

1 Introduzione

Nel corso del ventesimo secolo la tecnologia chiave é stata la raccolta, l'elaborazione e la distribuzione dell'informazione. Alcuni principali sviluppi a cui abbiamo assistito sono la costruzione di una rete telefonica mondiale, l'invenzione della radio e della televisione, la nascita e la crescita senza precedenti dell'industria informatica, il lancio dei satelliti per le telecomunicazioni e l'avvento di Internet.

Benché l'industria informatica sia ancora giovane a confronto di altre, come quelle automobilistica e dei trasporti aerei, i computer hanno compiuto progressi spettacolari in breve tempo.

Nei primi due decenni della loro esistenza i sistemi informatici erano altamente centralizzati; una azienda di medie dimensioni o un'università potevano disporre di uno o due computer, mentre le grandi istituzioni ne possedevano al massimo una dozzina.

Il concetto un tempo dominante di *centro di calcolo* come una stanza con un grande computer dove gli utenti portavano il loro lavoro per l'elaborazione oggi é completamente superato, sostituito da un modello in cui il lavoro é svolto da un gran numero di computer distinti, ma connessi. Questi sistemi sono chiamati **reti di calcolatori**.

Per reti di calcolatori si intende un insieme di computer autonomi connessi ad una singola tecnologia. Due computer si dicono connessi quando sono in grado di scambiare informazioni.

Le reti hanno dimensioni, topologie e caratteristiche differenti e vengono solitamente connesse fra di loro per formare reti più grandi fino ad arrivare ad **Internet** che é il più famoso esempio di reti di reti.

Sistemi Distribuiti Un sistema distribuito é un insieme di computer, indipendenti tra di loro, che appare all'utente come un singolo sistema coerente, presentato solitamente a livello software (**middleware**). L'esempio più classico é il **World Wide Web**.

Reti di Calcolatori Una rete di calcolatori é un insieme di computer ma dal punto di vista utente percepiti come macchine effettive, con hardware e sistemi operativi differenti. Per l'utilizzo di un particolare applicativo é necessario individuare la macchina su cui risiede, connettersi ad essa e solo a quel punto eseguirlo.

1.1 Applicazioni Aziendali

L'uso principale delle infrastrutture di rete a livello aziendale é la condivisione di risorse, programmi e periferiche senza doverne specificare l'ubicazione fisica. Un esempio ovvio é riguarda la necessità di condividere una stampante.

Si può immaginare il sistema informatico di un'azienda come formato da uno o più database e da un certo numero di impiegati che hanno bisogno di accedervi da remoto. In questo modello i dati sono memorizzati in computer ad alte prestazioni chiamati **server**, mentre gli impiegati dispongono di macchine più semplici chiamate **client**.

Questa configurazione **client-server**, é ampiamente utilizzata e rappresenta il punto di partenza di gran parte dell'utilizzo delle reti. L'utilizzo più noto é quella di **un'applicazione Web**, in cui il server genera dei contenuti in risposta ad una richiesta da parte del client.

Una variante di questo modello di accesso alle informazioni prende il nome di **peer-to-peer**, nel quale ogni entità può comunicare con qualsiasi altra entità all'interno del gruppo di computer, senza che ci sia una distinzione netta tra client e server. In questo caso non esiste alcun "database" centralizzato dei contenuti, invece ogni utente mantiene le informazioni in locale, permettendo agli altri utenti a lui noti che fanno parte del sistema di consultarle.

1.2 Applicazioni Domestiche

Il principale utilizzo di un personal computer nell'ambito domestico é l'accesso a Internet.

2 Astrazione di una Rete di Computers

Concettualmente una rete di computer può essere vista come un *Grafo*, da cui le seguenti definizioni:

Una rete di computer é un insieme di nodi e canali con lo scopo di fornire un collegamento tra due o piú punti per permettere la telecomunicazione tra essi.

Si definisce nodo un punto in cui avviene la commutazione o l'elaborazione dell'informazione.

Si definisce canale un mezzo di trasmissione oppure un collegamento logico, realizzato tramite diverse tecnologie di trasmissione.

Piú formalmente si definisce un grafo come:

$$G=(V,A)$$

dove

- $V :=$ insieme dei vertici o nodi della rete
- $A :=$ insieme degli archi o dei collegamenti/canali di comunicazione

Gli archi possono essere **non-diretti** o **diretti**, per permettere la comunicazione in uno o entrambi i sensi.

É possibile definire ulteriormente:

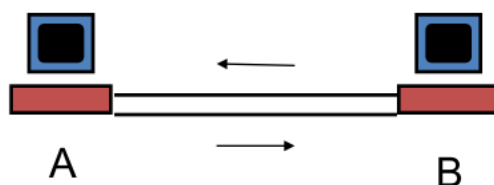
- $N := |V|$ come numero di vertici/nodi
- $C := |A|$ come numero di archi/canali

In Sintesi: L'astrazione di una rete di computer in un grafo ci aiuta nella progettazione e nell'analisi dei costi generali, ma per la costruzione pratica é necessario specificare: : *il tipo di collegamento* e *la scala*, ovvero come dovranno essere realizzati ogni collegamento dei nodi e le dimensioni finali della rete e di ogni collegamento.

3 Tipologia di Collegamenti

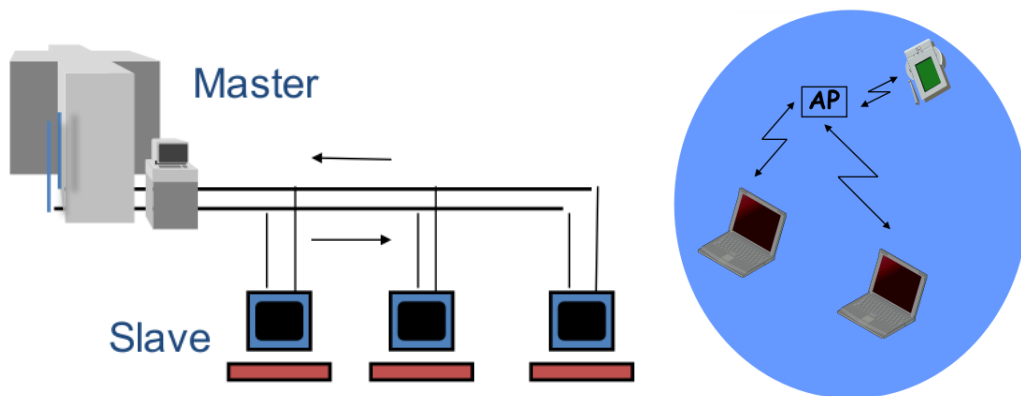
Di seguito sono riportati le vari modalità di collegamenti tra computer che si possono trovare in una rete di comunicazione.

3.1 Collegamenti Punto-Punto



I collegamenti Punto-Punto sono la forma più comune di collegamento in quanto connettono coppie di computer. Il collegamento può avvenire anche se prevede delle macchine intermedie. Nel caso in cui ci sia solo un trasmettitore e un ricevitore viene chiamata anche **unicast**.

3.2 Collegamenti Multi-Punto o Broadcast



Al contrario delle reti punto-punto, le reti multi-punto o broadcast hanno un solo canale di comunicazione condiviso da tutte le macchine della rete. I messaggi inviati da qualunque macchina sono ricevuti da tutte le altre. Un campo indirizzo all'interno del messaggio individua il destinatario. Se il messaggio è indirizzato alla macchina ricevente allora viene processato, altrimenti viene ignorato.

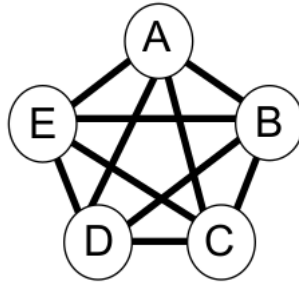
Un esempio di rete multi-punto è il bus di trasferimento dati usato in tutti i calcolatori: quando il processore inizia a trasmettere dati con una periferica (viste come computer sulla rete), le altre sentono il bus occupato e non iniziano una trasmissione a loro volta, ma solo quando il processore consente loro di farlo.

Un secondo esempio è la classica rete wireless, dove ci sono molti dispositivi con capacità di trasmettere e ricevere attraverso onde elettromagnetiche. In questo caso il mezzo di trasmissione condiviso è l'etere.

4 Topologia delle Reti

Come visto nella sezione 2, é possibile interpretare una rete di computer come un grafo. In questo modo nascono diverse topologie:

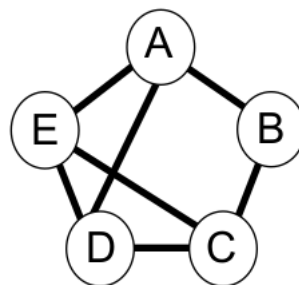
4.1 Maglia Completa



Questa topologia prevede che tutti i nodi siano collegati con tutti gli altri nodi, creando così una maglia di collegamenti, da cui il nome maglia completa.

- **Vantaggi:**
 - Alta tolleranza ai guasti, grazie a collegamenti ridondanti
 - Banali algoritmi per gestire l'inoltro dei messaggi
- **Svantaggi:**
 - L'alto numero di collegamenti la rende poco attuabile quando il numero di nodi inizia a crescere

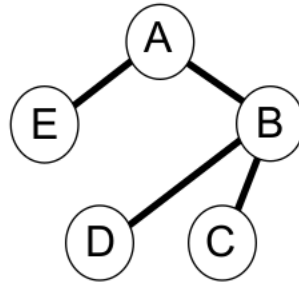
4.2 Maglia o Mesh



In questo caso abbiamo una topologia molto simile alla maglia completa ma si riducono il numero di collegamenti tra i nodi. É tutt'ora la base di Internet e del sistema telefonico.

- **Vantaggi:**
 - Costi contenuti grazie al numero di canali selezionabili a piacere
- **Svantaggi:**
 - Una più complessa gestione di inoltro dei messaggi

4.3 Albero



La topologia ad albero prevede che i nodi siano strutturati in modo gerarchico, identificando un nodo radice ed i suoi figli. Viene molto usata ancora oggi come topologia logica invece che fisica; questo porta il vantaggio di ragionare sulla topologia ad albero, ma in realtà l'effettiva rete fisica può essere una a maglia.

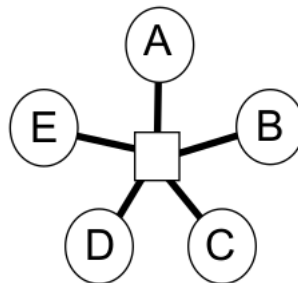
- **Vantaggi:**

- Costi contenuti causa il basso numero di canali
- Algoritmi di inoltro dei messaggi molto semplici

- **Svantaggi:**

- Alta vulnerabilità ai guasti, perché esiste un solo canale tra due nodi

4.4 Stella



La topologia a stella veniva molto usata agli albori delle reti di calcolatori, quando esisteva un grosso calcolatore aziendale che eseguiva i programmi degli utenti collegati tramite terminali.

Attualmente troviamo questa topologia tipicamente nelle reti domestiche, cellulari e satellitari.

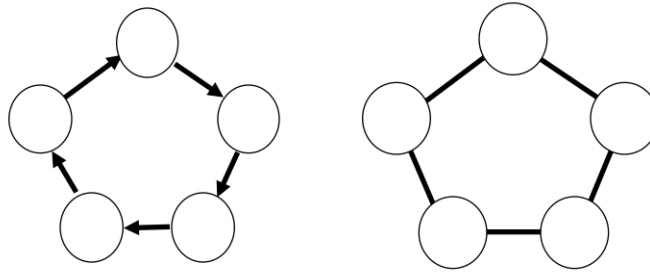
- **Vantaggi:**

- Basso numero di canali: uno per nodo
- Semplifica la stesura dei canali

- **Svantaggi:**

- Tutta la complessità dell'inoltro dei messaggi risiede nel centro stella, ogni nodo comunica solo col centro stella
- Vulnerabilità ai guasti del centro stella

4.5 Anello



La topologia ad anello veniva usata nelle prime reti locali e tutt'oggi nelle reti metropolitane. Il principio di funzionamento è molto semplice: si costruisce un anello unidirezionale o bidirezionale nel quale ogni nodo può comunicare solo col proprio successivo nell'anello.

Una tecnica costruttiva per aumentare la ridondanza di canali in questo tipo di topologia è quella di costruire più reti ad anello sovrapposti.

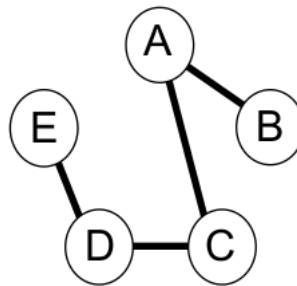
- **Vantaggi:**

- Tolleranza al guasto di un canale (anello bidirezionale)
- Inoltro dei messaggi molto semplice
- Basso numero di canali

- **Svantaggi:**

- Con anello unidirezionale in caso di guasti multipli possono rimanere isolati dei nodi

4.6 Bus



Questo tipo di topologia veniva usato nelle reti locali, quando il collegamento tra i nodi della rete era molto costoso. Ogni nodo veniva collegato ad un canale condiviso, detto bus, per permettere la comunicazione con tutta la rete.

- **Vantaggi:**

- Bassi costi di realizzazione: usa il numero minimo di canali
- Algoritmi di inoltro dei messaggi molto semplici: esiste un solo percorso tra due coppie di nodi

- **Svantaggi:**

- Bassissima tolleranza ai guasti

5 Protocollo

Dopo aver definito come una rete si formalizza con la teoria dei grafi (sezione 2) e come si realizzano i collegamenti (sezione 3) é necessario definire come le informazioni vengono effettivamente trasmesse. É necessario definire dei **protocolli di comunicazione** in modo da avere un insieme di regole comuni tra tutti i dispositivi di rete, al fine che l'informazione venga trasmessa e ricevuta correttamente.

5.1 Definizione

Un protocollo definisce il formato e l'ordine dei messaggi scambiati tra due o più entità in comunicazione, così come le azioni da intraprese in fase di trasmissione e/o ricezione di un messaggio o di un altro evento

Un'entità può essere formalizzata come un processo in esecuzione su un calcolatore che riesce a comunicare un messaggio tramite un determinato protocollo.



Protocollo \neq Linguaggio di Programmazione Molte volte si confonde il termine protocollo con quello di linguaggio di programmazione: il protocollo é un insieme di regole che permettono la comunicazione tra entità diverse, mentre il linguaggio di programmazione permette l'esecuzione di calcoli aritmetici al un calcolatore.

Tra le due definizioni é possibile fare molta confusione perché hanno alcune caratteristiche comuni, ma la differenza sostanziale sta nell'elaborazione delle informazioni: le reti di comunicazioni non computano nulla, permettono solo la trasmissioni di dati, mentre il linguaggio di programmazione può computare un informazione e trasmetterla attraverso la rete usando determinati protocolli.

Internet é un protocollo? No! Molti confondono Internet come un protocollo, ma in realtà non sono oggetti confrontabili, perché i protocollo sono un insieme di regole, mentre internet é una rete di reti.

5.2 Architettura Protocollare

Per il corretto funzionamento delle reti di calcolatori sono necessari diversi protocolli: da quelli utilizzati nelle applicazioni, a quelli che definiscono i metodi di trasferimento sul mezzo fisico. Ognuno di questi si può formalizzare come un livello logico, concettualmente separato dagli altri.

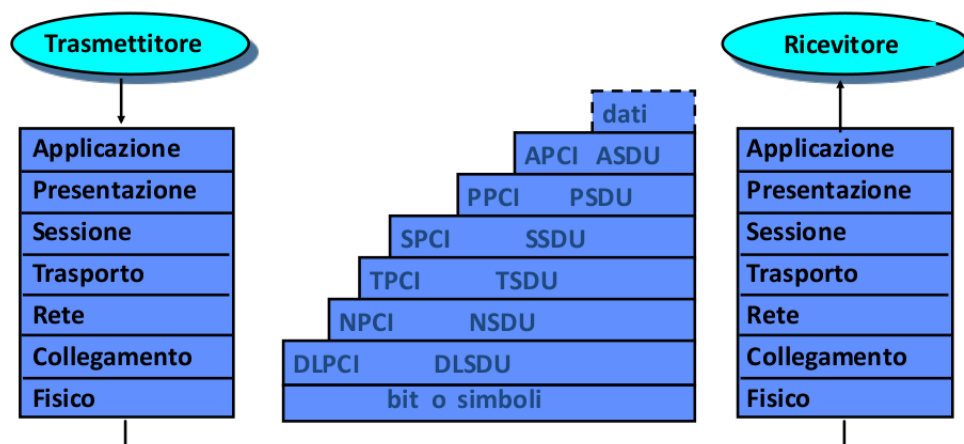
Per la progettazione di ogni livello è stato usato un sistema *stratificato*, ovvero: ogni livello implementa le proprie funzioni di protocollo e svolge servizi per i livelli superiori.

L'insieme di tutti i livelli logici così definiti viene chiamato **Architettura Protocollare** o **Pila Protocollare**.

Il motivo principale dell'utilizzo di una architettura stratificata è la separazione logica dei vari livelli, che comporta l'implementazione separata di ogni singolo livello, con notevoli vantaggi al programmatore. Sotto certi aspetti è molto simile al sviluppo modulare di un qualsiasi applicativo: pezzi riutilizzabili, librerie senza dipendenze esterne, costruzione funzionale dei servizi ecc...

Ogni livello è progettato, nel caso di invio di messaggi, in modo tale da ricevere informazioni dal livello superiore, elaborarle e passarle al livello sottostante. Nella ricezione di messaggi, invece, riceverà informazioni dal livello sottostante e, una volta elaborate, le trasferirà al livello superiore.

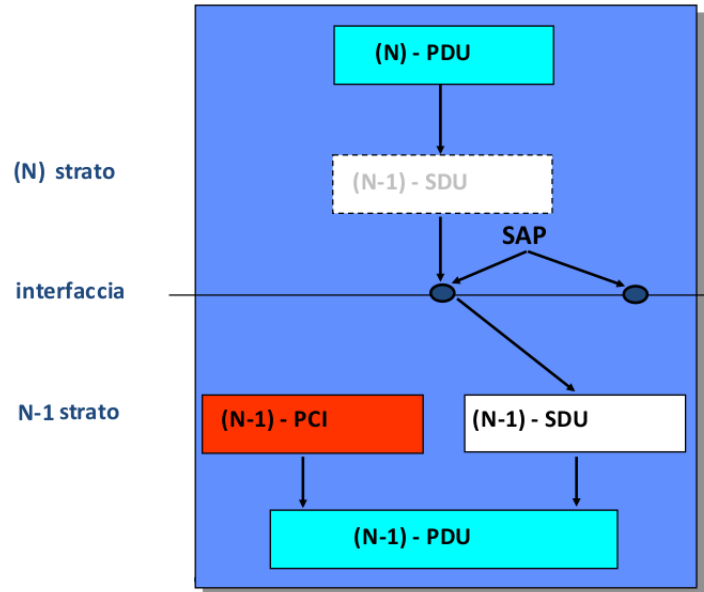
Inoltre, ad ogni livello, vengono aggiunte delle informazioni di controllo all'inizio e alla fine del messaggio, chiamati **Header** e **Trailer** o congiuntamente **PCI** (*Protocol Control Interface*). Questa tecnica viene chiamata **Incapsulamento**. L'intero processo è mostrato nella figura successiva insieme ad una anticipazione del modello ISO/OSI che verrà spiegato nella sezione successiva:



Come si nota dall'immagine precedente, ad ogni livello l'informazione prende dei nomi diversi: *ASDU*, *PSDU*.. In generale si può definire:

- **PDU** (*Protocol Data Unit*) come l'informazione ricevuta dal livello superiore/inferiore ancora non elaborata
- **SDU** (*Service Data Unit*) come PDU + PCI
- **SAP** (*Service Access Point*) come il punto di accesso al servizio di livello superiore/inferiore

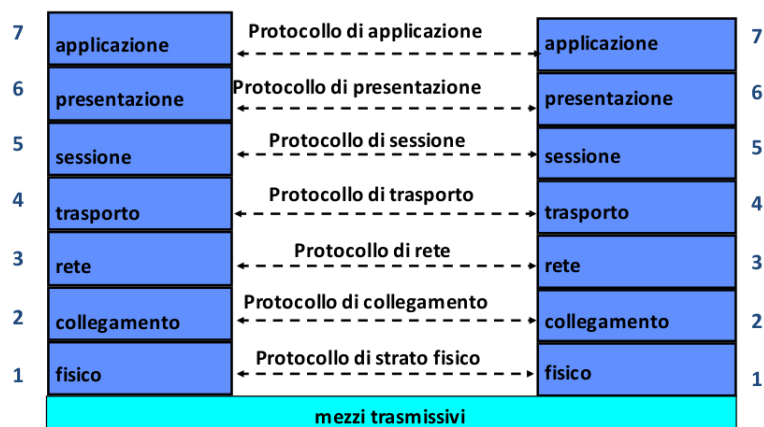
L'intero processo é schematizzato come segue:



Da notare che il solo modo che ha il livello N di comunicare con il livello $N \pm 1$ é attraverso le SAP, quindi nel caso ci dovessero essere dei cambiamenti di logica al livello $N \pm 1$, non intacccherebbe il livello N, in quanto l'interfaccia di collegamento non viene modificata.

5.3 Il Modello ISO/OSI

L'architettura protocollare utilizzata in internet é chiamata **modello ISO/OSI** (International Organization for Standardization/Open System Interconnection) e definisce i 7 livelli protocollari mostrati in figura:



Notare che nella figura precedente si rispetta la definizione di protocollo tra entità: il un entità a livello applicazione comunica con un'altra entità di livello applicazione tramite il protocollo di applicazione.

5.3.1 ISO/OSI in breve

- **Il livello Fisico:** il livello fisico si occupa della trasmissione dei bit grezzi sul canale di comunicazione. Problemi tipici riguardano quali segnali elettrici dovrebbero essere usati per rappresentare un 1 o uno 0, quanti nanosecondi deve durare un bit, se la trasmissione può avvenire simultaneamente in entrambe le direzioni, come si stabilisce la connessione iniziale e come viene abbattuta quando entrambe le parti hanno terminato, quanti contatti deve avere il connettore di rete e quale funzione va assegnata a ciascuno.
- **Il livello Collegamento:** il compito principale del livello di collegamento consiste nel far diventare una trasmissione grezza in una linea che appare priva di errori non rilevanti. Quindi maschera gli errori in modo che il livello di rete non li veda. L'obiettivo è raggiunto forzando la sorgente a suddividere i dati in ingresso, chiamati **frame**, trasmessi sequenzialmente.

Un altro problema che nasce nel livello collegamento riguarda il modo di evitare che un trasmittente veloce saturi il buffer di un ricevente lento; occorre quindi un meccanismo per regolare il traffico.

Le reti broadcast hanno un problema in più nel livello collegamento: come controllare l'accesso al canale condiviso. Di questo problema si occupa uno speciale sottoinsieme del livello collegamento chiamato **MAC** (*Medium Access Control*).

- **Il livello di Rete:** il livello di rete controlla il funzionamento della sottorete. Un problema chiave riguarda la modalità con cui i pacchetti sono inoltrati dalla sorgente alla destinazione. I percorsi lungo i quali effettuare l'inoltro possono essere statici o, più spesso, vengono calcolati e aggiornati automaticamente.

Un secondo problema è quello di con di bottiglia causati dalla impossibilità di inoltro a causa di troppi pacchetti. Il controllo di queste congestioni spetta al livello di rete in collaborazione con i livelli più alti che si adattano al carico della rete. Più in generale, la qualità del servizio offerto (ritardo, tempo di transito, jitter ecc) è un problema del livello di rete.

Quando un pacchetto deve viaggiare da una rete all'altra per arrivare a destinazione possono nascere dei problemi: indirizzamento, rifiuto del pacchetto perché troppo grande, protocolli diversi ecc. È compito del livello di rete risolvere questi problemi per consentire la comunicazione tra reti diverse.

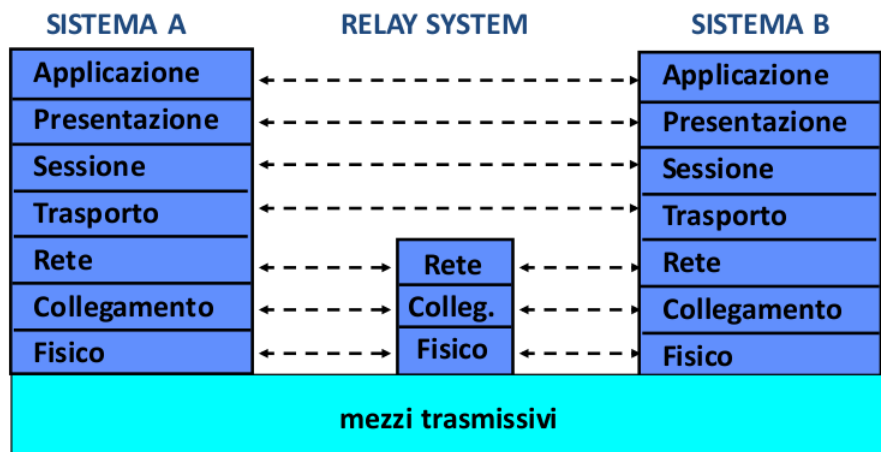
- **Il livello Trasporto:** la funzione essenziale del livello trasporto é quella di accettare dati dal livello superiore, dividerli in unità più piccole quando necessario, passarle al livello di rete e assicurarsi che tutti i pezzi arrivino correttamente a destinazione. Stabilisce che tipo di servizio offrire agli utenti della rete durante l'instaurarsi della connessione.

Il livello trasporto copre tutto il percorso tra sorgente e destinazione; in altri termini, un programma sul computer sorgente instaura una connessione con un programma corrispondente sul computer destinatario, utilizzando intestazioni dei messaggi e messaggi di controllo. Nei livelli inferiori i protocolli riguardano la comunicazione tra ciascun computer e i vicini immediati, e non tra i computer sorgente e destinazione, che possono essere separati da router. Il livello trasporto definisce, quindi, **protocolli end-to-end**.

- **Il livello Sessione:** il livello sessione permette a utenti su computer diversi di stabilire tra loro una sessione, che permettono tra cui: controllo del dialogo, gestione dei token e sincronizzazione.
- **Il livello Presentazione:** il livello presentazione si occupa della sintassi e della semantica dell'informazione trasmessa. Per consentire la comunicazione con differenti rappresentazioni dei dati il livello presentazione definisce strutture dati astratte che consentono lo scambio e la definizione di strutture dati di livello superiore.
- **Il livello Applicazione:** il livello applicazione comprende una varietà di protocolli comunemente richiesti dagli utenti. Un protocollo applicativo largamente usato é' **HTTP** (*Hyper Text Transfer Protocol*), la base del World Wide Web.

5.4 Relay System

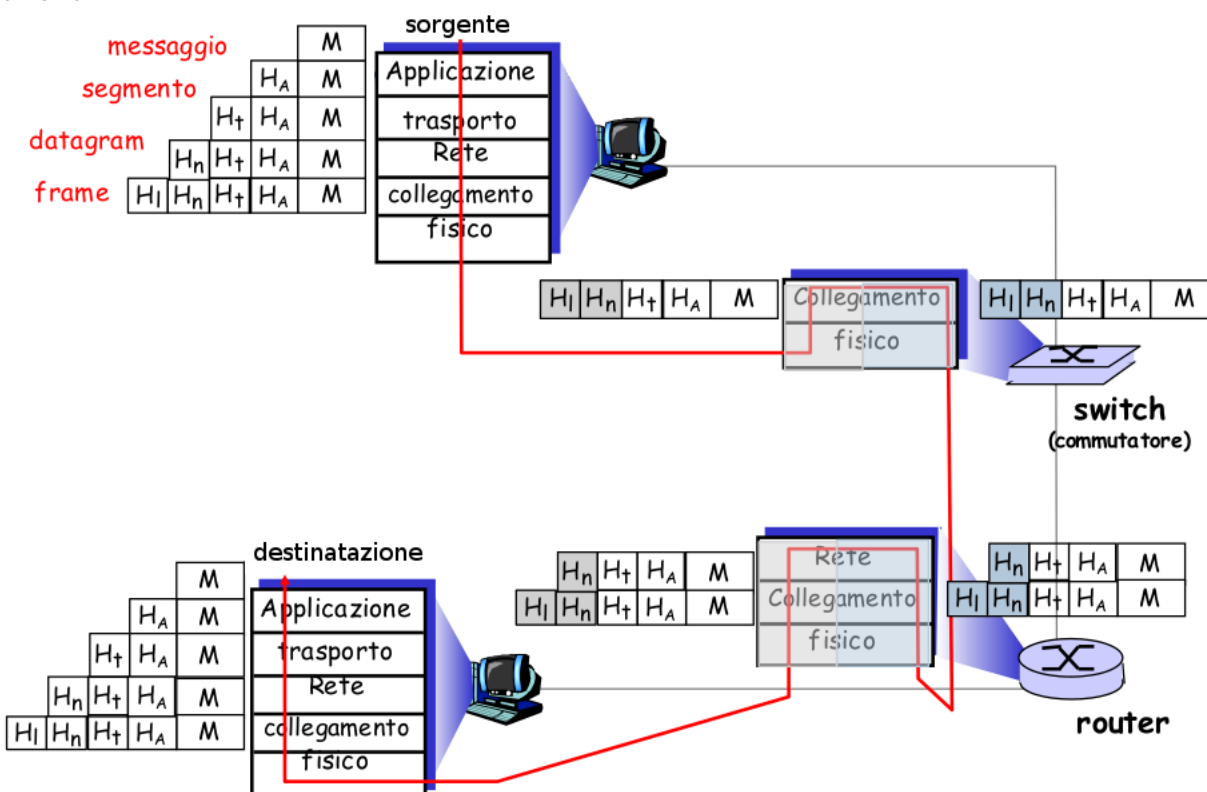
Il modello ISO/OSI non obbliga tutti i calcolatori ad implementare tutti i livelli definiti dallo standard. Esistono apparati di rete che implementano solo i primi 2 livelli, chiamati *Switch* mentre ne esistono altri che implementano solo i primi 3, chiamati *Router*.



I Router e gli Switch vengono chiamati anche *Relay System*.

5.5 Riassumendo

Nell'immagine seguente vengono riassunti tutti i concetti e le tecniche illustrate in questa sezione



6 Internet: una panoramica contestualizzata

Internet é una collezione di reti diverse che usano protocolli comuni per la comunicazione e per l'offerta di servizi.

La rete internet deve occuparsi solo del trasporto delle informazioni. L'analisi e l'elaborazione dovrebbe essere svolta solo dagli host ai confini della rete. Purtroppo questo non e' pívero a causa dei *Firewall*.

É un sistema inconsueto che non ha un progettista e non é controllato da nessuno.

6.1 La Storia

6.1.1 ARPANET

Nel pieno della guerra fredda, il dipartimento della difesa USA commissiona una rete di controllo che possa sopravvivere a una guerra nucleare. All'epoca, essendo che tutte le comunicazioni militari usavano la rete telefonica pubblica, venne considerata troppo vulnerabile di attacchi mirati ad alcune infrastrutture, in quando realizzata in modo gerarchico, dove esisteva una centrale che connetteva centinaia di altre centrali, che a sua volta connetteva migliaia di apparecchi.

Attorno al 1960, il dipartimento di difesa assegnó il compito di trovare una soluzione. Paul Baran sviluppó il progetto di una rete altamente distribuita, resistente ai guasti e a distribuzione di pacchetto, quindi chiesero la realizzazione ad AT&T, all'epoca detentore delle infrastrutture fisiche nel paese. Purtroppo si rifiutarono, rispondendo che era un progetto di impossibile realizzazione. Il progetto di Baran venne quindi abbandonato.

Nell'ottobre del 1957, l'Unione Sovietica batté gli USA nella corsa alla conquista dello spazio, la risposta dell'allora presidente Eisenhower fu (tra le altre) quella della creazione di una singola organizzazione per la ricerca, **ARPA** (*Advanced Research Projects Agency*). ARPA non disponeva di scienziati o laboratori; in effetti non aveva altro che un ufficio e un piccolo budget. Il suo compito era di erogare fondi e stipulare contratti con università e aziende che avevano idee promettenti.

Nel 1976 ARPA contattó Wesly Clark, che suggerí di costruire una sottorete a commutazione di pacchetto, connettendo ogni host a un proprio router. Ogni sottorete sarebbe stata composta da un microcomputer chiamato **IMP** (*Interface Message Processor*) collegati da linee di trasmissione a 56 kbps. Per raggiungere un'alta affidabilità ogni IMP doveva essere collegato ad almeno altri due IMP, così in caso di distruzione di alcune linee o IMP i messaggi sarebbero stati automaticamente inoltrati su percorsi alternativi.

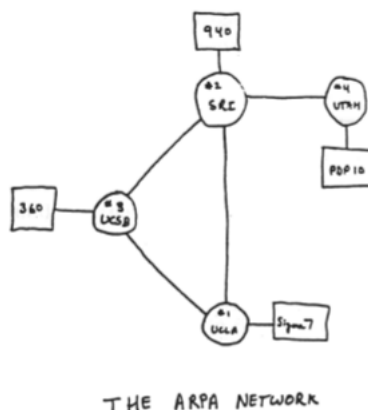
Ogni nodo della rete doveva consistere in un IMP e un host, il quale avrebbe potuto mandare messaggi con lunghezza massima di 8.063 bit al suo IMP che li avrebbe suddivisi in pacchetti di massimo 1.008 bit per inoltrarli indipendentemente verso la destinazione. La rete così progettata prese il nome di **ARPANET**.

ARPA bandí una gara d'appalto per costruire la sottorete. Scelse BBN, una società di consulenza di Cambrige, Massachusetts, e nel dicembre 1968 le assegnò l'appalto e il compito di scrivere il relativo software. BBN scelse come IMP dei minicomputer Honeywell DDP-316 appositamente modificati, con memoria a nuclei magnetici di 12 K organizzata in word di 16 bit, senza dischi, poiché le parti mobili erano considerate inaffidabili. Gli IMP erano

collegati a linee affittate a 56 kbps. Il software della sottorete 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.

Fuori dalla sottorete era necessario altro software, in particolare il lato host della connessione host-IMP, il protocollo host-host e il software applicativo. Per affrontare il problema, Clark organizzò a Snowbird, Utah, un incontro di ricercatori specializzati in reti di calcolatori.

In qualche modo una rete sperimentale entrò in servizio del dicembre 1969 con quattro nodi: UCLA, UCSB, SRI e Università dello Utah.



La rete crebbe man mano che altri IMP vennero consegnati ed installati; presto coprì tutti gli Stati Uniti.

Funny Story Oltre ad aiutare la crescita di ARPANET, ARPA finanziò ricerche sull'uso di reti satellitari e reti radiomobili a pacchetto. Durante una celebre dimostrazione, un camion in movimento situato in California usò la rete radiomobile a pacchetto per mandare messaggi a SRI, inoltrati su ARPANET fino alla costa Est, e quindi inviati alla University College di Londra tramite una rete satellitare. I ricercatori riuscirono ad usare un computer a Londra mentre si muovevano per la California.

Molti esperimenti dimostrarono che i protocolli esistenti di ARPANET non si potevano usare per reti multiple. Tale osservazione stimolò le ricerche sui protocolli, culminate con l'invenzione del modello TCP/IP. Questo protocollo fu specificatamente progettato per gestire la comunicazione sulle internet-work, che stavano crescendo d'importanza man mano che nuove reti venivano collegate ad ARPANET.

ARPA conosceva molti contatti a BBN e all'Università della California a Berkeley per integrarli nello UNIX di Berkeley. I ricercatori svilupparono una pratica interfaccia di programmazione verso la rete (socket) e scrissero molte applicazioni, utility e programmi di gestione per semplificare la connessione.

Quando uscì BSD 4.2 con TCP/IP, le socket e una montagna di utility per la rete, l'adozione dell'intero pacchetto fu immediata. Con TCP/IP diventava semplice collegare una LAN ad ARPANET, e molti lo fecero.

Nel corso degli anni '80, al crescere delle dimensioni della rete, rintracciare un host diventó sempre piú difficoltoso, quindi fu creato il **DNS** (*Domain Name System*) per organizzare i computer in domini e abbinare i nomi degli host agli indirizzi IP.

6.1.2 NSFNET

L'NSF (*National Science Foundation*), si accorse dell'enorme impatto che ARPANET aveva sulla ricerca, permettendo a scienziati di tutto il paese di condividere i dati e collaborare a progetti di ricerca.

NSF decise di costruire una rete di dorsale (*back-bone*) per collegare i suoi sei centri che ospitavano dei supercomputer. Ad ogni centro di calcolo fu affiancato un microcomputer LSI-11 chiamato **fuzzball**. I fuzzball erano collegati tra loro tramite linee affittate a 56 kbps e formavano una sottorete, con la stessa tecnologia hardware usata da ARPANET. La tecnologia software era invece differente: i fuzzball usarono sin dall'inizio TCP/IP, costituendo cosí la prima **WAN TCP/IP**. L'intera rete, composta da backbone e reti regionali, fu chiamata **NSFNET**.

Ebbe un successo istantaneo e risultó sovraccarica dal primo giorno. La dorsale di seconda generazione fu realizzata affittando canali in fibra ottica da 448 kbps, mentre come router vennero impiegati dei PC-RT IBM. Negli anni '90 il secondo backbone fu aggiornato a 1.5 Mbps.

Con il proseguire della crescita NSF si rese conto che il governo non poteva finanziare le reti per sempre. ANS (*Advanced Networks and Services*) nel 1990 prese in carico NSFNET e aggiornó i collegamenti a 45 Mbps per formare **ANSNET**; questa rete restó operativa per cinque anni e venne poi venduta ad America Online. A quel punto molte società offrivano servizi IP commerciali, ed era chiaro che per il governo era arrivato il momento di uscire dal mercato delle reti.

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 EuropaNET ed EBONE, che iniziarono con linee da 2 Mbps, poi aggiornate a 34 Mbps. Anche l'infrastruttura di rete europea fu ceduta all'industria.

La sua dimensione é esplosa nei primi anni '90 con l'avvento del World Wide Web. Anche il modo in cui usiamo internet é cambiato. All'inizio le applicazioni dominanti erano le e-mail nel mondo accademico, i newsgroup, le sessioni di lavoro remote e il trasferimento di file. Piú tardi Internet venne usata dal grande pubblico per l'e-mail, la distribuzione di contenuti via Web e peer-to-peer.

Funny Story Perché i modem fonici trasmettevano a 56 kbps ? In quel periodo era possibile trasferire delle informazioni utilizzando la banda di frequenza usata per la voce. Il parlato veniva digitalizzato con 8 campioni al secondo ciascuno di 8 kbit, quindi la velocità di trasferimento risultava di $8/sec * 8kbit = 64kbps$.

Ma uno di questi campioni non veniva usato per trasferire il parlato, ma serviva per informazioni di controllo della rete. Il risultato é che: nella comunicazione vocale nessuno se ne accorgeva se un campione al secondo veniva "perso", ma nella comunicazione a pacchetto significava una grossa limitazione della capacità di trasferimento dati.

6.2 La Struttura di Internet

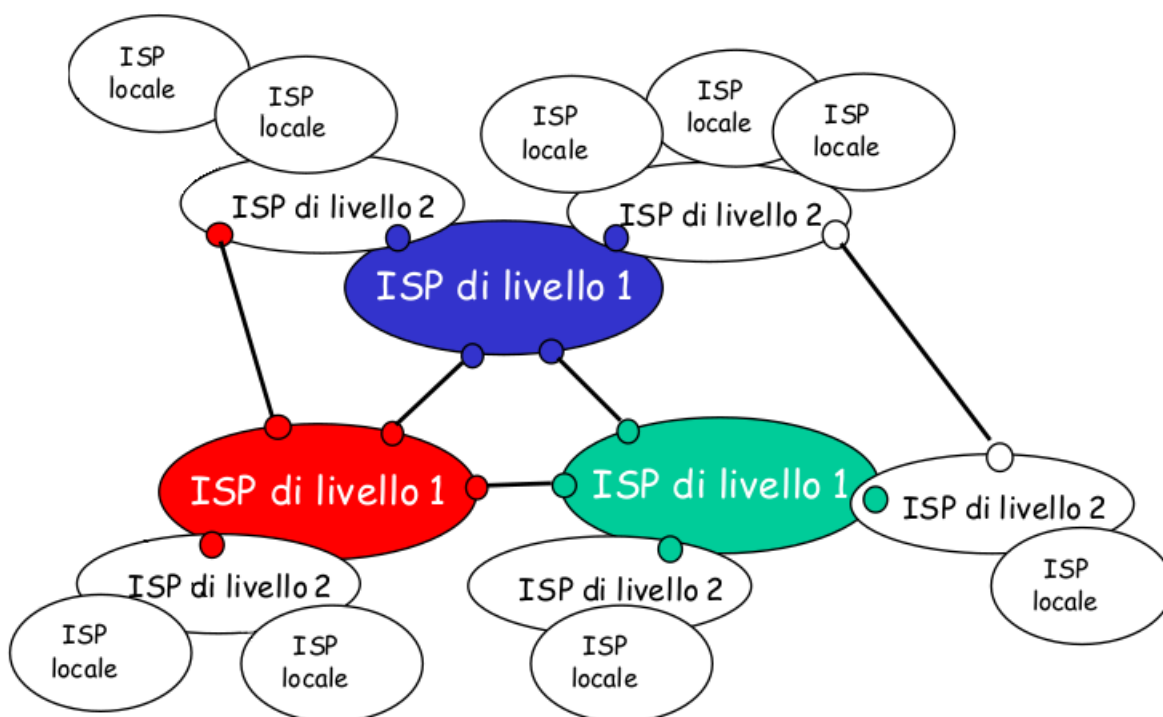
Oggi internet la si può definire come la *rete delle reti* che utilizzano TCP/IP per scambiarsi informazioni. Si definisce in questo modo perché non è composta da una singola rete che copre tutto il globo, ma di centinaia e centinaia di reti interconnesse tra loro; da qui il nome **Internet**.

Internet è strutturato come una rete gerarchica: al centro troviamo delle reti ad altissima capacità trasmissiva di proprietà di grosse aziende (Verizon, Sprint, AT&T ecc...) chiamate **ISP T1** (*Internet Service Provider di Tier 1*), con il solo scopo di fornire connettività ad altri ISP T1 o T2.

Scendendo nella gerarchia troviamo gli **ISP T2**, solitamente più piccole come reti nazionali, con contratti commerciali con le aziende detentrici delle reti di T1.

Per ultimi troviamo gli **ISP T3**, che sono degli ISP locali e di accesso per tutti gli utenti. Vengono dette anche **last hop network** (*reti di ultimo salto*) proprio per questa caratteristica.

NB Ogni ISP T1/T2/T3 ha conoscenza solo della rete al proprio livello, ovvero conosce solo gli ISP suo pari e non quali altri ISP di livello inferiore o superiore sono collegati ad esso. Ad esempio un ISP T3 conosce soltanto che per raggiungere internet deve instradare i pacchetti che non sono nella sua sottorete, verso l'ISP T2 a cui è collegato; poi ci penserà lui a inoltrare correttamente il pacchetto a destinazione.

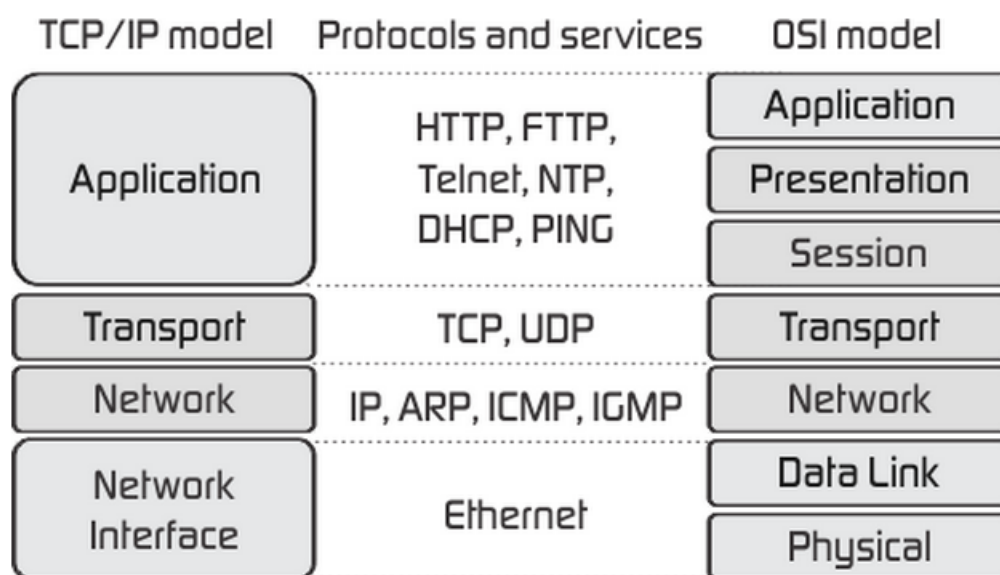


Come si può notare nella immagine precedente, con questa struttura gerarchica, si "stratifica" il livello del traffico, che raramente passa attraverso gli ISP T1, ma quasi sempre rimane confinato negli ISP T2, ad eccezione di necessità particolari.

6.3 Internet Protocol Suite

Sopra alla struttura fisica risiede il software di rete chiamato **IPS** (*Internet Protocol Suite*), ovvero l'implementazione del modello ISO/OSI per gestire la comunicazione tra host diversi, e potenzialmente, su reti diverse.

NB È bene sottolineare che il modello di riferimento del software di rete ISO/OSI (sezione 5.3) NON è utilizzato in internet, in quanto viene usata la sua implementazione chiamata IPS basata su TCP/IP. Per questo motivo viene chiamato "modello" TCP/IP.



Come si nota dall'immagine precedente, il modello e l'implementazione differiscono per molti livelli: il livello Fisico e Collegamento sono specificati pressoché insieme, come il livello Applicazione, Presentazione e Sessione, perché si riteneva inutile che il software di rete si occupasse di qualcosa che poteva prendersene cura l'applicazione stessa.

6.3.1 IPS in breve

- **Il livello Fisico o Network Interface** in IPS non venne specificato molto, piú che un vero e proprio livello nel senso usuale del termine é un'interfaccia tra l'host e il mezzo trasmissivo.
- **Il livello Internet o Network** é il perno che tiene insieme l'intera architettura. Il suo compito é permettere agli host di inviare pacchetti su qualsiasi rete e fare in modo che questi possano viaggiare indipendentemente verso la destinazione. Potrebbero persino arrivare con un ordine diverso da quello con cui sono stati spediti, é compito dei livelli superiori riordinarli.

Il livello Internet definisce un formato ufficiale per i pacchetti e un protocollo chiamato **IP** (*Internet Protocol*) accompagnato da un protocollo di supporto chiamato **ICMP** (*Internet Control Message Protocol*). Lo scopo del livello internet é quello di consegnare i pacchetti IP alla destinazione corretta.

- **Il livello Trasporto o Transport** é progettato per consentire la comunicazione end-to-end degli host sorgente e destinazione, come il livello Trasporto in ISO/OSI. In questo livello sono stati definiti due protocolli: il primo, **TCP** (*Transmission Control Protocol*), affidabile e orientato alla connessione che permette ad un flusso di byte emessi da un computer di raggiungere senza errori qualsiasi altro computer in Internet.

Il secondo protocollo di questo livello, **UDP** (*User Datagram Protocol*) definisce uno standard di trasmissione inaffidabile non orientato alla connessione per applicazioni che non vogliono la garanzia di ordinamento e controllo di flusso di TCP, ma preferiscono gestire queste funzioni in modo autonomo.

- **Il livello Applicazione o Application** contiene tutti i protocolli di livello superiore: **SMTP** (*Simple Mail Transfer Protocol*), **Telnet**, **FTP** (*File Transfer Protocol*), **DNS** (*Domain Name System*), **HTTP** (*Hyper Text Transfer Protocol*) ecc...