Daniele Corti

RETI DI CALCOLATORI

TOPOLOGIE DI RETE

© copyright
all rights reserved

Copyright © Ing. Daniele Corti 2013

www.ingdanielecorti.it

Tutti i diritti sono riservati a norma di legge e a norma delle convenzioni internazionali.

v.3.0 – 21/11/2019

PREREQUISITI

- Definizione e utilità delle reti di calcolatori.
- Identificare un nodo in una rete di calcolatori.

OBIETTIVI

- Riconoscere le differenti topologie di rete.
- Identificare le caratteristiche, i vantaggi e gli svantaggi delle differenti topologie di rete.
- Individuare i campi di applicazione delle differenti topologie di rete.

ARGOMENTI TRATTATI

- Rete di telecomunicazioni (definizione) …..…….…… Pag. 04
- Grafo di una rete – nodi e archi …… Pag. 05
- Tipologie di canale (punto a punto e multipunto) ….……... Pag. 05
- Topologia di rete …….…….. Pag. 07
    - Caratteristiche topologiche della rete ……... Pag. 07
    - Classificazioni topologiche (fisiche e logiche) ……...…….. Pag. 07
- Reti broadcast ……... Pag. 08
    - Reti a BUS …… Pag. 09
    - Reti Ring (NO) ……. Pag. 12
    - Reti satellitari e radio (NO) …..…… Pag. 13
    - Conclusioni (NO) ……. Pag. 14
- Reti punto a punto …… Pag. 14
    - Reti a maglia - mesh ……...…….. Pag. 14
    - Reti a albero – tree …...……...…….. Pag. 16
    - Reti a stella – star ……...…….. Pag. 17
        - Reti a stella estesa …… Pag. 19
    - Reti ad anello – loop …… Pag. 20
        - Reti a doppio anello ……. Pag. 23
        - Interconnessioni di anelli ……. Pag. 24
    - Reti lineari …… Pag. 24
    - Reti ibride ……. Pag. 24
        - Reti ibride ad anello / stella …….. Pag. 25
        - Reti ibride a bus / stella …… Pag. 25
    - Conclusioni …….….. Pag. 26
- Topologie logiche NO …….…. Pag. 27
    - Ethernet …… Pag. 27
    - Token Ring ……... Pag. 28
    - FDDI ……. Pag. 29

RETE DI TELECOMUNICAZIONI (DEFINIZIONE)

<u>Definizione</u>: la rete di telecomunicazioni TLC è un sistema composto da nodi interconnessi tramite canali che fornisce un collegamento tra due o più punti per permettere la telecomunicazione tra essi (trasmissione o ricezione di informazioni).

Lo scopo di una rete TLC è il trasferimento di dati (sotto forma di segnali) tra un nodo e un altro della rete.

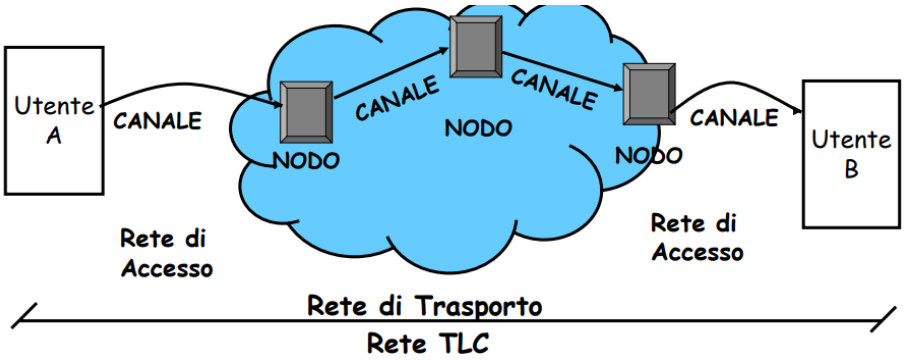


Figura 1 - Rete TLC

Esempi si reti di TLC cablati (wired) sono:

- Reti telefoniche e telematiche[1].
- Reti di calcolatori.
- Internet.
- La rete Telex[2] globale.

Esempi di TLC radio (wireless) sono:

- Broadcasting radio/TV.
- Cordless.
- Reti cellulari terrestri.
- Reti locali senza fili (WLAN).
- Reti satellitari.

[1] La parola telematica è un neologismo derivato dalla fusione di due parole: telecomunicazione e informatica. La telematica si occupa dell'uso delle tecnologie informatiche nell'ambito delle telecomunicazioni; applicazioni telematiche sono ad esempio gli sportelli Bancomat, i fax e i terminali per la lettura delle carte di credito. Le reti telematiche connettono fra loro più computer, attraverso cavi telefonici, fibre ottiche, ponti radio, satelliti, ecc. Su reti di questo tipo possono transitare velocemente grandi quantità di dati. I vantaggi del collegamento attraverso le reti sono molteplici. Un computer in rete può accedere alle risorse informative residenti su altri computer, può utilizzare periferiche, come stampanti o fax, collegate ad altri elaboratori, e così via.

[2] Il termine telex (acronimo di TELeprinter EXchange) indica un sistema di telecomunicazione (comunicazione telegrafica) sviluppato a partire dagli anni trenta e largamente usato nel XX secolo per la corrispondenza commerciale tra aziende.

IL GRAFO DI UNA RETE- NODI E ARCHI

Una rete di telecomunicazioni è rappresentabile graficamente attraverso un **grafo** composto dai seguenti elementi:

- **Arco**: è il **canale** (ramo) o mezzo di comunicazione che collega tra loro due nodi della rete e rappresenta il percorso diretto che l'informazione segue per essere trasferita tra due nodi; formano i canali di comunicazione, ad esempio cavi telefonici, fibre ottiche, collegamenti radio, etc. La comunicazione lungo il canale può essere:
  - **Unidirezionale**: i dati viaggiano in un solo senso.
  - **Bidirezionale**: i dati viaggiano in entrambe le direzioni.
- **Nodo**: è l'estremità comune di uno, due o più rami convergenti nello stesso punto. Un nodo quindi è un qualsiasi dispositivo hardware della rete in grado di comunicare con gli altri dispositivi che fanno parte della stessa rete. Si possono distinguere due tipi di nodi:
  - Nodo **intermedio** (nodo di **commutazione**), che svolge la funzione di nodo di scambio/commutazione, che a seconda dei casi viene chiamato hub, repetear, switch, router, gateway. Questo nodo analizza il pacchetto di dati che riceve da un altro nodo e prende decisioni su quale percorso scegliere per inoltrare lo stesso ad un altro nodo intermedio.
  - Nodo **terminale**, è l'apparecchio che svolge la funzione di sorgente o destinazione della comunicazione e, che possono usufruire dei servizi che la rete stessa mette a disposizione. Esempi di nodi terminali sono: computer, modem, stampante, scanner, fax, server, etc. Questo nodo di ricetrasmissione è univocamente distinguibile tramite un **indirizzo di rete** per consentire l'instradamento dell'informazione da e verso destinatari corretti, attraversando eventualmente uno o più nodi intermedi.

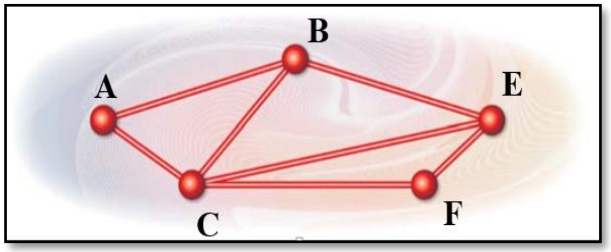


Figura 2 – Grafo

TIPOLOGIE DI CANALE

Il canale può essere di due tipi in base al modo di diffusione dei dati:

- **Multipunto (Broadcast)**.
- **Punto a Punto** (**Point to Point**).

Nelle reti in cui il canale è **multipunto (Broadcast)** i nodi sono tra loro connessi attraverso **un unico canale di comunicazione condiviso**. Il messaggio inviato da un nodo viene ricevuto da tutti gli altri. Ogni nodo estraendo dal messaggio l'indirizzo del destinatario, è in grado di capire se il messaggio è diretto a lui e in caso contrario lo scarta. Alcune reti prevedono indirizzi speciali di tipo **broadcast** e **multicast**. Il broadcast permette di inviare messaggi a tutte le stazioni collegate al mezzo fisico,

mentre il multicast permette di farlo solo ad un gruppo di nodi, ma non a tutte. Un esempio di una tale rete è la comunissima Ethernet su topologia a BUS.

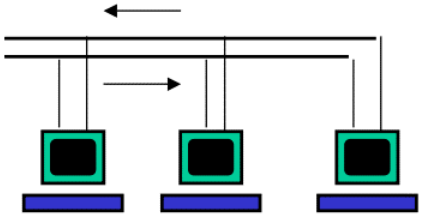


Figura 3 - Rete broadcast

Esempi di topologie broadcast:

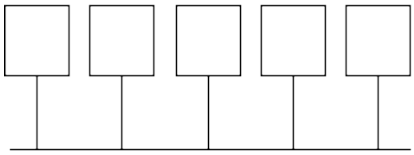


Figura 4 - topologia a BUS

Nelle reti in cui il canale è **Punto a Punto** (**Point to Point**) la rete è costituita da un **insieme di link (collegamenti) tra coppie di nodi** (come nell'immagine seguente). Per passare da una sorgente ad una destinazione, il dato deve attraversare diversi nodi intermedi (**commutazione**). Il percorso che i dati devono seguire per arrivare correttamente a destinazione, è data dai protocolli di routing (instradamento).

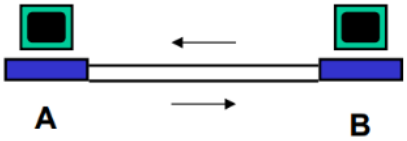
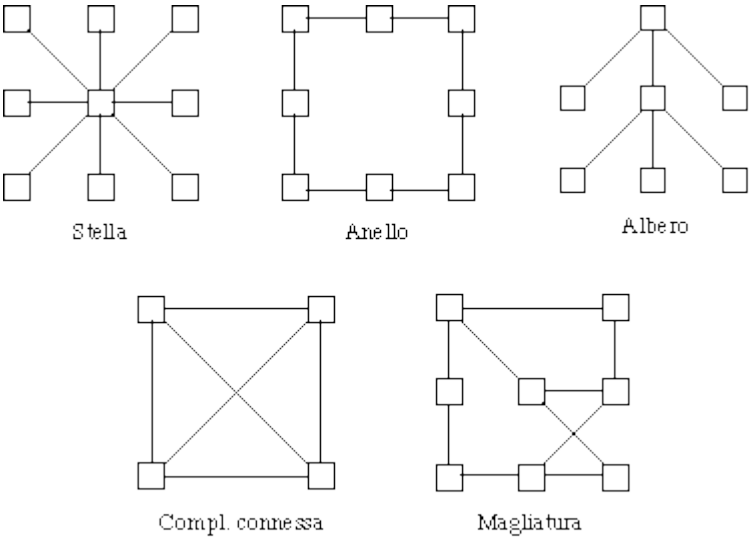


Figura 5 - Rete point to point

Esempi di topologie punto a punto:



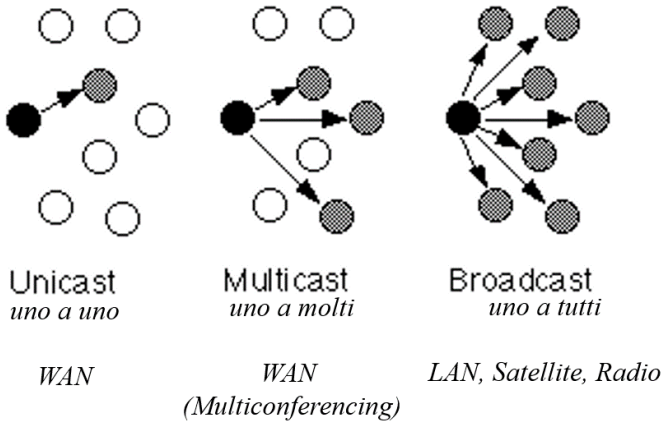


Figura 6 - Modalità di trasmissione

TOPOLOGIA DI RETE

<u>Definizione</u>: la topologia di rete è la disposizione fisica degli oggetti nello spazio.

Definire la topologia di rete significa scegliere la posizione di tutti i dispositivi di rete (**nodi**) e dei collegamenti fisici / canali (**archi**) da realizzare per collegare i nodi stessi.

Con il termine di **topologia** (struttura) si intende la **modalità con la quale i nodi sono collegati fra di loro** ovvero la *disposizione degli oggetti fisici nello spazio*, o in altri termini la *forma del canale di comunicazione*.

CARATTERISTICHE TOPOLOGICHE DELLA RETE

Parametri fondamentali da considerare nello studio della topologia di rete:

- **Numero di nodi** (host, macchina o più in generale dispositivo dotato di connessione).
- **Numero di archi** (canali di comunicazione / mezzi di trasmissione).
- **Ridondanza**: possibili tragitti alternativi che i pacchetti di dati possono percorrere raggiungere la destinazione. La ridondanza è strettamente legata alla tolleranza ai guasti (**Fault Tolerance**), che è tanto minore quanti più canali disponibili ci sono.

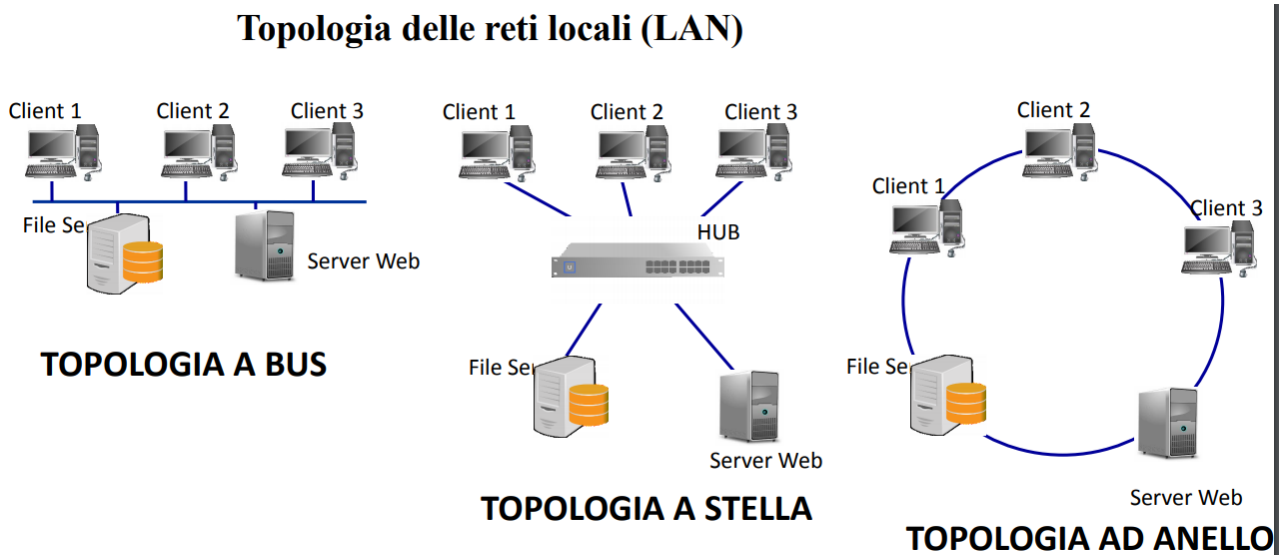
CLASSIFICAZIONE TOPOLOGICHE – FISICHE E LOGICHE

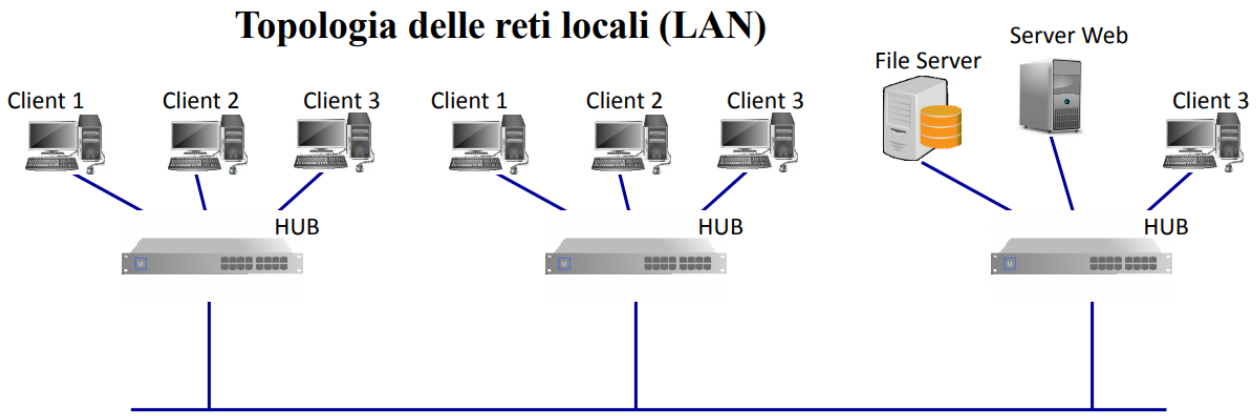
Si possono distinguere due topologie di rete:

- **Topologia fisica**: descrive la disposizione fisica e spaziale dei nodi e dei mezzi trasmissivi. Le principali topologie fisiche sono le seguenti:
  - Reti Broadcast
    - **Bus**
    - Ring NO
    - Satellite o Radio NO
    - Reti ibride NO
  - Reti Point to Point

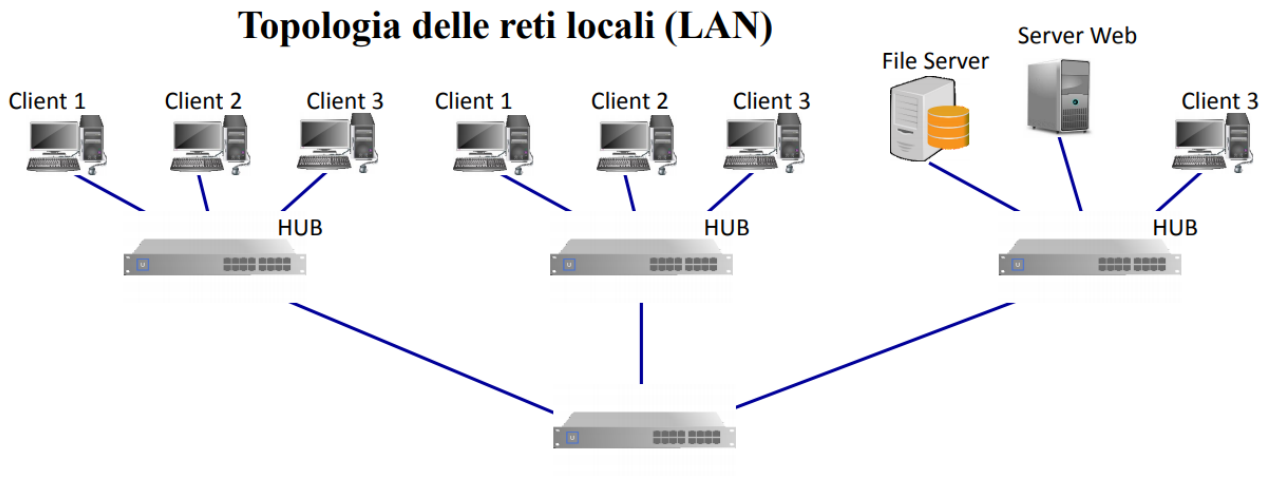
- **Maglia completa (mesh) e incompleta.**
- **Albero.**
- **Stella e a Stella estesa**.
- **Anello (loop) e a doppio anello.**
- **Interconnessioni di anelli.**
- **Lineare.**
- **Reti ibride.**

- **Topologia logica**: descrive il modo in cui ogni nodo accede al mezzo trasmissivo per inviare dati. La topologia logica descrive quali sono i percorsi seguiti nella comunicazione tra coppie di stazioni. Si possono distinguere le seguenti topologie logiche:
  - **Ethernet.**
  - **Token Ring.**
  - **FDDI.**





TOPOLOGIA A BUS STELLARE



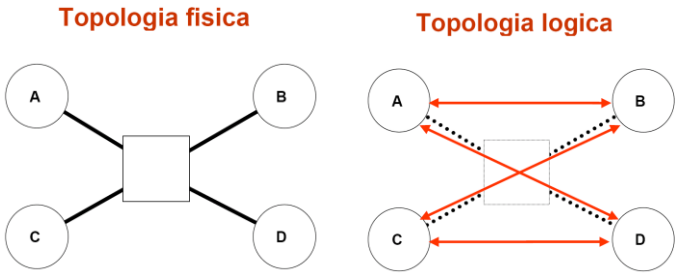
TOPOLOGIA STELLARE GERARCHICA

NB Le moderne reti con dominio di broadcast condiviso sono realizzate con una topologia fisica a stella (point-to-point), in cui tutti i nodi sono connessi ad un punto di concentrazione, dove un apparato attivo (hub o switch) crea l'illusione che siano tutti connessi allo stesso mezzo fisico. Questi apparati sono detti centrostella appunto perché si trovano al centro della rete a stella.

Questa classificazione delle topologie in fisiche e logiche, consente di scoprire in quale modo due nodi della rete possono essere messi in comunicazione:

- **Connessione fisica**: quando tra due nodi è presente un canale fisico che li collega in modo diretto, come per esempio tra i nodi A e B.
- **Connessione logica**: che sfrutta più di una connessione fisica, come nel caso dei nodi A e E. Questo tipo di connessione si rende necessario quando la rete assume dimensioni di una WAN per cui è impossibile pensare a un collegamento fisico per ogni coppia di nodi.

Per esempio, nella seguente figura è rappresentata la topologia fisica e logica di una rete a stella. Dal punto di vista fisico è una rete punto a punto in quanto se si considera anche il centro stella un nodo, allora ogni nodi è collegato ad un solo altro nodo. Dal punto di vista logico, invece la rete è broadcast perché si creano più percorsi logici che collegano un nodo agli altri.



RETI BROADCAST

In queste reti tutti i nodi sfruttano lo stesso mezzo trasmissivo per comunicare. Il problema quindi è quello di regolare l'accesso da parte dei nodi all'unico canale condiviso al fine di evitare le collisioni dei pacchetti di dati.

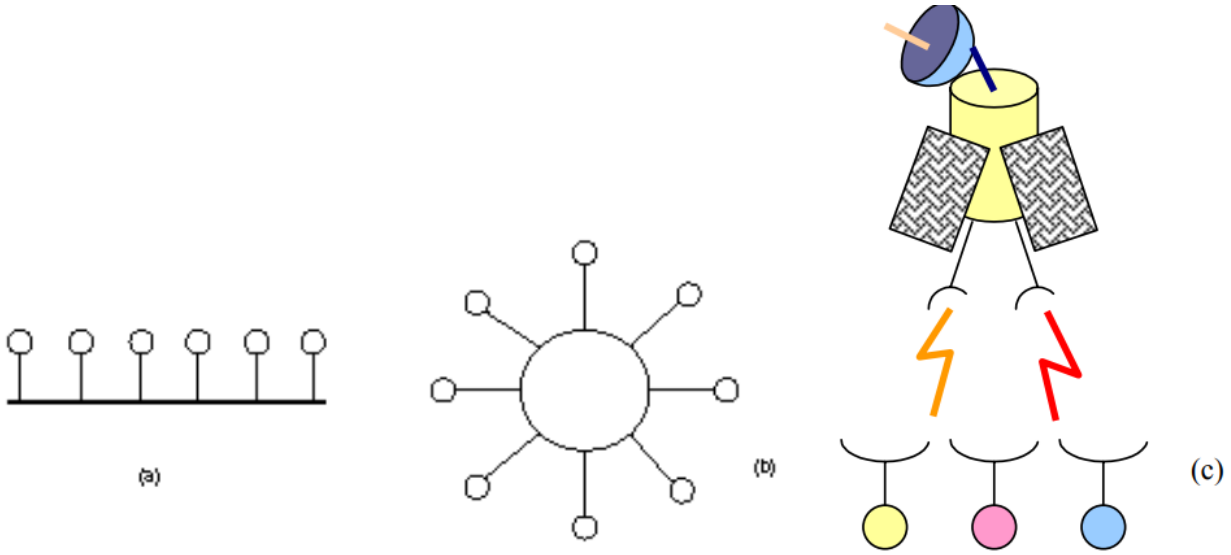
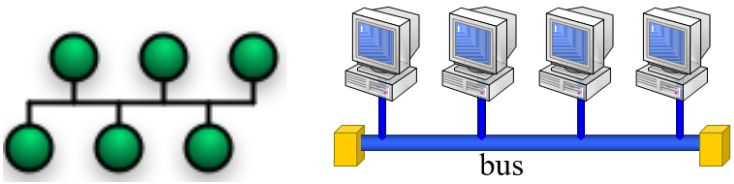


Figura 7 - Reti broadcast. (a) Bus. (b) Ring. (c) Satellite o Radio

RETI A BUS

Le reti a BUS sono le più semplici per connettere in rete i computer. In queste reti tutti i nodi condividono lo stesso (e unico) collegamento detto appunto BUS o **dorsale**. Sono reti di **tipo broadcast** dal punto di vista logico, in quanto il messaggio trasmesso da un nodo viene ricevuto da tutti gli atri nodi.



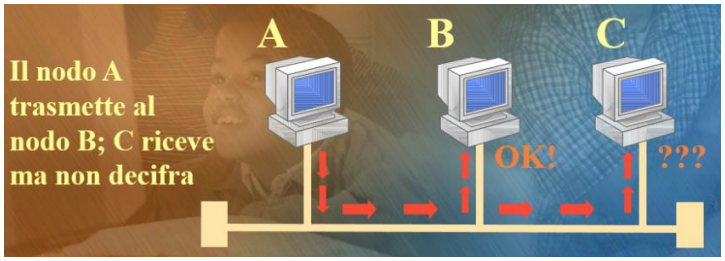
Caratteristiche

- Topologia LAN utilizzata negli anni 70/80.
- La rete a BUS è costituita da un unico canale (c) trasmissivo che permette la connessione di tutti i nodi.

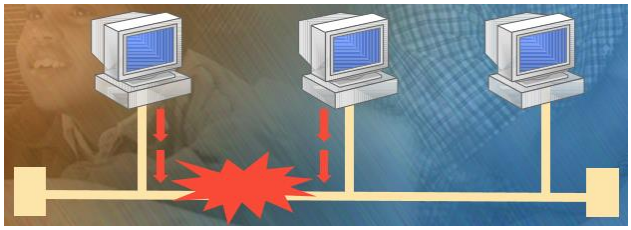
$$c = 1$$

- Richiedono l'utilizzo di un mezzo trasmissivo bidirezionale (per esempio il cavo coassiale), che ammetta cioè la propagazione del segnale in entrambe le direzioni.
- Ogni nodo è collegato in modo lineare attraverso un cavo coassiale (linea, dorsale o segmento).
- La trasmissione è di tipo broadcast, quindi quando un nodo trasmette, tutte le altre ricevono il segnale.
- Diversamente dalle reti punto a punto, i nodi non devono preoccuparsi di ripetere il segnale o di effettuare instradamento, in quanto tutti i nodi sono direttamente raggiungibili (cioè sono tutti connessi allo stesso mezzo di comunicazione).
- Ogni nodo partecipa in modo passivo, restando in "ascolto" e in attesa di messaggi a lui destinati. Un solo nodo alla volta può trasmettere, e tutti gli altri restano in ascolto. I messaggi

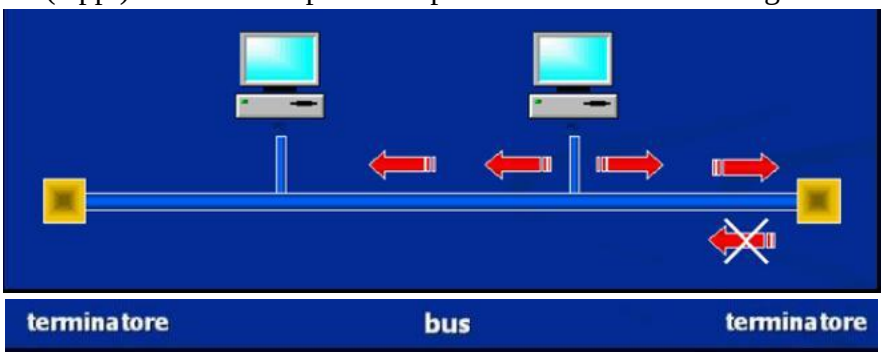
inviati da un nodo vengono ricevuti da tutti gli altri nodi ma solo il destinatario può intercettarli e leggerli (trasmissione broadcast).



- I nodi sono collegati al cavo principale attraverso un connettore a "T" e non possono trasmettere simultaneamente sulla rete poiché causerebbero una collisione dei dati. Di conseguenza, ogni nodo dovrà necessariamente attendere che la rete sia libera ed inviare poi le informazioni a tutti i nodi della rete. Se però più nodi, avvertendo il canale libero, iniziano l'invio contemporaneamente, possono avvenire delle collisioni; i nodi vengono avvisati dell'avvenuta collisione.



- Per estendere le dimensioni di una rete a bus si possono utilizzare dei ripetitori che svolgono la funzione di rigeneratori del segnale.
- In una rete di questo tipo i dati viaggiano sul bus in entrambe le direzioni fino a raggiungere l'estremità del cavo dove vengono posizionati degli oggetti chiamati **terminatori**. I terminatori (tappi) hanno il compito di impedire la riflessione dei segnali.



Vantaggi

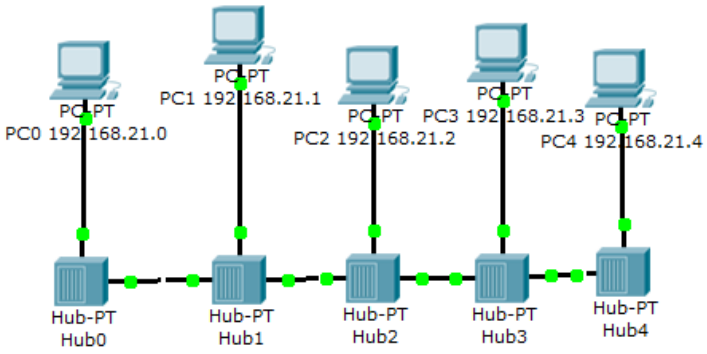
- **Economica**. La realizzazione di questa rete è poco costosa.
- **Semplice da realizzare**.
- **Facile scalabilità** (espandibilità): il mezzo trasmissivo è completamente passivo e l'aggiunta di nuovi nodi nella rete è semplificata, non dovendo procedere ad una riconfigurazione dell'intero sistema.
- **Resistenza ai guasti dei nodi**. Il guasto ad un nodo non provoca la disattivazione dell'intera rete, dato che i nodi sono passivi quando non trasmettono, al contrario delle reti ad anello in cui i nodi sono attivi (nella sua forma più semplice nella rete ad anello un nodo quando riceve un pacchetto lo deve rigenerare e poi ritrasmettere al successivo nodo).

Svantaggi

- **Velocità di trasmissione bassa** (10Mbps nello standard Ethernet). L'utilizzo di un singolo cavo comporta una velocità contenuta.
- **Numero massimo di nodi limitato**. Malgrado sia semplice aggiungere nodi, questi non possono superare un certo limite. Indicativamente si possono connettere al massimo una decina di nodi.
- **Poco affidabile**. Un'eventuale interruzione del cavo mette fuori uso l'intera rete. Se il cavo si danneggia in un punto qualsiasi o se uno dei terminatori viene scollegato (e quindi uno o più capi sono privi di terminatori), i dati rimbalzeranno rendendo la rete inutilizzabile. In questo modo la rete viene messa fuori uso ovvero si interrompe il servizio per tutti i nodi connessi al bus.
- **Estensione breve**. Dato che i nodi sono passivi, le distanze raggiungibili sono piuttosto ridotte anche con segnali di buon livello, a meno ovviamente di far uso di ripetitori, che risolvono il problema a prezzo però di maggiori spese. La lunghezza del cavo non può quindi superare qualche centinaio di metri senza ripetitore.
- **Bassa sicurezza**. Ogni nodo può intercettare le comunicazioni altrui. I dati verranno accettati solo dal nodo alla quale sono realmente destinati.
- **Decadimento delle prestazioni in caso di traffico**.
- **Sensibile ai guasti** (fault tolerance). Non avendo Ridondanza di percorsi per raggiungere la destinazione risulta alta la tolleranza ai guasti (Fault Tolerance), che è tanto maggiore quanti meno canali disponibili ci sono.
- **Difficoltà nel trovare il guasto**. La mancanza di punti di concentrazione, come nelle reti a stella, rende difficoltosa l'individuazione di eventuali punti di malfunzionamento.
- **Un solo nodo alla volta può trasmettere**. La topologia a BUS non presenta commutatori o ripetitori ma tutti i nodi sono connessi direttamente, tramite interfacce, al mezzo trasmissivo e poiché quest'ultimo è condiviso, può trasmettere un solo nodo alla volta, rallentando le prestazioni dell'intera rete.
- **Problema delle collisioni**. Avendo un solo mezzo condiviso da parte di tutti i nodi, può succedere che più nodi vogliano trasmettere contemporaneamente. Quindi possono avvenire delle collisioni e pertanto occorre utilizzare delle politiche di accesso al canale per gestire ed evitare le collisioni (protocolli CSMA/CD).

Impieghi

- Le prime reti locali LAN erano basate sulla topologia a bus, in seguito sostituita da quella a stella.
- Attualmente è utilizzata all'interno dei calcolatori come BUS di comunicazione fra i differenti dispositivi (CPU, memorie, periferiche). I dati trasmessi da un nodo, se non vengono interrotti, viaggiano da un capo all'altro del cavo, rimbalzano e tornano indietro impedendo ad altri nodi di inviare segnali. A ciascuna estremità del cavo viene applicato un componente chiamato terminatore che assorbe i dati liberi rendendo disponibile il cavo per l'invio di altri dati.

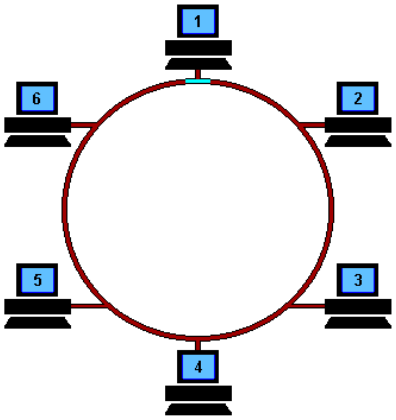


Controllo dell'accesso al canale

In questo tipo di topologia, la presenza di un unico collegamento condiviso tra tutti i nodi richiede di utilizzare meccanismi di controllo dell'accesso che evitino le collisioni o le interferenze tra i nodi. Esistono delle politiche di accesso da parte delle postazioni all'unico mezzo (canale) di trasmissione (condivisione dello stesso mezzo) basate su protocolli che garantiscono che in ogni istante un solo nodo stia trasmettendo. Questi sono denominati protocolli d'accesso al mezzo - MAC (Medium Access Control, protocol). Quello più comunemente usato nelle reti con topologia a bus è il CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) basato su algoritmi di gestione delle collisioni. In caso di collisione di due messaggi provenienti da postazioni differenti, il sistema annulla entrambe le trasmissioni per tentare di ritrasmetterle dopo un tempo variabile.

RETI RING NO

Un'altra topologia molto usata è la rete a ring (ad anello), variante della rete a bus, in cui i terminatori del canale sono connessi fra loro. I nodi della rete ring possono essere collegati in modo attivo o passivo ad una stazione master. Nel primo caso, l'informazione circolante sul bus viene memorizzata e trasmessa, permettendo dunque la rigenerazione del segnale stesso a prezzo di un tempo di latenza superiore.



Ogni messaggio è trasmesso sul ring; a differenza del loop (topologia molto simile ma classificata fra quelle point to point in quanto è costituita da una molteplicità di canali, che vedremo) non è ritrasmesso al nodo successivo fino a che l'intero messaggio è stato ricevuto.

Vantaggi

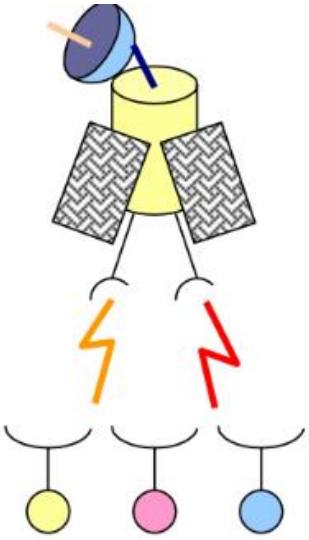
- Rete semplice da costruire e sufficientemente veloce.

Svantaggi

- Gli stessi del bus a esclusione della velocità.

RETI SATELLITE E RADIO NO

Discorso a parte meritano le reti wireless (senza cavo). Tra queste ricordiamo le reti via Radio e le reti via Satellite, che, pur essendo entrambe wireless, utilizzano bande di frequenze molto differenti. Come le LAN, tali reti sono di tipo broadcast e quindi sono necessari dei meccanismi di arbitraggio per risolvere le contese. Facendo comunque un confronto con le reti LAN, le reti wireless hanno tipicamente capacità trasmissive inferiori (valori tipici sono 1÷2 Mbps), tempi di ritardo superiori e probabilità di errore spesso elevata. Inoltre le reti wireless sono usate non in ambito locale, bensì in ambito nazionale (centinaia di Km).
In particolare, in una rete satellitare avviene la comunicazione fra un certo numero di stazioni di terra e uno o più satelliti, i quali non fanno altro che ritrasmettere il segnale e, volendo, effettuare una commutazione a bordo: cioè dopo che un segnale arriva al satellite, esso può splittarla su un set limitato di stazioni (nel caso di risorsa trasmissiva a multiplazione a divisione di frequenza, la commutazione può essere effettuata molto semplicemente attraverso un opportuno trasponder che cambi la frequenza della portante del segnale e quindi sposta il segnale su una banda di frequenze per la cui ricezione sono abilitate soltanto alcune stazioni).



Caratteristiche

- Ogni nodo ha un'antenna con la quale può trasmettere o ricevere.
- Ogni nodo può ricevere l'output del satellite e, in alcuni casi, anche quello di un altro nodo.

CONCLUSIONI NO

Le due tipologie di reti broadcast a bus e a ring, sono particolarmente usate in ambito locale (LAN ovvero Local Area Network), geografico (WAN ovvero Wide Area Network), o al più in ambito metropolitano (MAN ovvero Metropolitan Area Network), come può essere quella di una grossa città col suo hinterland, in cui le esigenze di trasporto dati sono dell'ordine dei Mbit/s (Mbps) (valori tipici sono 10 Mbps fino a 100Mbps), i tempi di ritardo sono molto contenuti (decine di millisecondi) e la probabilità di errore è molto bassa.

Queste tipologie però non possono essere usate in ambito nazionale, poiché non esistono protocolli di accesso efficienti e veloci quando le dimensioni della rete aumentano. Vedremo infatti che le prestazioni degradano fortemente all'aumentare dell'estensione della rete stessa.

RETI PUNTO-A-PUNTO

Queste reti sono basate su molteplici connessioni fra coppie individuali di host.

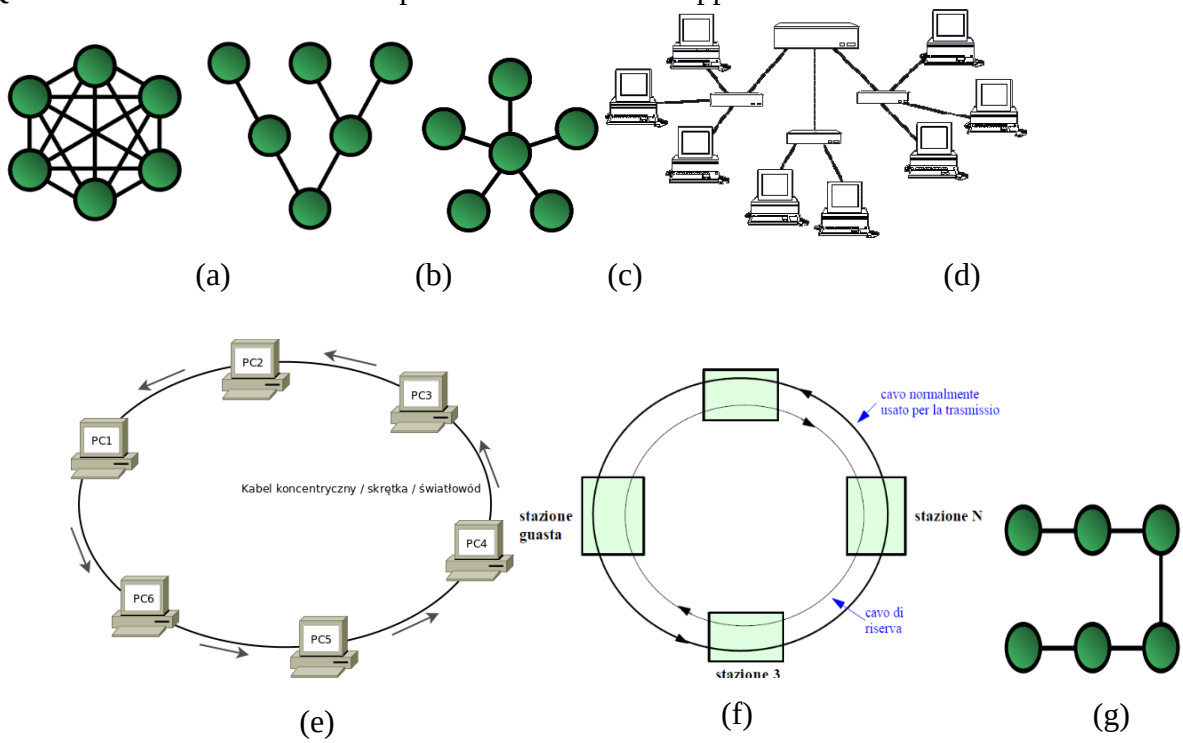


Figura 8 - Topologia reti point to point: (a)maglia; (b) albero; (c) stella; (d) stella estesa; (e) anello; (f) doppio anello; (g) lineare

RETI A MAGLIA - MESH

Sono reti tipicamente geografiche in cui i nodi sono interconnessi tra loro per più di una volta, creando quindi percorsi alternativi per i dati nel caso di congestione o malfunzionamento di linea.

La tolleranza ai guasti dipende dal numero dei canali implementati e naturalmente tale numero condiziona il costo della rete.

Le reti a maglia si suddividono in:

- Reti a maglia **completamente connesse**: ogni nodo è connesso a tutti gli altri nodi presenti nella rete tramite tanti canali quanti sono i nodi a cui è connesso.

$$c = n * (n - 1)/2$$

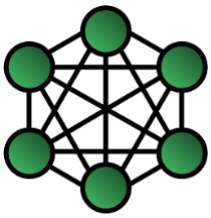


Figura 9 - Rete a maglia completamente connessa

- Reti a magli **non completamente connesse**: non sono presenti tutti i rami teoricamente possibili.

$$(n - 1) < c < n * (n - 1)/2$$

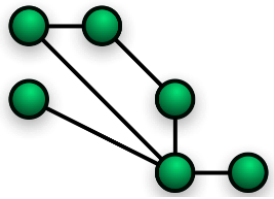


Figura 10 - Rete a maglia non completamente connessa

Raramente si hanno reti completamente connesse, perché estremamente costose, dato che il numero dei canali aumenta con legge quadratica rispetto ai nodi. Più frequentemente si hanno reti non completamente connesse, con un giusto compromesso tra costo e numero di connessioni.

Vantaggi

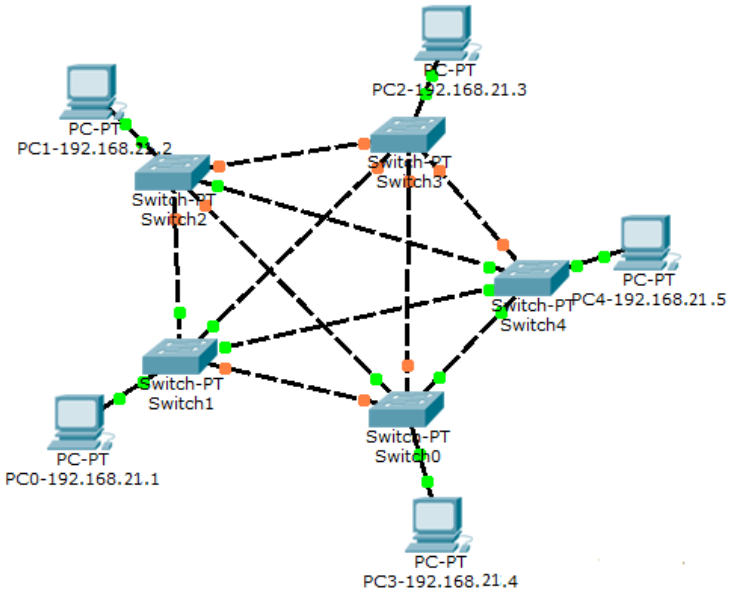
- Alta affidabilità (resistenza ai guasti di nodi e collegamenti) dato che, a fronte del guasto di uno o più nodi o rami, risulta garantita la connessione grazie a percorsi alternati.

Svantaggi

- Costi elevati.
- Difficile espandibilità.

Impieghi

- Nell'ambito delle reti telefoniche, la topologia a maglia viene usata tipicamente per le dorsali di traffico, per consentire la connettività completa tra tutte le sottoreti regionali e metropolitane.
- Anche la rete Internet si appoggia a una struttura magliata, di tipo non completamente connessa.
- Si potrebbe pensare che la tecnica più pratica per connettere ogni nodo terminale con tutti gli altri, sia quella a maglia completa (mesh topology), ma facendo alcuni conti si scopre che sono necessari, per una rete con N nodi, N*(N-1)/2 collegamenti e ogni nodo deve possedere (N-1) porte in quanto da ogni nodo deve partire un collegamento per ciascuno degli altri N-1 nodi, quindi N*(N-1); siccome ogni collegamento è conteggiato per 2 nodi si deve dividere il tutto per 2. È evidente allora che questa topologia diventa onerosa e poco gestibile al crescere del numero dei nodi terminali.



RETI AD ALBERO (TREE)

La rete ad albero è una variante della rete a maglia non completamente connessa, che si può modellizzare come un insieme di reti a stella interconnesse tra loro in modo gerarchico.
Casi particolari di reti ad albero sono le topologie a stella e la topologia lineare.

Figura 11 - Topologia ad albero

Topologia dalla struttura gerarchica e multilivello, nella quale ad ogni nodo ne sono collegati (almeno) altri due di livello inferiore. Il nodo da cui prende origine tutta la topologia viene denominato anche nodo **radice** mentre i nodi terminali vengono denominati **foglie**.

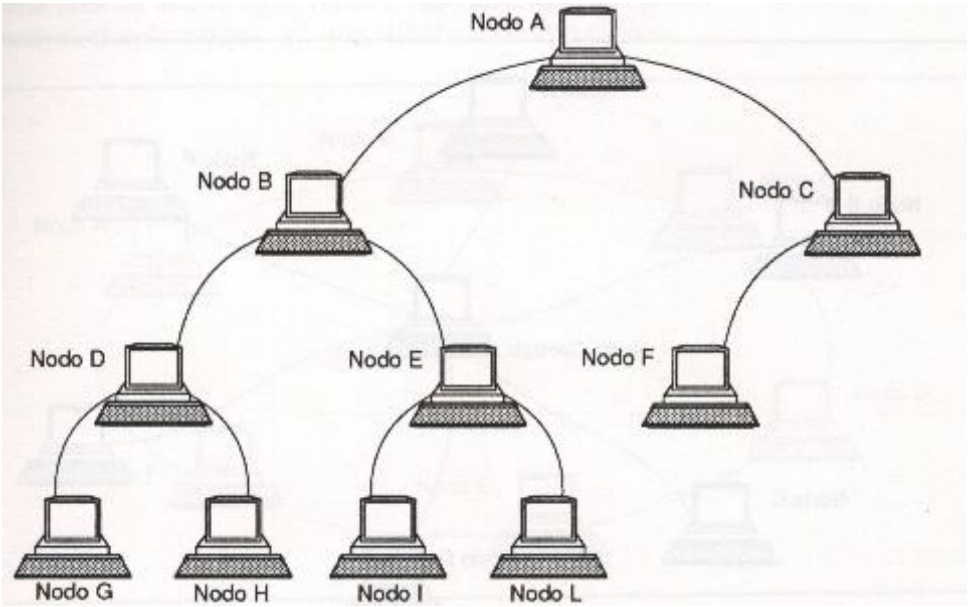


Figura 12 - Topologia ad albero

La rete ad albero, in cui i nodi e i canali sono disposti in modo ramificato, è una struttura lineare: per ogni coppia di nodi esiste un solo percorso di collegamento; ogni nodo è collegato a un solo nodo di livello superiore tramite un solo ramo e a uno o più nodi di livello inferiore tramite uno o più rami dedicati (diramazione).
Nelle reti ad albero il numero di canali (c) è pari al numero di nodi (n) meno uno:

$$c = n - 1$$

Vantaggi

- Bassi costi di cablaggio.
- Facile espandibilità.
- Ottimo rapporto prezzo/velocità.

Svantaggi

- L'eventuale interruzione di un canale o il guasto di un nodo compromette la funzionalità della parte della rete costituita dai nodi di livello inferiore. Se poi il problema è alla radice risulta compressa la funzionalità dell'intera rete. **Impieghi**
- È la struttura più utilizzata nelle reti WAN in quanto comporta costi minori rispetto ad altre soluzioni.
- È una struttura indicata quando l'accesso alle singole risorse è gestito tramite canoni di abbonamento e quindi il loro utilizzo richiede l'autorizzazione da parte di un livello superiore.

RETI A STELLA - STAR

Sebbene la rete a stella si sia sviluppata più tardi rispetto ad altre, è attualmente la rete più popolare utilizzata in differenti contesti.
La rete a stella è un caso particolare di rete ad albero infatti è caratterizzata da un unico livello di collegamenti tutti afferenti ad un unico nodo centrale.
La stella si realizza collegando ogni nodo periferico (macchina) al nodo centrale o centro stella attraverso un collegamento punto-punto, utilizzando il cavo Ethernet (doppino di rame) o la fibra ottica, a seconda della distanza da coprire.
Il centro stella può operare in modo attivo (switch) realizzando una vera funzione di **commutazione (switching)**, oppure in modo passivo (hub) limitandosi a ripetere il segnale che riceve su tutte le altre interfacce di comunicazione (le porte).
La soluzione a stella passiva assicura di per sé una trasmissione di tipo broadcast. D'altra parte la soluzione a stella attiva, permettendo il collegamento commutato fra stazioni, migliora l'efficienza del sistema.

Caratteristiche

- La rete a stella è una tipologia di LAN centralizzata in cui tutti i nodi terminali sono collegati, tramite una linea dedicata, ad un nodo centrale detto **centratore**. Il centratore, che assicura la comunicazione tra i diversi nodi smistando i dati che questi trasmettono, può essere un semplice rigeneratore di segnali (**hub**) o un apparecchio "intelligente" (**switch** o **router**).

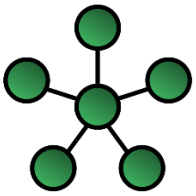
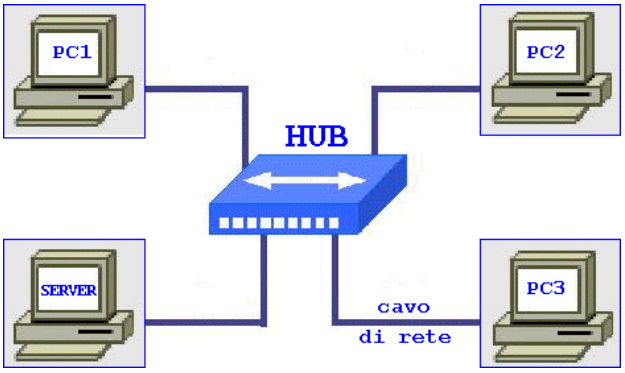


Figura 13 - Topologia a stella

- Anche il centro della stella può essere considerato un nodo della rete, pertanto nella rete a stella il numero dei canali (c) è uguale al numero di nodi (n) meno 1:

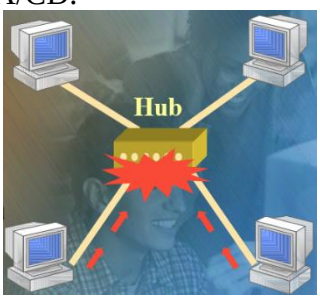
$$c = n - 1$$

- Come vedremo nella trattazione dei dispositivi di interconnessione (hub, switch e router) se il centro stella è l'hub i pacchetti inviati da un nodo ad un altro sono ripetuti su tutte le porte dell'hub stesso. Questo permette a tutti i nodi di vedere qualsiasi pacchetto inviato sulla rete, ma solo il nodo a cui è indirizzato il pacchetto non verrà scartato.



Vantaggi

- **Resistenza ai guasti**. Eventuali guasti o malfunzionamenti ad un nodo o al collegamento tra un nodo e il centratore, solo il nodo in questione non riesce più a inviare e ricevere dati, tutti gli altri continuano a funzionare senza problemi. Se il guasto avviene nel centro stella, caso molto improbabile data l'alta affidabilità dei dispositivi centrali, l'intera rete risulta inutilizzabile.
- **Alte prestazioni**: essendo i collegamenti di tipo **punto-a-punto**, non c'è mai contesa sul mezzo trasmissivo, il quale quindi, a differenza di altre soluzioni, è praticamente sempre disponibile per un nodo che voglia trasmettere. Rispetto alla rete a bus ha il vantaggio che la disconnessione di un singolo nodo non produce malfunzionamenti sull'intera rete.
- **Gestione delle collisioni con mediazione**. Come nelle reti a bus, la topologia a stella cerca una mediazione tra i contendenti in caso di collisione (nel centro stella) utilizzando dei protocolli dedicati chiamati CSMA/CD.



- **Facilità di monitoraggio della rete**. Il centratore permette di monitorare lo stato della rete attraverso spie luminose.

- **Facile scalabilità** (espandibilità). Quando i nodi aumentano e un centro stella non è più sufficiente, è possibile aggiungere altri centri stella collegandoli in cascata. Si forma così una topologia mista: stella-bus o stella-anello.

In una rete a stella mista, assume particolare importanza la qualità dei cavi che collegano tra di loro i vari centri stella. Questi cavi sono detti **dorsali** o **backbone**).

Svantaggi

- I costi di collegamento sono più elevati rispetto ad altre topologie di rete.
- Quando un nodo deve inviare un messaggio sulla rete, il messaggio deve passare attraverso il componente centrale. Se il centratore non funziona correttamente tutta la rete risulta non funzionante. Ma è un caso molto raro.
- In caso di intenso traffico, il nodo centrale può risultare sovraccaricato di lavoro e questo potrebbe portare al blocco delle richieste di connessione (blocco dell'intera rete).

Impieghi

- In ambito locale (reti locali LAN) la topologia a stella è la più utilizzata.
- Sono utilizzate in realtà soluzioni a stella estesa dove i centri stella sono in genere degli switch (al posto degli hub) più performanti (ma anche più costosi) in quanto ritrasmettono il segnale solo sulla porta a cui è connesso il nodo destinatario del pacchetto: sono in grado di leggere l'indirizzo IP del destinatario contenuto nel pacchetto dati.

RETI A STELLA ESTESA

È la topologia più usata per le reti LAN di dimensioni medie e grandi; è una topologia ad albero in cui le foglie sono costituite da stelle. Consente di estendere le dimensioni di una rete a stella, conservandone il collegamento con altre reti a stella, sempre attraverso l'uso di hub o switch.

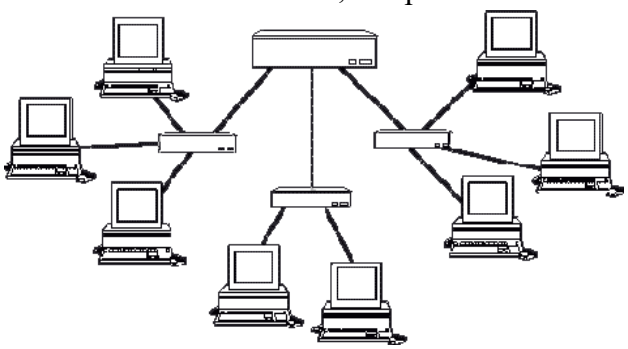


Figura 14 - Topologia a stella estesa

È possibile anche collegare tra loro più reti a stella in modalità seriale:

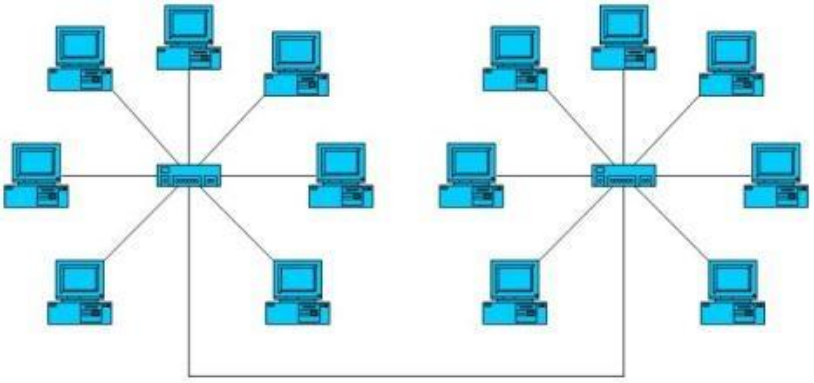


Figura 15 - Topologia a stella estesa in serie

RETI AD ANELLO - LOOP

In questa topologia i nodi sono connessi tra loro tramite un unico cavo circolare privo di terminatori sul quale la trasmissione avviene in un unico senso (orario o antiorario). Un generico nodo direttamente collegato al nodo successivo e al nodo precedente.
I nodi prendono parte attivamente alla rete, ricevendo, inoltrando e potenziando il segnale dei dati. La trasmissione di un pacchetto di dati, infatti, termina quando questo compie un intero ciclo e giunge nuovamente al nodo trasmittente. Questa topologia è particolarmente indicata se si utilizza la fibra ottica, mezzo trasmissivo unidirezionale.

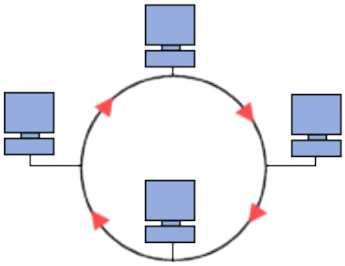


Figura 16 - Topologia ad anello

Caratteristiche

- In questa rete ci sono tanti canali (c) quanti sono i nodi (n):

c = n

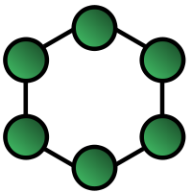
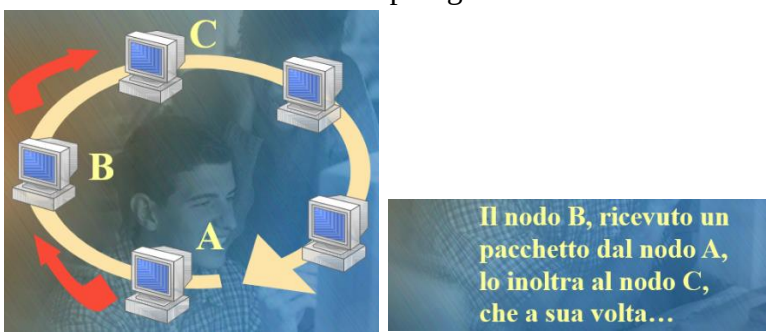


Figura 17 - Topologia ad anello

- Ogni nodo è collegato al nodo successivo e, l'ultimo nodo viene collegato al primo e quindi Il cavo che collega i nodi dell'anello non è continuo, ma è costituito da brevi segmenti che vanno da un nodo all'altro.
- Ne risulta un anello unidirezionale in cui ogni nodo partecipa in modo attivo (e non passivo come nel caso delle reti a bus), ricevendo e inoltrando i pacchetti.
- La trasmissione avviene in un unico senso passando attraverso ciascun nodo che funge da ripetitore e ritrasmette il segnale potenziato al nodo successivo: si tratta quindi di una tipologia

attiva, a differenza di quella a bus. Per questo motivo di unidirezionalità del segnale possono essere impiegate anche le fibre ottiche.

- L'informazione, organizzata in pacchetti ciascuno dei quali contiene l'indirizzo di destinazione, gira all'interno dell'anello fino a raggiungere il nodo destinatario.
- Tutti i nodi prendono parte alla trasmissione: quando un nodo invia sulla linea il proprio pacchetto, questo percorre l'intero anello, in quanto ciascun nodo riceve il pacchetto, lo memorizza, lo rigenera e lo ritrasmette al nodo successivo. Tale operazione si ripete fino a quando i dati non raggiungono il destinatario che, oltre a ricevere e ritrasmettere il messaggio, in genere ne modifica una parte per confermare al mittente l'avvenuta corretta ricezione. Questa conferma è caratteristica solo della topologia ad anello.

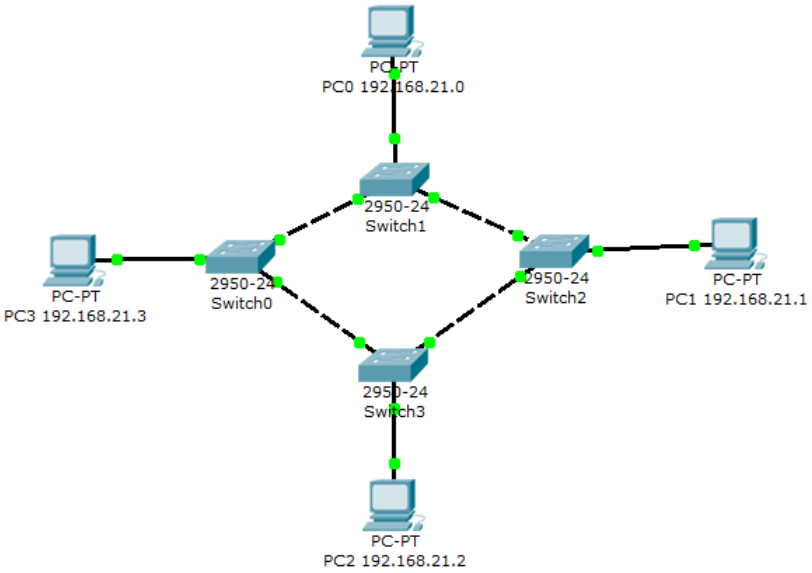


- Le reti ad anello consentono una maggiore velocità di trasferimento dati (data transfer rate) rispetto a quelle a BUS: le reti ad anello raggiungono infatti 16 Mbps contro i 10 dello standard Ethernet. Come in una rete a BUS, ogni nodo invia i suoi messaggi a tutte le altre; ogni nodo ha un indirizzo unico, e la sua circuiteria di ricezione monitorizza costantemente il canale in attesa di messaggi, ignorando quelli inviati agli altri.
- Il numero di nodi installabili può variare da poche decine fino a migliaia di unità.
- Uno dei protocolli più utilizzati per la trasmissione dei dati lungo l'anello è detto **Token Passing** e, si parla infatti di reti **Token Ring**. Con questa topologia sono necessarie infatti delle regole per arbitrare gli accessi simultanei all'anello. L'accesso al mezzo quindi si basa sul passaggio di testimone o di gettone (token). Il token è un pacchetto speciale che circola sull'anello. Il token (gettone) viene trasferito da un computer al successivo finché non raggiunge quello su cui sono disponibili dati da trasmettere. Quando un nodo vuole trasmettere un pacchetto deve aspettare il token (un altro nodo potrebbe averlo già preso) e rimuoverlo dall'anello prima di trasmettere il proprio pacchetto indicando l'indirizzo del nodo destinatario e quello del mittente. I dati passano attraverso ciascun nodo finché raggiungono quello il cui indirizzo corrisponde a quello indicato nel messaggio. Questo nodo restituisce un messaggio di conferma al nodo trasmittente il quale rilascia il token nella rete per permettere ad un altro nodo di catturarlo. Il gettone per trasmettere i dati è unico, ma questo non rallenta la velocità di trasmissione. Si consideri che su una rete di circa 400 m il gettone può fare il giro dell'intero anello circe 5000 volte in un secondo.

Vantaggi

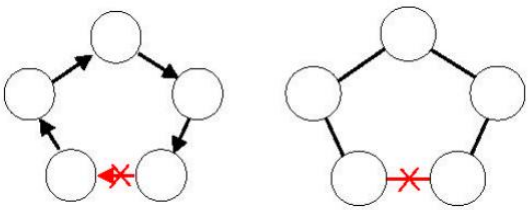
- **Distanze elevate**. Può coprire distanze maggiori di quelle consentite da altre reti senza l'aggiunta di amplificatori di segnale. Infatti, la rigenerazione del segnale da parte del nodo permette alle reti ad anello di coprire distanze maggiori di quelle consentite alle reti a stella e a bus.

- **Elevata scalabilità** (estensibilità) della rete, garantita dal potenziamento del segnale da parte di ogni nodo. Le prestazioni non decadono aumentando i nodi.
- **Facile da costruire.**
- **Sufficientemente veloce** (16 Mbps rispetto ai 10 Mbps della rete a BUS).
- Nella soluzione impiegante la fibra ottica le velocità sono più spinte.



Svantaggi

- **Bassa sicurezza**: esiste il rischio che i nodi possano intercettare comunicazioni altrui.
- **Elevato traffico** in tutta la rete.
- **La lunghezza del cavo non è minimizzata**.
- **Poco economica**. Hardware di rete costoso dato che l'architettura è proprietaria (IBM).
- **Velocità di trasferimento più bassa delle reti con topologia a stella**.
- **Scarsa affidabilità in alcuni casi**: l'anello unidirezionale è molto sensibile ai guasti poiché l'avaria di un nodo o di un collegamento impedisce ai nodi a monte del guasto di inviare dati ai nodi a valle di esso. Se si addotta invece un anello bidirezionale si ha un completo recupero del guasto.



- **La scalabilità introduce delle problematiche**. L'inserimento di una eventuale nuovo nodo rende necessario interrompere il funzionamento dell'intera rete.

Impieghi

- Questa topologia è usata nelle reti locali e, soprattutto, in quelle metropolitane per la gestione centralizzata del traffico e per tutte quelle esigenze di banda elevata (se si usa la fibra) e lunga distanza.
- Impiegate nelle reti WAN per collegamenti intercontinentali via mare o oceano.

Soluzione per ovviare al problema dell'affidabilità e della scalabilità
I problemi principali, come detto, sono proprio l'affidabilità e l'inserimento di nuovi nodi. Per eliminare entrambi questi problemi, si può adottare il seguente accorgimento: si inserisce, nell'anello, un **centro di commutazione** (**relay**), al quale si connettono tutte i nodi:

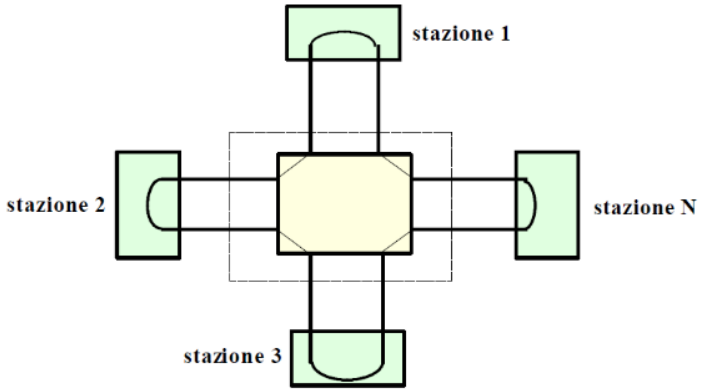


Figura 18 - Topologia a d anello con relay

In questo modo la configurazione che si ottiene è ad anello solo a livello logico, ma invece è a stella a livello fisico. Questa tecnica consente di risolvere il problema dell'affidabilità: il relay ha la capacità di isolare il nodo guasto o spento. I relay possono essere attivati o disattivati dagli stessi nodi; in questi casi il nodo che desidera attivarsi/disattivarsi manda un segnale relay contenente la relativa richiesta. Un'alternativa a questa soluzione è descritta nella prossima tipologia di rete, la rete a doppio anello.

RETI A DOPPIO ANELLO

Le reti a doppio anello sono simili a quelle ad anello, avendo la sostanziale differenza di utilizzare due anelli anziché uno: un **anello primario** e un **anello secondario**.
I due cavi sono entrambi monodirezionali ed uno solo di essi viene normalmente usato per la trasmissione. L'altro, di riserva, permette la comunicazione in verso opposto. Nelle normali condizioni i dati fluiscono solo sull'anello primario, utilizzando il secondario solo in caso di guasto del primario. Ogni nodo deve ovviamente essere connesso ad entrambi gli anelli, per poter commutare dal primario al secondario in caso di guasto. Generalmente in questo tipo di rete non tutti i nodi sono collegati ad entrambi gli anelli.

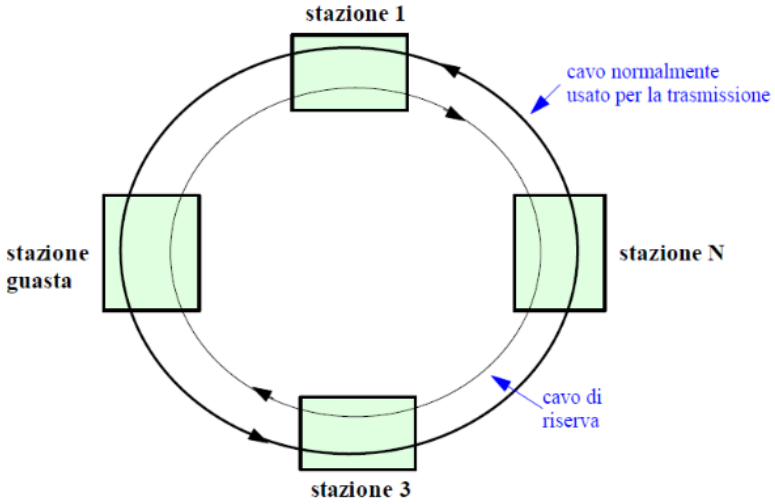
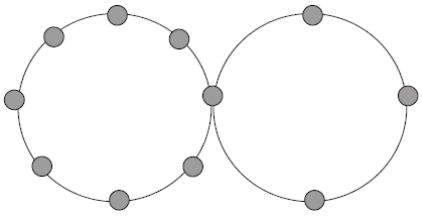


Figura 19 - Topologia a doppio anello

Rispetto alla rete a singolo anello, questa rete ha un'ulteriore differenza: i cavi utilizzati sono normalmente le **fibre ottiche** (reti FDDI – Fiber Distributed Data Interface).
Lo svantaggio della rete a doppio anello non è solamente la lunghezza raddoppiata dei cavi rispetto alla semplice topologia ad anello, ma è anche la formazione di anelli parziali fra loro non connessi nel caso di malfunzionamento di due o più nodi. Per ovviare a questo problemi la rete adotta entrambi gli accorgimenti: doppio anello e centro stella realy.

INTERCONNESSIONE DI ANELLI

Due o più anelli sono fra loro connessi tramite un nodo comune che svolge la funzione di ponte.



RETI LINEARI

Nelle reti lineari ogni nodo, tranne quelli estremi, è collegato a due nodi adiacenti. Può essere vista come una rete ad anello aperta. Le reti lineari sono un caso particolare di rete ad albero, infatti, è caratterizzata da livelli costituiti da un unico nodo senza diramazioni.

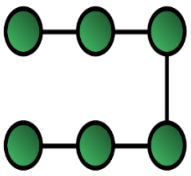


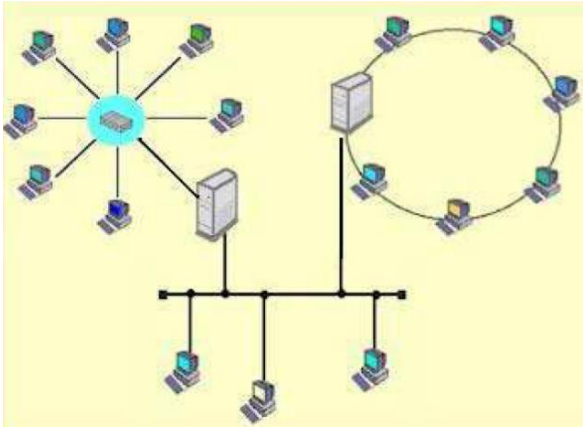
Figura 20 - Topologia lineare

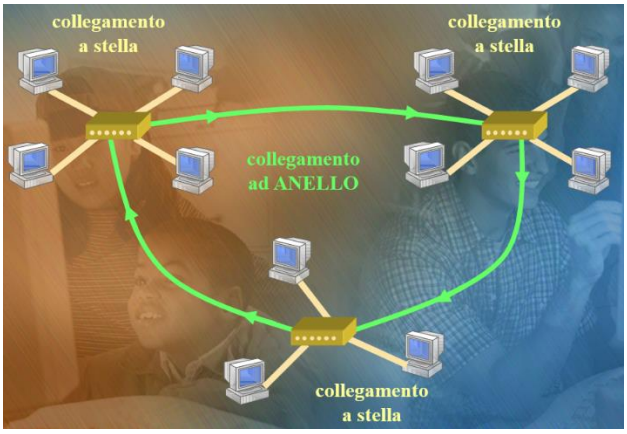
Nelle reti lineari il numero dei canali (c) è uguale al numero di nodi (n) meno 1:

$$c = n - 1$$

RETI IBRIDE

Le reti ibride sono combinazioni di due o più differenti reti dal punto di vista topologico. Vediamo alcuni esempi.
Per ragioni di banda di comunicazione, di affidabilità ed espandibilità è frequente la situazione che una rete sia in realtà organizzata in topologie ibride.
Nelle reti locali il caso più frequente è quello di strutture irregolari in cui alcuni nodi fungono da instradatori tra reti locali. Ad esempio molti hub, ognuno centro di una stella, sono spesso connessi usando un segmento di bus; oppure si hanno strutture multibus o multianello.
Nella realtà le reti sono spesso una miscela di varie topologie.

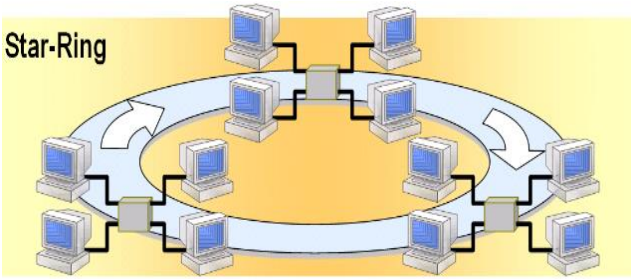


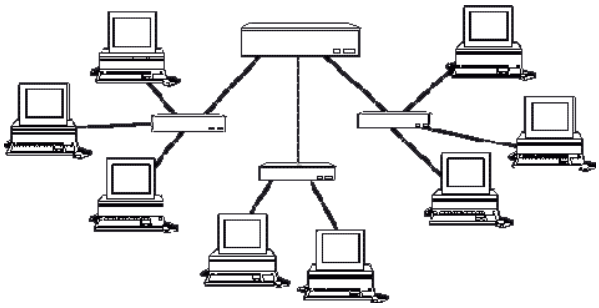


Le reti locali normalmente hanno una topologia simmetrica, mentre le topologie irregolari sono spesso il risultato di connessioni di nodi mediante la linea telefonica.

RETI IBRIDE AD ANELLO/STELLA

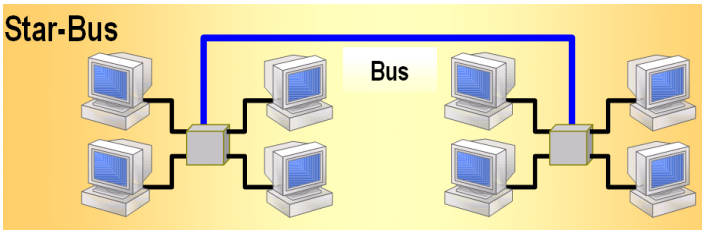
È una combinazione della rete a Stella e ad Anello. Anche detta ad Anello con cablaggio a Stella, è simile alla tipologia a bus a stella, ma in questo caso gli hub non sono collegati fra loro tramite cavi bus lineari ma attraverso un hub principale secondo un modello a stella.

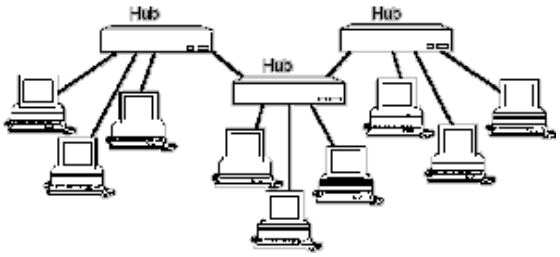




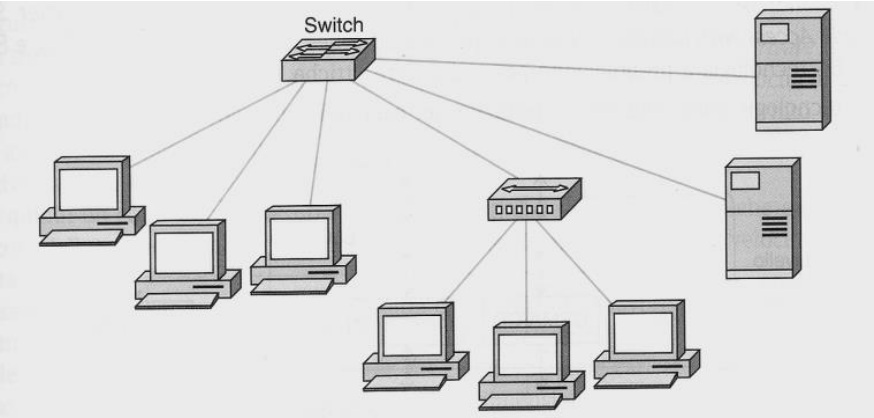
RETI IBRIDE A BUS/STELLA

È una combinazione della tipologia a Bus e a Stella. Più reti a stella sono collegate tramite cavi a bus lineari. Il malfunzionamento di un computer non influenza il resto della rete.





In caso di mancato funzionamento di un hub, tutti i computer connessi a quell'HUB saranno esclusi dalla rete. Se l'HUB a sua volta è collegato ad altri HUB, anche queste connessioni saranno interrotte.



CONCLUSIONI

Per ogni topologia, il numero di canali c necessari per il collegamento è esprimibile come funzione del numero n dei nodi della rete. Possiamo riassumere quindi nella seguente tabelle tali legami per ogni topologia di rete.

Topologia	**Relazione nodi-canali**
BUS	c = 1
Albero	c = n -1
Stella	c = n -1
Lineare	c = n -1
Anello	c = n
Maglia completa	c = n * (n – 1)/2
Maglia parziale	(n – 1) < c < n * (n – 1)/2

Ciascuna topologia presenta caratteristiche diverse di complessità e di robustezza (capacità di sopravvivenza ai guasti di nodi e/o collegamenti). Per esempio, la topologia completamente magliata presenta la robustezza massima rispetto ai guasti dei collegamenti (in assenza di isolamento di un nodo, è sempre possibile determinare un percorso che colleghi due nodi qualsiasi della rete) ma la relazione quadratica tra il numero dei nodi e il numero dei collegamenti necessari ne limita di fatto l'applicazione a reti con un numero relativamente piccolo di nodi. Analogamente, le topologie a stella o ad albero consentono di realizzare reti con un numero di nodi anche elevato ma presentano maggiori vulnerabilità ai guasti: in una rete a stella, per esempio, il guasto del nodo centrale compromette l'intera rete. Tuttavia per tutti i tipi di topologia è possibile aumentare anche in modo significativo la robustezza ai guasti tramite l'applicazione di opportuni meccanismi di protezione di rete che, pur introducendo ridondanze nell'utilizzo delle risorse di rete, consentono di far fronte in modo efficace a condizioni di guasto e di eliminare o diminuire drasticamente le vulnerabilità intrinseche di ciascun tipo di topologia.

Nella realtà, una rete di telecomunicazioni è composta da una combinazione di sottoreti che possono presentare ciascuna topologie differenti. Il tutto costituisce una rete che nel suo complesso è parzialmente magliata: questo approccio consente di realizzare reti di complessità qualsiasi mantenendo relativamente semplice il livello di complessità dei collegamenti tra nodi.

TOPOLOGIE LOGICHE - NO

Le topologie logiche determinano le regole per il trasferimento dei dati in rete. Le principali sono:

- Ethernet: per reti fisiche a BUS e a stella;
- Token Ring: per reti fisiche ad anello;
- FDDI: per reti fisiche ad anello con mezzi di trasmissione a fibra ottica.
- Wireless: per tipologia di reti WLAN.

Tali topologie non possono comunicare direttamente tra loro, ma solo attraverso l'ausilio di particolari dispositivi (gateway). In sostanza, non possono coesistere sugli stessi cavi o segmenti di rete.

ETHERNET

La tecnologia Ethernet è nata nel 1973 grazie a Bob Metcalfe (fondatore di 3COM, azienda operante nel settore networking) per superare l'annoso problema della collisione dati in rete: fenomeno, questo, che si veniva a creare quando più computer cercavano di trasmettere contemporaneamente informazioni servendosi di un unico cavo o segmento di rete.

Questa tecnologia si basa sul sistema denominato CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection - Accesso multiplo a rilevazione di portante /Individuazione delle collisioni) che, seppur molto semplice, è sufficientemente efficace a garantire una discreta velocità di trasferimento dei dati.

Il suo funzionamento è, in breve, il seguente: un computer dotato di scheda di rete Ethernet può inviare pacchetti di dati solo quando nessun altro pacchetto sta viaggiando sulla rete. In caso contrario, aspetta a trasmettere come quando, durante una conversazione, una persona deve attendere che l'altra smetta prima di parlare a sua volta. Se, invece, due o più computer cercano di trasmettere dati contemporaneamente sullo stesso cavo di rete, si crea una **collisione** di dati che viene rilevata da entrambi. I computer interrompono pertanto la trasmissione e attendono un intervallo di tempo casuale (misurato in ns) prima di riprovare la trasmissione. Se le persone che cercano di utilizzare la rete aumentano, cresce rapidamente anche il numero di collisioni, errori, e di ritrasmissioni, con un effetto a valanga dannoso per le prestazioni della rete.

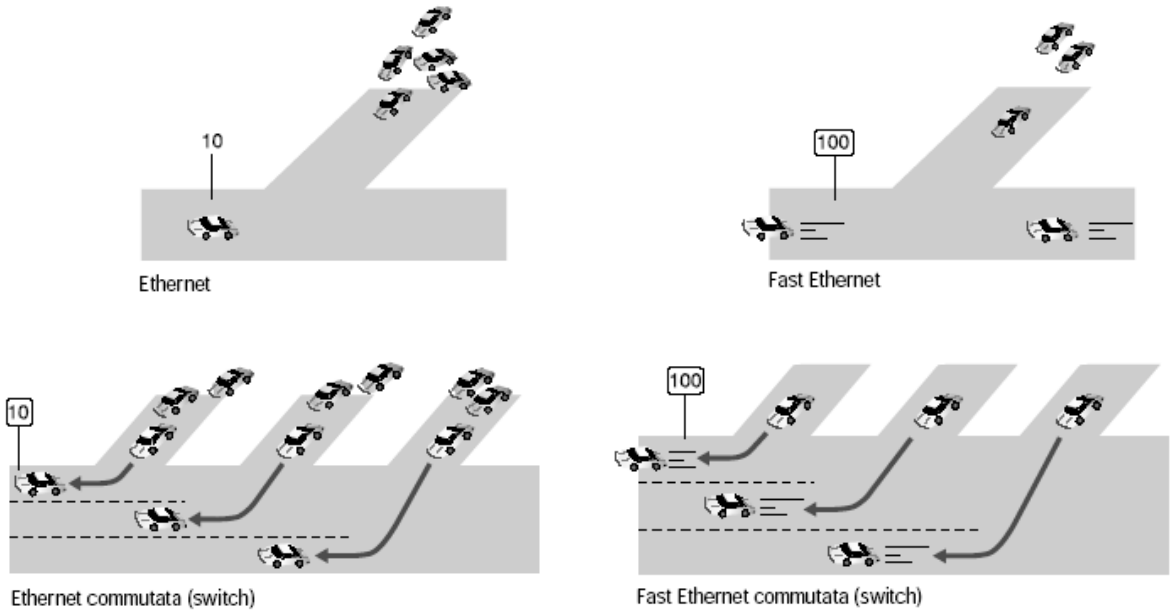
Quando viene utilizzato più del 50% della larghezza di banda totale, la percentuale di collisioni provoca quindi congestioni; il tempo per stampare i file si allunga, le applicazioni si aprono lentamente e gli utenti devono aspettare. Quando questo valore raggiunge e supera il 60%, la rete rallenta drasticamente o, addirittura, si ferma.

Mentre la velocità della rete Ethernet è pari a 10 Mbps, Fast Ethernet opera nello stesso modo ma ad una velocità dieci volte superiore (100 Mbps). Dato il modo di operare delle reti Ethernet, è facile comprendere quanto uno switch possa essere efficiente nel risolvere i problemi di traffico. Fornendo più "corsie" ai dati che viaggiano, rispetto alle reti dove la banda è condivisa da tutti i computer.

La tecnologia Ethernet è composta da vari sotto-standard. I principali sono: **10Base-2, 10Base-5, 10 Base-T, 100Base-TX, 100 Base-FX.**

Il primo numero indica la velocità massima, espressa in megabit al secondo, raggiungibile dalla rete. Il termine "Base" indica che la tecnologia Ethernet è la base del sistema. Nelle categorie 10 Base-5 e 10 Base-2, implementate nelle topologia fisica di tipo lineare, l'ultimo numero (5-2) indica la copertura massima del segmento di rete: valore, questo, espresso in centinaia di piedi. La prima

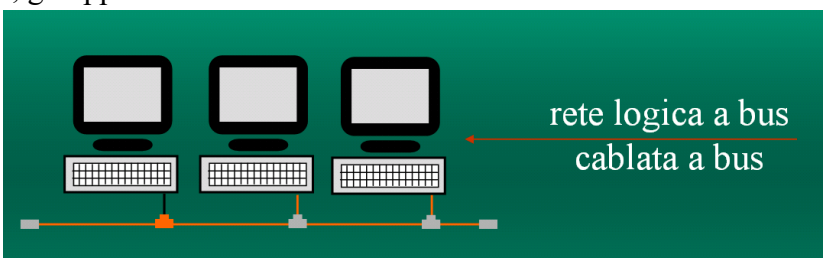
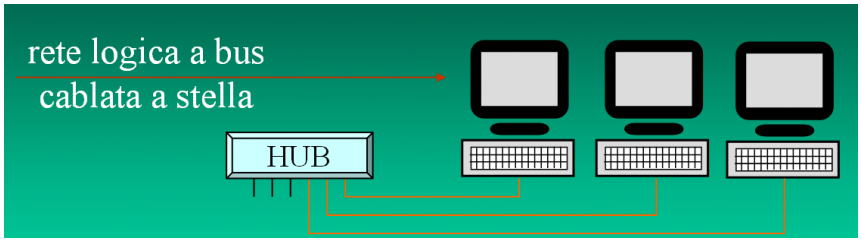
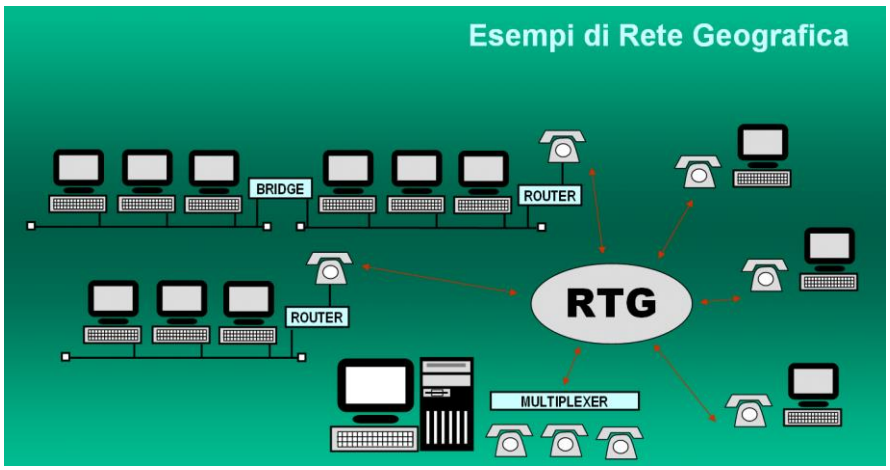
categoria utilizza un cavo coassiale spesso avente il diametro di circa la metà (cinque decimi) di un pollice. La seconda utilizza invece un cavo coassiale sottile del diametro di circa due decimi di pollice. Gli standard 10 Base-T e 100 Base-T (Fast Ethernet) vengono utilizzati nelle topologie fisiche a stella. La lettera, in questo caso, indica il tipo di cavo. "T" sta per "Twisted pair", il doppino intrecciato che può essere a sua volta non schermato (UTP - Unshielded Twisted Pair) o schermato (STP - Shielded Twisted Pair). Infine, nel 100 Base-FX la lettera "F" indica il cavo in fibra ottica ("Fiber").



TOKEN RING

Nella tecnologia Token Ring un particolare segnale elettronico circola sulla rete: si tratta del token ("gettone" o "testimone") passando da macchina a macchina in un circuito chiuso. Per tale motivo questo metodo di trasmissione richiede una topologia fisica di rete ad anello.
Il suo funzionamento ricorda la cosiddetta "staffetta", una delle più diffuse discipline dell'atletica leggera. In pratica, il computer che deve trasmettere i dati aspetta il passaggio del token. Se quest'ultimo è vuoto, la macchina lo carica con il suo pacchetto dati, aggiungendo agli stessi alcune informazioni che contengono l'indirizzo del computer a cui recapitarli.
Eseguita tale operazione, il token viene reinserito in rete e inizia il viaggio verso la macchina designata. Una volta che il token è giunto a destinazione, la stazione ricevente preleva i dati in esso contenuti e lo rispedisce vuoto al mittente. Il token vuoto funge dunque da "ricevuta di ritorno", a garanzia dell'avvenuta consegna. A conclusione del processo sopra descritto, la stazione mittente reinserisce il token nella rete per un utilizzo successivo.

FDDI

Lo standard FDDI (Fiber Distributed Data Interface - Interfaccia a fibra ottica) è basato su una topologia ad anello in fibra ottica che opera attualmente ad una velocità di trasmissione dati pari a 100 MHz. Lo standard FDDI può essere utilizzato per distanze molto lunghe; consente infatti la connessione tra stazioni distanti fino a 2-3 chilometri e offre una copertura dell'intera rete fino a 100 chilometri di distanza.

La fibra ottica è costituita da un filamento in vetro rivestito da Kewral, un materiale ad altissima resistenza alla lacerazione e alla corrosione. Utilizza la luce come mezzo per la trasmissione dei dati. Non è percorsa da corrente elettrica ed è insensibile non solo alle radiazioni elettromagnetiche, ma anche a tutte le altre interferenze. Possiede una banda molto larga.
Questo tipo di rete dispone inoltre di un doppio anello in fibra ottica. Nel caso in cui l'anello principale si guasti, gli apparati FDDI utilizzano l'anello di riserva.