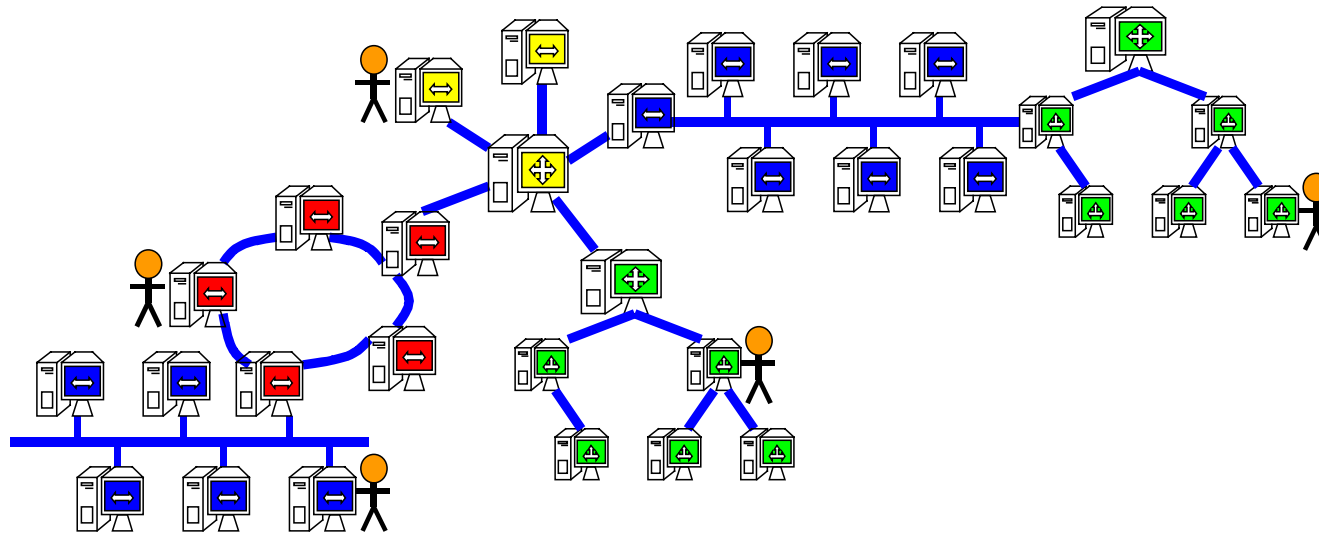


Cos'è una rete di calcolatori?

- Definizione: insieme di dispositivi di calcolo, **autonomi e interconnessi**
- Motivazioni:
 - supporto alla comunicazione tra utenti
 - es. nuovi servizi di comunicazione (es. [e-mail](#), [WWW](#))
 - comunicazione tra calcolatori elettronici
 - Condivisione di informazione (es. [pagine web](#), basi di dati)
 - Condivisione di dispositivi e risorse (es. stampanti, supporti di memorizzazione)
 - Accesso a calcolatori remoti
 - Calcolo distribuito, sistemi scalabili



Una generica rete di calcolatori con dispositivi autonomi e utenti.

L'immagine mostra una rete composta da svariati dispositivi, ognuno dei quali è autonomo e connesso ad altri dispositivi, fino a formare un'unica rete di calcolatori. Esistono alcuni utenti che stanno comunicando, attraverso i rispettivi calcolatori, interconnessi attraverso il supporto fisico della rete di comunicazione.

Una rete di calcolatori è un insieme di dispositivi autonomi, cioè in grado di eseguire e svolgere autonomamente i compiti programmati di calcolo e di comunicazione, interconnessi tra loro da supporti fisici alla trasmissione di segnali.

Non sono considerate reti di calcolatori, ad esempio, né le reti di comunicazione telefonica (i cui terminali telefonici non sono dispositivi autonomi), né le reti di distribuzione televisiva (in quanto i televisori non sono dispositivi autonomi in grado di comunicare informazione).

Nel prosieguo della presentazione, con il generico termine di “rete” o “rete di comunicazione” intenderemo implicitamente solo le reti di calcolatori elettronici.

Con l'avvento dei calcolatori elettronici, e con la loro diffusione tra comunità sempre più grandi di utenti, è emersa l'esigenza e l'utilità di fornire un supporto alla comunicazione tra utenti, attraverso l'uso del calcolatore, supportando innovativi servizi di comunicazione per l'utente, quali ad esempio il World Wide Web e la posta elettronica.

Le necessità di comunicare e condividere informazione sono tra i principali motivi che favoriscono la nascita e lo sviluppo di reti di calcolatori. La fruizione dell'informazione contenuta in questo corso rappresenta un esempio.

Un ulteriore aspetto che ha favorito la nascita e la diffusione delle reti di calcolatori è legato alla possibilità di condividere dispositivi costosi, altrimenti sotto-utilizzati, come ad esempio stampanti o capienti dispositivi di memorizzazione dei dati, e la possibilità di accedere e lavorare sui dati di un calcolatore, senza doversi spostare fisicamente sul calcolatore stesso.

Una rete di calcolatori può consentire di eseguire calcoli complessi in parallelo e in maniera distribuita, aumentando le prestazioni per l'ottenimento dei risultati. In tal senso, le reti rendono possibile la scalabilità dei sistemi di comunicazione e di calcolo: il numero di dispositivi usati, e l'investimento relativo, possono essere dimensionati dinamicamente in funzione delle richieste di servizio.

Classificazione delle Reti

Le reti di calcolatori si possono classificare in base alla dimensione geografica:

- Reti personali (Personal Area Network), PAN
 - Connessione tra dispositivi in una stanza, o di una scrivania
- Reti locali (Local Area Network), LAN
 - Connessione dispositivi di un ufficio, un laboratorio, un edificio, un campus
- Reti metropolitane (Metropolitan Area Network), MAN
 - Connessione di aree urbane, reti civiche
- Reti geografiche (Wide Area Network), WAN
 - Connessione di aree molto ampie, reti nazionali e internazionali
- **Internet**: è la rete globale composta dall'unione di reti di vari tipi, connesse tra loro e conformi a un determinato insieme di regole di comunicazione comuni (i protocolli di Internet).

Una prima classificazione delle reti di calcolatori si basa sulla dimensione delle reti stesse. Non esiste in generale un criterio ben definito per tale classificazione, ma ci si basa su considerazioni generali, riguardanti la dimensione dell'area di copertura geografica della rete, ovvero l'area entro la quale possano esistere dispositivi connessi.

Le reti personali (PAN) sono reti di comunicazione per connettere dispositivi vicini tra loro, ad esempio entro una stanza. Un esempio potrebbe essere dato dalla connessione di due calcolatori, una stampante e un agenda elettronica.

Le reti locali (LAN) sono molto spesso reti gestite e mantenute da organizzazioni, università, enti o aziende. Esse connettono calcolatori nel raggio di qualche centinaio di metri, ad esempio su interi edifici o campus universitari.

Le reti metropolitane hanno connessioni in un raggio dell'ordine delle decine di chilometri, e possono connettere intere aree urbane. Esse sono mantenute e gestite da fornitori di servizi di comunicazione (provider) e gestori di servizi telefonici.

Le reti geografiche sono reti in grado di coprire distanze internazionali e addirittura planetarie. Tali reti sono mantenute e gestite da enti nazionali e internazionali, oppure da grossi enti o gestori delle comunicazioni. L'organizzazione e la struttura di tali reti può essere molto complessa, e può risultare composta da diverse parti, e da diverse tecnologie, eterogenee e integrate (ad esempio, molte reti collegate tra loro con tecnologie cablate, fino a reti basate su comunicazione satellitare senza fili).

Internet è una rete di reti, composta da molte reti diverse connesse tra loro, integrate grazie a un insieme di regole comuni: i protocolli della rete Internet.

Reti di calcolatori: evoluzione e costi

Lo sviluppo delle reti di calcolatori ha permesso la nascita di Internet, resa possibile da una distribuzione dei costi di realizzazione e gestione delle infrastrutture tra molte entità.

- storicamente la prima rete di [Internet](#) nasce da un esperimento nel 1969, connettendo solo 4 calcolatori di 4 università americane.
- da allora molte entità hanno dato il loro contributo per lo sviluppo e la diffusione delle reti
- all'inizio del 2003 Internet ha oltre 172 milioni di calcolatori connessi (fonte: [ISC](#))
- costo di realizzazione, mantenimento, gestione e uso: chi paga e mantiene le reti?
 - di norma le tecnologie e infrastrutture a prestazioni più elevate costano di più
 - esistono molte piccole reti: costi e gestione limitati e distribuiti su piccola scala (locale)
 - consorzi e gruppi multinazionali di fornitori di servizi di comunicazione: costi e gestione su larga scala (globale)
 - integrazione di reti: reti di reti
- costo per l'utente: tariffe a tempo, a quantità di dati, oppure tariffe “tutto incluso”

Lo sviluppo delle reti di calcolatori, che ha permesso la nascita di [Internet](#), non sarebbe stato possibile senza una distribuzione dei costi di realizzazione e gestione delle infrastrutture tra molte entità.

Storicamente, la prima rete di [Internet](#) nasce da un esperimento nel 1969, connettendo solo 4 calcolatori di 4 università americane. Da allora molte entità hanno dato il loro contributo per lo sviluppo e la diffusione delle reti di calcolatori.

All'inizio del 2003 [Internet](#) contava oltre 172 milioni di calcolatori (fonte [Internet Software Consortium](#)).

Per quello che riguarda i costi, la realizzazione, mantenimento e gestione dell'infrastruttura di una rete molto ampia richiede investimenti economici elevati, che possono essere maggiori a seconda del grado di avanzamento delle tecnologie e delle prestazioni richieste. Alcune delle infrastrutture principali delle reti estese [MAN](#) e [WAN](#) (e di [Internet](#)) hanno costi affrontabili solo attraverso un consistente investimento e una pianificazione delle ricadute commerciali da parte di consorzi o fornitori di servizi di comunicazione nazionali e multinazionali. Tuttavia, la maggior percentuale del complesso delle infrastrutture di rete che compongono [Internet](#) risultano essere mantenute e gestite capillarmente da piccoli gestori e piccoli gruppi, con investimenti relativamente modesti per la realizzazione di piccole reti locali ([LAN](#)). L'integrazione di un insieme molto vasto di reti grandi e soprattutto piccole reti locali, eterogenee e distribuite su tutto il pianeta, ha permesso la crescita incrementale, il successo commerciale e la esplosiva diffusione delle reti su scala globale, fino a [Internet](#). L'utente delle reti paga tipicamente per i servizi di trasmissione offerti dalle reti, con tariffe che possono essere basate sul tempo di collegamento, sulla quantità di dati trasmessi, oppure su tariffe "tutto incluso" (una cifra costante, indipendente dai fattori di utilizzo).

Reti di calcolatori: prestazioni

- Uno degli aspetti di interesse per gli utenti delle reti riguarda le prestazioni: come si misurano?
 - capacità di trasmissione: numero di bit o byte trasmessi o ricevuti in un secondo
 - i dati si misurano in bit o in byte, cioè gruppi di 8 bit
 - K=Kilo (migliaia), M=Mega (milioni), G=Giga (miliardi)
 - es. 10 Mbyte/sec = circa 10 milioni di gruppi da 8 bit al secondo
 - migliori prestazioni sono determinate da migliori tecnologie (a costi elevati).
 - ritardo del collegamento: tempo richiesto ai dati per transitare da mittente a destinatario
 - il ritardo è determinato dalla distanza fisica, ma non solo
 - il ritardo può essere determinato in misura rilevante anche dai tempi di gestione dovuti alle leggi dei processi di comunicazione (protocolli)

Per ciò che riguarda le prestazioni delle reti di calcolatori, l'utente è principalmente interessato a due indici: la capacità di trasmissione (impropriamente detta velocità della rete) e il ritardo del collegamento di rete.

La capacità di trasmissione si misura sulla base della quantità di dati che è possibile comunicare in un secondo mediante la rete. I dati digitali del calcolatore si misurano in bit o in byte (gruppi di 8 bit), e di conseguenza l'unità di misura usata tipicamente per misurare la capacità di trasmissione dei dati di una rete è il numero di bit oppure di byte trasmessi al secondo (bit/sec, byte/sec). Spesso si usano i prefissi Kilo (K) per le migliaia, Mega (M) per i milioni e Giga (G) per i miliardi di bit o byte al secondo (esempio Kbit/sec, Kbyte/sec).

Il ritardo del collegamento di rete indica il tempo necessario ai dati per transitare dal mittente al destinatario finale sulla rete.

Il ritardo è determinato da vari fattori, tra i quali la distanza fisica del collegamento, i tempi necessari alla gestione delle regole dei processi di comunicazione in rete (protocolli) che i dati devono subire durante il loro tragitto.

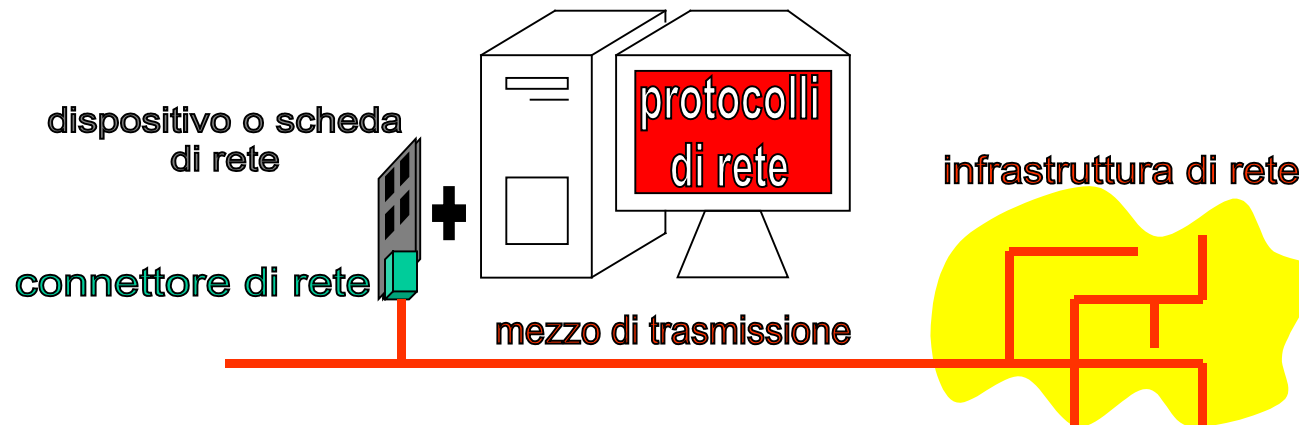
Ovviamente sono da preferire reti dotate di basso ritardo, in quanto ciò favorisce la rapidità e l'interattività del processo di comunicazione.

Per fare un parallelo intuitivo, pensando alle reti come a tubi che trasportano bit, la capacità di trasmissione equivale al diametro del tubo, mentre il ritardo equivale al tempo che i bit impiegano ad attraversare una serie di tubi in tutta la loro lunghezza.

Il calcolatore e la rete: componenti

La connessione di un calcolatore a una rete di calcolatori richiede un insieme minimo di componenti, sia hardware che software, in aggiunta al calcolatore elettronico di base:

- **dispositivi o schede di rete:** sono dispositivi hardware per codificare, trasmettere, ricevere e decodificare dati dal calcolatore alla rete, e viceversa
 - amministrati da componenti software del sistema operativo
- **mezzo di trasmissione:** supporto fisico alla propagazione e trasmissione di segnali: es. cavi elettrici, fibre ottiche. Esso realizza l'infrastruttura fisica di rete.
- **connettore di rete:** interfaccia o connettore standard per il collegamento del dispositivo di rete al mezzo di trasmissione della rete
- **protocolli di rete:** insieme di regole implementate sotto forma di software del calcolatore, univocamente definite per garantire compatibilità, e corretta gestione della comunicazione



Schema delle componenti necessarie alla connessione di un calcolatore a una rete di calcolatori

La figura mostra un calcolatore, sul quale è installato il software dei protocolli di rete, nel quale viene inserita una scheda o dispositivo di rete, dotata a sua volta di un connettore di rete. Al connettore di rete viene collegato il mezzo di trasmissione utilizzato per la rete di calcolatori.

La connessione di un calcolatore a una rete di calcolatori richiede un insieme essenziale di componenti, hardware e software, in aggiunta al calcolatore elettronico di base.

L'elemento primario da aggiungere al calcolatore è il dispositivo (o scheda) di rete: si tratta di un dispositivo hardware di comunicazione, fisicamente collegato al calcolatore, in grado di codificare e trasmettere, oppure ricevere e decodificare i dati inviati dal calcolatore alla rete, e dalla rete al calcolatore.

I mezzi di trasmissione sono supporti fisici alla propagazione e trasmissione di segnali, quali cavi o fili elettrici, fibre ottiche, o semplicemente lo spazio tridimensionale nel quale si propagano le onde radio. Tali mezzi di trasmissione realizzano l'infrastruttura fisica della rete. Il costo di realizzazione dell'infrastruttura di rete rappresenta spesso un fattore rilevante e critico per la diffusione e l'implementazione di reti di calcolatori.

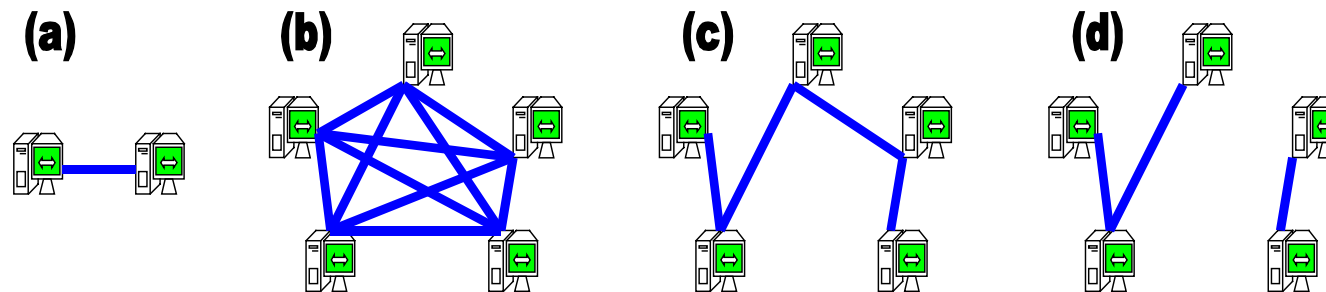
Il connettore di rete è semplicemente un'interfaccia standard presente sul dispositivo di rete, per il collegamento del dispositivo di rete al mezzo di trasmissione. Esistono vari connettori, diversi a seconda del tipo di tecnologia impiegata per la rete di comunicazione. I connettori possono avere varie forme, e tipicamente permettono il collegamento solo quando le tecnologie dei dispositivi di rete, dei protocolli di gestione, e dei mezzi di trasmissione sono tra loro compatibili.

I dispositivi di rete sono amministrati da componenti software del sistema operativo, e devono rispettare un insieme di regole standard per la gestione dei processi di comunicazione, definite dai protocolli di rete.

I protocolli di rete sono un insieme di regole, univocamente definite, per garantire la compatibilità e la corretta configurazione e gestione delle fasi della comunicazione tra i dispositivi di rete. Essi saranno trattati in maggior dettaglio successivamente.

Collegamenti e infrastrutture di rete

- **Connessione o collegamento di rete:**
 - un mezzo di trasmissione condiviso tra calcolatori in rete (nodi, host)
 - Il mezzo di trasmissione supporta fisicamente la trasmissione di segnali
- **Infrastruttura di rete:** la struttura di connessione dei collegamenti della rete
 - Punto a punto (a)
 - strutture di rete a connessioni multiple
 - Completamente connesse (b), cammini ridondanti
 - parzialmente connesse (c)
 - partizioni di rete (d): gruppo di componenti isolato da altri
- **Cammino dei segnali:** diretto oppure indiretto attraverso connessioni in sequenza



Alcune classi di infrastrutture di rete

La figura illustra quattro casi relativi a possibili classi di infrastrutture di connessione di rete. Connessione punto a punto, con due soli dispositivi connessi direttamente. Connessione multipla completamente connessa, con cinque dispositivi tutti connessi direttamente tra loro. Connessione multipla parzialmente connessa, con cinque dispositivi connessi tra loro non completamente, ma in modo da garantire l'esistenza

di un cammino per trasferire i segnali scambiati da ogni possibile coppia della rete. Connessione multipla con partizione di rete, nella quale due gruppi da tre e da due nodi sono isolati tra loro, anche se connessi internamente.

Un collegamento o connessione fisica di rete è fornita da un mezzo di trasmissione (ad esempio un cavo, una fibra ottica oppure lo spazio per la propagazione di onde radio) che sia condiviso tra due o più dispositivi ad esso collegati, e che permetta il trasferimento di segnali, e quindi informazione, tra i dispositivi stessi.

Un'infrastruttura di rete rappresenta l'insieme dei collegamenti o connessioni fisiche esistenti tra tutti i dispositivi di una rete.

La comunicazione tra una coppia qualsiasi di calcolatori in rete, detti nodi (oppure host) della rete, è possibile se esiste un collegamento diretto tra i nodi, oppure se esiste una sequenza di collegamenti, detta cammino, che permetta la comunicazione dei segnali passando per eventuali nodi e collegamenti intermedi.

Sono possibili diverse classi di strutture di connessione della rete.

Le connessioni di rete punto a punto, come nell'esempio (a), sono connessioni che possono essere instaurate tra una coppia di calcolatori, senza coinvolgerne altri. Esse rappresentano il caso più semplice di infrastruttura di rete, e sono semplici da gestire.

Le connessioni di rete multiple permettono di connettere contemporaneamente un dispositivo a molti altri dispositivi.

Nell'esempio (b) viene mostrata una infrastruttura di rete nella quale ogni nodo è connesso attraverso un linea dedicata ad ogni altro nodo. Questa infrastruttura di rete viene detta completamente connessa, ed è molto ridondante: infatti esistono molti cammini, oltre al collegamento diretto, per connettere ogni coppia di nodi passando per nodi intermedi.

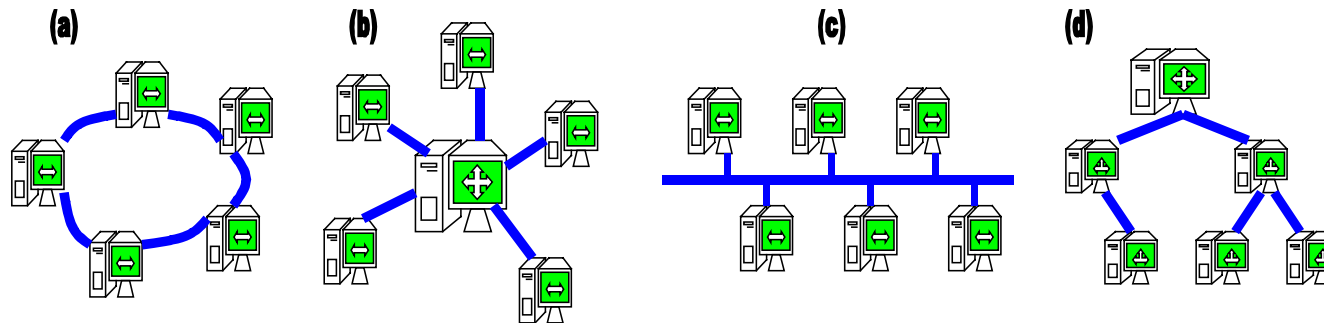
Una simile infrastruttura di rete si può ritenere a volte troppo complessa e costosa. Ad esempio, sarebbe impensabile disporre di una connessione dedicata (cioè un filo diretto) da ogni calcolatore ad ogni altro calcolatore sulle reti mondiali.

Nell'esempio c, malgrado il ridotto numero di collegamenti rispetto al caso b, è comunque possibile per ogni dispositivo trasferire segnali, cioè comunicare, verso ogni altro dispositivo. In altre parole esiste un cammino, attraverso le connessioni disponibili, per trasferire informazione tra ogni coppia di dispositivi della rete. Nella rete (c) esiste però un fattore di rischio: in seguito a un guasto di una connessione, potrebbe risultare un insieme di componenti separato da tutti gli altri, detto "partizione" della rete (esempio d). Le partizioni della rete limitano il grado di comunicazione possibile, e possono essere dovute a cause fisiche (guasti fisici della connessione) oppure a cause che dipendono da cattive applicazioni delle regole di utilizzo (ovvero dei protocolli, che vedremo in seguito).

Topologia di rete

Le infrastrutture di rete possono assumere vari schemi di connessione dei dispositivi (**topologia**)

- esempi di topologie:
 - (a) Anello (ring)
 - (b) Stella (star)
 - (c) Bus
 - (d) Albero (tree)
- In generale le reti più piccole (reti locali LAN e PAN) rispettano le topologie citate
- Reti più grandi e complesse possono assumere topologie ibride, dette a maglia
 - reti con connessioni multiple riducono il rischio di **partizioni** della rete



Quattro esempi delle principali topologie per infrastrutture di rete

La figura mostra quattro esempi relativi alle principali topologie di infrastrutture di rete. Nello scenario (a) vediamo 5 elementi connessi con topologia ad anello: ogni elemento è connesso solo con l'elemento precedente e successivo. Nello scenario (b) vediamo 6 elementi connessi a stella: ogni elemento periferico ha una connessione (bi-direzionale) verso l'unico elemento centrale. L'elemento centrale è l'unico

elemento completamente connesso a tutti gli altri. Nello scenario (c) vediamo 6 elementi connessi con tipologia a bus: ognuno degli elementi ha una connessione verso il bus centrale, condiviso da tutti. Nello scenario (d) vediamo 6 elementi connessi con tipologia ad albero: se pensiamo all'analogia con un albero genealogico, esiste un nodo (nonno) che connette direttamente due nodi (figli). Il figlio di sinistra connette un elemento nipote, mentre il figlio di destra connette due elementi nipoti.

Diversi schemi di connessione sono possibili per creare le infrastrutture di rete: tali schemi si dicono topologie della rete.

Tra gli schemi possibili, la topologia ad anello (esempio a) è basata sull'organizzazione delle connessioni tra i dispositivi, in modo da creare un anello chiuso. Ogni componente può comunicare con ogni altro componente inviando i segnali attraverso la sequenza di connessioni in senso orario o antiorario.

La topologia a stella (esempio b) prevede un componente centrale direttamente connesso a tutti gli altri. Ogni componente periferico può comunicare con ogni altro componente periferico passando attraverso il componente centrale.

La topologia a bus (esempio c) prevede che ogni componente abbia una connessione verso un bus condiviso (cioè una connessione condivisa da tutti). Questo tipo di connessione permette di introdurre una delle problematiche fondamentali che saranno trattate in seguito: la gestione dell'accesso al bus, ovvero il decidere chi possa trasmettere tra tutti i possibili dispositivi, per evitare sovrapposizioni delle trasmissioni.

La topologia ad albero (esempio d) prevede un'organizzazione gerarchica delle connessioni.

Se pensiamo all'analogia con un albero genealogico, esiste un dispositivo (nonno) che connette direttamente due o più dispositivi (figli), ognuno dei quali a sua volta connette direttamente un numero variabile di dispositivi (nipoti), e così via.

In generale, le topologie suddette vengono di norma adottate solo nel contesto di reti di comunicazione molto piccole, come le reti personali PAN e locali LAN. I motivi per cui ciò accade saranno illustrati in seguito, quando si parlerà dei problemi di condivisione del mezzo di trasmissione.

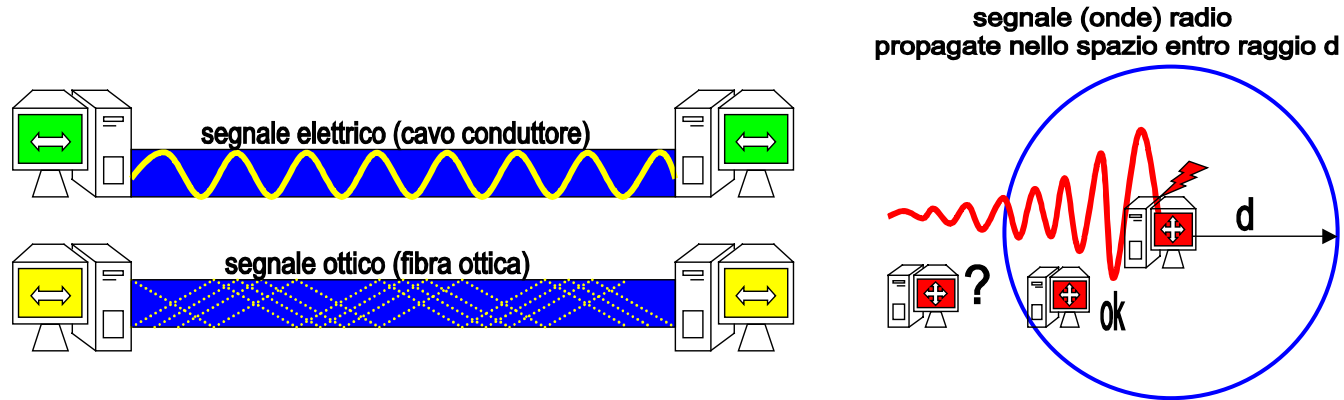
Mano a mano che le reti più piccole vengono collegate tra loro e organizzate in strutture di rete più grandi, la topologia della rete globale può diventare incredibilmente complessa, e quindi uno schema topologico generalizzato non è quasi mai applicabile. In questo caso si parla di rete con topologia a grafo complesso, oppure a maglia. In tali topologie a grafo, possono essere presenti cammini multipli che connettono coppie di nodi, dando luogo a possibili alternative per la connessione dei dispositivi.

Questo fatto può ridurre il rischio di incorrere in partizioni della rete, in quanto un certo grado di ridondanza dei cammini di connessione permette di aggirare i collegamenti soggetti a eventuali guasti.

Il mezzo fisico di trasmissione

Il **mezzo di trasmissione** usato per la connessione fisica dei calcolatori nelle reti, e il relativo segnale usato per le trasmissioni, possono essere di tre tipi:

- **cavetti o fili metallici**: trasmettono segnali elettrici (corrente e variazione di tensione)
 - ad esempio: doppino intrecciato, cavo coassiale
 - metodo più usato, affidabile, buon rapporto costo/prestazioni (fino a 1-2 [Gbit/sec](#))
- **Fibre ottiche**: trasmissione segnali luminosi vincolati entro fibre di vetro
 - offre le migliori prestazioni di capacità della rete: varie migliaia di [Gbit/sec](#)
 - infrastruttura di rete e collegamento (giunzione) della fibra è costoso
- **senza fili ([wireless](#))**: radiazione elettromagnetica nello spazio (anche nel vuoto)
 - onde radio (frequenze radio), raggi infrarossi (frequenze luce infrarossa)
 - permettono mobilità dei calcolatori, e riducono le infrastrutture di rete fisse
 - collegamento non sempre affidabile, e capacità (oggi) da 1 a 54 [Mbit/sec](#)
 - distanza limitata



Tre esempi di mezzo trasmissivo per la connessione di rete: cavo conduttore, fibra ottica e onde radio. Due calcolatori verdi sono connessi attraverso un cavo conduttore entro il quale passa un segnale elettrico sinusoidale. Due calcolatori gialli sono connessi attraverso una fibra ottica entro la quale passano fotoni di luce. Due calcolatori rossi sono connessi attraverso onde radio, in quanto si trovano entro la distanza massima di propagazione del segnale radio (d). Un terzo calcolatore rosso è troppo distante e risulta quindi non connesso.

Il mezzo di trasmissione è l'elemento fisico che supporta la propagazione dei segnali trasmessi tra i dispositivi della rete.

Le connessioni di rete possono essere realizzate mediante tre mezzi di trasmissione diversi: cavi conduttori, fibre ottiche e connessioni senza fili.

I cavi di materiale conduttore (cavetti, doppino intrecciato o cavo coassiale), sono in grado di propagare segnali elettrici, cioè variazioni di tensione e corrente elettrica. Questi mezzi fisici sono i più utilizzati nelle reti locali, e nelle brevi distanze, per il loro buon rapporto tra costo e prestazioni. Oggi tale mezzo trasmissivo è in grado di supportare trasmissioni dati con una capacità dell'ordine del miliardo di bit al secondo (1-2 Gbit/sec).

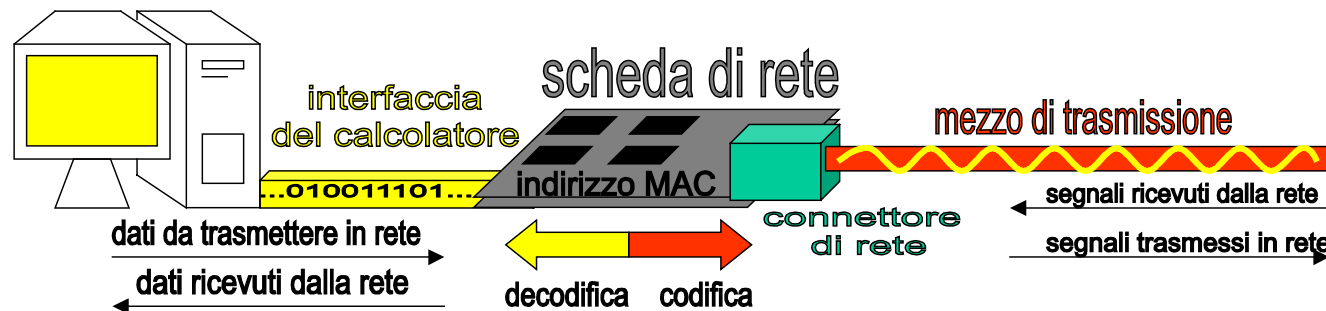
La tecnologia a fibre ottiche è tecnologicamente avanzata, e si basa sulla trasmissione di segnali ottici, cioè di luce, vincolata all'interno di una sottile fibra di vetro purissimo. La fibra è sottile come un capello, è elastica ed è protetta da una guaina esterna per facilitare il suo impiego. Il costo della fibra non è molto elevato, tuttavia la fibra è molto delicata per quanto riguarda la connessione degli estremi (giunzione) e questo influisce molto sui costi di distribuzione e di realizzazione dell'infrastruttura di rete. La capacità di una fibra ottica può arrivare oggi a qualche decina di migliaia di miliardi di bit al secondo (oltre 10000 Gbit/sec).

La terza tecnologia disponibile per il mezzo trasmissivo è fornita dalle onde elettromagnetiche e dalla loro propagazione nello spazio. Esempi in tal senso sono forniti dalle onde radio e dalla luce infrarossa. Tali tecnologie vengono dette senza fili (wireless). Le reti senza fili sono molto interessanti, e la loro diffusione è oggi esplosiva, in quanto permettono la mobilità dei dispositivi e degli utenti. La capacità dei collegamenti senza fili può arrivare oggi a qualche decina di milioni di bit al secondo (1-54 Mbit/sec). Il limite della tecnologia senza fili è dato dalla vulnerabilità del segnale rispetto ad errori e interferenza dei segnali, e dai limiti fisici della propagazione dei segnali. Due dispositivi possono essere connessi senza fili solo se rimangono entro un limite di distanza d che dipende dalla potenza del segnale radio emesso dal trasmettitore, e da eventuali ostacoli intermedi per il segnale.

Ogni rete può essere realizzata attraverso un singolo mezzo fisico di trasmissione, oppure attraverso la composizione di mezzi fisici eterogenei. Vedremo in seguito come possa avvenire la traduzione dei dati da un mezzo trasmissivo ad altri mezzi trasmissivi.

Dispositivo o scheda di rete

- **Dispositivo o scheda di rete (hardware)**
 - È un componente dell'architettura del calcolatore dotato di
 - un interfaccia di collegamento al calcolatore
 - un connettore di rete
 - trasmette e riceve i dati, opportunamente codificati e decodificati
 - dal calcolatore al mezzo di trasmissione: trasmissione
 - dal mezzo di trasmissione al calcolatore: ricezione
 - Dipende dal mezzo di trasmissione e dalla tecnologia di trasmissione usata
 - Scheda di rete per mezzi fisici cablati, per mezzi ottici, senza fili (wireless)
 - Prende il nome dai protocolli o dallo standard utilizzato per la trasmissione
 - Ha un codice identificativo unico: **indirizzo di livello MAC** (medium access control)



il disegno stilizzato di un dispositivo o scheda di rete

Un dispositivo o scheda di rete viene schematizzato con a sinistra un'interfaccia di collegamento verso il calcolatore, sulla quale viaggiano i dati da trasmettere sulla rete e ricevuti dalla rete, una serie di componenti elettronici per la codifica e decodifica dei dati su una scheda identificata da un indirizzo MAC, e un connettore di rete per la connessione al mezzo fisico di trasmissione dei segnali in rete.

La comunicazione in rete tra calcolatori diversi, attraverso i vari mezzi di trasmissione illustrati, avviene mediante dispositivi interni o periferiche esterne del calcolatore, detti dispositivi o schede di rete. Le schede di rete sono collegate al calcolatore attraverso un'interfaccia di collegamento del calcolatore: su tale interfaccia transitano i dati (bit di informazione) da trasmettere in rete, oppure ricevuti dalla rete. La scheda di rete si occupa inoltre di trasformare i bit di informazione in segnali trasmissibili sul mezzo di trasmissione della rete e viceversa: tali trasformazioni si chiamano codifica e decodifica dei dati. Un connettore di rete pone direttamente in contatto la scheda di rete con il mezzo di trasmissione per l'invio e ricezione dei segnali in rete.

In sintesi, la funzione della scheda di rete è quella di memorizzare temporaneamente, codificare, decodificare, trasmettere e ricevere i dati da e verso il mezzo di trasmissione (cioè la rete) o il calcolatore.

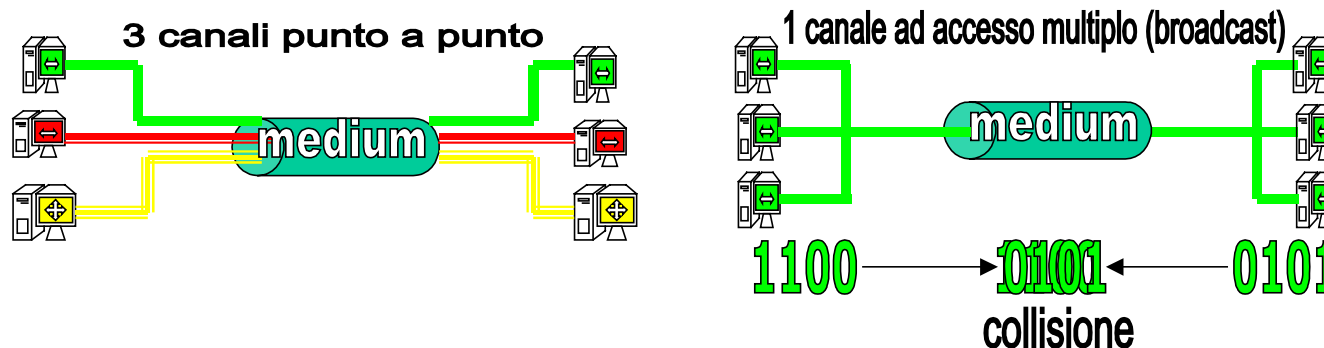
Il tipo della scheda di rete viene identificato a seconda del mezzo trasmissivo, e soprattutto a seconda dei protocolli di comunicazione utilizzati per la codifica, e per la trasmissione dei dati in rete.

Per le reti locali (LAN) basate su mezzo di trasmissione cablato, le tecnologie più diffuse sono chiamate con il nome del protocollo di comunicazione primario: ad esempio Ethernet, nelle varianti a 10, 100 Mbit/sec (Fast Ethernet) e 1000 Mbit/sec (Gigabit Ethernet). Per le reti LAN senza fili (WLAN), le schede di rete più diffuse sono denominate Wi-Fi (da 11 a 54 Mbit/sec), e Bluetooth (da 1 a 2 Mbit/sec).

Ogni scheda di rete, per permettere di essere identificata univocamente nel contesto di una rete locale, dispone dalla sua costruzione di un indirizzo univoco (unico) a livello mondiale, non modificabile, detto indirizzo MAC (Medium Access Control). Tali indirizzi vengono assegnati dai costruttori delle schede, per evitare che si possano originare indirizzi MAC duplicati.

canali di comunicazione della rete

- canale di comunicazione: una visione astratta del mezzo di trasmissione
- canale punto a punto: canale riservato sul mezzo trasmissivo tra due soli dispositivi
- canale ad accesso multiplo (canale broadcast)
 - tutti i dispositivi trasmettono e ricevono sullo stesso canale
 - tali canali richiedono arbitraggio (chi trasmette? quando?)
 - rischio collisione: sovrapposizione di trasmissioni sul canale (distrugge i dati)
 - Richiedono indirizzamento (quale dispositivo è destinatario dei dati trasmessi?)
 - Indirizzi univoci per mittente e destinatario (o destinatari) del dato trasmesso
 - indirizzo MAC della scheda di rete



Due esempi di unico mezzo trasmissivo contenente tre canali punto a punto, oppure un canale broadcast.

Sono mostrate due figure: la prima mostra un unico mezzo trasmissivo entro il quale sono realizzati tre diversi canali che connettono 3 coppie di stazioni, punto a punto. Un canale verde connette le due stazioni verdi, un canale rosso le due stazioni rosse e un canale giallo le due stazioni gialle. Tutti i canali suddetti passano per il mezzo unico di trasmissione condiviso. Nella seconda figura, lo stesso mezzo trasmissivo condiviso consente la creazione di un unico canale ad accesso multiplo (broadcast), di colore verde, che

collega tre stazioni verdi sulla sinistra a tre stazioni verdi sulla destra. Due sequenze di bit trasmesse contemporaneamente sullo stesso canale (verde), danno luogo a una collisione che distrugge l'informazione trasmessa.

Introduciamo ora il concetto di canale di comunicazione.

Tralasciando la descrizione dei dettagli tecnici, a volte è possibile considerare il supporto fisico di un mezzo di trasmissione (medium) suddiviso in diversi canali di comunicazione separati. Ogni canale diverso può essere considerato un tubo virtuale sul quale possono essere trasmessi i bit di informazione. Il mezzo di trasmissione può quindi essere considerato come un fascio di canali di comunicazione.

Due definizioni dei canali possono essere realizzate: canali punto a punto e canali ad accesso multiplo.

I canali punto a punto si basano sull'accordo tra un mittente e un destinatario riguardante la definizione del canale da usare (in figura equivale al colore). Solo due dispositivi possono usare il canale di tipo punto a punto a loro riservato.

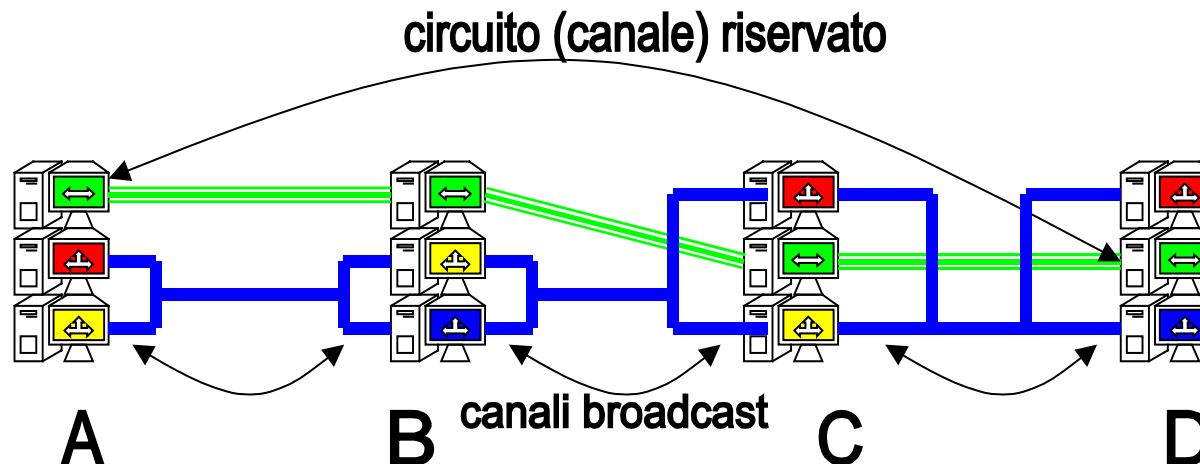
I canali ad accesso multiplo (broadcast) sono canali sui quali tutti possono trasmettere e dove tutti ricevono le trasmissioni di altri. Un problema per i canali ad accesso multiplo è legato alla possibile collisione di segnali appartenenti allo stesso canale di comunicazione. Se due trasmissioni di segnali si sovrappongono nel tempo sullo stesso canale di comunicazione, l'effetto sui segnali può essere distruttivo e l'esito della comunicazione può essere nullo. Intuitivamente, se due dispositivi trasmettono i loro segnali contemporaneamente, nessuno ricevitore sarà in grado di capire quali bit di informazione siano stati trasmessi.

Il problema delle collisioni è molto critico, e determina l'esigenza di arbitraggio nell'accesso al canale: chi trasmette e quando? Il problema dell'arbitraggio può essere banale su canali punto a punto, dove mittente e destinatario possono definire semplici leggi (cioè protocolli di gestione della comunicazione) per evitare le collisioni: ad esempio, trasmetto io, poi trasmetti tu. In canali condivisi ad accesso multiplo (broadcast) il problema risulta invece molto complesso, in quanto occorre definire leggi non ambigue, in grado di regolare gli accessi da parte di molti utenti, evitando le collisioni.

Reti a commutazione di circuito

Una serie di canali in cascata può realizzare un servizio di trasferimento dell'informazione tra due dispositivi anche molto distanti, secondo due modalità principali: commutazione di circuito (o circuito riservato) e commutazione di pacchetto.

- **Commutazione di circuito:** ad esempio, linea telefonica
 - Viene riservato un circuito di canali di comunicazione **punto a punto** su ogni connessione lungo tutto il cammino dal mittente al destinatario
 - Il circuito riservato ha un ritardo di comunicazione basso
 - Si paga il **tempo di connessione**, anche se non si scambiano dati sul canale
 - **Basso utilizzo** delle risorse di rete (canale sprecato quando non si trasmette)



Una sequenza di canali punto a punto riservati danno luogo a una rete a circuito riservato.
La figura mostra una sequenza di quattro reti: A, B, C e D. Ogni rete è connessa alle reti adiacenti attraverso canali punto a punto e canali ad accesso multiplo (broadcast). Una sequenza di dispositivi appartenenti rispettivamente alle reti A, B, C e D è connessa attraverso una sequenza di canali (verde o

linea doppia) riservati. Tale sequenza rappresenta una rete a commutazione di circuito, ovvero a canale riservato al traffico tra mittente e destinatario appartenenti alle reti A e D.

Abbiamo visto come una rete sia un insieme di nodi connessi attraverso mezzi fisici di trasmissione sui quali possono esistere diversi canali di comunicazione. Componendo una serie di canali in cascata si può realizzare un servizio di trasferimento dell'informazione tra due utenti appartenenti a una rete più ampia, secondo due modalità principali: commutazione di circuito (o circuito riservato, circuit-switched) e commutazione di pacchetto (packet-switched).

Vediamo ora la definizione di rete a commutazione di circuito. Un esempio può essere fornito dalla rete telefonica. Nelle reti a commutazione di circuito, i dati vengono trasmessi tra un mittente e un destinatario finale agli estremi di un cammino (circuito) di canali di comunicazione punto a punto. Il circuito viene negoziato e riservato a priori, attraverso opportune procedure (come avviene quando si digita un numero per una chiamata telefonica). Una volta identificati e ottenuti i canali che collegano mittente e destinatario, la comunicazione dati può avvenire anche come un'unica sequenza di bit, senza interruzioni. Non c'è nemmeno bisogno di dichiarare periodicamente chi sia il mittente e il destinatario dei dati, in quanto entrambi sono fissati al momento della creazione del circuito riservato.

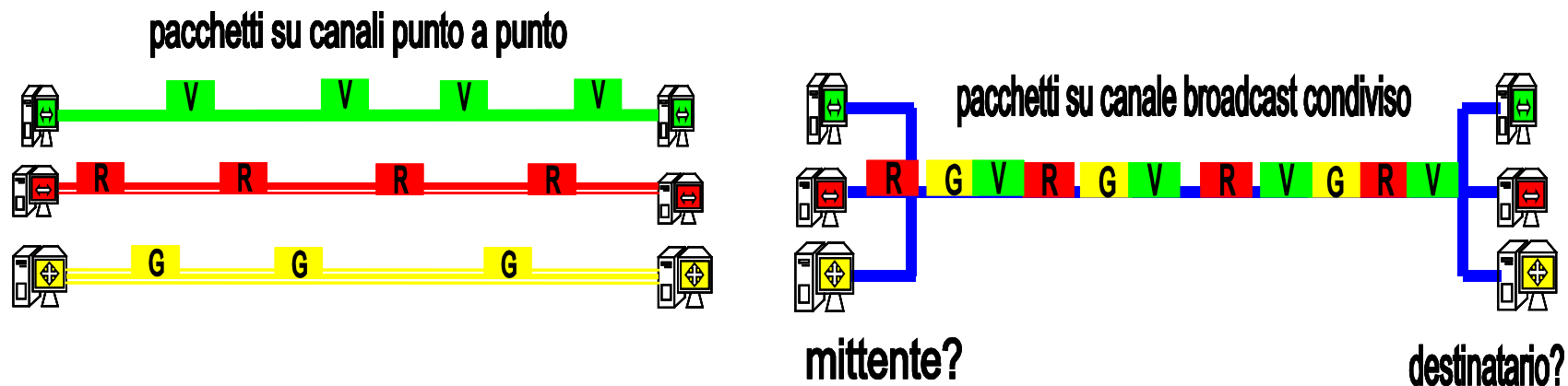
Un ulteriore vantaggio è rappresentato dal ridotto ritardo di trasmissione per i dati, in quanto ogni nodo intermedio ha già disponibile il canale libero uscente sul quale inviare immediatamente i dati ricevuti sul canale entrante, dal mittente fino al destinatario finale. Tutto ciò si traduce in una riduzione del ritardo di rete (o latenza di rete) nella comunicazione. Se la quantità di dati da trasmettere non è molto grande, oppure se i dati da trasmettere arrivano a gruppi, intervallati da tempi di vuoto, allora l'utilizzo dei canali del circuito virtuale potrebbe diventare molto basso. Le risorse del canale verrebbero quindi addebitate per tutto il tempo di permanenza del circuito virtuale, anche se i dati fossero trasmessi solo all'inizio e alla fine del tempo di collegamento (proprio come accade per le telefonate).

Reti a commutazione di pacchetto

Reti a commutazione di pacchetto: alternativa alla commutazione di circuito.

Molto usata in reti basate su canali ad accesso multiplo (broadcast) e su Internet.

- I dati vengono suddivisi in **pacchetti indipendenti**
- ogni pacchetto viene spedito sul **canale**, separatamente
- in particolare, su canali ad accesso multiplo (broadcast):
 - ogni pacchetto deve contenere **indirizzo del destinatario** (e mittente)
 - Si ha condivisione del canale tra **diversi flussi** di pacchetti
 - Richiede minore numero di risorse di rete (canali e connessioni), ma **meglio utilizzate**
 - Maggiore **ritardo della rete** di comunicazione
 - Si paga per **quantità di dati trasmessi** (e non per il tempo necessario)



Due esempi: trasmissioni a commutazione di pacchetto su canali punto a punto e su canale broadcast
La figura mostra tre canali punto a punto sui quali circolano dal mittente al destinatario un certo numero di pacchetti di dati, lasciando molto tempo vuoto tra una trasmissione e la successiva. Nella seconda figura,

la stessa informazione viene spedita usando un unico canale ad accesso multiplo (broadcast) e in questo modo i pacchetti occupano tutto il tempo utile sul canale, riducendo lo spreco.

In alternativa alla commutazione di circuito, una rete può trasferire l'informazione su un canale o su una sequenza di canali tra due utenti, secondo la modalità a commutazione di pacchetto. La maggior parte delle reti per trasmissione dati digitali, inclusa la rete di reti globale Internet, sono di questo tipo.

I dati digitali vengono suddivisi in pacchetti separati, e vengono trasmessi su canali ad accesso multiplo (broadcast).

La trasmissione a pacchetto su canali punto a punto lascerebbe molto tempo vuoto (inutilizzo) sui canali. Un unico canale condiviso ad accesso multiplo potrebbe invece essere molto bene utilizzato per scambiare lo stesso quantitativo di dati, suddivisi a pacchetti, tra i rispettivi mittenti e destinatari (come mostrato in figura). Per consentire la corretta ricezione dei dati, è però necessario includere in ogni pacchetto l'informazione sull'identità del rispettivo mittente e soprattutto del destinatario.

Si attua in questo modo la condivisione di un canale unico per diversi flussi di pacchetti appartenenti a diversi mittenti e destinatari.

Componendo in serie una sequenza di canali broadcast a commutazione di pacchetto, i nodi ricevitori devono di volta in volta farsi carico di verificare se il pacchetto sia giunto a destinazione o, in caso contrario, possono provvedere all'inoltro del pacchetto ricevuto sul successivo canale broadcast.

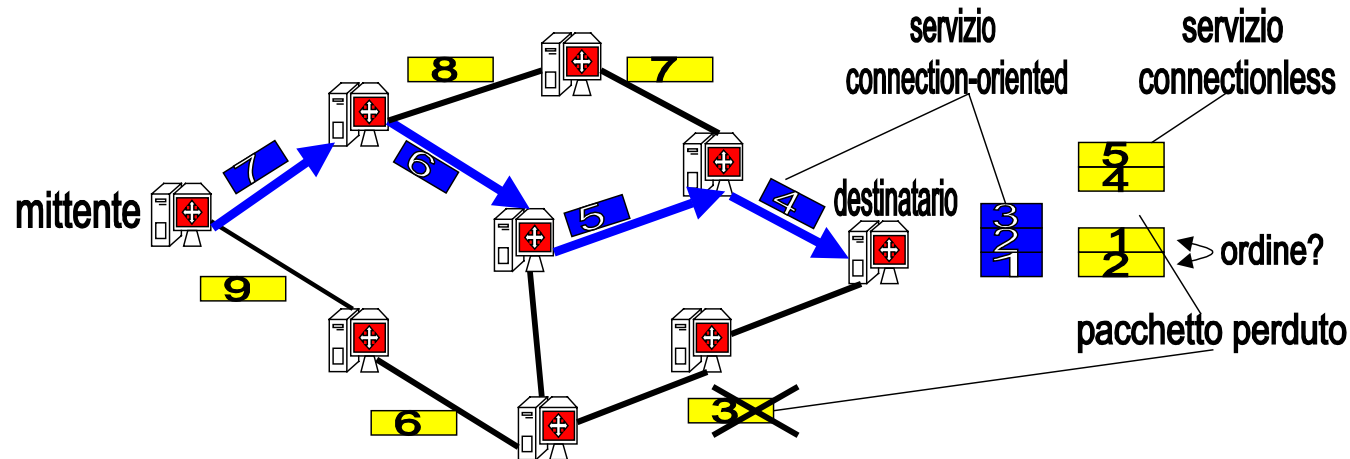
Il prezzo di questa tecnica è legato al maggiore ritardo per la comunicazione dei dati tra mittente e destinatario, dovuto all'esigenza di iterare più volte la ricezione e l'inoltro di pacchetti su canali broadcast in sequenza.

Il vantaggio è legato al maggiore utilizzo dei canali ad accesso multiplo, e quindi alla possibilità di tariffare la comunicazione in base ai dati trasmessi, e non in base al tempo necessario.

Servizi orientati alla connessione e non

Nelle **reti a commutazione di pacchetto** il servizio di trasmissione dei dati, tra mittente e destinatario ha proprietà determinate dal ruolo dei protocolli di rete utilizzati.

- I dati sono spediti in pacchetti con indicato mittente e destinatario
- ad ogni nodo intermedio i pacchetti vengono immagazzinati e inoltrati verso il destinatario finale
- è possibile la perdita o l'arrivo disordinato di pacchetti della sequenza inviata
- **Servizi orientati alla connessione** (connection-oriented), esempio: telefono, circuito virtuale
 - Garantiscono la consegna ordinata dei pacchetti ricevuti, secondo l'ordine di invio
 - Garantiscono la ri-trasmissione di eventuali pacchetti persuti
- **Servizi non orientati alla connessione** (connectionless), esempio: lettere di posta ordinaria
 - I pacchetti possono seguire strade diverse, e arrivare in ordine diverso o non arrivare mai



Una rete con un servizio di trasmissione orientato alla connessione, e un servizio di trasmissione non orientato alla connessione.

La figura mostra l'astrazione di una rete con un mittente e un destinatario agli estremi. Esistono molti cammini alternativi per inviare informazione suddivisa a pacchetti dal nodo mittente al nodo destinatario. Uno di questi cammini è stato identificato e riservato per l'invio della sequenza di pacchetti numerati da uno a sette. I pacchetti su tale circuito sono inviati in serie, e non possono andare perduti, né subire sorpassi. Essi giungono quindi al nodo destinatario in ordine di invio e senza perdite. Tale servizio è un esempio di servizio di trasmissione orientato alla connessione. I pacchetti di colore giallo, numerati da uno a nove, sono invece inviati tra i nodi della rete scegliendo di volta in volta un cammino qualsiasi tra quelli disponibili. Ogni pacchetto può andare perduto ai nodi intermedi (ad esempio come il pacchetto numero tre), e se giunge a destinazione può essere fuori ordine (ad esempio come i pacchetti uno e due).

Nelle reti a commutazione di pacchetto il servizio di trasmissione dei dati, tra mittente e destinatario ha proprietà determinate dal ruolo dei protocolli utilizzati. I pacchetti di dati sono immagazzinati temporaneamente dai dispositivi intermedi del cammino e quindi inoltrati verso il destinatario finale. In questo modo i pacchetti possono andare perduti, per varie cause, e possono arrivare in ordine diverso rispetto all'ordine di invio.

I servizi di trasmissione dei dati, tra mittente e destinatario remoti, possono essere servizi orientati alla connessione (connection-oriented) e servizi non orientati alla connessione (connectionless).

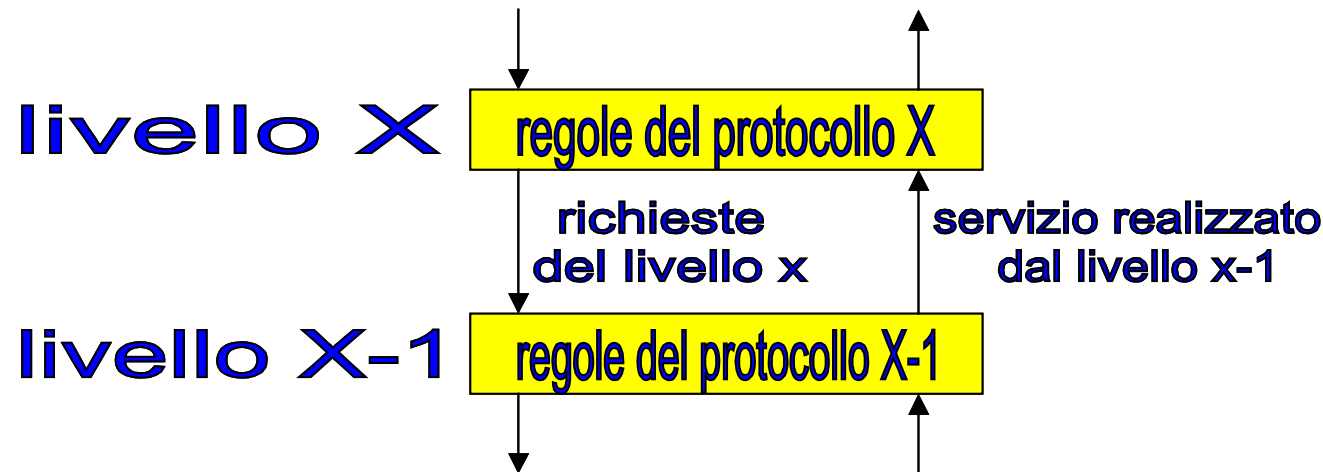
I servizi orientati alla connessione garantiscono che la spedizione di pacchetti di dati tra mittente e destinatario sia equivalente a una trasmissione affidabile e corretta. In altre parole, essi implementano una serie di operazioni attraverso le quali tutti i pacchetti perduti saranno ritrasmessi, e correttamente ordinati, fino a ricostruire esattamente tutta l'informazione trasmessa. L'implementazione di tale tipo di servizi potrebbe essere basata sulla definizione di vari protocolli alternativi. Ad esempio, potrebbe essere definito un cammino riservato unico per i pacchetti. Intuitivamente, ciò equivarrebbe a un circuito virtuale per l'invio dei pacchetti. Un altro modo per ottenere tale servizio potrebbe essere basato sulla numerazione dei pacchetti inviati, sul riordino dei pacchetti ricevuti e sulla richiesta di ri-trasmissione dei pacchetti perduti. Questo protocollo, descritto sommariamente, sarà ripreso in seguito, in quanto una definizione simile è alla base della comunicazione a pacchetto di tipo connection-oriented su Internet.

I servizi non orientati alla connessione (connectionless) non si preoccupano di garantire l'ordine corretto dei pacchetti inviati e nemmeno la ricezione di tutti i pacchetti. Tale servizio è simile all'invio dei pacchetti in modo analogo a una sequenza di lettere attraverso la posta ordinaria.

Protocolli di rete organizzati a livelli

Iniziamo a considerare ora gli aspetti di gestione della comunicazione nelle reti di calcolatori

- Definizione di **protocollo**
 - Regole e procedure (semantiche) di gestione dei processi di comunicazione
 - Regole e formati (sintattici) per definire scambio di messaggi non ambigui
 - permettono compatibilità dei dispositivi e dei sistemi conformi allo stesso standard
- **Architettura dei protocolli di rete**: separazione in livelli dei protocolli di rete
 - ogni livello affronta e risolve un problema della comunicazione
 - Il livelli superiori effettuano richieste di servizio al loro livello inferiore
 - I livelli inferiori forniscono servizi al loro livello superiore
 - Le richieste e i servizi realizzano l'interfaccia del protocollo verso altri livelli



La necessità di accordarsi su regole e servizi comuni per la comunicazione di rete ha lo scopo di permettere una completa compatibilità e supporto alla comunicazione su sistemi, tecnologie e dispositivi eterogenei.

Le regole che governano i processi di comunicazione in rete, tra dispositivi e sistemi eterogenei, prendono il nome di protocolli di rete. I protocolli definiscono aspetti e regole semantiche sulla sequenza dei messaggi, e regole sintattiche sul formato dei messaggi scambiati durante la comunicazione. La definizione dei protocolli di rete deve prevedere e supportare diverse finalità di comunicazione. Non ha quindi senso definire un protocollo rigido, ma ha senso definire classi di protocolli, deputate a svolgere e gestire determinate funzioni della comunicazione. Tali classi di protocolli, opportunamente organizzate, permettono di semplificare la gestione della rete, ma è necessario definire in modo non ambiguo le relazioni tra le classi di protocolli (ovvero quale protocollo si occupa di gestire un certo problema? Come avviene il dialogo tra protocolli?)

La soluzione che è stata individuata, e ha rappresentato uno dei principali cardini del successo delle reti e della nascita di Internet, è data dalla separazione delle classi di protocolli in livelli. La struttura dei livelli dei protocolli di rete prende il nome di architettura dei protocolli di rete.

Il concetto di architettura dei protocolli, suddivisa in livelli, è semplice ed è basato su alcune condizioni.

Ogni livello svolge determinate funzioni di gestione dei processi di comunicazione, attraverso uno o più protocolli alternativi.

Ogni livello fornisce un livello di astrazione più elevato della rete di comunicazione sottostante, sfruttando i servizi implementati dai livelli sottostanti. In altre parole, i livelli superiori non devono preoccuparsi di risolvere problemi che saranno gestiti e risolti dai livelli inferiori.

Ogni livello ha relazioni dirette solo con i livelli immediatamente superiore e inferiore, attraverso richieste e servizi concordati, detti interfaccia del livello.

Un esempio di architettura dei protocolli

Due innamorati, un italiano e una giapponese, desiderano comunicare per scambiarsi una dichiarazione d'amore, ma devono superare l'eterogeneità e i vincoli del mondo che li separa. Essi possono leggere e scrivere solo nella rispettiva lingua madre. L'unico mezzo fisico di comunicazione è il FAX, l'unico modo per scrivere è una macchina per scrivere testo con alfabeto cirillico e l'unica lingua efficace da esprimere in alfabeto cirillico è la lingua russa.



Un esempio di architettura di protocolli per la comunicazione divisi in livelli, con evidenziati i servizi forniti
La figura mostra due pile, ognuna composta da quattro livelli di protocolli per la comunicazione tra un innamorato italiano e una innamorata giapponese. La dichiarazione d'amore dell'innamorato italiano viene scritta usando il servizio del livello dialogo, poi viene tradotta in russo usando il servizio del livello

traduzione, poi viene scritta in caratteri cirillici dal livello dattilografia e infine spedita dal livello FAX. Sull'altro lato, il fax viene ricevuto dal livello FAX, viene convertito in caratteri giapponesi dal livello dattilografia, viene tradotto dal russo al giapponese dal livello traduzione e viene fornito il testo tradotto in giapponese per la lettura dal livello dialogo all'innamorata giapponese.

La figura mostra un esempio intuitivo per chiarire il concetto di architettura a livelli dei protocolli di comunicazione. Sono rappresentati quattro possibili livelli e i relativi servizi implementati da protocolli di comunicazione, definiti per vincere l'eterogeneità e supportare la comunicazione tra due innamorati separati da un mondo eterogeneo e pieno di vincoli. Gli innamorati desiderano scambiarsi una dichiarazione d'amore, ma possono leggere e scrivere solo nella rispettiva lingua madre: italiano e giapponese. A complicare le cose, essi hanno a disposizione solo un FAX per la trasmissione, solo una macchina per scrivere in alfabeto cirillico, attraverso il quale risulta pratico ed efficace esprimersi solo in lingua russa. L'architettura dei livelli e i protocolli di comunicazione definiti per superare i problemi di comunicazione è mostrata in figura. Al livello più alto (livello dialogo) avviene lo scambio della dichiarazione nella rispettiva lingua madre. Al livello dialogo, l'innamorato italiano detta quindi la sua dichiarazione in italiano. Dal livello dialogo la dichiarazione viene passata al livello traduzione, chiedendo il servizio di traduzione in lingua russa. A questo punto il livello traduzione passa la traduzione russa al livello dattilografia, chiedendo il servizio di battitura del testo in alfabeto cirillico. A questo punto il livello dattilografia richiede al livello FAX sottostante il servizio di spedizione del FAX al numero di FAX dell'innamorata giapponese. Avvenuta la trasmissione del FAX, il livello FAX dell'innamorata giapponese riceve il FAX, e quindi lo passa al livello dattilografia dove il testo cirillico viene riletto in lingua russa. Il testo in lingua russa viene passato al livello traduzione, dove avviene la traduzione dalla lingua russa alla lingua giapponese, e finalmente la dichiarazione può essere ricevuta ed ascoltata dall'innamorata giapponese, al livello dialogo, come se l'innamorato italiano le stesse parlando all'orecchio in lingua giapponese. Ovviamente la risposta alla dichiarazione dovrà passare per le stesse fasi e gli stessi protocolli, ma in direzione opposta. Si noti come ad ogni livello, non ci si debba curare dei dettagli e dei problemi risolti ai livelli inferiori. Ogni livello deve saper risolvere un problema e solo quello. Al livello più alto, si realizza l'equivalente del dialogo diretto tra i due innamorati.

Architettura Standard di protocolli di rete

Esiste un riferimento standard per definire l'architettura dei protocolli delle reti di calcolatori

- **Standard ISO/OSI RM** (Open System Interconnection Reference Model)
 - insieme di livelli completo e rigoroso, per supportare la comunicazione in rete
- Definisce un'architettura dei protocolli di rete organizzata in **sette livelli**
 - Ogni livello gestisce una classe di problematiche di rete
 - Ogni livello fornisce ai livelli superiori una visione della rete semplificata
 - Dialogo tra livelli paritari avviene astraendo l'architettura sottostante
 - Dialogo tra livelli sovrapposti attraverso interfaccia comune per tutti i protocolli



La pila di livelli dei protocolli di rete dello standard ISO/OSI.

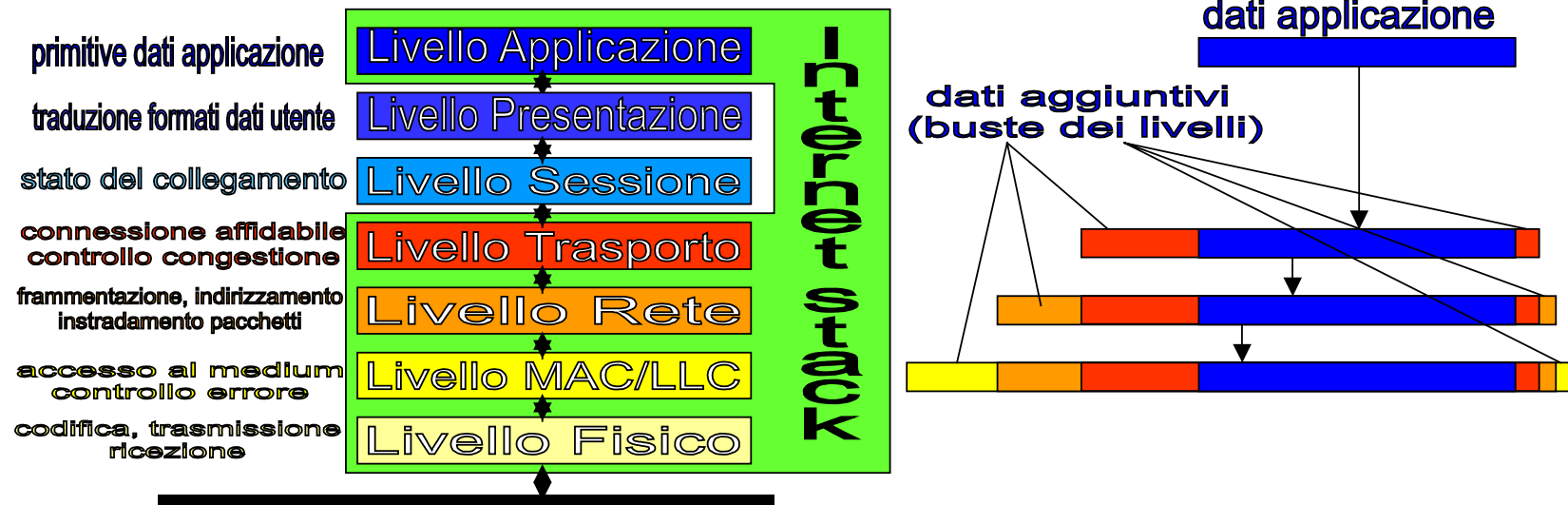
Sono mostrate due istanze, una per il nodo mittente e una per il nodo destinatario, dei sette livelli di protocolli di rete dello Standard ISO/OSI RM. Partendo dall'alto, a scendere dal livello 7 al livello 1, abbiamo il livello 7 Applicazione, 6 Presentazione, 5 Sessione, 4 Trasporto, 3 Rete, 2 Logical Link Control / Medium Access Control (MAC/LLC) e infine il livello 1 Fisico, che si appoggia direttamente sul medium fisico di trasmissione. Il livello applicazione fornisce i servizi di trasmissione dati alle applicazioni in esecuzione, il livello presentazione risolve eventuali eterogeneità dei dati tra i nodi della rete, il livello sessione mantiene lo stato del collegamento, il livello trasporto fornisce un servizio di connessione affidabile e controllo della congestione, il livello rete si occupa di frammentazione dei dati, indirizzamento e instradamento dei pacchetti, il livello LLC/MAC si occupa di garantire una comunicazione affidabile e l'arbitraggio di accesso al mezzo trasmissivo, e il livello fisico si occupa di codificare i dati e trasmetterli sul medium di trasmissione.

Lo Standard ISO/OSI RM (Open System Interconnection Reference Model) definisce un insieme di livelli completo e rigoroso per l'architettura dei protocolli di rete, prevedendo un livello per la gestione di ogni problema di comunicazione in rete. L'architettura dei protocolli di rete definita da ISO/OSI RM prevede sette livelli dei protocolli, numerati da 7 a 1 dall'alto al basso. Vediamo una breve panoramica dei livelli e dei servizi principali implementati. Il livello applicazione (7) fornisce alle applicazioni in esecuzione sul calcolatore i servizi e le primitive di trasmissione e ricezione dei dati. Il livello presentazione (6) risolve eventuali eterogeneità del formato dei dati tra i nodi della rete. Il livello sessione (5) mantiene e gestisce lo stato attuale del collegamento tra due applicazioni remote. Il livello trasporto (4) si occupa di garantire i servizi di trasmissione dei pacchetti (orientati alla connessione e non) e del controllo della congestione della rete. Il livello rete (3) si occupa di frammentare i dati in pacchetti, scrivere gli indirizzi dei destinatari finali e instradare i pacchetti verso i destinatari intermedi del cammino. Il livello LLC/MAC (2) si occupa di garantire l'affidabilità del mezzo di trasmissione e la gestione dell'accesso al mezzo trasmissivo ad accesso multiplo (evitando le collisioni). Infine, il livello fisico (1) si occupa di definire le tecniche di codifica dei dati, la trasmissione e la ricezione dei dati sul mezzo fisico di trasmissione.

Vedremo ora quali livelli dello Standard ISO/OSI, e quali protocolli in ogni livello siano di fatto utilizzati nell'architettura dei protocolli delle reti di calcolatori locali fino alla rete Internet.

Architettura dei protocolli di Internet

- L'architettura dei livelli di protocolli di Internet utilizza solo 5 dei 7 livelli ISO/OSI RM
- In trasmissione, ogni livello riceve dati dai livelli superiori e li inserisce (incapsula) in "buste" con dati aggiuntivi, utili ad istruire il corrispondente livello del dispositivo ricevente
- In ricezione, ogni livello verifica i dati della busta, agisce di conseguenza, e passa il contenuto della busta ai livelli superiori
 - Il livello trasporto imbusta i dati aggiungendo informazioni utili all'ordinamento e controllo della velocità di invio delle buste
 - Il livello rete frammenta i dati in pacchetti, decide il cammino sul quale inviare il pacchetto a seconda dell'indirizzo del destinatario
 - Il livello MAC/LLC esegue la consegna finale dei dati a dispositivi di una rete locale.



L'architettura dei protocolli di Internet, rispetto allo Standard ISO/OSI, e un esempio di incapsulamento dei dati tra i vari livelli.

La figura mostra i sette livelli dello Standard ISO/OSI, evidenziando come solo i livelli 1 (fisico), 2 (MAC/LLC), 3 (rete), 4 (trasporto) e 7 (applicazione) siano di fatto i soli livelli implementati nell'architettura dei protocolli di rete di Internet. A livello applicazione, i dati che l'applicazione richiede di spedire vengono passati al livello trasporto. Il livello trasporto frammenta e incapsula i dati ricevuti entro una "busta virtuale" realizzata dai dati di intestazione (header) e di coda (trailer) del livello stesso, e quindi richiede l'invio dei dati ottenuti al livello sottostante (rete). Il livello rete incapsula nuovamente i dati ricevuti in una busta contenente le informazioni relative alla gestione del protocollo adottato, e passa il tutto al livello MAC/LLC. Il livello MAC/LLC effettua un nuovo incapsulamento con i dati del livello stesso e finalmente passa tutto al livello fisico per la trasmissione sul mezzo trasmissivo.

L'architettura dei protocolli di Internet, nel senso più comunemente adottato, prevede di fatto l'implementazione di solo cinque livelli dei sette livelli dello Standard ISO/OSI RM. Rimangono spesso esclusi i livelli 5 (sessione) e 6 (presentazione).

Per i livelli rimasti: fisico, MAC/LLC, rete, trasporto e applicazione valgono le considerazioni fatte nella slide relativa allo Standard ISO/OSI RM.

Un aspetto che si pone in evidenza, è il concetto di incapsulamento dei dati tra i livelli implementati. In fase di trasmissione, ogni livello riceve dati dall'alto (dati spediti dall'applicazione) e li inserisce in "buste virtuali" (incapsulamento) ponendo in testa e in coda alcuni dati aggiuntivi, necessari per fornire al livello della controparte ricevente le informazioni utili all'implementazione del protocollo dello stesso livello. In fase di ricezione, ogni livello X riceve dal livello più basso i dati imbustati dallo stesso livello X sul trasmettitore, quindi verifica i dati della busta, agisce in conseguenza alle specifiche fornite nei dati della busta, e passa solo il contenuto della busta ai livelli superiori (decapsulamento).

Il livello trasporto spezza i dati dell'applicazione in frammenti e li imbusta, aggiungendo informazioni utili all'ordinamento e al ri-assemblaggio dei dati ricevuti, oltre che al controllo della congestione della rete. Il livello rete frammenta ulteriormente i dati in pacchetti (se sono troppo lunghi), scrive l'indirizzo del destinatario sulla busta, e decide il cammino sul quale inviare il pacchetto a seconda dell'indirizzo di rete del destinatario. Il livello MAC/LLC esegue la consegna finale dei dati a dispositivi di una rete locale.

Nel seguito procederemo all'analisi livello per livello dell'implementazione dei protocolli che regolano il funzionamento e i servizi delle reti locali, delle internetwork (reti locali connesse tra loro), e di Internet (ovvero la rete di tutte le reti connesse e conformi all'architettura di Internet).

livelli e integrazione delle reti

Vediamo in dettaglio quali siano le problematiche gestite dai protocolli di rete a partire dai livelli più bassi (livello fisico) fino ai livelli più alti (livello applicazione). Ad ogni livello i protocolli gestiscono problemi diversi e la rete assume caratteristiche di integrazione e proprietà diverse.

- livello fisico: la rete è solo un segmento = un mezzo di trasmissione condiviso tra dispositivi
 - regole per codificare e trasmettere dati, con una tecnologia in comune
- livello MAC/LLC: la rete è locale, può integrare mezzi trasmissivi e tecnologie diverse
 - regole per gli indirizzi dei dispositivi, i tempi di accesso al mezzo, e gestione errori
- livello rete: la rete è una collezione di reti, e assume struttura gerarchica (reti di reti, sottoreti)
 - regole per indirizzi di rete che nascondano i dettagli locali
 - si definiscono nuovi dispositivi (router) che smistano i pacchetti di dati tra rete e rete
- livello trasporto: la rete è una collezione di reti organizzate gerarchicamente
 - regole per la spedizione affidabile di pacchetti, e controllo della congestione della rete
- livello applicazione: la rete esiste, funziona, ed è utilizzabile dalle applicazioni dell'utente

Nel seguito della trattazione analizzeremo più in dettaglio quali siano le problematiche gestite dai protocolli di rete a partire dai livelli più bassi (livello fisico) fino ai livelli più alti (livello applicazione). Ad ogni livello affronteremo i protocolli che gestiscono problemi diversi, e analizzeremo il tipo, le caratteristiche di integrazione e le proprietà della rete ottenuta. Al termine saranno evidenziati l'architettura completa dei protocolli di rete e tutti i dispositivi che permettono il funzionamento e l'integrazione delle reti, dalle reti locali fino a Internet.

Il livello uno (fisico) si occupa delle regole per codificare e trasmettere i dati come segnali sul mezzo trasmissivo a disposizione. A questo livello la rete è solo un segmento con la stessa tecnologia in comune a tutti i dispositivi.

Il livello due (MAC/LLC) affronta la definizione delle regole per determinare gli indirizzi dei dispositivi ai quali i dati sono destinati, le regole per accedere al mezzo trasmissivo ad accesso multiplo (condiviso) evitando errori di trasmissione, e le regole per recuperare eventuali errori delle trasmissioni.

A questo livello la rete può integrare diversi mezzi trasmissivi e diverse tecnologie (segmenti diversi), e assume i connotati di una rete locale (LAN).

Il livello tre (rete) affronta il problema dell'integrazione generalizzata di reti, fino a formare reti di reti, organizzate secondo una visione gerarchica (reti di reti e sottoreti). Le regole riguardano la definizione di nuovi indirizzi di rete, che nascondano i dettagli di gestione delle reti locali e delle sottoreti all'esterno. Nuovi dispositivi, detti instradatori (router), sono creati per la gestione dell'instradamento dei pacchetti dati tra una rete e l'altra. I router agiscono da smistatori dei pacchetti tra le reti, riducendo la complessità dell'integrazione delle reti di reti.

A questo livello esiste una rete di reti, ma il servizio di consegna dei pacchetti è di tipo connectionless e i pacchetti di dati possono essere perduti o arrivare disordinati.

Il livello quattro (trasporto) prevede la gestione delle regole che permettano di ripristinare un servizio orientato alla connessione, per il quale i pacchetti spediti siano consegnati tutti e nell'ordine corretto. Si definiscono inoltre le regole per controllare il rischio di congestione della rete.

A questo livello esiste una rete di reti affidabile di tipo orientato alla connessione. Internet è una rete di questo tipo, basata su due protocolli in particolare, che vedremo in seguito (TCP e IP).

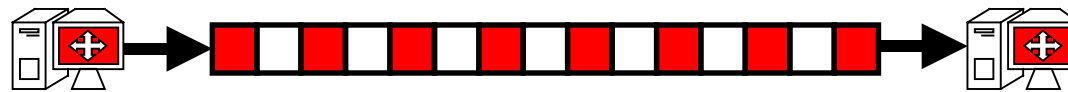
Il livello sette (applicazione) mette semplicemente a disposizione il servizio di comunicazione della rete di reti alle applicazioni dell'utente.

Il livello fisico: codifica dei dati digitali

La trasmissione dati sul canale di comunicazione richiede la **codifica e decodifica dei dati**, uno di seguito all'altro sul mezzo trasmissivo, da parte della scheda di rete.

- **dati digitali: bit** (minima unità di informazione dei dati del calcolatore)
 - ogni dato del calcolatore da trasmettere in rete ha solo due valori: 0 oppure 1
- codifica di dati **digitali** usando segnali **analogici**
- velocità di trasmissione dei segnali sul mezzo trasmissivo
 - Tutti i segnali elettromagnetici viaggiano alla velocità fisica della luce
- capacità del canale di trasmissione: il valore massimo di bit/secondo trasmessi
 - determinata dal tempo necessario alla codifica del valore di ogni bit

canale A 10 bit/sec



canale B 20 bit/sec



velocità: circa 300.000 km/s

esempio di canali digitali: canale B giallo ha capacità di trasmissione doppia del canale A rosso
La figura mostra l'astrazione di due canali digitali con evidenziata la caratteristica di una diversa capacità di trasmissione dei bit. La velocità di propagazione fisica dei bit è la stessa, ma il canale B giallo impiega

metà tempo per codificare ogni bit, e quindi ha il doppio di capacità di trasmissione rispetto al canale A rosso.

I valori possibili per i dati digitali (bit) del calcolatore sono solo due: i valori 0 e 1. Tali valori devono essere trasmessi o ricevuti sui mezzi di trasmissione delle reti, sotto forma di variazioni di segnali analogici (elettrici, ottici o radio), uno di seguito all'altro. Per questo scopo, i dati digitali devono essere opportunamente codificati o decodificati, in sequenza, da parte della scheda di rete.

L'attività di codifica, effettuata in fase di trasmissione, equivale a tradurre i valori dei bit in segnali analogici.

L'attività di decodifica, effettuata in fase di ricezione, equivale a tradurre i segnali analogici ricevuti nei valori dei bit.

Le tecniche di codifica digitali permettono di ridurre, ma non di escludere completamente, la possibilità di errori di trasmissione sulla rete.

Una nota importante riguarda l'ambiguità di fondo sul concetto di velocità della trasmissione dei segnali in rete.

Dal punto di vista fisico, tutti i segnali analogici, elettrici, ottici o radio, si propagano praticamente alla stessa velocità, cioè alla velocità della luce, pari a circa 300.000 Km/sec. Non ha quindi senso parlare di bit, oppure di segnali, più veloci di altri.

Tuttavia, nell'esempio in figura, un canale A di comunicazione sul quale siano codificati dieci bit al secondo ha una densità di trasmissione dei bit (detta anche capacità del canale) pari alla metà della capacità ottenuta da un canale B, sul quale possano essere codificati venti bit al secondo. I canali a capacità più elevata, ovvero in grado di trasmettere più bit al secondo, devono tali prestazioni al fatto di usare meno tempo per codificare, ovvero rappresentare il valore del bit sul mezzo trasmissivo, rispetto a canali più "lenti".

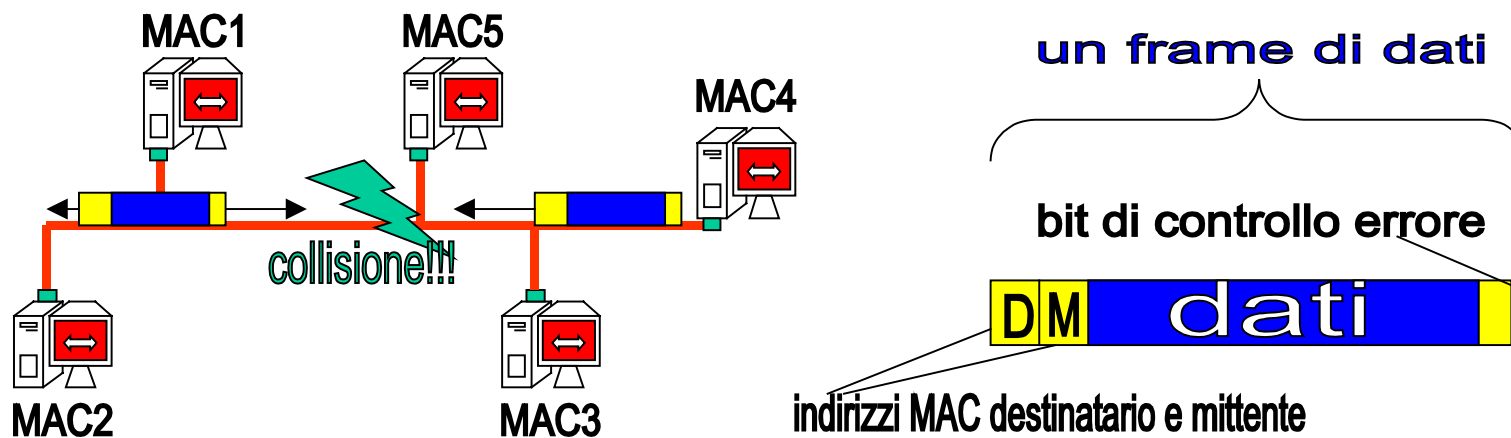
Le migliori tecnologie di rete sono quelle che permettono di codificare i bit nel minor tempo possibile, ottenendo quindi alte capacità dei canali (ad esempio, miliardi di bit trasmessi al secondo).

Un segmento di rete locale

Il livello più semplice di una rete a commutazione di pacchetto: un segmento di rete locale

- segmento di rete locale: un mezzo di trasmissione condiviso con canale ad accesso multiplo
 - tutte le schede di rete ricevono le trasmissioni effettuate sul mezzo trasmissivo
- ogni scheda di rete ha assegnato un indirizzo fisico diverso: **indirizzo MAC**
- compiti e servizi offerti dai protocolli di livello 2 (MAC/LLC): **accesso al mezzo trasmissivo**
 - trasmissione: arbitraggio degli accessi al canale: chi trasmette e quando?
 - indirizzamento di livello MAC: quale scheda di rete è destinataria del frame trasmesso?
 - Ricezione: il frame di dati è destinato al mio indirizzo MAC?
 - in caso affermativo, ricevo il frame e lo passo ai protocolli dei livelli superiori

segmento di rete LAN: canale condiviso



Un esempio di rete locale a canale condiviso e 5 dispositivi con indirizzo MAC diverso.

La figura mostra cinque calcolatori connessi a un canale unico condiviso (broadcast). Ogni dispositivo ha una scheda di rete connessa al mezzo di trasmissione, dotata del suo indirizzo MAC unico al mondo. La figura mostra che la trasmissione contemporanea di due pacchetti (frame) da parte di due stazioni diverse origina una collisione distruttiva dei segnali. Viene mostrato inoltre come la struttura del frame trasmesso abbia in testa l'indirizzo MAC del destinatario e del mittente del frame, al centro i dati (incapsulati dai livelli superiori), e in coda un campo di bit utile a scoprire la presenza di eventuali bit errati.

Analizziamo ora l'esempio più semplice per la definizione di una rete di calcolatori a commutazione di pacchetto: un segmento di rete locale. Un segmento di rete locale è definito come un mezzo di trasmissione condiviso sul quale sia definito un canale ad accesso multiplo.

Ogni calcolatore si assume dotato della scheda di rete opportuna per il mezzo trasmissivo e i protocolli di codifica utilizzati al livello uno (fisico). Ogni scheda di rete è dotata di un identificativo (indirizzo) di livello MAC unico al mondo (assegnato dal costruttore). Ogni trasmissione di un pacchetto di dati (detto frame a questo livello) sul canale ad accesso multiplo è ricevuta da tutti i calcolatori la cui scheda di rete sia connessa al canale stesso.

Immaginiamo che il dispositivo con indirizzo MAC1 voglia spedire un frame di dati al dispositivo con indirizzo MAC5, e allo stesso tempo il dispositivo di indirizzo MAC4 voglia spedire un frame di dati al dispositivo di indirizzo MAC2.

Nel contesto del canale condiviso, la conoscenza degli indirizzi MAC dei dispositivi mittente e destinatario basta ad effettuare la trasmissione, sul canale comune. Semplificando molto il problema, per ragioni di presentazione, è sufficiente aggiungere le informazioni sull'indirizzo MAC del destinatario e del mittente sulla busta di ogni frame, prima di trasmetterlo.

Ogni frame trasmesso sul canale da parte di ogni dispositivo risulta quindi rilevato da tutti gli altri dispositivi, ma viene ricevuto (cioè copiato e passato ai livelli superiori) solo se l'indirizzo MAC del destinatario specificato nel frame coincide con l'indirizzo MAC del dispositivo ricevente.

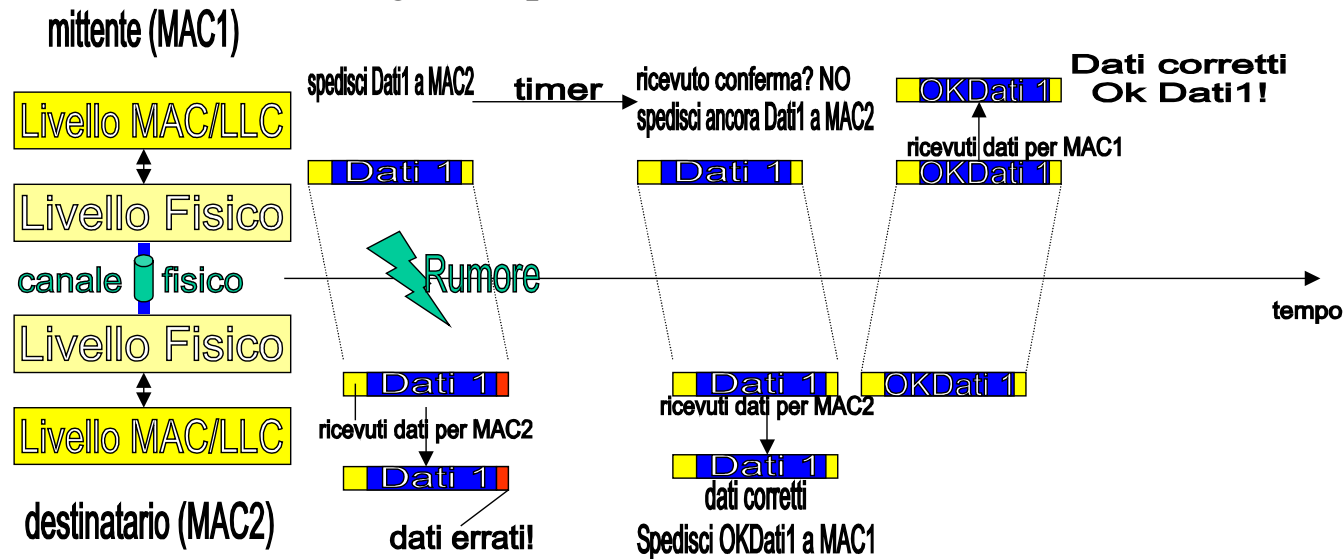
Il compito principale dei protocolli di livello 2 (MAC/LLC), oltre all'indirizzamento dei frame trasmessi sul canale condiviso del segmento di rete locale, è dato dall'arbitraggio degli accessi al canale. Ciò equivale a determinare quali nodi possano trasmettere, quando, e in che ordine, in modo da evitare le collisioni tra due o più trasmissioni contemporanee. Le collisioni equivalgono a uno spreco del tentativo di trasmissione. Nell'esempio in figura, se l'arbitraggio funzionasse male, le trasmissioni dei dispositivi MAC1 e MAC4 si scontrerebbero originando una collisione distruttiva dei segnali.

Come rendere il segmento affidabile?

Scopo: rendere il canale condiviso ad accesso multiplo un **canale affidabile**, senza errori di trasmissione dovuti a collisioni o interferenza

Altri compiti del livello dei protocolli di livello 2, (MAC/LLC)

- il pacchetto (frame) trasmesso sul mezzo trasmissivo è stato ricevuto correttamente?
 - Si! Il destinatario invia un frame di conferma della corretta ricezione al mittente
 - No! il destinatario non fa nulla
 - se il mittente non riceve conferma entro un tempo fissato, trasmette di nuovo il frame
- i tentativi di trasmissione vengono ripetuti finché non si ottiene la conferma del successo



Un esempio di gestione della trasmissione a livello LLC.

La figura mostra la sequenza temporale di eventi gestiti dal livello LLC per la trasmissione affidabile di un frame di dati tra due dispositivi sullo stesso segmento di rete locale. Il frame di dati viene spedito dal dispositivo con indirizzo MAC1 al dispositivo con indirizzo MAC2 sul canale. Il mittente fa partire un timer dopo la trasmissione. Il ricevente MAC2 si accorge che il frame è destinato a lui, ma rileva errori sui bit ricevuti, per cui non fa nulla (non passa il frame ai livelli superiori) e non invia la conferma a MAC1. Allo scadere del timer, MAC1 verifica che non ha ricevuto conferma, per cui ripete da capo la trasmissione, e fa ripartire il timer. Questa volta MAC2 riceve correttamente il frame e spedisce a MAC1 un frame di conferma. MAC1 riceve il frame di conferma e solo ora considera terminata con successo la trasmissione del frame di dati.

Scopo dei protocolli del livello 2 (MAC/LLC) è nascondere ai livelli superiori i dettagli del mezzo fisico, e mostrare il canale condiviso sul segmento di rete locale come se si trattasse di un canale affidabile, senza alcun errore di trasmissione. A tal fine il frame di dati viene delimitato mediante particolari etichette di bit, poste all'inizio e alla fine del frame, e viene arricchito con altri campi di dati utili al protocollo.

La trasmissione di un frame procede per tentativi, fino alla ricezione di una conferma (un frame di conferma) da parte del destinatario. Quello qui illustrato è solo un meccanismo semplice per realizzare trasmissione affidabile, tra quelli possibili.

La figura mostra la sequenza temporale di eventi gestiti dal livello 2 (MAC/LLC) per la trasmissione affidabile di un frame di dati tra due dispositivi sulla stessa rete locale. Il frame di dati viene spedito dal dispositivo con indirizzo MAC1 al dispositivo con indirizzo MAC2 sul mezzo trasmissivo. Il mittente fa partire un timer dopo la trasmissione. Il ricevente MAC2 si accorge che il frame è destinato a lui, ma rileva errori sui bit ricevuti, per cui non fa nulla (non passa il frame ai livelli superiori) e non invia la conferma a MAC1. Allo scadere del timer, MAC1 verifica che non ha ricevuto conferma, per cui ripete da capo la trasmissione, e fa ripartire il timer. Questa volta MAC2 riceve correttamente il frame e spedisce a MAC1 un frame di conferma. MAC1 riceve il frame di conferma e solo ora considera terminata con successo la trasmissione del frame.

Ai livelli dei protocolli superiori al livello due tutto ciò viene nascosto, e appare solamente la trasmissione corretta del frame sul segmento di rete.

Tecnologie per schede di rete: 3 esempi

Tre esempi di protocolli di livello due, che possono essere usati in alternativa tra loro per le schede di rete di segmenti di rete locale, sono:

- **Ethernet**

- Molto usato in reti locali cablate
- La scheda di rete ascolta il canale e trasmette solo se nessuno sta già trasmettendo
- Se viene rilevata una collisione la trasmissione è interrotta per riprovare più tardi

- **IEEE 802.11 (Wi-Fi)**

- È alla base delle reti locali senza fili
- La scheda di rete ascolta il canale e trasmette solo se nessuno sta già trasmettendo
 - si cerca di prevenire le collisioni dilazionando le trasmissioni nel tempo

- **Token ring**

- usata se i dispositivi sono collocati su topologia ad anello cablato
- Esiste un frame detto token che viene passato come un “testimone” tra i dispositivi
- Solo chi detiene il token ha diritto di trasmettere, poi deve passare il token

Vengono brevemente forniti tre esempi molto famosi di protocolli Standard di livello due (MAC), che possono essere adottati in alternativa, a seconda del tipo di mezzo fisico, del tipo di topologia, nella realizzazione di segmenti di rete locale. La scelta di una tecnologia indica il tipo di schede di rete dovranno essere utilizzate per la connessione al segmento di rete.

Il più famoso è il protocollo Ethernet che da il nome a una vasta serie di schede di rete che implementano la sua definizione, per l'utilizzo in reti locali basate su mezzo fisico cablato.

L'idea di base di Ethernet, per ridurre le collisioni dei segnali, è di adottare il principio dell'ascolto del canale, prima di ogni trasmissione. Se nessuno sta già trasmettendo, allora la trasmissione può essere iniziata senza collisione con le trasmissioni in atto. Siccome può accadere che due schede di rete possano iniziare allo stesso istante le rispettive trasmissioni, occorre trovare una soluzione all'insorgere di possibili collisioni. La scheda di rete trasmittente è in grado di rilevare le collisioni in atto durante la trasmissione, e in tal caso interrompe immediatamente il tentativo di trasmissione.

Il tentativo verrà tentato da capo, dopo un'attesa di tempo casuale, variabile da scheda a scheda.

Una tecnica simile a Ethernet viene adottata nelle reti senza fili (wireless), ad esempio in reti Wi-Fi conformi allo Standard IEEE 802.11. Il problema principale in reti senza fili è dato dall'impossibilità pratica di realizzare la rilevazione di collisioni in atto durante la fase di trasmissione. La tecnica si basa sulla prevenzione delle collisioni, dilazionando nel tempo i tentativi di accesso.

Il protocollo Token Ring è un protocollo MAC concepito per reti locali con topologia ad anello.

L'accesso è regolato per mezzo di un frame speciale, detto Token, che viene passato (trasmesso), come se fosse un "testimone", ciclicamente tra tutti i dispositivi in rete. Solo chi detiene il token ha diritto di trasmettere sul canale, evitando il rischio di collisione, dopodiché deve trasmettere il token alla stazione successiva nell'anello.

Comporre segmenti in reti locali

Dispositivi utili a **comporre reti locali** di calcolatori, agendo al **livello fisico** (1) e **MAC/LLC** (2):

- **Repeater** (ripetitore): livello fisico (1)
 - I segnali trasmessi sul mezzo fisico degradano con la distanza
 - Limite massimo alla lunghezza di un segmento di rete Ethernet: 100-200 metri
 - Un repeater è un dispositivo che amplifica e rigenera il segnale ricevuto
 - collega due o più segmenti di rete (con stessa tecnologia MAC)
 - estende la lunghezza dei segmenti di rete locale
- **Hub** (perno di una ruota a raggi): livello fisico (1) (detto anche repeater multiporta)
 - dispositivo concentratore e punto di contatto delle connessioni (a stella)
- **Bridge** (ponte): livello MAC/LLC (2)
 - connette segmenti di una rete locale con tecnologie MAC diverse
 - Es. connette un segmento Ethernet a un segmento Token Ring
 - Traduce i frame ricevuti da un segmento nel formato frame dell'altro segmento
 - Ri-trasmette il frame tradotto usando il protocollo MAC opportuno
- **Switch** (commutatore): livello MAC/LLC (2)
 - Analogo al bridge, ma permette di connettere molti segmenti (fino a 10-12)
 - Ha capacità di filtrare e inviare i frame sul segmento giusto, leggendo l'indirizzo MAC del destinatario del frame

A questo punto esistono i presupposti per introdurre alcuni dispositivi che possono essere usati per comporre ed estendere una rete locale di calcolatori, unendo segmenti di rete altrimenti separati.

Il primo dispositivo è il ripetitore (repeater). Siccome i segnali emessi su qualsiasi mezzo fisico si degradano al crescere della distanza percorsa, esiste un limite massimo per la lunghezza di un segmento di rete. Ad esempio, un segmento Ethernet, può variare dai 100 ai 200 metri. Un repeater è un dispositivo che agendo solo a livello fisico, amplifica e rigenera il segnale ricevuto verso un prolungamento del segmento di rete. Mediante un repeater è possibile collegare due segmenti di rete aventi la stessa tecnologia a livello MAC, ed estendere la lunghezza dei segmenti di rete locale.

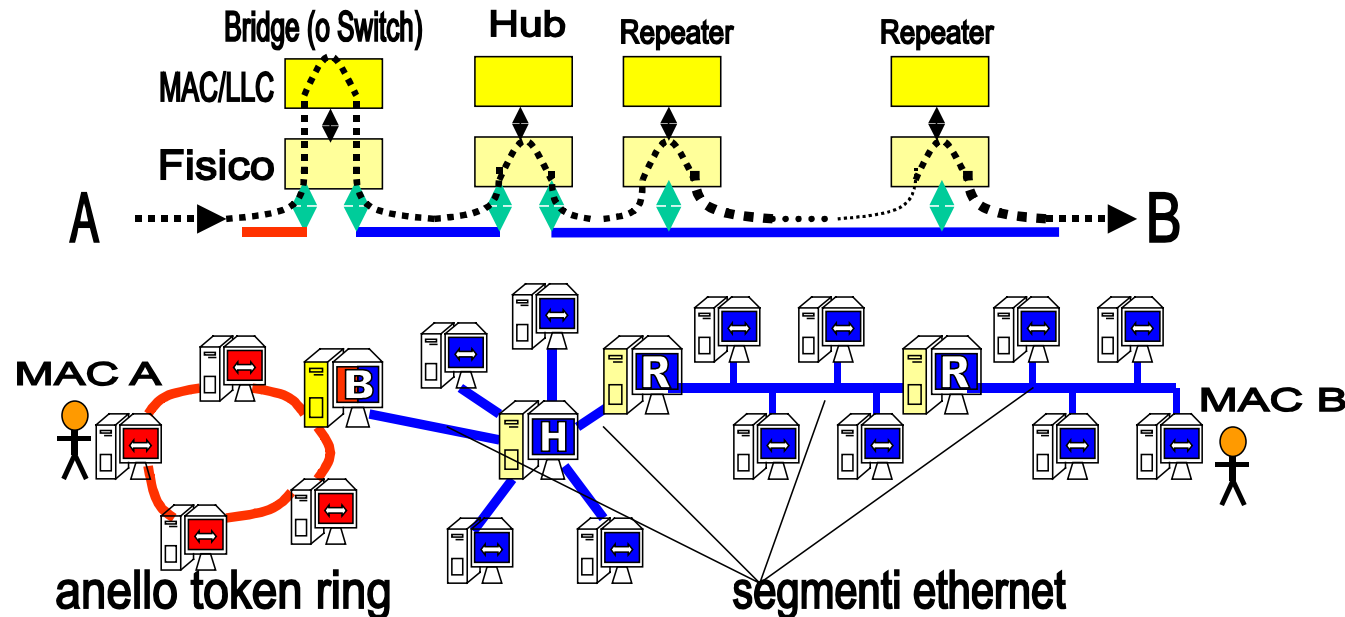
Un Hub (che significa perno di una ruota a raggi) è un altro dispositivo che agisce solo a livello fisico. Esso realizza il punto centrale di connessione, detto concentratore, dei segmenti di una rete locale con topologia a stella. In pratica si tratta di un ripetitore (repeater) con tante connessioni entranti e uscenti.

Un Bridge (ponte) è invece un dispositivo che agisce anche da traduttore a livello due (MAC/LLC). Un bridge permette di connettere segmenti di una stessa rete locale ma con tecnologie e MAC diversi tra loro (ad esempio un segmento Ethernet con uno Token Ring). I bridge fanno quindi da traduttori dei frame nei formati richiesti dal livello MAC di ogni segmento connesso al bridge, e provvedono alla trasmissione su segmenti diversi adottando il protocollo MAC opportuno.

Uno Switch (commutatore) è un dispositivo di livello due (MAC/LLC) analogo al bridge. Al contrario del bridge, esso permette di connettere un numero maggiore di segmenti diversi (fino a 10 o 12). I Bridge sono dotati della capacità di filtrare e instradare opportunamente i frame di dati sul segmento opportuno, osservando sui frame le informazioni di indirizzo MAC del dispositivo destinatario.

Un esempio completo di rete locale

Diversi segmenti di rete locale sono collegati attraverso bridge B (o switch), hub H e repeater R



Un esempio di rete locale composta da segmenti ethernet e token ring

La figura mostra un esempio di rete locale composta da un segmento token ring colorato in rosso (l'anello a sinistra) e da segmenti ethernet colorati in blu (tutti gli altri). A sinistra, un computer dotato di dispositivo di rete token ring con indirizzo MAC A è connesso a un anello di rete token ring insieme ad altri 3 computeri e un bridge (oppure uno switch) identificato dal colore giallo (per indicare che agisce a livello MAC/LLC) e dalla lettera B sullo schermo. Lo schermo è bicolore (rosso-blu) per denotare che il bridge agisce da collegamento e traduttore dei frame tra segmenti token ring (anello rosso) ed ethernet (blu). Il bridge B è connesso a un hub (H) dal quale partono sei segmenti ethernet, di tipo punto a punto, verso altrettanti computeri. Uno di questi computeri, identificato dalla lettera R è un repeater, che propaga e amplifica i segnali verso un successivo segmento ethernet con topologia a bus, sul quale esistono quattro

calcolatori. Al termine del bus esiste un nuovo repeater R, che propaga e amplifica i segnali verso un ultimo segmento ethernet con topologia a bus, al quale è collegato un calcolatore dotato di scheda ethernet con indirizzo MAC B. Al di sopra dei dispositivi citati viene rappresentato il cammino logico di un frame trasmesso dal calcolatore con MAC A al calcolatore con MAC B, passando per i segmenti, le interfacce e i livelli dei protocolli opportuni. In particolare, il bridge B è l'unico elemento nel quale i frame trasmessi passano fino al livello 2. Nei rimanenti dispositivi hub e repeater, i frame sono semplicemente ricevuti e ri-trasmessi su segmenti diversi, al livello fisico.

La figura mostra un esempio di rete locale composta da diversi segmenti: un segmento con topologia ad anello e protocollo MAC di tipo token ring colorato in rosso e da vari segmenti ethernet, con topologia a stella e a bus, colorati in blu. A sinistra, un calcolatore dotato di dispositivo di rete token ring con indirizzo MAC A è connesso a un anello di rete token ring insieme ad altri 3 calcolatori e insieme a un bridge (oppure uno switch) identificato dal colore giallo (per indicare che agisce a livello MAC/LLC) e dalla lettera B sullo schermo. Il bridge B agisce da collegamento e traduttore dei frame tra il segmento token ring (rosso) ed il successivo segmento ethernet (blu). Il bridge B ha quindi due connettori di rete: uno token ring e uno ethernet. Il segmento ethernet del bridge B è connesso a un Hub (H) dal quale partono sei segmenti ethernet, di tipo punto a punto, verso altrettanti calcolatori. Uno di questi calcolatori, identificato dalla lettera R è un repeater, che propaga e amplifica i segnali verso un successivo segmento ethernet con topologia a bus, sul quale esistono quattro calcolatori. Al termine del bus esiste un nuovo repeater R, che propaga e amplifica i segnali verso un ultimo segmento ethernet con topologia a bus, al quale è collegato un calcolatore dotato di scheda ethernet con indirizzo MAC B.

Al di sopra dei dispositivi citati viene rappresentato il cammino logico di un frame trasmesso dal calcolatore con MAC A al calcolatore con MAC B, passando per i segmenti, i connettori di rete, e i livelli dei protocolli opportuni. In particolare, il bridge B è l'unico elemento nel quale il frame trasmesso sul segmento token ring sale fino al livello 2, per essere tradotto e ritrasmesso sul segmento uscente adottando il nuovo protocollo MAC ethernet. Nei rimanenti dispositivi hub e repeater, i frame sono semplicemente ricevuti e ri-trasmessi sui segmenti uscenti. Se il bridge avesse dovuto connettere più di due segmenti diversi, allora si sarebbe utilizzato uno switch, che svolge l'attività del bridge gestendo più interfacce di rete e protocolli.

Dovrebbe essere chiaro a questo punto come sia possibile connettere diversi segmenti di rete locale, e gestire la trasmissione di frame di dati tra due dispositivi qualsiasi di una rete locale, semplicemente identificando i dispositivi attraverso il loro indirizzo MAC.