



# La comunicazione

## LEZIONE

# 13



Da sempre l'uomo ha avuto la necessità di **comunicare informazioni a distanza**. I primi tentativi possono essere considerati quelli con i segnali di fumo o i tamburi per trasmettere informazioni legate alla sopravvivenza.

Nel corso dei secoli la comunicazione ha cambiato mezzo di trasmissione, dai corrieri a cavallo ai piccioni viaggiatori, fino ad arrivare ai segnali elettrici o elettromagnetici per trasmettere messaggi di tipo economico, culturale, personale.

La comunicazione a distanza tra persone o tra dispositivi prende il nome di **telecomunicazione**. Tale termine, che deriva dall'aggettivo greco *tele* ("lontano") e dal verbo latino *comunicare*, comprende tutti i dispositivi, le tecniche e le infrastrutture necessari al trasferimento dell'informazione superando i vincoli di spazio e di tempo esistenti fino a pochi anni fa.

L'avvento dell'informatica ha profondamente cambiato il modo di comunicare. Dall'incontro tra telecomunicazioni e informatica è nata la **telematica**, neologismo derivato dalla fusione delle parole *telecomunicazioni* e *informatica*.

La **telematica** si occupa della trasmissione a distanza di informazioni (dati, testi, suoni, immagini, filmati) attraverso l'uso delle tecnologie informatiche nell'ambito delle telecomunicazioni. Alcuni esempi di applicazioni telematiche sono gli sportelli bancomat, i fax e i terminali per la lettura delle carte di credito.

## Elementi di base della comunicazione a distanza

È possibile individuare elementi comuni che costituiscono un atto comunicativo indipendentemente dal tipo di comunicazione che sta avvenendo. Vediamo quali sono gli elementi che entrano in gioco durante una comunicazione tra due persone e che, come vedremo, possono essere estesi anche alla comunicazione tra due computer.

- I **soggetti** interessati alla comunicazione. Le persone che colloquiano hanno ruoli di **mittente** o **sorgente** (colui che trasmette l'informazione) e **destinatario** (colui che riceve l'informazione).
- Il **messaggio**. È l'informazione che si vuole trasmettere, che può essere di vario tipo: dati, testo, suoni, immagini, video e così via.
- Il **mezzo trasmissivo** utilizzato per la comunicazione: l'aria se il colloquio avviene verbalmente con mittente e destinatario posti faccia a faccia, i cavi telefonici se il colloquio avviene per telefono.
- Il **linguaggio** utilizzato per comunicare. Entrambi i soggetti devono parlare la stessa lingua: l'italiano, per esempio, oppure è necessario ricorrere a un interprete o traduttore.
- Le **regole** da seguire per poter comunicare, dette **protocollo di comunicazione**. Le due persone devono parlare a turno senza sovrapporsi, possono usare cenni di assenso con il capo per far capire all'interlocutore che quanto comunicato è chiaro. Se le persone sono più di due occorrono **regole per gli interventi**, sempre per evitare la sovrapposizione.
- **Individuare e correggere** eventuali **errori** durante la comunicazione. Per esempio, i soggetti devono **ripetere** il messaggio se questo non è stato correttamente compreso.



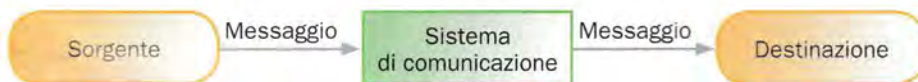


## Visione sistemistica delle telecomunicazioni

Il tema della comunicazione a distanza può essere affrontato come un **sistema** in grado di scambiare l'informazione tra due soggetti: il mittente e il destinatario.

Chiameremo genericamente **sistema di telecomunicazione (TLC)** un sistema composto da dispositivi che consentono la comunicazione a distanza (tele) dell'informazione tra due o più persone o apparati.

È importante utilizzare un **modello** che sia il più ampio possibile, poiché deve essere valido per qualsiasi tipo di comunicazione. Il nostro può essere rappresentato nella figura seguente:



Ricordiamo che il messaggio può essere di vari tipi a seconda del contesto considerato. Può essere voce se parliamo al telefono, dati se trasmettiamo a distanza dati anagrafici di un cliente, video se stiamo considerando una videoconferenza. Nell'Unità di apprendimento 1 del Blocco tematico A abbiamo visto che un sistema può essere scomposto in **sottosistemi**. Individuiamo ora i principali sottosistemi del nostro sistema di comunicazione.



- Il **mittente** è il sottosistema iniziale che produce l'informazione da trasmettere a distanza, racchiusa in un messaggio. Un mittente inoltra il messaggio al sottosistema trasmettitore.
- Il **sottosistema trasmettitore** si occupa di trasformare il messaggio in un **segnale fisico** che possa essere trasmesso sul **canale**. Un compito particolarmente importante di questo sottosistema è la **gestione del protocollo**, ovvero lo stabilire regole ben precise durante la trasmissione in modo da assicurare la corretta interpretazione da parte del ricevitore.
- Il **sottosistema canale** si occupa di trasmettere il segnale fino al ricevitore, posto anche a notevole distanza. La trasmissione dei segnali d'informazione è disturbata dalla presenza di altri segnali indesiderati che, genericamente, prendono il nome di **rumore (noise)**.
- Il **sottosistema ricevitore**, infine, si occupa di analizzare il messaggio ricevuto, verificare se vi sono stati **errori** in fase di trasmissione e in caso affermativo determinare la corretta o, meglio, la più probabile informazione trasmessa.
- Il **destinatario** è il sottosistema finale che memorizza e utilizza l'informazione ricevuta.



## LEZIONE

# 13



### Comunicazione verbale

#### Soggetti

Mittente e destinatario sono i due interlocutori. Questi ruoli si alternano nel tempo a seconda di chi in un certo istante sta parlando (mittente) e di chi sta ascoltando (destinatario).

#### Messaggio

L'informazione da comunicare è rappresentata dall'idea posseduta da chi sta parlando al telefono in un certo istante e che si desidera trasmettere all'altro interlocutore.

#### Canale

**Aria.** Il rumore del canale è legato ai disturbi dovuti ai rumori di un'auto che sta passando, di altre persone che stanno chiacchierando e così via, ovvero disturbi provenienti dall'ambiente circostante i due interlocutori.

#### Sottosistema trasmettitore

Fanno parte di tale sottosistema l'**apparato vocale** e il **cervello** dell'interlocutore che, in un certo istante, sta parlando. La funzione di gestione del protocollo consiste nello stabilire le regole durante il dialogo: all'inizio salutare cordialmente e presentarsi con nome e cognome, parlare uno per volta, non interrompere mentre si parla e così via.

#### Sottosistema ricevitore

Fanno parte di tale sottosistema l'**apparato uditivo** e il **cervello** dell'interlocutore che, in un certo istante, sta ascoltando. Una funzione particolarmente importante svolta da questo sottosistema è quella di **riconoscere** che l'informazione ricevuta sia quella trasmessa. Nel caso della comunicazione verbale il cervello dell'interlocutore che ascolta dovrà verificare che i suoni che riceve siano quelli di parole di senso compiuto e che tali parole formino un pensiero logicamente corretto. In caso contrario, l'interlocutore che sta ascoltando chiederà all'altro interlocutore di **ripetere** la parte del discorso disturbata.







## Comunicazione telefonica

### Soggetti

Mittente e destinatario sono i due interlocutori. I ruoli si alternano nel tempo a seconda di chi in un certo istante sta parlando (mittente) e di chi sta ascoltando (destinatario).

### Messaggio

L'informazione da comunicare è rappresentata dall'idea posseduta da chi sta parlando al telefono in un certo istante e che si desidera trasmettere all'altro interlocutore.

### Canale

**Doppino telefonico.** È il cavo che parte dalla casa del mittente e arriva al destinatario attraversando quadri di connessione, cabine, centrali telefoniche e altro ancora. Il rumore di tale canale è rappresentato da tutti i tipi di disturbi elettromagnetici che possono far sì che il segnale elettrico sul doppino arrivi modificato.

### Sottosistema trasmettitore

Fanno parte di tale sottosistema il **microfono** della cornetta del telefono, l'**apparato vocale** e il **cervello** dell'interlocutore che, in un certo istante, sta parlando. La funzione di gestione del protocollo consiste nello stabilire le regole durante il dialogo: all'inizio salutare cordialmente e presentarsi con nome e cognome, parlare uno per volta, non interrompere mentre si parla e così via.

### Sottosistema ricevitore

Fanno parte di tale sottosistema l'**altoparlante** della cornetta e l'**apparato uditivo** e il **cervello** dell'interlocutore che, in un certo istante, sta ascoltando. Una funzione particolarmente importante svolta da questo sottosistema è quella di **riconoscere** che l'informazione ricevuta sia quella trasmessa.

Nel caso della comunicazione telefonica il cervello dell'interlocutore che ascolta dovrà verificare che i suoni che riceve siano quelli di parole di senso compiuto e che tali parole formino un pensiero logicamente corretto.

In caso contrario, l'interlocutore che sta ascoltando chiederà all'altro interlocutore di **ripetere** la parte del discorso disturbata.





# LEZIONE

# 14

## Trasmittitore e ricevitore

### Il sottosistema trasmettitore

Un **sottosistema trasmettitore (Tx)** è caratterizzato da due elementi: il codificatore di sorgente e il codificatore di canale.

Il **codificatore di sorgente** è un dispositivo che converte l'informazione da comunicare fornita in ingresso in un'altra che avrà una struttura nota al dispositivo ricevitore. Generalmente il codificatore di sorgente riduce il numero di simboli da trasmettere per unità di tempo.

Un tipico esempio di codificatore di sorgente è rappresentato dagli algoritmi di compressione utilizzati per i file di computer (come nei file *zippati*).

La stessa informazione da trasmettere viene quindi trasformata in un formato che ne riduce la dimensione complessiva, in modo che possa essere trasmessa in minor tempo.

Il **codificatore di canale** converte l'informazione ricevuta dai sottosistemi precedenti in una forma tale da poter essere trasmessa sul canale: un **segnale** elettrico, elettromagnetico o luminoso.

Il codificatore di canale svolge anche un'altra importante funzione, quella di **garantire la correttezza della trasmissione**. Per fare questo si aggiunge al messaggio da trasmettere dell'informazione in più, utile per rilevare e correggere eventuali **errori** che si dovessero verificare in fase di trasmissione.

In realtà è quest'ultima funzione quella svolta dal codificatore di canale vero e proprio, mentre la prima funzione (adattare il segnale al mezzo trasmissivo) è svolta dal **codificatore di linea**. Per semplicità espositiva, in questa e nelle lezioni successive non distingueremo i due codificatori, ma parleremo solo di codificatore di canale.





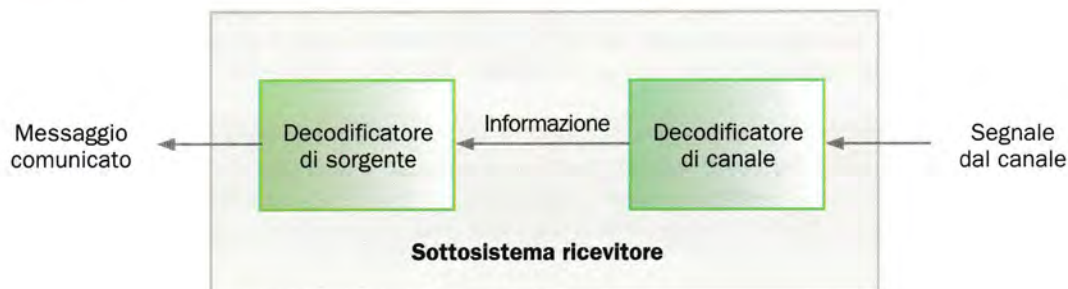


## Il sottosistema ricevitore

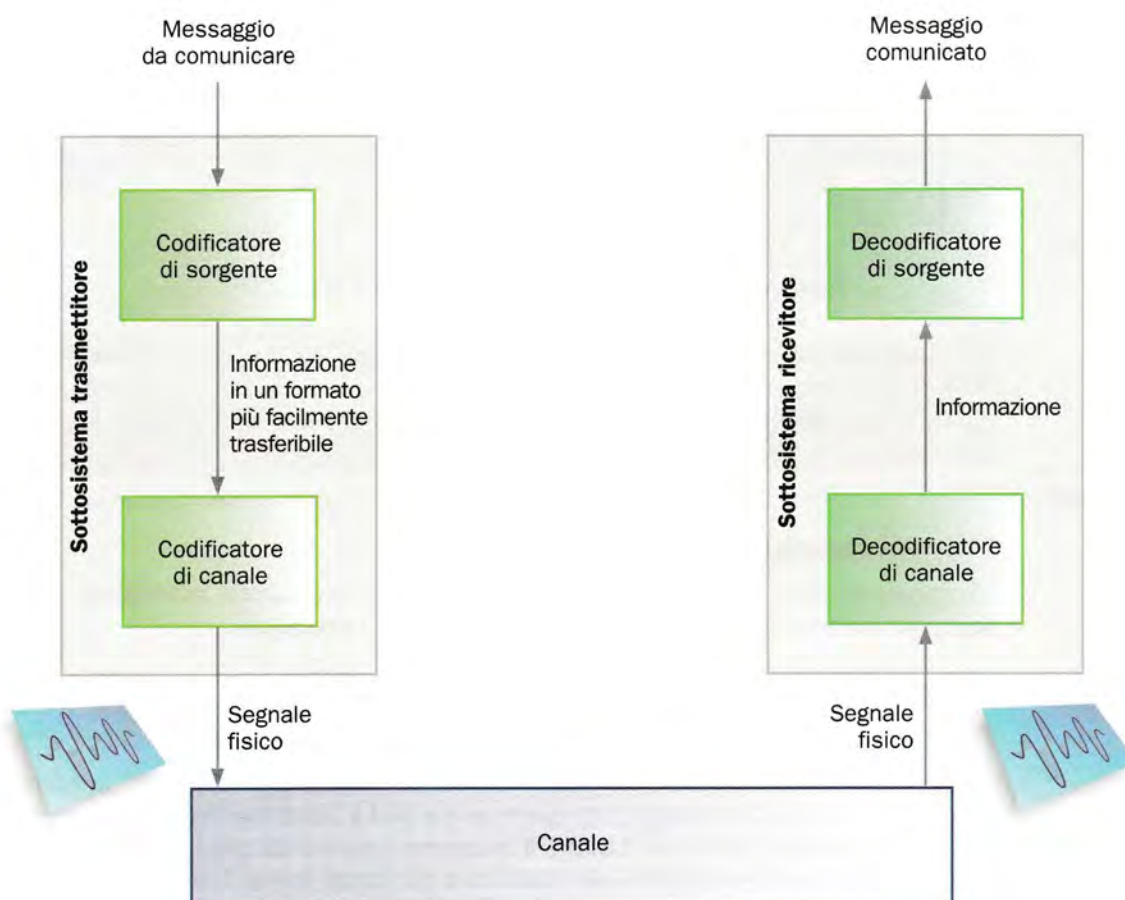
Un **sottosistema ricevitore (Rx)** è caratterizzato da due elementi: il decodificatore di canale e decodificatore di sorgente.

Il **decodificatore di canale** effettua l'operazione inversa rispetto al codificatore di canale del sottosistema trasmettitore, ovvero converte il segnale ricevuto dal canale in informazione da inoltrare ai sottosistemi successivi.

Il **decodificatore di sorgente** ripristina l'informazione in modo che sia comprensibile al destinatario.



La figura che segue riassume il ciclo di trasferimento dell'informazione mettendo in evidenza i vari sottosistemi coinvolti.







# Il sottosistema canale

## LEZIONE

# 15

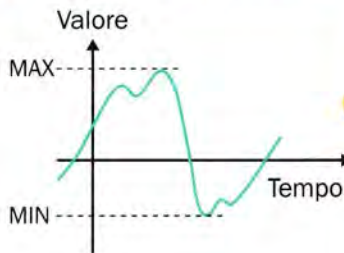
Il sottosistema **canale**, come abbiamo visto, ha il compito di trasferire l'informazione tra il sottosistema trasmettitore e il sottosistema ricevitore.

Spesso si confonde il termine *canale* con quello di *mezzo trasmissivo*, il mezzo fisico sul quale si propaga il segnale che codifica l'informazione. Il canale è un concetto logico che comprende tutti gli apparati per la trasmissione e la ricezione sul mezzo fisico, oltre al mezzo fisico vero e proprio. Da questa distinzione deriva che:

- su un mezzo trasmissivo vi possono essere simultaneamente più canali;
- un canale può utilizzare più mezzi trasmissivi.

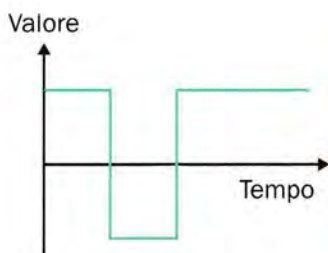
### Segnali analogici e segnali digitali

Occorre distinguere tra due tipi principali di segnali che si propagano in un canale: segnali analogici, o continui, e segnali digitali, o numerici.



Un **segnale analogico**, o **continuo**, è un segnale il cui valore varia nel tempo in un intervallo continuo. Ovvero, se il segnale è compreso tra  $[min, max]$ , assumerà valori reali compresi tra il valore *min* e il valore *max*. Sono esempi di segnali analogici le onde radio, i numeri reali, le tensioni e così via.

Per i segnali elettrici che rappresentano tensioni, due parametri importanti sono l'ampiezza e la frequenza. Se consideriamo il segnale rappresentato nella figura, l'altezza caratteristica della cresta dell'onda prende il nome di **ampiezza**, il numero di oscillazioni delle onde in un secondo prende il nome di **frequenza**. L'ampiezza si misura in **volt** e la frequenza in **Hertz (Hz)**. Per esempio, 100 Hz significa 100 oscillazioni in un secondo. Nella figura seguente sono rappresentate 3 onde in un secondo, la loro frequenza è, pertanto, di 3 Hz.



Un **segnale numerico**, o **digitale** (dall'inglese *digit*, cifra) può assumere solo valori **discreti**; ogni valore è una combinazione di cifre binarie (*bit*, *binary unit*). Sono esempi di segnali digitali: i bit, l'alfabeto morse, i numeri interi e così via.

### Canali analogici e canali digitali

Un canale su cui è presente un segnale analogico si dice **canale analogico**, diversamente avremo un **canale digitale** (o **numerico**, o **discreto**).

### Proprietà del canale di comunicazione

Tra le caratteristiche più importanti di un canale vi sono le seguenti.

- **Banda di frequenze o banda**: intervallo di frequenze utilizzabili su un canale per trasmettere i messaggi. Per esempio da 300 a 3600 Hz, dove 300 è il valore di frequenza minimo e 3600 è il massimo. Una banda più larga è utilizzata per aumentare la velocità o per realizzare più canali logici. L'unità di misura è l'Hz (Hertz) e i suoi multipli:  $KHz = 10^3$  Hz,  $MHz = 10^6$  Hz,  $GHz = 10^9$  Hz.
- **Velocità di trasmissione o capacità**: la quantità di informazione che il canale può trasmettere nell'unità di tempo. Se il canale è digitale la capacità si misura in **bps (bit per secondo)** e i suoi multipli  $Kbps = 10^3$  bps,  $Mbps = 10^6$  bps; se il canale è analogico la velocità di trasmissione equivale alla banda di frequenze trasmessa e si misura in Hz.





- **Banda base:** tutta la banda di frequenze è usata come un unico canale a disposizione del segnale.
- **Banda larga:** la banda di frequenze viene suddivisa in più canali assegnati contemporaneamente a più segnali.

## Modalità di collegamento

Un canale può avere le seguenti modalità di collegamento:

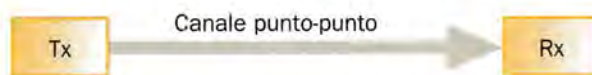
- **simplex** se il **flusso trasmissivo** avviene su una sola linea in un solo verso (**unidirezionale**). Come un senso unico nella circolazione stradale.
- **half duplex** se il flusso trasmissivo avviene su una sola linea in entrambe le direzioni (**bidirezionale**), ma non simultaneamente.
- **full duplex** se il flusso trasmissivo avviene su due linee contemporaneamente in entrambe le direzioni.



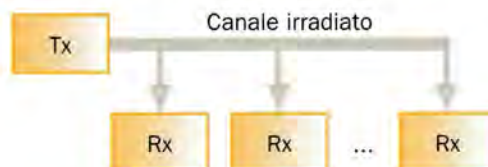
## Modalità di comunicazione

Possono esistere diversi tipi di canale.

- **Canale punto-punto:** è un canale unidirezionale, in cui il segnale passa in una unica direzione da un trasmettitore a un ricevitore.



- **Canale irradiato o diffusivo (broadcast):** è un canale in cui l'informazione trasmessa da un unico trasmettitore è ricevuta contemporaneamente da più ricevitori. Per esempio, il canale di una stazione commerciale radio o TV è del tipo irradiato.



- **Canale multiaccesso:** è un canale al quale possono accedere più trasmettitori. In un canale multiaccesso occorre prevedere delle regole per evitare che in un dato istante sia attivo più di un trasmettitore. Il canale multiaccesso è usato per esempio nelle reti locali (LAN) Ethernet e nelle reti telefoniche mobili.



Una rete televisiva realizza una comunicazione di tipo uno-a-molti e unidirezionale (chi riceve non può trasmettere). Un sistema di questo tipo non è, generalmente, classificato come un sistema di telecomunicazione, poiché un sistema di telecomunicazione presuppone una comunicazione di tipo bidirezionale (chi riceve può anche trasmettere), come nella rete telefonica. Fra due punti appartenenti a un sistema di telecomunicazione occorrerà, quindi, almeno una coppia di canali: uno in un verso e uno nel verso opposto; questa coppia di canali costituisce un **circuito**. Un apparato che comunica tramite un circuito interagisce con il mondo esterno con un trasmettitore e un ricevitore: si definisce **porta** l'insieme costituito dal trasmettitore e dal ricevitore.

Se i due canali del circuito hanno la stessa capacità avremo un circuito **simmetrico**, diversamente un circuito **asimmetrico**. Un circuito che collega solo due punti (ossia solo due porte) viene definito **punto-punto**; un circuito collega più di due punti (ossia più di due porte) si chiama **multipunto**. Un circuito multipunto comprende canali multipunto ed eventualmente canali multiaccesso.





### Comunicazione verbale

#### Codificatore di sorgente

Tale funzione è svolta dal **cervello** di chi sta parlando in un certo istante. Il cervello trasforma l'idea che si vuole comunicare in una serie di comandi da impartire all'apparato vocale per emettere i suoni associati a quella informazione, cioè la relativa codifica.

#### Codificatore di canale

**Apparato vocale** che trasforma i comandi vocali impartiti dal cervello in onde sonore da inviare nell'aria (canale).

#### Canale

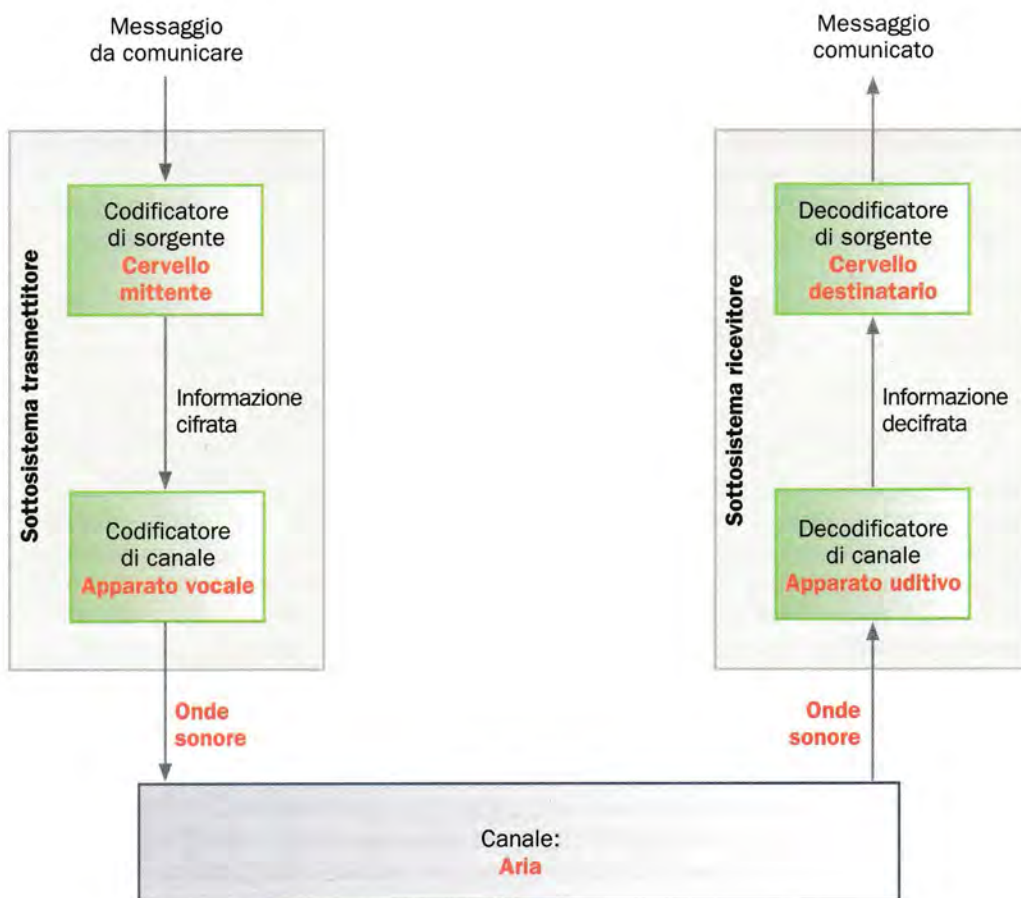
Di tipo **full-duplex**, simmetrico.

#### Decodificatore di canale

**Apparato uditivo** dell'interlocutore che, in quell'istante, sta ascoltando. Tale apparato converte la pressione acustica presente nell'aria in un segnale nervoso da inviare al cervello.

#### Decodificatore di sorgente

**Cervello** di chi sta, in quell'istante, ascoltando, che trasforma i segnali nervosi provenienti dall'apparato uditivo in concetti, idee, frasi relative all'informazione trasmessa.







## Comunicazione telefonica

### Codificatore di sorgente

**Apparato vocale** di chi sta parlando.

### Codificatore di canale

**Microfono** della cornetta del telefono di chi, in quell'istante, sta parlando, ovvero il dispositivo che trasforma le onde sonore in segnali elettrici.

### Canale

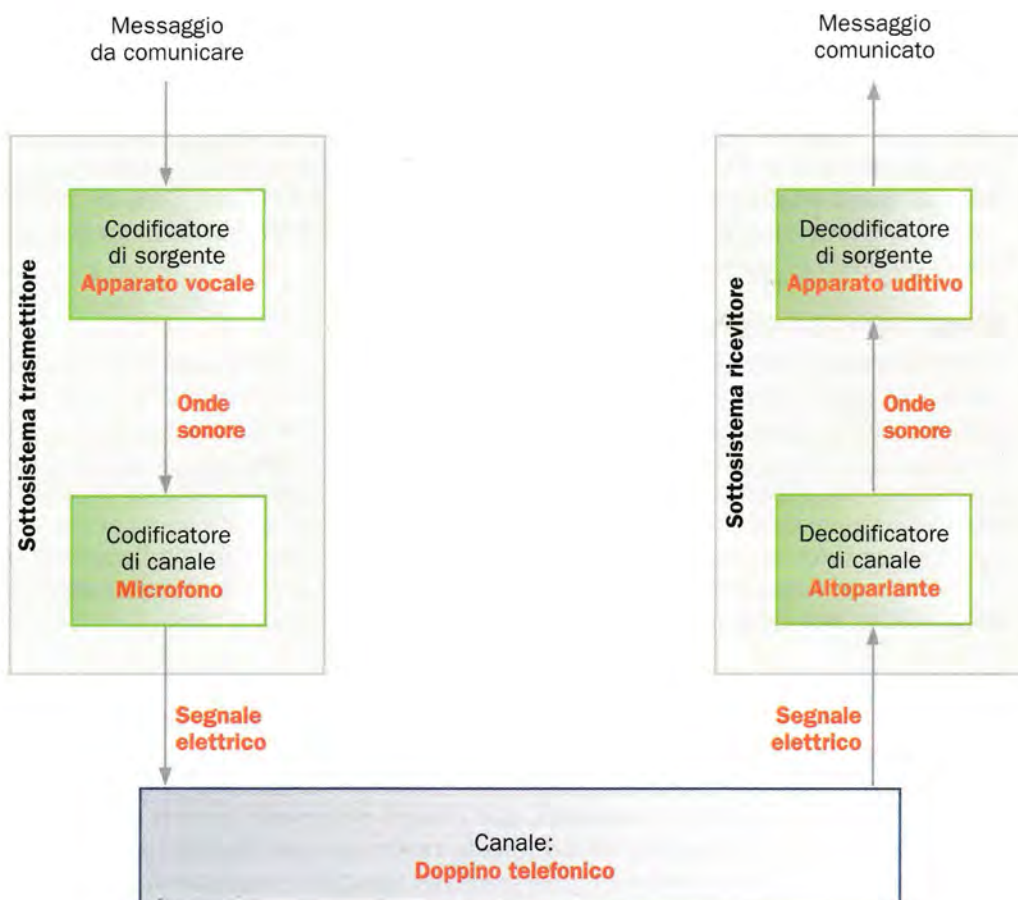
Punto-punto di tipo **full-duplex**, simmetrico.

### Decodificatore di canale

**Altoparlante** della cornetta del telefono. Tale dispositivo converte il segnale elettrico che arriva dal canale (doppino telefonico) in onde sonore da inviare all'orecchio di chi, in quell'istante, sta ascoltando.

### Decodificatore di sorgente

**Apparato uditivo** che trasforma le onde sonore in segnali nervosi da inviare al cervello.







## I mezzi trasmissivi

### LEZIONE

# 16

Esistono diversi mezzi trasmissivi, da scegliere in base alle distanze che si devono coprire, all'affidabilità e alla velocità che si vuole ottenere. Una caratteristica importante è la **velocità di propagazione**, espressa come frazione della velocità della luce ( $C$ ), che può variare dal 50 % all'80 % di  $C$  (generalmente circa 200.000 Km/sec).

### Tipi di mezzi trasmissivi

Descriviamo nel seguito i principali tipi di mezzi trasmissivi.

#### Mezzi trasmissivi elettrici

##### Doppini telefonici (twisted pair)

Il termine *doppino*, inizialmente utilizzato per indicare i primi cavi telefonici, ha subito nel tempo notevoli evoluzioni assumendo le seguenti forme:

- **UTP** (Unshielded Twisted Pair): doppino non schermato;
- **FTP** (Foiled Twisted Pair): doppino con un'unica schermatura; per proteggere la interferenza esterna
- **STP** (Shielded Twisted Pair): doppino con una schermatura per ogni singola coppia, oltre alla schermatura globale.



Il doppino è usato anche nelle reti LAN; questi tipi di doppini, rispetto al doppino originale, permettono al segnale di viaggiare con una velocità notevolmente superiore (dell'ordine di 100 Mbps) grazie alla loro struttura interna su quattro coppie di fili, e di non subire interferenze elettromagnetiche poiché sono schermati. Alle estremità dei cavi sono presenti i **plug** (RJ11 ed RJ45), ovvero i terminali che andranno a inserirsi nelle schede di rete del computer e nelle porte dei dispositivi di rete come hub, switch, router.

##### Cavi coassiali

Molto usati prima dell'avvento dei doppini, venivano impiegati nelle reti telefoniche e nelle trasmissioni televisive via cavo. Consistono in un'anima metallica sulla quale viaggia il segnale, ricoperta da uno strato di materiale isolante, circondata da una calza di rame (massa) e isolata da una guaina di plastica per le interferenze. Sono adatti per distanze limitate, fino a circa 500 metri. Sono difficili e costosi da fabbricare, inoltre il loro utilizzo è difficoltoso in spazi limitati, in quanto non è possibile piegare questi cavi con angoli ristretti.



#### Mezzi trasmissivi ottici

I cavi ottici sono costituiti da una parte centrale di vetro detta **core** (il *nucleo* attraverso il quale passa la luce), dal **cladding** (il *mantello* che tiene la luce confinata all'interno del core), da un rivestimento primario e dalla guaina protettiva. La sorgente luminosa può essere costituita da un semplice **led** o da qualsiasi altro dispositivo che generi impulsi luminosi come il **laser**. Il segnale elettrico è trasformato in segnale luminoso da un modulatore. La trasformazione inversa avviene a opera di un fototransistor o di diodi fotoelettrici. Questi cavi offrono il vantaggio di un'enorme velocità (nell'ordine dei Gbps) e dell'assenza di interferenze elettromagnetiche. Per contro, hanno un costo di installazione molto alto.



#### Wireless radio

Il segnale si propaga nello spazio come onda elettromagnetica e viene irradiato mediante antenne, che ne focalizzano la potenza lungo direzioni privilegiate.

Nelle reti di computer, ogni computer deve avere un dispositivo che trasforma i segnali digitali in segnali e viceversa, per inviarli e riceverli. Le **reti wireless**, a differenza delle **reti cablate** o **wired** (quelle realizzate con doppini, cavi e fibra ottica) sono molto adatte a creare una rete LAN in edifici storici dove non è consentita una cablatura fissa o in spazi aperti (bar, aeroporti e così via). I loro svantaggi riguardano aspetti legati alla sicurezza, all'interferenza elettromagnetica, alla velocità ridotta rispetto alle reti cablate.

Le reti LAN wireless utilizzano degli **access point** (*punti d'entrata*), sorta di concentratori del traffico di rete in grado di mettere in contatto in modo efficiente le varie stazioni presenti sulla rete. Tramite l'utilizzo di più access point,





la copertura della rete potrà essere estesa anche a grandi aree, come un intero edificio o campus. Un access point può coprire un'area da 30 fino anche a 150 metri. Ogni computer dovrà utilizzare un'apposita scheda di rete wireless.

Oggi si utilizza il termine **Wi-Fi** (*Wireless Fidelity*), che indica dispositivi che possono collegarsi a reti locali senza fili (**WLAN**) basate sulle specifiche IEEE 802.11 (un particolare protocollo di comunicazione). Un dispositivo, anche se conforme a queste specifiche, non può utilizzare il logo ufficiale Wi-Fi se non ha superato le procedure di certificazione stabilite dal consorzio **Wi-Fi Alliance** (*Wireless Ethernet Compatibility Alliance*), che testa e certifica la compatibilità dei componenti wireless con gli standard 802.11x (della famiglia 802.11). La presenza del marchio Wi-Fi su un dispositivo dovrebbe quindi garantirne l'interoperabilità con gli altri dispositivi certificati, anche se prodotti da aziende differenti.



## Mezzi trasmissivi wireless ottici

### Infrarossi

Esistono due tipi di comunicazione a infrarossi: a linea diretta e broadcast. Nel collegamento **a linea diretta** il segnale viene trasmesso attraverso un percorso ottico diretto tra il trasmettitore e il ricevitore. Se si verifica un'interruzione (di breve durata), il segnale viene ritrasmesso. Questo è il sistema utilizzato per esempio dai computer portatili o dai telefoni cellulari per collegare alcune periferiche evitando l'uso dei cavi.

Nel collegamento **broadcast** il segnale viene trasmesso in più direzioni sfruttando la riflessione sugli ostacoli per raggiungere il ricevitore con maggiore probabilità. Questo è il sistema utilizzato, per esempio, per collegare più cuffie in sala congressi nel servizio di traduzione simultanea.

### Laser

È utilizzato per collegamenti a lunga distanza e ad alta velocità su tratte senza ostacoli. Si possono trasmettere informazioni di tipo audio, video e dati in modo altamente direzionale e senza interferenze. Il laser, infatti, non soffre particolarmente le condizioni atmosferiche tranne la nebbia molto densa.

### Ponti radio

Sono collegamenti radio bidirezionali tra due stazioni fisse. Vengono utilizzate le **microonde** attraverso particolari antenne paraboliche. Poiché la propagazione delle onde elettromagnetiche avviene in modo analogo a quella della luce, la trasmissione avviene in modo rettilineo e le antenne, quindi, devono essere posizionate in modo tale che una "veda" l'altra senza ostacoli tra di esse.

### Satelliti

I satelliti per le telecomunicazioni si trovano in orbita geostazionaria equatoriale, cioè ruotano alla stessa velocità di rotazione della terra e quindi è come se fossero fermi sempre sullo stesso punto sull'equatore. Hanno lo scopo di fare da ripetitore tra due stazioni terrestri. Orbitano a 35830 km di altezza, distanza alla quale la forza centrifuga bilancia perfettamente la forza di gravità.

A bordo di un satellite si trovano numerose apparecchiature; alcune servono per rimettere in orbita il satellite se questo per eventi qualsiasi (vento solare, attrazione lunare) dovesse spostarsi. Altre servono per ricevere e trasmettere da e verso la terra. La comunicazione in salita dalla terra verso il satellite prende il nome di **UP-LINK**, la comunicazione in discesa dal satellite verso la terra prende il nome di **DOWN-LINK**. È molto importante sapere che il tempo di propagazione del segnale tra le due stazioni terrestri è molto elevato (circa 250 millisecondi). Il ritardo nella ricezione e trasmissione del segnale può causare molti problemi durante la comunicazione. Ogni satellite è configurato per avere migliaia di canali telefonici e decine di canali televisivi.







# Il rumore di un canale

## LEZIONE

# 17



La qualità della trasmissione di un sistema di telecomunicazione dipende dalla fedeltà con cui il segnale ricevuto riproduce il segnale trasmesso dalla sorgente. Purtroppo, nei sistemi reali la trasmissione dei segnali d'informazione è disturbata dalla presenza di altri segnali indesiderati che, genericamente, prendono il nome di **rumore (noise)**.

Il rumore può essere di origine interna ed esterna al sistema, nel combinarsi con i segnali d'informazione li modifica e produce segnali più o meno diversi da quelli originari.

Con l'avvio della telefonia e della radio, ben presto divenne evidente che il messaggio, trasmesso nella forma di segnale elettrico, poteva arrivare all'orecchio dell'utente in una forma deteriorata, come se fosse accompagnato da suoni indistinti con caratteristiche aleatorie. Per tale motivo, dal linguaggio dell'acustica fu presa in prestito la parola *rumore*, per sottolineare l'effetto non gradito proveniente da un altoparlante o dal ricevitore telefonico.

Il **rumore esterno** comprende i disturbi elettrici prodotti dalla civilizzazione moderna, i disturbi prodotti dai conduttori ad alta tensione dell'energia elettrica, dai motori delle autovetture, dagli asciugacapelli, dai rasoi elettrici. Per quanto fastidioso, questo tipo di rumore può essere contrastato tramite il ricorso a opportune schermature, incidendo quindi sul costo del canale.

Il **rumore interno** comprende, invece, i disturbi prodotti degli apparati interni del canale, come per esempio i componenti elettronici quali diodi rivelatori, mixer o amplificatori. È un disturbo molto difficile da eliminare.

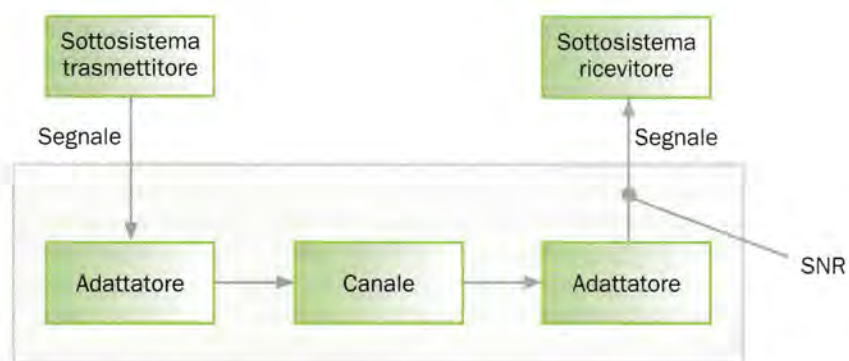
## Rapporto segnale/rumore

Un indice della qualità del canale è dato dal **rapporto segnale/rumore (SNR o Signal-to-Noise Ratio)**, cioè dal rapporto tra l'entità del segnale utile ricevuto e quella del rumore a esso sovrapposto. È un numero puro che normalmente viene espresso in forma logaritmica (in decibel).

Quanto più forte è il segnale rispetto al rumore, tanto più elevata è la qualità del canale.

## Adattatori

I **dispositivi adattatori** hanno lo scopo di ridurre o eliminare le cause di deterioramento del messaggio introdotte dalla trasmissione: si può ricorrere per esempio a **equalizzatori** per correggere la risposta in frequenza di un canale, ad **amplificatori** per contrastare l'attenuazione subita dal segnale, a **codificatori di linea** per rendere le caratteristiche del segnale idonee a essere trasmesse sul canale a disposizione.



Un classico esempio sono le coppie amplificatore-modulatore e amplificatore-demodulatore.



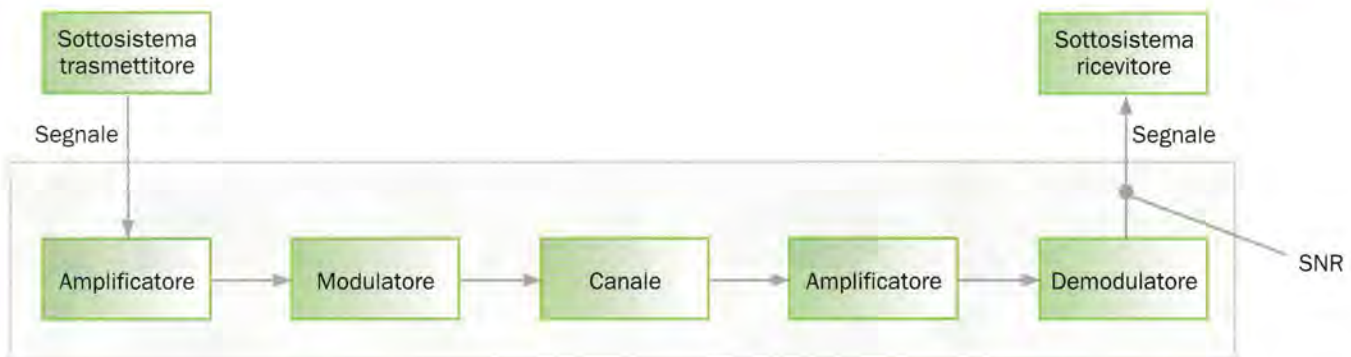
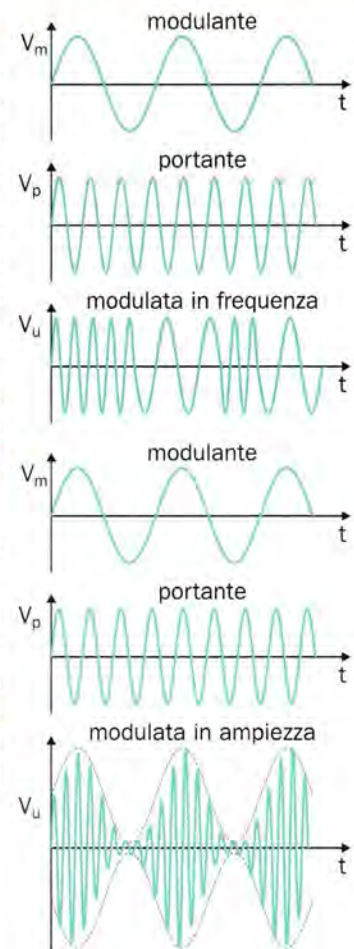


## Modulazione e demodulazione di un canale continuo

Quando abbiamo bisogno di trasmettere un segnale mediante onde radio dobbiamo utilizzare frequenze più alte, in quanto maggiore è la frequenza del segnale e maggiore è la distanza che può raggiungere, a parità di potenza del trasmettitore. Per poter raggiungere utenti molto lontani, prima amplifichiamo il segnale (per aumentarne la potenza) e poi lo convertiamo in uno con una frequenza più alta. Per fare questo si costruisce un generatore di segnale con una frequenza molto elevata. La frequenza generata da questo generatore è detta **portante**, in quanto è questa frequenza che è in grado di portare con sé l'informazione a grande distanza. La portante non possiede alcuna informazione, in quanto è costituita da un generatore di segnale avente frequenza fissa e costante, e ampiezza costante. Per fare in modo che il segnale che contiene l'informazione, detto **modulante**, si unisca alla portante, per poter viaggiare insieme nello spazio (o nel mezzo trasmissivo), vi sono diverse tecniche; le più note per canali analogici sono: **AM** (*Amplitude Modulation*) o **modulazione in ampiezza** e **FM** (*Frequency Modulation*) o **modulazione in frequenza**.

Senza entrare nei dettagli delle due tecniche, mostriamo il risultato del segnale modulato nelle due figure a lato.

Il dispositivo che unisce il segnale modulante alla portante, cioè che effettua la modulazione, si chiama **modulatore**. Quando il segnale modulato arriva a destinazione, occorre separare nuovamente la modulante dalla portante, in modo da ricostruire l'informazione iniziale; il dispositivo che lo fa si chiama **demodulatore**. Dal lato del trasmettitore il segnale modulante viene prima amplificato, con un amplificatore di tensione, poi questo segnale viene modulato e poi inviato al mezzo trasmissivo.



Il segnale che viaggia nel mezzo di trasmissione si attenua all'aumentare della distanza, cioè diminuisce il valore di tensione. Dal lato del ricevitore, quindi, occorre amplificare di nuovo questo segnale che contiene l'informazione. Il segnale viene, poi, demodulato, cioè la tensione che ha una certa frequenza (la portante) viene convertita in un'altra tensione che rappresenta il segnale originale (modulante), che contiene l'informazione.

## Canali attivi e passivi

Se il canale si limita a propagare il segnale sul mezzo, come nel caso di un semplice circuito elettrico formato da fili di rame, avremo un **canale passivo**. Se, invece, il canale comprende elementi attivi che manipolano il segnale, per esempio amplificandolo o rigenerandolo, avremo un **canale attivo**.

Un canale passivo non richiede alimentazione e può subire solo guasti di tipo meccanico, mentre un canale attivo richiede alimentazione e può avere anche altri tipi di guasti (per esempio quando un componente "brucia"). Un canale con adattatori, come quello della figura precedente, per esempio, è un canale attivo.





# Multiplazione

## LEZIONE

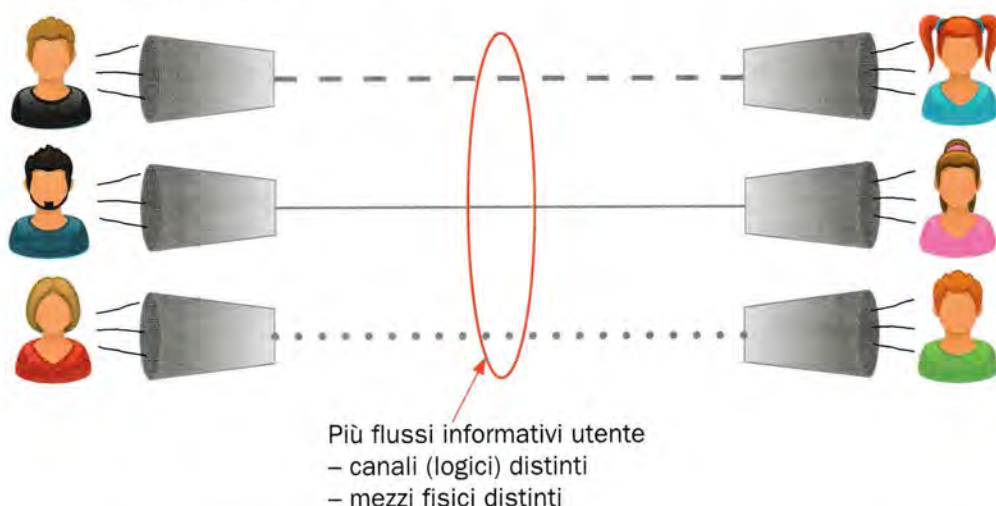
# 18

### Multiplazione del canale

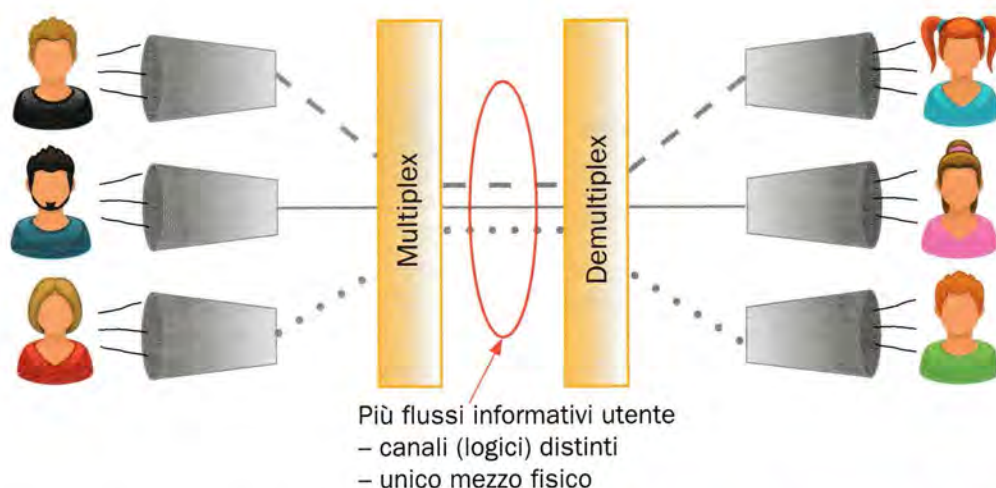
La **multiplazione** è una tecnica mediante la quale è possibile sfruttare al meglio l'unico mezzo fisico che si ha a disposizione facendolo condividere da più flussi informativi utente. In realtà ogni flusso informativo avrà a disposizione un canale distinto, pur sullo stesso mezzo trasmissivo.

L'apparato che effettua l'operazione di multiplazione è detto **multiplatore** (o **multiplex**) ed è sempre accoppiato a un apparato che restituisce i segnali originali detto **demultiplatore** (o **demultiplex**); un canale che comprende multiplex e demultiplex è un canale attivo.

Per capire la multiplazione, facciamo una analogia con il gioco delle due lattine e dello spago che le collega. Di seguito sono mostrati sei amici che parlano simultaneamente con tre fili diversi.



Nella multiplazione i sei amici continuano a parlare simultaneamente, ma su un unico filo. Ogni amico ha la sensazione di avere il filo tutto a propria disposizione.



Nei canali analogici si usa la **multiplazione a divisione di frequenza (FDM, Frequency Division Multiplexing)**. Sappiamo che un canale è caratterizzato da una propria banda. Il metodo di multiplazione a divisione di frequenza (FDM) consiste nel suddividere la banda fornita dal canale in sottobande da utilizzare ognuna per un canale trasmissivo differente.

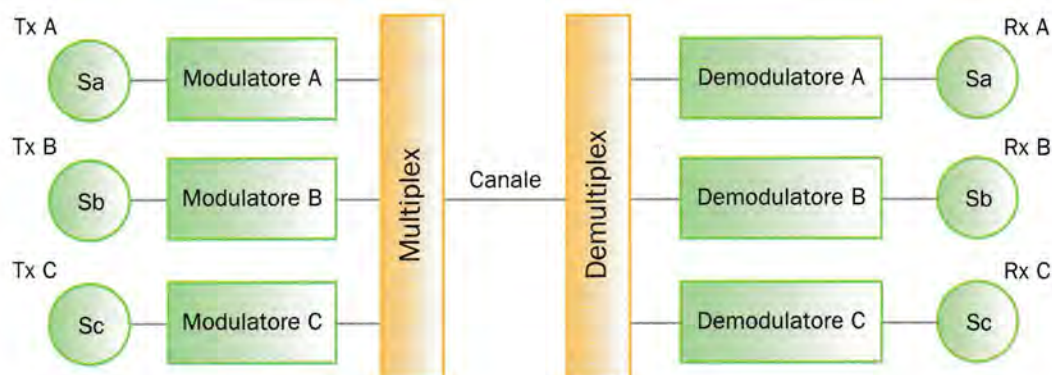
Nei sistemi analogici le sottobande sono usate direttamente per trasmettere i segnali analogici di ogni canale mediante tecniche di modulazione analogica come AM o FM, viste nella lezione precedente.





Nella figura seguente ogni segnale ( $S_a$ ,  $S_b$ ,  $S_c$ ) da trasmettere viene modulato con differenti portanti (usando per esempio la modulazione in frequenza) e poi tutti insieme vengono “incanalati” nel mezzo trasmissivo.

All’arrivo i segnali saranno separati con appositi filtri e poi demodulati. Un **filtro** è un dispositivo in grado di far passare solo determinate frequenze.



Un classico esempio è quello delle trasmissioni radiofoniche, dove:

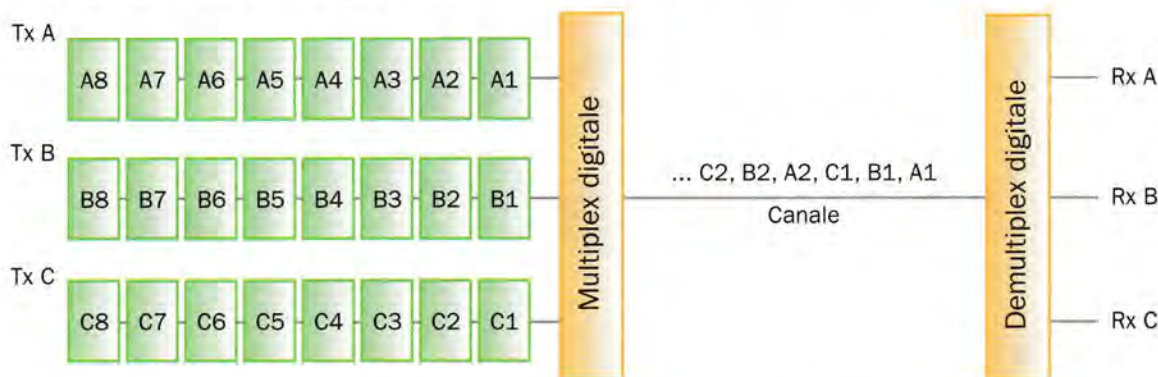
- il canale è unico ed è l’etere;
- ci sono più segnali da trasmettere, uno per ogni emittente (ci sono più flussi informativi);
- la trasmissione avviene poiché a ogni emittente è assegnata una differente banda di frequenze;
- il segnale, per poter raggiungere gli utenti, deve essere modulato all’interno di una determinata banda. Come sai, infatti, per poter selezionare una particolare emittente radiofonica devi innanzitutto scegliere il tipo di modulazione (**AM**, **FM**) e poi selezionare la frequenza dell’emittente desiderata.

Nel passato questa tecnica di multiplazione era usata per i collegamenti tra centrali telefoniche. Lo schema di multiplazione considerava canali analogici vocali di banda lorda pari a 4 kHz che venivano multiplati in gruppo di dodici nella banda di 48 kHz compresa tra 60 e 108 kHz. A sua volta questo segnale di multiplazione di primo livello veniva multiplato con altri fino all’utilizzo della banda consentita dal mezzo usato. Questa tecnica non è più in uso nelle reti telefoniche odierne, sostituita dalla tecnica TDM numerica.

Nei canali digitali viene utilizzata la **multiplazione a divisione di tempo (TDM, Time Division Multiplexing)**. Tale metodo consiste nel suddividere il tempo di trasmissione in più intervalli temporali ciclici, detti *intervalli* o *tempi di canale*, raggruppati in *trame*. In ciascuna trama, ogni intervallo di canale è dedicato in modo esclusivo a una comunicazione diversa, ovvero a un canale.

Anche se in linea di principio questa tecnica è utilizzabile per segnali analogici, viene maggiormente impiegata per segnali digitali.

Nella figura seguente i singoli messaggi A1, B1, C1, A2, B2, C2 vengono inviati in intervalli temporali ciclici sul canale.



Le tecniche di multiplazione sono utilizzate nelle trasmissioni via satellite (come abbiamo visto nella Lezione 16).





# LEZIONE

## Le reti di telecomunicazione

# 19

La trasmissione lungo un canale in uso esclusivo alla coppia sorgente-destinazione è piuttosto rara; di solito i collegamenti sono condivisi tra più comunicazioni, ognuna con origine e destinatario differenti. Il problema della condivisione delle risorse trasmissive, e il coordinamento di queste attività, produce la necessità di analizzare in modo esplicito le **reti di telecomunicazione**, che entrano a far parte integrante dei sistemi di trasmissione dell'informazione.

Le prime reti di telecomunicazione erano state create per una comunicazione di tipo analogico. Tra i servizi tradizionali trovavamo quello telegrafico, telefonico, radiofonico per la comunicazione in fonia.

L'evoluzione che le reti hanno subito nel tempo, e soprattutto in questi ultimi anni, è dovuta a più fattori:

- evoluzione dell'elettronica e della microelettronica;
- evoluzione dei mezzi trasmissivi e delle apparecchiature di rete;
- necessità di comunicare non solo fonia ma dati di natura multimediale;
- necessità di avere interazione con l'utenza.

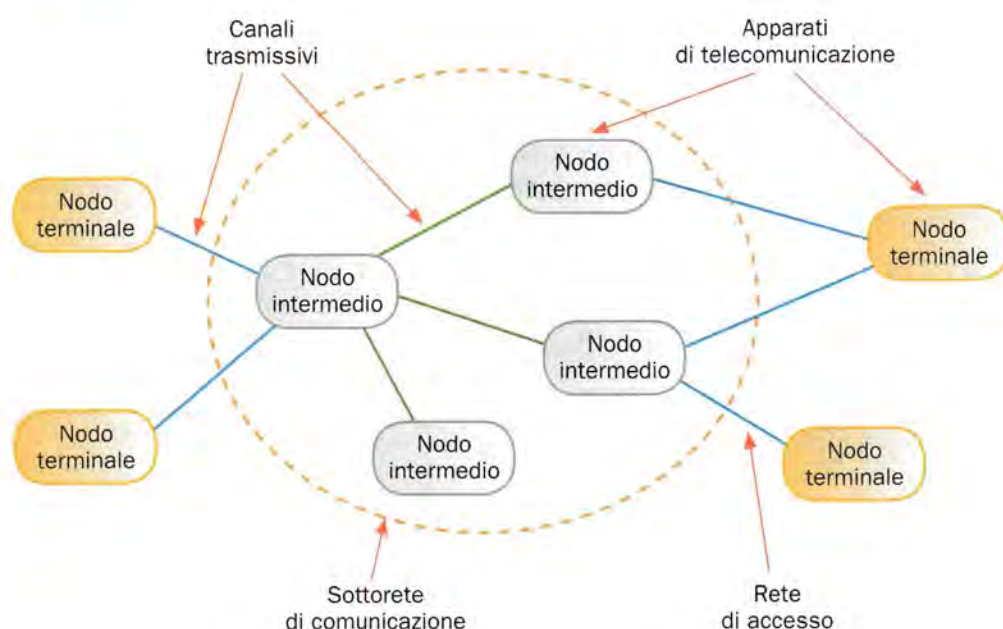
Oggi le reti di telecomunicazione sono basate su comunicazioni di tipo digitale che mirano sempre di più all'integrazione dei servizi di dati, fonia e video per ottenere reti interattive (basti pensare all'evoluzione che ha subito Internet in questi ultimi anni).

Una rete è rappresentabile mediante un **grafo**, ossia una struttura logica comprendente **nodi** collegati da **archi**. In una rete di telecomunicazione i nodi sono apparati di telecomunicazione (per esempio apparecchi telefonici, multiplatori, centrali telefoniche, computer e altri ancora), gli archi sono canali trasmissivi.

Distinguiamo due tipi di nodi: quelli che generano informazioni, le emettono e le ricevono sono detti **nodi terminali** (*end nodes*); quelli che ricevono l'informazione e la inoltrano sono detti **nodi intermedi** (*intermediate nodes*). Per esempio, in una rete telefonica l'informazione trasmessa è la voce, gli apparecchi telefonici sono i nodi terminali, le centrali telefoniche sono i nodi intermedi.

Il complesso dei nodi intermedi e dei mezzi trasmissivi che li uniscono costituisce la **sottorete di comunicazione**, detta anche **rete di trasporto** o **rete primaria**.

Il complesso formato dai mezzi trasmissivi che collegano i nodi terminali alla rete primaria e dagli apparati a essi direttamente connessi costituisce la **rete d'accesso**.







Molto spesso quando si parla di rete di telecomunicazione si intende la sola sottorete di comunicazione, mentre i nodi terminali costituiscono gli **apparati d'utente** (*Customer Premises Equipment*, CPE). La linea trasmissiva che collega un apparato d'utente alla rete è detta **rilegamento d'utente** o linea d'utente (*subscriber loop*).

Queste distinzioni e questa terminologia valgono per le **reti geografiche** (*Wide Area Network*, WAN). Una rete geografica è in grado di servire un'area comunque estesa, spesso un intero territorio nazionale, utilizza comunemente circuiti trasmissivi di tipo punto-punto che possono raggiungere lunghezze dell'ordine delle migliaia di km e che utilizzano infrastrutture ricavate sul suolo pubblico. Un tipico esempio di rete geografica è la rete telefonica.

In contrapposizione alle reti geografiche abbiamo le **reti locali** (*Local Area Network*, LAN). Una LAN può funzionare solo entro dati limiti di distanza, di solito su un'area di pochi km di raggio, è concepita per usare canali trasmissivi di tipo irradiato ed è contenuta completamente su suolo privato. Nelle LAN la distinzione fra rete e sottorete spesso scompare, dato che mancano i nodi intermedi e tutta la rete comprende solo nodi estremi, costituiti da computer.

## Protocolli

Un **protocollo di comunicazione** è un insieme di regole che occorre stabilire affinché due sistemi possano comunicare.

I protocolli di rete, in particolare, si occupano delle regole per la costruzione dei messaggi, per la codifica dell'informazione, per la rilevazione degli errori di trasmissione per il tipo di compressione e così via.

Come vedremo più avanti, i vari protocolli della comunicazione in rete sono organizzati in vari livelli che vanno dalla gestione fisica del mezzo trasmissivo all'interfaccia per i programmi applicativi.

L'insieme di questi protocolli è detto **stack** (*pila*) di protocolli. Ogni protocollo di un livello si basa sui protocolli del livello precedente ed è la base su cui si sviluppano i protocolli del livello successivo.

Un classico esempio di stack di protocolli è quello su cui si basa la comunicazione attraverso Internet: http – tcp – ip.

## Standard

I protocolli di comunicazione devono essere **standard**, ovvero devono essere accettati e seguiti da parte di aziende produttrici, di enti governativi, università, centri di ricerca e da parte di tutte le organizzazioni che si occupano di trasmissione e comunicazione di informazioni.

## Commutazione

Una funzione molto importante che deve essere svolta da una rete di telecomunicazione è quella della **commutazione**, che esamineremo nella prossima lezione.







La **commutazione**, in una rete di telecomunicazione, consiste in una serie di tecniche che stabiliscono come far giungere i messaggi da un nodo terminale all'altro passando per i nodi intermedi.

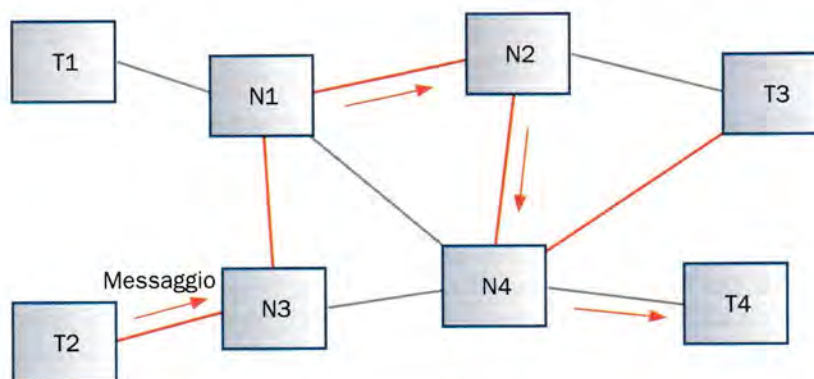
Possiamo avere diversi tipi di commutazione. Tra i più importanti ricordiamo:

- la commutazione di circuito;
- la commutazione di pacchetto (quella su cui si basa Internet).

### Commutazione di circuito

Nella **commutazione di circuito** viene realizzato lungo la rete di telecomunicazione un percorso riservato tra trasmettitore e ricevitore. Un percorso è costituito da una sequenza di linee (canali trasmissivi) e di nodi intermedi. Una volta ottenuta l'autorizzazione a utilizzare un percorso, nessun altro nodo può utilizzare il canale finché la comunicazione non è terminata.

Nella rete mostrata di seguito, il percorso tra il trasmettitore T2 e il ricevitore T3 è quello indicato dai canali e dai nodi intermedi colorati di rosso.



La commutazione di circuito è tipica della rete telefonica. Agli albori della telefonia la commutazione avveniva manualmente e il compito di collegare un telefono con un altro era affidato a un operatore umano detto *centralinista*. Questi aveva il compito di mettere in collegamento i due interlocutori attraverso un pannello pieno di spinotti che rappresentavano i telefoni dei vari utenti. Si utilizzava un cavo per unire i due spinotti interessati. Per reti con molti utenti vi erano centrali con molti centraliniste che lavoravano in parallelo.

Per evitare l'intermediazione del centralinista, nel 1888 venne introdotto un dispositivo elettromeccanico detto **selettore** che rendeva automatica la commutazione. Questo tipo di commutazione restò in uso fino agli anni sessanta, quando cominciarono a essere utilizzate tecniche di commutazione basate sull'elettronica e sul computer che hanno completamente soppiantato la vecchia commutazione elettromeccanica.

Oggi la struttura di una rete telefonica è basata su centrali di commutazione alle quali sono collegati i singoli telefoni degli utenti. Le centrali di commutazione sono collegate tra di loro per mezzo di centrali di transito. I collegamenti tra centrali sono realizzati quasi esclusivamente in fibra ottica o anche tramite ponti radio. I collegamenti tra centrali e singoli utenti (in gergo: "ultimo miglio") sono ancora oggi realizzati con doppiini telefonici.





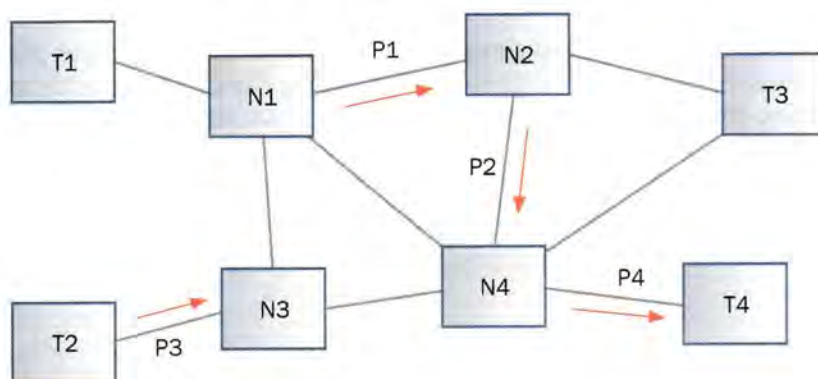
## Commutazione di pacchetto

Nella **commutazione di pacchetto** (*packet switching*) il messaggio viene suddiviso in parti di piccole dimensioni, dette **pacchetti**, che vengono inoltrati sulla rete in modo indipendente l'uno dagli altri. Ogni pacchetto può seguire un percorso separato, a seconda del maggiore o minore traffico delle varie linee, e giungere al destinatario in istanti diversi attraversando i vari nodi intermedi.

Le trasmissioni di piccoli pacchetti tutte delle stesse dimensioni consentono di ottimizzare l'utilizzo della rete ottenendo un'alta velocità complessiva.

La tecnica della commutazione prevede un metodo per la ricostruzione esatta della sequenza dei pacchetti in modo da ricomporre il messaggio originario.

Se durante la trasmissione si sono rilevati degli errori, vengono ritrasmessi solo i pacchetti danneggiati, a vantaggio della velocità complessiva di trasmissione.



Messaggio composto da 4 pacchetti:

$M = P1-P2-P3-P4$

Una possibile sequenza di arrivo dei pacchetti:  $P4-P2-P1-P3$

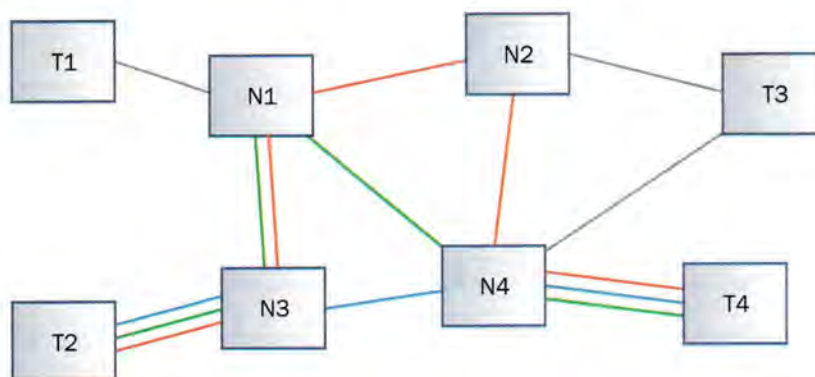
Ricostruzione dei pacchetti:  $P1-P2-P3-P4 = M$

Se P4 (per esempio) arriva con errori di trasmissione, verrà ritrasmesso:  $P4-P1-P2-P3-P4$

La strada che ogni pacchetto deve seguire per giungere a destinazione non è sempre la stessa, ma dipende dalla politica di **instradamento (routing)**.

## Instradamento

Per **instradamento** intendiamo la determinazione del percorso dei messaggi nella rete, scelto tra i possibili percorsi che collegano la sorgente con la destinazione. Nella figura che segue sono mostrati tre possibili percorsi che potrebbe prendere il messaggio M per passare dal nodo terminale T2 (sorgente) al nodo terminale T4 (destinazione) attraverso i nodi intermedi N1, N2, N3, N4.



Primo percorso:  
 $T2-N3-N1-N2-N4-T4$

Secondo percorso:  
 $T2-N3-N1-N4-T4$

Terzo percorso:  
 $T2-N3-N4-T4$





# Trasmissione di segnali digitali

I segnali digitali presentano indubbi vantaggi rispetto a quelli analogici. Vediamone alcuni.

- **Possibilità di compressione.** Il segnale digitale può essere compresso aumentando notevolmente la capacità del canale e permettendo di moltiplicare il numero di canali logici disponibili
- **Miglior comportamento rispetto ai disturbi.** Interferenze esterne di tipo elettromagnetico non modificano il segnale.
- **Stesso trattamento per qualsiasi tipo di informazione.** L'informazione è trattata in maniera identica da qualsiasi sistema di trasmissione digitale (video, audio e dati sono tutti costituiti da una sequenza di bit indipendente dalla tipologia del contenuto).
- **Introduzione di servizi multimediali e interattivi.** Basta pensare alla televisione digitale, che ha permesso la trasformazione della televisione da strumento passivo in un elettrodomestico interattivo, in un mezzo di comunicazione bidirezionale con la possibilità di utilizzare servizi innovativi che si aggiungono alla normale fruizione dei programmi, per esempio home banking, giochi online, t-commerce, telequiz, sport interattivo, data casting e molto altro.

La trasmissione di segnali digitali può avvenire sia su canali digitali, sia su canali analogici.

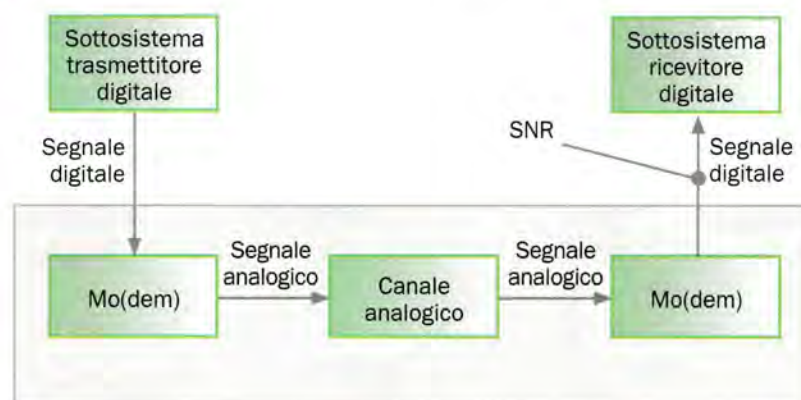
## Trasmissione di un segnale digitale su canale digitale

Un tipico esempio di canale digitale è quello che permette la comunicazione attraverso una LAN (una rete di computer). Il segnale digitale passa da una scheda di rete all'altra attraverso cavi coassiali o doppini telefonici. Il segnale in uscita da una scheda è già in forma digitale e non deve subire alcun processo di trasformazione.

Un altro esempio è quello della trasmissione di dati tra computer e periferiche attraverso porte USB.

## Trasmissione di un segnale digitale su canale analogico: il modem

Per trasmettere un segnale digitale utilizzando un canale analogico occorre convertire il segnale digitale in analogico, inviarlo attraverso il canale e poi riconvertirlo all'arrivo. Questa conversione viene effettuata da dispositivi chiamati **modem**.



La figura evidenzia che per una trasmissione unidirezionale occorre solo metà delle funzioni del modem per entrambi i lati del collegamento, mentre nel caso di collegamento full duplex (in cui entrambi gli estremi possono essere contemporaneamente sorgente e destinazione) il modem opera allo stesso tempo nelle due direzioni.



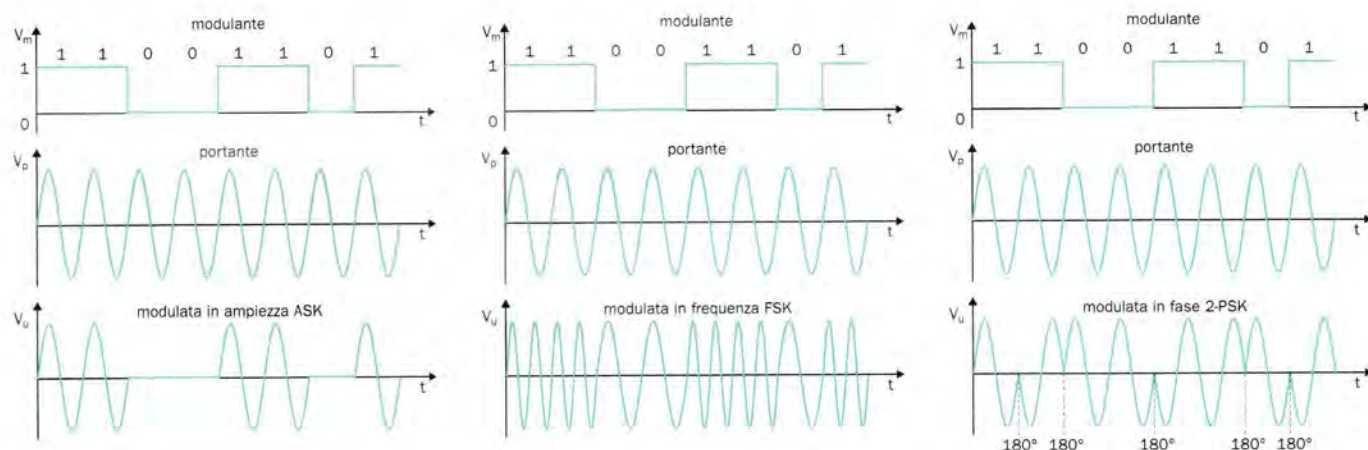


Un esempio di questo tipo di trasmissione è quella tra due computer con modem (analogici) su linea telefonica analogica.

Il modem impiega una **modulazione digitale** o numerica. In tale tipo di modulazione il segnale modulante rappresenta un'informazione in formato binario, cioè un insieme di valori che possono essere zero o uno. La modulazione numerica viene impiegata anche nei cellulari, nella TV digitale e satellitare, nei ponti radio. Vi sono tre tipi fondamentali di modulazione digitale o numerica:

- **ASK** (*Amplitude Shift Keying*), modulazione a cambiamento di ampiezza;
- **FSK** (*Frequency Shift Keying*), modulazione a cambiamento di frequenza;
- **PSK** (*Phase Shift Keying*), cioè modulazione a cambiamento di fase.

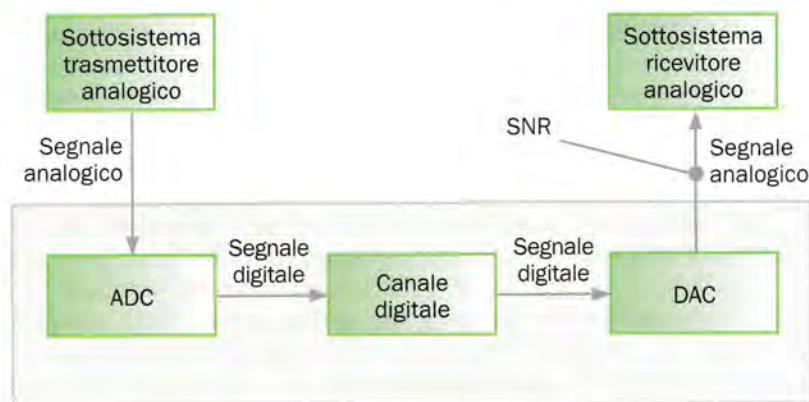
I tre tipi di modulazione sono illustrati nelle figure seguenti:



## Conversione analogico – digitale

Poniamoci ora il problema di utilizzare un canale digitale per effettuare una trasmissione analogica. A prima vista sembrerebbe un'inutile contorsione, vista la disponibilità di canali analogici. Il vantaggio sta nel migliore comportamento delle trasmissioni numeriche rispetto ai disturbi, nonché nella loro generalità. Per ottenere il risultato desiderato, occorre applicare alla sorgente analogica un procedimento di **campionamento**, quindi di **quantizzazione** e infine di **codifica**, che vedremo nella prossima lezione. Il dispositivo che si occupa di fare questo è il **convertitore analogico-digitale** (convertitore A/D o ADC).

Tale dispositivo genera una sequenza numerica che viene inviata sul canale e, all'arrivo, nuovamente convertita nel segnale analogico originario, utilizzando un dispositivo di conversione digitale-analogica (**DAC**) dal lato del ricevitore.



Un classico esempio di quest'ultimo processo è rappresentato dall'acquisizione del suono digitale e dalla sua riproduzione attraverso gli altoparlanti del computer. In questo caso è lo stesso computer a rivestire il ruolo di canale digitale.





# LEZIONE

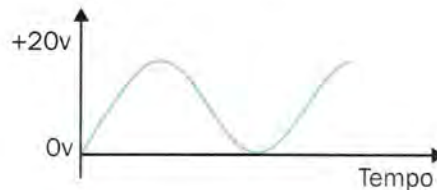
## Campionamento e quantizzazione di un segnale analogico

# 22

Per digitalizzare un segnale continuo e trasformarlo in uno digitale occorrono tre fasi:

- campionamento;
- quantizzazione;
- codifica.

Consideriamo il seguente segnale analogico:



Tale segnale è caratterizzato da un numero infinito di valori che si susseguono senza interruzione nel tempo. Si dice anche *con continuità* nel tempo.

Con la prima fase, quella del **campionamento**, è possibile descrivere il segnale specificandone solamente i valori assunti in un numero finito e prestabilito di istanti di tempo abbastanza ravvicinati tra loro.

Se si specificano i valori che il segnale assume in un numero finito di istanti sufficientemente vicini tra loro, l'andamento del segnale nei restanti punti può essere ricostruito a partire dai valori conosciuti. Questo, ovviamente, è vero solo a patto che i valori conosciuti corrispondano a istanti sufficientemente vicini tra loro.

La distanza tra due successivi valori noti del segnale è solitamente detta **passo** o **periodo di campionamento** e i valori assunti dal segnale negli istanti noti sono detti **campioni del segnale**.



Dopo che è stato campionato, il segnale non è ancora in una forma utile per essere manipolato da un computer. Questo perché una rappresentazione esatta dei singoli campioni richiederebbe una quantità di memoria infinita. Considera per esempio il caso di un campione che assume un valore pari alla radice quadrata di 2. Tale valore rappresenta un numero reale con infinite cifre decimali e quindi la sua rappresentazione esatta richiederebbe una quantità di memoria infinita.

In generale non siamo interessati al valore esatto del campione, ma siamo disposti ad accettare anche un valore approssimato, purché l'approssimazione sia abbastanza accurata. In pratica, fissiamo una **precisione** ritenuta sufficiente per i nostri scopi e ci limitiamo a specificare il valore dei campioni con tale precisione. Questa operazione di limitazione del numero di cifre decimali usate per rappresentare i campioni si chiama **quantizzazione** del segnale campionato. Il processo di quantizzazione dei campioni di un segnale avviene nel seguente modo:

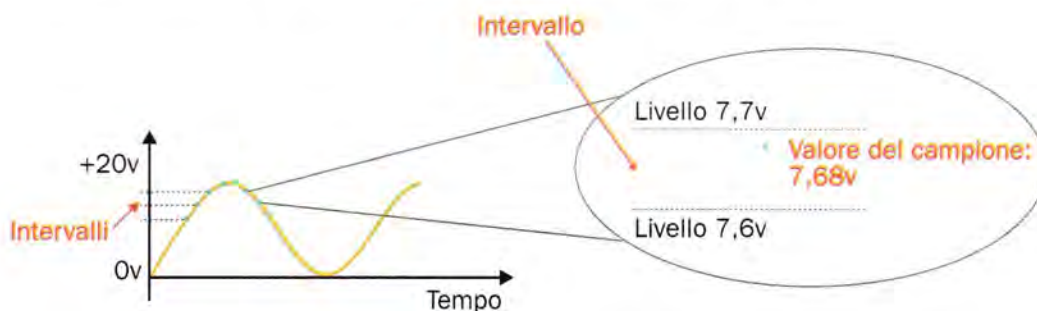
- si determina la **precisione** con la quale i campioni devono essere rappresentati;
- si suddivide l'asse delle ordinate in tanti **livelli di quantizzazione**, ovvero in intervalli, ognuno dei quali ha un'ampiezza pari alla precisione richiesta.



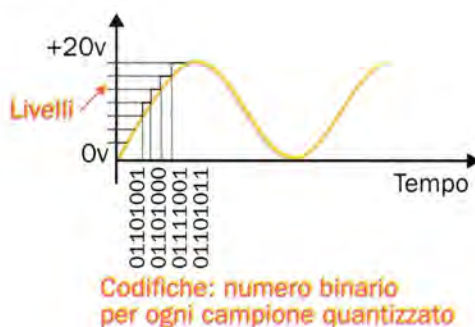


Il numero di livelli è determinato a partire dalla precisione richiesta e dalla massima escursione del segnale in ingresso. Per esempio, se si decide di rappresentare i campioni fino alla loro prima cifra decimale, ogni *intervallo unitario* sarà suddiviso in dieci parti uguali (0; 0,1; 0,2; ...). Infine, a tutti i campioni che cadono in un certo intervallo viene assegnato il valore quantizzato più vicino (arrotondamento) o il valore quantizzato immediatamente inferiore al valore esatto (troncamento). Considera la figura seguente. Supponiamo di suddividere l'intervallo delle ordinate (da 0 a 20 volt) in 200 intervalli di 0,1 volt l'uno, cioè con una precisione di 0,1 V.

Se abbiamo un campione con valore 7,68 V tale valore cadrà tra due intervalli, quello di 7,6 V e quello di 7,7 V. Se abbiamo deciso di arrotondare il valore del campione, allora gli verrà assegnato il valore quantizzato di 7,7 V.



L'ultima fase è quella della **codifica**: a ogni campione quantizzato si fa corrispondere un numero binario, cioè una sequenza di bit. Più esattamente, una volta definiti i livelli di quantizzazione mediante i quali approssimare i campioni del segnale, a ognuno di essi viene fatto corrispondere un diverso numero binario. Sono questi numeri binari che vengono memorizzati ed elaborati dal computer. Dato il numero di livelli di quantizzazione usati, è possibile ricavare immediatamente il numero di bit necessari alla codifica dei campioni. Il segnale della figura precedente è composto da 100 livelli di quantizzazione, per rappresentare i quali è necessario utilizzare 8 bit.



Dalla figura si può notare come il segnale risultante assuma una forma a gradino. Il livello di un campione rimane costante fino al prossimo intervallo dove cambierà livello.

## Rumore di quantizzazione

È fondamentale notare che, mentre il campionamento non comporta alcuna perdita delle caratteristiche del segnale, la quantizzazione provoca una perdita, in quanto i valori numerici quantizzati non sono uguali a quelli originali che sono andati persi nel processo di arrotondamento o troncamento legato alla quantizzazione. Tale perdita è tanto minore quanto è maggiore il numero di bit utilizzati per la codifica dei campioni.

Poiché a seguito della quantizzazione il segnale risulta come distorto, si parla di **rumore di quantizzazione**.



# Tutto in test...a

PROVE OGGETTIVE PER LA VERIFICA DELLE CONOSCENZE

- 1** Perché è necessario scomporre un sistema di comunicazione in sottosistemi?
- 2** Quali sono le funzioni che sono svolte dal sottosistema trasmettitore?
- 3** Quali sono le funzioni che sono svolte dal sottosistema ricevitore?
- 4** Quali sono le funzioni svolte dal sottosistema canale?
- 5** Canale è sinonimo di mezzo di comunicazione?
- 6** Che cosa si intende per rumore di un canale?
- 7** Che cos'è l'ampiezza di un segnale continuo?
- 8** Che cos'è la frequenza di un segnale continuo?
- 9** Una frequenza di 100 Hz a quante oscillazioni al secondo corrisponde?
- 10** Risolvi le seguenti equivalenze:
  - a) 10 kHz = \_\_\_\_\_ Hz
  - b) 20 MHz = \_\_\_\_\_ kHz
  - c) 100 Hz = \_\_\_\_\_ kHz
  - d) 1000 Hz = \_\_\_\_\_ MHz
- 11** Il numero di \_\_\_\_\_ delle onde di un segnale in un secondo prende il nome di \_\_\_\_\_. La frequenza si misura in \_\_\_\_\_.
- 12** Un GHz a quanti Hz corrisponde?
- 13** Che cos'è la velocità di trasmissione? In quale unità si misura?
- 14** Che differenza c'è tra banda base e banda larga?
- 15** In che cosa consiste la modalità di collegamento indicata con il termine simplex?
- 16** Come è fatto un doppino ftp?
- 17** In che cosa consiste la modalità di collegamento indicata con il termine duplex?
- 18** La modalità half-duplex è:
  - a) unidirezionale
  - b) bidirezionale simultanea
  - c) bidirezionale alternata
  - d) parallela
- 19** Che cos'è il segnale portante? E il segnale modulante?
- 20** Quando un canale si dice attivo e quando passivo?
- 21** Che cosa si intende per rumore di quantizzazione?
- 22** Il dispositivo che converte l'informazione che ha in ingresso in un'altra che avrà una struttura nota al dispositivo ricevitore si chiama:
  - a) codificatore di canale
  - b) codificatore di sorgente
  - c) decodificatore di canale
  - d) decodificatore di sorgente
- 23** Un segnale analogico che varia nel tempo in un intervallo continuo [min, max] assumerà:
  - a) i valori reali compresi tra il valore min e il valore max
  - b) i valori interi compresi tra il valore min e il valore max
  - c) i valori binari compresi tra il valore min e il valore max
  - d) i valori approssimati compresi tra il valore min e il valore max
- 24** La banda di frequenze, o semplicemente banda, è:
  - a) una trasmissione via etere
  - b) la velocità di trasferimento dell'informazione su un canale
  - c) l'intervallo di frequenze utilizzabili su un canale per trasmettere i messaggi
  - d) la frequenza massima alla quale si può trasmettere su un canale
- 25** Nel campionamento si descrive il segnale analogico specificandone i valori assunti:
  - a) solo in alcuni istanti
  - b) in ogni intervallo di tempo
  - c) ogni millisecondo
  - d) ogni secondo
- 26** Nel processo di quantizzazione si ottiene:
  - a) un valore molto preciso per ogni singolo campione
  - b) un valore approssimato per ogni singolo campione
  - c) più valori approssimati per ogni singolo campione
  - d) due valori approssimati per ogni singolo campione