

## Una panoramica sulle reti

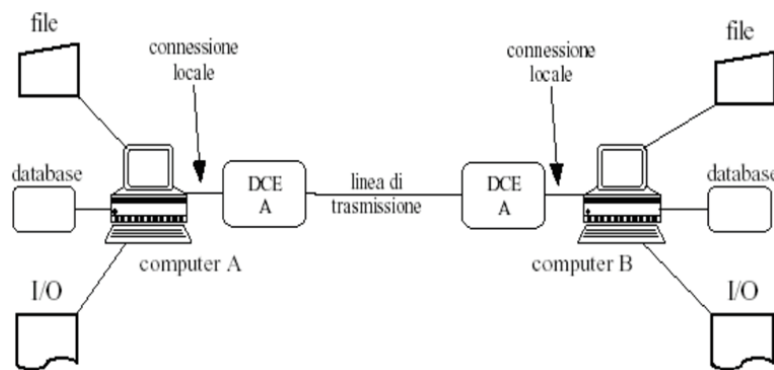
Una rete è un insieme di dispositivi informatici connessi tra loro che permette la trasmissione di dati ed informazioni da un capo all'altro, è composta da componenti **hardware**, quali sono gli **apparati per la trasmissione**, e da componenti **software**, quali sono **protocolli** e **drivers**, in modo da fornire una comunicazione affidabile, efficiente e scalabile.

Una rete deve essere capace di suddividere le informazioni in **pacchetti**, deve poter rilevare e correggere dati corrotti e persi e deve poter trovare cammini ottimali in modo da far arrivare i pacchetti ad una specifica destinazione nel miglior modo possibile.

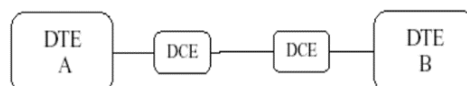
Una rete prevede la presenza di:

- **Hosts**, dispositivi connessi alla rete;
- Nodi di commutazione (**router**), dispositivi che riconoscono l'apertura di una connessione e che permettono ai dati di arrivare a destinazione;
- **Links**, "ponti" che connettono i nodi di commutazione tra loro

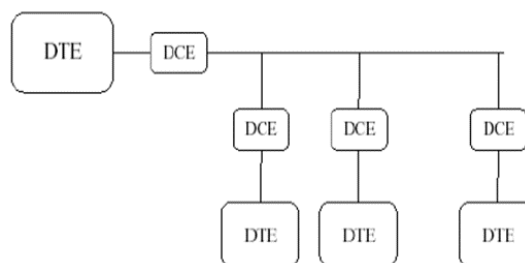
L'Host assume anche il nome di **DTE (Data Terminal Equipment)**, il che può essere un supercalcolatore, un semplice PC o un qualsiasi altro oggetto connesso in rete come utente finale. Ogni DTE è collegato ad una linea di trasmissione tramite un apposito dispositivo, il **DCE (Data Circuit Terminating Equipment)**: se la linea di trasmissione è una linea telefonica, il DCE è un normale modem; in ambito ethernet il DCE è uno switch o un router.



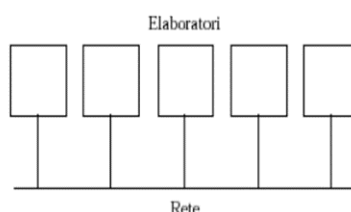
Un circuito fisico è detto **punto-a-punto** se collega solamente **due DTE** tra loro ed è spesso utilizzato nella connessione tra due soli computer oppure nella connessione tra un computer ed un terminale.



Un circuito **multipunto**, invece, consiste nel mettere **più di due DTE** sulla stessa linea. Tale tipo di rete può creare problemi di contesa.



Le reti **broadcast** sono dotate di un unico canale di comunicazione condiviso da **tutti i DTE**, dove i **pacchetti** inviati da un elaboratore vengono **ricevuti da tutti gli altri**: il destinatario viene specificato all'interno del **pacchetto**. Nel caso i destinatari siano tutti gli altri elaboratori si utilizza un particolare indirizzo, in modo tale che tutti gli altri elaboratori prendano in considerazione il pacchetto: in tal caso si parla di **broadcasting**.



Una variante del **broadcasting** è il **multicasting**: in quest'ultimo caso il pacchetto viene considerato da **un sottoinsieme di elaboratori** ed ignorato dai restanti. In ciascun pacchetto è presente un bit che specifica se la connessione sia multicasting o meno. I rimanenti N-1 bit specificano l'indirizzo del destinatario.

La comunicazione può avvenire in molteplici modi: con la **trasmissione simplex** i dati viaggiano in un'unica direzione; con la trasmissione **half-duplex** i dati viaggiano in entrambe le direzioni ma **non contemporaneamente**; con la trasmissione **full-duplex** i dati viaggiano in **entrambe le direzioni contemporaneamente** ed è particolarmente indicata per le reti multipunto.

La **commutazione di pacchetto (multiplexazione statistica)** è l'operazione che suddivide il messaggio in molteplici pacchetti, ciascuno corredato da diverse informazioni di controllo, come l'identificativo di mittente e destinatario, numero d'ordine del pacchetto rispetto all'intero messaggio, eccetera (tali informazioni di controllo costituiscono l'**header** del pacchetto). Ogni **pacchetto viene instradato** indipendentemente e probabilmente su **percorsi differenti** rispetto agli altri pacchetti dello stesso messaggio. È importante sapere che la rete non ne garantisce il corretto arrivo.

La **commutazione di circuito (multiplexazione deterministica)** simula **un unico canale** tra le due stazioni che necessitano di comunicare, dedicando l'intera capacità del canale trasmissivo a quella specifica comunicazione.

Riguardo i vari tipi di **topologie delle reti**, la scelta avviene in base a diversi criteri, quali sono l'affidabilità, la scalabilità, il rendimento e i costi.

La **rete gerarchica o ad albero** è la rete più comune: il traffico di dati va dai nodi più bassi verso i nodi più alti, fino ad arrivare al nodo più in alto nell'intera struttura, il quale è il più potente siccome deve gestire le richieste di tutti gli utenti inferiori. Il nodo principale, però, può essere un problema per l'intera rete: se è sovraccarico di lavoro, può diventare un **collo di bottiglia** per l'intera rete, comportando un notevole **rallentamento**. Peggio ancora se tale nodo non funzionasse più: in tal caso la rete cadrebbe. Da ciò si possono prendere provvedimenti permettendo ad altri nodi lo svolgimento delle stesse operazioni del nodo principale nel caso in cui quest'ultimo dovesse venire a mancare.

La **rete a stella** ha un nodo centrale in grado di gestire le richieste di tutti gli altri nodi. Ha un funzionamento molto simile alla rete gerarchica, comportando addirittura gli stessi e identici rischi, la differenza che non vengono utilizzati i livelli.

La **rete dorsale o a bus condiviso** viene adottata nelle reti locali di tipo *ethernet* ed è composta da un unico cavo che connette tutti i nodi. La trasmissione di un nodo viene ricevuta da tutti gli altri, quindi può trasmettere un solo elaboratore alla volta mentre tutti gli altri dovranno astenersi. È, quindi, necessario l'utilizzo di un sistema di **arbitraggio** che risolva i conflitti quando due o più nodi vogliono trasmettere contemporaneamente.

Anche tale rete offre diversi inconvenienti, i quali sono legati al portante: il portante è unico nella rete, quindi nel caso soffra di problemi prestazionali ne risentirebbe l'intera rete; un'eventuale interruzione del portante metterebbe fuori uso l'intera rete.

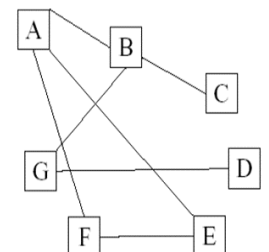
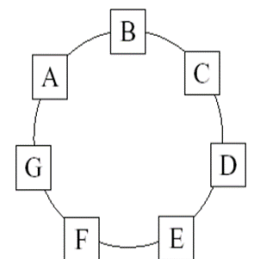
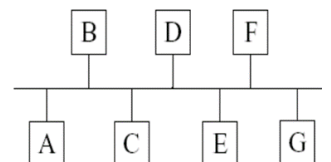
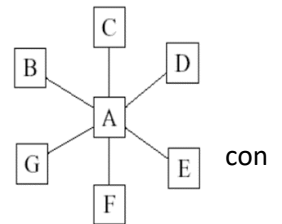
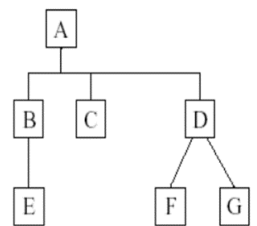
La **rete ad anello** fornisce una comunicazione **unidirezionale**, permettendo la comunicazione con qualsiasi stazione siccome si utilizza un circuito chiuso su sé stesso. Anche in questa topologia di rete è necessario un meccanismo di **arbitraggio**, di solito basato sul possesso di un **token** che abilita alla trasmissione.

La **rete a maglia** consiste nel collegare le varie stazioni con diversi circuiti, permettendo ottime prestazioni siccome il traffico verrebbe ripartito su molteplici percorsi. Inoltre, l'esistenza di molteplici percorsi implica alta affidabilità nell'intera struttura. Allo stesso tempo, però, i costi dei collegamenti possono anche essere elevati e la gestione della struttura è altamente complicata.

Un **protocollo** è una serie di norme e **convenzioni** inerenti allo **scambio di dati**, comandi ed informazioni di controllo.

Riguardo le tipologie di reti, veniamo a conoscenza delle seguenti:

- **PAN (Personal Area Network)**, riguarda la connessione tra due dispositivi in un raggio di azione di pochi metri. Di solito tale connessione viene effettuata tramite cavi USB o tramite una soluzione wireless come il bluetooth;



- **LAN (Local Area Network)**, sono possedute da organizzazioni private e hanno una portata che arriva fino a qualche chilometro. Si distendono, in genere, nell'ambito di un singolo edificio o campus e vengono in genere utilizzate per connettere PC e altri dispositivi tra loro. Il mezzo trasmissivo utilizzato è il classico doppino di rame;
- **WAN (Wide Area Network)**, sono reti geografiche che si estendono a livello nazionale, continentale o addirittura planetario. Hanno una portata vastissima, pari a migliaia di chilometri, e un numero di terminali connessi notevolmente elevato (anche migliaia). Tali reti utilizzano la struttura a maglia, in modo da avere molteplici percorsi in cui trasmettere i dati. Una tipica WAN connette molteplici LAN tra loro;
- **MAN (Metropolitan Area Network)**, sono reti metropolitane che hanno un'estensione tipicamente urbana e sono generalmente pubbliche (generalmente si possono utilizzare previo pagamento di un'opportuna tariffa).

In base alla tipologia di rete, cambia il modo con cui viene effettuata la comunicazione tra due **DTE** nella rete, quali sono il **Connection Oriented Mode** (orientato alla connessione) e il **Connectionless Mode** (non orientato alla connessione). La commutazione di circuito utilizza la **Connection Oriented Mode**, mentre la commutazione di pacchetto utilizza la **Connectionless Mode**.

Nel **Connection Oriented Mode**:

1. I due DTE si assicurano della reciproca **presenza in linea, prima** di effettuare lo scambio dei dati;
2. Fatta tale verifica, viene instaurata la connessione\* (o **sessione**), la quale durerà tutto il tempo richiesto dallo scambio dei dati;
3. Finito lo scambio, viene **terminata la connessione** (o sessione).

La connessione è gestita dal software dei due DTE, il quale svolge diverse funzioni, quali sono la gestione della velocità di scambio, il controllo delle regole di scambio, la capacità di interruzione della controparte e il controllo degli errori con eventuale correzione. Tali controlli sono fondamentali nelle WAN, data la bassa affidabilità delle linee.

Nel **Connectionless Mode**, invece, un DTE può inviare dati all'altro DTE anche senza aver instaurato una connessione\*. Il vantaggio principale rispetto al **Connection Oriented Mode** è che non sono necessari servizi di controllo o di supporto, vantaggioso per le LAN ma non opportuno per le WAN, data la scarsa affidabilità. Il problema fondamentale del **Connectionless Mode** riguarda il controllo degli errori che possono verificarsi: non essendoci controlli immediati durante la trasmissione, il DTE sorgente non può sapere com'è andata la trasmissione. La soluzione è quella di affidare il controllo degli errori alle applicazioni.

Una **intranetwork** è una rete formata da molteplici reti diverse collegate tra loro. La definizione può sembrare simile a quella delle reti WAN, ma strutturalmente sono diverse: la **intranetwork** utilizza apparecchiature speciali dette **gateway**, le quali rendono possibili i trasferimenti tra reti diverse.

La seguente tabella illustra in maniera completa le differenze tra Connection Oriented e Connectionless. Con circuito virtuale si intende il path nella sottorete che i pacchetti seguiranno.

Caratteristica	Connection Oriented	Connectionless
Creazione del circuito	Richiesto	Non richiesto
Indirizzamento	Ogni pacchetto contiene un piccolo numero, il virtual circuit (VC)	Ogni pacchetto contiene gli indirizzi sorgente e destinazione completi
Informazioni di stato	Ogni circuito virtuale richiede spazio di tabella nella sottorete	La sottorete non conserva informazioni di stato
Instradamento	Percorso scelto alla creazione del circuito virtuale: tutti i pacchetti seguiranno tale percorso	Ogni pacchetto viene instradato singolarmente
Effetti dei guasti nei router	Tutti i circuiti che passano attraverso il router guasto vengono terminati	Nessuno, al massimo viene perso qualche pacchetto durante il guasto
Controllo di congestione	Semplice	Complesso

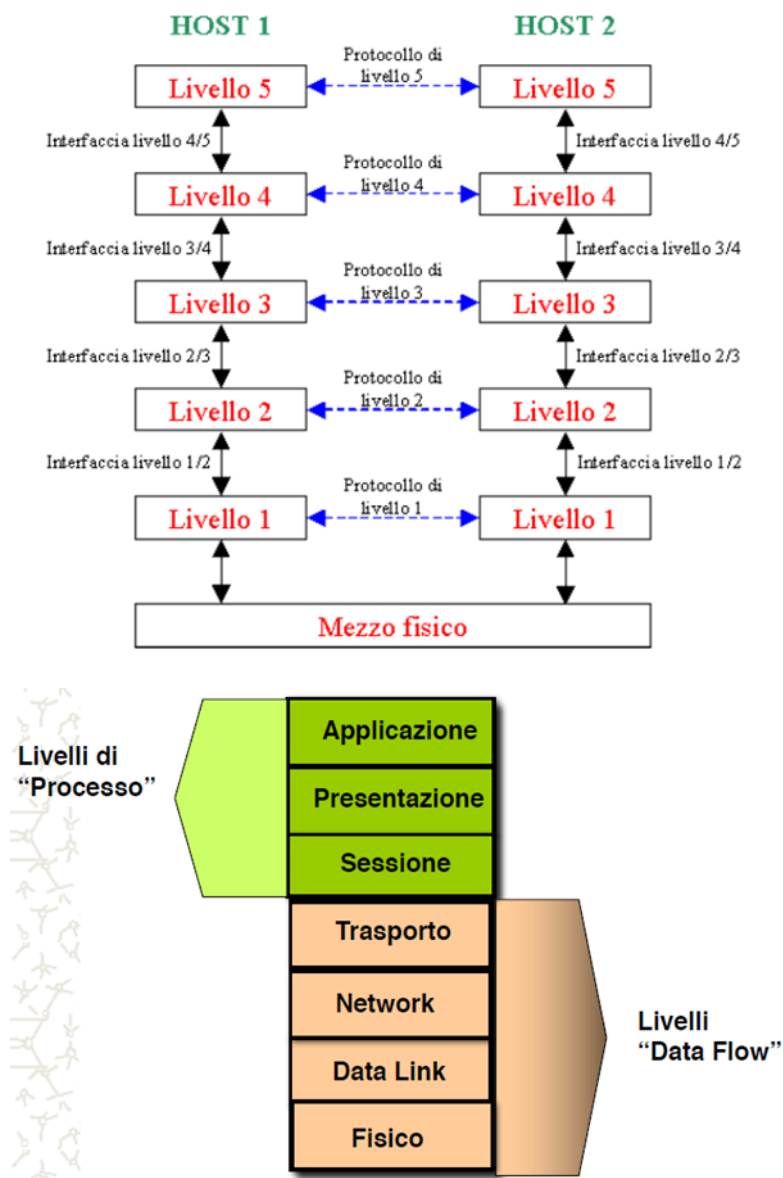
[\*con "instaurare una connessione" si intende la scelta di un path verso cui mandare i pacchetti. Sostanzialmente, con il Connection Oriented viene stabilito un path; con il Connectionless non viene stabilito alcun path, quindi ogni pacchetto viene spedito indipendentemente dagli altri.]

## Modello ISO-OSI

Il **modello ISO-OSI** è costituito da una pila (o **stack**) di protocolli i quali regolano l'implementazione di un sistema di comunicazione. Ogni livello fornisce un diverso livello di astrazione e individua un protocollo di comunicazione del livello medesimo. Concetto fondamentale di tale modello è che **ogni livello incapsula i messaggi del livello  $n$  in messaggi del livello  $n-1$** : sostanzialmente i messaggi dei livelli più bassi incapsulano i messaggi dei livelli più alti. In questo modo viene realizzata una **comunicazione multilivello**, conferendo modularità al sistema con maggiore semplicità di progettazione e gestione della rete.

I livelli del modello ISO-OSI sono i seguenti (dal più basso al più alto):

- **Livello fisico**: si occupa della trasmissione di ogni singolo bit attraverso un canale di trasmissione;
- **Livello data link**: si occupa del controllo degli errori di comunicazione, in modo da far apparire la trasmissione senza errori ai livelli superiori;
- **Livello di rete**: gestisce l'instradamento dei pacchetti di dati verso la stazione destinataria nel migliore dei modi possibili;
- **Livello di trasporto**: in ricezione si occupa di memorizzare e riordinare ciò che è in arrivo dai livelli inferiori per poi passare il tutto al livello superiore, altrimenti si occupa di suddividere i messaggi provenienti dallo strato superiore e di controllare eventuali errori;
- **Livello di sessione**: si occupa di gestire le modalità di dialogo (simplex, half-duplex, full-duplex) tra gli elaboratori;
- **Livello di presentazione**: gestisce il formato della codifica dei dati e la sua eventuale conversione. Le entità di questo livello si occupano anche della compressione dei dati e delle tecniche di crittografia;
- **Livello di applicazione**: contiene tutti i servizi e protocolli per l'utilizzo della rete.



## Livello Fisico

I **segnali** sono variazioni di grandezze fisiche capaci di trasportare informazioni e possono essere di due tipi:

- **Analogici**, sono quei segnali che possono assumere un qualsiasi valore compreso tra un certo valore massimo ed un certo valore minimo consentiti dal canale di comunicazione;
- **Digitali**, o **numerici**, sono quei segnali che possono assumere solo due o un numero discreto di valori.

Un segnale di periodo  $T$  può essere sviluppato in **serie di Fourier** in una **somma di infinite sinusoidi di ampiezza variabile**. Ogni canale trasmissivo permette il passaggio solo di alcune armoniche, escludendone altre: ciò è regolato in base alla banda del canale di comunicazione, quale è un range di frequenze che il canale di comunicazione fa passare.

Un **segnale analogico** è formato da **molteplici onde sinusoidali**. Ogni ciclo consiste in un arco che va al di sopra della linea del tempo e in un arco che va al di sotto della linea del tempo. Un'onda sinusoidale è caratterizzata da tre parametri, quali sono:

- **Ampiezza**, indica l'altezza del picco dell'onda sinusoidale ed è proporzionale all'energia trasportata;
- **Frequenza**, è il numero di onde sinusoidali in un secondo, quindi il numero di periodi  $T$  (un periodo è un'onda sinusoidale completa, quindi un intero ciclo di segnale) e si indica con  $f = 1/T$ ;
- **Fase**, descrive la posizione dell'onda rispetto al tempo 0. Indica la posizione del primo ciclo ed è misurata in gradi o radianti.

### Livello Fisico: campionamento

Il **campionamento** non è altro che la conversione **da segnale analogico a segnale digitale**. Il teorema del **campionamento di Nyquist** afferma che: dato un segnale con banda limitata  $B$ , si può ricostruire il segnale se la frequenza di campionamento è maggiore o uguale a  $2B$ . In generale, la frequenza di campionamento dovrà essere leggermente maggiore a  $2B$ , in modo da stabilire un piccolo range extra (**banda di guardia**) in modo da evitare che i filtri taglino parti utili del segnale.

### Livello Fisico: capacità del mezzo

**Shannon e Nyquist** hanno enunciato teoremi che esprimono la massima velocità di trasmissione per ogni tipo di canale. Il **teorema di Nyquist** permette di stabilire la **massima quantità di informazione trasmessa (bit rate)** in un canale non rumoroso. Il **teorema di Shannon** permette di stabilire la **massima quantità di informazione trasmessa (bit rate)** in un canale rumoroso.

L'aumento dei livelli trasmissivi comporta l'aumento della quantità di informazioni che vengono trasmesse nello stesso tempo. L'aumento dei livelli comporta che il singolo livello diventi sempre più piccolo, rendendolo addirittura indistinguibile a causa del **rumore**, il quale è sempre presente.



### Livello Fisico: rumori

Il rumore è una forma di energia indesiderata che influisce sul segnale utile, degradandone l'informazione. È considerato, quindi, un disturbo. I principali rumori sono i seguenti:

- **Rumore bianco**, energia distribuita equamente in tutte le frequenze;
- **Rumore di intermodulazione**, causato dalla non linearità dei dispositivi elettronici e consiste nella presenza di armoniche indesiderate nel segnale di uscita, originariamente non presenti nel segnale di ingresso;
- **Rumore di modo comune**, rumore presente in ingresso da uno strumento di misura, unito al normale segnale da misurare;
- **Rumore di quantizzazione**, perdita di informazione che ha luogo durante la trasformazione di un segnale analogico in digitale;
- **Rumore termico**, dovuto all'agitazione termica degli elettroni presenti in una resistenza. Tale rumore è considerabile anche un rumore bianco.

## Livello Fisico: trasmissione dei segnali

Parlando della trasmissione dei segnali, è detta **analogica**, se il segnale viene trasmesso senza curarsi del suo significato: in tal caso la trasmissione si limita a recapitare il segnale, magari amplificandone l'intensità quando necessario. La **trasmissione digitale**, invece, tiene conto del contenuto dei dati nel caso si debba amplificare l'intensità del segnale. Siccome l'amplificazione del segnale danneggerebbe il contenuto informativo, nel caso della trasmissione digitale quest'ultimo viene estratto e si rigenera il segnale tramite opportuni ripetitori.

Una volta generato il segnale da trasmettere, questo può essere **impresso direttamente sul canale**: in tal caso si parla di **trasmissione in banda base**. Nel caso si abbia la necessità di trasmettere il segnale su frequenze diverse, si adopera la **modulazione**.

Riguardo la codifica dei dati, i dati numerici vengono rappresentati dai segnali tramite **sequenze di impulsi discreti**. Il dato binario è quindi codificato in modo da far corrispondere il valore di un bit ad un certo livello del segnale. Il ricevitore, cioè il dispositivo che riceverà i segnali, dovrà sapere quando inizia e quando finisce il bit, leggere il valore del segnale al momento giusto e determinare il valore del bit in base alla codifica utilizzata. La migliore valutazione si ottiene effettuando il campionamento del segnale al tempo pari a metà del bit.

La codifica adottata per determinare il valore dei bit viene scelta in base ad alcuni criteri, quali sono:

### ➤ **Spettro del segnale:**

- Le alte frequenze richiedono bande maggiori;
- L'assenza di componente continua è preferibile.

### ➤ **Sincronizzazione temporale:**

- Il ricevitore deve essere sincronizzato con il trasmettitore per identificare i bit.

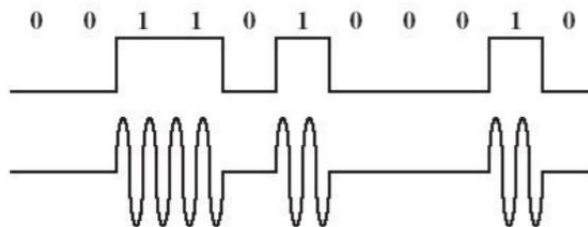
### ➤ **Rilevazione di errori** (caratteristica dei livelli superiori, ma può essere utile anche nel livello fisico).

## Livello Fisico: modulazione

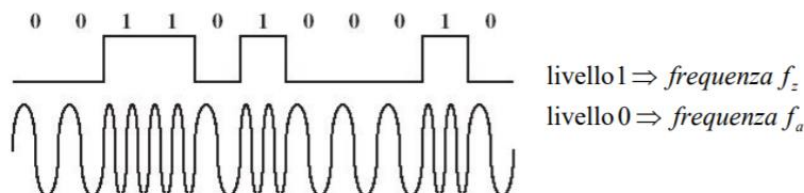
La **modulazione** è un processo che permette di associare un segnale generalmente contenente informazioni (segnale **modulante**) ad un altro segnale (segnale **portante**), sviluppato ad alta frequenza (frequenza portante > frequenza modulante). Il risultato di tale processo è la **conversione** del **segnale modulante** dalla banda base alla banda traslata, generando quindi un nuovo segnale (segnale **modulato**) la cui banda sarà la **traslata**. Utilizzando una **portante** ad alta frequenza, quindi, si può spostare la banda necessaria alla trasmissione in un range più opportuno.

Le **tecniche** di **modulazione** principali che vedremo riguardano **l'ampiezza**, la **frequenza** e la **fase**.

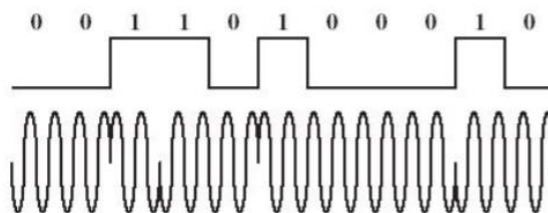
- **Modulazione ASK (Amplitude Shift Keying)**: partendo da un segnale numerico (segnale **modulante**), è possibile modulare in **ampiezza** un segnale **portante** moltiplicando la sua ampiezza per il segnale numerico.



- **Modulazione FSK (Frequency Shift Keying)**: partendo da un segnale numerico (segnale **modulante**), è possibile modulare un segnale **portante** modificando la sua **frequenza** in funzione del segnale **modulante**, così facendo corrispondere le due frequenze a due valori del bit.



- **Modulazione PSK (Phase Shift Keying):** partendo da un segnale numerico (segnale **modulante**), è possibile modulare in **fase** un segnale **portante** associando un certo valore di fase ad un certo valore di bit.



Altre tecniche di modulazione sono le seguenti:

- Modulazione BPSK (Bifase PSK) consiste nell'associare ai due bit due valori diversi di fase della portante;
- Modulazione 4PSK utilizza ben quattro valori di fase diversi della portante, quali sono  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $270^\circ$ , ognuno associato a 2 bit di codifica;
- Modulazione 8PSK utilizza ben otto valori di fase diversi della portante, ognuno associato a 3 bit di codifica;

### Livello Fisico: moltiplicazione

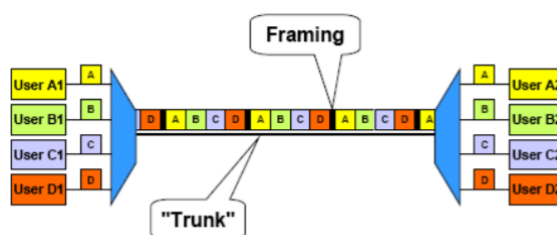
La **moltiplicazione** è la tecnica di trasmissione che permette di **combinare più segnali analogici o digitali** in un **solo segnale** (detto **multiplato**) trasmesso in uscita su uno stesso collegamento fisico.

Prima di vedere le tecniche di moltiplicazione, è bene sapere che:

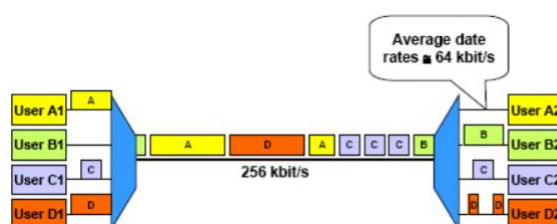
- Ogni **intervallo temporale** si chiama **slot** e può contenere uno o più bit;
- Il **flusso dei dati** è organizzato in **trame**. Una trama è **l'insieme di tutti gli slot** utilizzati ad una specifica frequenza;
- Il **flusso dei dati relativo ad una sola linea del tempo** viene detto **canale**.

Le tecniche di moltiplicazione che vedremo sono le seguenti:

- **TDM (Time Division Multiplexing) (per segnali digitali)**, tecnica di moltiplicazione secondo la quale ogni dispositivo ottiene a turno l'uso esclusivo del canale di comunicazione per un breve lasso di tempo, quindi con la possibilità di sfruttare l'intera banda per sé. Esistono due metodi di moltiplicazione TDM:
  - **Deterministico:** le **trame** vengono **allocate in modo fisso e nell'ordine stabilito**. Un grande svantaggio del TDM deterministico è il caso nel quale non venga utilizzato il mezzo trasmissivo: verrebbero inviate **trame idle**, quindi vuote, in modo da sprecare tempo e canale. I vantaggi è che le trame sono già ordinate e non sono necessari schemi di indirizzamento.

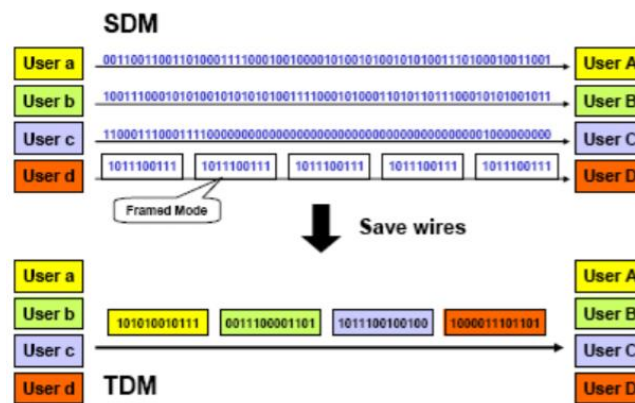


- **Statistico:** le **trame** vengono **allocate in modo dinamico**, in base alla quantità di dati da spedire. Gli svantaggi del TDM statistico riguardano la necessità di uno schema di indirizzamento e il fatto che sia più lento rispetto al TDM deterministico. Il vantaggio riguarda, invece, il fatto che le trame vengano allocate dinamicamente evitando sprechi di tempo e canale, comportando quindi ad un ottimo utilizzo del mezzo trasmissivo.

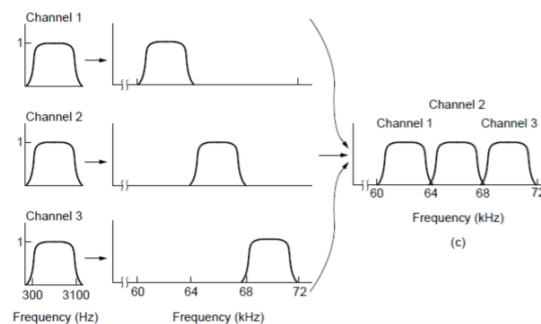




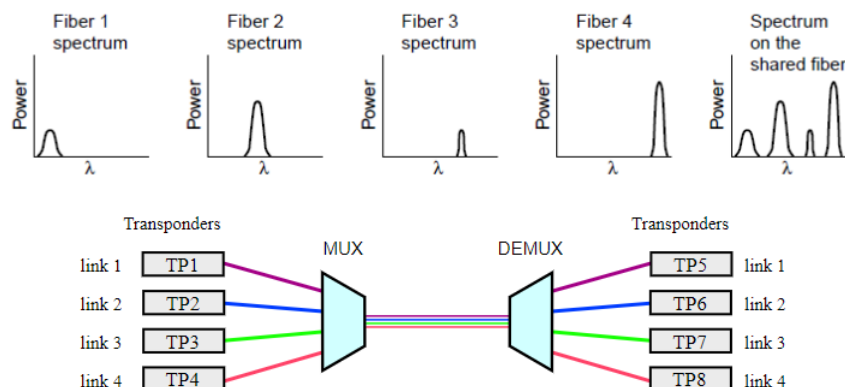
- **SDM (Space Division Multiplexing) (per segnali digitali)**, tecnica di moltiplicazione secondo la quale ad **ogni dispositivo** viene associato un **proprio canale**. La differenza principale dal TDM è proprio l'utilizzo dei canali: mentre più dispositivi possono usare un unico canale di comunicazione, nel SDM è presente un canale di comunicazione per ogni singolo dispositivo.



- **FDM (Frequency Division Multiplexing) (per segnali analogici)**, tecnica di moltiplicazione secondo la quale **l'intero canale trasmissivo è diviso in sottocanali**, ognuno costituito da una banda di frequenza e separato da un altro grazie ad un piccolo **intervallo di guardia**. Ciò rende possibile la condivisione dello stesso canale da parte di diversi dispositivi che utilizzano bande di frequenze diverse, in modo da poter comunicare contemporaneamente senza problemi di interferenza. In ricezione, opportune operazioni di demodulazione permetteranno di separare i diversi traffici.



- **CDM (Code Division Multiplexing)**, tecnica di moltiplicazione che **moltiplica l'informazione binaria per** una certa parola di codice detta **chip**. La sequenza in uscita dal moltiplicatore sarà successivamente modulata e trasmessa sul canale;
- **WDM (Wave Division Multiplexing) (per segnali ottici)**, tecnica di moltiplicazione molto simile alla FDM che **consente di veicolare molteplici lunghezze d'onda** all'interno dello stesso portante fisico.





## Livello Fisico: mezzi trasmissivi

I mezzi trasmissivi non sono altro che i mezzi con cui vengono trasportati dati ed informazioni. Essi sono divisi in **wired** e **wireless**: i mezzi trasmissivi **wired** sono i soliti cavetti di rame (doppino, cavo coassiale) e la fibra ottica; i mezzi trasmissivi **wireless** sono i suoni, la luce, i raggi infrarossi, la radiofrequenza e gli infrarossi.

Ogni mezzo trasmissivo è caratterizzato dalla banda, dal **delay**, dal costo e dalla facilità di installazione e manutenzione. I mezzi trasmissivi **wired (elettrici)** sono attualmente i più utilizzati, in particolare nelle reti locali: tali mezzi devono rendere sicura la trasmissione dell'energia da un estremo all'altro con il minimo disturbo. Con le tecnologie attuali è possibile realizzare mezzi trasmissivi wired che permettano la trasmissione dei dati ad una velocità fino a 1 Gb/s (1000 Mb/s).

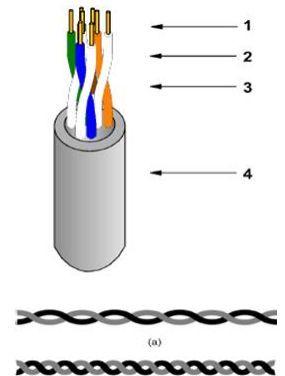
Purtroppo, un mezzo trasmissivo ideale, cioè che non riceva il minimo disturbo o distorsione, non esiste. Piuttosto esistono i mezzi trasmissivi ideali, i quali sono caratterizzati da bassa dissipazione e bassa esposizione ai disturbi: con tali mezzi, quasi tutta la potenza trasferita viene ricevuta dal ricevitore ed il segnale non viene distorto.

Inoltre, tali mezzi sono soggetti anche a **disturbi elettromagnetici**, ai quali ultimamente si sta prestando particolare attenzione. L'utilizzo delle **schermature** ed una **corretta messa a terra** riducono drasticamente i disturbi elettromagnetici, migliorando notevolmente le caratteristiche del cavo. Le schermature più utilizzate nelle LAN sono fogli di alluminio e treccie di fili di rame che avvolgono il cavo.

Altro tipo di disturbo è la **diafonia**, il quale è un fenomeno che si presenta in caso di accoppiamento elettrico tra mezzi trasmissivi vicini non isolati adeguatamente: il segnale trasmesso su un cavo genera un segnale nel cavo vicino, il quale si sovrapporrà al segnale di quest'ultimo.

## Livello Fisico: doppino

Il **doppino** è il classico mezzo trasmissivo della telefonia e consiste in due fili di rame attorcigliati tra loro ricoperti da una guaina isolante. Tale guaina, detta **binatura**, riduce i disturbi elettromagnetici, in particolare quando si utilizzano cavi con più coppie: nel caso di cavi con più coppie, è necessario adottare passi di binatura differenziati da coppia a coppia per ridurre la diafonia. Infatti, se i passi di binatura fossero uguali, ogni conduttore di una coppia si troverebbe affiancato con uno dei due conduttori dell'altra coppia, aumentando la diafonia. Nati come mezzo trasmissivo con banda molto ridotta, attualmente i doppini hanno raggiunto elevate prestazioni grazie ai nuovi materiali isolanti utilizzati.



## Livello Fisico: cavo coassiale

Il cavo coassiale, oggi, è stato sostituito dai doppini e dalla fibra ottica. Viene utilizzato solamente nelle reti geografiche.

Il cavo coassiale a banda base consiste di un filo di rame rigido circondato da una garza metallica che funge da schermo. La banda di tale cavo dipende dalla lunghezza del cavo: più è corto, più è possibile aumentare la velocità di trasmissione.

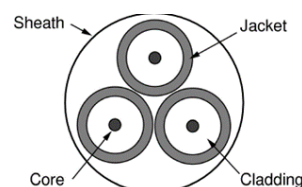
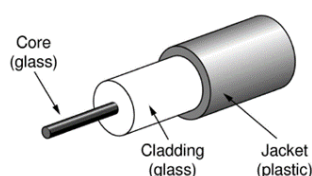
Il cavo coassiale a banda larga, invece, usa la trasmissione analogica, quindi molto simile alla trasmissione televisiva.

## Livello Fisico: trasmissione Power-Line

La trasmissione Power-Line è una tecnologia di trasmissione dati che utilizza la rete di alimentazione elettrica come mezzo trasmissivo: si sovrappone alla corrente elettrica una frequenza più elevata su cui è stata modulata l'informazione da trasmettere.

## Livello Fisico: fibra ottica

La fibra ottica è un cavo composto da un'anima trasparente di silicio puro (**core**) avvolta in un rivestimento di silicio puro con indice di rifrazione diverso (**cladding**). La parte in silicio è ricoperta da una guaina di plastica nera. È importante sapere che core e cladding devono avere indici di rifrazione diversi, in particolare nel cladding dovrà essere minore rispetto all'indice nel core.



Il **core** è il nucleo centrale in cui viaggia la luce, il cladding è il suo rivestimento: la luce entra nel core ad un certo angolo e si propaga mediante una serie di riflessioni generate nell'impatto con il cladding.

Normalmente, molteplici fibre ottiche sono raggruppate insieme intorno ad un filo di metallo che facilita la posa del cavo.

La fibra presenta molteplici vantaggi, quali sono l'immunità ai disturbi, banda decisamente alta (quindi velocità trasmissiva notevolmente elevata) e costo relativamente basso. Gli svantaggi, invece, riguardano la dispersione del segnale e la difficoltà di interfacciamento.

La trasmissione all'interno del core (propagazione della luce) può avvenire in due modalità diverse:

- **Fibra multimodale:** è una fibra il cui nucleo è abbastanza ampio da poter permettere diversi angoli di rimbalzo della luce trasmessa. Essa è divisa in due tipologie:
  - Fibra multimodale **step-index**: la variazione dell'indice di rifrazione tra core e cladding è talmente elevata da causare molta dispersione modale (ritardo della luce);
  - Fibra multimodale **graded-index**: la variazione dell'indice di rifrazione tra core e cladding rallenta i raggi più centrali;
- **Fibra monomodale:** è una fibra nella quale la luce viaggia in maniera diretta senza riflessioni, quindi non è presente dispersione modale.

Parte della luce che si propaga lungo la fibra viene assorbita dal materiale o si diffonde in esso, costituendo una perdita del segnale trasmesso. Minore è l'attenuazione, maggiore è la distanza di trasmissione.

Riguardo, quindi, i segnali ottici, si utilizza la multiplazione WDM, già vista precedentemente. Se le distanze coperte dal segnale multiplato sono notevolmente grandi, può essere necessario rigenerare e risincronizzare il segnale.

Bisogna sapere che quando si trasmette su fibra è necessario effettuare due conversioni: in trasmissione, da elettrico a luminoso; in ricezione, da luminoso ad elettrico.

### Livello Fisico: trasmissione wireless

L'aria è un buon mezzo di trasmissione siccome risulta semplice generare le onde radio: possono viaggiare per lunghe distanze e penetrano facilmente negli edifici. Ogni trasmissione via etere (aria) deve poter utilizzare due stazioni, quali sono trasmittente e ricevente. La trasmissione è resa possibile grazie alle antenne.

### Livello Fisico: radiodiffusione

La radiodiffusione viene utilizzata per la trasmissione analogica in broadcast ed utilizza due tecniche trasmissive in base alla regione di frequenze:

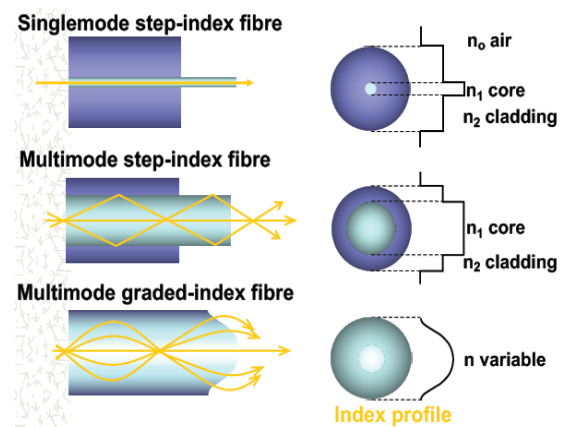
- Nella regione fino al MHz, il segnale segue la curvatura terrestre superando bene gli ostacoli;
- Nella regione dal MHz fino al GHz, il segnale viene assorbito dalla superficie della terra ma viene riflesso molto bene dalla ionosfera.

### Livello Fisico: trasmissione via ponte radio

La trasmissione via ponte radio si utilizza per grandi frequenze (1-40 GHz) ed instaura una comunicazione ottica rettilinea punto a punto tra sorgente e destinazione: ciò significa che sorgente e destinazione devono essere allineati e ben visibili tra loro. Utilizzando diverse stazioni ripetitrici, è possibile raggiungere elevate distanze. Le connessioni a breve distanza utilizzano frequenze più alte, antenne più piccole e sono soggette a minori interferenze.

### Livello Fisico: trasmissioni satellitari

Il satellite si comporta come una normale stazione ripetitrice. Il segnale viene mandato dalla stazione terrestre al satellite, il quale lo rimanda alla stazione di destinazione sulla terra. Il satellite opera su molteplici bande di frequenza, utilizzando la tecnologia FDM, gestendo molteplici comunicazioni contemporaneamente. Le bande utilizzate si aggirano tra 1 e 10 GHz.



## Livello Data-Link

Il compito del **data-link** è quello di organizzare il trasferimento di dati tra due dispositivi adiacenti e connessi tra loro. Il data-link si occupa di **incapsulare i dati in frame (pacchetti)**, di **rilevare e correggere errori** nei pacchetti, assicurare una consegna affidabile, assicurare il controllo del flusso (il mittente viene obbligato a rispettare una **certa velocità con cui spedire** i pacchetti, evitando che il destinatario non riesca a gestire un carico troppo pesante e che perda i pacchetti).

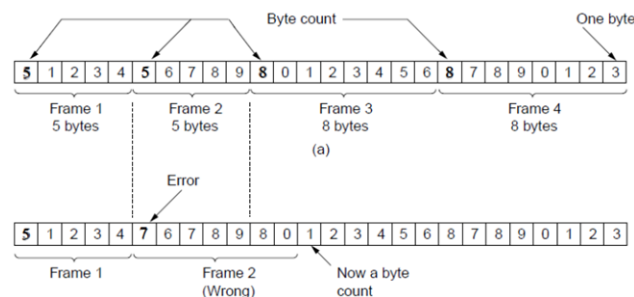
In **trasmissione**, il data-link **raggruppa i dati provenienti dallo strato superiore in frame, aggiunge header e trailer** per **ogni frame**, imposta i **bit** per la **rilevazione degli errori**, controllo di flusso, ecc., per poi mandarli al livello fisico; in **ricezione**, il **data-link riceve i dati dallo strato fisico, rimuove header e trailer da ogni frame, controlla e gestisce gli errori** di trasmissione e **passa i dati al livello superiore**, il livello di rete. Tali funzioni sono realizzate da un adattatore.

Start flag	type	seq	ack	Pacchetto (livello rete)	Check sum	End flag
------------	------	-----	-----	--------------------------	-----------	----------

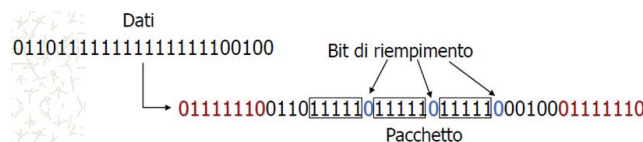
### Livello Data-Link: suddivisione in frame (Framing)

Lo strato fisico non può effettuare tutti questi controlli, di conseguenza non può garantire un trasferimento senza errori: perciò il **data-link provvede a suddividere i dati in frame** in modo da poterli controllare tutti in ricezione, permettendo l'identificazione di ognuno di essi tramite apposite tecniche:

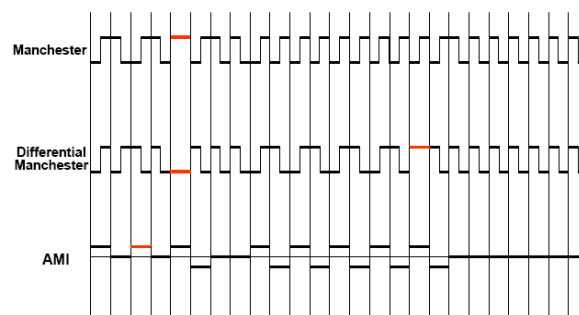
- **Conteggio dei caratteri:** un campo dell'intestazione indica il numero dei caratteri nel pacchetto, in modo da capire quando finisce e quando inizia il prossimo;



- **Indicatori di inizio e fine:** i pacchetti iniziano e terminano con una sequenza speciale di bit, chiamata **byte flag**, dal valore **01111110**. Per evitare che tale byte sia presente nel contenuto del pacchetto, si inserisce uno 0 dopo ogni gruppo di cinque bit pari ad 1 consecutivi. Tale bit viene eliminato in ricezione;

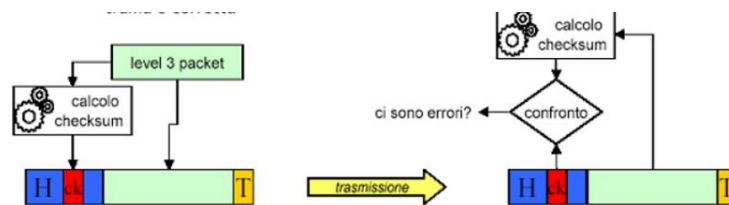


- **Violazione di codifica:** è possibile segnalare la fine e l'inizio di un pacchetto commettendo una violazione riguardo la codifica utilizzata.



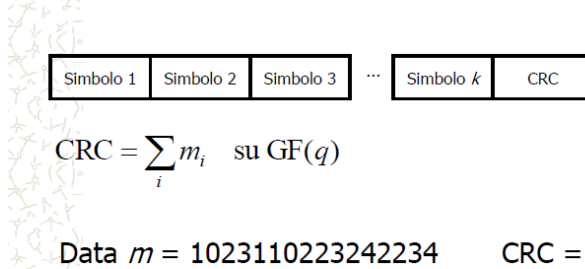
### Livello Data-Link: rilevazione di errori

Il livello fisico offre un canale di trasmissione non privo di errori. Per rendere **possibile la rilevazione di errori**, viene inserito **nell'header** un campo denominato **checksum**, il quale è il risultato di un calcolo effettuato con i bit del corpo del pacchetto. La destinazione, una volta ricevuto il pacchetto, effettua **di nuovo il calcolo del checksum** e lo **compara** con il valore posto **nell'header**: se i valori coincidono, il corpo del pacchetto è corretto.



Altra tecnica per la rilevazione degli errori è la **CRC (Cyclic Redundancy Code)**, la quale consiste nel considerare i dati da inviare come un **polinomio**: il trasmettitore accoda ai dati del pacchetto una serie di bit di controllo, i quali saranno inclusi nel frame; trasmettitore e destinatario si accorderanno riguardo il **polinomio generatore** calcolato tramite i **campi di Galois**. In ricezione, si divide il polinomio associato al frame per il polinomio generatore: se il resto sarà nullo non ci saranno errori, altrimenti sono certamente avvenuti errori.

**Cyclic Redundance Check-sum su GF(5).**



**EX:** Il campo di Galois è un campo  $(+, *)$  con un certo numero di elementi su cui sono definite due operazioni aritmetiche che godono della proprietà commutativa ed associativa. Le operazioni vengono effettuate seguendo l'aritmetica binaria.

### Livello Data-Link: controllo del flusso

Può capitare che il mittente sia in grado di **trasmettere più velocemente rispetto alla capacità di ricezione** del destinatario. Nel caso il destinatario faccia da **collo di bottiglia**, si inizierebbero a **perdere frame**. Il protocollo dovrà poter gestire questa situazione.

Un metodo per gestire il flusso è quello di valutare i tempi di risposta del ricevente ed **inserire del ritardo** nel processo di **trasmissione**: ciò è un problema perché il tempo di risposta **non è una costante**, quindi comporterebbe un grosso limite in termini di efficienza.

### Tecniche RDT (Real Data Transport)

Vediamo quindi alcune tecniche riguardanti la gestione del flusso:

**RDT 1.0:** il canale sottostante è **perfettamente affidabile**, quindi esente da errori senza perdite di pacchetto. Il mittente invia i dati nel livello fisico, mentre il destinatario li legge dal livello fisico.

**RDT 2.0:** il canale sottostante può contenere errori, rilevabili grazie all'**ACK (Acknowledge)** e al **NAK**:

- L'**ACK** è una **notifica positiva** comunicata dal ricevente che afferma di aver ricevuto il pacchetto correttamente;
- Il **NAK** è una **notifica negativa** comunicata dal ricevente che afferma di aver ricevuto il pacchetto contenente errori. Nel caso si riceva un **NAK**, il pacchetto viene **ritrasmesso**.

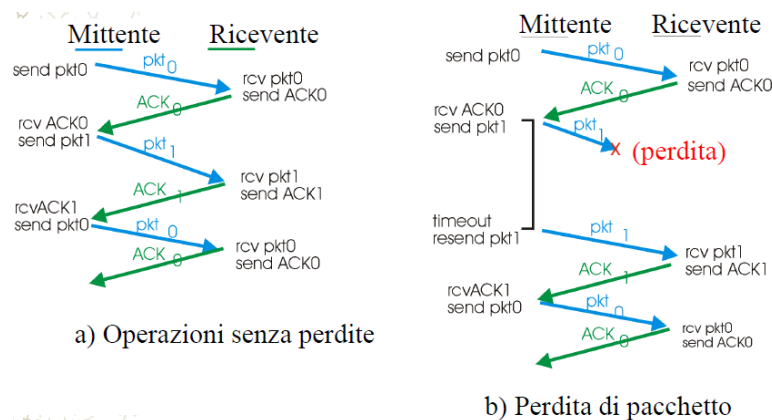
**RDT 2.0 introduce**, rispetto al RDT 1.0, la **rilevazione degli errori** e il **feedback** da parte del destinatario.

Sostanzialmente, tale procedura viene chiamata protocollo **stop-and-wait**. Tale protocollo prevede che il mittente, dopo aver trasmesso un pacchetto, debba aspettare un riscontro dal destinatario, quale è l'**ACK** o il **NAK**. Si nota che il traffico dati è **simplex**, ma il canale è **half-duplex** o **full-duplex** perché i dati viaggiano comunque in entrambe le direzioni. Può, però, presentarsi un grave problema: il **feedback** da parte del destinatario potrebbe arrivare **corrotto**: in tal caso, il mittente non sa cosa sia accaduto al destinatario. Una soluzione sarebbe quella di aggiungere il **checksum al feedback**, in modo tale che nel caso arrivi alterato si rinvii il pacchetto. Tale metodo produce pacchetti duplicati tra sender e receiver e, inoltre, il receiver non sa se il pacchetto ricevuto sia nuovo o duplicato: si aggiunge, quindi, un nuovo campo al pacchetto, quale è il numero di sequenza (l'introduzione del **numero di sequenza** riguarda RDT 2.1).

**RDT 3.0:** il canale sottostante può contenere errori e addirittura perdite, quindi non solo c'è il rischio che si **perda** il **pacchetto**, bensì è possibile **perdere** anche il **feedback**! Ciò rende insufficiente le tecniche viste poco fa. Una soluzione è quella di far attendere al mittente un **ACK** per un **determinato tempo**: nel caso non riceva alcun ACK ritrasmetterà il pacchetto. Un altro problema si presenta nel caso il **pacchetto** o l'**ACK** sia **in ritardo**: in tal caso la trasmissione verrà

**duplicata**, ciò è già gestito dai **numeri di sequenza**, quindi il **receiver** dovrà specificare il **numero di sequenza del pacchetto** a cui il **feedback** fa riferimento.

**RDT 3.0 introduce** un **timer** per il quale, se alla scadenza non si ha ricevuto il feedback da parte del destinatario, si rispedisce il pacchetto; oltre al timer, introduce nell'ACK un campo contenente il numero di pacchetto a cui il feedback fa riferimento, nel caso siano stati inviati dei duplicati.



### Tecniche con pipeline

RDT è poco efficiente siccome utilizza il **protocollo stop-and-wait**. Un protocollo con pipeline migliorerebbe decisamente le prestazioni, siccome il mittente trasmetterebbe anche senza feedback. In parole povere, il mittente trasmette senza attendere l'ACK, mandando in **buffering molteplici pacchetti** presso il ricevente che, una volta elaborato il pacchetto, manderà il feedback. Tale tecnica con pipeline è implementata dai protocolli a **finestra scorrevole**: permettono di **inviare K frame prima di fermarsi ad aspettare un riscontro** ( $K$  stabilito e fisso, con  $K \leq 2^n - 1$ , dove  $n$  è il numero di bit che rappresenta il massimo numero di sequenza). Poiché in ricezione arrivano **molteplici frame**, essi **devono essere numerati** in modo da capire quali vengano persi. In trasmissione devono essere memorizzati i frame inviati in attesa del feedback, in modo da poterli rinviare in caso di necessità. Ad **ogni feedback ricevuto**, viene **liberato il buffer** associato al frame a cui il feedback fa riferimento. Anche in ricezione si deve disporre di un buffer, in modo da memorizzare i frame fuori sequenza. I frame di cui è stato mandato il feedback passano al livello di rete e il relativo buffer viene liberato.

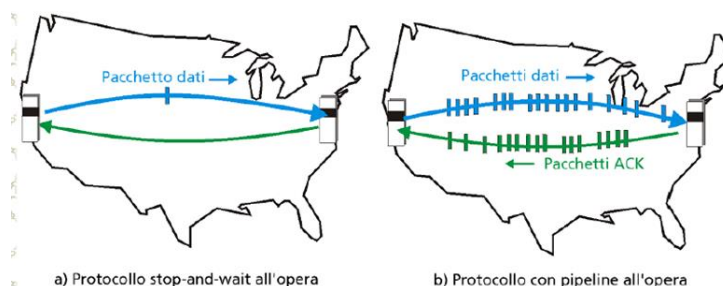


Precisamente, si usa una **"finestra"** per **contenere i frame da inviare**. La dimensione iniziale della finestra è pari a  $K$ .

Riguardo il mittente, durante la trasmissione la **finestra scorre in avanti**: ad **ogni frame inviato**, il **limite sinistro** della finestra **cresce di uno, fino** al chiudersi. Una volta chiusa, cioè quando sono stati inviati tutti i  $K$  frame, la trasmissione si ferma; per **ogni frame riscontrato**, invece, il **limite destro** della finestra **aumenta di uno**, permettendo al trasmittente di inviare nuovi frame. La dimensione della finestra varia da 0 a  $K$ .

Riguardo il **destinatario**, anch'egli utilizza una **finestra che scorre in avanti**: ad **ogni frame ricevuto**, il **limite sinistro** della finestra **cresce di uno**; per **ogni ACK inviato**, il limite **destro cresce di uno**. Anche la dimensione di questa finestra varia da 0 a  $K$ : quando la finestra si azzerà significa che si devono inviare tutti i riscontri perché la ricezione è bloccata.

Riguardo il **buffer**, il mittente **conserva tutti i frame** di cui non si è ancora ricevuto l'ACK, nel caso sia necessario rinviarli. Nel caso il buffer sia pieno, il data-link del mittente non accetterà altri pacchetti dal livello di rete. Inoltre, l'invio di **ACK** e **NAK** prevede il numero di sequenza del frame a cui si fa riferimento.





Una tecnica utilizzata nei protocolli pipeline per l'invio degli ACK è il **piggybacking**: per motivi di efficienza, l'**ACK non viene spedito in un frame vuoto**, bensì in un frame di dati inserendolo **nell'header**. Quando si trasmette un ACK, quindi, si aspetta il momento in cui si debba trasmettere un frame di dati. Nel caso non si debba inviare nulla, si invia comunque un frame vuoto con un ACK, prima che scada il timer.

Esistono due protocolli che utilizzano la tecnica a **finestra scorrevole**: **Go-Back-N** e **selective reject**.

- **Go-Back-N**: introduce i **riscontri cumulativi**: un feedback N è interpretato come **riscontro cumulativo** perché indica che tutti i pacchetti con numero di sequenza  $\leq N$  sono stati correttamente ricevuti dal receiver. Introduce anche un **timer per il primo pacchetto della finestra in transito**: se interviene un timeout vengono rispediti tutti i pacchetti presenti nella finestra. Il receiver, invece, invia un feedback cumulativo riferente al pacchetto N se i pacchetti con numero di sequenza  $\leq N$  sono stati ricevuti ed in ordine. In tutti gli altri casi, il receiver rispedisce un **ACK** relativo al pacchetto più recente con l'ordine giusto. Sarebbe inutile conservare i pacchetti non in ordine siccome verrebbe rispedito dopo il timeout.

Il vantaggio principale riguarda il buffering, il quale non viene utilizzato siccome non c'è bisogno di memorizzare alcun pacchetto fuori ordine. L'unica cosa da conservare è il numero di sequenza del prossimo pacchetto da spedire.

Nel caso al mittente arrivi un **NAK** al posto dell'**ACK**, egli rinverrà nuovamente quel frame: il destinatario lo rifiuterà siccome lo avrà già accettato ma invierà comunque l'**ACK**, il quale farà proseguire la finestra del mittente.

- **Selective reject**: il ricevente **invia riscontri specifici per tutti i pacchetti ricevuti correttamente**, quindi il mittente **ritrasmette solamente i pacchetti per il quale non ha ricevuto l'ACK**. Anche qui è presente un timer per i pacchetti non riscontrati. In ricezione i frame fuori ordine, ma nella finestra, vengono mantenuti nei buffer finché non siano stati ricevuti tutti i frame intermedi. In questo modo si riduce drasticamente il numero di pacchetti ritrasmessi.

Sostanzialmente, quindi, quando si ha un frame perduto, il destinatario riceverà il frame successivo fuori sequenza di cui manderà l'ACK correlato. A differenza del Go-Back-N, il protocollo selective reject provvederà con lo **spedire solamente i pacchetti perduti**, proseguendo con la normale sequenza. Una volta ricevuto il pacchetto precedentemente perso, il destinatario libererà tutti i buffer e manderà un ACK riferito al pacchetto ricevuto. In caso di perdita dell'**ACK**, provvederà il timer come già spiegato. Nel caso della selective reject è necessario ridurre la finestra ad una dimensione pari a  $K \leq 2^{(n-1)}$ .

### Livello Data-Link: collegamenti di rete

Il livello data-link gestisce due tipi di collegamenti: **punto-a-punto** e **broadcast**. Parlando del **broadcast**, quando una **trama** viene inviata sul mezzo condiviso, tutti i dispositivi collegati la ricevono: ogni **scheda di rete (NIC)** confronta il suo **MAC address** con quello di destinazione del pacchetto. Nel caso i **MAC address** coincidano, il NIC corrispondente accetterà il pacchetto anziché ignorarlo.

Nel caso più stazioni tentino di **trasmettere allo stesso tempo sullo stesso canale trasmissivo**, si genera una **collisione**. Sia T il tempo di una trasmissione tra due stazioni, una collisione viene rilevata in tempo 2T.

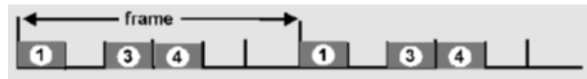


I protocolli che regolano la trasmissione in modo da non far presentare **collisioni** sono detti **protocolli ad accesso multiplo**. Tali protocolli **regolano** anche la **velocità** con cui i dispositivi possono comunicare: se un solo nodo deve comunicare, può farlo con una **velocità pari a K bps**; se N nodi devono comunicare, possono farlo con una velocità pari a **K/N bps ciascuno**. Tali protocolli sono suddivisi in tre categorie:

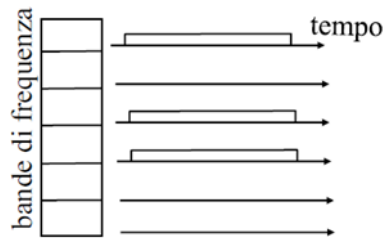
- **Protocolli a suddivisione del canale**: il **canale** viene **suddiviso** in **parti più piccole**;
- **Protocolli ad accesso casuale**: i **canali non** vengono **divisi** e possono presentarsi collisioni. I nodi coinvolti ritrasmettono ripetutamente i pacchetti;
- **Protocolli a rotazione o collision free**: **ciascun nodo ha il suo turno** per trasmettere, il quale viene **regolato in base alla quantità** di dati da trasmettere.

## Protocolli a suddivisione del canale

1. **TDMA (Time Division Multiple Access)**: suddivide il canale in **slot di intervalli di tempo**.



2. **FDMA (Frequency Division Multiple Access)**: suddivide il canale in **bande di frequenza diverse**. Se uno slot o una banda rimane vuota, allora sarà inattiva.

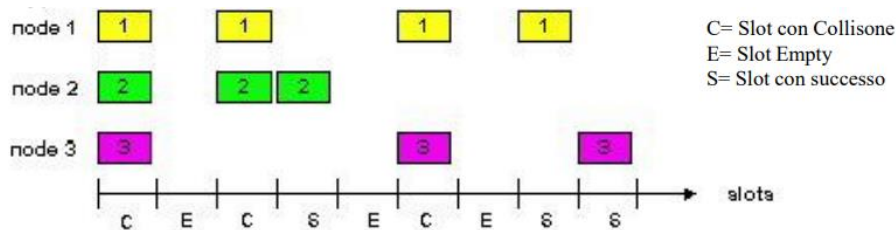


## Protocolli ad accesso casuale

Con i protocolli ad accesso casuale, il **nodo mittente trasmette** sempre alla **massima velocità** consentita dal canale, cioè K bps. Non essendoci coordinazione tra i nodi, c'è sempre il rischio di collisione. Varie implementazioni di tale protocollo sono le seguenti:

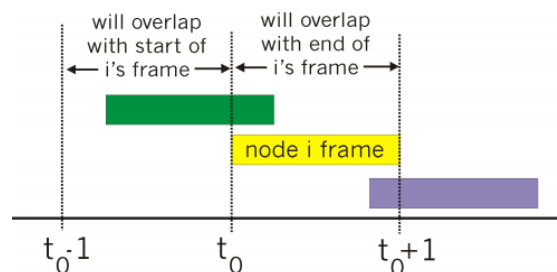
### 1. Slotted ALOHA

Quando a un nodo arriva un nuovo pacchetto da spedire, il nodo attende fino all'inizio dello slot successivo. **Se non si verifica alcuna collisione**, si può **trasmettere un nuovo pacchetto nel prossimo slot**. Nel caso, invece, si verifichi una **collisione**, il nodo la rileva prima della fine dello slot e **ritrasmette con probabilità P il suo pacchetto negli slot successivi**. Tecnica molto semplice che consente ad ogni nodo di sfruttare la massima velocità del mezzo trasmissivo, ma che presenta anche un grande svantaggio: in caso di collisioni potrebbero esserci di mezzo slot inutilizzati, siccome si decide in modo casuale con probabilità P quando ritrasmettere il pacchetto che ha riscontrato la collisione.



### 2. ALOHA puro

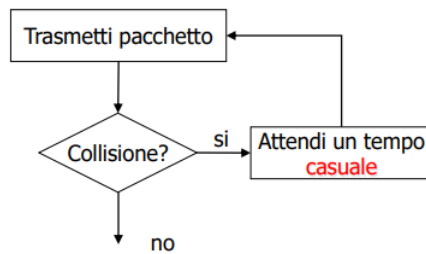
A differenza dello Slotted ALOHA, **appena arriva un pacchetto viene trasmesso immediatamente**, aumentando i rischi di collisione: il fatto che venga trasmesso subito implica il fatto che la trasmissione non avvenga all'inizio dello slot, quindi c'è il rischio di "invadere" un altro slot. Le probabilità di provocare una collisione sono decisamente più alte.



### 3. Accesso multiplo a rilevazione della portante – CSMA

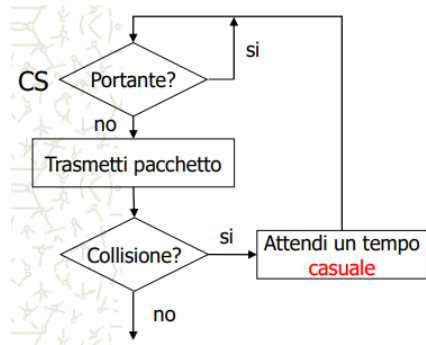
Con il **CSMA**, il **nodo si pone in ascolto prima di trasmettere**: se il canale è libero, allora trasmette il pacchetto; se qualcun altro sta già trasmettendo, il nodo aspetta un altro intervallo di tempo. Può capitare, però, che agli altri nodi sul canale non venga notificata in tempo la trasmissione di un certo nodo, facendo risultare libero il canale (ritardo di propagazione): nel caso si effettuino, quindi, due o più trasmissioni contemporaneamente, si genera una collisione, la quale bloccherà le trasmissioni. Notificata la collisione, i nodi attenderanno un tempo casuale per la prossima trasmissione. Maggiore è il ritardo di propagazione e maggiore è la probabilità di riscontrare una collisione.





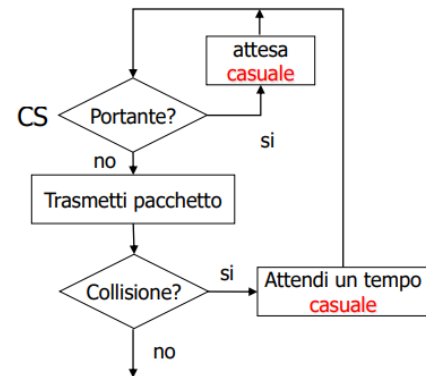
#### 4. CSMA persistente

Il **CSMA persistente** ascolta e controlla continuamente il canale, attendendo che si liberi. In caso di **collisione**, **attende un tempo casuale e ripete i controlli**. Tale tecnica è problematica in caso di tre nodi: non appena il nodo A finirà di trasmettere, B e C troveranno il canale libero e trasmetteranno contemporaneamente, causando una collisione.



#### 5. CSMA non persistente

Il **CSMA non persistente** si differenzia dal **persistente** dal fatto che quando un **nodo vuole trasmettere ma trova il canale occupato**, **non resta ad ascoltare in continuazione ma attende un tempo casuale e riprova**. Tale meccanismo riduce sensibilmente le collisioni, siccome ogni stazione attende un tempo randomico. Il problema di tale tecnica è che nel caso ci siano molteplici nodi connessi alla rete, il tempo di attesa può crescere enormemente.

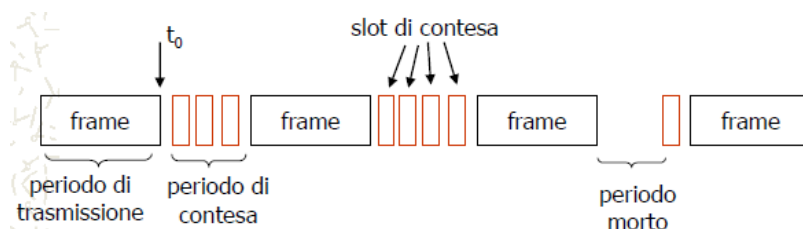


#### 6. CSMA p-persistente

Nel **CSMA p-persistente**, **chi vuole trasmettere ascolta continuamente il canale e**, nel caso sia libero, **trasmette con probabilità P nello slot attuale**. Nel caso non trasmetta, quindi con probabilità 1-P, attende il prossimo slot e, se libero, riprova a trasmettere con probabilità P.

#### 7. CSMA/CD

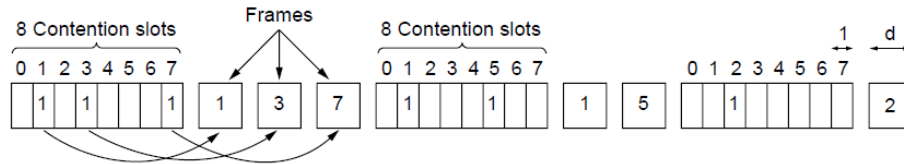
Nel **CSMA/CD**, **ogni nodo ascolta continuamente il canale e trasmette solo se è libero**; se si verifica una collisione, i nodi bloccano la trasmissione. A seguito della collisione, il nodo mittente trasmette una serie di **jamming** (interferenze) per comunicare a tutti i nodi la collisione. Il nodo mittente riproverà poi la trasmissione dopo un tempo casuale.



## Protocolli a rotazione o collision free:

### 1. Mappa di bit elementare:

Sulla rete ci sono molteplici nodi, dei quali sono alcuni dovranno trasmettere. La **mappa di bit elementare permette ad ogni nodo di notificare, durante un periodo di contesa**, se deve trasmettere o meno: ogni nodo trasmetterà **1** nel caso debba **trasmettere**, **0 altrimenti** (tale bit viene denominato come **notifica**). I nodi che trasmetteranno 1, dopo il periodo di contesa, potranno trasmettere i propri **frame**, uno per volta onde evitare collisioni. Se un nodo comunica la notifica una volta finito il periodo di contesa, quest'ultimo verrà scartato e dovrà attendere il prossimo periodo di contesa, il quale si presenterà una volta finite le trasmissioni dati.

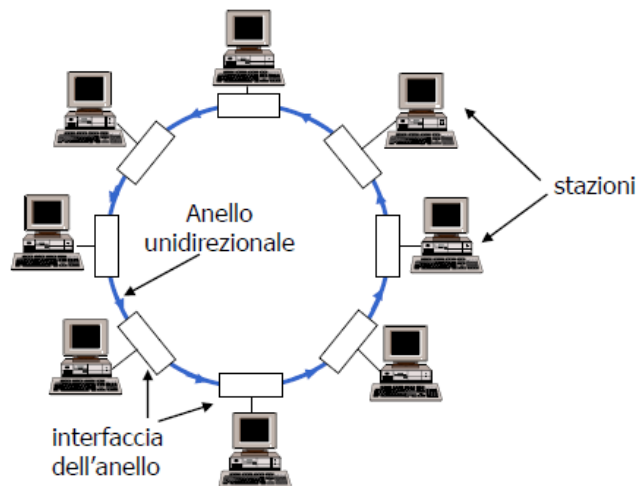


Le notifiche sono controllate da un'apposita stazione. L'efficienza di tale sistema è bassa, siccome per un gran numero di nodi potrebbe sovraccaricarsi la stazione di controllo.

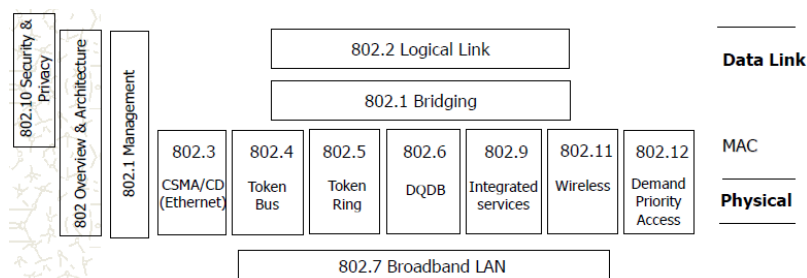
### 2. Token ring:

Il sistema token ring **non** utilizza un mezzo **broadcast**, bensì un **insieme di nodi punt-a-punto**. Tale protocollo prevede l'utilizzo di una **rete** con topologia **ad anello**. Sull'anello circola un piccolo **frame detto token**, il quale autorizzerà la trasmissione al nodo cui ne terrà il possesso. Il token è una sequenza di bit che circola sull'anello quando i nodi sono tutti in **idle**. Quando un nodo vuole trasmettere, si impossessa del token. Ovviamente i nodi senza il token non sono autorizzati a trasmettere.

Tale protocollo è poco efficiente in caso di basso carico, siccome la stazione che deve trasmettere deve comunque attendere di ricevere il token, anche se il canale è libero. Se il carico è alto (cioè tutti vogliono trasmettere), il token è il sistema perfetto!



## Livello Data-Link: standard IEEE 802, MAC ed LLC



Il progetto IEEE 802 si occupa di fornire una serie di standard per le **LAN** e le **MAN** ai livelli data-link e fisico.

Il progetto IEEE 802 suddivide il data-link in due sottolivelli: **LLC** e **MAC**.

Il **sottolivello LLC (Logical Link Control)** è comune a tutte le LAN e costituisce l'interfaccia verso il livello rete. In **trasmissione** si occupa di "preparare" i dati verso il livello fisico **inserendo** un suo **header** con le informazioni riguardanti il numero del frame, il feedback, ecc.. In **ricezione**, invece, si occupa di **rimuovere l'header** per poi passare i dati al livello di rete.

Il **sottolivello MAC (Media Access Control)** è specifico di **ogni LAN** e risolve il problema della condivisione del mezzo trasmissivo, quindi: in **trasmissione** sceglie chi può usare il canale; in **ricezione** determina a quali sistemi è destinato un certo pacchetto. La soluzione riguardo la trasmissione è data da vari algoritmi di **MAC**; la soluzione riguardo la ricezione implica la presenza di indirizzi a livello MAC, in modo da trasformare la trasmissione **broadcast** in:

- **Trasmissione punto a punto**, se l'indirizzo di destinazione è unico;
- **Trasmissione punto a molti**, se l'indirizzo di destinazione indica molteplici sistemi;
- **Trasmissione broadcast**, se l'indirizzo di destinazione indica tutti i sistemi.

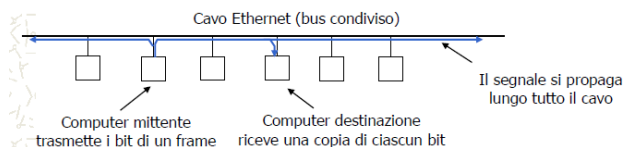
L'**indirizzo MAC** (chiamato anche **indirizzo LAN**, **indirizzo fisico** o **indirizzo Ethernet**) è paragonabile al codice fiscale di una persona: è univoco e non dipende dalla "posizione" del dispositivo. È importante non fare confusione con l'indirizzo IP, il quale è paragonabile all'indirizzo dell'abitazione (certo, è univoco anche quest'ultimo, ma non fa riferimento al singolo device).

Ogni adattatore (scheda di rete) in una LAN ha un proprio indirizzo MAC, il quale ha sei coppie ognuna formata da due caratteri esadecimali, quindi FF-FF-FF-FF-FF-FF.

È importante sapere che il **MAC** è sempre **connectionless**, quindi non si occupa della correzione degli errori riguardo la trasmissione. In ogni caso, le LAN sono reti sicure ed affidabili, quindi non è necessario controllare e correggere errori. Se ciò fosse richiesto, se ne occuperebbe il **sottolivello LLC**.

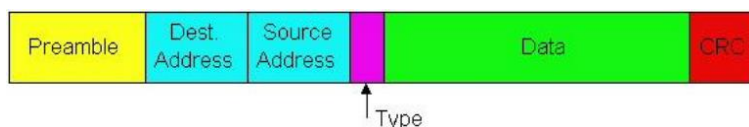
### Livello Data-Link: Ethernet

**Ethernet** è una serie di tecnologie standardizzate per reti locali, che ne definisce le specifiche tecniche a livello fisico e a livello MAC.



I pacchetti Ethernet sono composti dai seguenti campi:

- **Preambolo**: serve a "svegliare" l'adattatore del ricevente e a sincronizzare il clock del mittente e del ricevente;
- Indirizzo **MAC destinazione**;
- Indirizzo **MAC sorgente**;
- **Ethertype (campo di tipo)**: indica il tipo di protocollo del livello di rete in uso;
- **Payload (data)**: contiene i veri dati del pacchetto, per un massimo di 1500 byte;
- **CRC**: consente all'adattatore di rilevare eventuali errori nel pacchetto.



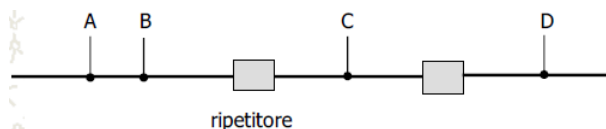
Un frame valido deve essere lungo almeno 64 byte.

**EX:** L'insieme dei protocolli Ethernet domina tutt'ora il mercato delle LAN. Originariamente la velocità di trasmissione era 10Mbit/s su cavo coassiale, invece oggi si usano mezzi trasmissivi migliori in modo da comportare prestazioni migliori, fino a 10Gbit/s (Gigabit Ethernet). Sul mezzo condiviso l'assenza di trasmissione è identificata dall'assenza di segnale, quindi non sono possibili codifiche che utilizzino il segnale a 0 volt per identificare un bit. Lo standard Ethernet utilizza la codifica Manchester con segnali a +0.85V e -0.85V.

## Livello Data-Link: dispositivi

Prima di andare avanti, è necessario introdurre i **transceiver (ricetrasmittitore)**, i quali sono dispositivi **composti da un trasmettitore e da un ricevitore**, i quali condividono alloggiamento e circuiti. Vengono utilizzati su connessioni **half-duplex** e **full-duplex**.

Per costruire reti più ampie, può essere necessario l'utilizzo dei **ripetitori**. Un ripetitore opera al livello fisico e non fa altro che **amplificare e ritrasmettere il segnale**. Fra due transceiver (la cui distanza massima può essere fino a 2.5 Km) possono esserci massimo 4 ripetitori.



Introduciamo ora i seguenti dispositivi:

Il **bridge** è un dispositivo hardware o software in grado di collegare tra loro due o più reti diverse (solitamente delle LAN) in modo che possano comunicare tra loro. Sostanzialmente anche lo **switch** opera nella stessa maniera, ma offrendo una differenza sostanziale: il bridge **"unisce"** le reti che collega, formando una LAN più grande, quindi con un unico dominio di collisione; lo **switch**, invece, permette la comunicazione tra le diverse reti ma tenendole costantemente separate, con domini di collisione separati e diversi, confinando i malfunzionamenti dovuti a stazioni difettose, aumentando la sicurezza della rete. Sia **bridge** che **switch** sono composti da un certo **numero di porte**. Solitamente il numero di porte dello switch è maggiore rispetto al numero di porte del bridge.

Sia il **bridge** che lo **switch**, riguardo la **ricezione**, usano una **tabella di indirizzi MAC** per capire chi è il reale **destinatario**. Tale tabella permette di accoppiare ad ogni porta un indirizzo MAC. Al primo boot la tabella sarà vuota, quindi si sentirà la necessità di riempirla: basterà mandare pacchetti da un nodo all'altro e il gioco è fatto! Il problema è che, avendo la tabella vuota, non si conosce la porta per il nodo di destinazione. Quindi si prosegue mandando in **broadcasting** il pacchetto: si salveranno porta e MAC del dispositivo che risponderà. Sostanzialmente, quindi, bastano pochi pacchetti per poter riempire la tabella.

Ogni **switch** è composto da:

- **Memoria condivisa**, nella quale vengono memorizzati i pacchetti, i quali verranno poi mandati alla porta di destinazione;
- **Fabric**, dispositivo che recapita le trame in input verso una porta di output;
- **Architettura bus**, i dati passano tramite un bus interno ad alta velocità. La comunicazione interna usa TDMA (Time Division Multiple Access).

## Livello Data-Link: Virtual LAN (VLAN)

Sappiamo che, tramite l'utilizzo dello switch, è possibile dividere una LAN in più reti locali i cui domini di broadcast sono separati ma che condividono comunque la stessa infrastruttura fisica. Tali reti vengono dette **VLAN (Virtual Local Area Network)** e **possono comunicare tra loro solo a livello di rete**.

Le porte **Trunk** sono delle porte che permettono di trasferire **frame** appartenenti a **VLAN differenti**.

Ciascuna VLAN è identificata da un numero, detto **VID (VLAN ID)**. Per trasmettere dati, è necessario che si possa identificare a quale VLAN appartiene ogni pacchetto. Per fare questo, il frame 802.1Q è caratterizzato dal VID, il quale verrà interpretato dallo switch.

