

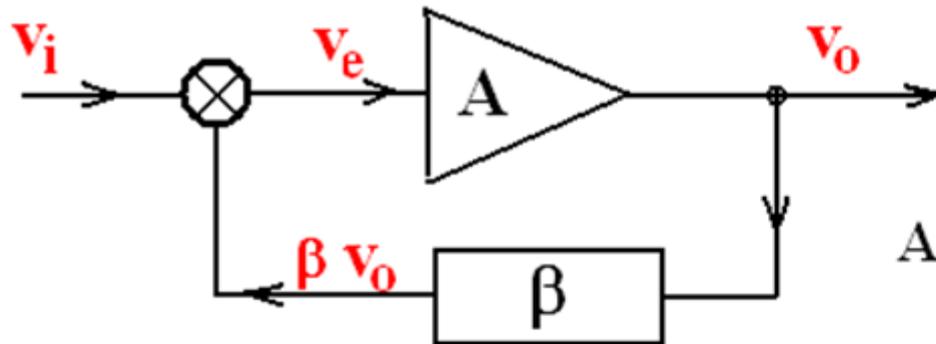
**A.R.I. - Sezione di Parma**

Corso di preparazione esame  
patente radioamatore 2018

# **Oscillatori e tipi di modulazione**

**Carlo Vignali, I4VIL**

# FEEDBACK



nodo di tipo "somma"

$A$  = guadagno ad anello aperto  
(con segno)

$\beta$  = frazione della tensione di uscita  
che viene riportata all'ingresso  
(con segno)

$$v_e = v_i + \beta v_o \quad A = \frac{v_o}{v_e}$$

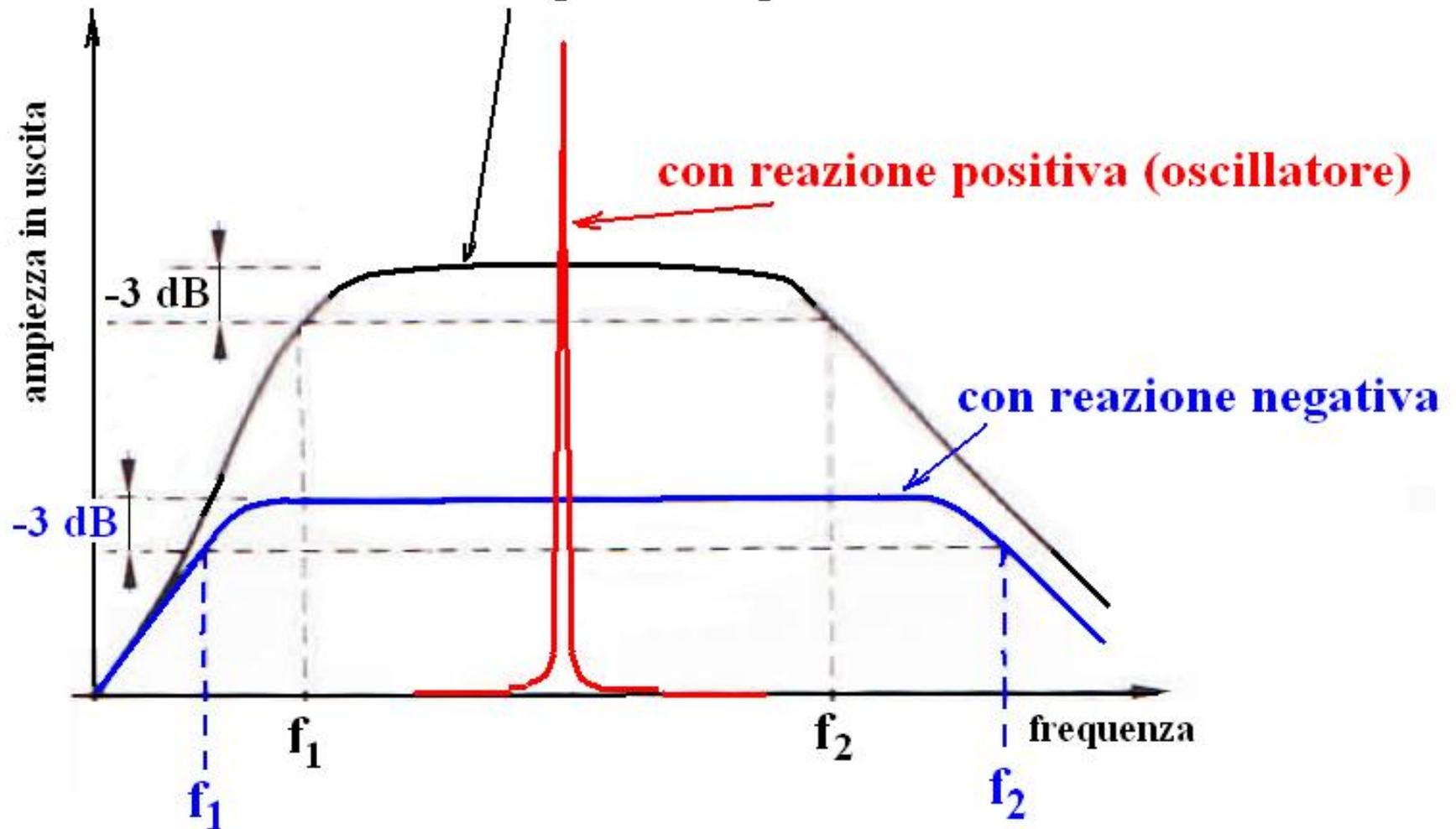
il guadagno ad anello chiuso diviene:

$$A_c = \frac{v_o}{v_i} = \frac{v_o}{v_e - \beta v_o} = \frac{A}{1 - \beta A}$$

Quando il denominatore è maggiore di 1, il guadagno ad anello chiuso  $A_c$  è minore di  $A$  (reazione negativa).

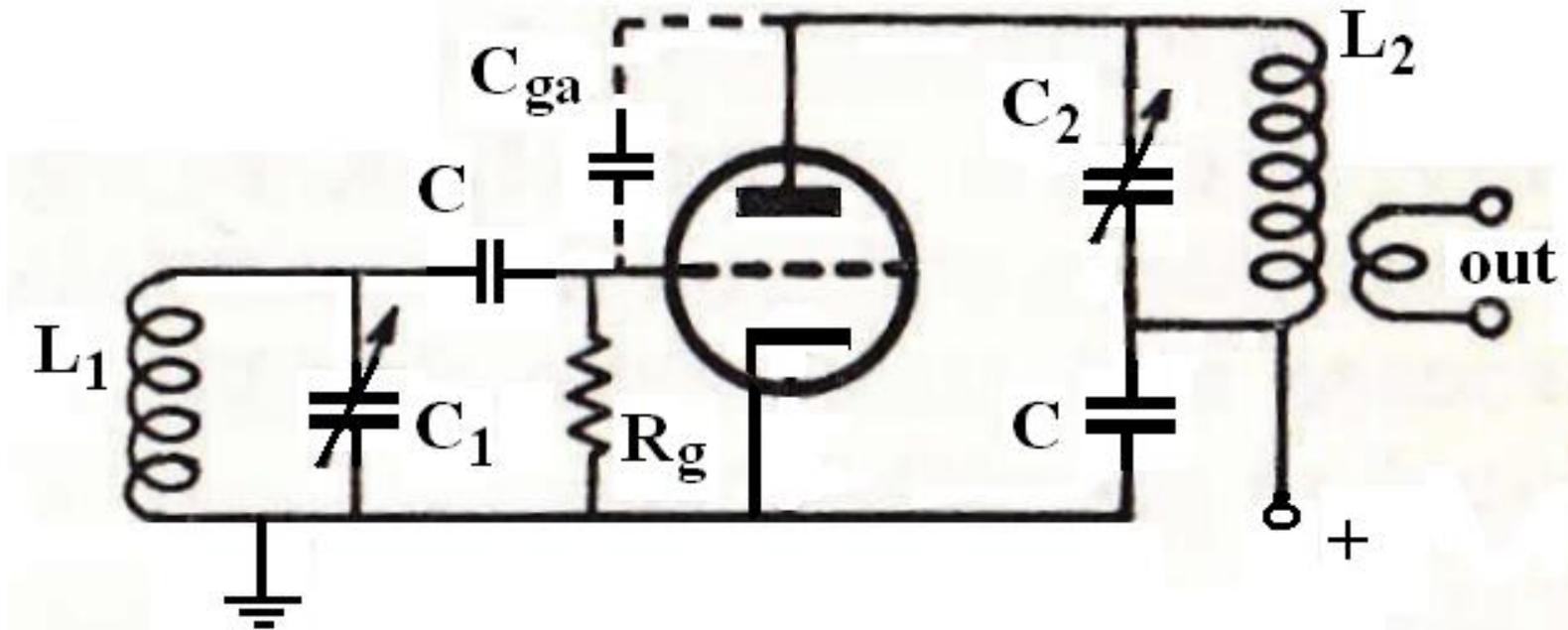
Se è minore di 1, il guadagno è maggiore di  $A$  (reazione positiva).

## Risposta amplificatore non reazionato



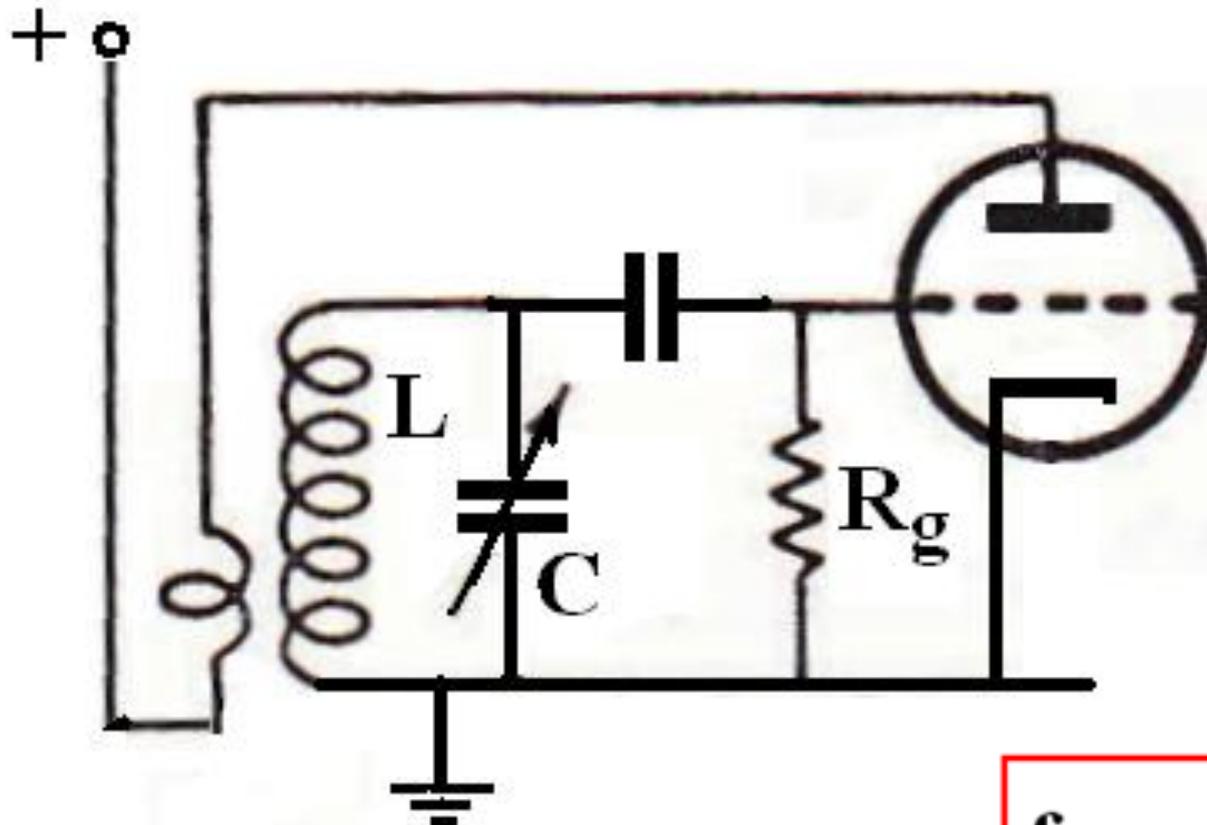
# OSCILLATORE ARMSTRONG

## Tuned grid – tuned plate

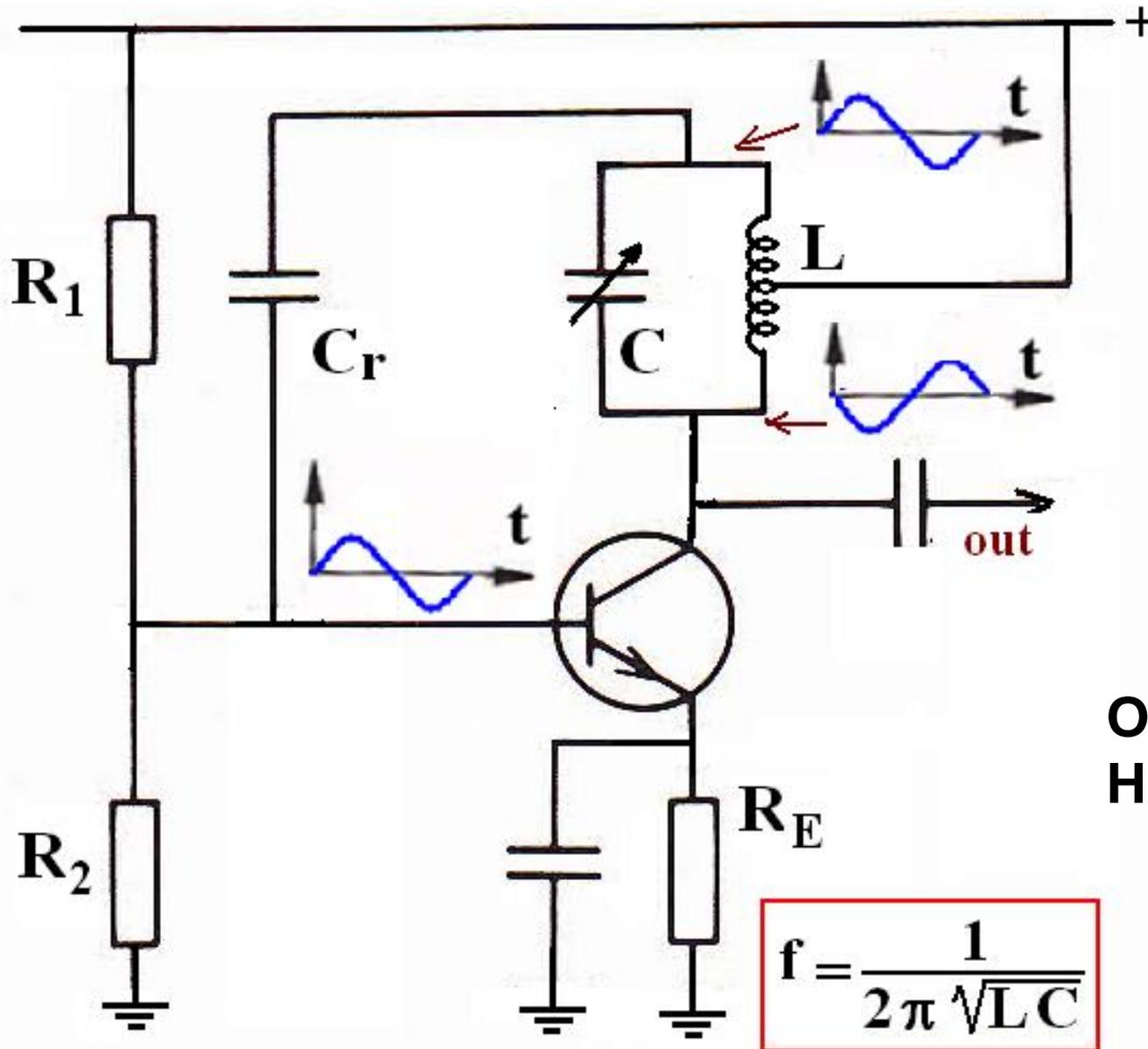


La reazione avviene attraverso la capacità  $C_{ga}$  interna del triodo

## OSCILLATORE MEISSNER



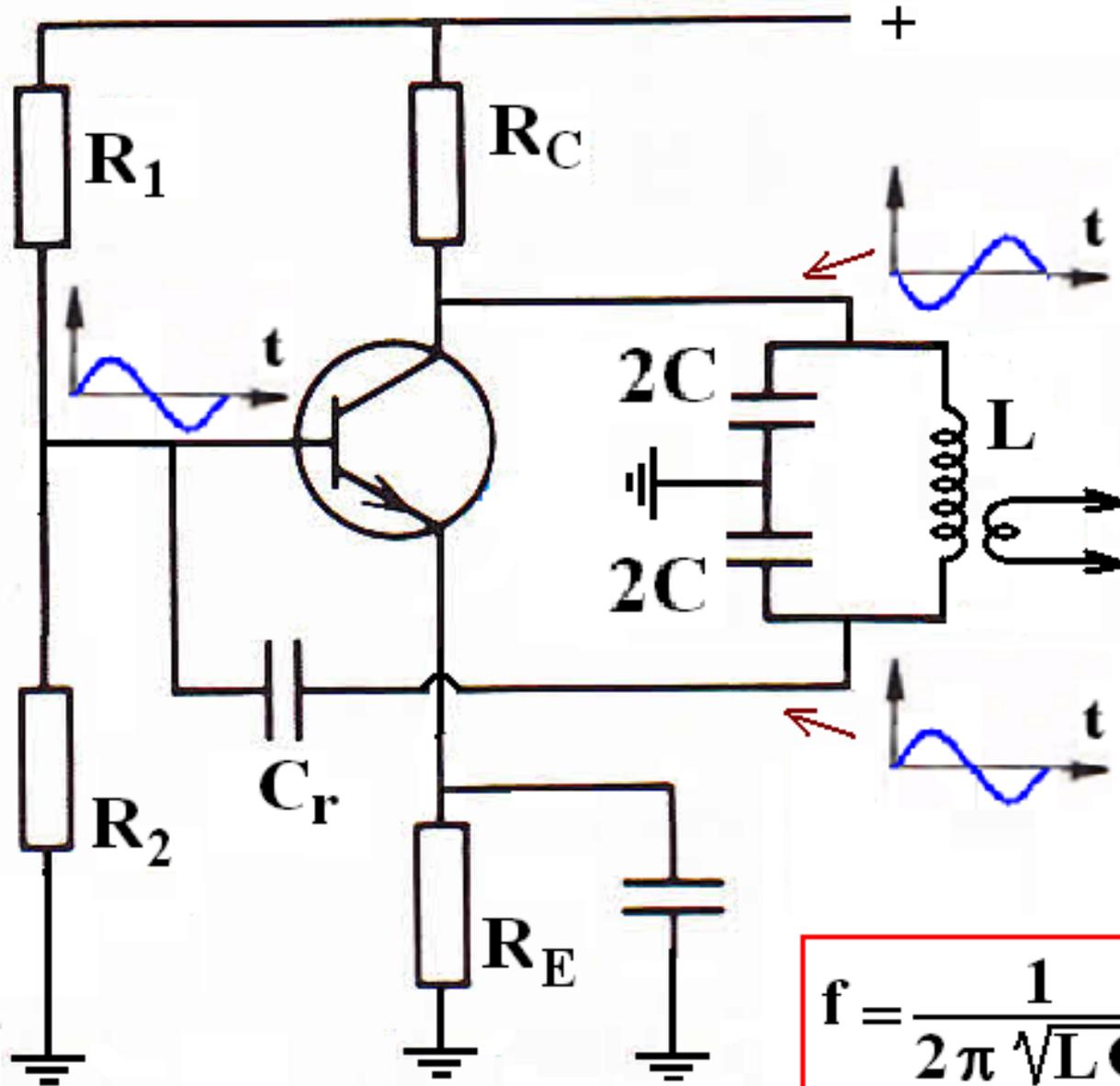
$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$



**OSCILLATORE  
HARTLEY**

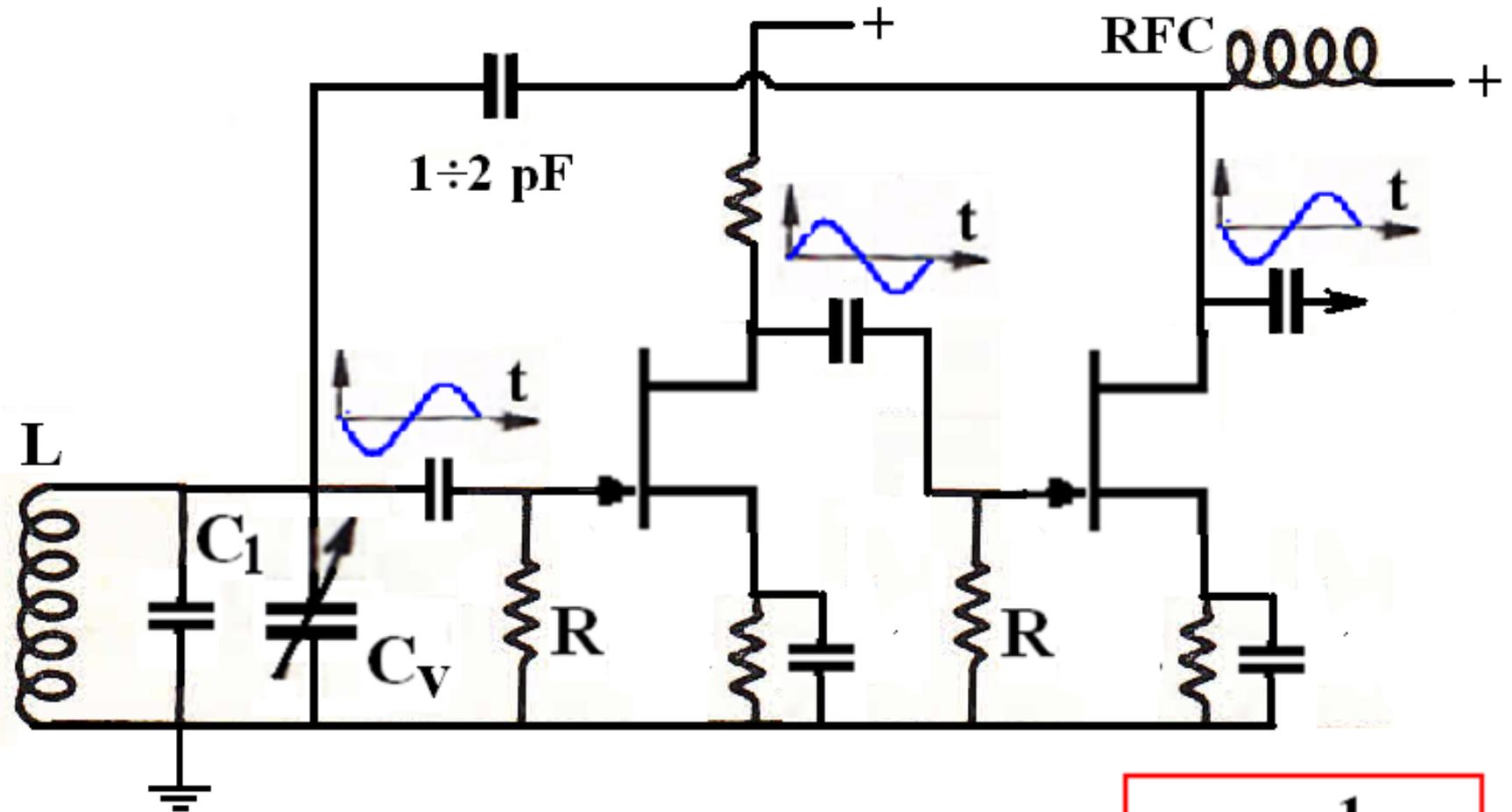
$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

# OSCILLATORE COLPITTS



$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

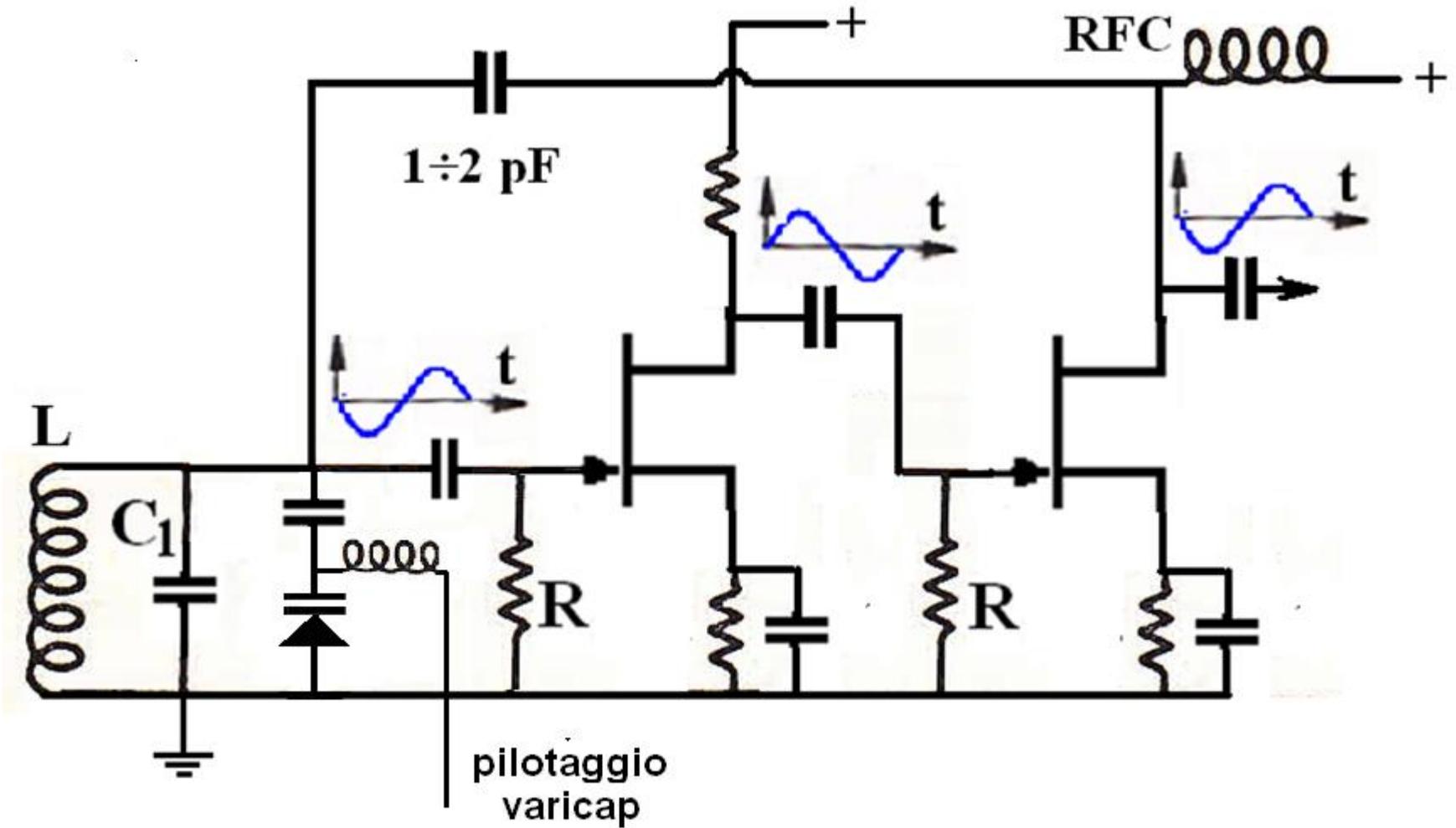
# OSCILLATORE FRANKLIN



$$C = C_1 + C_v$$

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

# OSCILLATORE CON VARIAZIONE DI FREQUENZA ottenuta con VARICAP



# MODULAZIONE

La modulazione è un processo col quale una “portante” (in genere di una ben definita frequenza) è fatta variare in qualche sua caratteristica in funzione del valore istantaneo del segnale da trasmettere che contiene l’informazione (segnale modulante).

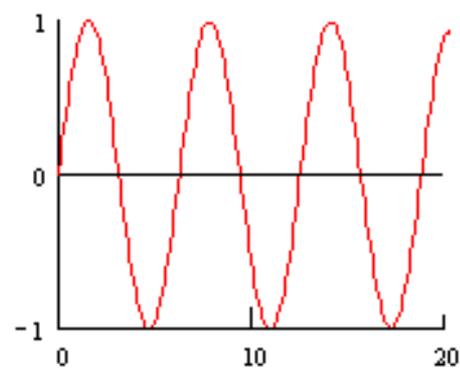
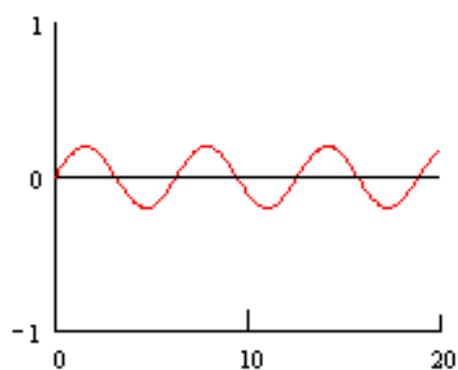
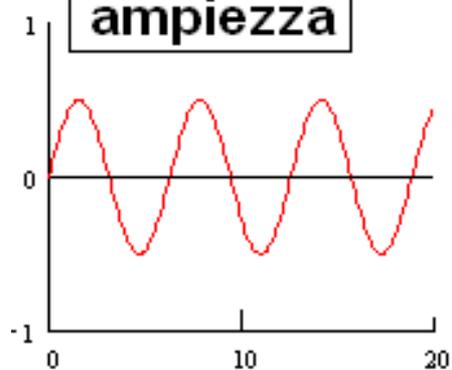
Molto utilizzate, proprio per la facilità con cui sono generate, sono le portanti con forma d’onda sinusoidali.

La forma più generale di una portante ad alta frequenza di forma sinusoidale è:

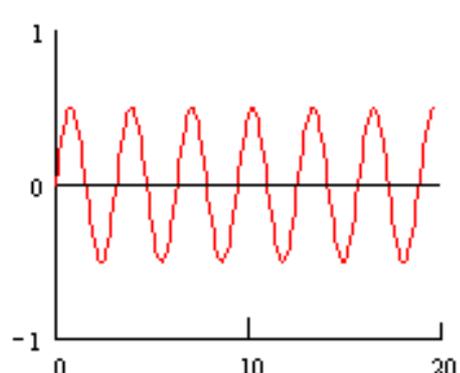
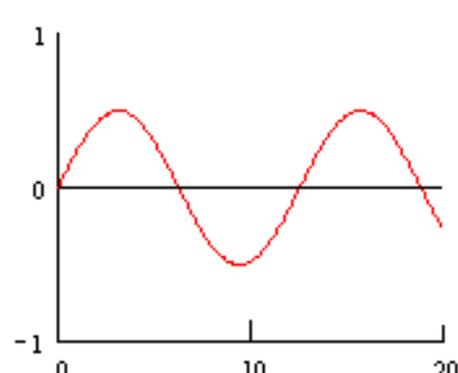
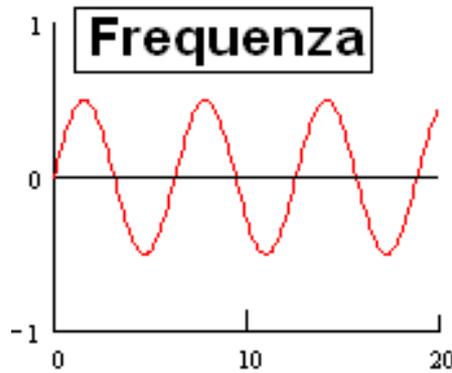
$$f(t) = \underline{A_c(t)} \cdot \underline{\text{sen}(\omega_c(t) \cdot t + \underline{\phi(t)})}$$

Ci sono, pertanto, tre parametri che possono essere variati come funzione del segnale da trasmettere

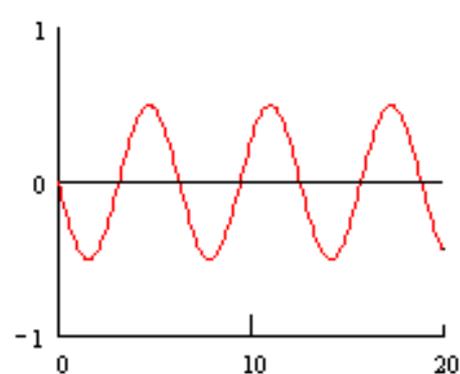
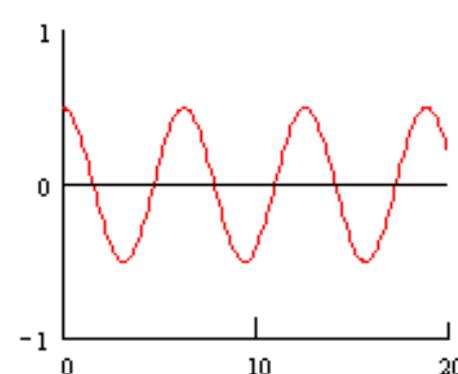
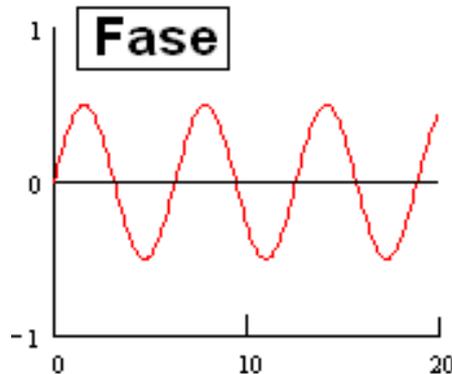
**ampiezza**



**Frequenza**



**Fase**



a) si può variare l'ampiezza  $A_c(t)$  della portante (carrier) proporzionalmente all'ampiezza istantanea del segnale da trasmettere contenente l'informazione. Questa possibilità prende il nome di **modulazione di ampiezza**.

b) si può rendere la fase  $\phi(t)$  variabile in dipendenza dal segnale modulante ed ottenere quella che è chiamata **modulazione di fase**.

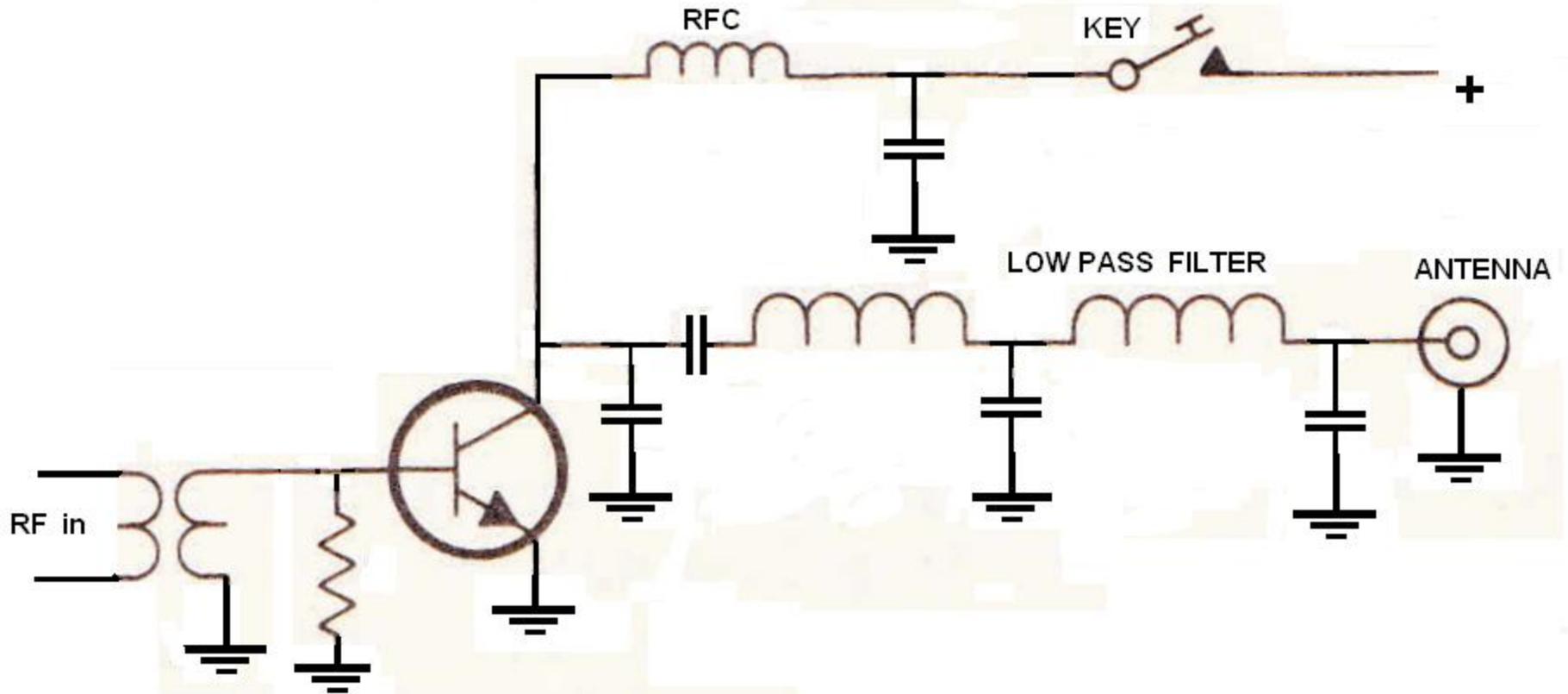
c) è possibile, poi, trasmettere l'informazione modulando la frequenza della portante, ciò che si ottiene rendendo la derivata di  $\phi(t)$  rispetto al tempo "legata" alle caratteristiche del segnale di modulazione. Questa, che è chiamata **modulazione di frequenza**, ha molto in comune con la precedente modulazione di fase tanto che, qualche volta, vengono considerate in un'unica **modulazione d'angolo**.

Ogni tipo di modulazione modifica la forma sinusoidale della portante, questo porta il formarsi da altri segnali a frequenze di valore 'intorno' alla frequenza della portante.

La radiocomunicazione non avviene, quindi, su una sola frequenza, ma su una banda di frequenze, centrata sulla portante.

Generalmente, maggiore è il flusso di informazioni da trasmettere (in bit al secondo), maggiore è la banda necessaria per la trasmissione.

# MODULATORE TELEGRAFIA



## MODULAZIONE DI AMPIEZZA

Consideriamo una portante  $f(t)$  modulata in ampiezza da un segnale modulante  $F(t)$ . Nel caso di un segnale audio si vuole che il segnale elettrico prodotto dal microfono corrisponda al valore istantaneo dell'onda sonora. Per un segnale audio costituito da una sola nota fissa, la funzione  $F(t)$  può essere rappresentata da:

$$F(t) = A_m [ 1 + k \cos\omega_m t ] \quad \text{con } k < 1$$

Si supponga che la portante  $f(t) = A_c \sin(\omega_c t + \phi)$  abbia la sua ampiezza  $A_c$  non costante ma vari nel tempo seguendo l'ampiezza del segnale modulante  $F(t)$  che reca l'informazione. Si ottiene, allora:

$$v(t) = A_c [ 1 + m \cos\omega_m t ] \cos\omega_c t \quad \text{con } m = A_m / A_c$$

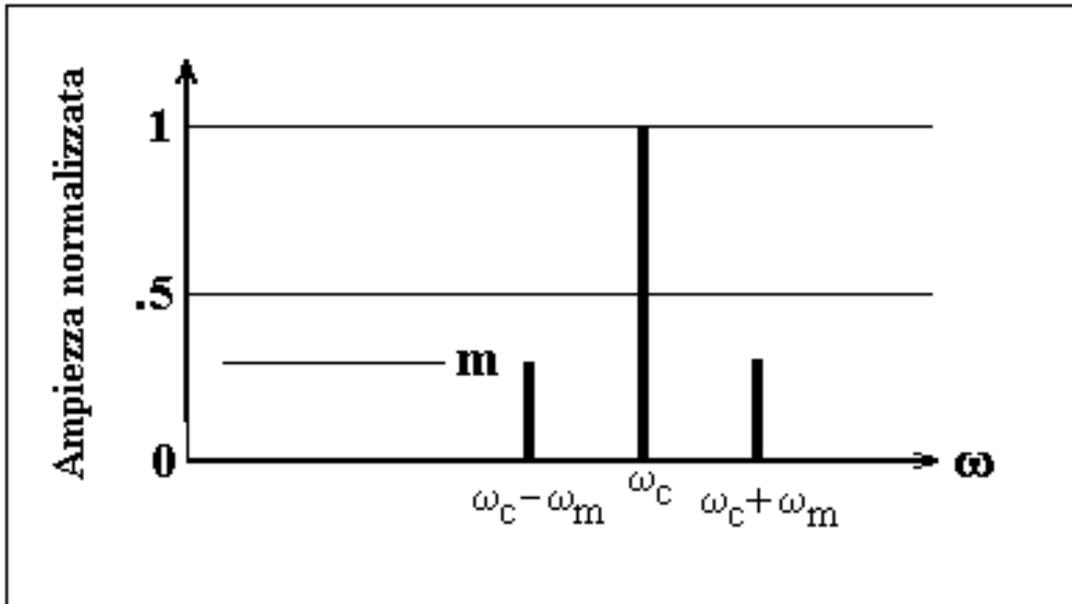
dove, senza nulla togliere alla generalità, si è assunto  $\phi = \pi/2$ . Il valore della fase, infatti, non entra nel processo di modulazione di ampiezza.

Il coefficiente  $m$  è detto **indice di modulazione** e deve sempre essere minore di 1. Infatti, sino a quando  $m$  rimane minore di 1, l'informazione è contenuta nelle variazioni di ampiezza, senza alcun cambiamento di fase della portante.

Con semplici operazioni matematiche si ottiene:

$$v(t) = A_c \cos \omega_c t + A_c m \cos \omega_c t \cos \omega_m t = A_c \cos \omega_c t + \frac{1}{2} A_m \cos(\omega_c - \omega_m) + \frac{1}{2} A_m \cos(\omega_c + \omega_m)$$

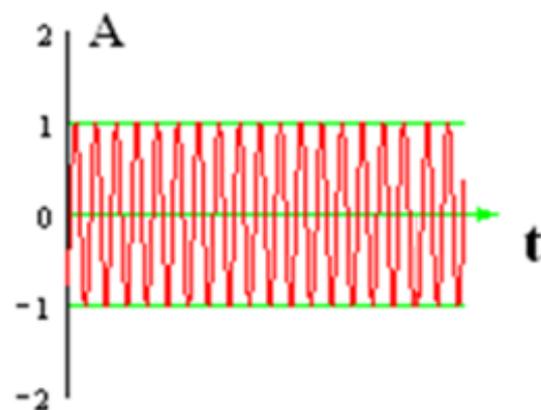
Per effetto della modulazione di ampiezza della portante, si genera un segnale più complesso che contiene 3 termini: il termine della portante rimane invariato con ampiezza  $A_c$ , ma compaiono due termini aggiuntivi di ampiezza  $\frac{1}{2} m A_c$  alle frequenze  $\omega_c - \omega_m$  e  $\omega_c + \omega_m$ .



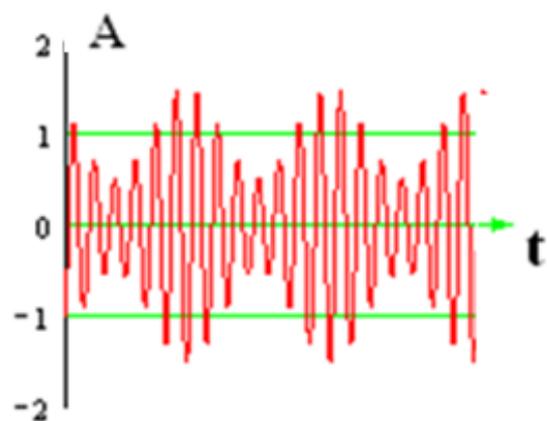
**Spettro di modulazione di ampiezza.**

**Portante a frequenza  $\omega_c$ ,  
modulata in ampiezza con  
indice di modulazione  
 $m = 0.6$**

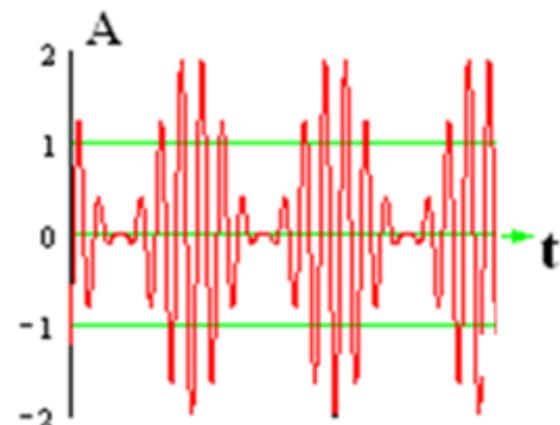
## Dominio del tempo



portante non modulata

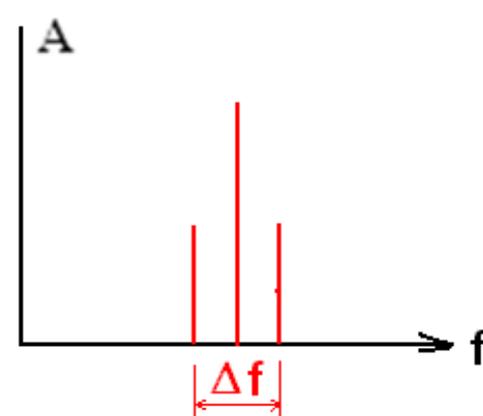
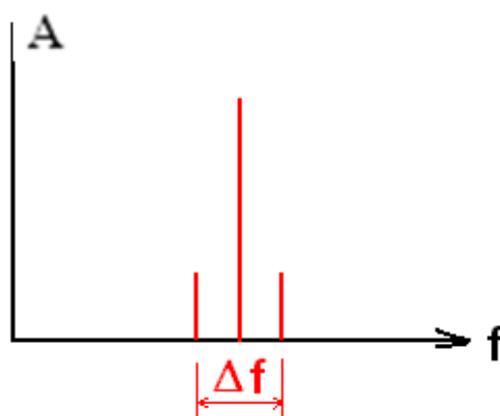
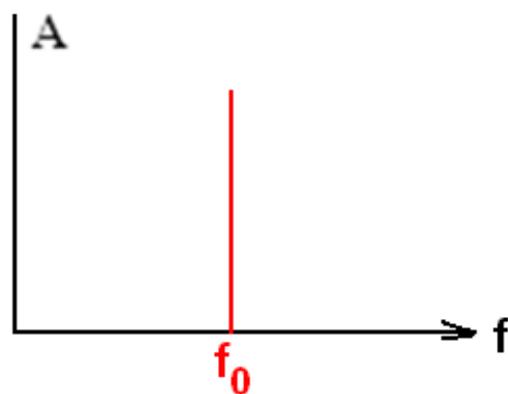


indice di modulazione  
 $m = 0.5$

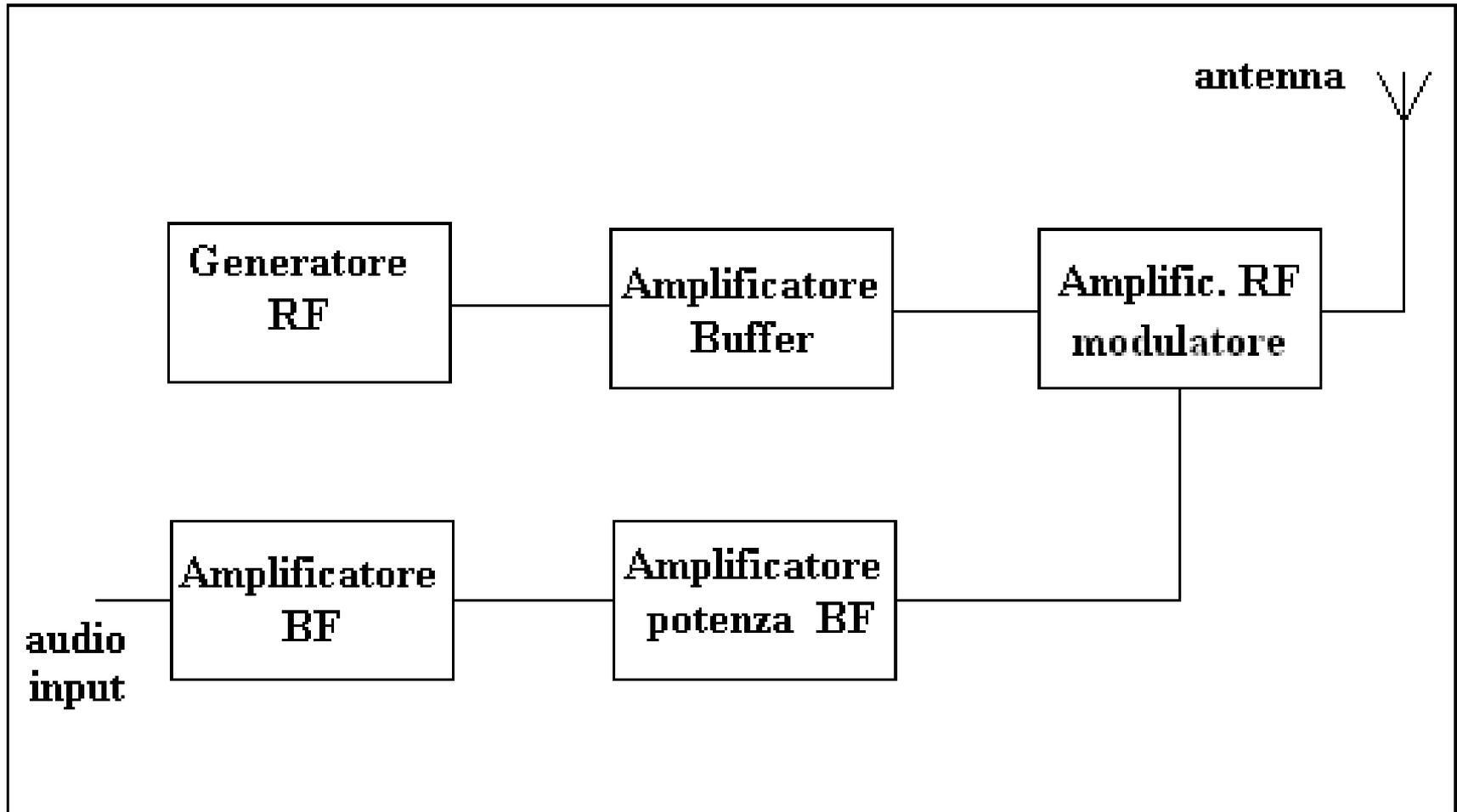


indice di modulazione  
 $m = 1$

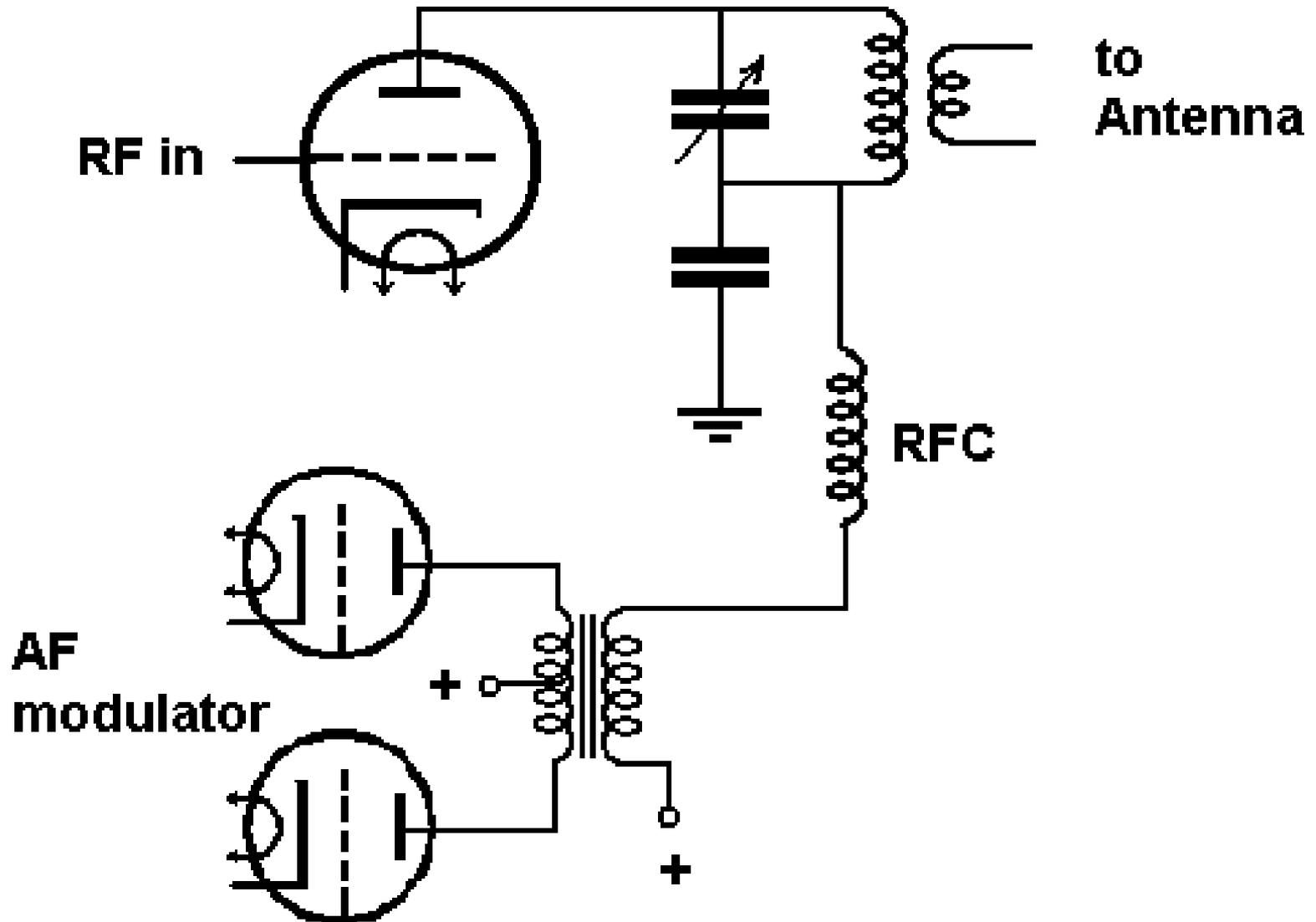
## Dominio delle frequenze



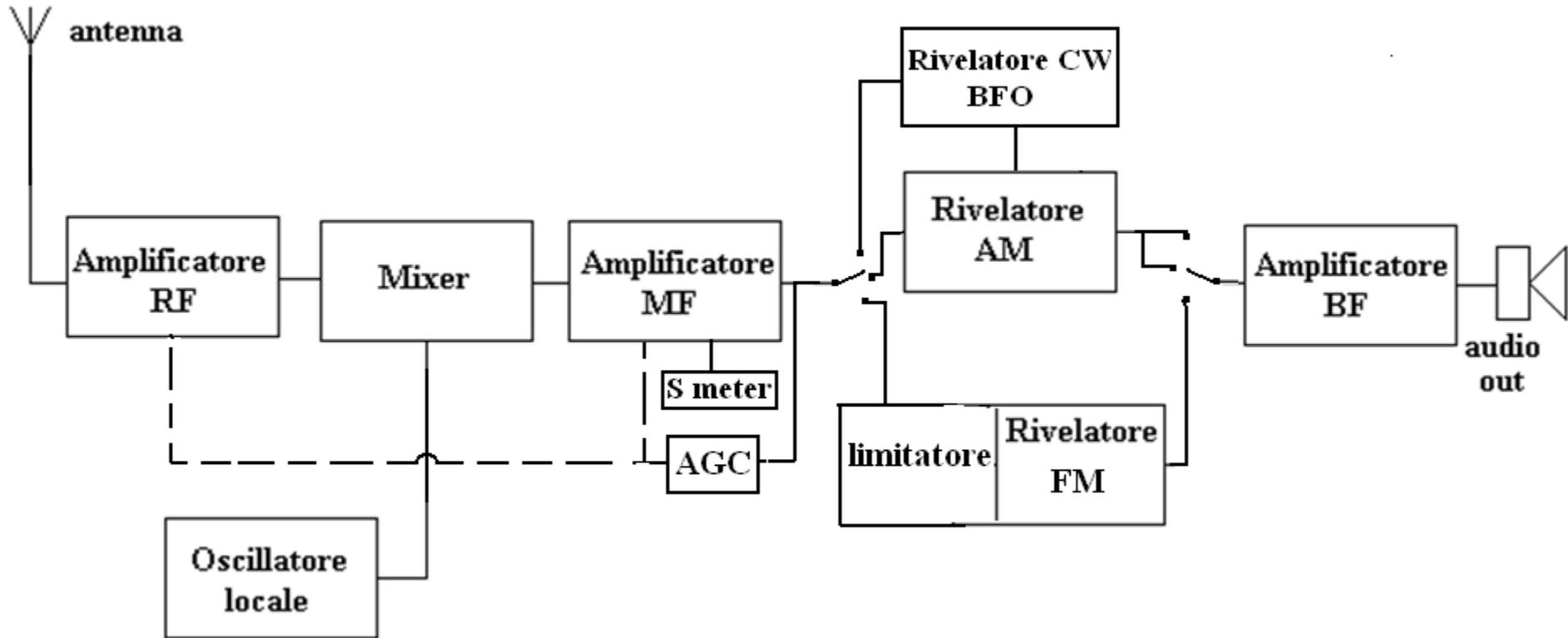
# TRASMETTITORE AM - schema a blocchi



# MODULAZIONE AM DI PLACCA



# RICEVITORE supereterodina - schema a blocchi

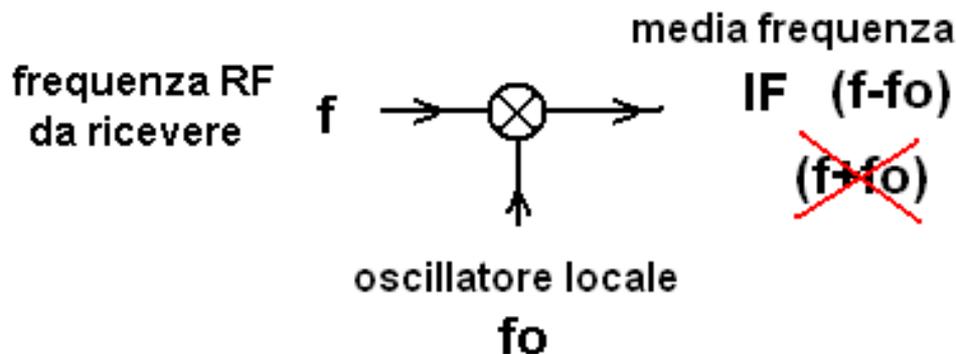


# MIXER

Il circuito supereterodina converte qualunque segnale da ricevere ad un valore di media frequenza, dove diviene più facile costruire un filtro molto selettivo ed adeguatamente stretto (dipende dal tipo di modulazione).

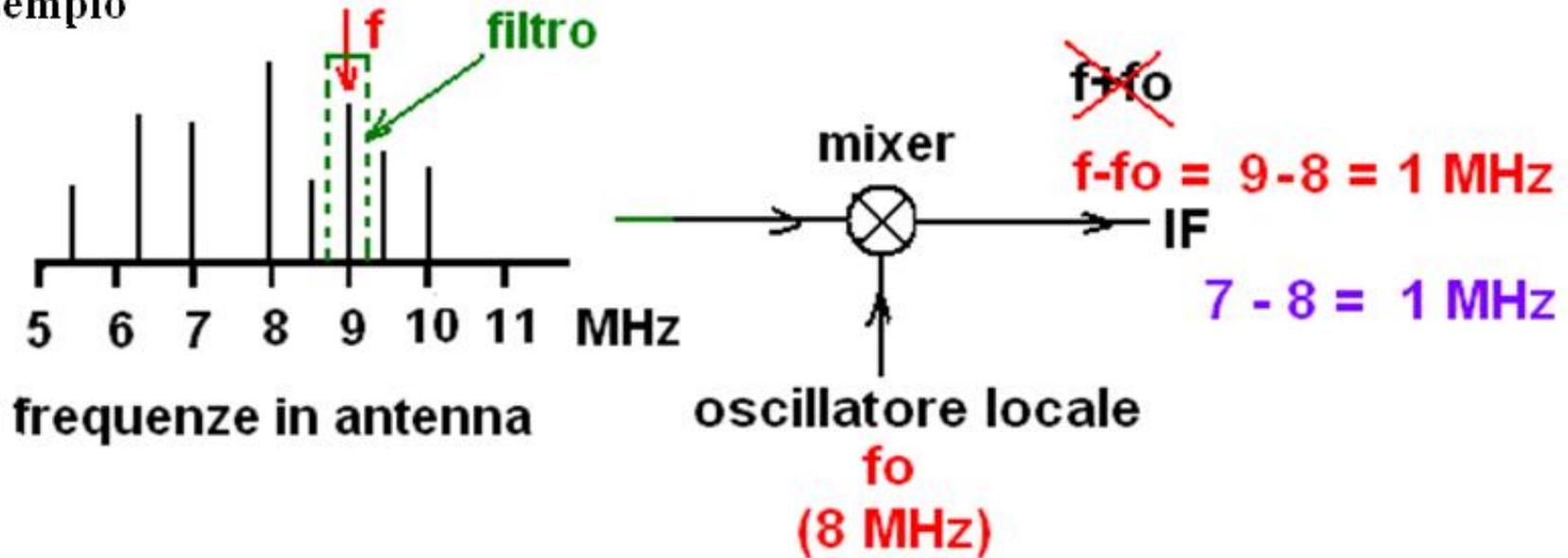
Occorre un oscillatore locale ed un mixer che “mescola” la frequenza da ricevere  $f$  con la frequenza generata localmente  $f_0$ .

Il prodotto di due frequenze ottenuto da un mixer viene ad essere costituito, secondo l'identità trigonometrica  $\sin \alpha \cdot \sin \beta = \frac{1}{2} [\cos(\alpha - \beta) - \cos(\alpha + \beta)]$ , da due frequenze:  $f + f_0$  e  $f - f_0$ . In genere si fa in modo che l'oscillatore locale generi la frequenza  $f_0$  in modo che  $f - f_0$  sia proprio il valore di media frequenza IF. L'altra frequenza generata ( $f + f_0$ ) è un valore molto grande e diviene molto facile filtrarla.



# FREQUENZA IMMAGINE

esempio

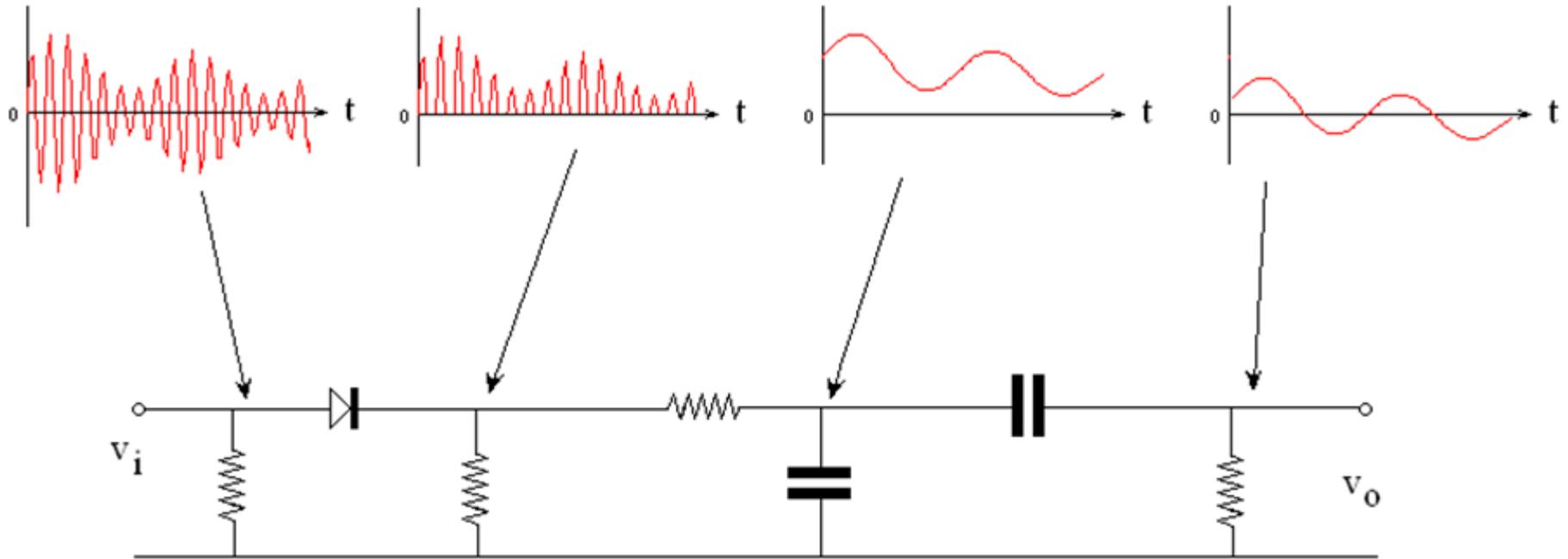


La frequenza intermedia di 1 MHz è ottenuta anche facendo battere 8 MHz ( $f_o$ ) con il segnale di 7 MHz !!

Si ascoltano due frequenze contemporaneamente; una è indesiderata e viene chiamata frequenza immagine.

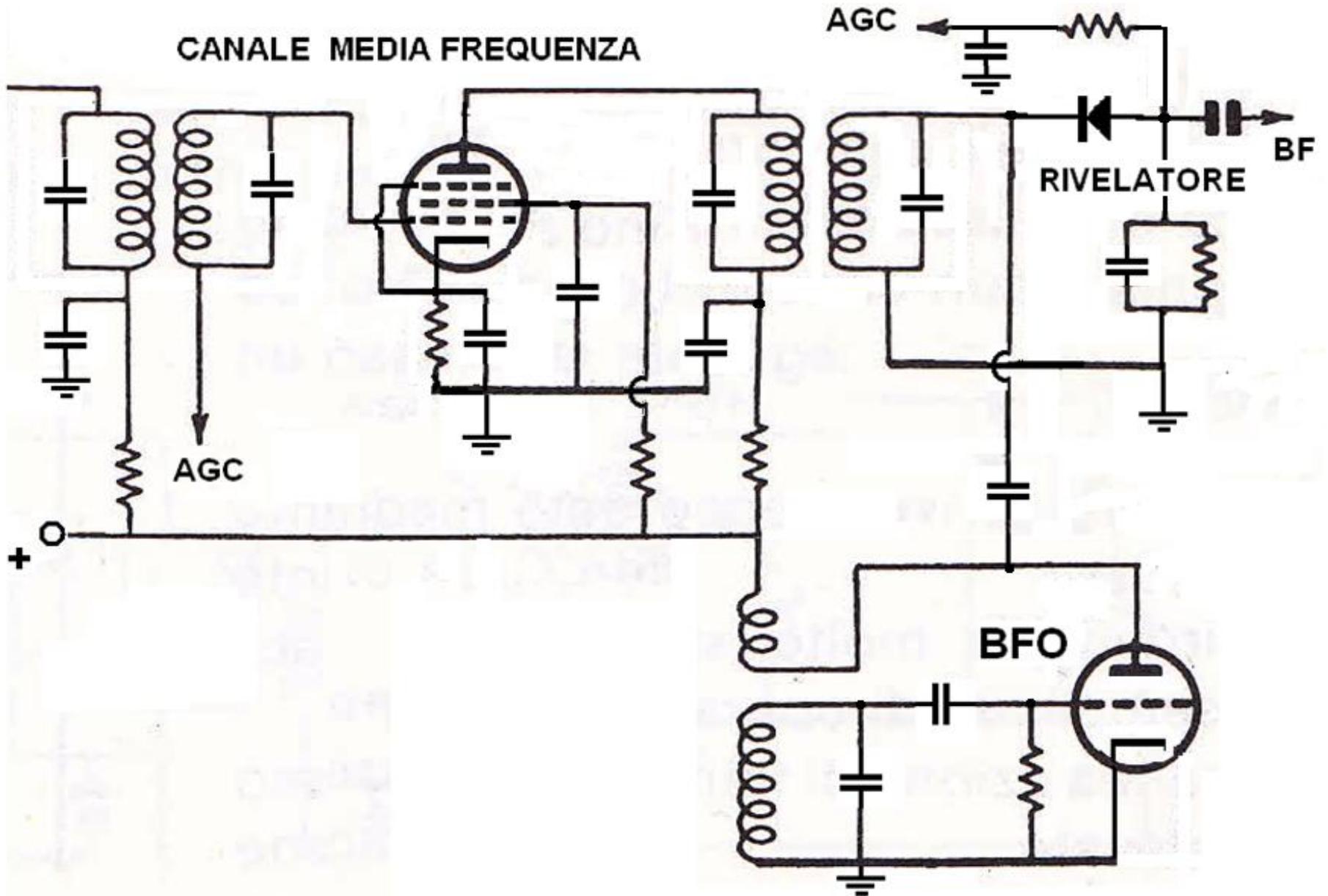
Per eliminarla o, almeno, attenuarla, occorre amplificare selettivamente solo la frequenza da ricevere, prima del mixer

# RIVELATORE AM



La tensione di uscita, in questo caso, è proporzionale all'involuppo del segnale AM dal quale, con opportuno filtro, si ottiene il segnale di modulazione  $F(t)$ .

# RIVELATORE CW



## RIVELAZIONE CW CON BFO E RIVELATORE AM

Prima del rivelatore AM, per rendere udibile la trasmissione telegrafica, occorre fare “battere” la portante in arrivo , già trasferita in media frequenza, con una frequenza, generata nel ricevitore stesso, di frequenza leggermente differente (in genere la differenza è di circa 1 kHz).

A tale scopo provvede il BFO (beat frequency oscillator). La frequenza portante che trasporta l’informazione telegrafica, in ultima analisi, viene convertita ad una frequenza di circa 1 kHz, chiaramente udibile. Un eventuale amplificatore di bassa frequenza porterà il segnale ad una potenza sufficiente per essere inviata ad un trasduttore acustico.

# CIRCUITO AGC

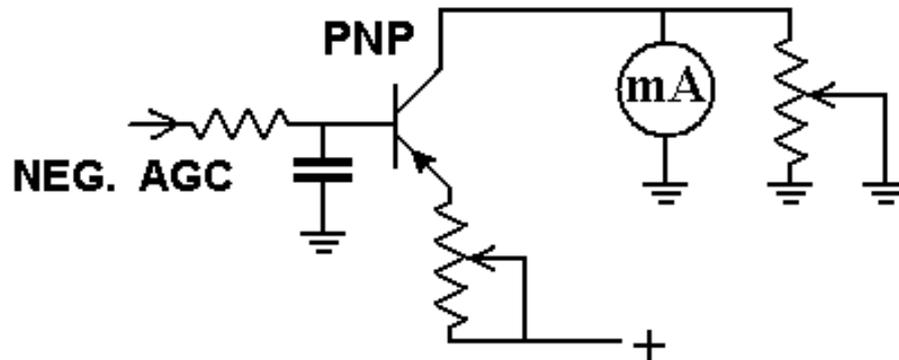
Lo stesso diodo rivelatore AM può essere utilizzato per ricavare una tensione continua legata all'ampiezza del segnale ricevuto così come lo si incontra una volta passato dal canale di media frequenza. Questa tensione continua, debitamente filtrata con costante di tempo dell'ordine del secondo viene utilizzata per cambiare l'amplificazione degli stadi precedenti.

Nei ricevitori a valvole è sempre negativa e viene utilizzata per polarizzare le griglie degli stadi precedenti: più il segnale è "forte", più tensione continua negativa è disponibile, più le griglie sono polarizzate e meno la valvola amplifica. Il circuito serve per attenuare le evanescenze e presentare sempre circa lo stesso volume all'uscita audio.

Il circuito, proprio per questo motivo, è chiamato AGC (automatic gain control), oppure AVC (automatic volume control), oppure CAV o CAG (controllo automatico di guadagno oppure di volume).

# S-METER

Il circuito S-meter fornisce una risposta quantitativa, ma molto approssimata, del livello del segnale ricevuto. In genere è collegato alla linea AGC del ricevitore. Più il segnale ricevuto è “forte”, più la linea AGC è negativa, più aumenta la corrente del transistor e più è grande la deviazione del milliamperometro,



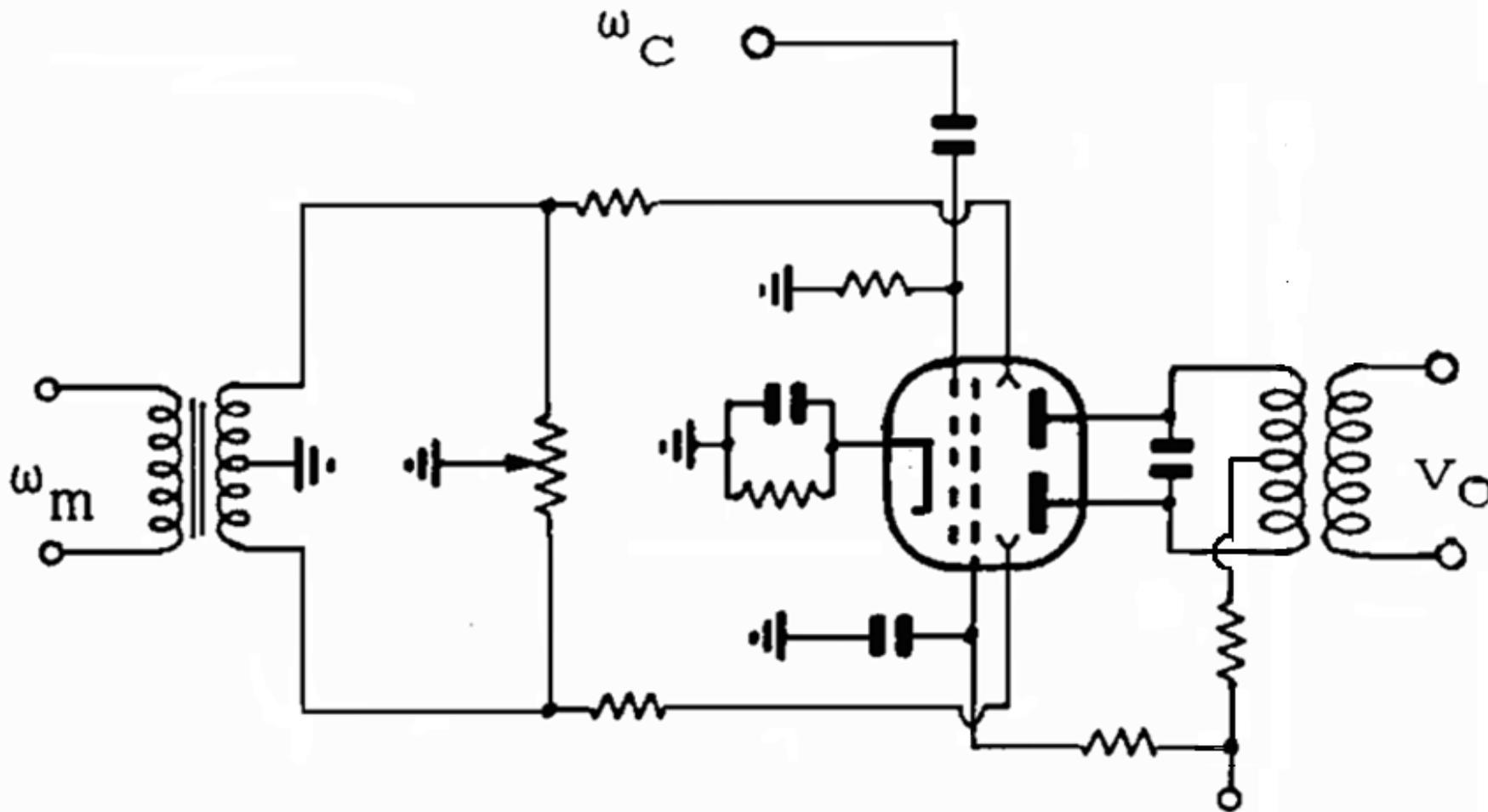
I due potenziometri servono per regolare lo “zero” e la deviazione massima dello strumentino.

In genere l’indicazione è molto relativa, ma si cerca di seguire una scala di unità “S” da 1 a 9, che vede l’ S9 a  $50 \mu\text{V}$ , con differenza di 6 dB tra ogni unità S e la successiva. L’ S9 è posto, in genere, a metà scala dello strumentino.

# MODULAZIONE DSB

E' possibile (utilizzando un modulatore bilanciato) eliminare la frequenza portante negli stadi di basso livello e utilizzare gli stadi successivi per amplificare (linearmente) solo le frequenze contenute nelle bande laterali, migliorando, così, il rendimento in trasmissione. Questo sistema di trasmissione è chiamato AM-DSB-SC o, più semplicemente, DSB.

# MODULATORE DSB



Modulatore DSB con 7360 (anni '60)

# **MODULAZIONE SSB**

**Dato che le due bande laterali di modulazione DSB contengono esattamente lo stesso tipo di informazione, è possibile (e conveniente) trasmetterne una sola; si ha così la AM – SSB – SC (Amplitude Modulation – Single Side Band – Suppressed Carrier ), spesso abbreviata con SSB.**

**Filtri a cristallo, molto selettivi, lasciano passare solo una banda laterale (LSB o USB) eliminando l'altra.**

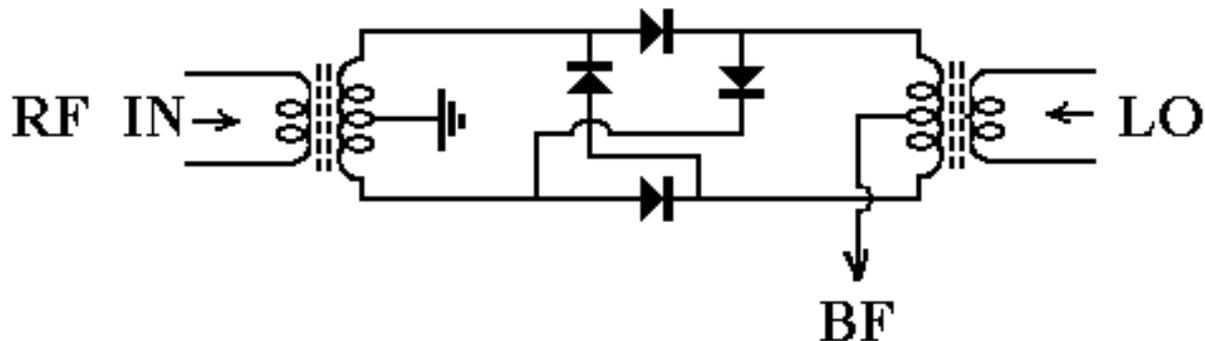
# RIVELATORE SSB

Per la rivelazione del segnale SSB occorre ripristinare presso il ricevitore la frequenza della portante che è stata soppressa in trasmissione.

Si usano vari tipi di rivelatori a prodotto che moltiplicano il segnale SSB con la frequenza portante generata dall'oscillatore locale.

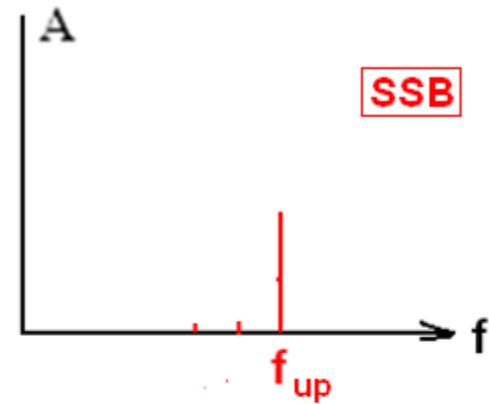
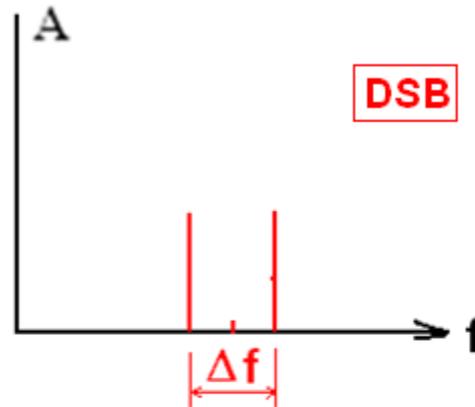
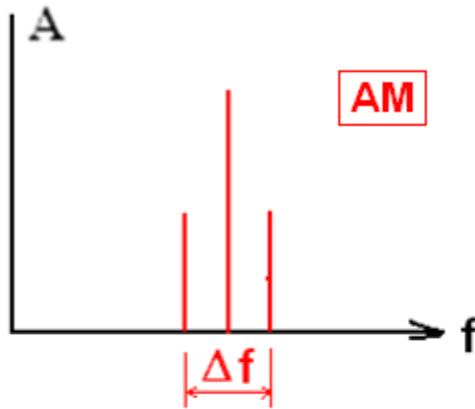
L'uscita è filtrata e viene prelevato il segnale di BF che riproduce il segnale modulante. Occorre fare attenzione ad individuare esattamente la frequenza dell'oscillatore locale: un errore, anche solo di un centinaio di hertz, rende il segnale audio molto distorto, se non incomprensibile.

Lo stesso rivelatore a prodotto è adatto anche alla ricezione dei segnali

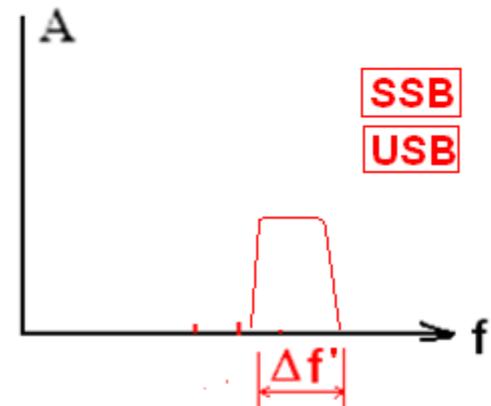
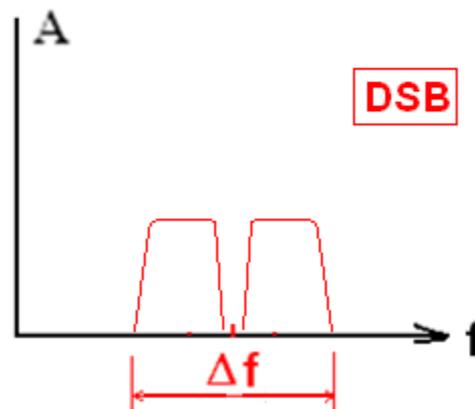
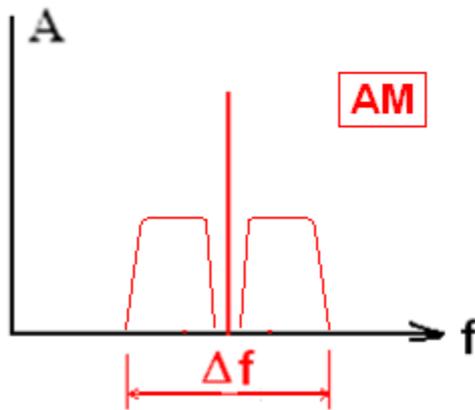


# CONFRONTO AM / DSB / SSB

tono singolo



banda audio



## POTENZA – POTENZA DI PICCO – POTENZA PEP

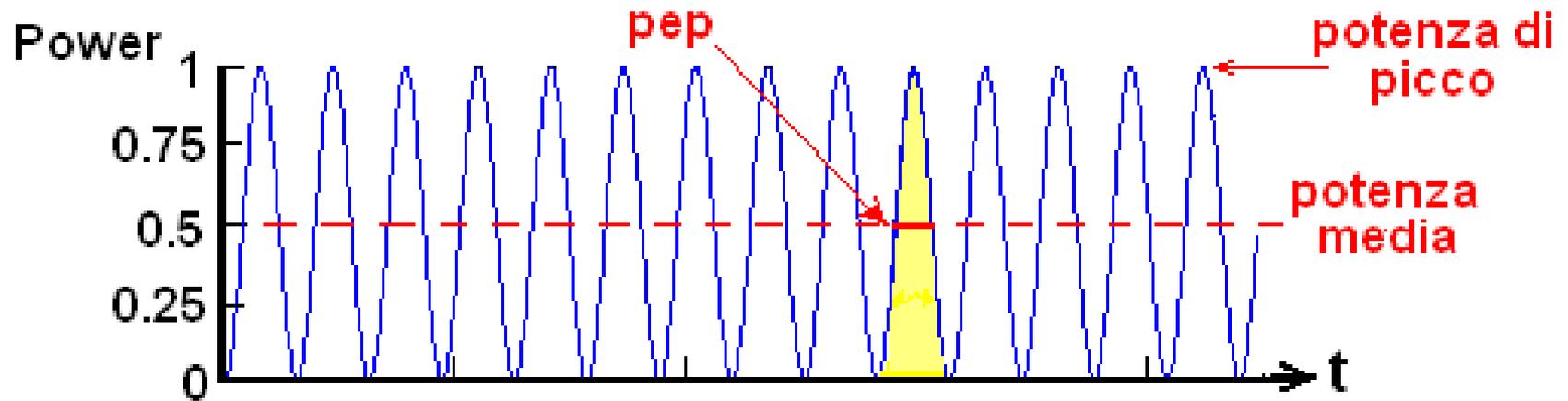
La potenza media, o solo **potenza**, è il valore medio della potenza istantanea calcolato lungo un periodo sufficientemente lungo (rispetto alla modulazione).

La potenza istantanea varia, infatti, ad ogni istante del ciclo RF e sotto modulazione. La potenza istantanea varia da zero al valore massimo che viene indicato come **potenza di picco**.

La **potenza pep (peak envelope power)** è il valore medio della potenza calcolato su un ciclo RF al picco dell'involuppo.

Ovvero, è la potenza media del ciclo RF quando l'involuppo ha il valore più elevato.

# MODULAZIONI AD AMPIEZZA COSTANTE



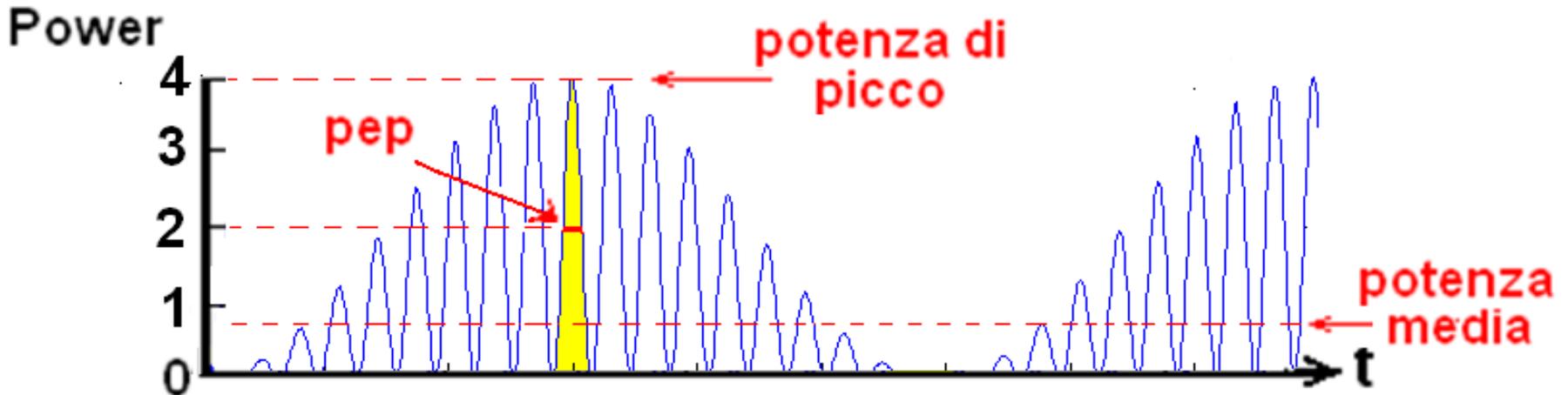
Per modulazioni ad ampiezza costante come FM, RTTY, CW (key down), AM non modulata, SSB one-tone, ecc. la potenza pep è uguale alla potenza media (o solo “potenza”), visto che tutti i cicli RF sono uguali.

<b>Potenza di picco = 1</b>
<b>Potenza pep = 0.5</b>
<b>Potenza media su lungo periodo = 0.5</b>

Rispetto alla  
potenza di picco  
di portante non  
modulata

# MODULAZIONE AM

Modulazione 100 %  
con segnale sinusoidale



Con trasmissione AM, la potenza di picco può arrivare a valere quattro volte la potenza di picco della sola portante non modulata e anche la potenza pep può arrivare a 4 volte la potenza pep (uguale a potenza media) di portante non modulata.

**Potenza di picco = 4**

**Potenza pep = 2**

**Potenza media su lungo periodo = 0.75**

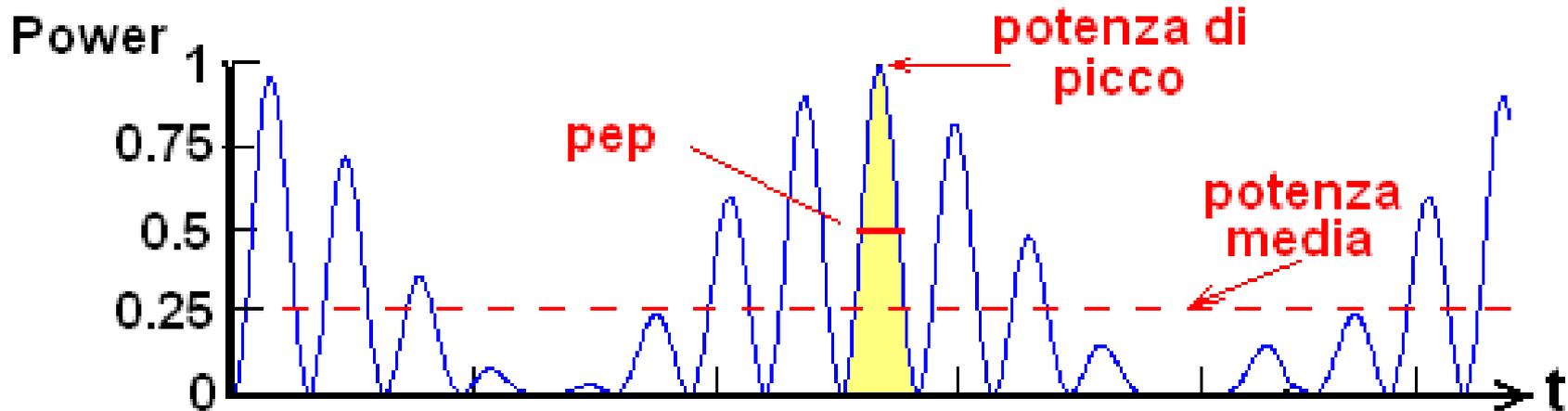
Rispetto alla  
potenza di picco  
di portante non  
modulata

# SSB

**In SSB, molto usato è il two-tone test, ovvero con segnale modulante costituito da due note audio fisse e di uguale ampiezza dove la potenza cambia da ciclo a ciclo RF. La potenza pep si riferisce al ciclo di ampiezza più elevata. In questo caso, la potenza media è la metà della potenza pep.**

**Con la voce umana, la potenza pep non ha una relazione matematica particolare con la potenza media.**

## ESEMPIO: SSB two-tone test

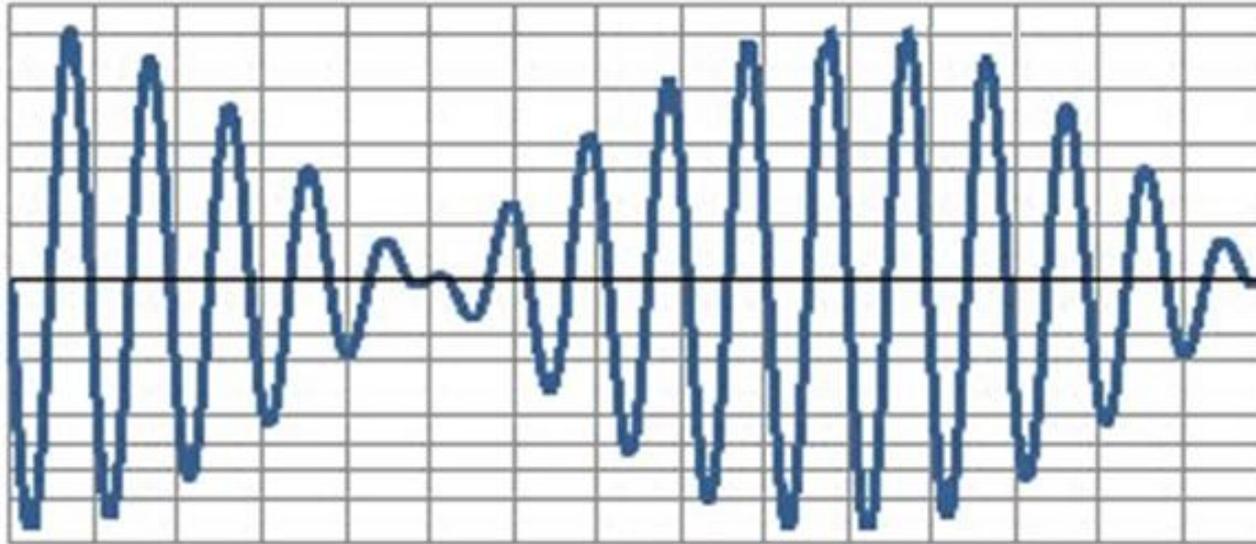


La potenza media (è la potenza mediata su lungo periodo che, una volta trasferita al carico resistivo adattato, verrà assorbita riscaldandolo).

La potenza pep è la potenza media del ciclo più intenso .

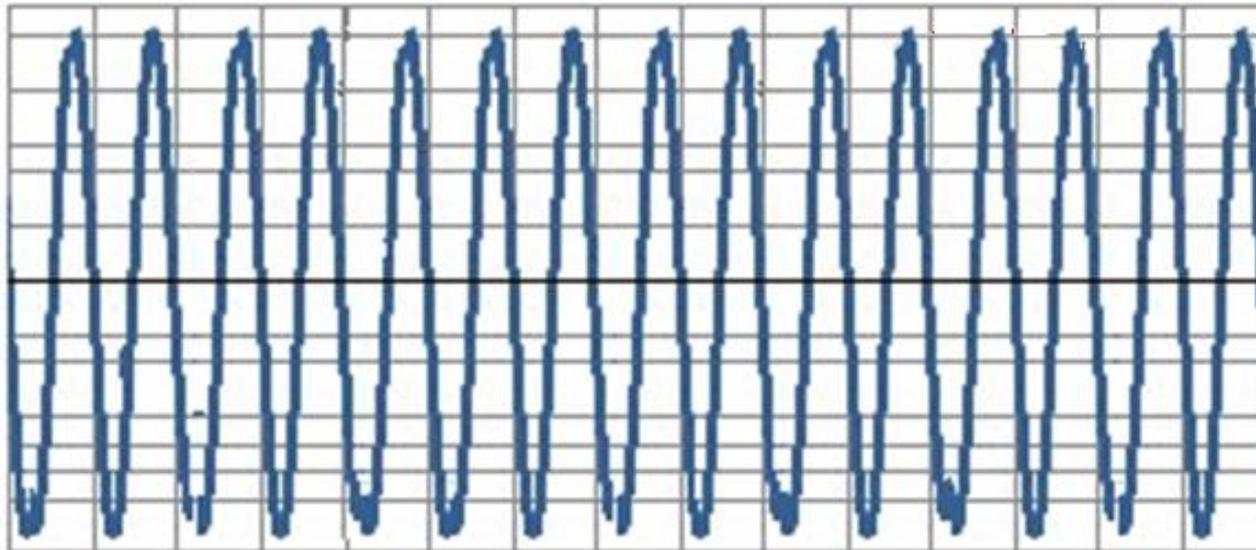
La potenza di picco è la potenza istantanea massima raggiunta nel ciclo RF più intenso.

# MODULAZIONE SSB



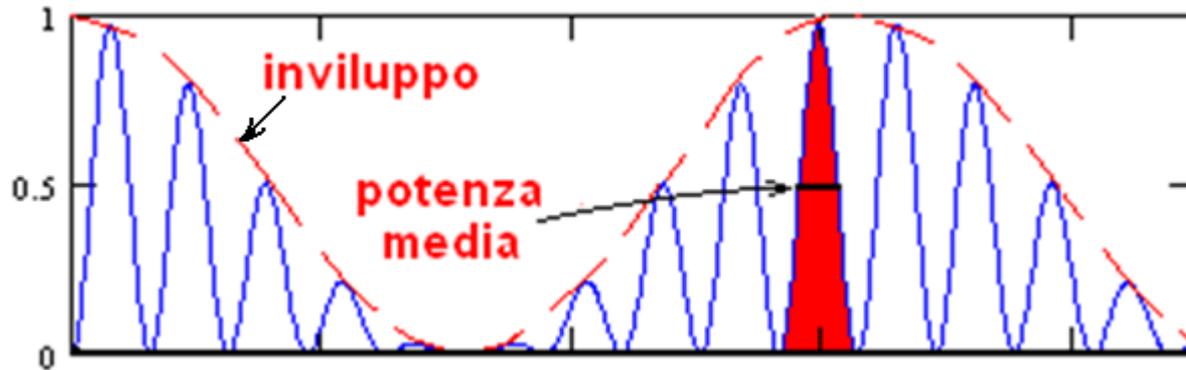
**AMPIEZZA**

**trasmissione  
SSB  
con  
two-tone test**

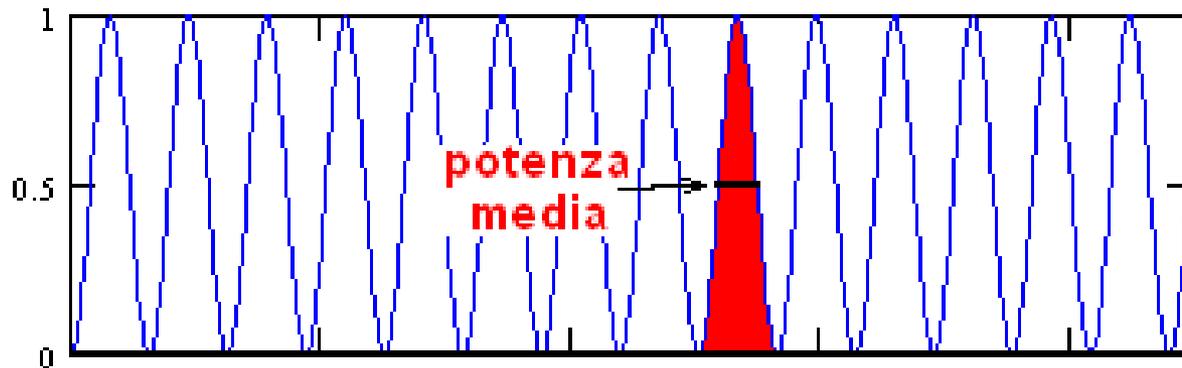


**trasmissione  
SSB  
con  
single-tone test**

# POTENZA



trasmissione  
SSB  
con  
two-tone test

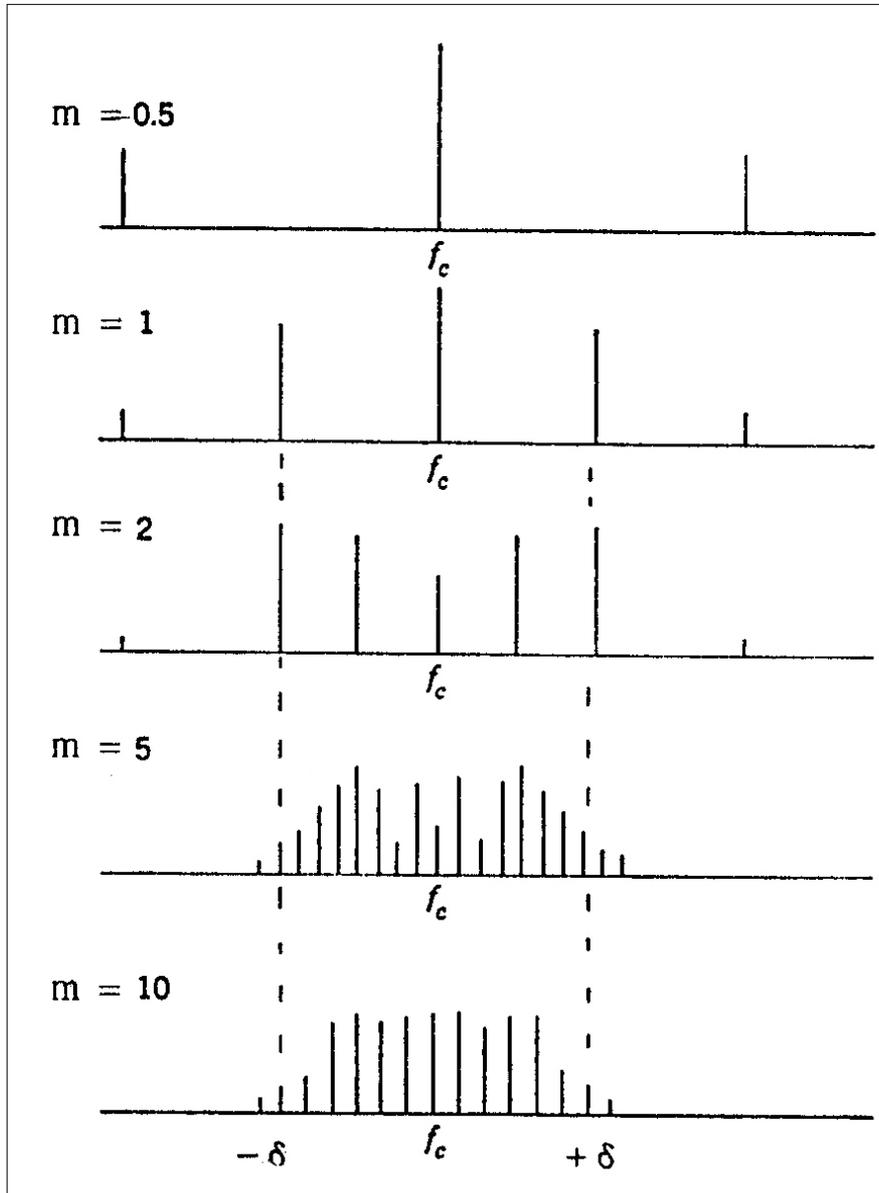


trasmissione  
SSB  
con  
single-tone test

La potenza media del ciclo al picco dell'inviluppo (**Potenza pep**) è uguale nei due casi. La **potenza media** (mediata su tempi lunghi), invece, è maggiore col single-tone .

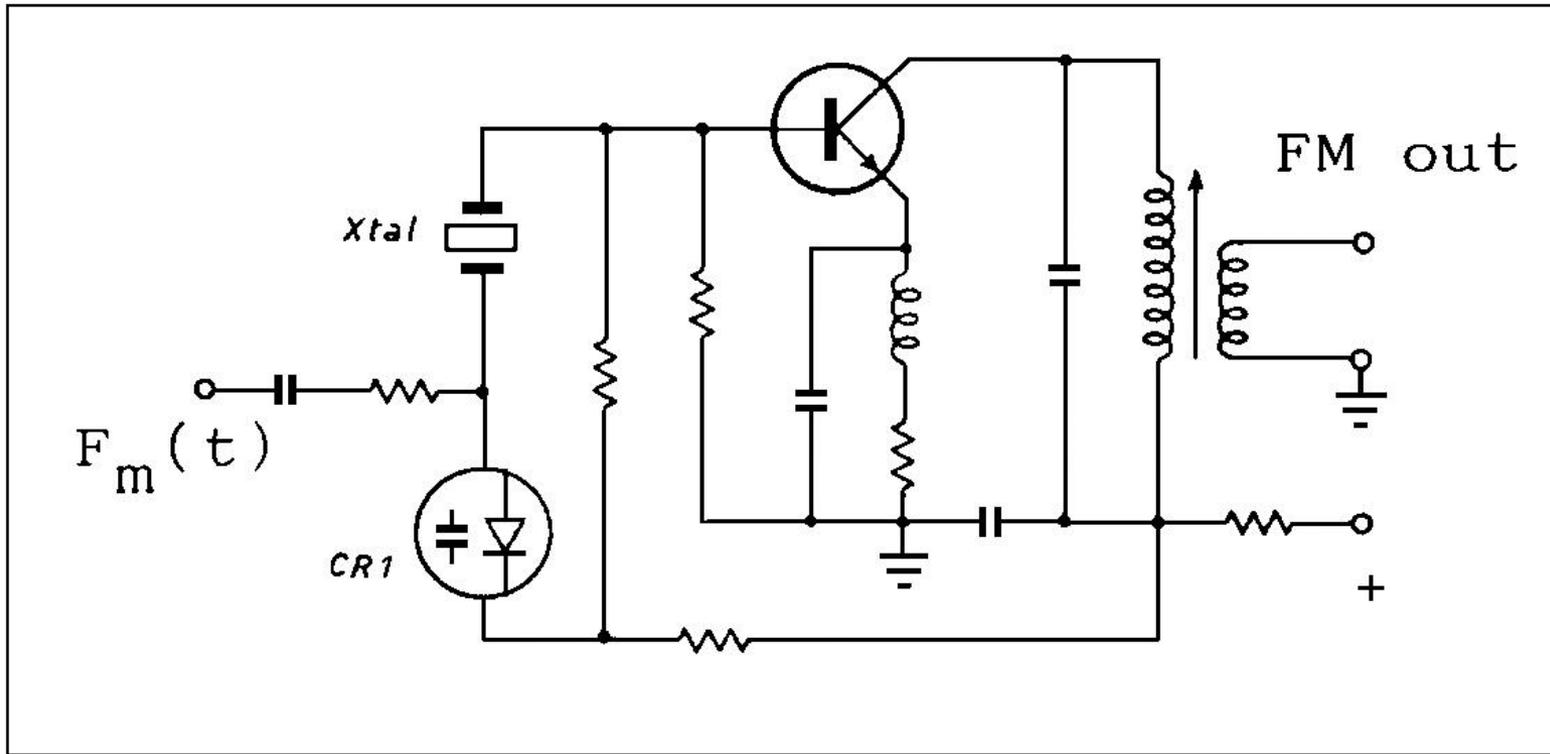
# **MODULAZIONE DI FREQUENZA - FM**

**La modulazione di frequenza è prodotta variando la frequenza della portante con deviazione che è proporzionale alla tensione istantanea di modulazione  $F(t)$ .**



**Esempi di vari spettri di frequenza occupati da una trasmissione FM con vari indici di modulazione  $m$ . Per grandi indici di modulazione lo spettro è concentrato tra  $-\delta$  e  $+\delta$ ; la potenza trasmessa sarà qui concentrata e si può praticamente assumere che il canale FM occupi una banda di larghezza  $2\delta$ . Se l'indice di modulazione  $m$  è basso ( $<1$ ), le prime bande laterali (a distanza  $\pm f_m$ ) solamente hanno un'ampiezza non trascurabile e, in questo caso, si può assumere che la banda occupata dalla trasmissione sia  $2 f_m$ .**

# MODULATORE FM

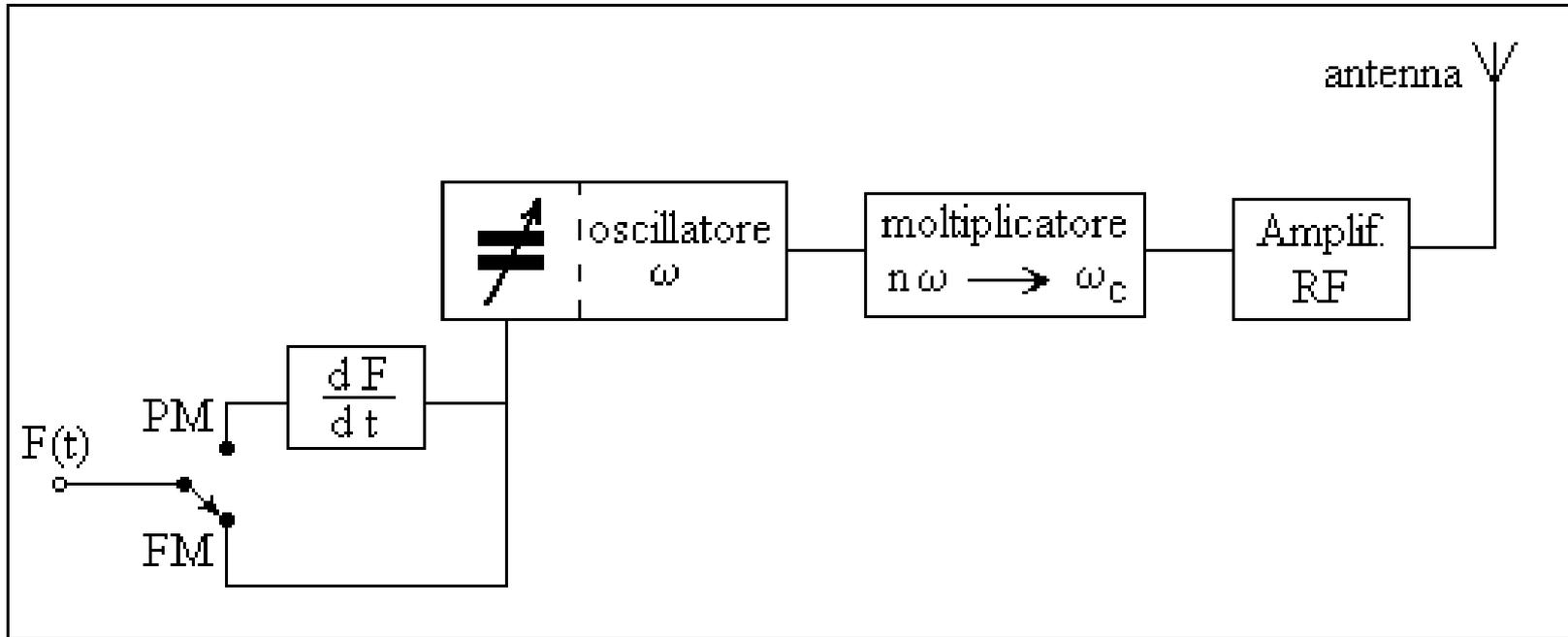


**La frequenza di oscillazione determinata dal quarzo XTAL è leggermente modificata dal valore istantaneo del segnale modulante  $F(t)$ .**

**Produce NBFM.**

**La deviazione può essere aumentata se si usano stadi moltiplicatori di frequenza.**

## MODULAZIONE FM e PM - schema a blocchi



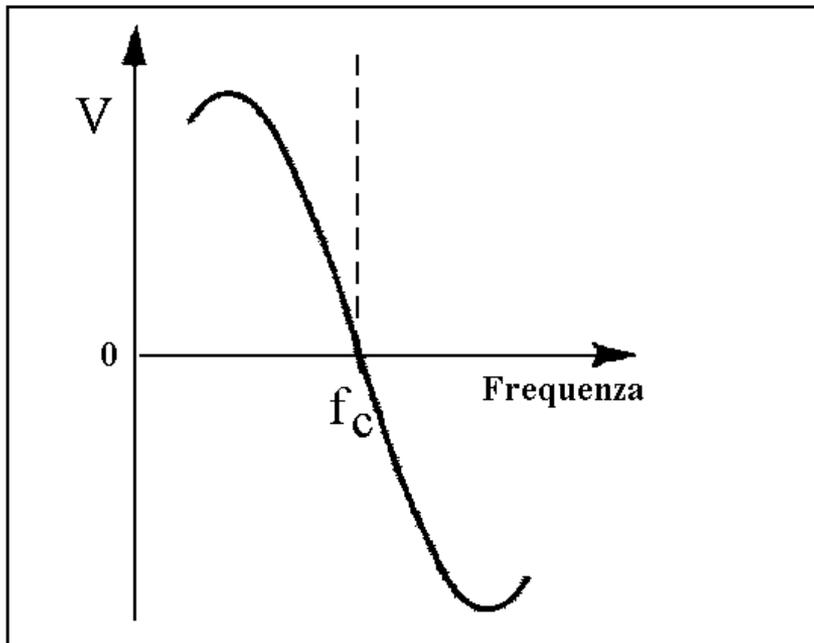
**Trasmittitore-tipo in modulazione di frequenza FM.  
Se il segnale di modulazione viene prima elaborato da un circuito “derivatore”, si può ottenere la modulazione di fase PM.**

## RIVELATORE FM

**Il ricevitore FM presenta un canale di media frequenza ad alto guadagno con banda passante variabile a seconda del tipo di trasmissione FM da ricevere (se l'indice di modulazione è grande, occorre una banda passante parecchie volte superiore alla massima frequenza del segnale modulante).**

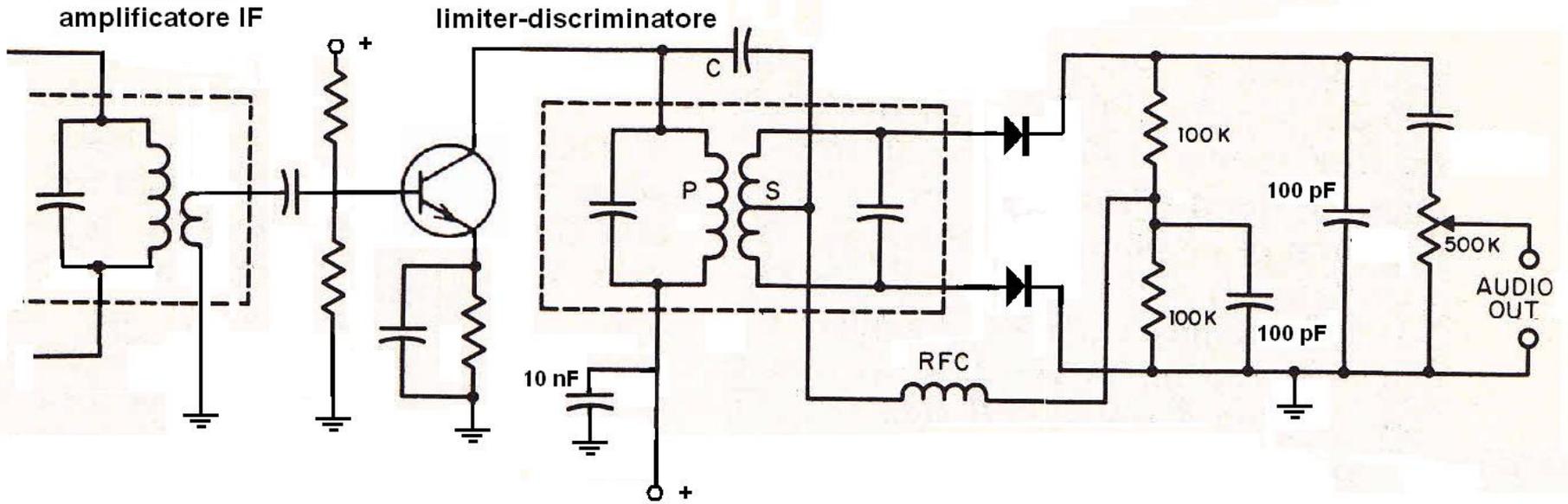
**L'alto guadagno serve per poter raggiungere la saturazione e presentare al rivelatore FM un segnale di ampiezza costante.**

**Il rivelatore specifico per FM deve mostrare all'uscita una tensione in ampiezza (e segno) proporzionale alla deviazione istantanea in frequenza dal valore della portante .**



**Risposta caratteristica  
tensione-frequenza di  
dispositivo rivelatore FM**

# RIVELATORE FM



**Discriminatore Foster-Seeley. Presenta una caratteristica risposta a "S" : alla frequenza centrale la risposta è zero, ai lati della frequenza centrale presenta una risposta di segno positivo o negativo a seconda del verso dello spostamento in frequenza, con ampiezza proporzionale all'entità dello spostamento stesso.**

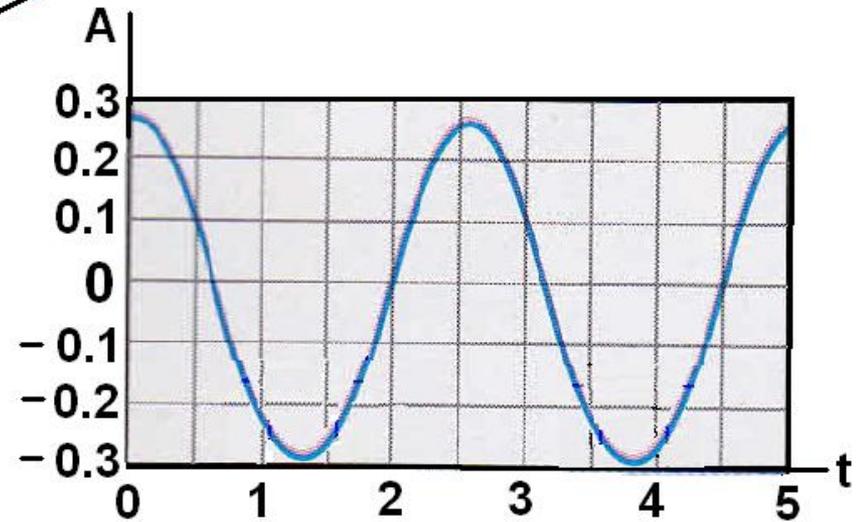
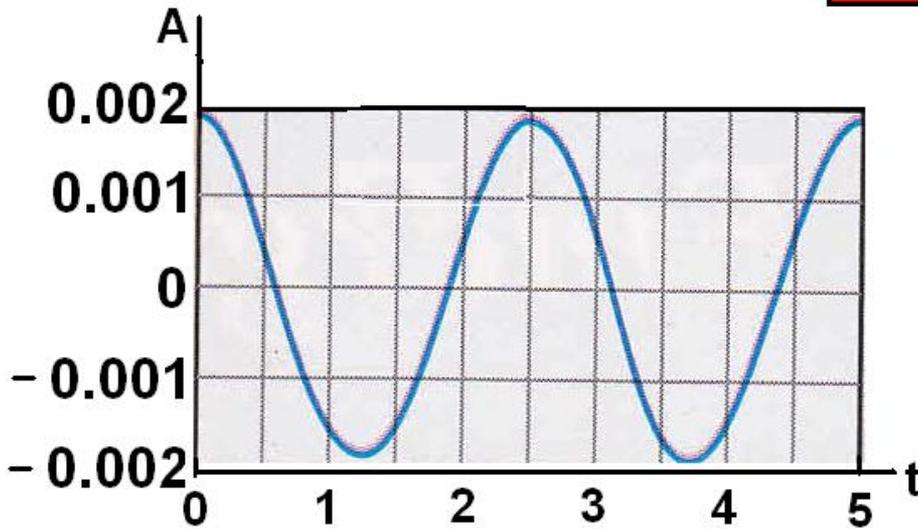
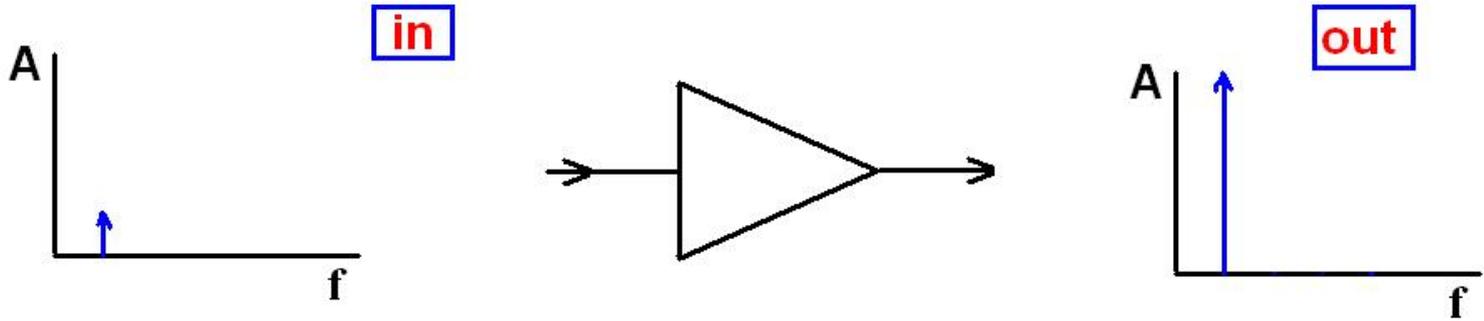
## Communication Receiver

La banda passante ottimale del ricevitore è fissata da considerazioni estranee al ricevitore stesso, ma legate al tipo di modulazione che si intende ricevere.

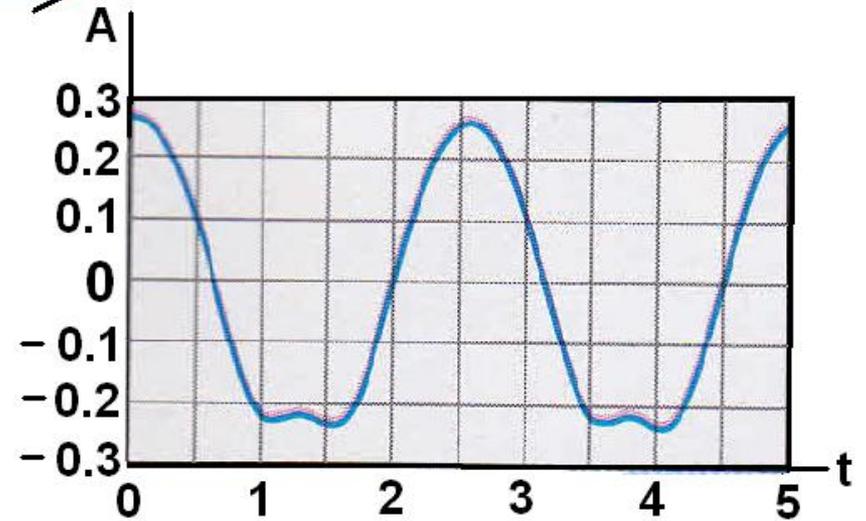
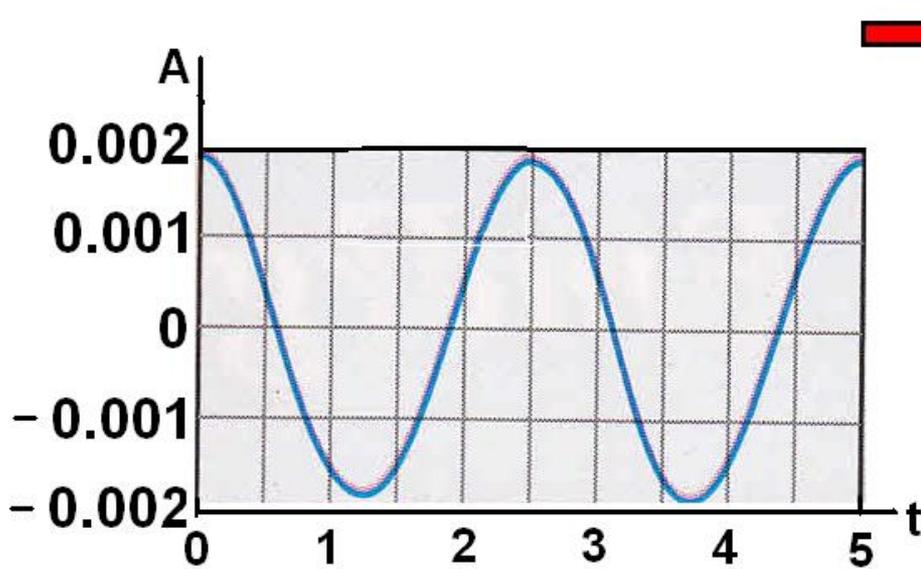
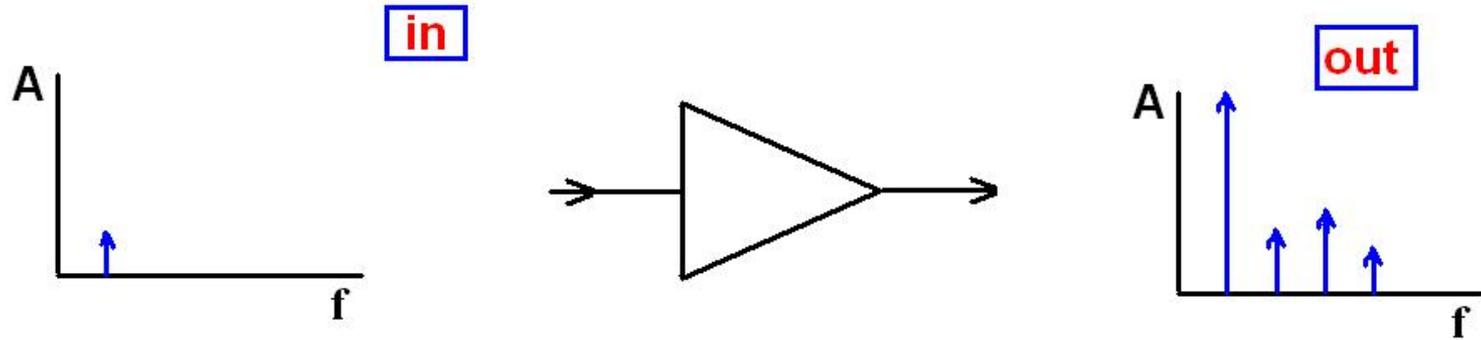
CW		SSB	AM	FM
1 wpm	10 wpm			
10 Hz	100 Hz	3 kHz	6 kHz	$2\delta + 2f_m$

**Larghezze di banda approssimative per vari tipi di modulazione.**  
**Per la FM,  $\delta$  è la deviazione e  $f_m$  è la massima frequenza modulante.**

# AMPLIFICATORE LINEARE



# AMPLIFICATORE NON LINEARE



# INTERMODULAZIONE

Con intermodulazione si intende la comparsa di frequenze spurie ed indesiderate, non presenti all'ingresso dell'apparato/amplificatore, che si producono in presenza di non linearità dell'apparato stesso.

Gli amplificatori per segnali modulati in ampiezza  $A_3$  ed  $A_3j$  devono essere assolutamente lineari.

Per modulazioni CW ( $A_1$ ) o FM ciò non è, invece, necessario.

Un buon metodo per controllare la linearità dell'amplificatore è usare il Two Tone Test (a frequenza  $f_1$  e  $f_2$ ) e controllare la presenza di segnali in uscita a frequenza  $(2f_1-f_2)$  e a  $(2f_2-f_1)$  con un analizzatore di spettro.

## MODULAZIONE INCROCIATA (CROSS MODULATION)

Consiste nella presenza di una modulazione indesiderata su un segnale ricevuto appartenente ad un'altra portante, in genere molto intensa, che viene amplificata insieme alla frequenza che si sta ricevendo. In un ricevitore, la presenza di modulazione incrociata rivela non linearità e saturazione di qualche stadio amplificatore.

La modulazione incrociata si manifesta in modo più evidente in trasmissioni AM.

Le stesse tecniche che portano a migliorare la linearità degli amplificatori conducono a ridurre sia l'intermodulazione, sia la modulazione incrociata.

Quesiti:

1) Un trasmettitore AM quando emette la sola portante eroga una potenza media di 100 W.

Quando viene modulato al 100 % da un segnale BF sinusoidale di  $f = 1000$  Hz la potenza in uscita diviene:

- |                          |                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 50 W                     | 100 W                    | 150 W                    | 200 W                    |

2) Un trasmettitore SSB con amplificatore lineare è modulato da un segnale BF di 1000 Hz.

La potenza media misurata con un wattmetro all'uscita è di 25 W.

Qual è il valore della potenza pep (peak envelope power)?

- |                          |                          |                          |                          |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 25 W                     | 50 W                     | 75 W                     | 100 W                    |

## Risposte ai quesiti:

- 1) 150 W .      Alla potenza di 100 W della portante – sempre presente – si aggiungono le due potenze di 25 W delle due bande laterali.
  
- 2) 25 W      La potenza pep, in questo caso, è identica alla potenza media indicata dal wattmetro