

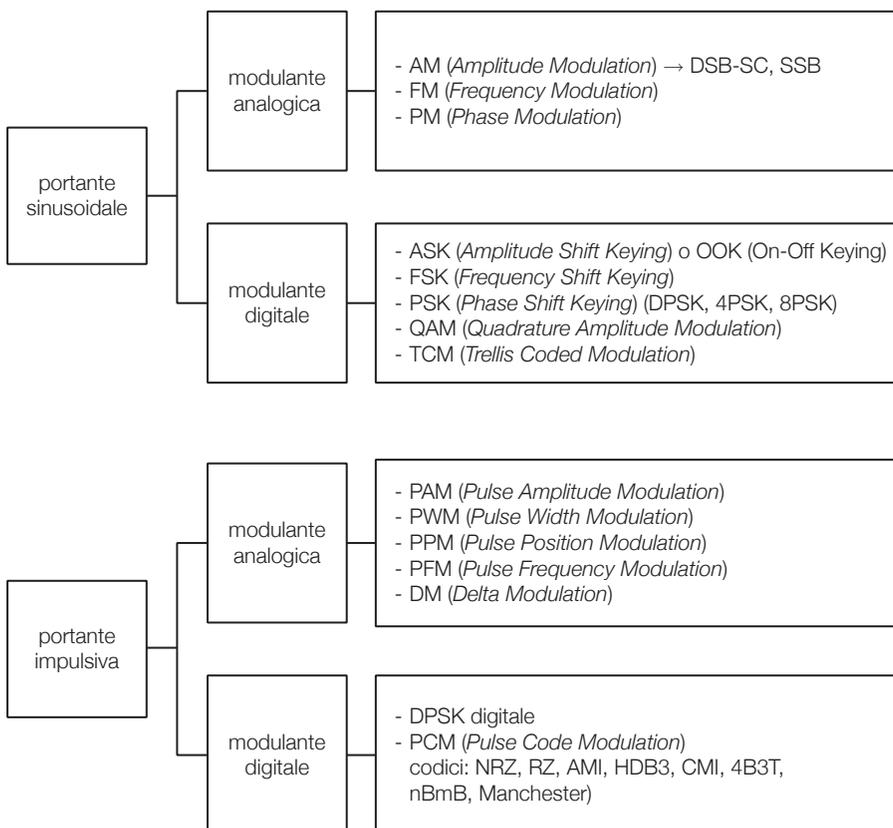
## Le modulazioni

Le modulazioni sono tecniche per la trasmissione dei segnali elettrici (o elettromagnetici mediante antenne) che hanno lo scopo di associare un segnale detto *modulante* (in genere contenente informazione) ad un altro segnale detto *portante* che ha le caratteristiche adatte ad essere trasmesso in un certo canale trasmissivo (antenna, cavo coassiale, fibra ottica, ecc.); il segnale prodotto è detto *modulato*.

La modulazione converte la banda occupata dallo spettro del segnale modulante (*banda base*) in una banda, in genere posta a frequenze maggiori, detta *banda traslata*.

I segnali modulanti possono rappresentare le informazioni più diverse: audio, video, dati. In generale, il motivo per cui si utilizzano le tecniche di modulazione risiede nel fatto che i segnali informativi sono in prevalenza di natura passa-basso (il loro contenuto spettrale è concentrato per lo più a basse frequenze), mentre i canali trasmissivi che più comunemente si utilizzano per trasmettere i segnali (come le onde radio e le fibre ottiche) sono tipicamente di natura passa-banda.

Una **classificazione delle modulazioni** principali può essere fatta distinguendo i tipi di segnali modulanti (analogici e digitali) e i tipi di segnali portanti (sinusoidali e impulsivi):



## La modulazione d'ampiezza (AM)

La modulazione d'ampiezza (*Amplitude Modulation*) è stata la prima utilizzata per trasmettere la voce umana mediante antenne e onde radio, grazie alla semplicità dei circuiti necessari (modulatore e demodulatore). Per contro la qualità della trasmissione è molto influenzata dalla rumorosità del canale trasmissivo.

Nella modulazione di ampiezza il segnale modulante provoca una variazione dell'ampiezza della sinusoide portante, a più alta frequenza. Il segnale modulato AM si presenta quindi come in FIGURA 1, il cui inviluppo ha l'andamento del segnale modulante.

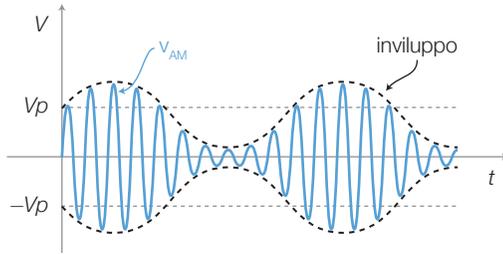


FIGURA 1 Andamento nel tempo di un segnale modulato AM.

Per determinare lo spettro di un segnale modulato AM è necessario affrontare lo studio dal punto di vista matematico supponendo, per semplicità, anche il segnale modulante sinusoidale:

$$\text{modulante: } v_m = V_m \cos \omega_m t \quad \text{portante: } v_p = V_p \cos \omega_p t$$

Il segnale modulato AM è dato da:

$$v_{AM} = V_p (1 + m_a \cos \omega_m t) \cos \omega_p t$$

dove  $m_a = \frac{kV_m}{V_p}$  è detto *indice di modulazione d'ampiezza* e rappresenta il rapporto tra l'ampiezza dell'inviluppo e quella della portante. Affinchè l'inviluppo del segnale modulato sia uguale al segnale modulante è necessario che sia  $m_a \leq 1$ ; in caso contrario il segnale demodulato subirà una distorsione, detta di sovr modulazione.

Si noti che l'espressione di  $v_{AM}$  descrive un coseno alla pulsazione portante, la cui ampiezza dipende dal segnale modulante.

Per dedurre lo spettro del segnale AM è necessario sviluppare l'espressione di  $v_{AM}$  per ricavare una somma di termini sinusoidali, che corrispondono alle righe dello spettro:

$$v_{AM} = V_p \cos \omega_p t + m_a V_p \cos \omega_p t \cdot \cos \omega_m t$$

il prodotto di due coseni si può sviluppare in base alla relazione trigonometrica:

$$\cos x \cdot \cos y = \frac{1}{2} \cos(x - y) + \frac{1}{2} \cos(x + y)$$

e quindi:

$$v_{AM} = V_p \cos \omega_p t + \frac{m_a V_p}{2} \cos(\omega_p - \omega_m)t + \frac{m_a V_p}{2} \cos(\omega_p + \omega_m)t$$

da cui si deduce che lo spettro è costituito da tre righe con pulsazioni (FIGURA 2A):

- coincidente a quella della portante  $\omega_p$ ;
- pari alla differenza delle pulsazioni  $\omega_p - \omega_m$ ;
- pari alla somma delle pulsazioni  $\omega_p + \omega_m$ .

Se la modulante è un segnale informativo con andamento aleatorio, il cui spettro viene convenzionalmente rappresentato con un triangolino, l'andamento dello spettro AM è quello in FIGURA 2B.

Lo spettro è quindi costituito dalla portante più le due bande laterali, la cui occupazione totale di banda risulta il doppio di quella del segnale in banda base (modulante).

L'estrazione del segnale modulante dal segnale AM (demodulazione) si può effettuare con un rivelatore d'involuppo, descritto nel PARAGRAFO 2.3 del CAPITOLO 3. Per ottenere un segnale esattamente uguale al modulante è necessario porre a valle del rivelatore d'involuppo:

- un filtro passa basso, con frequenza di taglio compresa tra la frequenza portante e la massima frequenza contenuta nello spettro del modulante: in questo modo si elimina il ripple residuo;
- un filtro passa alto, con frequenza di taglio prossima allo zero: in questo modo si elimina la componente continua sovrapposta all'involuppo e si porta il segnale a valor medio nullo.

Si verifichi quanto detto mediante il programma di simulazione Multisim.

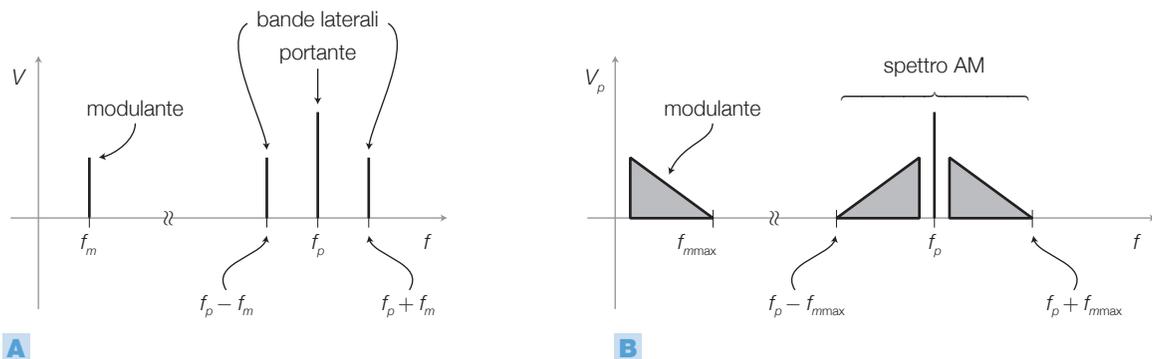


FIGURA 2 Spettro di un segnale AM con modulante: **A)** sinusoidale; **B)** aleatorio.