

Basi teoriche della trasmissione dati

L'informazione può essere trasmessa a distanza variando opportunamente una qualche caratteristica fisica del mezzo scelto per la trasmissione. Tale variazione si propaga, con una certa velocità, lungo il mezzo di trasmissione e dopo un certo tempo arriva all'altra estremità del mezzo, dove può venir rilevata. Ad esempio, se il mezzo è un cavo metallico, si può variare la tensione applicata ad un'estremità. Tale variazione di tensione verrà successivamente rilevata all'altra estremità.

I mezzi trasmissivi sono sostanzialmente di tre tipi:

- **mezzi elettrici** (cavi): in essi il fenomeno fisico utilizzato è l'energia elettrica;
- **mezzi wireless** (onde radio): il fenomeno fisico è l'onda elettromagnetica, una combinazione di campo elettrico e campo magnetico variabili, che si propaga nello spazio e che induce a distanza una corrente elettrica in un dispositivo ricevente (antenna);
- **mezzi ottici** (LED, laser e fibre ottiche): in essi il fenomeno utilizzato è la luce. Si tratta dei mezzi più recenti, che hanno rivoluzionato il settore.

Rappresentando il valore nel tempo del fenomeno fisico utilizzato come una funzione $f(t)$, si può studiare matematicamente il segnale risultante.

In linea di principio, la trasmissione può avvenire con due modalità differenti: trasmissione di **segnale analogico** e trasmissione di **segnale digitale**.

La differenza fondamentale fra un segnale analogico e uno digitale è che:

- il primo può variare **gradualmente** in un intervallo costituito da un **numero infinito** di possibili valori;
- il secondo può variare solamente passando **bruscamente** da uno all'altro di un **insieme molto piccolo** di valori (da due a qualche decina).

Si tenga presente però che il fenomeno fisico utilizzato non è digitale ma analogico. Un segnale quindi non può passare istantaneamente da un valore ad un altro, ma impiegherà un certo tempo per effettuare la transizione. La conseguenza è che un mezzo fisico farà del suo meglio per trasportare un segnale digitale, ma non riuscirà a farlo arrivare esattamente com'è partito.

Come vedremo in seguito, in certi casi (e con certe tecniche) è utile trasformare un segnale analogico in uno digitale e viceversa.

Analisi di Fourier (analisi armonica)

Premessa: una **funzione sinusoidale**, quale il seno o il coseno, è caratterizzata da alcuni parametri :

- **ampiezza** A (la differenza fra il valore massimo ed il minimo);
- **periodo** T (la quantità T di tempo trascorsa la quale la funzione si ripete);
- **frequenza** : l'inverso del periodo $f = 1/T$, misurata in **cicli al secondo (Hz)**.

Fourier (matematico francese dell'800) dimostrò che una funzione $g(t)$, definita in un intervallo T , può essere espressa come una somma di un numero infinito di funzioni sinusoidali:

$$g(t) = \frac{1}{2} c \sum_{n=1}^{\infty} a_n \text{sen}(2\pi nft) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \text{cos}(2\pi nft)$$

dove $f = 1/T$ è la **frequenza fondamentale** ed a_n e b_n sono le ampiezze dell'ennesima armonica (o termine), che ha una frequenza n volte più grande della frequenza fondamentale. I valori di c , a_n e b_n sono tutti calcolabili come opportuni integrali di $g(t)$ in t .

Dunque, un segnale variabile nel tempo è di fatto **equivalente ad una somma di funzioni sinusoidali** aventi ciascuna una propria ampiezza e frequenza. Si può quindi rappresentare un segnale $g(t)$ di durata T in un modo diverso, e cioè attraverso il suo **spettro di frequenze**, ossia attraverso la sua scomposizione in sinusoidi.

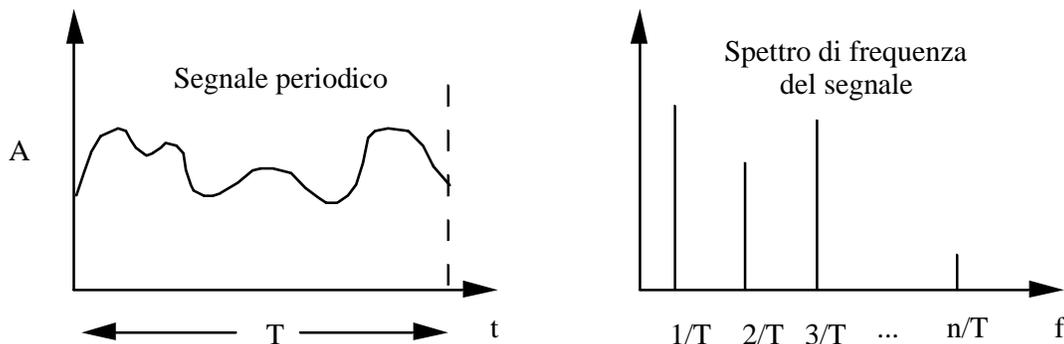


Figura: Un segnale e il suo spettro di frequenze

Qualunque segnale è dunque caratterizzato da un **intervallo di frequenze** nel quale sono comprese le frequenze delle sinusoidi che lo descrivono. Esso va sotto il nome di **banda di frequenza (frequency band)** del segnale.

Diversi fattori influenzano le caratteristiche della banda:

- tanto più è breve la durata T del segnale, tanto più è alto il valore della frequenza fondamentale;
- tanto più velocemente nel tempo varia la $g(t)$, tanto più numerose sono le armoniche necessarie a descriverlo.

Anche i mezzi fisici sono caratterizzati da una banda di frequenze, detta **banda passante**. Essa rappresenta l'intervallo di frequenze che il mezzo fisico è in grado di trasmettere senza alterarle oltre certi limiti.

Le alterazioni principali sono la **attenuazione** e l'**introduzione di ritardo**, che di norma variano al variare delle frequenze trasmesse.

A volte la dimensione della banda passante dipende dalle caratteristiche fisiche del mezzo trasmissivo, a volte deriva dalla presenza di opportuni **filtri** che tagliano le frequenze oltre una certa soglia (detta **frequenza di taglio**, f_c). Ad esempio, nelle linee telefoniche la banda passante è 3 kHz (da 0 Hz a 3.000 Hz), ottenuta con **filtri passa-basso**.

In generale, i mezzi trasmissivi :

- attenuano i segnali in proporzione alla distanza percorsa e alla frequenza del segnale;
- propagano i segnali a velocità proporzionali alle loro frequenze.

Una conseguenza è che, per qualunque mezzo trasmissivo, la banda passante si riduce all'aumentare della lunghezza del mezzo stesso.

Perché un segnale sia ricevuto come è stato trasmesso, è necessario che la banda passante sia uguale o più ampia della banda di frequenza del segnale stesso. Altrimenti, il segnale viene privato di alcune delle sue armoniche (tipicamente quelle di frequenza più elevata) e viene quindi distorto, cioè alterato. Se un numero sufficiente di armoniche arriva a destinazione, il segnale è comunque utilizzabile.

Ci sono due teoremi fondamentali che caratterizzano i limiti per la trasmissione delle informazioni.

Teorema di Nyquist

Nyquist (1924) ha dimostrato che un segnale analogico di banda h (da 0 ad h Hz) può essere completamente ricostruito mediante una campionatura effettuata $2h$ volte al secondo. Dunque esso "convoglia" una quantità di informazione rappresentabile con un numero di bit pari a

$$2h \cdot (\text{logaritmo in base 2 del numero di possibili valori del segnale})$$

per ogni secondo.

Una conseguenza di tale teorema è che il massimo *data rate* (detto anche, con un termine non del tutto appropriato, *velocità di trasmissione*) di un canale di comunicazione dotato di una banda passante da 0 Hz ad h Hz (passa-basso di banda h) che trasporta un segnale consistente di V livelli discreti è:

$$\text{massimo data rate (bit/sec.)} = 2h \log_2 V$$

Questo risultato implica che un segnale binario non va oltre i 6 kbps su una linea di banda passante pari a 3 kHz. Come vedremo, i modem veloci sfruttano un segnale con un numero V di livelli piuttosto elevato per riuscire a trasmettere, su una linea funzionante ad x *baud*, più di x bit/sec. (il termine baud indica la velocità di segnalazione di una linea, ossia quante volte al secondo essa è in grado di cambiare valore).

Teorema di Shannon

Il teorema di Nyquist è valido per canali totalmente privi di disturbi (il che purtroppo non è realistico). Per gli altri casi vale il teorema di Shannon (1948), che considera le caratteristiche di un canale rumoroso.

Prima di esporre il teorema è necessario chiarire il concetto di *rapporto segnale/rumore* (*signal to noise ratio*, *S/N*): esso è il rapporto fra la potenza del segnale e quella del rumore. Si misura in *decibel* (*dB*), che crescono come $10 \log_{10} (S/N)$. La tabella seguente riporta alcuni valori esemplificativi.

Rapporto S/N	Misura in Db
2	3
10	10
100	20
1.000	30

Il teorema di Shannon afferma che il massimo data rate di un canale rumoroso, con banda passante di h Hz e rapporto segnale/rumore pari a S/N , è data da:

$$\text{massimo data rate (bit/sec.)} = h \lg_2 (1 + S/N)$$

Si noti che in questo caso non conta più il numero V di livelli del segnale. Ciò perché, a causa del rumore, aumentarne il numero può renderli indistinguibili.

Ad esempio, su un canale con banda 3kHz e $S/N = 30\text{dB}$ (tipici di una normale linea telefonica) si può arrivare al massimo a 30.000 bps.

In generale:

- più alto è il numero di bit/secondo che si vogliono trasmettere, più ampia diviene la banda passante che serve (T diminuisce);
- a parità di mezzo utilizzato, tanto più è corto il canale di trasmissione tanto più è alto il numero di bit/secondo raggiungibile (attenuazioni e sfasamenti restano accettabili);
- la trasmissione digitale è più critica di quella analogica (genera frequenze più alte), ma può essere più facilmente "rigenerata" lungo il percorso (è sufficiente distinguere fra pochi valori per ripristinare il segnale originario; nella trasmissione analogica ogni amplificazione introduce distorsione, che si somma a quella degli stadi precedenti).