

Ambienti di rete

Reti di telecomunicazioni

La parola telecomunicazione unisce la radice di origine greca *tele* (lontano) con il verbo latino *comunicare* e significa *trasmissione di informazioni a distanza*.

Trasmettere informazioni a distanza, superando il limite fisico dei nostri sensi, è da sempre un obiettivo dell'uomo, si pensi ad esempi quali la comunicazione tramite luce riflessa da specchi nelle navi da guerra (già utilizzata dagli antichi romani) o la comunicazione con segnali di fumo degli indiani d'america.

Nei tempi moderni si è imparato ad utilizzare i segnali elettromagnetici per la comunicazione a distanza e gli sviluppi della tecnologia nel campo delle **comunicazioni elettriche** e dell'**elettronica** hanno permesso la nascita delle moderne telecomunicazioni.

Una volta che risultino disponibili strumenti per la telecomunicazione, emergono una serie di altri problemi legati all'organizzazione del sistema che si rende necessario per garantire accesso a questo servizio a grandi popolazioni di utenti (siano essi esseri umani o calcolatori). Questi sistemi complessi sono le **reti di telecomunicazioni**.

Alcune importanti date nella storia delle reti di telecomunicazioni sono:

- 1835: viene varato il sistema telegrafico, si può considerare l'inizio delle moderne telecomunicazioni;
- 1846: viene inventata da *Siemens* la telescrivente, il primo terminale automatico;
- 1866: viene posato il primo cavo transatlantico telegrafico;
- 1876: viene brevettato da *Graham Bell* il telefono;
- 1885: nasce la radio con il primo esperimento di Guglielmo Marconi;
- 1887: vengono inventate (*Strowger*) le prime centrali telefoniche automatiche;
- 1956: viene posato il primo cavo transatlantico telefonico;
- 1969: viene realizzata la prima rete di calcolatori, *ARPAnet*, che poi diventerà **Internet**.

Si tenga poi presente che la trasmissione dei segnali elettrici a grande distanza presenta numerosi problemi di carattere tecnico, per cui è molto importante l'ausilio offerto dall'elettronica. A questo proposito due date fondamentali sono:

- 1904: *Hartley* inventa il triodo e nasce l'elettronica;
- 1947: *Shottky* inventa il *transistor* allo stato solido.

Vale la pena sottolineare che sia *Hartley* sia *Shottky* lavoravano per la stessa società di telecomunicazioni statunitense (*Bell System*).

Vantaggi di un ambiente di rete

Il calcolatore elettronico è uno strumento avente lo scopo di elaborare e gestire informazioni. Tali elaborazioni vengono generalmente effettuate sfruttando risorse interne al calcolatore; il processore, le memorie volatili (RAM), le memorie di massa (dischi rigidi, nastri, eccetera). L'interazione fra utente umano e calcolatore, al fine di comandare e/o ottenere i risultati di queste elaborazioni avviene tramite interfacce quali monitor, tastiera, stampante, eccetera, che possono anch'esse essere considerate parte delle risorse a disposizione del calcolatore.

Avere una rete di telecomunicazioni fra calcolatori ha l'ovvio vantaggio di permettere lo scambio di informazioni fra gli utenti dei calcolatori stessi, come **e-mail**, documenti ed immagini, eccetera, ma offre anche la possibilità di realizzare una **condivisione delle risorse** di un calcolatore con tutti gli altri nella rete.

Tramite una rete di calcolatori è possibile avere accesso a risorse, siano esse di elaborazione, di memorizzazione, di stampa o quant'altro che altrimenti potrebbero non essere disponibili per tutti, per ragioni di costo, di complessità, eccetera.

Per questo con la progressiva diffusione dei calcolatori si è sempre più sentita la necessità della interconnessione in rete degli stessi, al fine di aumentarne le funzionalità e quindi l'utilità. La rete di calcolatori può quindi essere vista come una sorta di calcolatore esteso che, tramite le funzioni di comunicazione, fa di un insieme di calcolatori isolati un sistema integrato che rende disponibili ad una più vasta popolazione di utenti una serie di risorse.

Ambienti Client/Server e Peer-to-Peer

Nelle reti di calcolatori fino ad oggi tipicamente si è sempre utilizzata una comunicazione di tipo *client/server*. Con questi termini si intende che alcuni calcolatori ben identificabili detti *server* mettano a disposizione informazioni e servizi a cui gli altri calcolatori della rete accedono con modalità opportune. Un tipico esempio è il **WWW** in cui i *server* mettono a disposizione dei *client* pagine di testo, immagini, eccetera, che siano reperibili e visualizzabili tramite i normali **browser** (*Internet Explorer, Netscape, Opera*, eccetera).

Questo modello di dialogo è di tipo asimmetrico nel senso che i due soggetti partecipanti alla comunicazione svolgono funzioni diverse: il *server* mette a disposizione le informazioni, il *client* le reperisce e le rende consultabili localmente dall'utente.

Per svolgere questa funzione i *server* devono essere sempre disponibili, quindi sempre accessi, sempre connessi alla rete e sempre pronti ad accettare nuove comunicazioni. Inoltre i *server* devono essere opportunamente configurati al fine di salvaguardare il più possibile l'integrità delle informazioni e del servizio.

Più di recente si sono sviluppati sulla rete **Internet** dei servizi di comunicazione che utilizzano un diverso modello di dialogo, detto *peer-to-peer*. Ciò che cambia è la modalità di fornitura e di reperimento delle informazioni. In pratica il *server* smette di esistere e tutti i calcolatori connessi alla rete possono contemporaneamente agire come *server* e/o come *client*. Nel dialogo *peer-to-peer* si perde quindi la nozione di *server* e tutti i calcolatori possono allo stesso tempo rendere disponibili informazioni e reperirne dagli altri. In questo caso esistono ancora alcuni calcolatori che svolgono funzione di *server* solamente per le funzioni di centralizzazione degli indici di informazioni disponibili. Tramite questi indici i singoli *computer* possono scoprire chi metta a disposizione certe informazioni sulla rete e collegarsi direttamente a questi per il loro reperimento. Il dialogo relativo alle informazioni vere e proprie è quindi sempre diretto fra il fornitore ed il fruitore di informazioni senza l'intermediazione di un *server*. I *server* per l'indicizzazione sono necessari in quanto i singoli calcolatori possono collegarsi e scollegarsi alla rete di dialogo. I singoli calcolatori una volta collegati in rete si connettono a questi *server* per comunicare quali informazioni loro rendano disponibili e per conoscere quali informazioni siano già disponibili e presso chi.

Il primo esempio eclatante di servizio utilizzante un dialogo *peer-to-peer* è il famoso sistema *Napster* per la distribuzione di brani musicali che tanta risonanza ha avuto anche sui mezzi di comunicazione a seguito della battaglia legale per la tutela dei diritti d'autore con le case discografiche.

Sicurezza di un ambiente di rete

Una rete di calcolatori, oltre ad offrire i vantaggi descritti precedentemente, pone un importante problema legato alla sicurezza del sistema informatico.

Le problematiche di sicurezza di un sistema informatico sono state discusse estensivamente in un precedente modulo; qui ci limitiamo ad accennare quali siano i problemi prettamente legati all'ambiente di rete.

La connessione in rete di un calcolatore implica che la rete venga utilizzata per scambiare dati con

altri calcolatori e per fornire servizi (*server* di stampa, *server* Internet, eccetera). Le problematiche di sicurezza tipiche di questo scenario sono quindi legate alla riservatezza della comunicazione e al mantenimento dell'integrità dei servizi.

Per quanto riguarda la riservatezza della comunicazione, è necessario evitare:

- che i dati relativi ad una particolare comunicazione fra calcolatori possano essere intercettati e letti, anche senza interromperne il normale flusso (**sniffing**), in quanto questi dati possono essere di tipo sensibile (*password*, dati personali, numero di carta di credito, eccetera);
- che un calcolatore possa comportarsi in modo malevole prendendo il posto di un altro calcolatore, ad esempio assumendone gli indirizzi di rete (**spoofing**), sostituendosi ad esso nella comunicazione con altri al fine di appropriarsi di dati sensibili o per l'uso di servizi a lui non permessi.

Per quanto riguarda invece l'integrità dei servizi è necessario garantirsi dall'eventualità che utenti malevoli, utilizzando la rete di calcolatori possano interferire con il normale funzionamento di sistemi *server*. Un esempio di questo tipo, che ha avuto particolare rilevanza anche sulla stampa, è relativo agli attacchi ai *server* Internet di grandi enti, non avente lo scopo di attentare alla sicurezza dei dati, ma semplicemente di interferire con il normale funzionamento dei *server* (rendere impossibile l'uso della posta elettronica o dei *server* Web, eccetera).

Struttura, funzioni e modo di trasferimento di una rete

Una rete di telecomunicazioni è un sistema che si compone di:

- apparati **terminali** con cui si interfaccia direttamente l'utente finale del servizio di telecomunicazione (spesso l'essere umano);
- **linee di collegamento** che permettono fisicamente la trasmissione a distanza delle informazioni sotto forma di segnali elettromagnetici;
- **nodi di rete** che svolgono le funzioni necessarie a garantire il corretto trasferimento delle informazioni all'interno della rete.

Una rete di comunicazione deve svolgere quattro fondamentali funzioni:

- **Trasmissione:** trasferimento fisico del segnale da punto a punto o da un punto a molti punti.
- **Commutazione:** reperimento delle risorse all'interno della rete necessarie per realizzare un opportuno trasferimento delle informazioni.
- **Segnalazione:** scambio di informazioni fra utente e rete oppure internamente alla rete necessario per il corretto funzionamento della comunicazione e della rete stessa.
- **Gestione:** tutto ciò che concerne il mantenimento delle funzioni della rete; riconfigurazione di fronti a guasti o cambiamenti strutturali, allacciamento di nuovi utenti, tariffazione, eccetera.

Una rete di telecomunicazioni è caratterizzata da un modo di trasferimento, cioè dalla modalità con cui avviene il trasferimento delle informazioni al suo interno. Il modo di trasferimento è, a sua volta, caratterizzato da:

- **schema di multiplazione:** modalità con cui le unità informative condividono le linee di collegamento;
- **modalità di commutazione:** come si realizza la funzione di commutazione;
- **architettura dei protocolli:** la suddivisione delle funzioni di comunicazione e la loro distribuzione fra gli apparati di rete.

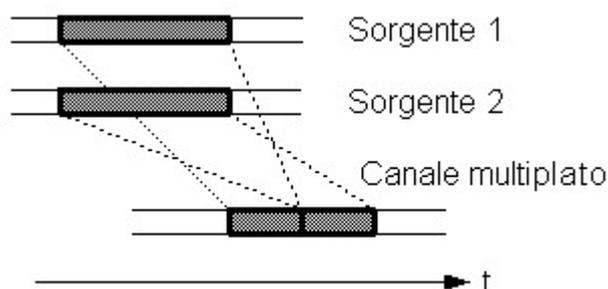
La multiplazione

La moltiplicazione definisce le modalità secondo cui segmenti informativi emessi da sorgenti diverse condividono la capacità di trasferimento delle informazioni di una linea di collegamento. Infatti solitamente le linee di collegamento di una rete hanno una capacità di trasferimento delle informazioni superiore, anche di molto, a quanto richiesto da una singola sorgente. Si pensi ad esempio ad un cavo telefonico transatlantico, in grado di trasportare in contemporanea centinaia o addirittura migliaia di chiamate telefoniche.

Vi sono diversi tipi di moltiplicazione:

1. moltiplicazione a divisione di tempo (TDM - *time division multiplexing*); il **canale** trasmissivo viene suddiviso in intervalli temporali non sovrapposti assegnati alle diverse sorgenti;
2. moltiplicazione a divisione di frequenza (FDM - *frequency division multiplexing*); la **banda** di frequenze del canale moltiplicato viene divisa in intervalli assegnati univocamente alle diverse sorgenti;
3. moltiplicazione a divisione di lunghezza d'onda (WDM - *wavelength division multiplexing*); è usata di recente nelle fibre ottiche, vengono suddivise delle bande di lunghezza d'onda del fascio luminoso entro le quali operano le singole sorgenti;
4. moltiplicazione a divisione di codice (CDM - *code division multiplexing*); la banda del canale trasmissivo è condivisa da tutte le sorgenti che risultano distinguibili in funzione della particolare codifica dei bit, diversa da sorgente a sorgente.

Si noti che la tecnica WDM che è un particolare caso della FDM. Attualmente la tecnologia ottica rende possibile avere numerosi canali (fino a 128 e oltre) a diversa lunghezza d'onda (colore) sulla stessa fibra. In questi casi si parla di WDM denso o DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*).



La commutazione

Per un **nodo** della rete, la **commutazione** è il modo secondo cui una qualsiasi linea di ingresso al nodo viene associata logicamente o fisicamente con una qualsiasi linea di uscita. Lo scopo è di operare uno scambio sul flusso di informazioni dall'ingresso verso l'uscita.

Una commutazione è operata per mezzo delle funzioni di:

- **Instradamento (routing)**: è la parte decisionale dell'operazione di commutazione, effettuata dal nodo, che deve stabilire la direzione verso cui inviare un'unità di informazione affinché possa raggiungere la sua destinazione finale;
- **Inoltro (forwarding)**: è la parte attuativa dell'operazione di commutazione, che realizza quanto deciso dalla funzione di instradamento, e perciò può essere eseguito solo se quest'ultima è stata applicata.

E' possibile operare due diversi tipi di commutazione: **a circuito** e **a messaggio** o **pacchetto**.

La commutazione di circuito

La rete crea un **canale** di comunicazione dedicato fra due terminali che vogliono colloquiare detto **circuito**. Il circuito è riservato ad uso esclusivo dei terminali chiamante e chiamato. Esiste quindi un ritardo iniziale dovuto al tempo necessario per instaurare il circuito, dopodiché la rete è *trasparente* per gli utenti ed equivale ad un collegamento fisico diretto.

Si possono quindi evidenziare le seguenti fasi della comunicazione:

- Instaurazione del circuito: prima che le informazioni di utente possano essere trasmesse la rete deve instaurare un circuito fra terminale chiamante e terminale chiamato tramite un'opportuna fase di segnalazione.
- Dialogo: i due terminali si scambiano informazioni utilizzando il circuito.
- Disconnessione del circuito: al termine del dialogo il circuito deve essere rilasciato, al fine di poter essere utilizzato per altre chiamate.

L'esempio tipico di rete a **commutazione di circuito** è la *rete telefonica*.

La commutazione di messaggio o pacchetto

Trasporta informazioni in forma numerica.

Le informazioni di utente sono strutturate in **messaggi** unitamente ad opportune informazioni di segnalazione quali indirizzamento, verifica della correttezza delle informazioni, eccetera.

Per ragione di opportunità tecnologica i messaggi vengono solitamente suddivisi in sotto-blocchi detti **pacchetti**, nel qual caso si parla di **commutazione di pacchetto**.

I messaggi o i pacchetti vengono trasmessi da un **nodo** di commutazione all'altro utilizzando in tempi diversi le medesime linee di collegamento (multiplexazione a divisione di tempo).

La tecnica a pacchetto si può implementare in due modi:

- nel primo modo vengono creati servizi di rete con connessione;
- nel secondo vengono creati servizi di rete senza connessione.

Nel modo di trasferimento a pacchetto con connessione (a circuito virtuale), viene creato un **canale** virtuale non dedicato tra la sorgente e la destinazione. Al momento della richiesta di comunicazione, ogni nodo assegna un ramo per dare luogo a un connessione logica. I pacchetti verranno instradati sempre lungo il canale virtuale. Al momento di abbattere la comunicazione, i nodi rilasceranno la connessione instaurata.

Un servizio di rete senza connessione (**datagramma**) invece tratta ogni **pacchetto** informativo come una **entità** a sé stante, ogni nodo decide il percorso migliore per il pacchetto nel momento in cui lo riceve, pertanto è possibile che pacchetti facenti parte dello stesso flusso informativo seguano strade diverse, per poi essere ricostruiti a destinazione.

Esempi di reti a commutazione di pacchetto sono la rete telegrafica e tutte le moderne reti di calcolatori, compresa **Internet**.

Pro e contro di circuito e pacchetto

La **commutazione di circuito** offre vantaggi per quanto riguarda la trasparenza temporale del dialogo:

- il circuito è dedicato e garantisce sicurezza ed affidabilità;
- il tempo di trasferimento delle informazioni è costante e dipende solamente dalla distanza fra i terminali e dal numero di nodi da attraversare, in quanto la rete è trasparente al dialogo;
- le procedure di controllo sono limitate ad inizio e fine chiamata.

Al contrario, per le stesse ragioni la commutazione di circuito offre minore flessibilità:

- la velocità di trasferimento delle informazioni è fissata dalla capacità del circuito e non si può variare se non attivando più circuiti in parallelo;

e potenzialmente una minore efficienza:

- se le sorgenti di informazione hanno un basso tasso di attività il circuito è sottoutilizzato.

A proposito di quest'ultima considerazione se si prende ad esempio il circuito che collega il nostro telefono a quello del chiamato quando eseguiamo una telefonata, questo è utilizzato per una percentuale di tempo dell'ordine del solo 30-40%. La ragione di questo è che, in termini medi, durante una telefonata per metà del tempo parliamo e per l'altra metà ascoltiamo, quindi non utilizziamo il circuito in ciascuna direzione all'incirca per il 50% del tempo, a cui si aggiungono le normali pause del parlato portando questo valore a oltre il 60%.

La **commutazione di pacchetto** al contrario risulta più flessibile nell'uso delle risorse di rete, ma meno trasparente:

- poiché le linee di collegamento sono condivise in modo dinamico da più chiamate l'efficienza nella loro utilizzazione risulta maggiore;
- la rete può supportare dialoghi a diverse velocità ed effettuare anche conversioni tramite memorizzazione;
- è possibile implementare priorità per favorire certi flussi di dati rispetto ad altri.

Tutto questo va a scapito della trasparenza temporale:

- in generale è difficile garantire un predeterminato tempo di transito alle informazioni.

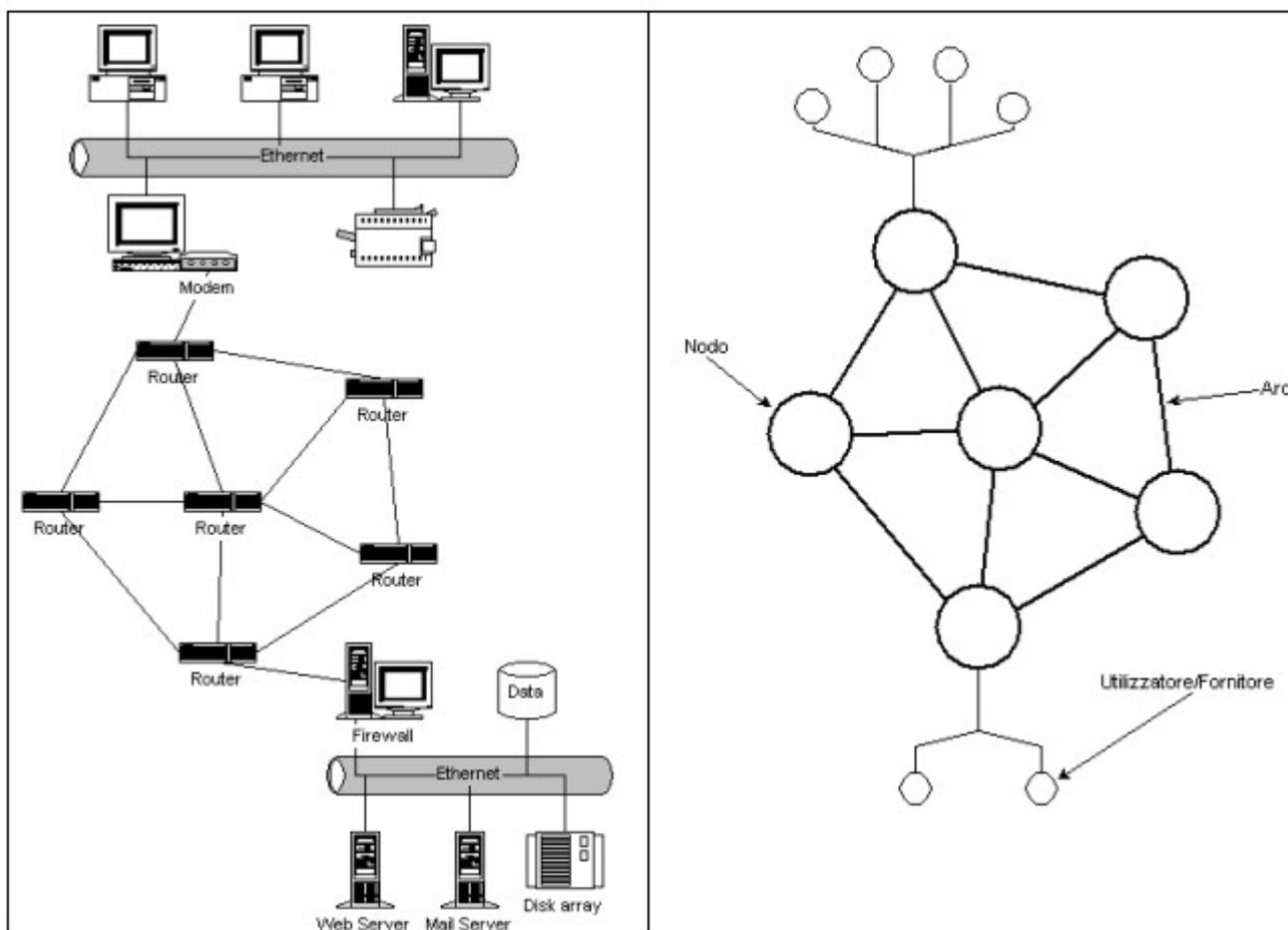
Questa caratteristica rende la commutazione di pacchetto meno adatta per tutti quei servizi che richiedono la consegna dei dati nel rispetto di precisi vincoli temporali, quali la comunicazione voce e video.

Topologie di rete

Una rete di telecomunicazioni può essere rappresentata con un grafo, ossia una struttura logica, composta da nodi e da archi.

I nodi sono gli elementi che raccolgono i dati e li instradano verso la loro destinazione, sono quindi posti in corrispondenza dei terminali e degli apparati che svolgono la funzione di **commutazione**. Possiamo suddividere quindi i nodi in *nodi di accesso* quando si tratta di terminali e ad essi sono connessi degli utilizzatori o dei fornitori di servizi, e *nodi di transito* quando ad essi non sono connessi gli utenti ma solo altri nodi di transito o nodi di accesso.

I rami sono gli elementi che permettono il trasferimento dei dati da un'estremità all'altra, sono posti in corrispondenza degli apparati che svolgono la funzione di moltiplicazione e con i sistemi trasmissivi di linea.

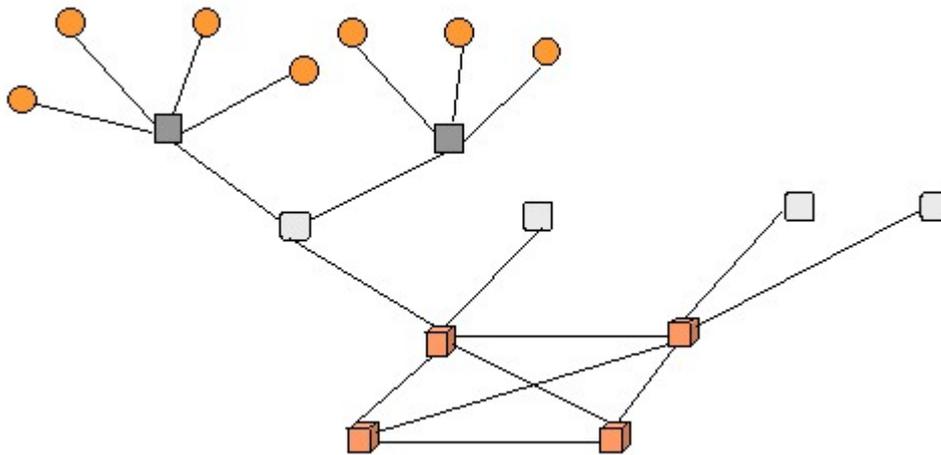


La struttura del grafo è anche **topologia** della rete.

La più semplice topologia possibile è quella a maglia completa, in cui tutti i nodi sono collegati fra loro a due a due. Questa topologia ha l'indiscutibile vantaggio di prevedere un collegamento punto-punto diretto fra qualunque coppia di nodi. Ha però il grande svantaggio di richiedere un numero di linee di collegamento che cresce con il quadrato del numero dei nodi. Per una rete di N nodi sono necessarie $N(N-1)/2$ linee. È quindi una topologia che poco si addice a reti con molti nodi.

Un'alternativa che invece richiede un minor numero di linee è quella a stella in cui una insieme di nodi di accesso viene collegato ad un **nodo** di transito che svolge la funzione di commutazione. La rete a stella ha il vantaggio di richiedere un minor numero di linee, ma è potenzialmente più vulnerabile ai guasti, in quanto se non funziona correttamente il nodo di transito tutta la rete smette di funzionare.

Ovviamente è anche possibile combinare queste soluzioni creando **reti gerarchiche** con topologie ibride. Un esempio è quello che segue, in cui due livelli di topologia a stella sono utilizzati per collegare i nodi di accesso con un primo livello di nodi di transito. A loro volta questi sono collegati a stella con un secondo livello di nodi di transito e poi con un terzo. I nodi di transito del terzo livello, meno numerosi dei precedenti sono infine collegati con una topologia a maglia completa. Questo si giustifica in quanto questa parte della rete risulta essere il **nocciolo** (*core*) del sistema e deve avere la massima affidabilità possibile.



Tipologie di collegamento

Esistono varie tipologie di collegamenti fra terminali o nodi di una rete:

- **Punto-punto**: due nodi comunicano fra loro agli estremi del collegamento.
- **Punto-multipunto**: un **nodo** può comunicare con tanti altri.
- **Multicast**: un nodo trasmette allo stesso tempo ad un sottoinsieme dei nodi della rete.
- **Broadcast**: un nodo trasmette allo stesso tempo a tutti i nodi della rete.

Inoltre su di una linea di collegamento fra i terminali A e B il flusso di informazioni può essere di tipo:

- **monodirezionale o simplex**: A invia dati a B;
- **monodirezionale alternato o half duplex**: A invia informazioni a B, quando A tace B può inviare informazioni ad A e viceversa;
- **bidirezionale o full duplex**: A e B possono contemporaneamente inviare informazioni all'altro.

Mezzi di trasmissione

I mezzi fisici utilizzati per la trasmissione dei dati sono di tre tipi:

- mezzi elettrici (cavi); si usa l'energia elettrica per trasferire i segnali sul mezzo;
- mezzi *wireless* (onde radio); in questo caso si sfruttano onde elettromagnetiche;
- mezzi ottici (LED, laser e fibre ottiche); con le fibre ottiche si usa la luce.

I parametri prestazionali di questi mezzi sono:

- **larghezza di banda**; serve per determinare quanti bit al secondo è possibile trasferire;
- **affidabilità**; ogni mezzo presenta una certa probabilità di errore nella trasmissione;
- **prestazioni**; determinano la distanza massima in un collegamento;
- **caratteristiche fisiche**; a seconda del mezzo si usano fenomeni diversi per la trasmissione, occorre perciò sfruttare tecnologie differenti.

I mezzi elettrici più usati sono fondamentalmente il **cavo coassiale** e il **doppino**. Il doppino è il mezzo più vecchio e comune dei due. Consiste di due fili intrecciati ad elica tra loro, e può essere sia schermato (**STP** - *Shielded Twisted Pair*) che non schermato (**UTP** - *Unshielded Twisted Pair*). Il doppino viene utilizzato all'inizio per le connessioni terminali nella telefonia, cioè per quel tratto che va dall'apparecchio alla centrale. Una versione del STP con più avvolgimenti e un migliore isolamento viene usato per il traffico dati su lunghe distanze. Il cavo coassiale è composto da un

conduttore centrale ricoperto di isolante, all'esterno del quale vi è una calza metallica. Il coassiale era usato per lunghe tratte telefoniche ma è stato sostituito dalla fibra ottica, ora rimane in uso per la televisione via cavo e per l'uso in reti locali.

Le fibre ottiche sono costituite da un sottilissimo cilindro centrale in vetro (*core*), circondato da uno strato di vetro esterno (*cladding*), con un diverso indice di rifrazione e da una guaina protettiva. Le fibre ottiche sfruttano il principio della deviazione che un raggio di luce subisce quando attraversa il confine fra due materiali diversi (*core* e *cladding* nel caso delle fibre). La deviazione dipende dagli indici di rifrazione dei due materiali. Oltre un certo angolo, il raggio rimane intrappolato all'interno del materiale. Le fibre ottiche hanno delle prestazioni eccellenti, possono raggiungere velocità di trasmissioni pari a 50.000 Gb/s, ossia 50 terabit al secondo con un bassissimo tasso d'errore. Le distanze massime per un collegamento di questo tipo sono di circa 30 chilometri, per collegamenti di lunghezza maggiore si introducono ripetitori e amplificatori lungo la tratta.

La trasmissione senza fili si effettua su diverse lunghezze d'onda, e sono le onde radio, microonde, raggi infrarossi, luce visibile e ultravioletti. Il comportamento di questo mezzo dipende dalla lunghezza d'onda e dalla banda utilizzata, le prestazioni possono variare ampiamente.

Classificazione delle reti in base alla distanza

La storia delle reti di telecomunicazioni ha visto nascere diverse soluzioni a problemi di tipo eterogeneo, che vanno dalla necessità di comunicare a grande distanza tramite il telegrafo o il telefono, fino alla possibilità di interconnettere tra loro *computer* residenti nella stessa stanza o edificio.

Questa diversità di problematiche ha comportato tradizionalmente una classificazione delle reti sulla base della distanza coperta dalle reti stesse:

- **LAN** - *Local Area Network* o **reti locali**: tipicamente sono reti private per l'interconnessione di *computer* ed altri apparati appartenenti ad un unico ente o azienda;
- **MAN** - *Metropolitan Area Network* o **reti metropolitane**: possono essere reti private o pubbliche e fornire servizi di vario tipo in ambito urbano, dall'interconnessione di *computer*, alla telefonia, alla TV via cavo;
- **WAN** - *Wide Area Network* o **reti geografiche**: in passato erano le reti dei grandi gestori tipicamente pubblici che fornivano servizi e connettività a livello nazionale; oggi, dopo la *deregulation*, possono anche appartenere a privati ed offrire connettività a livello mondiale.

La differenza tra questi tre tipi di reti in termini di distanza coperta è rappresentata nella tabella seguente:

Area coperta	Distanza	Tipo di rete
Stanza	10 metri	LAN
Edificio	100 metri	LAN
Campus	1 kilometro	LAN
Città	10 kilometri	MAN
Area metropolitana	100 kilometri	MAN
Stato o Nazione	1.000 kilometri	WAN
Continente	5.000 kilometri	WAN
Pianeta	10.000 kilometri	WAN

Un esempio di come reti eterogenee possono essere interconnesse è mostrato nella figura seguente:

