

Introduzione alle Reti di Telecomunicazione

IZ3MEZ

Francesco Canova

www.iz3mez.it

francesco@iz3mez.it

Telecomunicazione

- Definizione: con il termine telecomunicazione (Tlc) si intende la trasmissione a distanza di segnali con lo scopo di comunicare, cioè trasferire informazioni

Prima ...



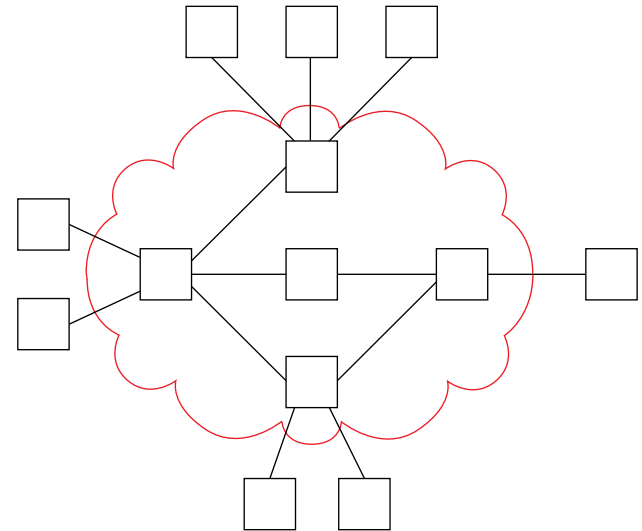
... durante ...



... ora

Rete di Telecomunicazione

- Definizione:
 - un insieme di **nodi** e **canali** che fornisce un collegamento tra due o più **punti** per permettere la **telecomunicazione** tra essi
- Informalmente:
 - si chiama **nodo** un punto intermedio in cui transita l'informazione
 - si chiama **canale** un mezzo di trasmissione



Definizione formale di rete

*Un insieme di nodi di elaborazione totalmente autonomi connessi mediante un opportuno sistema di comunicazione in grado di interagire mediante scambio di messaggi al fine di condividere le risorse messe a disposizione della rete
(fonte IEEE Institute of Electrical and Electronic Engineers)*

- Punti chiave della definizione:
 - **Autonomi**: un sistema centralizzato (“tipo IBM”), con un singolo computer e un insieme di terminali “stupidi” non è una rete
 - **Connessi**: un insieme di computer non collegati non è una rete

Scopo e vantaggi delle reti

- Scopo: condivisione di risorse hw/sw e di informazioni fra utenti anche geograficamente lontani
- Vantaggi:
 - Alta affidabilità
 - è possibile disporre di risorse alternative. Se si rompesse un mainframe?
 - Risparmio
 - i computer piccoli hanno un rapporto prezzo/prestazioni più favorevole di quelli grossi
 - Scalabilità
 - abilità nell'aggiungere gradualmente nuove potenzialità
 - es: le performance del sistema possono essere incrementate in risposta alla crescita del carico lavorativo, aggiungendo ulteriori processori
 - ...

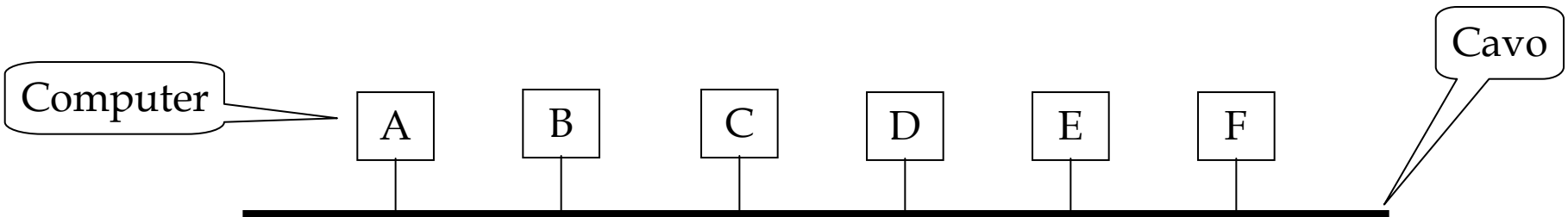
Classificare le reti

- Non è facile dare una classificazione delle reti
 - esistono molti criteri e dunque molte possibile tassonomie “trasversali”
- I due criteri più comunemente accettati:
 - tecnologia di trasmissione:
 - *broadcast*
 - *point-to-point*
 - estensione geografica (scala dimensionale)
 - LAN (Local Area Network),
 - MAN (Metropolitan Area Network)
 - WAN (Wide Area Network)

Le reti broadcast

- Una rete broadcast ha **un solo canale di comunicazione**, condiviso da tutte le macchine
 - un messaggio inviato da una macchina viene ricevuto da tutte le altre (es. trasmissioni via etere)
- Il canale broadcast costringe a:
 - definire un sistema di indirizzamento per le macchine
 - gestire l'accesso al canale condiviso
- All'interno di una tale rete è possibile inviare messaggi:
 - unicast: un solo destinatario
 - multicast: un gruppo di macchine
 - broadcast: tutte le macchine

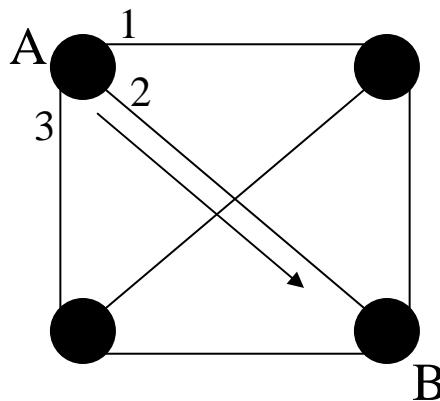
Il funzionamento di una rete broadcast



- Supponiamo che la macchina A voglia mandare un messaggio alla macchina E:
 - costruisce il messaggio con indirizzo E
 - lo mette sul canale
 - tutte le macchine da B a D:
 - aprono il pacchetto
 - leggono l'indirizzo
 - poiché non è indirizzato a loro, non fanno nulla
 - finalmente E riceve il pacchetto, lo apre e, visto che è indirizzato a lei, ne legge il contenuto

Le reti point-to-point (1/2)

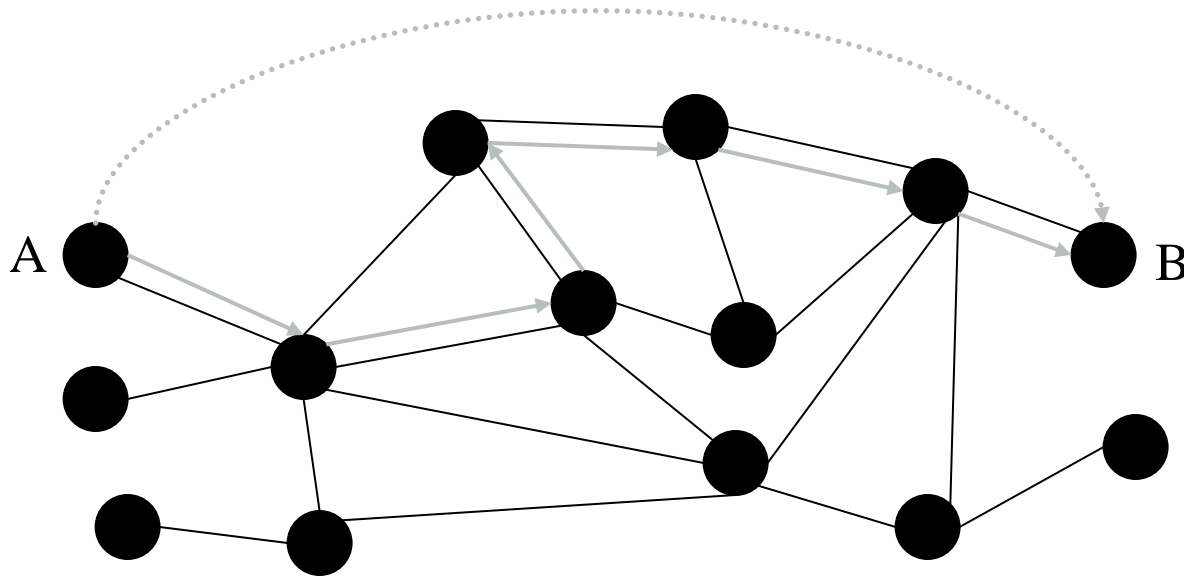
- Sono composte da connessioni individuali fra coppie di macchine:
 - un canale unisce esattamente 2 macchine
- Un messaggio immesso su un canale raggiunge esclusivamente una macchina



Le reti point-to-point

(2/2)

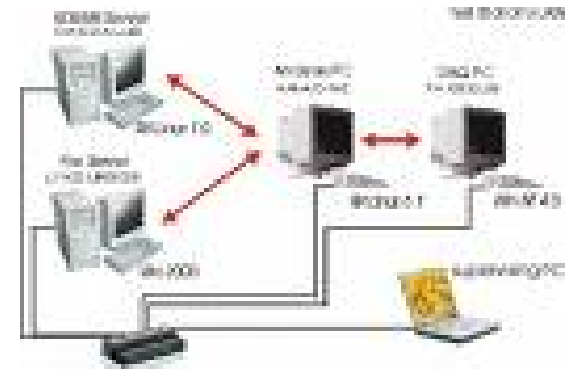
- Se in una rete le macchine non sono direttamente connesse, come fanno 2 macchine a trasferirsi informazione?



- Per arrivare a destinazione, l'informazione può dover attraversare più macchine intermedie (nodi)
- Possono esistere più percorsi alternativi: gli **algoritmi di routing** hanno il compito di determinare il percorso "ideale"

Le reti LAN

- Una rete locale (LAN, Local Area Network) è una rete:
 - di piccole dimensioni (fino a qualche km)
 - si distende nell'ambito di un singolo edificio o di un complesso di edifici
 - privata
- Usi fondamentali:
 - condivisione di risorse (ad esempio stampanti o dischi)
 - accesso a reti esterne (ad esempio Internet)
 - condivisione interna di informazioni (ad esempio attraverso una Intranet)



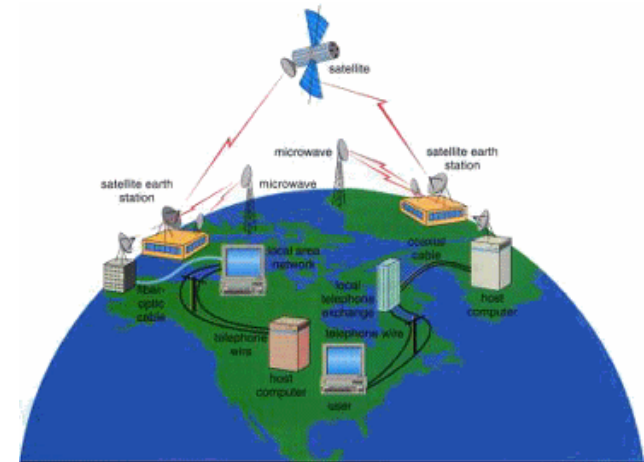
Le reti MAN

- Una rete metropolitana (MAN, Metropolitan Area Network) è fondamentalmente una LAN più grande
 - utilizza normalmente una tecnologia simile
- Si usano principalmente per:
 - unire vari edifici (tipicamente della stessa società)
 - cablare una città per offrire servizi alla collettività
- Possono essere private o pubbliche
- Supportano sia dati che voce

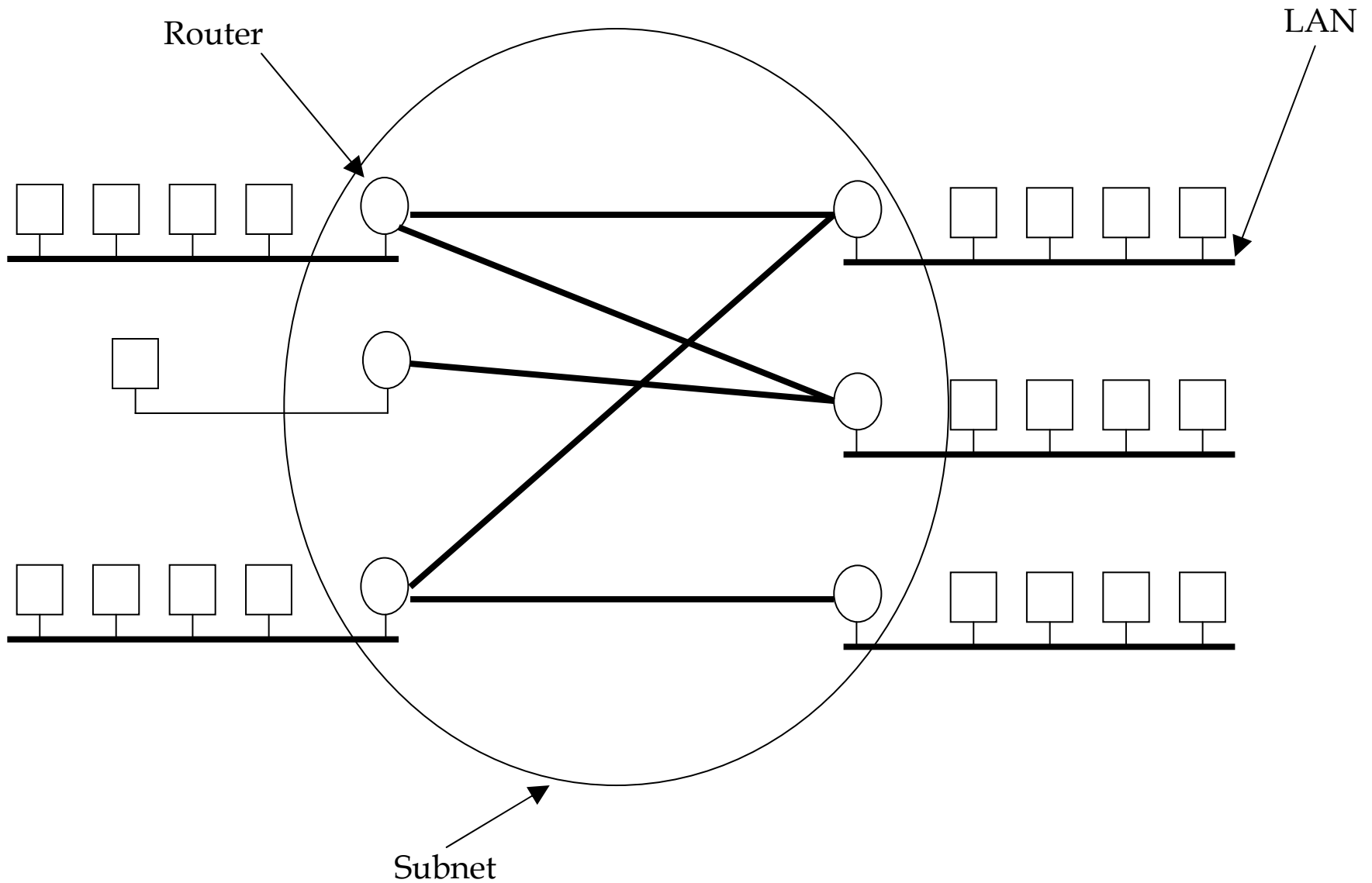


Le reti WAN

- Una WAN connette un'area geografica estesa (fino ad una nazione o un continente)
- Gli scopi delle WAN sono i più diversi:
 - interconnessione di reti LAN o singoli stazioni geograficamente lontane
 - collegamento di sedi internazionali di un'azienda
- È composta da:
 - computer (detti *hosts*), che ospitano i programmi applicativi
 - sottorete di comunicazione (*subnet*), che trasporta messaggi fra gli host
- La subnet è composta a sua volta da:
 - linee di trasmissione (*trunks, circuits* o *channel*), che trasportano effettivamente i dati
 - *router*, che instradano i pacchetti verso altri router

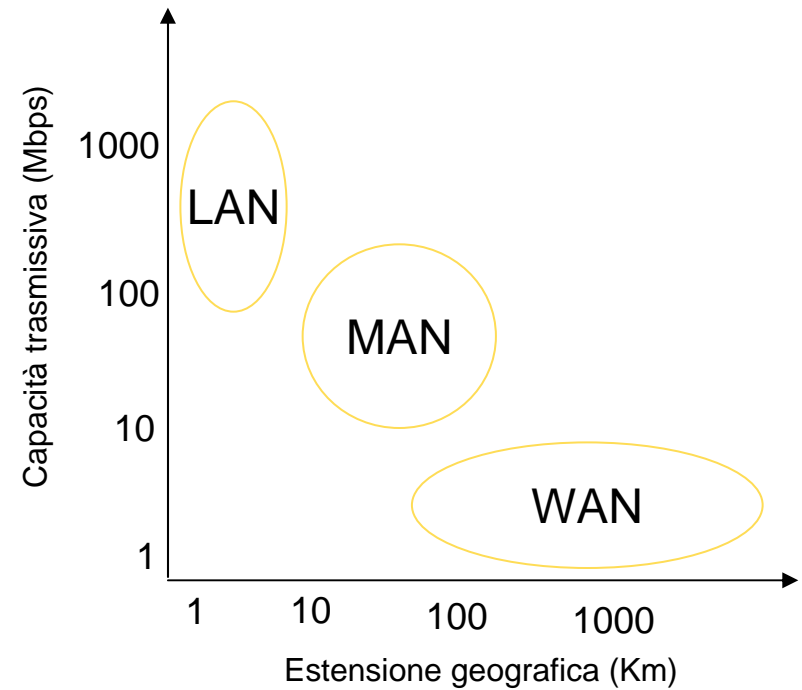


Una WAN



Conclusioni sulle classificazioni delle reti

- Per tecnologia di trasmissione:
 - broadcast e point-to-point
- Per estensione:
 - LAN, MAN e WAN
- Che rapporti ci sono fra le due?
 - Le reti locali sono quasi sempre broadcast
 - Le reti metropolitane sono broadcast
 - Le reti geografiche sono sempre point-to-point



Le reti internet (o internetworking)

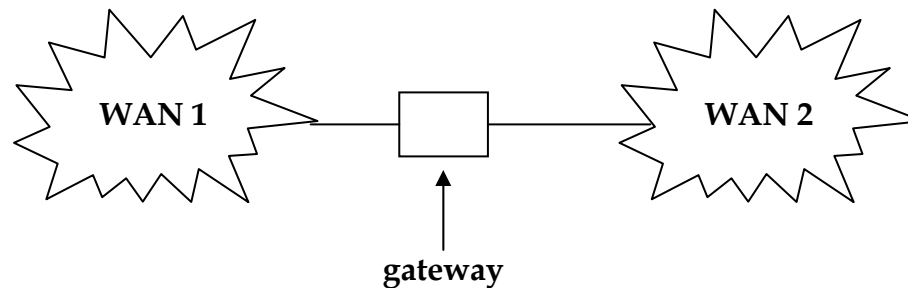
(1/2)

- Attenzione! Notare la “i” minuscola!
- Una internet serve per mettere in comunicazione reti diverse ed eterogenee
- Internet (con la I maiuscola) è un esempio di internet

Le reti internet (o internetworking)

(2/2)

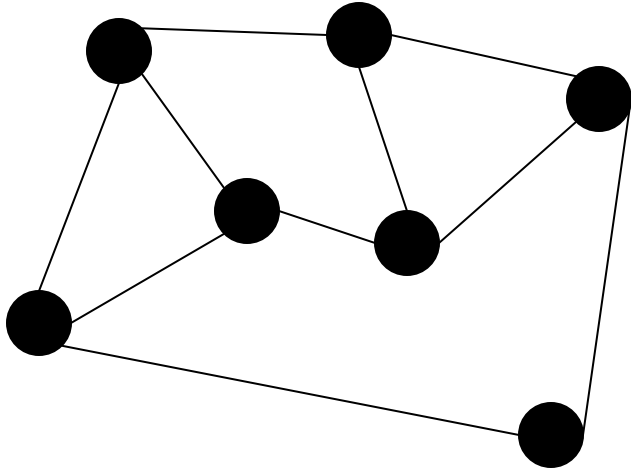
- Ogni rete (locale o geografica) ha hardware e software specifici, spesso incompatibili
- Occorrono apparecchiature speciali (dette *gateway*) per poter interconnettere tali reti
- I *gateway* svolgono la duplice funzione di:
 - instradare i pacchetti da una rete ad un'altra
 - far sì che tali pacchetti siano “capiti” dalle reti



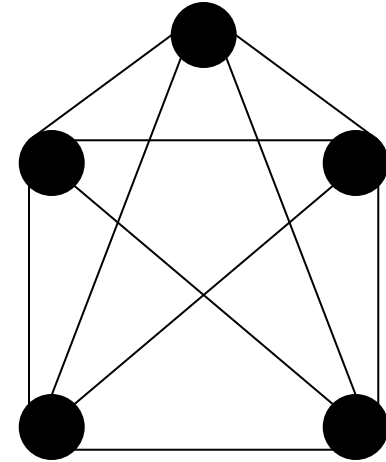
La topologia di una rete

- Come mettere in comunicazione i dispositivi di una rete?
 - è fondamentale definire una **topologia delle interconnessioni**
- La **topologia** consiste nella disposizione geometrica dei **collegamenti** e dei **nodi** che costituiscono la rete
- Un **collegamento** (o **linea di trasmissione**) costituisce il percorso delle comunicazioni tra due nodi: è il mezzo che porta i messaggi in un sistema di comunicazione dei dati
- In termini di topologia un nodo può essere definito come:
 - Un punto terminale di un ramo della rete
 - Un punto di congiunzione di due o più rami

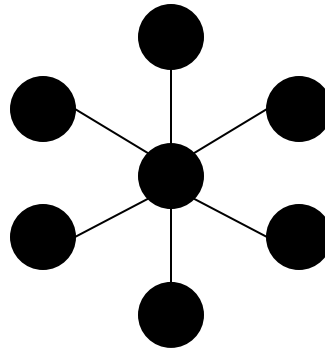
Esempi di topologie di rete



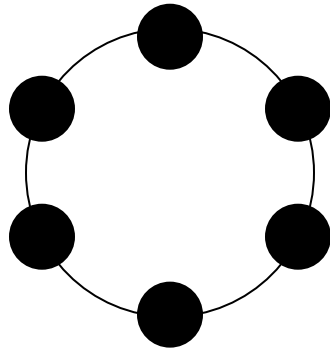
Parzialmente magliata



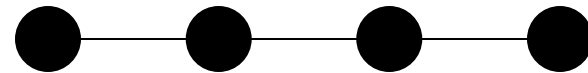
Totalmente magliata



Stella



Anello



Bus

Topologie di rete

- Stella

- 2 tipi:

- centro stella attivo, le informazioni provenienti da un nodo vengono commutate solo sul nodo di destinazione
 - centro stella passivo, le informazioni provenienti da un nodo vengono smistate a tutti gli altri nodi

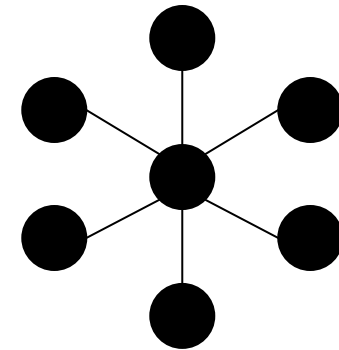
- Usata nelle LAN (passivo), nelle WAN (attivo)

- Vantaggio: basso numero di canali

- Svantaggio: vulnerabilità ai guasti del nodo centrale

- Esempi:

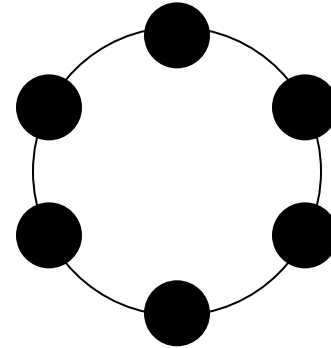
- l'estrema periferia della rete telefonica;
 - rete via satellite (il centro stella è il satellite, le stazioni di terra i nodi)



Stella

Topologie di rete

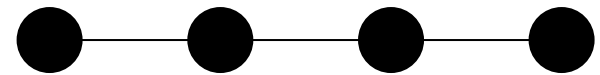
- Anello
 - Di due tipi
 - bidirezionale
 - unidirezionale
 - Usata nelle MAN e in alcune LAN
 - Vantaggio:
 - basso numero di canali
 - Svantaggio
 - bassa tolleranza ai guasti



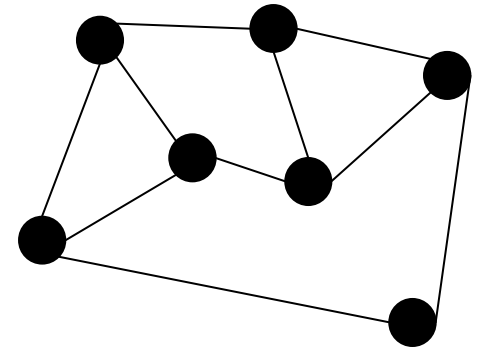
Anello

Topologie di rete

- Bus
 - Un solo canale condiviso da tutti i nodi
 - Molto usata nelle LAN
 - Vantaggio:
 - economicità, semplicità di connessione
 - Svantaggio:
 - bassa tolleranza ai guasti
- Maglia parzialmente connessa
 - È la topologia tipica delle reti geografiche
 - Svantaggio:
 - topologia non regolare
 - Vantaggio:
 - tolleranza ai guasti e flessibilità nella scelta del numero di canali
 - Esempio: Internet



Bus



Maglia parzialmente connessa

Problematiche generali delle reti

- Nel caso di reti aventi topologie complesse in cui mittente e destinatario non sono generalmente connessi in modo diretto, esiste il problema di “farli trovare”
 - La decisione del percorso che il flusso deve seguire per poter giungere a destinazione: tale operazione prende il nome di ***instradamento*** o ***routing***
 - L’inoltro del traffico, la vera e propria operazione di invio del flusso: tale operazione prende il nome di ***commutazione*** o ***forwarding***

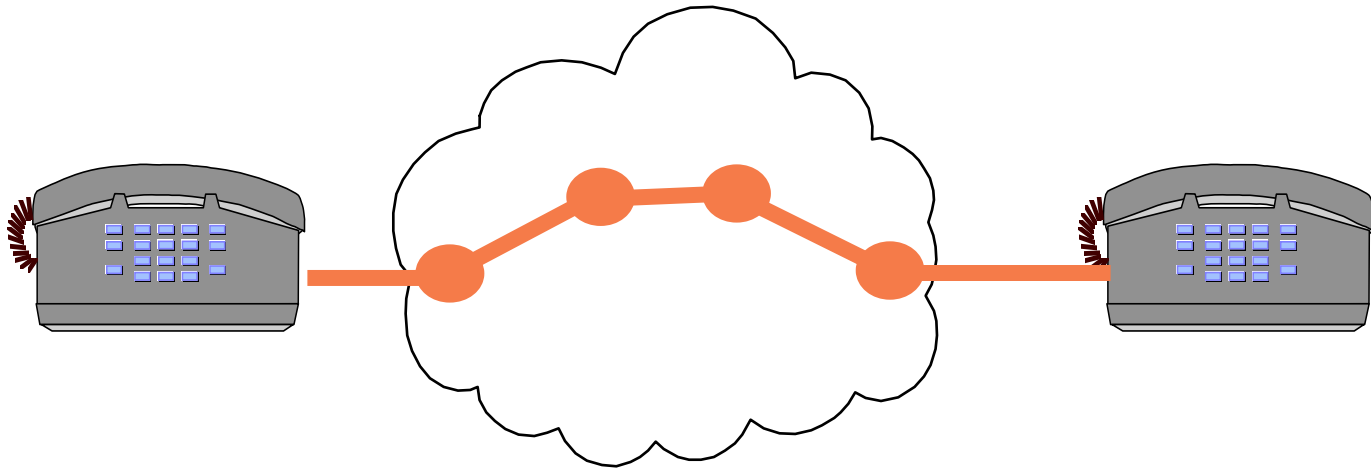
La commutazione

*Il processo di interconnessione di unità funzionali, canali di trasmissione o circuiti di telecomunicazione per il tempo necessario per il trasferimento di segnali.
(fonte: CCITT)*

- L'operazione di commutazione trasferisce un flusso proveniente da un canale verso un canale di uscita
- Vi sono fondamentalmente due modalità per trasferire l'informazione attraverso una rete:
 - **commutazione di circuito**
 - nata con le reti telefoniche
 - **commutazione di pacchetto**
 - nata con le reti di calcolatori

Commutazione di Circuito

- La rete usa le risorse disponibili per allocare un circuito a ogni richiesta di servizio
- Un circuito costituisce un collegamento fisico tra i due terminali di utente
- Il circuito è di uso esclusivo dei due utenti per tutta la durata della comunicazione
- Le risorse sono rilasciate solo al termine della comunicazione, su indicazione degli utenti



Commutazione di Circuito

- Vantaggi:
 - ritardi di trasferimento costanti
 - **trasparenza del circuito (formati, velocità, protocolli)**

- Svantaggi:
 - risorse dedicate a una comunicazione
 - efficienza buona solo in caso di sorgenti non intermittenti
 - nessuna conversione di formati, velocità, protocolli
 - **tariffazione in base al tempo di esistenza del circuito**

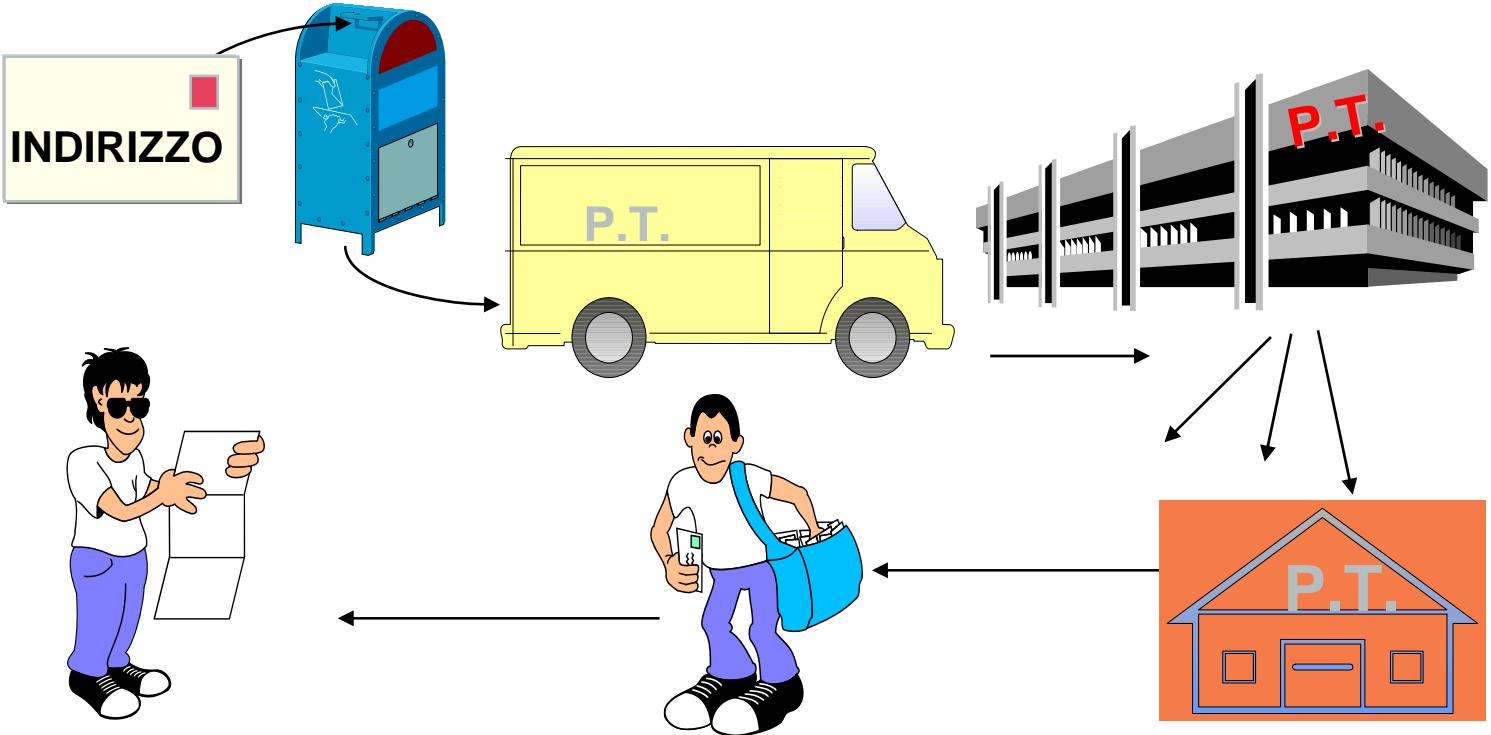
Commutazione di Pacchetto

Non si allocano risorse per l'uso esclusivo di due o più utenti

Studiata espressamente per sorgenti intermittenti

Funzionamento analogo al sistema postale

Commutazione di Pacchetto



Commutazione di Pacchetto

- È il metodo principalmente usato per i collegamenti tra elaboratori
- Il funzionamento:
 - il messaggio da inviare viene frammentato in *unità*
 - ogni unità viene inserita in un *pacchetto*
 - ogni pacchetto contiene il dato vero e proprio (PAYLOAD) e informazioni di controllo
 - i pacchetti vengono consegnati alla rete
 - il nodo di accesso alla rete e i nodi intermedi recapitano i pacchetti grazie alle informazioni di controllo
- Note:
 - pacchetti appartenenti allo stesso messaggio possono compiere percorsi differenti
 - lo stesso percorso può essere usato da più pacchetti provenienti da elaboratori diversi

Modalità di trasporto sulle reti a commutazione di pacchetto

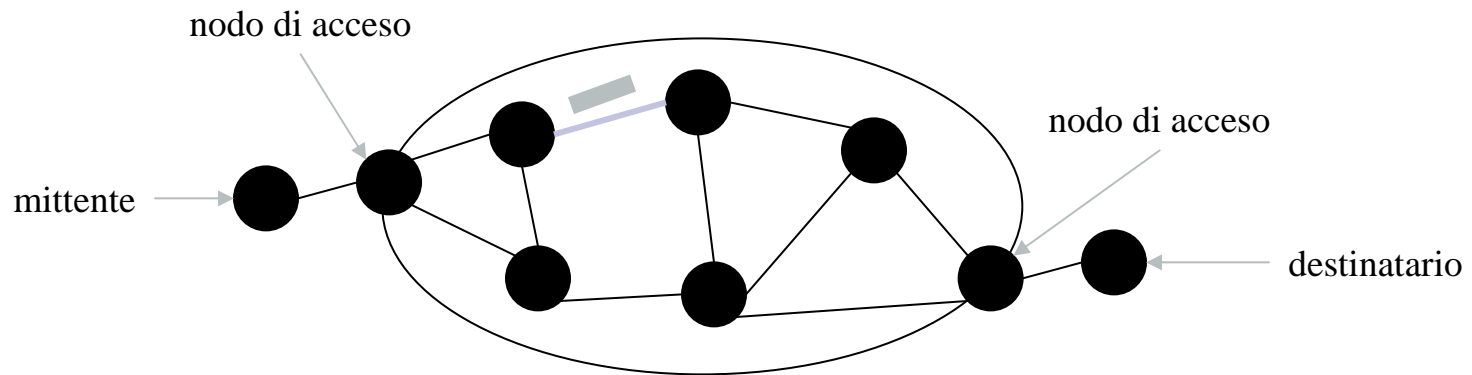
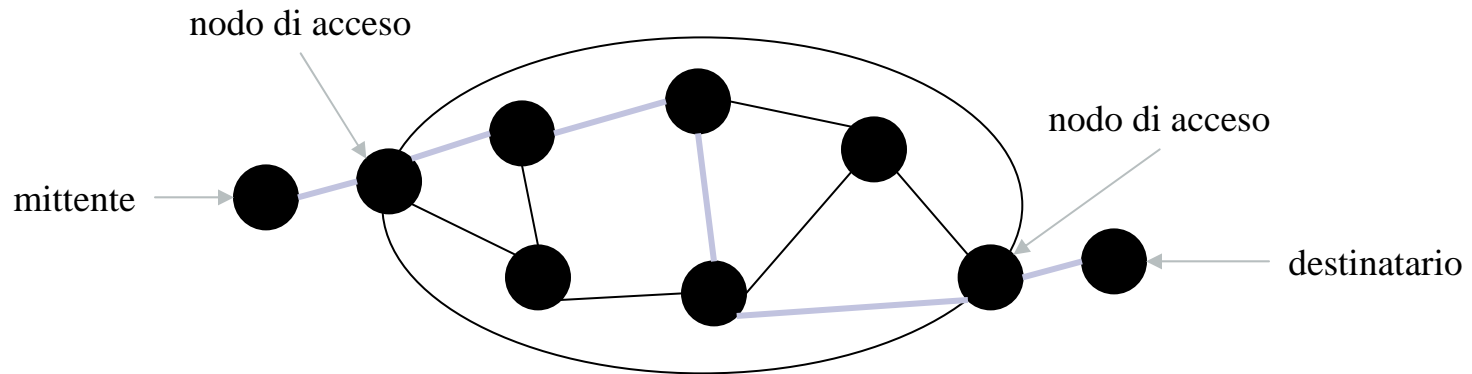
- Un pacchetto contiene il PAYLOAD e informazioni di controllo che sono denominate *header* e *trailer*



- Un pacchetto può essere trasportato secondo la modalità
 - Datagram
 - ogni pacchetto viene trattato indipendentemente dagli altri
 - le info sullo header contengono l'indirizzo della destinazione
 - Virtual Circuit
 - le informazioni nello header contengono informazioni che correlano fra loro i pacchetti
 - i messaggi correlati vengono quindi commutati nello stesso modo (ad esempio lo stesso percorso)
 - esistono 2 tipi:
 - PVC (Permanent Virtual Circuit)
 - SVC (Switched Virtual Circuit)

Differenze

- Una rete a commutazione di circuito fornisce un collegamento fisico
- Una rete a commutazione di pacchetto fornisce un collegamento logico

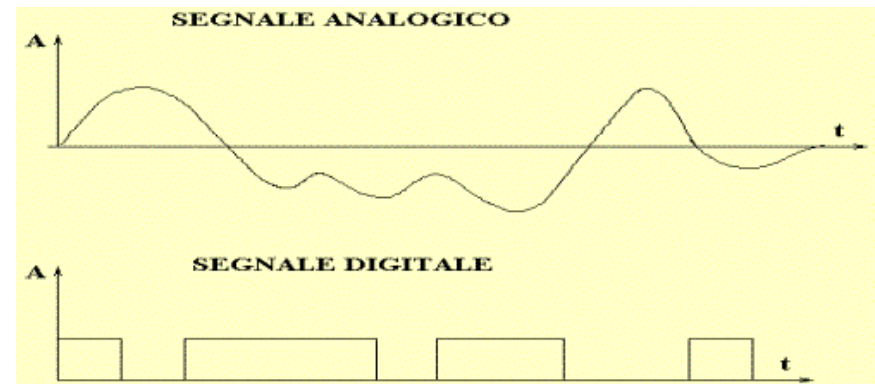


I mezzi trasmissivi

- Forniscono il collegamento fisico che unisce tra di loro i nodi di una rete
- Hanno il compito di trasmettere fisicamente un segnale dal trasmittente al ricevente
- L'idea di fondo:
 - l'informazione può essere trasmessa a distanza variando opportunamente una qualche caratteristica fisica del mezzo trasmissivo scelto
 - tale variazione si propaga, con una certa velocità, lungo il mezzo trasmissivo
 - dopo un certo tempo arriva a destinazione dove può essere rilevata
- Il mezzo trasmissivo può essere costituito di uno o più **canali**
 - in questo modo un mezzo trasmissivo può essere usato per inviare più flussi indipendenti di dati

I segnali

- Analogico e digitale sono termini che si incontrano almeno in 3 contesti: dati, segnali e trasmissioni
 - un dato è un'entità che racchiude un significato
 - un segnale è la codifica elettrica o elettromagnetica di dati
 - la trasmissione è la comunicazione di dati attraverso la propagazione e l'elaborazione di segnali
- I **segnali analogici**, al variare del tempo, possono assumere tutti i valori compresi fra i valori massimo e minimo consentiti dal canale di comunicazione
- I **segnali digitali**, o numerici, possono assumere solo due valori, o comunque soltanto un numero discreto di valori



Larghezza di banda

- I mezzi trasmissivi consentono di norma il passaggio di segnali comprendenti soltanto alcune frequenze escludendone quindi altre
- È definita pertanto larghezza di banda l'insieme delle frequenze che un canale fa passare
 - si misura in Hertz
 - es: la rete telefonica italiana, in condizioni normali, consente il passaggio di frequenze da 300 Hz a 3.400 Hz
- Per consentire il passaggio di un segnale attraverso un particolare canale di comunicazione, bisogna quindi effettuare la sua modulazione, in modo da adattare il suo spettro a quello del canale che deve attraversare
 - velocità di modulazione (Baudrate) indica il numero di simboli che arrivano a destinazione ogni secondo e si misura in BAUD

La capacità di canale

- La velocità di trasmissione (Bitrate) indica la quantità totale di informazione che arriva a destinazione nell'unità di tempo
 - si misura in BIT/sec
- La capacità di canale indica la massima velocità teorica di trasmissione dei bit oltre la quale in ricezione essi vengono confusi con il rumore
 - si misura in BIT/sec
- La capacità di canale differisce da mezzo trasmissivo a mezzo trasmissivo
- Le basi teoriche di questo livello stanno nella fisica, non nell'informatica
 - esiste un limite teorico alla quantità di informazione che può essere trasferita su un canale (teorema di Shannon, 1948), ovvero non esiste la “banda infinita”

Teorema di Shannon

$$B = H \times \log_2(1 + S/R)$$

B = capacità massima del canale in bit/s

H = larghezza di banda in Hertz

S / R = Rapporto tra potenza del segnale trasmesso e rumore di fondo

Tipi di mezzi trasmissivi

Mezzi “guidati”.

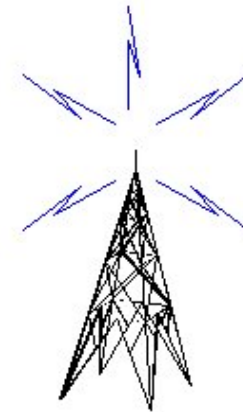
I dati scorrono in cavi predisposti
(*wired*)



- Twisted pair (o doppino)
- Cavi coassiali
- Fibra ottica

- Microonde
- Infrarosso
- Onde luminose

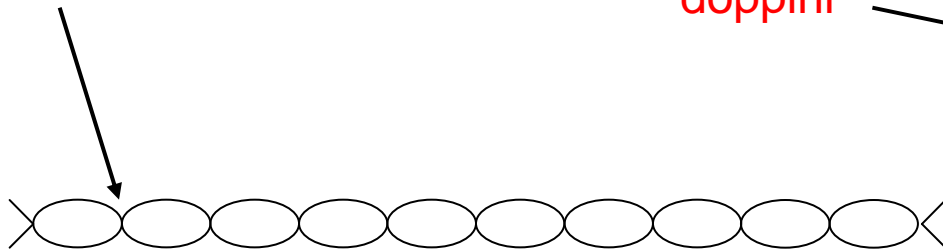
Mezzi “non guidati”.
I dati viaggiano nell’etere
(*wireless*)



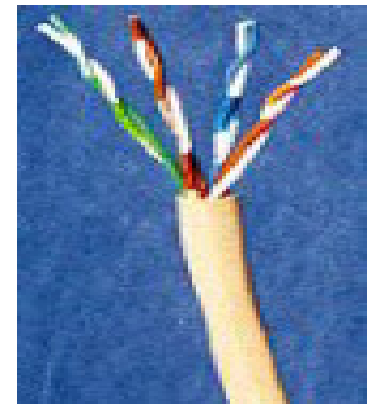
Twisted pair o doppino (1/3)

- Il mezzo più vecchio e tuttora più usato: il **twisted pair** (o doppino telefonico)
 - è una coppia di cavi di rame intrecciati come un'elica di DNA
 - la trasmissione avviene sotto forma di impulsi elettrici (ovvero passaggio di elettroni)
 - l'intreccio serve a ridurre le interferenze
- Varie coppie possono venire raggruppate in grossi fasci

Il doppino



Un fascio di doppini



Twisted pair o doppino (2/3)

- I pregi:
 - può raggiungere vari chilometri di lunghezza senza amplificazione
 - può essere usato per comunicazione analogica e digitale
 - consente velocità fino a vari Megabit al secondo
 - è una tecnologia collaudatissima, nota a qualunque ingegnere
- I difetti:
 - banda limitata: inadeguato per le più moderne applicazioni (es. Video-On-Demand)
 - fondato sul rame, materiale costoso e pregiato (perché relativamente raro)
- La stragrande maggioranza dei collegamenti terminali telefonici avviene ancora via doppino (in tutto il mondo)
- Sono molto usati nelle reti dati per piccole o/e medio-lunghe distanze



Twisted pair o doppino (3/3)

- Esistono 2 macro tipologie:
 - UTP (*Unshielded Twisted Pair*) - doppino non schermato
 - STP (*Shielded Twisted Pair*) - doppino con una schermatura per ogni singola coppia, oltre alla schermatura globale

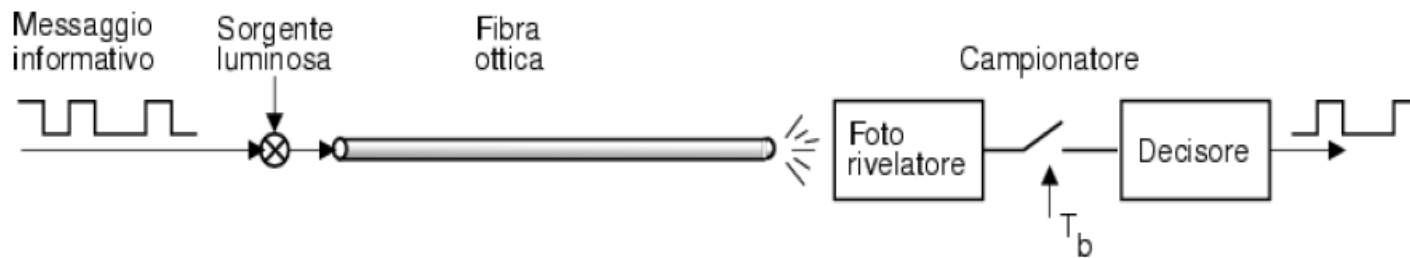
- Esistono 7 categorie, le principali:
 - Categoria 1 – Telecommunication
 - cavi per la telefonia analogica
 - Categoria 3 - High Speed Data
 - prima categoria atti a supportare una velocità di 10 Mb/sec
 - Categoria 5e - Low Loss/Extended Frequency/High Performance Data
 - cavi per TD fino a 100 Mb/sec



La fibra ottica

(1/3)

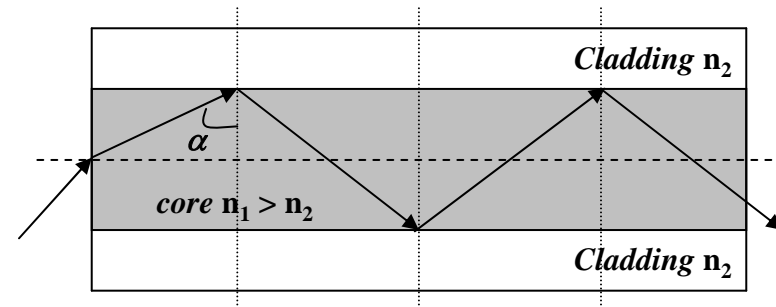
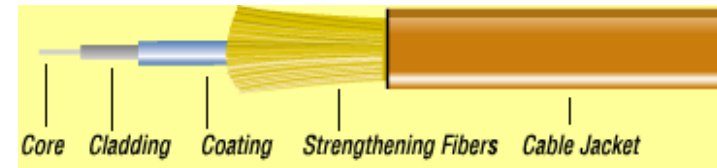
- E' uno dei mezzi più recenti e sta rivoluzionando il mondo delle telecomunicazioni
- Si fonda sulla trasmissione di *luce*, e non di impulsi elettrici:
 - i segnali digitali vengono convertiti in *impulsi luminosi* (1=luce, 0=buio)
 - il filo di vetro trasmette i segnali luminosi
 - all'arrivo, questi vengono riconvertiti in sequenze di 0 e 1



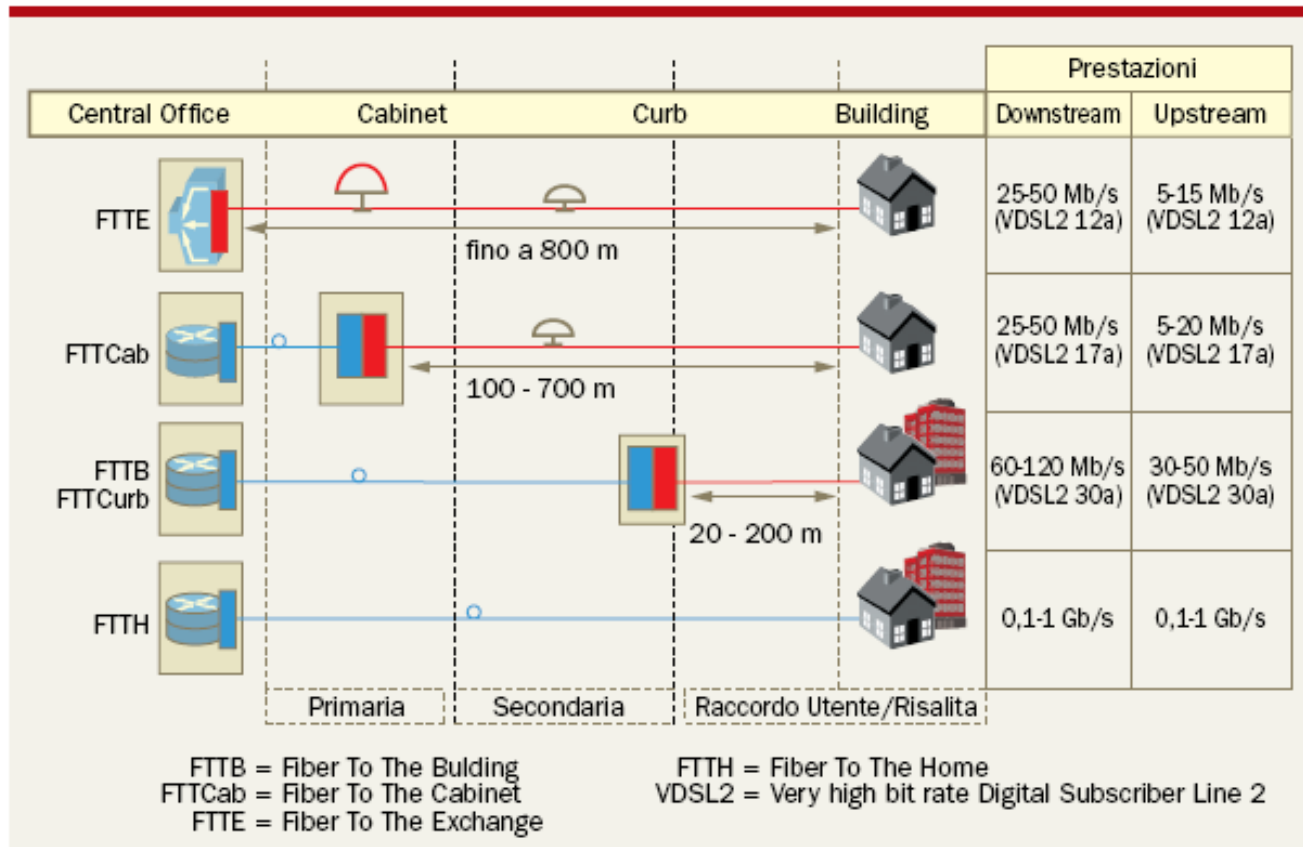
La fibra ottica

(2/3)

- La fibra è costituita da
 - *core*: un sottilissimo filo di vetro (o silicio) su cui avviene la trasmissione
 - *cladding*: uno strato esterno chiamato (anch'esso di vetro) che possiede un indice di rifrazione diverso
 - *coating*: una guaina protettiva
 - *strengthening fibers*: in Kevlar o gomma, protegge il core
 - *cable jacket*: strato più esterno
- Principio:
 - la propagazione di luce avviene nel *core* sfruttando il principio di *deviazione* che un raggio di luce subisce quando attraversa il confine fra due materiali con diverso indice di rifrazione (core e cladding)
 - è possibile imporre un angolo di incidenza α alla superficie di separazione tra *core* e *cladding* tale per cui non si ha dispersione, ma una *riflessione totale* del raggio di luce, che si propaga nel *core* per riflessioni multiple



- All'interno delle reti la pervasività della fibra ottica può avere gradi differenti:



— Rame
 — Fibra ottica

Fibra ottica vs. doppino

	Fibra Ottica	Rame
Capacità di canale	2,5 Gbps (8,6 Petabps)	Alcuni Mbps
Materia prima	Sabbia: costo zero, disponibilità virtualmente illimitata	Rame: costoso e relativamente pregiato
Condizioni esterne (inquinamento, interferenze, etc.)	Ininfluenti	Molto influenti
Peso	Ridottissimo	Molto alto
Sicurezza	Elevata	Bassa
Tasso di errore	Molto ridotto	$< 10^{-5}$ per bit
Tecnologia	Recente	Consolidata

- Il rame costa 10 euro nella tratta minima di vendita e 0,60 €/m per la posa. E' un mezzo attraverso il quale può tranquillamente passare un segnale a banda larga. È soggetto a rapida usura e comporta costi di manutenzione della rete.
- La fibra ottica costa 7 euro al metro, ma ha un costo maggiore la posa (circa 3 €/m). Le prestazioni in termini di banda sono migliori rispetto a quelle del doppino in rame

Il multiplexing

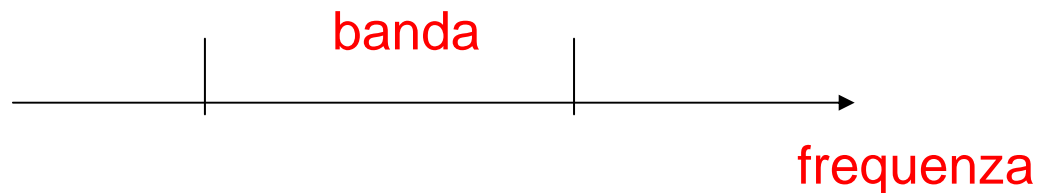
- Obiettivo: far condividere uno stesso canale a più flussi informativi di utente mantenendone la separabilità (ortogonalità dei segnali)
- Quando più nodi utilizzano lo stesso canale, la capacità deve essere divisa o assegnata in modo da utilizzare il canale nel migliore dei modi, infatti ...
 - ... il vero costo della connessione: gli scavi (*non* il mezzo trasmissivo)
 - quindi abbiamo *poche* linee *molto* veloci
- Il *multiplexing* è un metodo con il quale un singolo canale viene diviso in molti canali allo scopo di trasmettere un certo numero di segnali indipendenti

Gli approcci

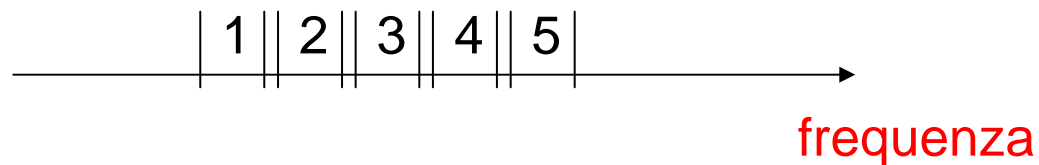
- Tecniche principali di moltiplicazione:
 - FDM (Frequency Division Multiplexing): moltiplicazione nel dominio delle **frequenze**
 - TDM (Time Division Multiplexing): moltiplicazione nel dominio del **tempo**
 - WDM (Wavelength Division Multiplexing): moltiplicazione nel dominio delle **lunghezze d'onda**

FDM

- Principio: suddividere la banda di un canale in sottobande ed assegnare ciascuna ad una trasmissione
- Come detto, un canale è caratterizzato da una banda di frequenze utilizzabili

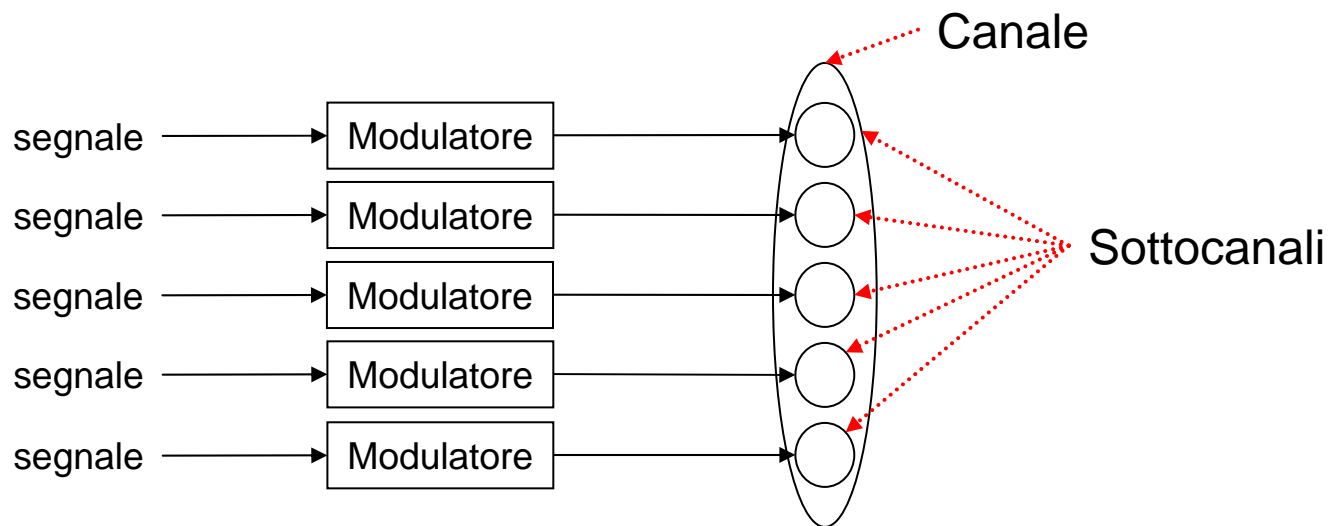


- La banda è suddivisa in sottobande a cui è associato un sottocanale: ogni sottobanda ha una frequenza diversa



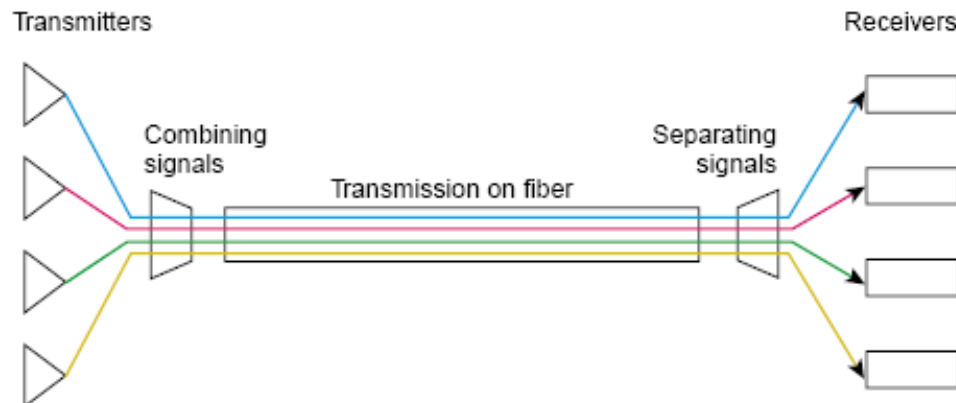
Funzionamento

- Il segnale in arrivo ad un sottocanale viene modulato in modo da poterlo associare al sottocanale e trasmetterlo



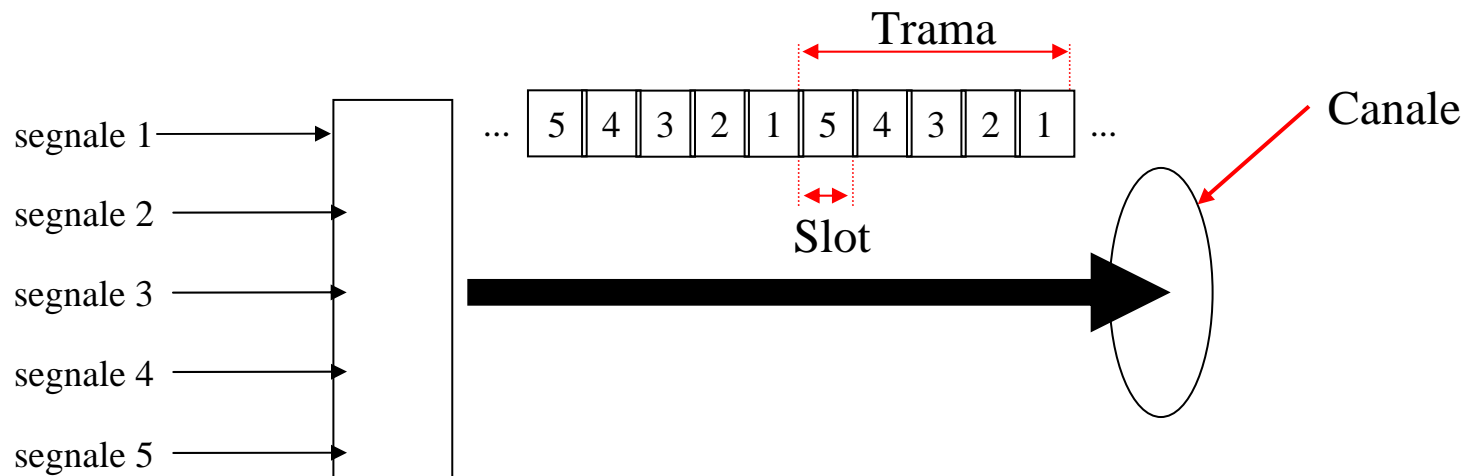
WDM

- È analogo a FDM, ma per ragioni storiche si chiama WDM
- La banda disponibile su una fibra ottica è elevatissima, ma non è sfruttata appieno a causa dei limiti dei circuiti elettronici:
 - la capacità è data dal numero di lunghezze d'onda
 - ogni fibra può portare sino a 1000 lunghezze d'onda
 - ogni lunghezza d'onda permette di trasmettere 10 miliardi di bit al secondo
- Si utilizzano diverse portanti ottiche (“colori”) modulate ai limiti delle velocità elettroniche e trasmesse sulla stessa fibra



TDM

- Principio: assegnazione a turno del canale per un certo tempo alle stazioni che devono trasmettere
 - si usa per trasmissioni digitali
- Data la capacità totale del canale C , la si suddivide in N slot numerati (chiamate *trame*) di m bit ciascuno
- Uno o più slot sono assegnati ad un sottocanale



SDH

- Synchronous Digital Hierarchy è lo standard in uso per la multiplazione di segnali digitali a gerarchia
 - nasce con l'intento esplicito di fornire uno standard
 - garantisce interoperabilità tra i vari carrier
 - capacità di trasportare frame T1 e superiori e E1 e superiori
- Synchronous:
 - basato su TDM
- Digital:
 - può trasmettere solo informazione digitale
- Hierarchy:
 - è uno standard “aperto”
 - descrive come molti canali di livello “basso” vengono multiplexati in un canale di livello “alto”
 - non esiste un limite superiore alla capacità del canale

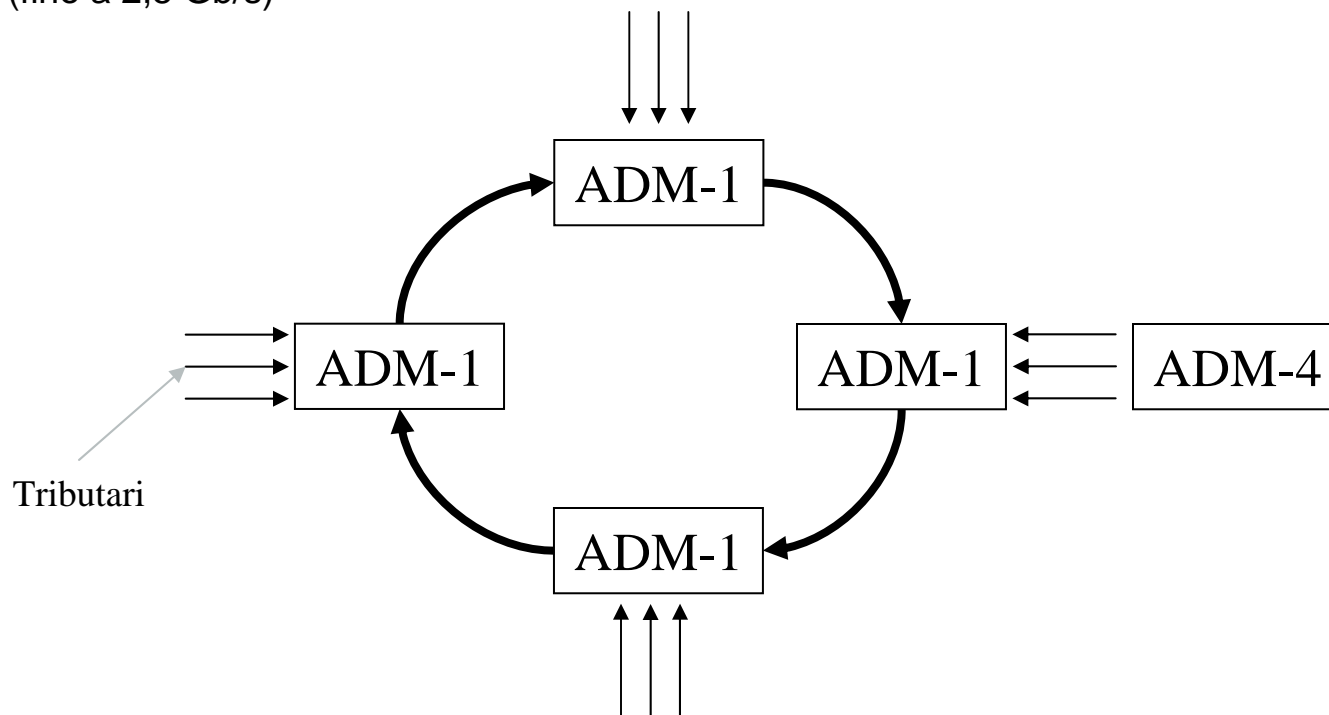
Le gerarchie SDH

- Negli USA è chiamata SONET (*Synchronous Optical Network*)
- I carrier:
 - STM (Synchronous Transport Modules)
 - STS (Synchronous Transport Signal)
 - OC (Optical Carrier)

SONET	SDH	Velocità
OC-1/STS-1		51,84 Mbps
OC-3/STS-3	STM-1	155,52 Mbps
OC-12/STS-12	STM-4	622,08 Mbps
OC-48/STS-48	STM-16	2.488,32 Mbps
OC-192/STS-192	STM-64	10 Gbps

ADM

- Gli apparati fondamentali della rete SDH sono gli Add-Drop Multiplexer (ADM) che sono gli aggregatori/disaggregatori dei flussi trasmissivi
- Esistono:
 - ADM-1 (fino a 155 Mb/s)
 - ADM-4 (fino a 622 Mb/s)
 - ADM-16 (fino a 2,5 Gb/s)



PDH

- Plesiochronous Digital Hierarchy: è il “vecchio” “standard”
 - tuttora in uso corrente
 - permette la definizione di una *gerarchia* di carrier in ordine crescente di banda
- Poiché manca uno standard, si sono venute a creare 2 gerarchie
 - “T” negli USA e “E” in Europa
- Conseguenza:
 - costose apparecchiature di conversione ai confini fra un sistema ed un’altro

I carrier con PDH

T USA

Carrier	Velocità	Costituzione
T1	1,55 Mbps	Formato da 24 canali
T2	6,312 Mbps	Formato da 4 canali T1
T3	44,736 Mbps	Formato da 6 canali T2
T4	274,176 Mbps	Formato da 7 canali T3

E Europa

Carrier	Velocità	Costituzione
E1	2,048 Mbps	Formato da 32 canali
E2	8,448 Mbps	Formato da 4 canali E1
E3	34,368 Mbps	Formato da 4 canali E2
E4	139,264 Mbps	Formato da 4 canali E3
E5	565,148 Mbps	Formato da 4 canali E4

Fine