

1. Reti di calcolatori.

Una rete di calcolatori è una serie di apparati per il trattamento automatico dell'informazione collegati ad un comune sottosistema di comunicazione, al fine di scambiarsi informazioni e per condividere particolari risorse.

Gli apparati (host) vengono collegati per uno scambio di informazioni, oppure per ottenere un risparmio economico, permettendo a ciascun apparato di una rete, di condividere con gli altri l'utilizzo di particolari risorse perché troppo costose o di risorse molto importanti come per esempio particolari files che devono poter essere accessibili dagli altri computer.



H=host

Gli host sono gli apparati (possono essere calcolatori digitali, stampanti o più semplicemente delle periferiche) e possono essere collegati tramite cavi coassiali, ponti radio, via satellite, etc.

Lo sviluppo delle reti di calcolatori è stato successivo allo sviluppo dei PC. Normalmente le prime reti di calcolatori erano reti di uso aziendale vale a dire per locali ben precisi. Questo progresso iniziò verso la metà degli anni '80: alcune aziende scoprirono che collegare le proprie risorse in tante reti locali non era ancora sufficiente. Infatti sentivano l'esigenza di far collegare le varie reti locali portando allo sviluppo delle prime reti con un'estensione geografica non più limitata a particolari ambiti locali: queste reti vennero chiamate reti geografiche. Il terzo gradino è stato l'integrazione di tutte queste reti in un'unica rete di reti di calcolatori portando alla creazione dell'inter-rete (internet).

Tipi di sistemi per il trattamento automatico dell'informazione.

Sistemi centralizzati:

Possono possedere più di un'unità periferica. Queste si possono trovare in posti molto lontani dall'unità centrale: nonostante ciò non si tratta di una rete di calcolatori. I sistemi centralizzati hanno un'unica CPU e possono essere PC, minicomputers, mainframes o supercomputers.

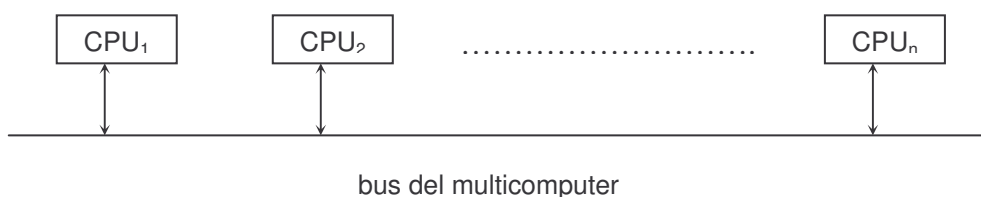
Sistemi distribuiti:

Contengono più di una CPU, permettendo a più programmi di essere eseguiti. I sistemi distribuiti, a differenza di quelli centralizzati, possono essere classificati in base al diametro dell'area geografica occupata dalle varie CPU. Alcuni esempi di sistemi distribuiti sono i multicomputers, le reti locali, le reti metropolitane, le reti geografiche o le inter-reti.

1.1 Classificazione dei sistemi distribuiti.

– *Multicomputers.*

Si parla di multicomputer quando l'area occupata dalle unità centrali possiede un diametro massimo di qualche metro. Le unità centrali sono collegate tra loro per mezzo di linee di connessione ad alta velocità.



– *Reti locali (LAN).*

Si parla di reti locali quando l'area geografica occupata dalle unità centrali possiede al massimo un diametro di qualche chilometro.

– *Reti metropolitane.*

Si parla di reti metropolitane quando l'area geografica occupata dalle unità centrali possiede al massimo un diametro di una decina di chilometri.

– *Reti geografiche (WAN).*

Si parla di reti geografiche quando l'area geografica occupata dalle unità centrali possiede un diametro superiore alle centinaia di chilometri e non ha limite.

1.2 Le caratteristiche delle reti locali (LAN).

– *Estensione geografica.*

Tutti i calcolatori si trovano nella stessa stanza o edificio.

– *Alta velocità di trasferimento dati (da 10 a 100 MBPS).*

Per misurare la velocità di scambio delle informazioni dobbiamo trovare la quantità di informazioni trasmessa nell'unità di tempo (bit al secondo): questa è, appunto, la velocità di scambio di informazioni.

– *Ritardo di transito.*

Il ritardo di transito misura il tempo che passa tra l'inizio della trasmissione e l'inizio della fine della ricezione di ogni unità d'informazione.

$$T = \frac{L_{cavo}}{V_s} \leq \frac{4Km}{200000Km/s} = 20\mu s$$

La velocità di un segnale elettrico lungo un cavo è di circa 200000 Km/s

– *Il tasso di errore.*

Il tasso di errore è il valor medio del rapporto tra il numero di bit ricevuti in modo errato ed il numero di bit complessivamente ricevuti su di un mezzo fisico in un certo intervallo di tempo.

– *Tecnologia di trasmissione.*

Nelle reti locali è tipica la tecnologia a broadcast dove il segnale trasmesso da una qualunque stazione viene ricevuto contemporaneamente da tutte le altre. Se una rete locale ha una topologia ad anello, quando avviene una trasmissione dati, una stazione appena ricevuto un bit lo ritrasmette alla stazione successiva. Mentre la stazione 1 trasmette il bit b_i , la stazione 2 trasmette il bit b_{i-1} e così via.

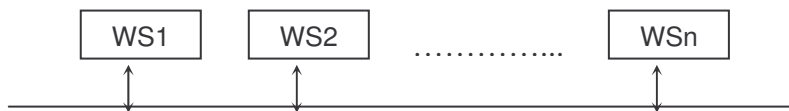
In pratica tutte le stazione ricevono lo stesso pacchetto di dati a parte un breve ritardo di transito dovuto alla posizione della stazione. Il ritardo è detto periodo di cifra ed è uguale al reciproco della velocità di trasferimento.

– *Topologia.*

Per topologia si intende la sua forma geometrica. Le possibili forme geometriche di una rete locale possono essere le seguenti:

• Topologia a bus:

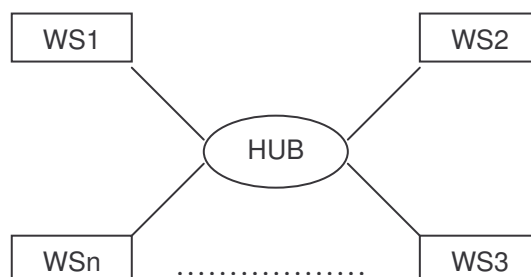
Viene chiamata così perché il sistema di comunicazione usato è collegato a tutte le stazioni.



Il più grosso inconveniente è che richiede un meccanismo di controllo dell'accesso al mezzo fisico di trasmissione. Questo fa in modo che due o più stazioni non possono trasmettere dati contemporaneamente.

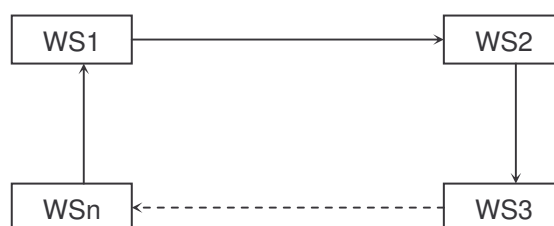
• Topologia a stella:

In questo caso abbiamo un dispositivo centrale chiamato HUB al quale sono collegate tutte le stazioni.



Quando una stazione trasmette invia i dati all'HUB, il quale li ritrasmette a tutte le altre stazioni della rete

- Topologia ad anello:
In questo caso le stazioni sono collegate tra loro in modo da formare un anello unidirezionale.



1.3 Caratteristiche delle reti geografiche (WAN).

- *Estensione geografica.*

L'area è superiore alle centinaia di chilometri e non ha limite.

- *Sistema di comunicazione utilizzato.*

Le reti geografiche utilizzano sistemi di telecomunicazione di proprietà dei concessionari pubblici.

- *Bassa velocità di trasferimento dati.*

La velocità di trasferimento dati è relativamente bassa rispetto alla velocità di trasferimento dati dei mezzi fisici utilizzati dalle reti locali.

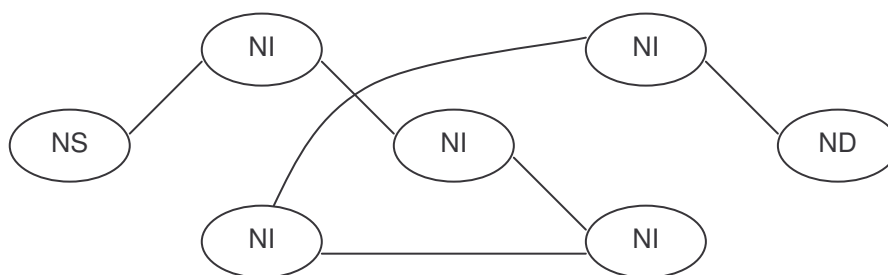
– Tasso di errore.

Il tasso di errore non è trascurabile come nelle reti locali. Gli errori di trasmissione sono dovuti dai mezzi di telecomunicazione usati.

È bene, dunque, usare delle convenzioni per limitare o eliminare gli errori di trasmissione riducendo ulteriormente la capacità del sistema di telecomunicazione.

– Tecnologia di trasmissione.

Nelle reti geografiche la tecnologia di trasmissione viene detta punto a punto. Questo significa che i dati trasmessi da una stazione vengono ricevuti soltanto da un'altra stazione della rete. Quindi se il sistema di destinazione non è collegato direttamente con il sistema sorgente per mezzo di un mezzo fisico, è necessario che l'informazione venga ritrasmessa dai sistemi intermedi più di una volta.



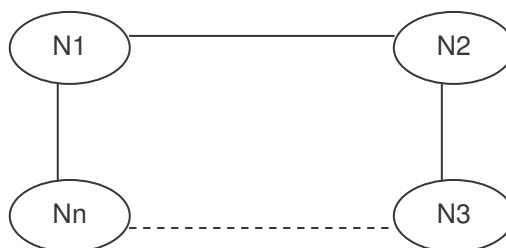
Ogni nodo intermedio riceve i dati. Se il nodo si riconosce come destinatario esegue il pacchetto dati, altrimenti lo memorizza al suo interno e lo passa al nodo successivo.

In questo modo il pacchetto dovrebbe arrivare al destinatario: il tempo di trasmissione, però, può essere molto lungo. Inoltre non è detto che un nodo intermedio faccia arrivare il pacchetto alla destinazione finale. Se si modifica la rotta del pacchetto (software del nodo costruito male), si può verificare un loop infinito e il pacchetto non arriva mai a destinazione. I nodi intermedi devono essere programmati in modo tale che il nodo riesca a fare delle decisioni *intelligenti*.

– Topologia delle reti geografiche.

Le principali topologie delle reti geografiche sono il ciclo, l'albero e la maglia. Ora descriviamo le seguenti topologie:

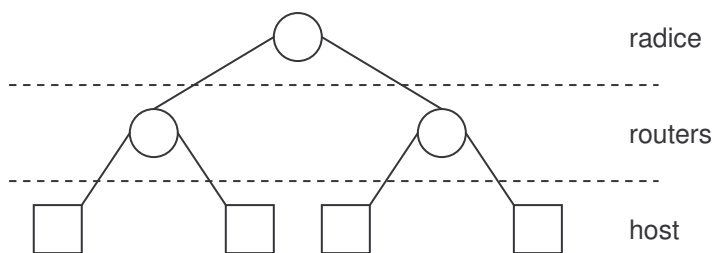
- Topologia a ciclo:
I nodi di una rete geografica sono interconnessi tra loro in modo tale da formare un ciclo.



La comunicazione può essere fatta in entrambi i versi. Cioè un nodo può sia trasmettere che ricevere. In questo caso ciascun nodo è detto host ed il numero di linee è uguale al numero di nodi ($L = n$).

- Topologia ad albero:

I nodi sono collegati in forma gerarchica, in modo tale da formare un albero.

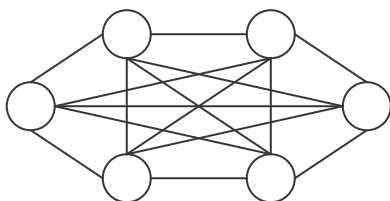


Di solito i programmi applicativi degli utenti si trovano nei nodi foglie (host). In questo caso il numero delle linee è $L = n - 1$.

- Topologia a maglia:

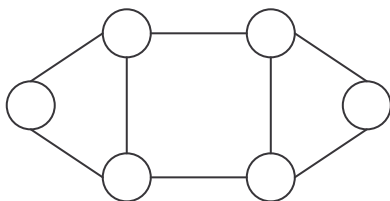
Ci sono due tipi di maglie: la maglia completa e la maglia incompleta.

La maglia completa



È composta solo da host e ogni nodo ha più linee di interconnessione con gli altri nodi. In questo caso il numero di linee è $L = \frac{n \cdot (n - 1)}{2}$

La maglia incompleta



In questo caso $n \leq L \leq \frac{n \cdot (n - 1)}{2}$

Esistono coppie di nodi non collegati tra loro e alcuni nodi possono funzionare da routers.

1.4 Caratteristiche delle reti metropolitane.

– *Estensione geografica.*

Di solito è di qualche decina di chilometri.

– *Sistema di comunicazione utilizzato.*

Questo viene fornito da dei concessionari pubblici come viene fornito nelle reti geografiche (WAN). Le caratteristiche sono simili, però, a quelle di una rete locale.

– *Velocità di trasferimento dati.*

La velocità di trasferimento dati è elevata quasi quanto nelle reti locali. È quindi superiore ai 10 MBPS.

– *Ritardo di transito.*

In questo caso il ritardo di transito è trascurabile.

– *Tasso di errore.*

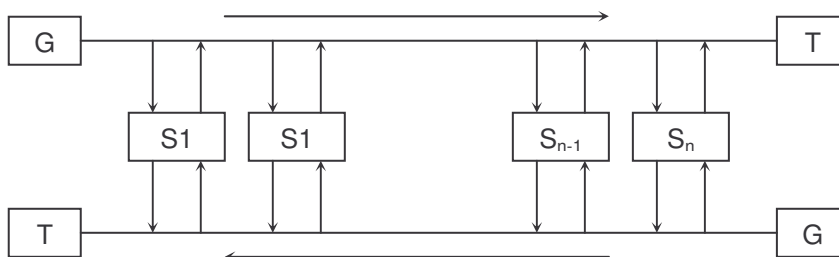
Anche questo è definito, ovviamente in questo caso, trascurabile.

– *Tecnologia di trasmissione.*

È uguale a quella delle reti locali, ovvero di tipo broadcast.

– *Topologia.*

Nel caso delle reti metropolitane esiste una sola topologia che è la topologia a doppio bus (DQDB – Distributed Queue Dual Bus).



I terminatori (T) sono delle impedenze che assorbono tutto il segnale in modo tale che ogni parte del segnale venga riflesso.

Il generatore (G) genera in continuazione delle celle di informazione le quali sono dei *veicoli* di dati aventi la capacità di circa 50 byte.

Le stazioni catturano le celle, le riempiono e le inviano alle stazioni successive senza alcun ritardo tra la cattura e l'invio: le celle non sono altro che delle variazioni di segnale in un cavo coassiale. Ma perché servono due bus? Se c'è un solo bus, la prima stazione invia i dati in broadcast alle stazioni successive, ma la stazione successiva non manda i dati a quella precedente: appunto per questo si deve far uso di un altro bus.

Questo tipo di broadcast è limitato perché solo le stazioni di destra o di sinistra alla stazione sorgente ricevono i dati, ma non tutte e due contemporaneamente.

1.5 Principali funzioni di comunicazione di una rete.

Le principali funzioni di comunicazione di una rete, sono le seguenti:

- *Identificazione dei soggetti della comunicazione (sorgente e destinazione).*

Ogni messaggio deve contenere anche un indirizzo che individua univocamente, non solo il sistema di destinazione del messaggio, ma anche il sistema sorgente: un esempio di ciò può essere la posta elettronica.

L'indirizzo del sistema sorgente viene detto *indirizzo sorgente*, mentre quello del sistema di destinazione viene detto *indirizzo di destinazione*. L'indirizzo sorgente serve per rispondere ad un messaggio ricevuto, mentre l'indirizzo di destinazione serve per instradare il messaggio.

- *Instradamento dei messaggi (routing).*

L'instradamento è una funzione fondamentale delle reti che utilizzano una tecnologia di trasmissione di tipo punto a punto (vedi reti geografiche).

- *Segmentazione dei messaggi inoltrati in pacchetti.*

Ogni messaggio viene sezionato in pacchetti di dimensione limitata permettendo che non si accavallino ritardi.

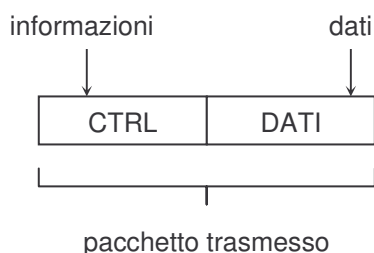
- *Assemblaggio dei pacchetti ricevuti nei messaggi originali.*

Gli host di destinazione devono riassemblare i pacchetti ricevuti nei messaggi originali. La stazione sorgente deve assegnare un numero d'ordine a ciascun pacchetto per permettere all'host (o stazione) di destinazione di riassemblare il messaggio in modo corretto.

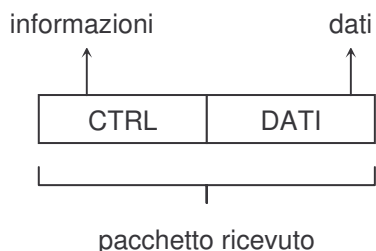
Anche i pacchetti devono contenere informazioni di controllo.

- *Incapsulamento dei dati da trasmettere nei pacchetti.*

Ogni stazione sorgente incapsula nei pacchetti, non solo i dati dei propri utenti, ma anche informazioni di controllo (indirizzo sorgente, indirizzo di destinazione,...).

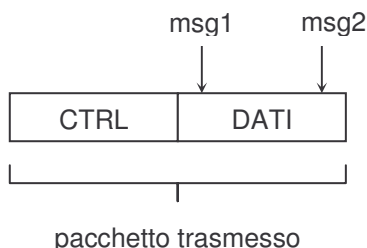


- *Estrazione dei dati e delle informazioni dai pacchetti.*

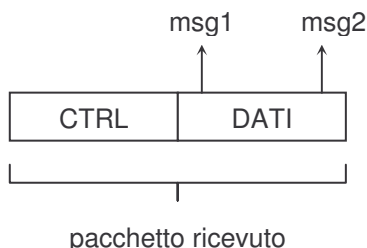


- *Bloccaggio dei messaggi in un pacchetto da trasmettere.*

Consiste nell'inserire più messaggi in un unico pacchetto in modo tale che l'informazione di controllo occupi una parte non eccessiva del pacchetto.



- *Sbloccaggio del pacchetto ricevuto in più messaggi.*



- *Rilascio ordinato dei dati ricevuti nello stesso ordine d'inoltro.*

In generale i pacchetti possono essere ricevuti in un modo diverso da come sono stati trasmessi dal sistema sorgente. Il sistema di destinazione deve essere in grado di riordinare i pacchetti ricevuti e di rilasciarli al destinatario nello stesso ordine in cui erano stati trasmessi. In caso contrario il destinatario potrebbe interpretare le informazioni in modo sbagliato.

- *Controllo del flusso dei dati trasmessi.*

Supponiamo che il sistema di destinazione sia in grado di rilasciare a destinazione 5 pacchetti al secondo, mentre il sistema sorgente ne deve trasmettere il doppio: in questo modo si perdono metà dei dati. Per evitare ciò si controlla il flusso in modo tale di non avere una perdita consistente di informazioni.

– *Gestione degli errori di trasmissione.*

Gestisce gli errori che non possono essere eliminati dalle altre funzioni di una rete.

2. Lo standard IS-7498.

L'architettura logica di tutte le reti di calcolatori è suddivisa in un certo numero di strati. Per decidere di quanti strati sia composto si fa un elenco di tutte le funzioni che devono essere svolte e vengono ordinate in base al livello di astrazione relativo a ciascuna di esse. Quindi le funzioni che appartengono allo stesso livello di astrazione vengono associate ad un diverso strato dell'architettura logica: è in questo modo che è nato il modello dell'ISO (International Standard Organization) per l'interconnessione dei sistemi aperti.

2.1 Il modello di riferimento per l'interconnessione di sistemi aperti.

Si tratta di uno standard (International Standard IS 7498) emesso dall'ISO nel 1984. Questo standard non definisce una particolare struttura di rete, ma specifica piuttosto il modello da seguire per progettare qualsiasi tipo di rete di calcolatori.

Il rispetto di questo modello garantisce a calcolatori o dispositivi per reti di calcolatori di differenti produttori, la reciproca interconnettività: cioè garantisce a qualsiasi prodotto la possibilità di collegarsi a tali reti. Si parla anche di sistemi aperti ovvero qualsiasi sistema di trattamento dell'informazione la cui architettura logica sia conforme a questo modello.

Il modello è suddiviso in 7 strati ognuno dei quali può svolgere un determinato insieme di funzioni di comunicazione dello stesso livello di astrazione. Gli strati sono chiamati, nell'ordine dal più basso al più alto livello di astrazione, nel seguente modo:

- strato 1. fisico
- strato 2. di collegamento
- strato 3. di rete
- strato 4. di trasporto
- strato 5. di sessione
- strato 6. di presentazione
- strato 7. di applicazione

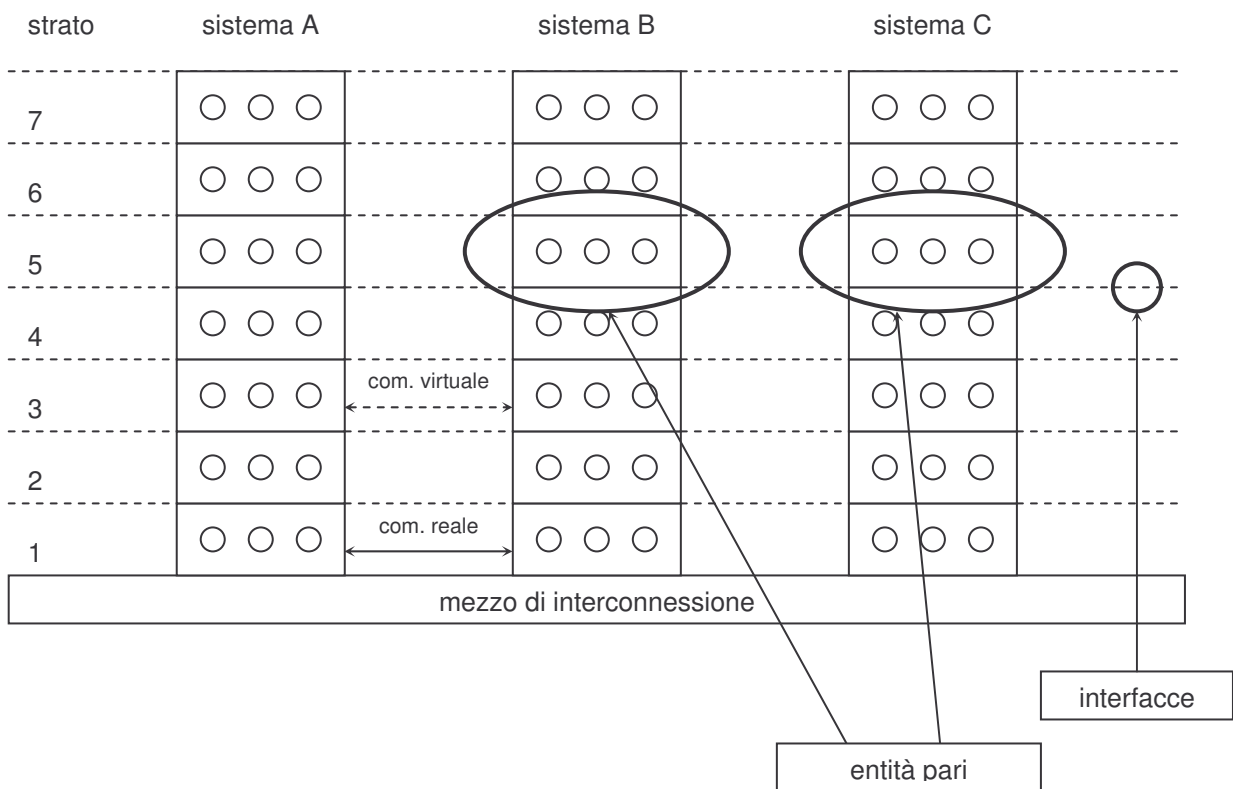
Uno strato comprende tutte le entità di tutti i sistemi connessi; le entità sono componenti di un sistema e quindi possono essere software o hardware. Le entità dello stesso strato ma di sistemi diversi vengono dette entità pari.

Ogni strato fornisce alle entità dello strato successivo un servizio (o un insieme di servizi) di comunicazione attraverso l'interfaccia di tale strato. Gli utenti o le applicazioni degli utenti possono solo far uso dell'interfaccia di applicazione. Le entità dello strato fisico non possono far uso del servizio di comunicazione ma possono comunicare direttamente tra loro facendo uso del mezzo fisico, mentre le entità degli strati superiori devono in qualche modo comunicare tra loro.

La comunicazione tra entità pari dello strato fisico è reale, mentre la comunicazione delle entità pari degli altri strati è virtuale perché utilizza i sistemi di comunicazione dello strato inferiore ad essi.

Affinché la comunicazione tra entità pari possa avvenire in modo corretto, è necessario che tali entità rispettino un insieme di regole chiamato protocollo di comunicazione. Poiché abbiamo 7 strati sono necessari almeno 7 protocolli di comunicazione.

Il tutto si può semplificare con il seguente disegno.



2.2 I compiti dello strato di applicazione.

Ha come compito principale di fornire i servizi di comunicazione direttamente agli utenti oppure alle applicazioni degli utenti di una rete di calcolatori. Alcuni esempi di servizi di comunicazione sono la posta elettronica, il trasferimento di file dal file system di un sistema a quello di un altro sistema, l'accesso a sistemi remoti, che consiste nell'accedere alle risorse di un altro computer della rete come se si stesse lavorando sul proprio computer locale, e il World Wide Web le cui applicazioni integrano al loro interno tutti gli altri servizi sopra elencati.

Di solito queste applicazioni sono distribuite, vale a dire che vengono eseguite da due o più programmi di differenti computer. Queste applicazioni si suddividono in applicazioni di tipo client e applicazioni di tipo server: sono quest'ultime che si occupano essenzialmente di fornire i servizi di comunicazione. Le applicazioni di tipo client, invece, operano come interfacce tra gli utenti e le applicazioni di tipo server.

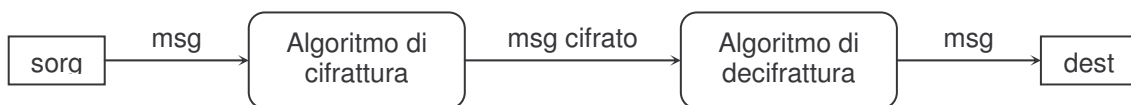


Le comunicazioni client e server vengono gestite da due protocolli rispettivamente ftp e http. Le richieste sono i messaggi che il client manda al server, mentre le risposte sono messaggi che il server manda al client in risposta alle richieste di quest'ultimi. Di solito il server interagisce contemporaneamente con applicazioni di tipo client e sono quindi di tipo multithread.

Esistono, però, dei programmi applicativi che non sono di tipo distribuito come *word*, *excel* e così via. Ma esistono anche dei programmi particolari che permettono a queste applicazioni di accedere alle risorse di altri sistemi della rete come se fossero risorse del sistema locale. Queste vengono dette *redirector* e sono componenti dello strato di applicazione che permettono ai programmi applicativi di accedere alle risorse di calcolatori remoti nello stesso modo in cui è possibile accedere alle risorse di un calcolatore locale.

2.3 I compiti dello strato di presentazione.

Il principale compito dello strato di presentazione è quello di fornire servizi di presentazione alle entità dello strato di applicazione. Alcuni esempi di servizi di presentazione sono la conversione tra differenti formati e codici di rappresentazione delle informazioni (codici di rappresentazione di testi: EBCDIC e ASCII; codici di rappresentazione di immagini: GIF e JPEG; codici di rappresentazione video e audio: MPEG, MP3 e QUICKTIME), la compressione e la decompressione di file e di messaggi e la cifratura e decifratura dei messaggi.



In questo caso viene utilizzata una chiave per cifrare e decifrare il messaggio in modo tale che non possa essere intercettato da un estraneo. La chiave non è altro che una sequenza di bit che appunto serve per evitare che un estraneo riesca a decifrare il messaggio.

2.4 I compiti dello strato di sessione.

Il principale compito è quello di fornire servizi di sessione alle entità dello strato di presentazione, come ad esempio il controllo del dialogo tra due utenti. Per permettere ciò bisogna chiarire il termine connessione: *una connessione non è altro che un canale di comunicazione virtuale tra coppie di utenti del servizio fornito da ogni strato*. Le connessioni sono disponibili continuamente; per poter essere utilizzata dagli utenti è necessario che gli utenti richiedano allo strato che la connessione venga stabilita. Uno dei due utenti emette una richiesta di connessione (contiene l'indirizzo dell'utente con cui si vuole connettere). Successivamente lo strato indica all'altro utente la presenza della richiesta si una connessione. L'utente che riceve la richiesta la può rifiutare o la può accettare; nel secondo caso l'utente invia allo strato una risposta di accettazione della connessione dopo di che lo strato invia all'utente originale una conferma di avvenuta connessione. Nel caso l'utente non voglia connettersi, questi invierà allo strato una richiesta di disconnessione. A questo punto lo strato indica la disconnessione all'utente che

ha proposto la richiesta. Le fasi necessarie per terminare una connessione sono le seguenti: richiesta di disconnessione da parte di un utente; lo strato invia all'altro utente un'indicazione di disconnessione e all'utente che ha richiesto la disconnessione viene mandata la conferma di avvenuta disconnessione.

Il controllo del dialogo, appunto, permette di regolare il dialogo tra utenti di una connessione di sessione. La sincronizzazione del dialogo consiste nello stabilire dei punti di sincronizzazione tra mittente e destinatario. In questi punti entrambi gli utenti salvano una copia di tutte le informazioni inoltrate e ricevute: in questo modo se si verifica un'interruzione del canale di comunicazione, la comunicazione potrà riprendere correttamente dall'ultimo punto di sincronizzazione raggiunto.

Che cos'è l'MTU?

L'MTU è la dimensione massima di un pacchetto che può circolare all'interno di una rete di calcolatori. Il tempo massimo richiesto per trasmettere un pacchetto è uguale a:

$$T = \frac{MTU}{V_{tr}} = \frac{1000bit}{10^6} = 10^{-3} sec = 1m sec$$

Se il messaggio deve attraversare un certo numero di routers dobbiamo sommare tutti i tempi di trasferimento da un router all'altro: questo da il ritardo di transito della rete. In questo caso:

$$\Delta = \sum_{i=0}^{n-1} T_i ,$$

questo perché il ritardo di transito è il tempo che passa dall'inizio della trasmissione e l'inizio della ricezione (n-1). Quindi:

$$\Delta = \sum_{i=0}^{n-1} T_i \leq \sum_{i=0}^{n-1} \frac{MTU}{V_{tr}}$$

Se $V_{t0} = V_{t1} = V_{t2} = \dots = V_{tn-1}$, allora:

$$\sum_{i=0}^{n-1} \frac{MTU}{V_{tr}} = n \cdot \frac{MTU}{V_{tr}} \Rightarrow \Delta_{max} \cong n \cdot \frac{MTU}{V_{tr}} ,$$

dove n è il numero di routers o di nodi che appartengono al cammino che va dall'host sorgente all'host di destinazione.

Va ricordato che il tempo necessario per attraversare una linea da un nodo sorgente a uno di destinazione è:

$$T \cong \frac{L}{200000Km / sec} .$$

2.5 I compiti dello strato di trasporto.

Lo strato di trasporto ha il compito di interfacciare gli strati di alto livello con quelli di basso livello; in particolare svolge il compito di nascondere alle entità degli strati superiori tutti gli aspetti relativi alle caratteristiche ed al funzionamento della rete di calcolatori. I suoi compiti sono i seguenti:

- *Segmentazione e assemblaggio dei messaggi.*
È necessario perché spesso le reti di calcolatori non permettono la trasmissione di messaggi di lunghezza arbitraria.
- *Gestione degli errori di trasmissione dei pacchetti commessi dagli strati inferiori.*
Quando lo strato di trasporto del sistema sorgente invia un pacchetto allo strato di trasporto del sistema di destinazione, il pacchetto può andare perso e quindi il pacchetto viene ritrasmesso.
- *Controllo del flusso dei messaggi.*
Deve permettere al sistema di destinazione il controllo del flusso dei messaggi ricevuti, in modo tale che, se il sistema di destinazione è più veloce del sistema sorgente, quest'ultimo si adegui alla velocità del sistema più lento.

2.6 I compiti dello strato di rete.

Il principale compito dello strato di rete è quello di instradare tutti i pacchetti messi sulla rete verso la loro destinazione. Questa funzione deve essere svolta in modo cooperativo da tutti i nodi della rete. Ogni router deve essere in grado di scegliere su quale linea di comunicazione deve trasmettere ciascun pacchetto ricevuto. A volte può succedere che a un nodo intermedio arrivino così tanti pacchetti da non essere in grado di instradarli tutti verso un altro nodo: questo evento viene detto *congestione*.

Un altro compito è la gestione delle congestioni della rete: di solito se un router si accorge che sta per raggiungere o superare il livello di congestione, chiede agli host, da cui provengono i pacchetti, di rallentare la loro frequenza di trasmissione.

L'ultimo compito è quello di permettere il collegamento tra reti eterogenee tra loro.

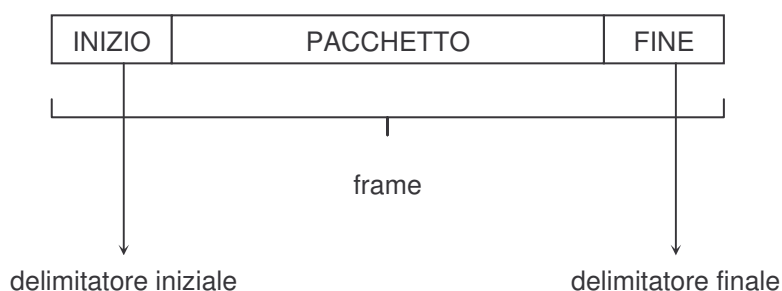
2.7 I compiti dello strato di collegamento.

Per certi aspetti lo strato di collegamento è simile allo strato di trasporto, ma lo strato di collegamento si occupa della comunicazione tra nodi collegati ad un comune mezzo fisico.

I suoi compiti sono i seguenti:

- *Gestione degli errori di trasmissione.*
Questa volta gli errori di trasmissione sono quelli che vengono generati in una trasmissione mediante un mezzo fisico.
- *Controllo del flusso.*
Evita che vengano trasmessi sul mezzo fisico più informazioni di quante ne vengano ricevute.

- *Controllo dell'accesso al mezzo fisico.*
Accedere al mezzo fisico significa utilizzarlo per trasmettere informazioni. Se un mezzo fisico è comune a due o più stazioni può succedere che queste si mettano a trasmettere contemporaneamente portando alla cosiddetta *collisione*. Per evitare le collisioni, lo strato di collegamento svolge questa funzione di controllo che fa sì che una sola stazione alla volta possa accedere al mezzo fisico.
- *Delimitazione dei pacchetti di dati.*
Un pacchetto corrisponde a un segmento al quale vengono aggiunte ulteriori informazioni di controllo del protocollo di rete. Il mezzo fisico non è in grado di riconoscere i punti di inizio e di fine della trasmissione di ciascun pacchetto, e perciò lo strato di collegamento incapsula i pacchetti all'interno di sequenze di bit delimitate da un inizio e da una fine.



Il sistema sorgente manda una sequenza di bit che viene aggiunta all'inizio del pacchetto e lo stesso avviene alla fine del pacchetto stesso. Ma vengono aggiunte anche altre informazioni per il controllo del protocollo di comunicazione (utilizzato solo dallo strato di collegamento). Tutto questo insieme di informazioni viene detto *frame*.

2.8 I compiti dello strato fisico.

I compiti di questo strato sono i seguenti:

- *Attivare, mantenere e disattivare le connessioni fisiche.*
Le connessioni fisiche sono dei canali di comunicazioni reali tra due o più sistemi di elaborazione. È ovvio che una connessione deve essere attivata, durante l'utilizzo deve essere mantenuta attiva e terminato l'utilizzo deve essere disattivata in modo tale che le risorse necessarie a mantenere attiva la connessione fisica possano essere utilizzate per altri scopi.
- *Delimitazione dell'inizio e della fine della trasmissione di ciascun bit.*
I blocchi di informazioni inoltrati sono i bit. Una frame dello strato di collegamento viene trasmessa un bit alla volta: nasce quindi il problema di delimitare gli istanti di inizio e di fine della trasmissione di ciascun bit su di una connessione fisica. In questo caso si parla anche di sincronizzazione delle stazioni riceventi con la stazione trasmittente.

– *Trasmettere e ricevere i bit sul mezzo fisico.*

Lo strato fisico deve anche decidere come trasmettere e ricevere i bit d'informazione sul mezzo fisico. Bit è un concetto astratto, quindi in realtà non viaggiano bit, ma si trasmettono segnali di una determinata natura fisica. Un segnale non è altro che una grandezza fisica che rappresenta una particolare informazione.

tipi di segnale	tipi di mezzo fisico
<i>elettrici</i> assumono determinati livelli di tensione o variazioni di livello di tensione di segnale elettrico.	<i>conduttori elettrici</i>
<i>impulsi luminosi</i>	<i>fibre ottiche</i>
<i>onde elettromagnetiche</i>	<i>spazio vuoto</i> paradossalmente mezzo di comunicazione

Termini utili.

- Modulazione:
è la codifica di un segnale elettromagnetico;
- Attenuazione:
è la perdita di potenza di un segnale;
- Distorsione:
è un cambiamento delle caratteristiche di un segnale;
- Disturbo:
è una grandezza fisica dello stesso tipo del segnale che si sommano lungo il suo percorso sul mezzo fisico;
- Rumore bianco:
è un disturbo interno generato dall'eccitamento termico degli elettroni;
- Eco:
è un disturbo dovuto alla riflessione parziale del segnale ed è causato dalla differenza di impedenza tra trasmissione e ricevitore;
- Diafonia:
è un disturbo esterno generato dai segnali che viaggiano su mezzi fisici adiacenti;
- Interferenze elettromagnetiche (EMI):
sono onde elettromagnetiche che vengono captate dal mezzo fisico.

3. Le reti locali.

Le reti locali sono state le prime reti usate ed attualmente rappresentano la maggior parte di reti di calcolatori.

Dal punto di vista della *struttura logica* le reti locali presentano alcune caratteristiche particolari.

Ad esempio le reti locali non hanno problemi di instradamento in quanto tutti i terminali sono collegati allo stesso mezzo fisico, infatti lo strato di rete in queste reti è quasi assente. Presenta invece particolare importanza la funzione di controllo d'accesso al mezzo fisico, necessario per disciplinare l'accesso alla rete per evitare che più stazioni trasmettono contemporaneamente.

3.1 Le tecniche di accesso al mezzo fisico.

Sono di due tipi:

- *Tecniche deterministiche.*
disciplinano l'accesso al mezzo fisico facendo in modo che in ogni istante una sola stazione sia abilitata a trasmettere.

- *Tecniche non deterministiche.*
Non impongono alcun vincolo alle stazioni della rete sugli istanti in cui possono trasmettere, è perciò possibile che più stazioni trasmettano sul mezzo fisico contemporaneamente.

Queste non eliminano le collisioni, ma ne diminuiscono la probabilità.

La tecnica più usata è la tecnica *ALOHA* che permette ad ogni stazione che necessita di trasmettere un messaggio l'invio immediato.

3.2 Le tecniche deterministiche.

Si possono dividere in:

- *Token Passing Ring.*
Queste vengono utilizzate con reti locali aventi una topologia ad anello.

– *Token Passing Bus.*

Questa tecnica viene utilizzata con reti locali aventi, in questo caso, una topologia a bus.

La Token Passing Ring.

Qui il ritardo di transito è uguale a

$$\Delta = (n - 1) \cdot \frac{1}{V_{tr}}$$

Dal punto di vista logico è come se tutti i terminali ricevessero il segnale contemporaneamente. È importante controllare le collisioni. Per risolvere tale problema si fa uso di un *gettone* o *token*.

Il *gettone* è una *sequenza di bit* che gira sull'anello. Quando una stazione deve trasmettere un frame, blocca il gettone ed inizia a trasmettere il messaggio. Il gettone viene rilasciato solo quando la stazione sorgente riceve il messaggio che aveva precedentemente inviato.

Questo metodo comporta la presenza di due stati:

- *Stato di riposo*
nella rete gira solo il gettone.
- *Stato di trasmissione*
nella rete gira un frame.

La Token Passing Bus.

Si applica per controllare l'accesso al mezzo fisico da parte di una rete con tipologia a bus. Viene stabilito un ordinamento logico di tipo circolare tra le stazioni; tale ordinamento non dipende dall'ordine fisico dei vari terminali. Anche qui circola un gettone. Il gettone verrà tolto dalla rete solo dalla stazione destinazione la quale, se non ha altri frame da inviare, lo libera.

3.3 Le tecniche non deterministiche.

Si possono dividere in:

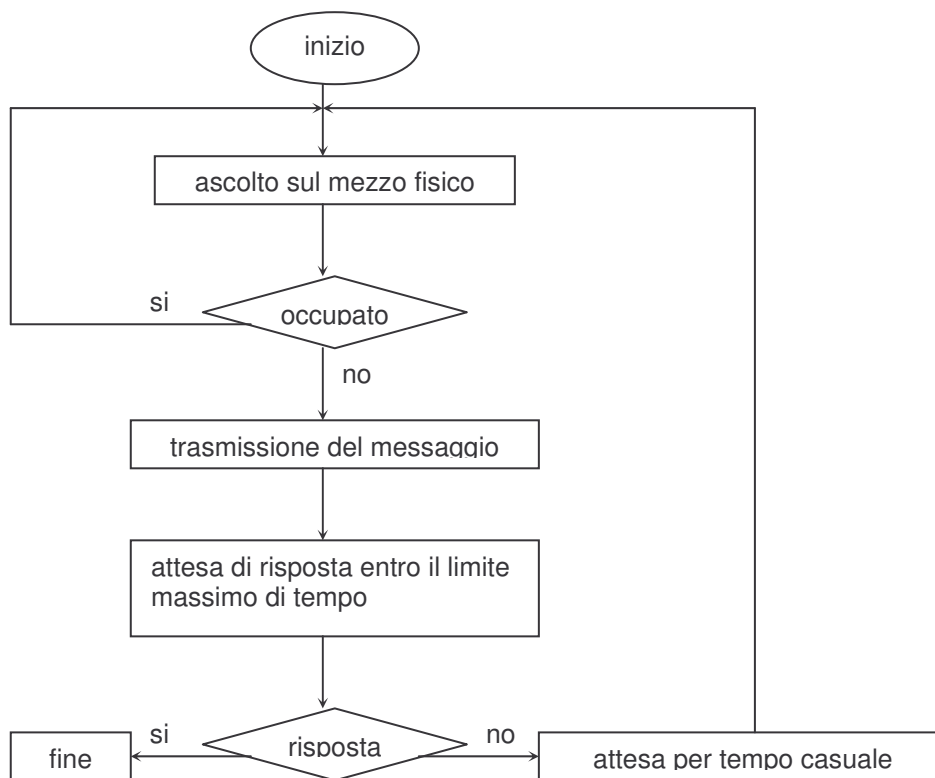
- *CSMA/CA.*
Viene utilizzata da reti locali senza fili.
- *CSMA/CD.*
Questa viene utilizzata da reti locali con topologia a bus e a stella.

La tecnica CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance).

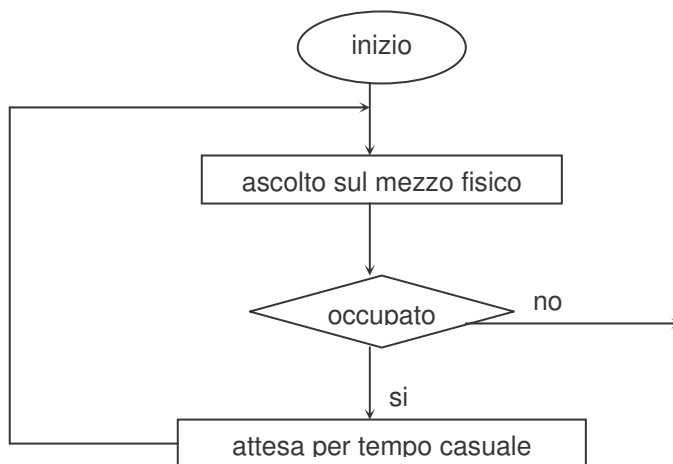
La tecnica CSMA/CA a sua volta si divide in due altre tecniche:

- *Persistente;*
- *Non persistente.*

La tecnica persistente (perché continua ad ascoltare il mezzo fisico) obbliga le stazioni, prima di trasmettere, di verificare la presenza di eventuali segnali sul mezzo fisico.

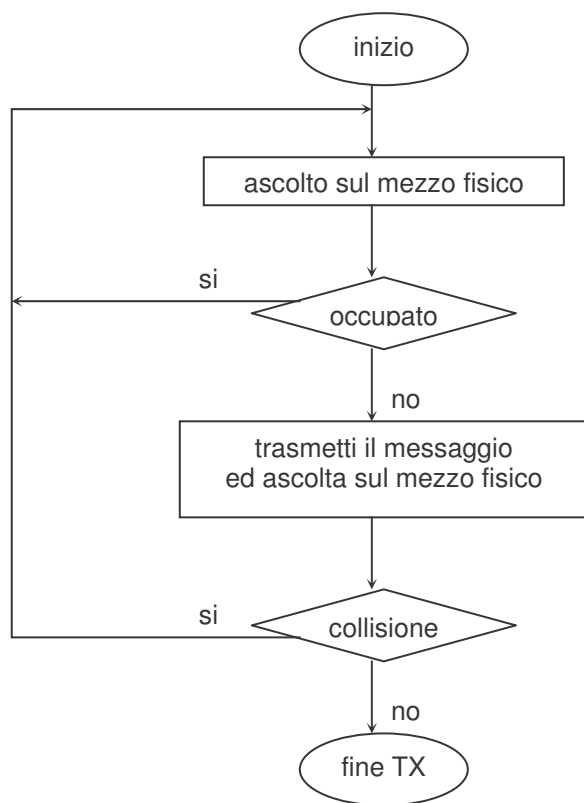


La tecnica non persistente, invece, ha il seguente algoritmo di trasmissione:



La tecnica CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection).

Ogni stazione in fase di trasmissione continua ad ascoltare il segnale presente sul mezzo fisico confrontandolo con quello che sta trasmettendo. Se i due segnali sono diversi la stazione che stava trasmettendo rileva una collisione. In questo caso interrompe subito la trasmissione.

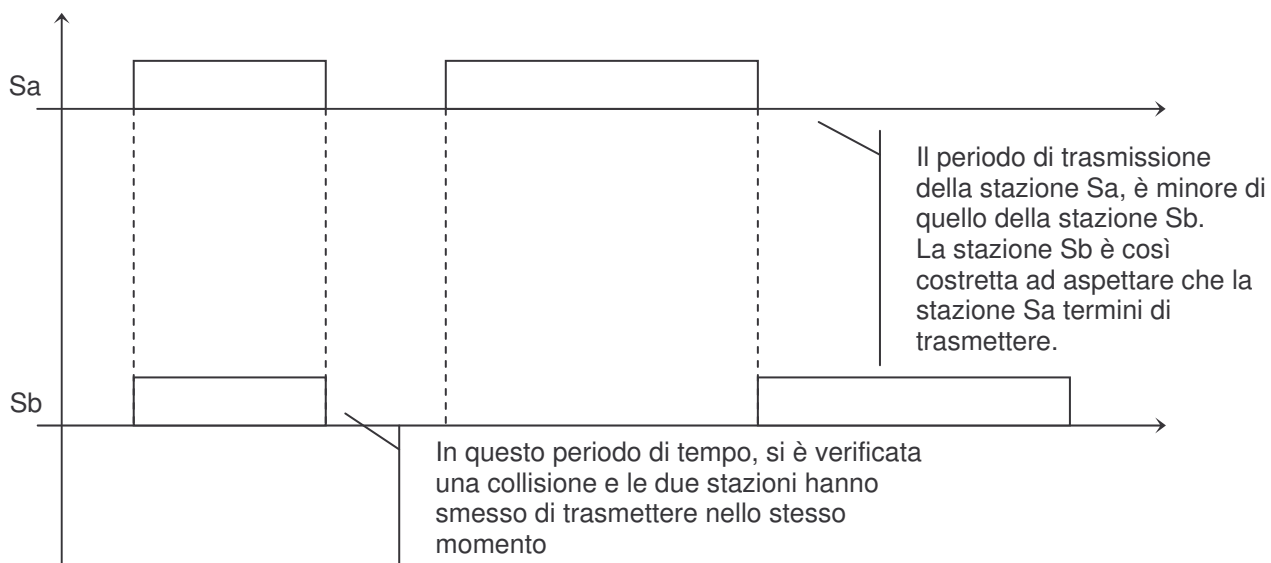


N.B.

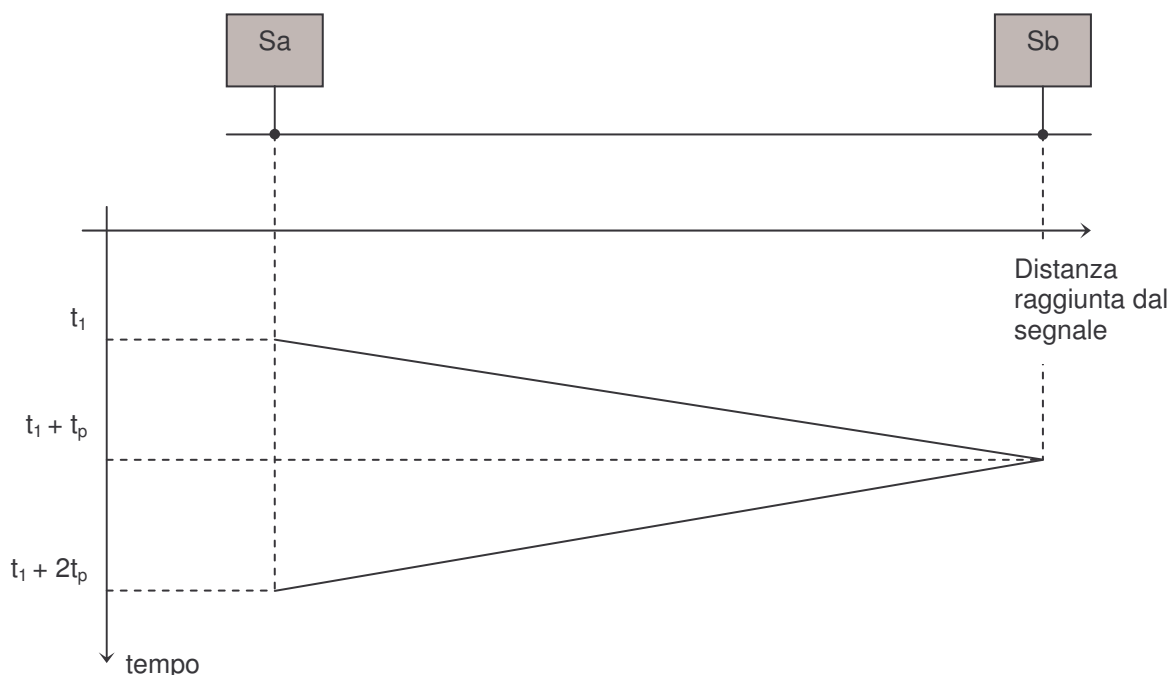
Nelle reti locali lo strato di collegamento viene diviso in due sottostrati:

- Logical Link Control (LLC) che svolge funzioni di livello superiore e gestisce gli errori di trasmissione.
- Medium Access Control (MAC) che controlla l'accesso al mezzo fisico.

Ma cosa succede in caso di collisione?



Se i due periodi di attesa sono casualmente uguali, il periodo massimo raddoppia.
E quali sono gli inconvenienti?



t_p è il ritardo di propagazione del segnale e vale

$$t_p = \frac{L}{V_p}$$

dove L è la lunghezza del cavo, e V_p è la velocità di propagazione.

La condizione necessaria e sufficiente perché sia possibile che una stazione si accorga di una collisione, è che la durata della trasmissione di un messaggio sia maggiore di $2t_p$, ovvero

$$\frac{L_m}{V_{tr}} > 2t_p$$

dove L_m è la lunghezza del messaggio, e V_{tr} è la velocità di trasferimento.

3.4 Lo standard ISO 8802 (IEEE 802).

L'ISO ha accettato come *standard internazionale per la definizione dell'architettura delle reti locali*, lo standard creato dalla IEEE, membro dell' ANSI, membro dell'ISO.

Questo standard è composto da sei di parti:

1. Gestione dell'interconnessione delle reti locali.
2. Definisce lo strato LLC che è la parte di più alto livello dello strato di collegamento.
3. Definisce lo strato fisico e MAC, che è la parte di più basso livello dello strato di collegamento, delle reti locali che usano la tecnica CSMA/CA.
4. Definisce strato fisico e MAC delle reti locali di tipo Token BUS.
5. Definisce strato fisico e MAC delle reti locali di tipo Token RING.
6. Definisce strato fisico e MAC delle reti metropolitane (DQDB).

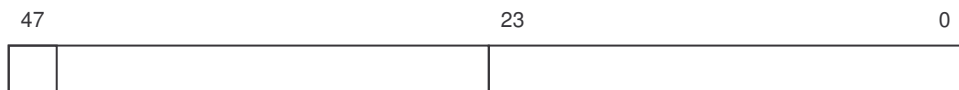
4. Gli indirizzi.

- *Compiti dello strato LLC.*
 - Gestire gli errori di trasmissione dei dati.
 - Controllare il flusso dei dati.
- *Compiti dello strato MAC.*
 - Gestione dell'accesso al mezzo fisico.
 - Delimitazione dell'inizio e della fine di ogni blocco di dati.
 - Assemblaggio dei messaggi.
 - Disassemblaggio dei messaggi.

Quando tutte le stazioni di una rete sono collegate allo stesso mezzo fisico, ogni stazione riceve gli stessi messaggi. Nasce quindi il problema di selezionare i messaggi da inviare ad ogni stazione: viene quindi assegnato ad ogni stazione un *indirizzo univoco*.

4.1 Il formato degli indirizzi delle stazioni (IEEE 802).

In questo caso vengono intesi gli indirizzi di livello di *collegamento*, che vengono spesso chiamati *indirizzi fisici*, per distinguerli da quelli logici.

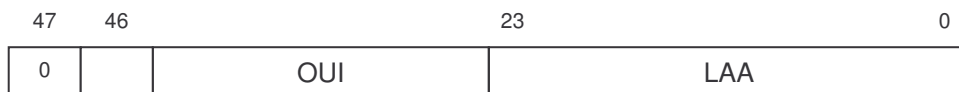


Questo indirizzo è lungo 6 bytes. Il bit più significativo determina con il suo valore il tipo di indirizzo: se questo ha valore 0 l'indirizzo viene detto *indirizzo individuale* o *unicast*, mentre se ha valore 1 l'indirizzo viene detto *indirizzo di gruppo*; quest'ultimo si può suddividere a sua volta, in *indirizzo broadcast* o *indirizzo multicast*.

L'indirizzo broadcast rappresenta il gruppo di tutte le stazioni della rete e ogni bit vale 1. Qualsiasi stazione della rete che riceve un messaggio con questo indirizzo di destinazione deve acquisire il messaggio dalla rete.

Gli indirizzi multicast sono associati ad un particolare sottoinsieme di stazioni della rete. Solo le stazioni che appartengono al sottoinsieme associato ad un particolare indirizzo multicast acquisiscono i frame che hanno quell'indirizzo di destinazione.

4.2 Il formato degli indirizzi individuali.

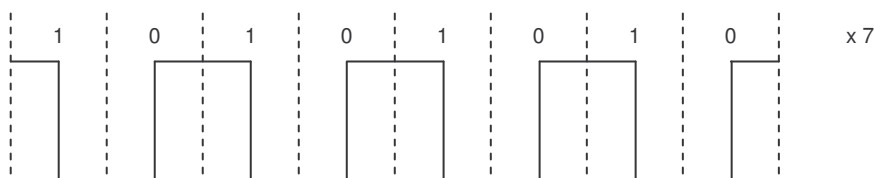


Il bit n° 46 determina con il suo valore il tipo di indirizzo: se questo ha valore 0 l'indirizzo viene detto *indirizzo statico* o *globale*, mentre se ha valore 1 l'indirizzo viene detto *indirizzo dinamico* o *locale*.

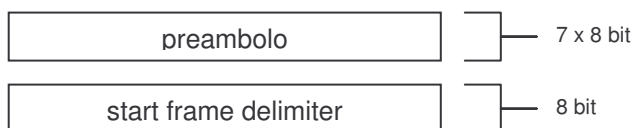
Gli indirizzi locali hanno significato solo nell'ambito di una particolare rete, mentre quelli globali hanno un significato universale, cioè non esistono al mondo due stazioni con lo stesso indirizzo globale. Mentre l'indirizzo locale viene assegnato dall'amministratore della rete, quello globale viene assegnato dall'IEEE in base al seguente criterio: l'IEEE assegna ad ogni organizzazione un identificatore unico chiamato OUI (Organization Unique Identifier) di 22 bit; a loro volta ciascuna organizzazione stabilisce per ogni interfaccia di rete da loro prodotta un LAA (Locally Administred Addresses) di 24 bit, il quale è unico per la scheda prodotta dalla stessa organizzazione.

4.3 Il formato delle MAC FRAME in base alla specifica IEEE 802.3.

Il primo campo di una MAC frame è una sequenza di 56 bit (7 byte) chiamata *preambolo*. Non è nient'altro che un'onda quadra (il suo valore è una sequenza di 0 e 1) che sincronizza le stazioni che ricevono questo segnale o livello di bit.



Il secondo campo è rappresentato dallo Start Frame Delimiter (il suo valore è 10101011) di 8 bit, che segnala alle stazioni riceventi il messaggio l'inizio vero e proprio della frame.

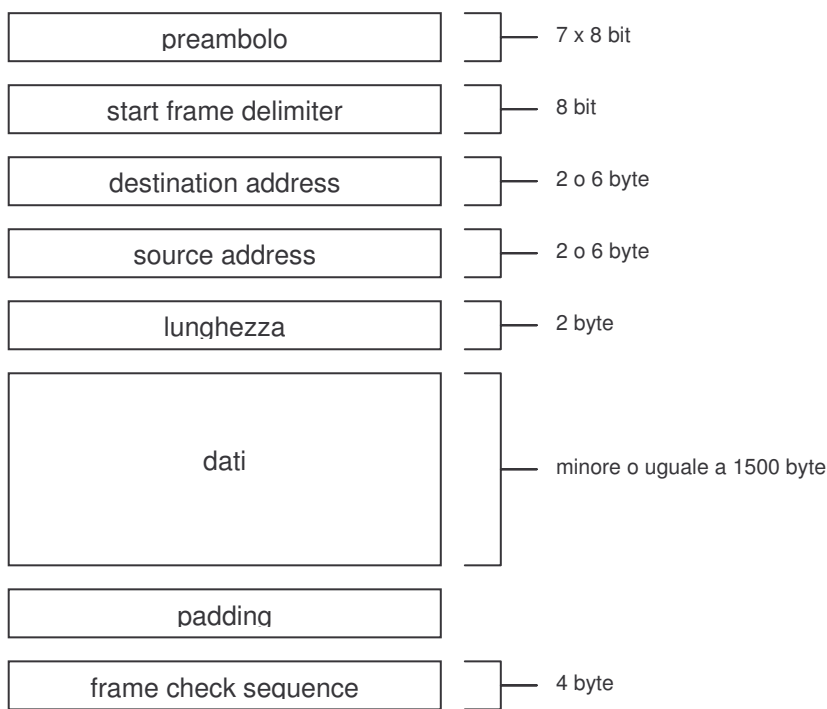


Il terzo campo, che può avere una lunghezza di 2 o 6 byte, è rappresentato dal Destination Address ovvero l'indirizzo hardware della scheda di rete della stazione di destinazione.

Il quarto campo, che anch'esso può avere una lunghezza di 2 o 6 byte, è rappresentato dal Source Address ovvero l'indirizzo hardware della scheda di rete della stazione che trasmette la frame (sorgente).

Il quinto campo, di 2 byte, viene detto o Lunghezza o Tipo: infatti il valore dei campi successivi a questo dipendono dal suo contenuto: se il contenuto è minore o uguale a 1500 viene chiamato Lunghezza, altrimenti viene chiamato Tipo.

Se il suo valore è minore o uguale a 1500 la struttura della MAC frame è la seguente.

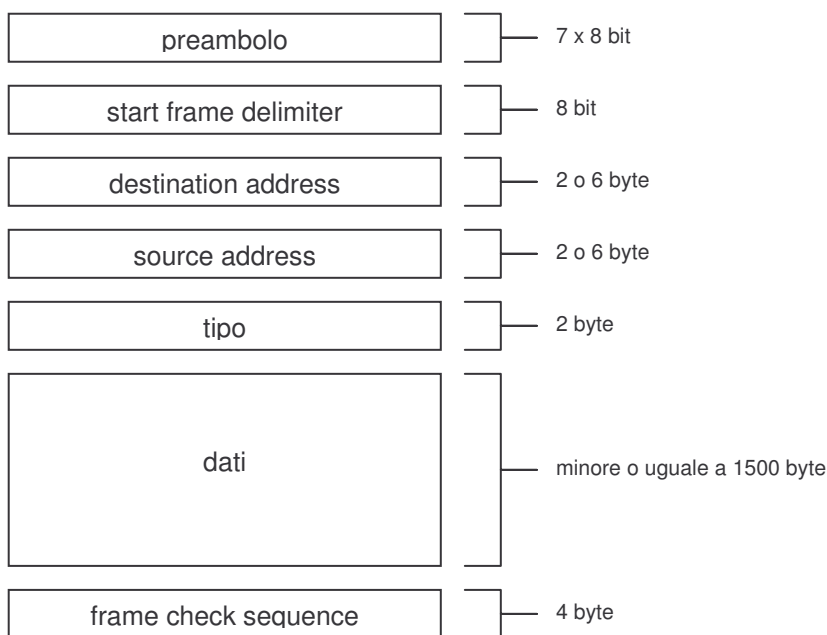


Il campo Lunghezza, in questo caso, rappresenta la lunghezza del campo Dati il cui valore deve essere minore o uguale a 1500 byte.

Il campo Padding serve per far raggiungere alla frame la lunghezza minima di 64 byte (512 bit).

Il valore dell'ultimo campo, il Fame Check Sequenze, viene calcolato in base al valore di tutti i campi a partire dal Destinatio Address e viene usato per verificare l'integrità della frame ricevuta. Viene calcolato con l'algoritmo CRC 32 bit.

Il protocollo LLC corregge gli eventuali errori di trasmissione. A volte questa funzione di correzione degli errori non è richiesta, anzi conviene inviare la frame con gli errori: in questo caso lo strato LLC rallenterebbe la trasmissione e viene quindi deciso che no sia presente. In tal caso il valore del campo Lunghezza sarà maggiore di 1500 e verrà chiamato tipo: cambieranno quindi anche i valori dei campi successivi.



Il campo Tipo rappresenta il tipo di protocollo che viene usato, mentre il campo Dati contiene anche dati del campo Tipo in base al protocollo dello stesso strato. Come si vede in questo caso il campo Padding viene eliminato perché il valore della frame può benissimo raggiungere il suo valore predefinito.

Sempre in questo caso il protocollo viene chiamato Ethernet e non più LLC.

4.4 Implementazione dello standard IEEE 802.

È lo standard relativo alle reti locali con tecnica d'accesso al mezzo fisico di tipo CSMA/CD che è stato emesso congiuntamente dalla INTEL e dalla XEROX. È uno standard *proprietario* e non internazionale ed è stato emesso prima dello standard IEEE 802. Questo standard può essere implementato in molti modi in base alla tecnica d'accesso al mezzo fisico e al mezzo fisico utilizzato.

- Ethernet (CSMA/CD su 10base5)
- Token Ring IBM (Token Passing Ring su STP)

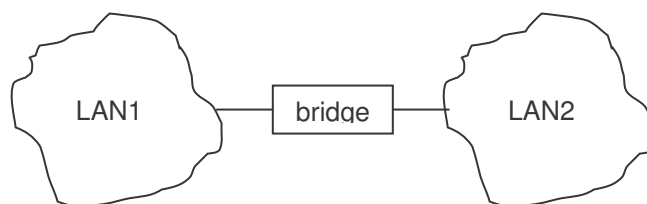
Con questo standard non sono compatibili le reti Apple Talk, che utilizzano la tecnica d'accesso al mezzo fisico di tipo CSMA/CA, che non è compatibile con questo standard.

Questo standard prevede molte implementazioni a livello fisico e MAC, ma lo strato LLC è sempre lo stesso. Quindi se si collegano reti eterogenee tra loro, queste avranno sempre lo stesso protocollo LLC.

Per collegare tra loro reti locali eterogenee si fa uso di particolari dispositivi digitali chiamati *bridge*.

4.5 I bridge.

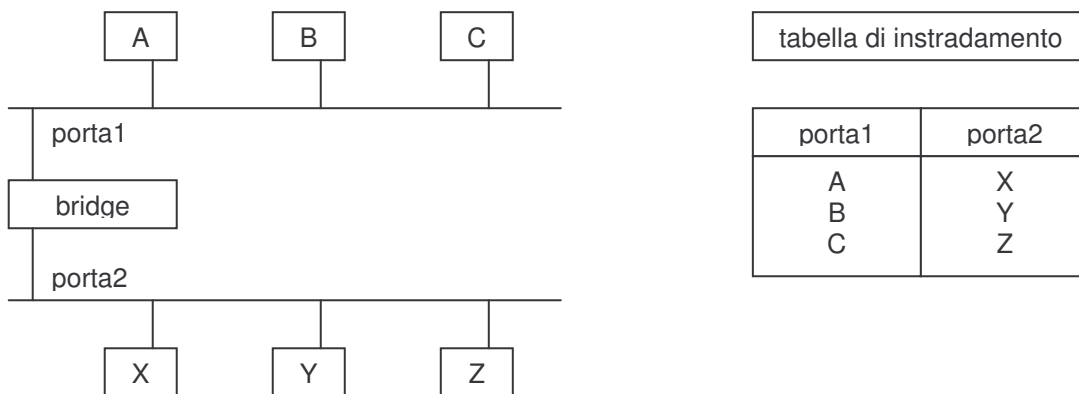
Un bridge è un dispositivo digitale, di fatto un microcomputer dedicato (tutti i programmi risiedono su ROM), che possiede due interfacce di rete ed è quindi in grado di collegarsi a due reti locali contemporaneamente.



Mantenendo le due reti locali separate a livello fisico, e che quindi possono utilizzare mezzi fisici e tecniche d'accesso al mezzo fisico diverse, le collisioni, di conseguenza, non vengono propagate da una rete all'altra. Infatti tutte le frame trasmesse dalle stazioni della prima rete non vengono trasmesse a quelle della seconda rete tranne se l'indirizzo di destinazione non appartenga alla stazione della seconda rete.

Per fare questa scelta un bridge deve conoscere gli indirizzi delle stazioni di ciascuna rete a cui è collegato. Un bridge, però, non può essere riprogrammato perché, per motivi di costo, il programma risiede in ROM. Di fatto un bridge è una scheda con un processore, un integrato di tipo ROM e due schede di rete (NIC).

I bridge devono quindi apprendere la conformazione della rete a cui sono collegati.



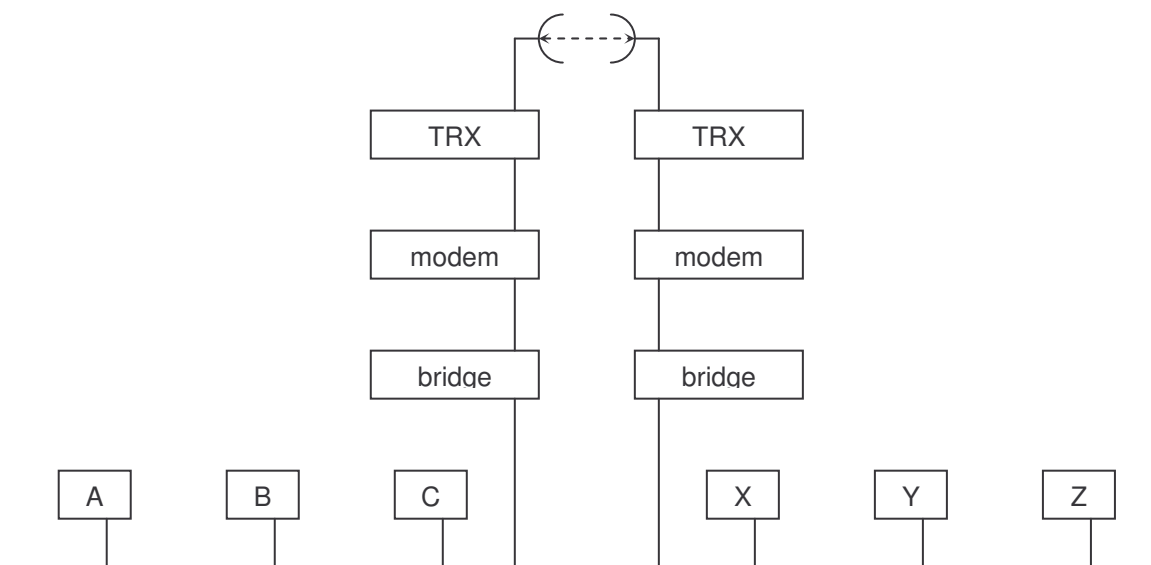
Quando il bridge non conosce l'indirizzo della stazione di destinazione si comporta come un *repeater* e invia il messaggio a tutte le stazioni anche se sono dell'altra rete.

Quando conosce la posizione e gli indirizzi di tutte le stazioni, seleziona la stazione alla quale deve inviare il messaggio a seconda della posizione della stazione di destinazione nella rete. Quindi *blocca il messaggio di una rete solo se la stazione sorgente e la stazione di destinazione appartengono alla stessa rete*. In questo modo se quattro stazioni di due reti diverse trasmettono contemporaneamente non si verificherà nessuna collisione.

Se al posto di un bridge mettiamo un *repeater*, che è un dispositivo analogico, si verificherebbero delle collisioni.

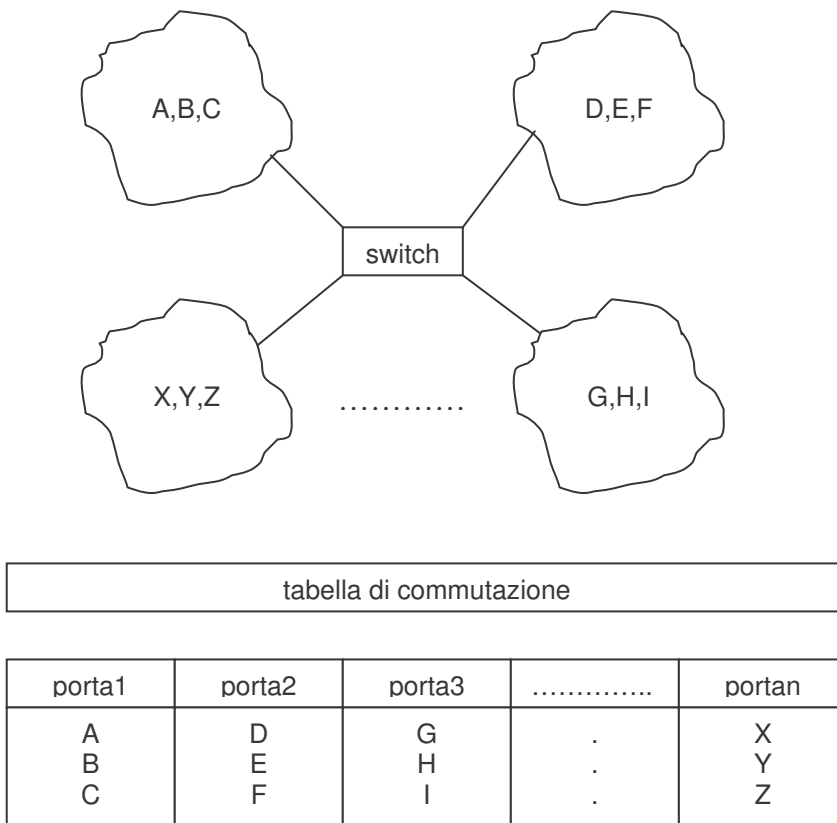
I bridge possono essere utilizzati per suddividere una grande rete locale in due o più domini di collisione. Questo viene fatto perché quando il numero di stazioni di una rete locale aumenta in modo considerevole, aumenta il traffico e quindi aumenta anche il numero di collisioni. La tecnica CSMA/CD è efficiente solo quando il traffico dei messaggi non supera certi limiti: in caso contrario si verifica il *trashing*, cioè il collasso di una rete, in quanto il numero di stazioni che trasmettono è talmente elevato che ogni stazione che trasmette causa una collisione.

I bridge possono essere utilizzati anche per collegare reti locali anche molto distanti tra loro. Per fare questo si utilizza un collegamento a lunga distanza (via satellite), trasformando le frame in una forma che possa essere trasmessa via satellite (modulazione/demodulazione).



4.6 Gli switch.

Il meccanismo dei bridge può essere esteso: utilizzando più interfacce di rete possiamo connettere quante reti locali vogliamo. Questi dispositivi si chiamano *switch*. Gli switch sono dei dispositivi digitali dedicati all'interconnessione tra più di due reti locali. Essi funzionano come i bridge.



Questa tabella contiene gli indirizzi fisici di ogni interfaccia delle stazioni appartenenti alla rete collegata a quell'interfaccia. Esamina quindi l'indirizzo di destinazione di una frame e se tale indirizzo appartiene ad una stazione di un'altra rete lo invia sull'altra rete.

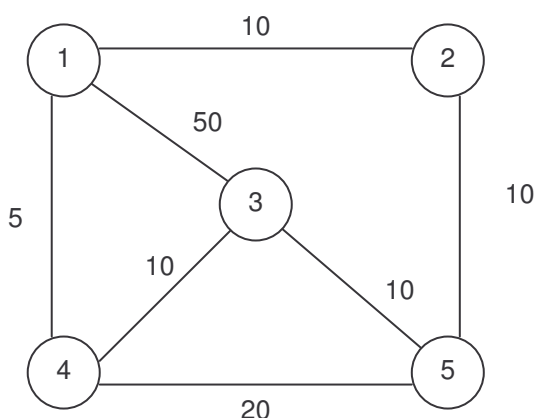
La tabella di commutazione viene creata come quella dei bridge: quando la tabella è completa lo switch termina di comportarsi come un HUB e comincia a comportarsi come un commutatore.

Come sappiamo l'HUB è un dispositivo analogico e ritrasmette alle stazioni tutti i segnali che riceve; ma se l'HUB riceve contemporaneamente un messaggio da parte di due stazioni, si verifica una collisione e le frame vengono distrutte. In questo caso l'HUB manda a tutte le stazioni un segnale che indica l'avvenuta collisione. Per evitare ciò si può far uso di uno switch: questo, essendo un dispositivo digitale che analizza la destinazione della frame e la invia solo alla stazione di destinazione, quando riceve due messaggi contemporaneamente non si verificano collisioni e le frame vengono inviate correttamente. Se utilizziamo mezzi fisici diversi, con diverse velocità di trasferimento, con lo switch non ci sono problemi perché memorizza le frame prima di inviarle. Con l'HUB invece dobbiamo cambiare le interfacce.

5. Reti geografiche.

Si può parlare di rete geografica anche nel caso di due stazioni contenute nello stesso edificio; infatti ad essa possiamo aggiungerne un'altra che dista anche qualche centinaia di chilometri. Insomma la rete geografica può essere estesa quanto si vuole: per poter fare questo le reti geografiche devono essere diverse dalle reti locali e dalle reti metropolitane.

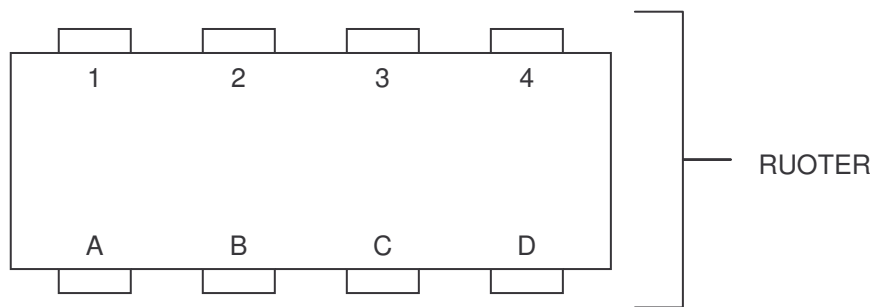
5.1 Tecnologia di trasmissione punto a punto.



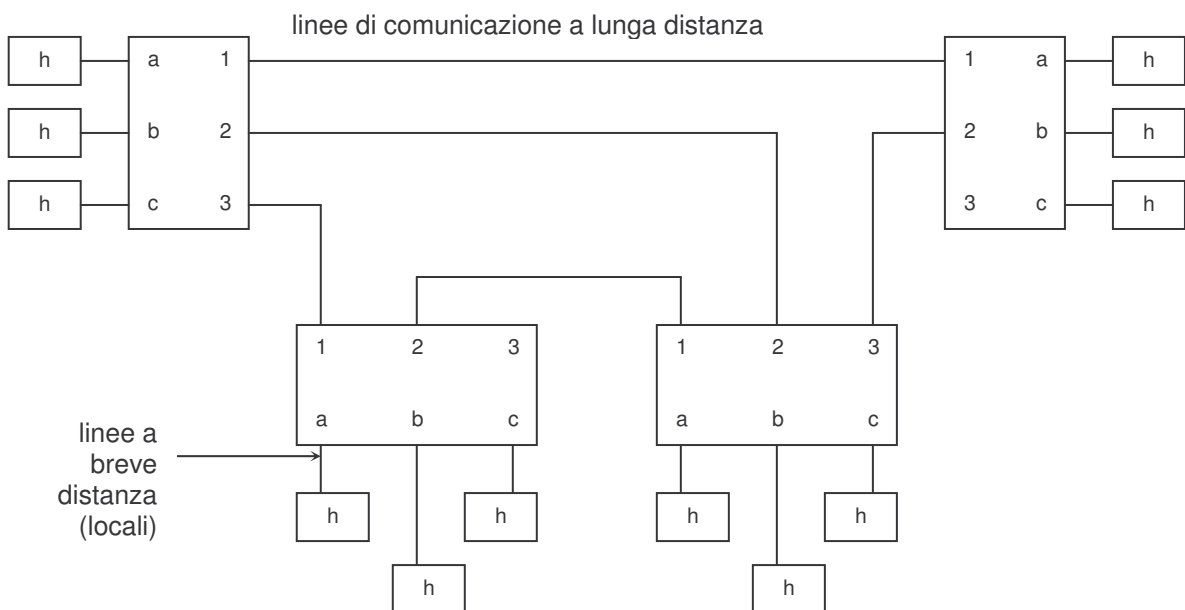
Se tra due stazioni non esiste una linea di comunicazione punto a punto e messaggi devono seguire un cammino.

Per *cammino* si intende una sequenza di linee punto a punto tale che il nodo terminale di ciascuna linea sia anche il terminale sorgente della linea successiva. Nelle reti geografiche il problema più grande da risolvere è determinare il cammino più breve che può compiere il messaggio dal nodo sorgente al nodo di destinazione. Ogni linea di comunicazione punto a punto è caratterizzata da un *peso* che è il ritardo di transito di un cammino.

Ci possono essere due tipi di nodi: gli host computers che eseguono le applicazioni degli utenti, e i routers che sono computer dedicati all'elaborazione dei messaggi che viaggiano lungo la rete.



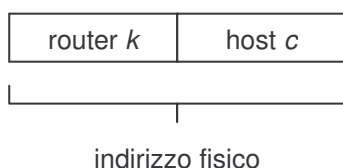
I router si trovano in luoghi dove sono presenti un certo numero di host. Di solito si usa un router per collegare tutti gli host di una località.



Una delle proprietà fondamentali di una rete geografica è la sua *scalabilità*, cioè può essere estesa a piacere. Per collegare nuove linee locali non occorre fare alcuna domanda, basta stendere il cavo che è molto economico, mentre per le linee a lunga distanza si deve fare una domanda a concessionari pubblici.

5.2 Lo schema di indirizzamento degli host.

Lo schema di indirizzamento degli host in una rete geografica è di tipo gerarchico e precisamente è composto di due parti; di fatto è un indice binario suddiviso in due parti: la prima individua il router della rete geografica al quale l'host è collegato, mentre la seconda individua l'host relativo al router.



Ogni pacchetto inviato da un host contiene l'indirizzo di destinazione e ogni router deve semplicemente decidere a quale altro route deve inviarlo. Tutte queste informazioni sono contenute nella tabella d'instradamento.

5.3 Le tabelle di instradamento dei router.

La tabella di instradamento possiede una riga per ogni router della rete geografica.

router di destinazione	routers successivi
1	.
2	.
3	.
.	.
.	.
.	.
k	.
.	.
.	.
n	.

I router successivi dipendono dagli host di destinazione.

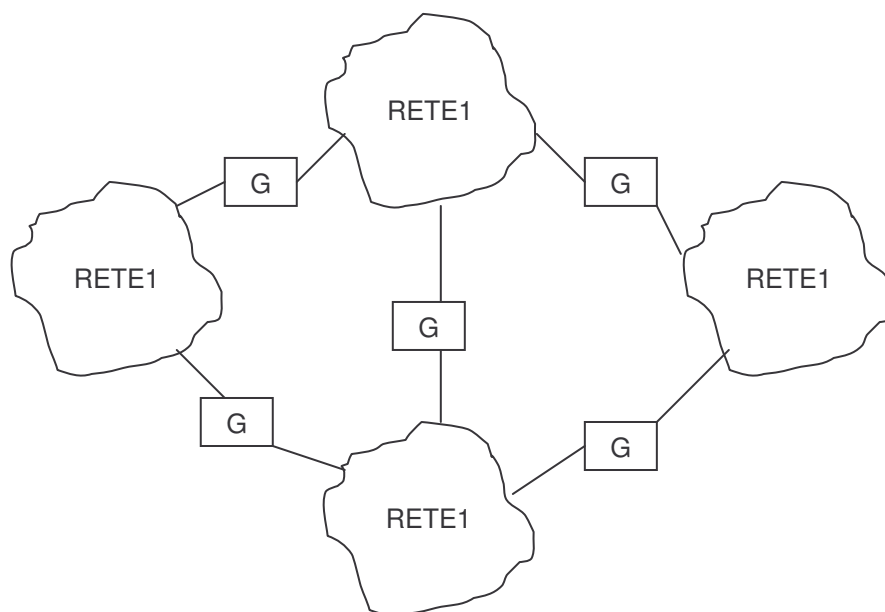
I router possono essere configurati anche dall'amministratore che compila la tabella di instradamento in ciascun router (solo se la rete geografica è molto semplice). Facendo uso di protocolli di comunicazione, ogni router, sia quando entra in funzione, sia quando rileva un cambiamento del proprio stato (aggiunta di una linea) comunica queste informazioni ai router a cui è collegato direttamente.

Comunque vengono compilate le tabelle, bisogna trovare sempre il cammino più breve con degli algoritmi. L'algoritmo di Dijkstra permette di trovare il cammino più breve.

6. Le inter-reti.

6.1 L'interconnessione tra le reti di calcolatori.

Per risolvere il problema dell'interconnessione tra le reti di calcolatori si fa uso dei *gateway*: questi sono dei dispositivi digitali in grado di interconnettere e collegare tra loro due o più reti di calcolatori di qualsiasi tipo; infatti utilizzando uno o più gateway si possono connettere moltissime reti di calcolatori.

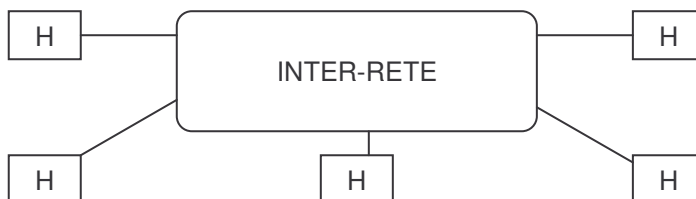


In generale i gateway connettono coppie di reti.

Alla fine otteniamo un unico sistema distribuito i cui componenti sono reti di calcolatori interconnessi tramite gateway: questo sistema prende il nome di inter-rete.

La struttura di un'inter-rete può essere molto complessa, ma il suo scopo è quello di permettere la comunicazione tra coppie qualsiasi di utenti o di programmi applicativi degli utenti. Quest'ultimi risiedono sugli host, cioè calcolatori sui quali vengono eseguiti i programmi applicativi degli utenti, e ciascuna sottorete è collegata a sistemi remoti come gli host.

Per quanto possa essere complessa la struttura di una rete, agli utenti e ai programmi applicativi degli utenti una inter-rete deve apparire nel seguente modo:



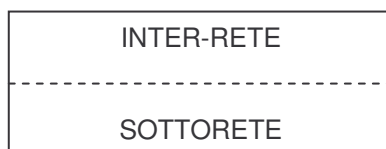
La struttura fisica di una inter-rete, quindi, è sconosciuta da gran parte degli utenti: a loro appare come un'unica rete virtuale in grado di fornire un servizio di comunicazione universale, cioè un servizio di comunicazione tra qualsiasi coppia di utenti. Per quanto riguarda l'architettura logica, essa è fornita dal modello di riferimento di internet.

6.2 Il modello di riferimento di internet.

Anche questo è un modello stratificato in cui ogni strato svolge funzioni che vengono ordinate in base al livello di astrazione relativo a ciascuna di esse. Questo modello prevede 5 strati invece di 7 come nel modello di riferimento dell'OSI.

Lo strato di più alto livello è lo strato delle applicazioni: è in questo strato che operano i principali protocolli applicativi (FTP, TELNET, SMTP, POP3,.....) in quanto ogni applicazione richiede un proprio protocollo. Nel modello OSI lo strato delle applicazioni viene rappresentato dagli strati di applicazione, di presentazione e di sessione.

Il quarto strato è lo strato di trasporto che corrisponde allo strato di trasporto del modello di riferimento OSI: i suoi protocolli sono TCP e UTP. Sotto allo strato di trasporto troviamo lo strato di inter-rete: questo non corrisponde a nessuno strato del modello di riferimento OSI perché quest'ultimo non prevedeva di collegare più reti. Di fatto lo strato di inter-rete corrisponde al sottostrato di inter-rete dello strato di rete del modello OSI.



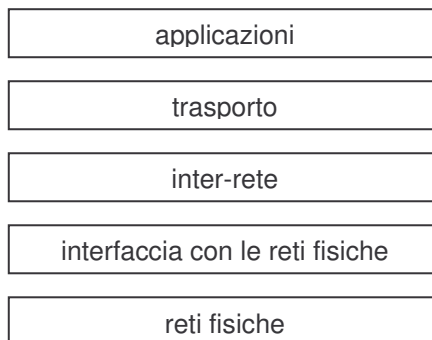
In questo strato è definito il protocollo IP.

Il secondo strato prende il nome di interfaccia con le reti fisiche che ha il compito di nascondere agli strati superiori tutte le differenze tra le varie reti o sottoreti che compongono le inter-reti. Anche questo strato fa uso di protocolli, in particolar modo dei protocolli ARP e RARP.

Il primo strato (o strato di più basso livello di astrazione), infine, è costituito dalle reti fisiche da cui prende il nome. I protocolli usati sono quelli di ogni particolare rete fisica. Di fatto internet non si occupa di questo strato, ma se ne occupano altre organizzazioni.

Questo strato nel modello di riferimento OSI corrisponde allo strato di collegamento, al sottostrato di sottorete dello strato di rete e allo strato fisico.

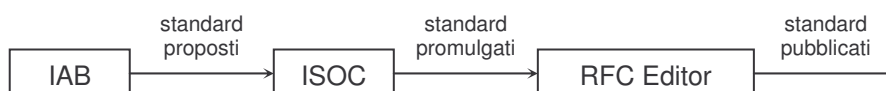
Tutta l'architettura logica delle inter-reti fornita dal modello di riferimento di internet, può essere riassunta tramite questo semplice schema.



6.3 L'ISOC (Internet Society).

La principale organizzazione che ha il compito di definire tutti gli standard del modello di riferimento di internet è l'ISOC (Internet Society): è un'organizzazione internazionale non governativa e non a fine di lucro, composta da più di 6000 individui di più di 100 diverse nazionalità; questi hanno il compito di promulgare tutti gli standard relativi al modello di riferimento di internet.

Per svolgere questo compito, l'ISOC si avvale di altre due organizzazioni correlate: la RFC Editor, che ha il compito di pubblicare tutti gli standard che vengono promulgati, e l'IAB (Internet Architecture Board) che ha il compito di effettuare l'attività di ricerca e sviluppo nel settore degli standard.



Qualsiasi utente di internet può definire uno standard da proporre all'IAB e gli standard promulgati vengono direttamente pubblicati sulla rete.

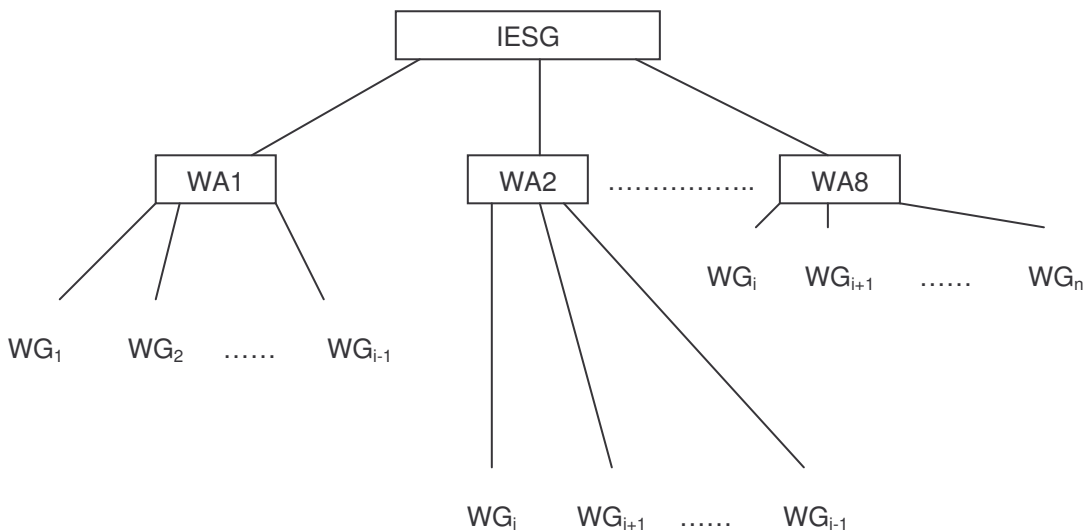
6.4 L'IAB (Internet Architecture Board).

È a sua volta composto da organizzazioni indipendenti che sono l'IRTF e l'IETF. L'IRTF (Internet Research Task Force) svolge l'attività di ricerca a medio e lungo termine di nuovi standard per il modello di riferimento di internet. L'IETF (Internet Engineering Task Force), invece, svolge l'attività di sviluppo a breve termine di nuovi standard e di nuove versioni di standard già esistenti.

A loro volta queste due organizzazioni possiedono una loro struttura, in particolare l'IRTF è formato da un gruppo dirigente, chiamato IRSG (Internet Research Steering Group), che è a sua volta composto da 11 gruppi di ricerca. Ciascun gruppo di ricerca (Research Group) è formato da un gruppo di individui che svolgono funzioni di ricerca in un determinato

settore (sicurezza, applicazioni multimediali, ...). L'attività di tutti questi gruppi è coordinata dall'IRSG.

L'IETF, invece, è suddiviso in un certo numero di gruppi di lavoro chiamati *working group*. Ma mentre i gruppi di ricerca dell'IRTF vengono coordinati dall'IRSG, i gruppi di lavoro dell'IETF sono suddivisi in 8 aree di lavoro (Working Area) e la loro attività è coordinata dall'IESG (Internet Engineering Steering Group).



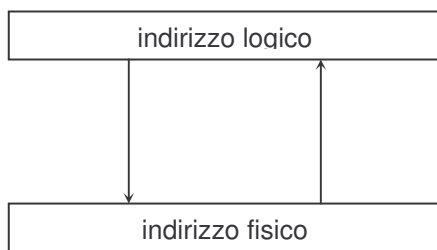
Il responsabile di ogni working group è membro della working area a cui appartiene il suo gruppo. A loro volta le working area hanno un responsabile che è membro dell'IESG.

7. Il modello di riferimento di internet.

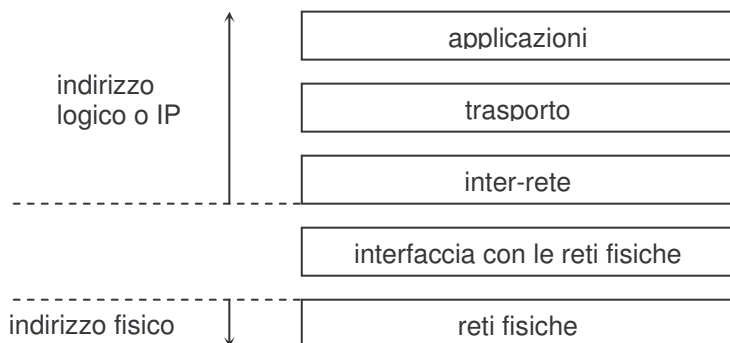
Internet è una grande rete virtuale formata dall'interconnessione di molte reti fisiche ciascuna delle quali possiede un proprio schema di indirizzamento. Tutti questi schemi sono spesso tra loro incompatibili: questo significa che l'indirizzo fisico di un particolare host di una rete fisica non è riconosciuto dagli altri host ma solo da quelli che appartengono alla stessa rete fisica oppure ad altre reti fisiche che però hanno lo stesso schema di indirizzamento.

Il problema è stato risolto inventando uno schema di indirizzamento virtuale ma identico per tutti gli host di internet indipendentemente dal tipo di rete fisica di appartenenza. Ogni dispositivo di questa rete possiede due diversi indirizzi:

- *Indirizzo fisico.*
È l'indirizzo con il quale l'host viene riconosciuto all'interno della rete fisica di appartenenza.
- *Indirizzo logico.*
È l'indirizzo con il quale l'host viene riconosciuto da tutti gli altri host della rete internet.

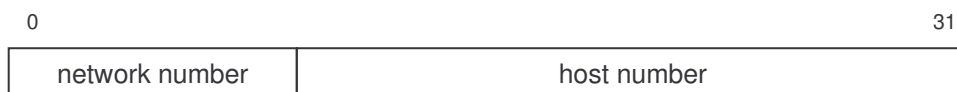


La traduzione da indirizzo fisico a indirizzo logico, e viceversa, viene svolta dallo strato di interfaccia con le reti fisiche del modello di riferimento di internet.



7.1 Il formato degli indirizzi IP.

Sorprendentemente tutti gli indirizzi IP hanno la stessa lunghezza di 32 bit.



L'indirizzo IP è formato da due parti chiamate prefisso e suffisso. Il prefisso identifica la rete fisica di appartenenza dell'host; il suffisso, invece, identifica un particolare host della rete fisica: quindi due host della stessa rete non possono avere lo stesso suffisso.

Un host potrebbe avere più di un indirizzo IP perché questi, anziché identificare degli host, identificano le connessioni con la rete internet: è possibile che un host abbia più di una connessione e in questo caso l'host possederebbe un indirizzo IP per ogni connessione.

7.2 Le classi degli indirizzi IP.

La classe di appartenenza di un indirizzo IP è identificata dai primi 4 bit dell'indirizzo stesso. Se il primo bit di un indirizzo IP è uguale a 0, l'indirizzo appartiene alla classe A; in caso contrario appartiene ad una delle altre classi. Se il secondo bit è uguale a 0, l'indirizzo appartiene alla classe B; in caso contrario appartiene ad una delle altre classi, e così via. Il tutto si può riassumere nella seguente tabella:

Classe	B0	B1	B2	B3
A	0	X	X	X
B	1	0	X	X
C	1	1	0	X
D	1	1	1	0
E	1	1	1	1

Una volta individuata una classe, il formato di un indirizzo IP viene identificato nel seguente modo:

– *Classe A.*

Gli indirizzi di classe A hanno 7 bit per il prefisso, che identifica la rete fisica di appartenenza, e i restanti contengono l'identificatore dell'host. Gli indirizzi di classe A hanno quindi 24 bit di suffisso e 8 bit di prefisso. La classe A permette di specificare 128 differenti reti, ciascuna delle quali può essere collegata a $2^{24}=16$ M differenti host. Questi, perciò, sono utilizzati dalle reti di grosse dimensioni, che cioè hanno un gran numero di host collegati.

– *Classe B.*

Gli indirizzi di classe B hanno un prefisso di 14 bit e un suffisso di 16 bit. Quindi per mezzo di un suffisso di 14 bit, un indirizzo di classe B può identificare 16 K differenti reti, ciascuna delle quali può essere composta da un numero non superiore di 64 K host.

– *Classe C.*

Gli indirizzi di classe C, che iniziano con il prefisso 110, hanno un prefisso di 21 bit e un suffisso di 8 bit. Questo può identificare fino a 2 M differenti reti fisiche ciascuna delle quali può essere composta da 256 host. La classe C è utilizzata dalle reti di piccole dimensioni, normalmente da reti locali che sono le più piccole e numerose.

È ovvio che nessuno può scegliere l'indirizzo IP autonomamente, ma si può scegliere solo l'identificatore dell'host. Esiste, però, più di un ente preposto a fornire il prefisso: esiste, infatti, un registro che contiene tutti gli identificatori delle reti fisiche esistenti e il compito di aggiornare tale registro è affidato all'IANA (Internet Assigned Number Authority). Ma quando un amministratore vuole creare una rete, si affida ad un Network Information Center (NIC) regionale che fa a sua volta capo ad un'organizzazione internazionale correlata all'ISOC, l'ICANN (Internet Corporation for Assign Names and Numbers). L'ICANN non si occupa di assegnare solo gli indirizzi IP, ma anche nomi di dominio e parametri relativi ai protocolli. Questi aspetti sono di pertinenza di associazioni appartenenti all'ICANN, ovvero l'ASO (Address Supporting Organization), che si occupa degli indirizzi IP attraverso i NIC regionali, la DNSO (Domain Name Supporting Organization), che assegna i nomi di dominio, e la PSO (Protocol Supporting Organization) che assegna i parametri relativi ai protocolli.

Per quanto riguarda le reti fisiche, di solito l'amministratore della rete chiede alla NIC regionale un identificatore di rete fisica, e una volta ricevuto, l'amministratore assegnerà un numero ad ogni host appartenente alla rete fisica. L'identificatore degli host aventi tutti 0 è riservato in quanto rappresenta la rete.

7.3 Gli indirizzi IP riservati.

prefisso	suffisso	tipo
rete	tutti 0	indirizzo di reti fisiche
rete	tutti 1	indirizzo di broadcast orientato
tutti 1	tutti 1	indirizzo di broadcast limitato
tutti 0	tutti 0	indirizzo di questo host
127	qualsiasi	indirizzo di loopback

– *Broadcast orientato.*

Identifica tutti gli host della rete identificata dal prefisso.

– *Broadcast limitato.*

Identifica tutti gli host della rete fisica a cui appartiene la sorgente di un messaggio.

– *Questo host.*

Rappresenta l'host che ha trasmesso il messaggio e viene creato solo come indirizzo sorgente e non di destinazione.

– *Loopback.*

Ogni messaggio che ha come indirizzo di destinazione l'indirizzo di loopback, viene ricevuto dall'host che ha trasmesso il messaggio stesso.

7.4 La notazione decimale puntata.

In base a questo tipo di notazione, ogni indirizzo IP viene rappresentato da una sequenza di 4 numeri decimali senza segno separati tra loro da 3 punti:

$$w . x . y . z$$

dove w, x, y e z sono numeri decimali di valore compreso tra 0 e 255.

Ciascun numero decimale rappresenta una parte di codice binario di 32 bit che forma un indirizzo IP. I numeri decimali non possono, quindi, rappresentare un valore superiore a 255 perché 255 è il valore massimo rappresentabile con 8 cifre binarie.

Quello che interessa di più è come si può scoprire l'appartenenza di un indirizzo IP scritto in notazione decimale puntata: lo si capisce dal valore di w.

- *Classe A.*
wmin = 0
wmax = 127
- *Classe B.*
wmin = 128
wmax = 191
- *Classe C.*
wmin = 192
wmax = 223
- *Classe D.*
wmin = 224
wmax = 239
- *Classe E.*
wmin = 240
wmax = 255

Non tutti gli indirizzi IP sono riconosciuti dalla rete internet: esistono infatti altre combinazioni che sono riservate a scopi particolari. In questo caso si parla di indirizzi IP privati.

Gli indirizzi IP privati.

L'ICANN ha stabilito che un particolare sottoinsieme di indirizzi IP venga usato all'interno delle inter-reti private, ovvero inter-reti conformi al modello di riferimento di internet ma di proprietà privata.

Internet è un inter-rete pubblica e chiunque può collegarsi a internet direttamente, ma alcune organizzazioni possono avere bisogno di costruire una propria inter-rete privata. Ciononostante gli host della inter-rete privata possono desiderare di collegarsi a host della rete pubblica: nasce quindi il problema di mantenere la riservatezza della rete privata se alcuni host di questa si collegano alla rete pubblica.

Gli indirizzi IP privati, infatti, non sono riconosciuti da internet e quindi, assegnando agli host di una rete privata un indirizzo IP privato, è impossibile che un host privato comunichi con l'esterno perché appena questo invia un messaggio in internet, il messaggio verrà cestinato.

Gli indirizzi IP privati possono appartenere alla classe A, alla classe B e alla classe C.

- *Classe A.*
da 10.0.0.0
a 10.255.255.255
- *Classe B.*
da 172.16.0.0

- a 172.31.255.255
- Classe C.
- da 192.168.0.0
- a 192.168.255.255

7.5 Caratteristiche dello strato interfaccia con le reti fisiche.

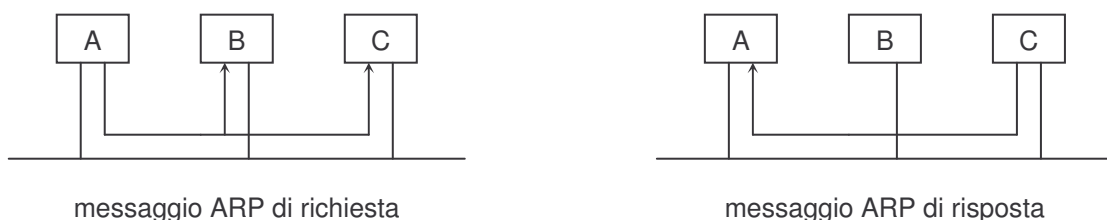
Per inviare un messaggio attraverso una qualsiasi rete fisica, non basta conoscere l'indirizzo IP dell'host di destinazione, ma è necessario, affinché il pacchetto venga eseguito dall'host di destinazione, che il pacchetto venga incapsulato in una frame che contenga anche l'indirizzo fisico dell'host di destinazione. Questo è il compito principale dello strato interfaccia con le reti fisiche ed è detto *risoluzione*. Le tecniche di risoluzione sono tre:

- *Tabelle di risoluzione degli indirizzi.*
Queste sono tabelle nelle quali ciascuna riga contiene l'indirizzo IP e l'indirizzo fisico di ogni host collegato alla rete fisica. Richiede che tutti gli host di una rete fisica contengano la stessa tabella di risoluzione degli indirizzi.
- *Formula di risoluzione degli indirizzi.*
Permette di calcolare l'indirizzo fisico tramite l'indirizzo IP. Non è necessaria, quindi, una tabella di risoluzione degli indirizzi, ma la formula richiede che l'indirizzo fisico dipenda dall'indirizzo IP. Questa viene applicata quando gli indirizzi fisici possono essere modificati dall'amministratore della rete.

Entrambe queste tecniche hanno degli inconvenienti: per la prima, a causa del cambiamento della topologia della rete fisica, si devono aggiornare manualmente tutte le tabelle di risoluzione, mentre per la seconda non è sempre possibile avere un indirizzo fisico dinamico.

- *Utilizzo del protocollo ARP.*
Il protocollo ARP è definito nella RFC 826. È un protocollo standard per il modello di riferimento di internet e viene usato nello strato interfaccia con le reti fisiche. Tale protocollo può essere usato nelle reti con tecnologia di trasmissione di tipo broadcast, ed è usato soprattutto dalle reti locali che fanno parte della rete internet. Ma come viene utilizzato il protocollo ARP?

La stazione sorgente invia in modalità broadcast un particolare messaggio del protocollo ARP che non è altro che un messaggio di risoluzione dell'indirizzo IP (ovviamente la stazione sorgente deve conoscere l'indirizzo fisico della stazione di destinazione). Tale messaggio contiene al suo interno l'indirizzo IP della stazione di destinazione e l'indirizzi fisico e IP della stazione sorgente. Tutte le stazioni che ricevono tale messaggio lo esaminano, ma solo la stazione avente l'indirizzo IP di cui viene chiesta la risoluzione, risponderà con un messaggio contenente il proprio indirizzo fisico.



Per segnalare che il campo dati della MAC frame contiene un messaggio ARP, il campo dati deve contenere il valore $(806)_{16}$.

Esistono sostanzialmente due tipi di messaggi ARP: richieste e risposte. Hanno entrambi lo stesso formato, ovvero, sono lunghi 28 bytes (solo quando sono conformi allo standard IEEE 802.3).

	0	15	16	31
0	HARDWARE TYPE		PROTOCOL TYPE	
1	H. LENGTH	P. LENGTH		OPERATION
2	SOURCE HARDWARE ADDRESS			
3	SOURCE HARDWARE ADDRESS		SOURCE PROTOCOL ADDRESS	
4	SOURCE PROTOCOL ADDRESS		TARGET HARDWARE ADDRESS	
5	TARGET HARDWARE ADDRESS			
6	TARGET PROTOCOL ADDRESS			

- *Hardware type (16 bit).*
Tipo della rete fisica (1=Ethernet).
- *Protocol type (16 bit).*
Tipo del protocollo dello strato di inter-rete ($(806)_{16}$ =IP).
- *Hardware length (8 bit).*
Definisce la lunghezza degli indirizzi della rete fisica (6=Ethernet).
- *Protocol length (8 bit).*
Definisce la lunghezza degli indirizzi del protocollo di inter-rete (4=IP).

Il protocollo ARP è generalizzato a qualsiasi rete fisica o a qualsiasi protocollo di inter-rete. I primi 32 bit indicano sia il tipo di rete fisica che il protocollo di inter-rete.

- *Operation (16 bit).*
Definisce il tipo di messaggio ARP (1=richiesta, 2=risposta).

La lunghezza dei campi successivi dipende dai primi due campi. Quelli che vedremo sono relativi a reti fisiche.

- *Source hardware address (6 bytes).*
Rappresenta l'indirizzo fisico della stazione sorgente.
- *Source protocol address (4 bytes).*
Contiene l'indirizzo IP della stazione sorgente.
- *Target protocol address (6 bytes).*
Rappresenta l'indirizzo fisico della stazione di destinazione.
- *Target protocol address (4 bytes).*
Contiene l'indirizzo IP della stazione di destinazione.

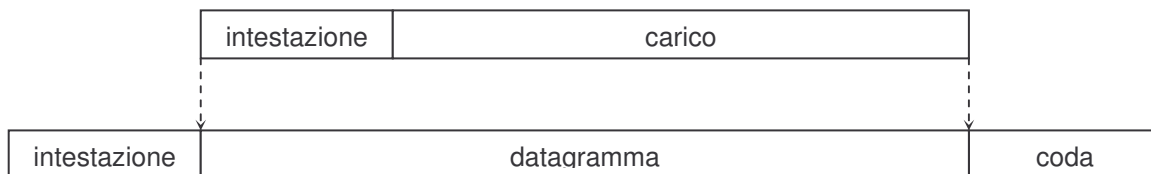
7.6 Caratteristiche dello strato di inter-rete.

Il principale protocollo utilizzato dallo strato di inter-rete è il protocollo standard IP. I servizi di comunicazione forniti tramite questo protocollo dello strato di inter-rete, sono:

- non orientati alla connessione;
- senza conferma dell'avvenuta ricezione dei messaggi inoltrati.

Se il servizio è orientato alla connessione gli utenti possono richiedere alla rete di stabilire, gestire e terminare una connessione con un altro utente. Il protocollo IP non fornisce questo tipo di servizio perciò gli utenti possono solo scambiarsi messaggi senza alcuna garanzia che questi arriveranno correttamente a destinazione: ogni messaggio che viene inoltrato può essere perso, può essere duplicato, può essere corrotto e può anche arrivare in un ordine diverso da quello d'inoltro. Il protocollo IP si limita a fare del suo meglio per rilasciare i messaggi a destinazione senza dare alcuna garanzia all'utente.

I messaggi vengono chiamati *datagrammi* e sono composti da una prima parte di intestazione contenente varie informazioni di controllo del protocollo IP, seguita da un carico contenente i dati veri e propri. Ciascun datagramma viene a sua volta incapsulato (quando deve essere inoltrato) in una frame il cui formato dipende dalla rete attraversata.



Il formato dell'intestazione di un datagramma è così composto (può avere una lunghezza compresa tra i 20 e i 60 bytes):

	0	15	16	31
0	VER	H. LEN	SERVICE TYPE	TOTAL LENGTH
1	IDENTIFICATION		FLAGS	FRAGMENT OFFSET
2	TIME TO LIVE	P. TYPE	HEADER CHECKSUM	
3	SOURCE IP ADDRESS			
4	DESTINATION IP ADDRESS			
	IP OPTIONS (DA 0 A 40 BYTES)			

- *Versione (4 bit).*
Versione del protocollo IP conforme all'intestazione e ha un valore decimale di 4.
- *Lunghezza intestazione (4 bit).*
Indica la lunghezza dell'intestazione espressa in parole di 32 bit.

- *Service type (8 bit).*

Rappresenta il tipo di servizio richiesto dal datagramma.

0	1	2	3	4	5	6	7
p	p	p	d	t	r	nu	nu

- *p (precedence).*

Rappresenta il livello di precedenza che il datagramma deve avere (000=precedenza minima; 111=precedenza massima).

- *d (delay).*

Quando questo bit ha valore 1 specifica la richiesta del minimo ritardo di transito del datagramma sulla rete.

- *t (throughput).*

Serve a specificare il massimo rendimento, cioè la massima quantità di informazione trasmessa nell'unità di tempo.

- *r (reliability).*

Serve a richiedere la massima affidabilità.

I bit 6 e 7 non sono utilizzati.

- *Total length (16 bit).*

Specifica la lunghezza dell'intero datagramma espressa in bytes. Il valore minimo sarà 20, mentre il valore massimo sarà $2^{16}-1$ che, diminuito di 20, dà la lunghezza massima del campo carico che può essere contenuto all'interno del datagramma (da 0 a 65525 bytes).

Non tutte le reti fisiche permettono il passaggio di frame così lunghe. Normalmente ogni rete fisica è caratterizzata da un MTU che specifica la lunghezza massima del campo dati contenuto in una frame. L'MTU dipende dalla rete fisica.

Spesso un datagramma deve attraversare una rete fisica con un MTU minore alla sua lunghezza e perciò viene suddiviso in una serie di pacchetti, o frammenti, tutti di dimensione minore o uguale all'MTU della rete fisica da attraversare. Tutti questi frammenti dovranno, alla fine, essere riassemblati: per permettere ciò, tutti i frammenti devono essere riconducibili al datagramma di partenza. Questo viene effettuato dal campo *identification*.

- *Identification (16 bit).*

Identifica in modo univoco ogni datagramma trasmesso.

Il campo *identification* viene utilizzato in combinazione con altri due campi: il campo *flags* e il campo *fragment offset*. In pratica, per poter essere trasmesso su di una particolare rete fisica, un datagramma può dover essere frammentato in modo tale che la lunghezza del frammento non sia maggiore dell'MTU della rete fisica. In tal caso, tutti i frammenti del datagramma originario hanno lo stesso valore contenuto nel campo *identification*.

- *Flags (3 bit).*
Il bit 0 è riservato, il bit 1 viene detto *don't fragment bit* che, quando il suo valore è uguale a 1, il datagramma non può essere frammentato e il bit 2 viene detto *more fragment bit* e indica, quando vale 1, che il frammento è seguito da altri.
- *Fragment offset (13 bit).*
Viene usato per indicare la posizione relativa del frammento all'interno del datagramma originale. Questa posizione relativa viene espressa in multipli di 8 byte.
- *Time to live (8 bit).*
Rappresenta il tempo di vita di un datagramma. Viene inizializzato dall'host sorgente ad un valore e viene decrementato di 1 da ogni router attraversato. Se il valore risulta 0, l'intero datagramma viene cestinato.
- *Protocol type (8 bit).*
Rappresenta il tipo di protocollo utilizzato dallo strato superiore, in base al quale è strutturato il carico del datagramma.
1 – ICMP
6 – TCP
17 – UDP
- *Header checksum (16 bit).*
Contiene un codice di controllo della correttezza di tutti gli altri campi dell'intestazione.
- *Source IP address (4 bytes).*
Identifica, assieme al campo identification, il datagramma. Contiene l'indirizzo IP della stazione sorgente.
- *Destination IP address (4 bytes).*
Contiene l'indirizzo IP della stazione di destinazione.

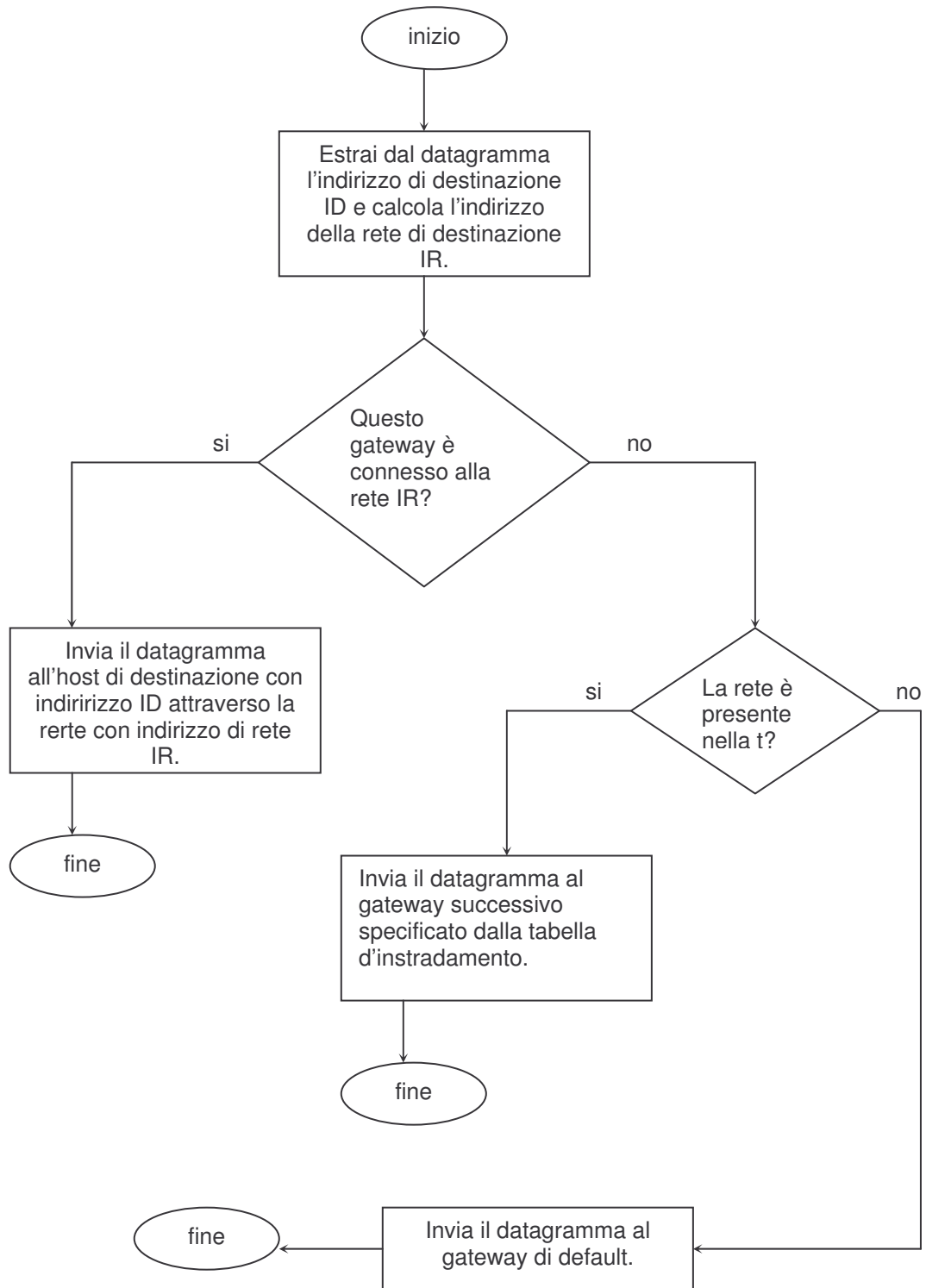
Il principale compito dello strato di inter-rete è quello di instradare ogni datagramma che viene inoltrato sulla rete, verso la sua destinazione finale. Questa funzione viene svolta in modo cooperativo dai vari gateway che il datagramma attraversa lungo il suo cammino. Più precisamente ciascun gateway, quando riceve un datagramma destinato ad un'altra stazione, deve decidere dove instradarlo: se la destinazione non è direttamente raggiungibile tramite le reti fisiche alle quali il gateway è collegato, il datagramma verrà inviato da un altro gateway. Per determinare l'indirizzo IP del gateway successivo (detto anche indirizzo del prossimo salto), ogni gateway fa uso di una tabella interna chiamata tabella di instradamento.

Gli elementi di una tabella di instradamento sono delle coppie del tipo *rete di destinazione e indirizzo del prossimo salto*.

rete di destinazione	indirizzo del p. salto
R1	G1
R2	G2
R3	G3
.	.
Rn	Gn

Quando un gateway riceve un datagramma che ha come indirizzo di destinazione quello di un altro host, estrae l'indirizzo IP dell'host di destinazione dal datagramma stesso. In base a questo indirizzo (ID), il gateway calcola l'indirizzo della rete di destinazione (IR): questo si ottiene facendo il prodotto bit a bit tra ID e una maschera di 32 bit il cui prefisso contiene tutti 1 e il suffisso tutti 0.

L'algoritmo di instradamento dei datagrammi.



Il gateway chiederà allo strato interfaccia con le reti fisiche di incapsulare il datagramma in una frame conforme alla rete fisica utilizzata e di inoltrare il datagramma lungo la rete fisica. Lo strato di inter-rete specifica allo strato sottostante la richiesta di inoltro del datagramma con indirizzo di destinazione ID. Si parla, in questo caso, di instradamento diretto perché viene inoltrato alla sua destinazione.

Nel caso contrario il datagramma viene inviato al gateway successivo. A questo punto il gateway cercherà l'indirizzo IP del gateway successivo nella sua tabella di instradamento e abbiamo l'instradamento indiretto.

Per inviare il datagramma al gateway successivo, l'indirizzo di destinazione non viene modificato ma il gateway richiederà allo strato sottostante (interfaccia con le reti fisiche) di inviare il datagramma al gateway il cui indirizzo è specificato nella tabella d'instradamento. A questo punto l'indirizzo viene trasformato in indirizzo fisico e verrà poi incapsulato in una frame.

Indirizzo fisico=IR

Indirizzo IP=ID

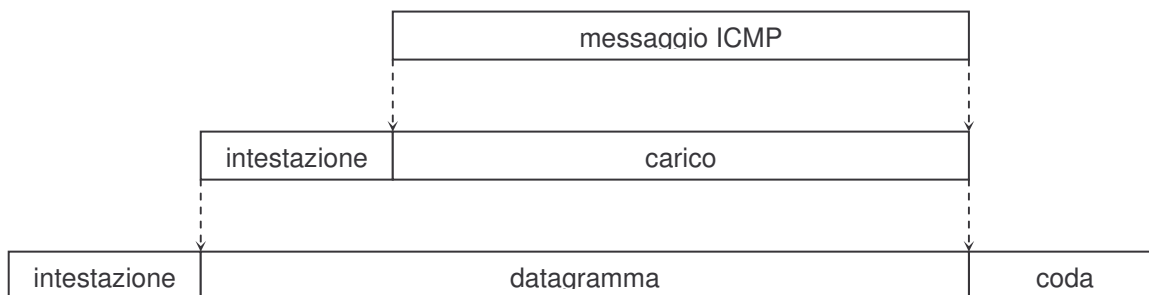
Se la rete di destinazione non è presente nella tabella di instradamento, il gateway spedisce il datagramma ad un particolare gateway di default al quale verranno mandati tutti questi tipi di datagrammi. L'indirizzo del gateway di default è un parametro di configurazione dei gateway e degli host. Il gateway di default esegue a sua volta l'algoritmo di instradamento. Se un gateway o un host non conosce l'indirizzo del gateway di default è costretto a cestinare il datagramma.

Il protocollo ICMP (Internet Control Message Protocol – RFC 792).

Questo protocollo appartiene allo stesso strato cui appartiene il protocollo IP, ovvero allo strato di inter-rete.

IP utilizza ICMP per notificare il mittente e le eventuali condizioni di errore che si possono verificare durante l'inoltro di un datagramma attraverso la rete internet. Quando un gateway è costretto a cestinare un datagramma non è in grado di destinare un datagramma ricevuto verso il prossimo salto e invia al mittente del datagramma un messaggio conforme al protocollo ICMP che descrive il motivo per cui il datagramma è stato cestinato.

Internet non si limita a cestinare i datagrammi, ma cerca comunque di informare il sistema sorgente della motivazione dell'operazione attraverso un messaggio ICMP. A loro volta questi messaggi vengono inoltrati venendo inseriti all'interno del carico di un datagramma IP.



A sua volta il datagramma verrà incapsulato all'interno di una frame conforme ai protocolli delle reti fisiche che verranno attraversate. Quando cambia la rete fisica, il datagramma viene estratto dalla frame e viene incapsulato all'interno di una nuova frame conforme al protocollo della nuova rete.

Il formato dei messaggi ICMP.

TYPE	CODE	CHECKSUM	DATA
------	------	----------	------

- *Type (8 bit).*
Rappresenta il tipo di messaggio ICMP, ovvero il motivo della destinazione.
- *Code (8 bit).*
Contiene il codice relativo al tipo del messaggio (specifica ulteriormente il motivo per cui è stato spedito il messaggio).
- *Checksum (16 bit).*
Serve a specificare l'integrità del messaggio. Il valore di questo campo dipende da tutti gli altri valori del messaggio ICMP.
- *Data (lunghezza variabile).*
Contiene il campo intestazione e i primi 64 bit del carico del datagramma IP che ha causato l'invio del messaggio.

I principali tipi di messaggi ICMP.

Ce ne sono una trentina in tutto di cui noi vedremo i più importanti.

- *Destination unreachable.*
Viene spedito da un gateway della rete internet quando non è in grado di inoltrare un datagramma IP. Le principali cause di ciò sono:
 - la rete di destinazione non è raggiungibile;
 - l'host di destinazione non è raggiungibile;
 - il datagramma non può essere frammentato.
- *Source querce.*
Viene inviato da un router quando è costretto a cestinare un datagramma perché congestionato. L'host sorgente, ricevuto questo messaggio, sospenderà per un certo periodo di tempo l'invio di datagrammi con lo stesso indirizzo di destinazione del datagramma che è stato scartato.
- *Time exceeded.*
Viene inviato da un gateway quando il campo *time to live* di un datagramma raggiunge il valore 0 e quindi viene scartato. Può anche essere inviato dall'host di destinazione di un datagramma quando scade il tempo massimo di attesa dell'arrivo di tutti i frammenti in cui il datagramma è stato suddiviso.
- *Parameter problem.*
Viene inviato da un gateway o da un host dopo che un datagramma IP è stato scartato a causa di qualche inconsistenza nell'intestazione.

Tutti questi tipi di messaggi ICMP permettono di comunicare al sistema sorgente la causa del mancato inoltro del datagramma. Esistono messaggi ICMP che svolgono funzioni più generali.

– *Echo request-replay.*

Ogni host, router o gateway che riceve questo messaggio è obbligato a spedire al mittente del messaggio un altro messaggio ICMP del tipo *echo replay*: indica se è possibile raggiungere un host di internet.

7.7 Caratteristiche dello strato di trasporto.

In questo strato possono essere utilizzati due protocolli standard, precisamente TCP (Trasmission Control Protocol) definito nella RFC 793 e il protocollo UDP (User Datagram Protocol) definito nella RFC 768. Il motivo perché sono stati definiti due protocolli è che forniscono servizi di trasporto con caratteristiche differenti.

– *TCP.*

Fornisce agli utenti dello strato di trasporto un servizio di comunicazione orientato alla connessione e molto affidabile. Ogni unità d’informazione inoltrata da un programma applicativo arriverà a destinazione sempre senza alcun errore di trasmissione, duplicazione o inversione dell’ordine di inoltro. Garantisce la completa affidabilità.

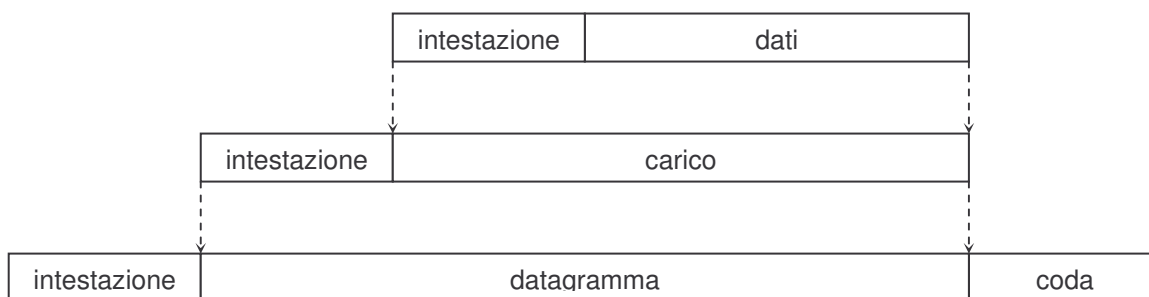
– *UDP.*

Fornisce un servizio di comunicazione non orientato alla connessione e senza conferma della corretta ricezione dei messaggi inoltrati. Se un’applicazione fa uso dei servizi del protocollo UDP, i messaggi inoltrati possono non arrivare mai o arrivare con degli errori di trasmissione. Offre gli stessi servizi del protocollo IP.

I servizi di alto livello del protocollo TCP si ricavano in cambio di efficienza della comunicazione. L’efficienza del protocollo UDP è più alta di quella del protocollo TCP. Minor ritardo di transito e una maggiore velocità di trasmissione possono far preferire l’uso del protocollo UDP al posto dei servizi di più alto livello del protocollo TCP.

Il formato dei messaggi del protocollo UDP.

Ogni messaggio UDP viene incapsulato in un datagramma IP.



L’intestazione è lunga 8 byte e ha il seguente formato:

	0	15	16	31
0	UDP SOURCE PORT NUMBER		UDP DESTINATION PORT NUMBER	
1	UDP MESSAGE LENGTH		CHECKSUM	

– *UDP source port number (16 bit).*

Indica il numero della porta UDP sorgente.

- *UDP destination port number (16 bit).*
Indica il numero della porta UDP di destinazione.
- *UDP message length (16 bit).*
Indica la lunghezza complessiva del messaggio UDP espressa in byte.
- *Checksum (16 bit).*
Il valore viene calcolato in base a quello di tutti gli altri campi del messaggio UDP ed è usato per verificare l'integrità del messaggio.

I campi più importanti sono i primi due. Questi campi servono agli utenti dello strato di trasporto per comunicare tra loro e per individuarsi reciprocamente.

Il protocollo TCP.

Le principali caratteristiche del servizio fornito sono le seguenti:

- *Orientamento alla connessione.*
- *Totale affidabilità.*
Garantisce il corretto rilascio a destinazione di ogni unità di informazione inoltrata su di una connessione senza alcuna perdita, duplicazione o alterazione dell'ordine d'inoltro.
- *Orientamento al flusso in byte.*
Sono orientati al flusso (sequenza di byte ciascuno dei quali possiede una propria posizione relativa all'interno del flusso) in byte. Dopo che è stata stabilita una connessione, il mittente invia dati al destinatario un byte alla volta, senza alcuna struttura di flusso.
- *Bidirezionalità.*
Tutte le connessioni di trasporto sono bidirezionali, nelle quali entrambi gli utenti possono inviare o ricevere informazioni contemporaneamente.

Per poter usufruire di questi servizi si mette a disposizione dell'utente un certo numero di porte.

Le porte del protocollo TCP.

Ogni porta TCP è individuata da un codice binario di 16 cifre che viene detto numero della porta. Questo numero può essere o assegnato dinamicamente dal sistema operativo del calcolatore ospitante oppure specificato direttamente dal programma applicativo in base al tipo di servizio richiesto.

Se il numero di porta è minore del valore 256 questo viene associato staticamente a particolari servizi di comunicazione a livello applicativo; nel caso contrario il numero di porta viene assegnato dinamicamente dal sistema operativo dell'host su cui viene eseguito il programma applicativo.

numero porta	protocollo
7	ECHO
13	DAYTIME

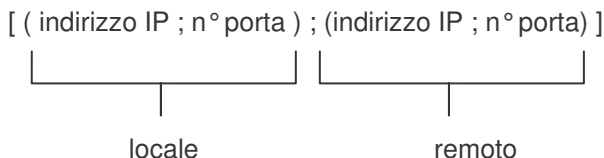
numero porta	protocollo
20	FTP-DATA
21	FTP-CONTROL
23	TELNET
25	SMTP
42	NAME SERVER
53	DOMAIN
80	HTTP
110	POP3

Le connessioni TCP.

Una connessione TCP è definita nel seguente modo:

L'indirizzo IP di un host più il numero di una porta del protocollo TCP, formano un cosiddetto *punto di accesso* ai servizi del protocollo TCP. Una connessione TCP non è altro che una coppia di punti di accesso.

Le connessioni TCP, quindi, sono *coppie di punti di accesso ai servizi del protocollo del tipo*:



Non sono permanenti ma devono essere create per mezzo di particolari richieste da parte delle applicazioni e dopo il loro uso se ne deve richiedere la chiusura. Una connessione, una volta chiusa, non può essere ricreata.

Più connessioni possono avere uno stesso punto di accesso in comune in modo da permettere ad un'applicazione server di comunicare contemporaneamente con più applicazioni client.

Formato dell'intestazione di un segmento TCP.

	0	15	16	31
0	SOURCE PORT		DESTINATION PORT	
1	SEQUENCE NUMBER			
2	ACKNOWLEDGE NUMBER			
3	HLEN	RESERVED	CODE BITS	WINDOW
4	CHECKSUM		URGENT POINTER	

- *Source port (16 bit).*
 Contiene il numero della porta TCP dell'applicazione mittente.
- *Destination port (16 bit).*
 Contiene il numero della porte TCP dell'applicazione di destinazione.

- *Sequence number (2 bytes).*
Rappresenta la posizione del primo byte del campo dati del segmento TCP relativo al flusso di dati in uscita.
- *Acknowledge number (2 bytes).*
Rappresenta la posizione relativa al flusso di byte generati dal destinatario del prossimo byte di dati aspettato dal mittente.
- *Header length (4 bit).*
Rappresenta la lunghezza dell'intestazione espressa in parole di 32 bit.
- *Reserved (6 bit).*
Riservati ad usi futuri.
- *Code bits (6 bit).*

0	1	2	3	4	5
u	a	p	r	s	f

- *URG.*
Indica la presenza di dati urgenti.
- *ACK.*
Indica che il campo *acknowledge number* è significativo.
- *PUSH.*
Richiede l'immediato inoltro del segmento di rete.
- *RESET.*
Stabilizza le condizioni iniziali di connessione.
- *SYN.*
Viene usato per stabilire una connessione.
- *FIN.*
Viene usato per terminare una connessione.
- *Window (16 bit).*
Rappresenta la dimensione della finestra di ricezione del mittente del segmento.
- *Checksum (16 bit).*
Contiene il complemento a uno della somma in complemento a uno di tutte le parole di 16 bit di cui è composto il segmento.
- *Urgent pointer (16 bit).*
Indica la posizione relativa al campo dati, se esiste, di un blocco da inviare con precedenza.