taylor



Ognuno di essi aveva una procedura di accesso differente. Taylor le conosceva tutte, ma trovava seccante dover ricordare quale procedura di collegamento utilizzare su quale computer. Ed era ancora più scomodo dover ricordare, una volta effettuato l'accesso, i comandi specifici per ogni ambiente.

Tutta la procedura si rivelava insomma molto seccante specie quando aveva fretta, senza contare che avere l'ufficio riempito di macchine non era molto piacevole.

Diventò ovvia la necessità di trovare un modo per collegare tutte queste macchine tra loro ad un unico terminale remoto.

Nel [1966](#) parlò con [Charlie Herzfeld](#), l'allora direttore dell'ARPA, e ottenne uno stanziamento di un milione di dollari per il progetto ARPANET.

Ottenere i fondi necessari non fu difficile in quanto Herzfeld era un vecchio amico di Licklider e comprendeva molto bene la necessità e i vantaggi che potevano derivare dall'interconnessione dei vari computer.

L'obiettivo del progetto era quello di collegare i computer sparsi per nei vari dipartimenti e centri di ricerca finanziati dall'ARPA affinché potessero condividere il tempo di esecuzione dei propri mainframe(*time-sharing*) e i risultati delle ricerche effettuate.

Taylor si mise dunque alla ricerca di qualcuno che fosse in grado di realizzare il suo progetto.

La sua scelta ricadde su Larry Roberts, un giovane ricercatore informatico impiegato presso l'*MIT Lincon Laboratory*.

Lawrence Roberts

Roberts, infatti, non solo era noto per le sue capacità di management, ma aveva maturato anche un' certa esperienza nel campo delle reti, cosa non comune a quei tempi.

Un anno prima infatti era stato coinvolto in un progetto volto a connettere il TX-2 del Lincon Lab con il Q-32 dell'SDC a Santa Monica.

Sebbene la scala del progetto fosse molto minore rispetto ad ARPANET, il progetto concluso con successo, nonostante i lunghi tempi di risposta e la scarsa affidabilità della connessione, rappresentava comunque un primo importante passo verso il tipo di rete che Taylor ambiva a realizzare.



Lawrence Roberts

Roberts non era d'accordo a lasciare il Lincon Lab per l'ARPA. Taylor, non dissuaso dai rifiuti di Roberts e consapevole del fatto che l'ARPA gestiva il 51 per cento dei fondi di ricerca del Lincon Laboratory, si recò dal direttore dell'ARPA Herzfeld chiedendogli di esercitare pressioni sul direttore del Lincon Lab affinché Roberts accettasse l'incarico. Roberts, finì per cedere alle pressioni e assunse all'età di appena 29 anni l'incarico di direttore del progetto ARPANET.

Nell'aprile del 1967 Roberts aveva organizzato un meeting ad Ann Arbor nel Michigan riservato ai ricercatori sovvenzionati dall'ARPA sul tema della progettazione di reti.

Durante il convegno egli espose i propri piani: intendeva connettere tutti i computer finanziati dall'ARPA attraverso linee telefoniche. Le funzioni necessarie per il funzionamento della rete sarebbero state espletate dai singoli computer host.

L'idea non fu accolta con favore dai ricercatori presenti che non intendevano sprecare preziose risorse di calcolo per la gestione della rete e inoltre non vedevano quali benefici avrebbero potuto ricavare dal condividere le proprie risorse con altri ricercatori.

Molti di essi inoltre si affrettarono a mettere in evidenza gli innumerevoli ostacoli che si sarebbero dovuti superare per mettere in comunicazione macchine con linguaggi e sistemi operativi incompatibili.

Verso la fine del meeting un uomo di nome Wesley Clark, suggerì che il compito di mettere in comunicazione i singoli host fosse affidato a dei piccoli computer che avrebbero svolto le funzioni di gateway verso la rete. Questi computer che Roberts chiamò in seguito IMP (*Interface Message Processor*) sarebbero stati sotto il controllo dell'ARPA e avrebbero parlato la stessa lingua. Il problema si sarebbe ridotto a fare in modo che i vari host comunicassero con gli IMP.

Dopo lo scetticismo iniziale, Roberts sposò l'idea e presentò un articolo generico sull'argomento ad un simposio. Con sorpresa di Roberts, un altro articolo presentato

durante la conferenza descriveva un sistema analogo che non solo era stato progettato, ma persino costruito sotto la direzione di Donald Davies al National Physical Laboratory in Gran Bretagna. Il sistema NPL non era a livello nazionale (connetteva solo alcuni computer nel campus di NPL), ma dimostrava che la tecnologia a commutazione di pacchetto poteva funzionare e inoltre citava il lavoro precedente di Baran.

Anche Davies aveva cercato inutilmente di convincere il General Post Office a costruire una rete nazionale che se fosse stata realizzata avrebbe preceduto quella realizzata dall'ARPA, ma i dirigenti del GPO avevano chiaramente risposto di non essere interessati alla cosa.

ARPANET

ARPANET dunque è soltanto un programma minore uscito da uno dei dipartimenti dell'ARPA, l' IPTO, insediato nel 1962 sulla base di un'unità preesistente.

Lo scopo di questo dipartimento, così come è stato definito dal suo primo direttore, Joseph Licklider, uno psicologo trasformatosi in scienziato informatico al Massachusetts Institute of Technology (MIT), era quello di stimolare la ricerca sull'utilizzo interattivo del computer.

Come parte di questo sforzo, **la costruzione di ARPANET serviva a condividere online il tempo di utilizzazione dei computer tra i diversi centri di elaborazione dati e i gruppi di ricerca che lavoravano per l'agenzia.**

La subnet sarebbe stata composta da minicomputer chiamati IMP (Interface Message Processors) collegati da linee di trasmissione a 56 kbps. Per raggiungere un'alta affidabilità ogni IMP doveva essere collegato ad almeno due altre IMP; la subnet era basata sui datagrammi, così in caso di distruzione di alcune linee e IMP i messaggi sarebbero stati automaticamente instradati su percorsi alternativi.

Ogni nodo della rete doveva consistere in un IMP e un host, posti nella stessa stanza e collegati da un corto cavo. Un host avrebbe potuto mandare messaggi con lunghezza massima di 8.063 bit al suo IMP, che li avrebbe suddivisi in pacchetti di massimo 1.008 bit per inoltrarli indipendentemente verso la destinazione. Ogni pacchetto sarebbe stato integralmente ricevuto prima dell'inoltro, quindi la subnet fu la prima rete a commutazione di pacchetto del tipo *store-and-forward*.

ARPA preparò una gara d'appalto per costruire la subnet, a cui parteciparono 12 società. Dopo aver valutato tutte le proposte, ARPA scelse BBN, una società di consulenza di Cambridge, Massachusetts, una società di ingegneria acustica di Boston convertita all'[informatica](#) applicata e nel dicembre 1968 le assegnò l'appalto per costruire la subnet e scrivere il relativo software. BBN scelse come IMP dei minicomputer Honeywell DDP-

316 appositamente modificati. Le IMP erano collegate da linee affittate a 56 kbps, che all'epoca erano quanto di meglio la tecnologia poteva proporre.

Il software fu diviso in due parti: subnet e host. Il software della subnet era composto dalla parte lato IMP della connessione tra IMP e host, dal protocollo IMP-IMP e da un protocollo da IMP sorgente a IMP destinazione progettato per migliorare l'affidabilità. Il progetto originale di ARPANET è mostrato nella Figura 1.26.

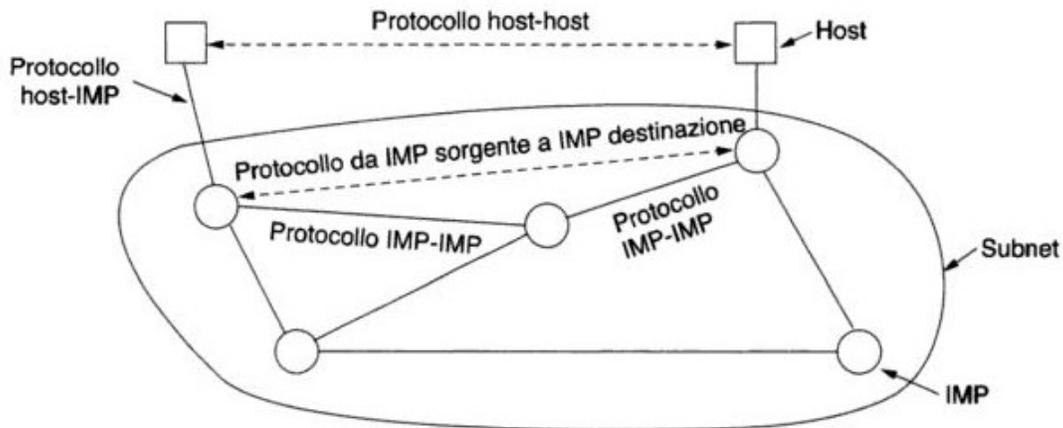


Figura 1.26. Il progetto originale di ARPANET.

Così, nell'ottobre [1969 Leonard Kleinrock](#), titolare del laboratorio della UCLA, fu incaricato di creare **il primo collegamento telefonico da computer a computer fra l'Università della California di Los Angeles e lo Stanford Research Institute**, che furono così i primi due nodi di [Internet](#): la prima applicazione che abbia mai funzionato su internet fu una sessione [Telnet](#).

Nel dicembre 1969 si aggiunsero alla connessione l'università di [Santa Barbara](#) e dello [Utah](#), rispettivamente il terzo e quarto nodo. Il quinto nodo fu la BBN. Nell'estate del [1970](#) vennero collegati il sesto, settimo, l'ottavo e il nono nodo: rispettivamente il [MIT](#), la Rand Corporation, la System Development Corporation e [Harvard](#). Un ulteriore passo nello sviluppo di ARPANET fu quello di collegarla ad altri network, PRNET e SATNET, reti di comunicazione gestite da ARPA: alla fine del [1971](#) Internet era composta di 15 nodi, e alla fine del 1972 aveva 37 nodi. Fin da allora la sua crescita avveniva a velocità esponenziale. La figura 1.27 mostra la velocità di crescita di ARPANET nei primi 3 anni.

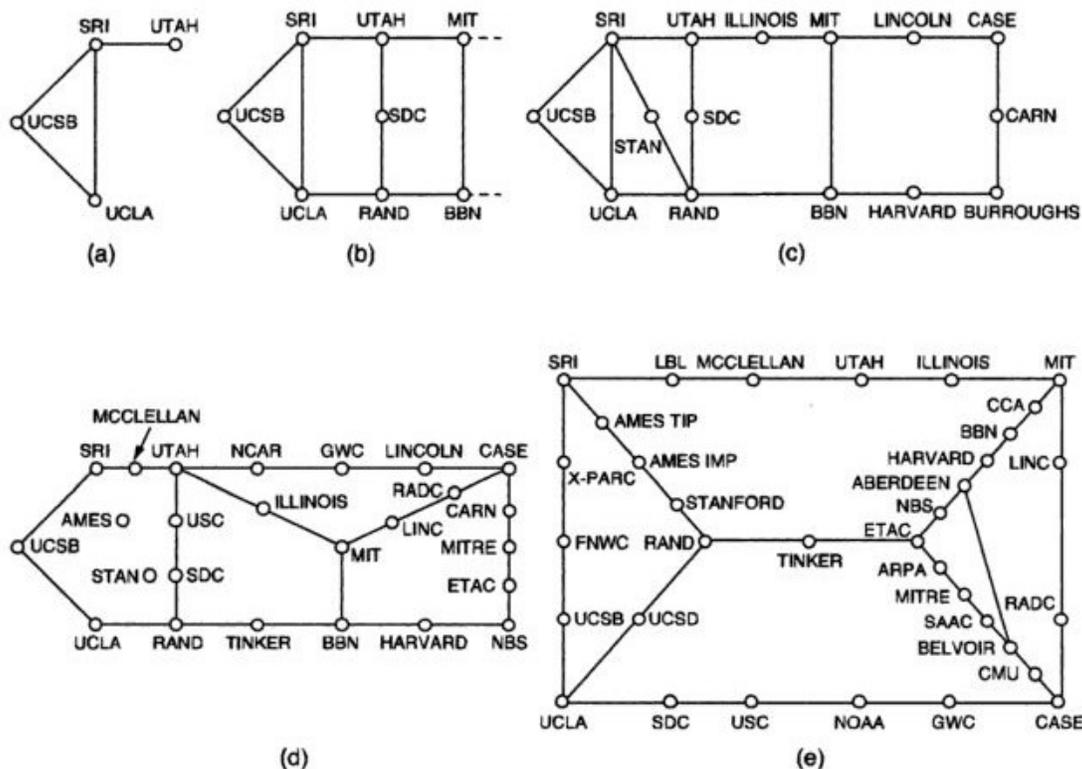


Figura 1.27. Crescita di ARPANET. (a) Dicembre 1969. (b) Luglio 1970. (c) Marzo 1971. (d) Aprile 1972. (e) Settembre 1972.

Lo sviluppo di ARPANET mise presto in evidenza i limiti dei protocolli utilizzati fino ad allora. In particolare il protocollo utilizzato l’NCP assumeva che i pacchetti sarebbero arrivati in sequenza cosa che invece non poteva essere assolutamente garantita nel caso di collegamenti satellitari o radio. Affinché la rete potesse continuare ad estendersi era necessario mettere a punto un protocollo in grado di permettere la comunicazione tra reti realizzate con tecnologie diverse e ognuna con i propri protocolli. Occorreva un protocollo di inter-rete, necessario per far transitare i pacchetti da un rete all’altra.

L’idea fu quella di incapsulare i pacchetti all’interno di *datagrams*, che dovevano svolgere una funzione simile a quella delle buste per lettera.

Il contenuto e il formato della lettera è influente ai fini della consegna. I dati riportati sulla busta al contrario seguono un preciso standard.

Questo portò nel **1973 Robert Kahn**, di ARPA, e **Vinton Cerf**, della [Stanford University](#), a mettere a punto il protocollo **Transport Control Protocol (TCP)** come protocollo *end-to-end*.

Nel **1978 Cerf, Postel e Crocker suddivisero il TCP in due parti**: la parte responsabile dell’instradamento venne denominata **Internet Protocol (IP)**, mentre la seconda si occupava della segmentazione dei messaggi in datagrams, del loro riassetto, del rilevamento degli errori di trasmissione, del loro ordinamento e della rispeditura dei pacchetti persi (TCP). Il protocollo IP che corrisponde al protocollo del livello di rete del

modello OSI è un protocollo **non orientato alla connessione**, laddove invece il **TCP è un protocollo end-to-end orientato alla connessione**. Ancora oggi Internet, opera sulla base di questi due protocolli che hanno avuto un ruolo determinante nella sua affermazione e diffusione su scala mondiale.



Vint Cerf e Robert Kahn

Nel 1975 ARPANET è stata trasferita alla Defense Communication Agency (DCA). Al fine di rendere disponibile la comunicazione via computer a differenti settori delle forze armate, la DCA ha realizzato una connessione tra le varie reti sotto il suo controllo: il Defense Data Network, con protocolli TCP/IP.

Nel 1983 il dipartimento della Difesa, preoccupato per possibili buchi nella sicurezza, ha creato una rete MILNET separata per specifici impieghi militari. ARPANET è diventata ARPA-INTERNET, dedicata alla ricerca.

Nel febbraio 1990 ARPANET, ormai tecnologicamente obsoleta, è stata smantellata. In seguito, avendo liberato Internet dal suo ambiente militare, il governo statunitense ne ha affidato il controllo alla National Science Foundation e al suo management. Ma è stata una fase di breve durata.

Ormai la tecnologia informatica del networking era di dominio pubblico e le telecomunicazioni in piena deregolamentazione. Così, la NSF ha rapidamente avviato la privatizzazione di Internet. Il dipartimento della Difesa aveva deciso in precedenza di commercializzare la tecnologia di Internet, finanziando negli anni ottanta i produttori di computer statunitensi affinché introducessero il TCP/IP nei loro protocolli.

NSFNET

Nei tardi anni '70 l'organismo statunitense NSF (*National Science Foundation*) vide l'enorme impatto che ARPANET aveva sulla ricerca universitaria, permettendo a scienziati di tutto il paese di condividere i dati e collaborare a progetti di ricerca.

Tuttavia per collegarsi ad ARPANET un'università doveva avere un contratto di ricerca aperto con il ministero della difesa, e molte non lo avevano. NSF reagì a questa situazione progettando un successore di ARPANET aperto a tutti i gruppi di ricerca universitari.

Per partire da qualcosa di concreto, NSF decise di costruire una rete backbone per collegare i suoi sei centri (che ospitavano supercomputer) di San Diego, Boulder, Champaign, Pittsburg, Ithaca e Princeton.

A ogni supercomputer fu affiancato un fratellino, rappresentato da un microcomputer LSI-11 chiamato *fuzzball*. I *fuzzball* erano collegati tra loro con linee affittate a 56 kbps formando una subnet, con la stessa tecnologia hardware usata da ARPANET. La tecnologia software era invece differente: i *fuzzball* usarono sin dall'inizio TCPI/IP, costituendo così la prima WAN.

NSF finanziò anche circa 20 reti regionali che si collegavano al backbone per consentire agli utenti di migliaia di università, centri di ricerca, biblioteche e musei l'accesso ai supercomputer, oltre che permettere la comunicazione reciproca.

L'intera rete composta da backbone e reti regionali, fu chiamata NSFNET.

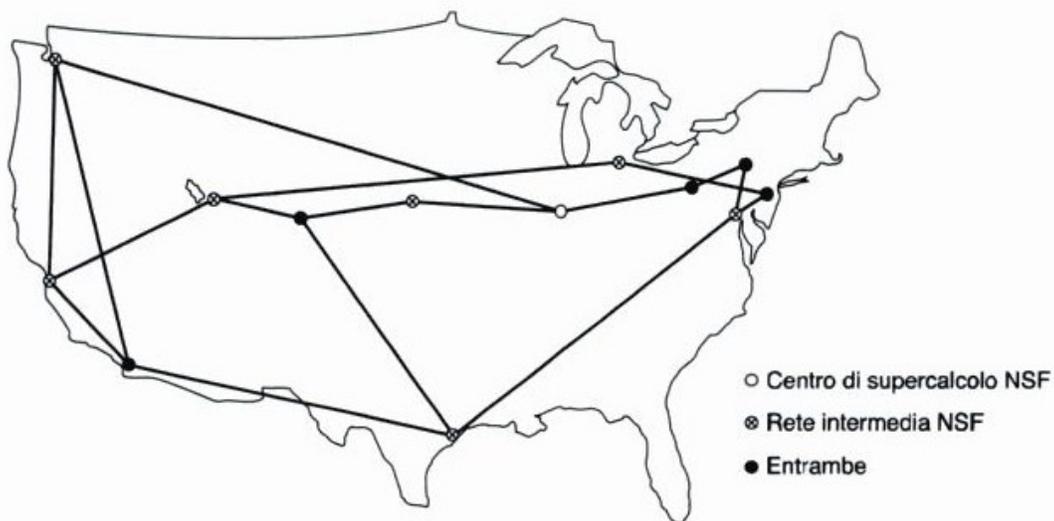


Figura 1.28. Il backbone NSFNET nel 1988.

Con il proseguire della crescita NSF si rese conto che il governo non poteva finanziare le reti per sempre; inoltre avrebbero voluto collegarsi anche organizzazioni commerciali, ma non potevano farlo perché le regole di NSF vietavano l'uso della rete per attività estranee a quelle di ricerca, educative e naturalmente militari.

Per questi motivi NSF incoraggiò MERIT, MCI e IBM a formare la società non-profit ANS (*Advanced Networks and Services*) come primo passo verso la commercializzazione.

Nel 1995 NSFNET è stata chiusa, spalancando le porte alla privatizzazione di Internet.

Durante gli anni '90 molti altri paesi costruirono reti nazionali per la ricerca, spesso seguendo il modello di ARPANET e NSFNET. In Europa erano operative EUNET ed EBONE, che iniziarono con linee da 2 Mbps poi aggiornate a 34 Mbps. Anche l'infrastruttura di rete europea fu in seguito ceduta all'industria.

INTERNET

Il numero di reti, computer e utenti collegati ad ARPANET crebbe velocemente dopo il **primo gennaio 1983, quando TCP/IP divenne l'unico standard ufficiale**. Quando NSFNET e ARPANET furono interconnesse la crescita divenne esponenziale, si unirono molte reti regionali e furono creati collegamenti internazionali verso reti in Canada, Europa e Pacifico.

Verso la metà degli anni '80, alcuni iniziarono a vedere l'insieme di reti come una “internet”, che più tardi venne considerata l' *Internet* per eccellenza; tuttavia non ci fu nessuna cerimonia d'inaugurazione con bottiglia di champagne mandata a infrangersi contro un *fuzzball* da qualche politico.

La colla che tiene insieme Internet è formata dalla suite di protocolli TCP/IP.

Che cosa significa realmente essere su Internet? Un computer è su Internet se esegue la pila di protocolli TCP/IP, ha un indirizzo IP, e può spedire pacchetti IP a tutti gli altri computer su Internet.

Al giorno d'oggi, milioni di personal computer possono chiamare un Internet Service Provider usando un modem, ricevere un indirizzo IP temporaneo e mandare pacchetti IP ad altri host Internet. Questi computer dunque “sono su Internet” solo per il periodo di tempo in cui risultano connessi.

Architettura di Internet

In questo paragrafo faremo un breve riepilogo dell'aspetto attuale di Internet. In seguito alle molte fusioni tra società telefoniche e ISP, le acque si sono intorpidite e diventa difficile capire chi fa cosa, per questo motivo la descrizione sarà per forza di cose semplicistica.

Lo schema di massima è mostrato nella Figura 1.29.

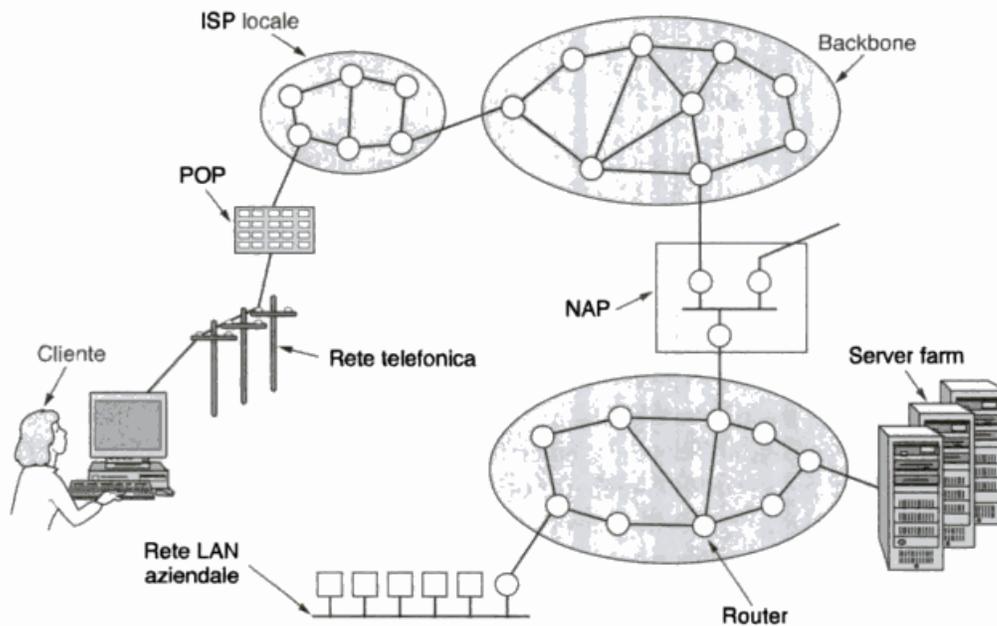


Figura 1.29. Schema di Internet.

Iniziamo dall'abitazione di un utente; per semplicità supponiamo che i nostri utenti chiamino il proprio ISP attraverso una comune linea telefonica, come è mostrato nella Figura 1.29.11.

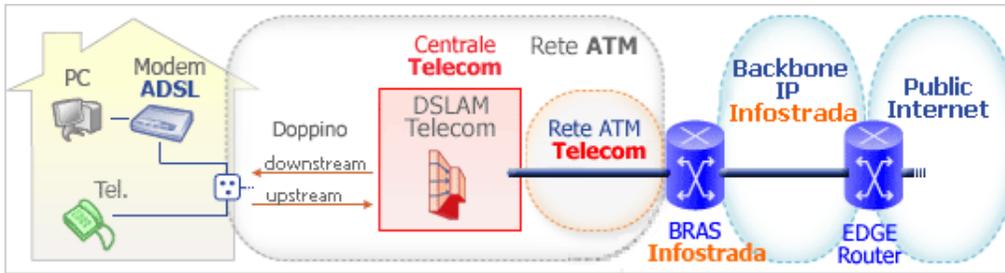
Il modem converte i segnali digitali prodotti dal computer in segnali analogici o digitali compatibili con le capacità di trasmissione della rete telefonica. Questi segnali giungono fino al POP (Point of Presence) dell'ISP, dove sono estratti dalla rete telefonica e inseriti nella rete regionale dell'ISP. L'utente può essere a sua volta parte di una LAN più o meno estesa e il modem può essere interno al router che funge da gateway verso Internet.

Il traffico proveniente da diverse connessioni e diversi tipi di servizio (telefonia, video, computer) viene "multiplexato" su di una connessione ad elevata velocità che connette il POP alla rete dell'ISP.

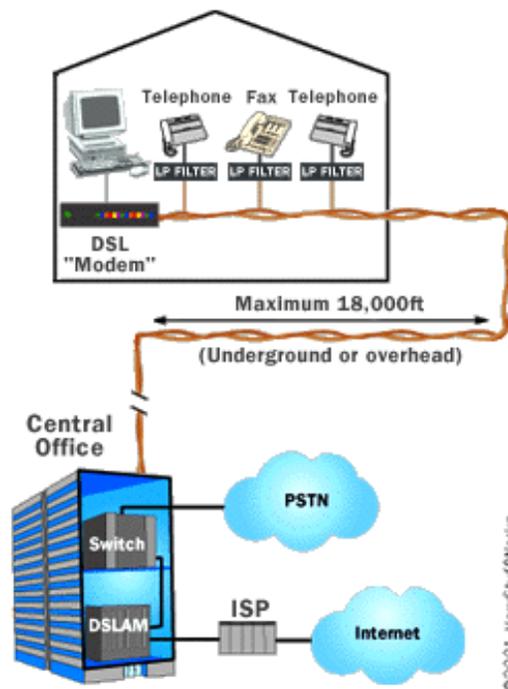
Se l'ISP è la compagnia telefonica locale, allora il POP sarà probabilmente installato presso la stessa centrale telefonica dove termina il cavo che arriva al cliente (questo tragitto è spesso indicato come *last mile* ovvero ultimo miglio). Se l'ISP non è la compagnia telefonica tale punto potrebbe essere spostato più a valle.

La rete regionale è composta da router interconnessi nelle città servite dall'ISP.

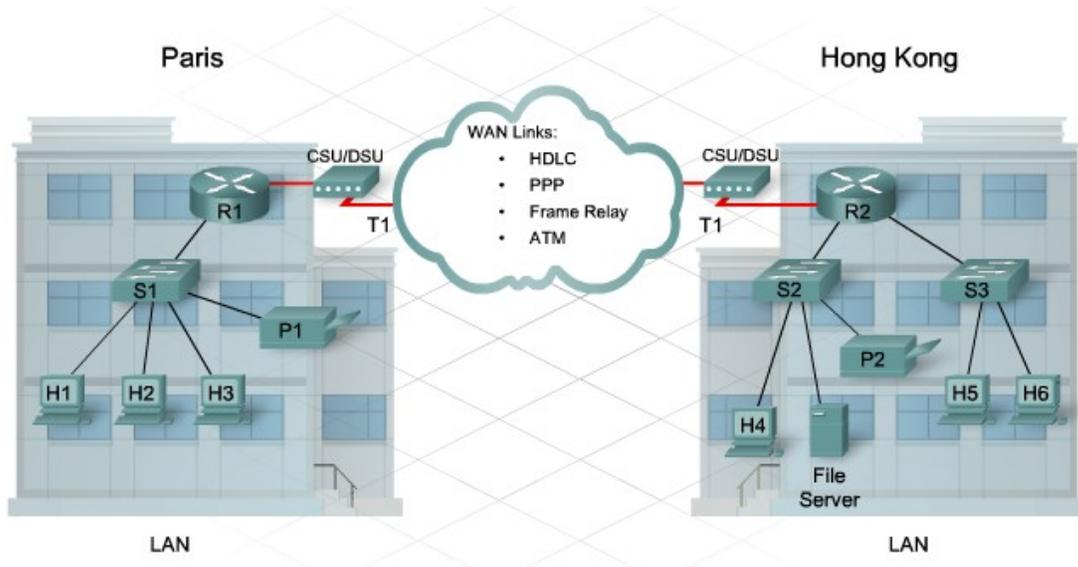
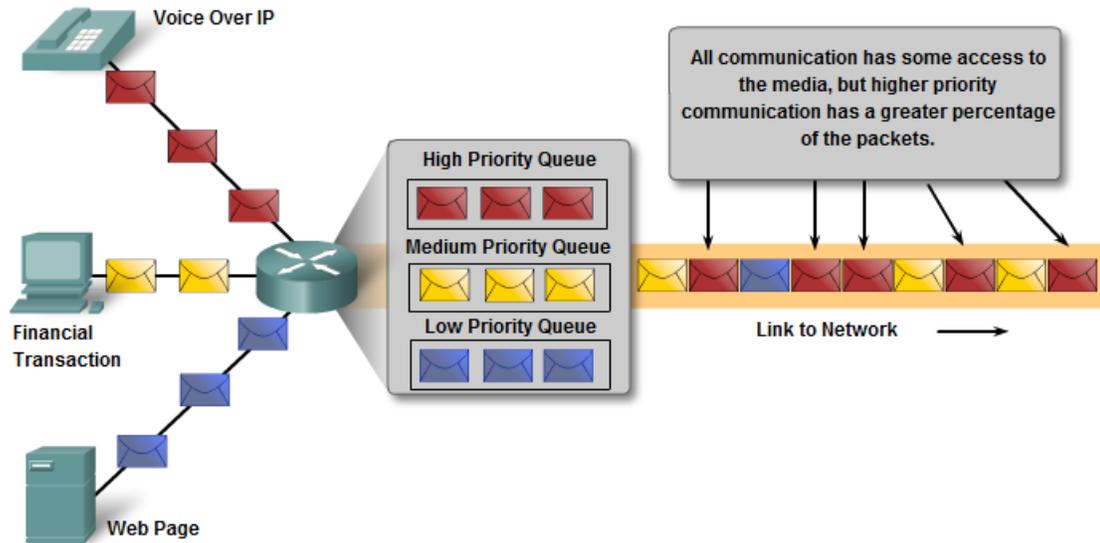
Un esempio a questo riguardo è la rete di Infostrada.



Il traffico per Infostrada arriva alla centrale telefonica che ospita una DSLAM che si occupa della multiplazione su di un'unica connessione ad alta velocità ad esempio di tipo ATM o GigabitEthernet.

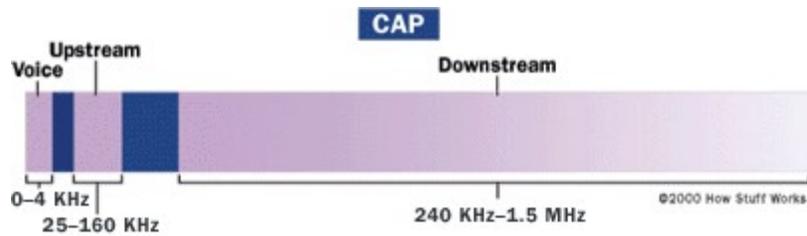


Using Queues to Prioritize Communication

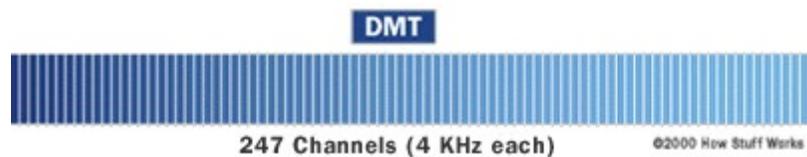


La DSLAM è in grado di gestire differenti tipi di traffico lungo le linee telefoniche. I due standard principali di trasmissione sono CAP e DMT.

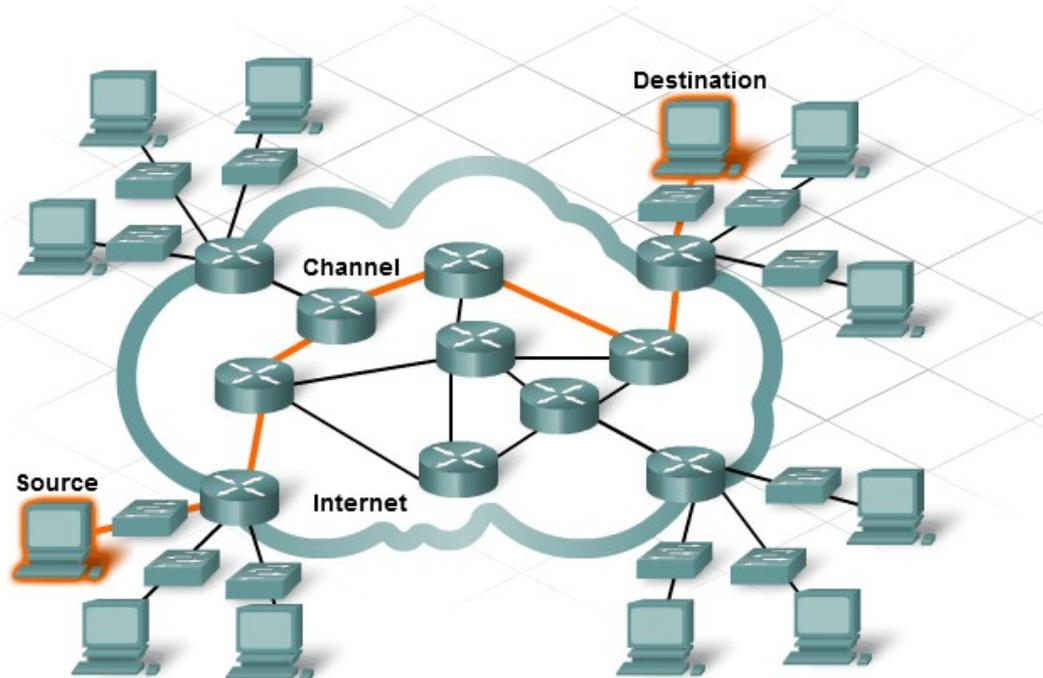
Nel primo vi è una banda riservata per l'upstream (flusso di dati in uscita) e il downstream, non vi sono interferenze tra i due canali perché le bande di frequenze sono nettamente distinte e separate, è semplice da implementare, ma non sfrutta a pieno la banda disponibile.



Al contrario il DMT, divide la banda in canali adiacenti molto piccoli e trasmette o riceve a seconda dei casi in un certo numero di questi, quelli affetti da meno rumore. Questa connessione era in precedenza affittata da Telecom ed è stata sufficientemente sostituita con una proprietaria.



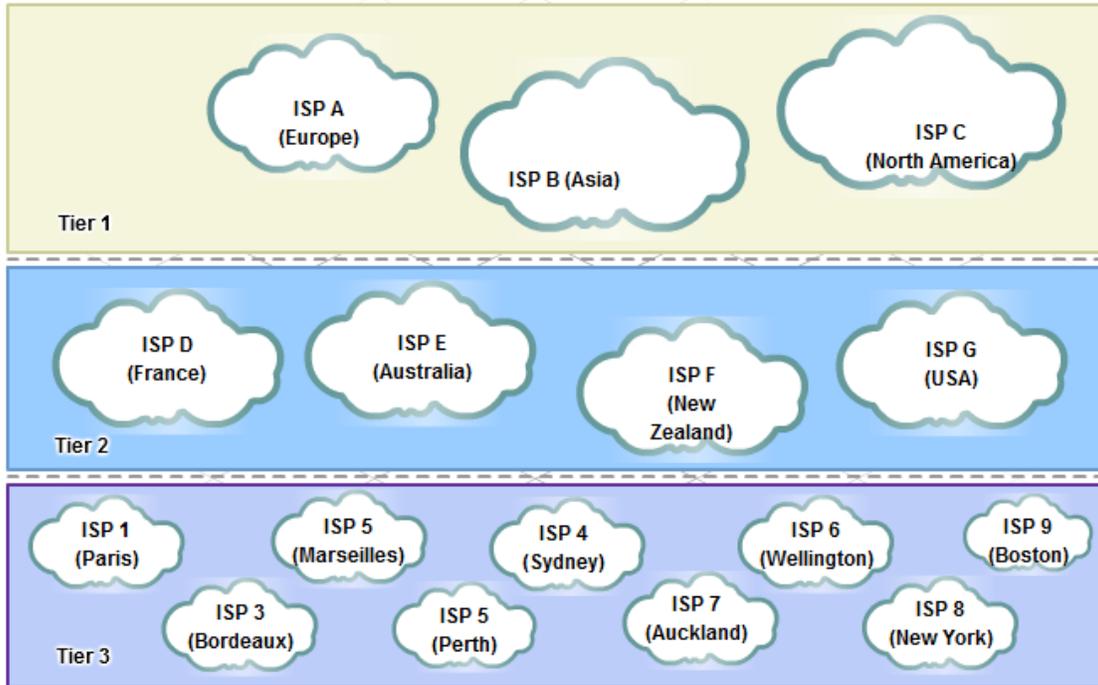
ATM è un protocollo orientato alla connessione che si occupa di trasferire dati di diversa origine ed è particolarmente diffuso nell'ambito delle telecomunicazioni anche se è insidiato da Gigabit Ethernet.



Il pacchetto è subito consegnato se è destinato ad un host servito direttamente dal provider altrimenti è inoltrato sulla rete dell'operatore di backbone(dorsale).

I servizi forniti dal provider, come l'e-mail sono forniti da un centro operativo dell' ISP indicato con la sigla NOC(*Network Operations Center*).

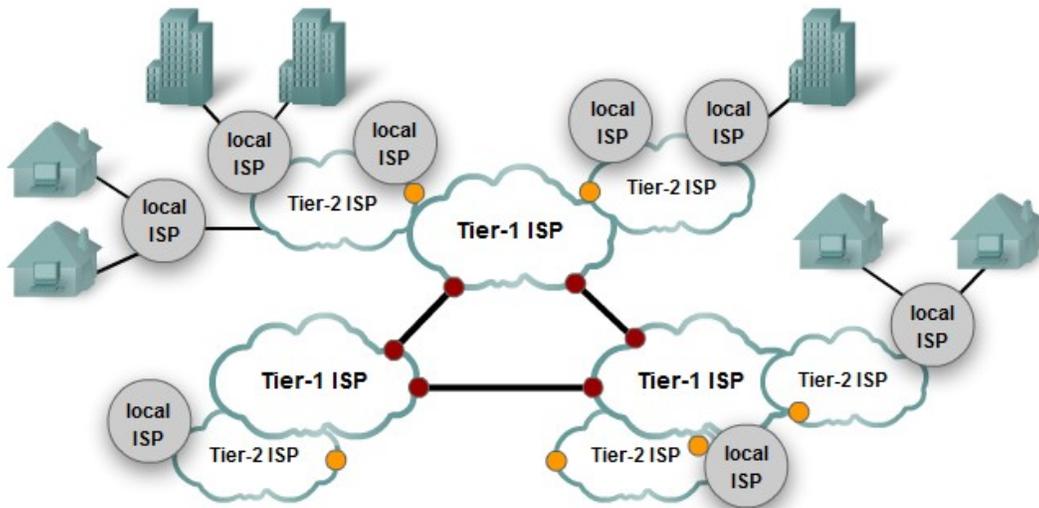
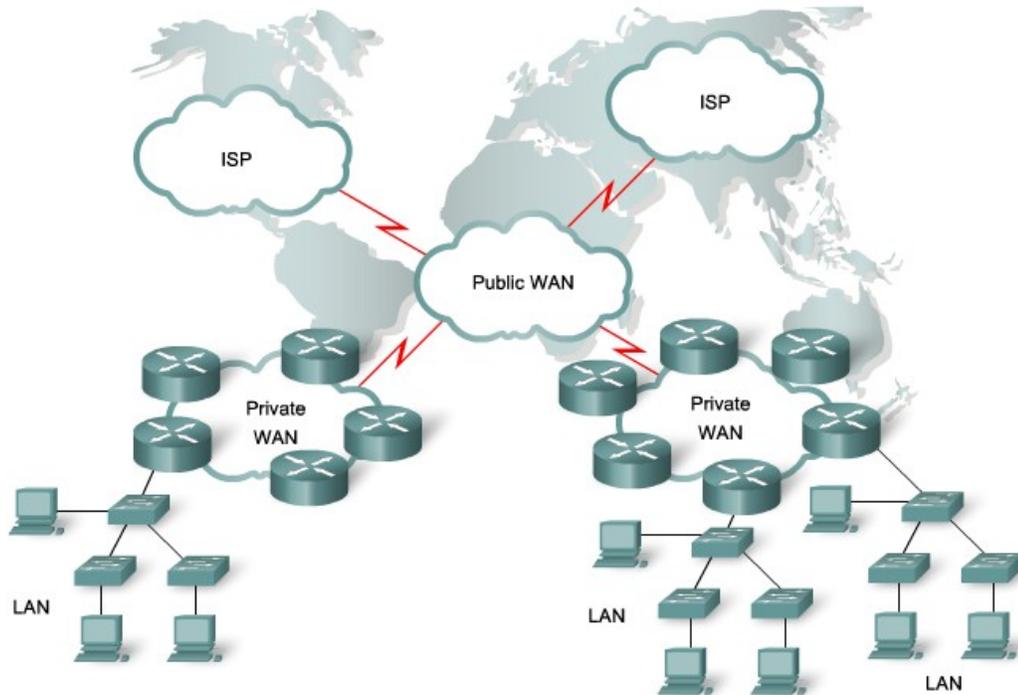
Al livello più alto di questa catena vi sono i più grandi operatori di backbone al livello mondiale come AT&T e Sprint che gestiscono grandi reti backbone internazionali con migliaia di router collegati da fibre ottiche a larga banda.



Le grandi aziende e quelle che offrono servizi di hosting gestendo server farm(sale con macchine che servono migliaia di pagine web al secondo) spesso si collegano direttamente al backbone.

Le vari dorsali(che appartengono a società diverse e concorrenti) sono connesse tra di loro attraverso i NAP(*Network Access Point*) o IXP(*Internet Exchange Point*). In pratica un NAP è una sala piena di router almeno uno per ogni backbone.

Una LAN installata nella sala collega tra di loro tutti i router, permettendo di inoltrare un pacchetto da un backbone all'altro.



Oltre ai punti di collegamento con i NAP i backbone hanno molte connessioni con i propri router, una tecnica chiamata *private peering*.

