

LIVELLO FISICO

Ciascun segnale $s(t)$ può essere rappresentato da una somma di sinusoidi.

Se il segnale è **periodico**: somma **discreta**, include solo le frequenze armoniche (multipli interi di $f=1/T$, i.e., la frequenza fondamentale) [vedi serie di Fourier].

Se il segnale è **aperiodico**: somma **infinita**, include tutte le frequenze (non solo le armoniche) [vedi trasformata di Fourier].

Lunghezza d'onda e frequenza di un'onda elettromagnetica sono legate dalla seguente relazione: $\lambda = c * f$

Un segnale che viene passato al trasmettitore TX da un sensore quale un microfono, una telecamera, etc., è continuo e analogico.

Ad ogni segnale è associata una banda del segnale B che corrisponde alla sua frequenza massima: $B=f_M$.

Affinché il segnale possa essere trasmesso, è necessario che questo sia trasformato in un segnale **digitale**, ossia una sequenza di bit. Questo perchè ogni dispositivo di calcolo (computer, cellulare, etc.) elabora l'informazione nel dominio **digitale**.

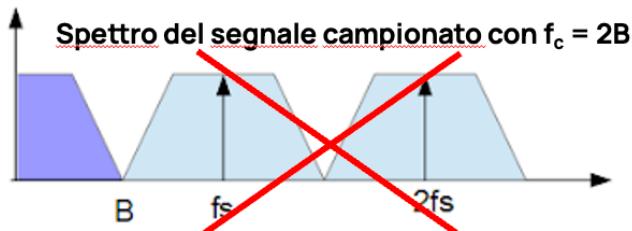
Per digitalizzare un segnale è necessario campionarlo, quantizzarlo, e digitalizzarlo.

- 1) Nel **campionamento**, il segnale viene discretizzato, ovvero vengono prelevati campioni nel tempo con un periodo $T_c = 1/f_c$; f_c è la frequenza di campionamento (Nyquist), e deve essere almeno doppia rispetto alla banda (o frequenza massima) del segnale: $f_c \geq 2B$;
- 2) Con la **quantizzazione** questi valori discreti vengono mappati/quantizzati in L_{quant} livelli discreti che sono equidistanti tra loro;
- 3) Infine la **digitalizzazione** permette di associare una sequenza di bit ad ogni livello discreto: $L_{\text{quant}} = 2^n$, dove $n = \log_2 L_{\text{quant}}$ rappresenta il numero di bit.

Il segnale da continuo, $s(t)$, è diventato discreto e digitale (sequenza di bit), e viene espresso come $s(kT_c)$.

La velocità di trasmissione all'uscita del convertitore analogico/digitale è $R_b = n * f_c$, anche noto come bit rate, il quale viene espresso in b/s (analogo a b/Hz). Come vedremo in seguito, questo valore indica la banda trasmissiva.

Approfondimento: Dato che lo spettro di un segnale campionato è la ripetizione periodica (con frequenza f_c) dello spettro del segnale originale (derivante dalla teoria dell'analisi spettrale di Fourier), lo stesso può essere ricostruito attraverso un filtro passo-basso, il quale permette di tagliare tutte le frequenze più alte di B .

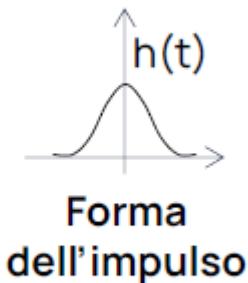


MODULAZIONE: Prima di poter essere trasmesso nel canale trasmittivo, è necessario che il segnale abbia delle precise caratteristiche: è la fase della codifica (o della modulazione) del segnale.

Dato che il mezzo trasmittivo è **fisico**, il segnale digitale deve essere *riconvertito nel dominio analogico*. Utilizzeremo la sequenza digitale per modulare (o modellare) un segnale analogico (continuo) grazie a parametri quali **fase**, **ampiezza**, e **frequenza** del segnale continuo (o impulso) che viene usato per trasformare ogni bit in una forma d'onda.

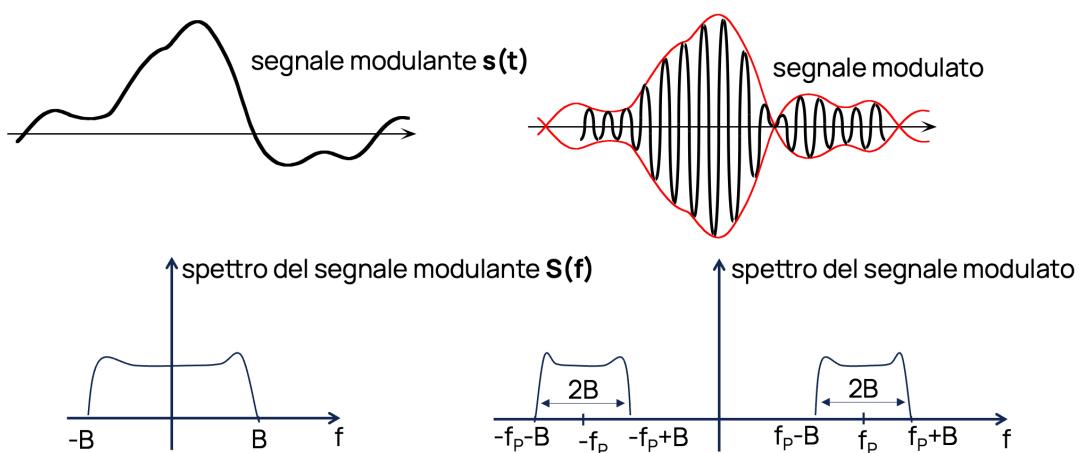
La modulazione di un segnale può avvenire in due modi:

1. **Banda base:** i segnali usati nella modulazione hanno uno spettro contiguo rispetto all'origine (la frequenza con cui esce dal trasmettitore è uguale alla banda del segnale). In questo caso la modulazione è dell'ampiezza in banda base (PAM, pulse amplitude modulation).



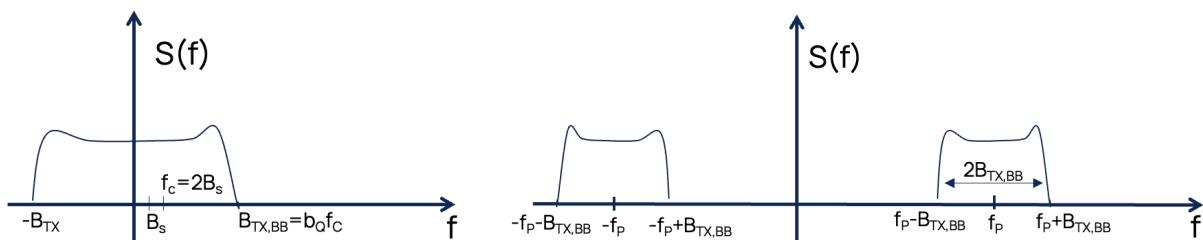
2. **Banda traslata:** i segnali hanno uno spettro traslato su intervalli di frequenze non contigue all'origine. Questa traslazione viene determinata dalla **frequenza portante**, che sarà molto superiore rispetto alla frequenza massima f_M (o B) del segnale di partenza.

Questa frequenza portante rappresenta una particolare onda elettromagnetica, adatta alla trasmissione nel mezzo trasmittivo.



Considerazione importante (slide 23):

- Se la trasmissione avviene in **banda base**, la banda del canale deve essere maggiore o uguale alla banda trasmissiva;
- Se la trasmissione avviene in **banda traslata**, la banda del canale deve essere almeno il doppio rispetto alla banda trasmissiva.



Se la banda trasmissiva è maggiore della banda del canale, il canale trasmissivo perde l'informazione del segnale contenuta nelle armoniche del segnale che vengono tagliate.

Per aumentare la capacità di canale e dunque trasmettere più bit per ogni simbolo trasmesso (si aumenta il bit Rate), si usa la **modulazione multilivello** (vedi slides).

Nel trasmettitore, la velocità di trasmissione è definita come $R_t = R_b = n * f_c$. Questa velocità viene chiamata bit rate dato che siamo ancora nel dominio digitale.

Nel canale (o mezzo trasmissivo), dato che grazie alla modulazione i bit sono diventati impulsi con specifiche caratteristiche (fase, ampiezza, frequenza), la velocità di trasmissione R_c diventa:

- Nel caso di modulazione binaria, visto che ogni simbolo corrisponde ad un solo bit, $R_c \approx R_t$, dove $R_t \approx B_{TX,BB}$ (assumiamo di avere un simbolo per ogni ciclo, i.e., per ogni Hz);
- Nel caso di modulazione multilivello, visto che ogni simbolo corrisponde a più bit, $R_c \approx R_t/n$, dove, come prima, $R_t \approx B_{TX,BB}$, e n corrisponde al numero di bit per simbolo ($n = \log_2 M$, M sono i livelli della modulazione).

Questo significa che la banda richiesta per trasmettere un segnale con modulazione multilivello è inferiore rispetto a quella richiesta con una modulazione binaria.