

Appunti di Comunicazioni Elettriche

Ricezione di un segnale passa-banda

Introduzione	1
Caratteristiche del filtro passa-banda	3
Ricevitore a conversione di frequenza (o a Supereterodina).....	4
<i>Conversione di frequenza</i>	5
<i>Il problema della banda immagine</i>	7
Esempio numerico: trasmissione radiofonica AM e trasmissione TV10	

INTRODUZIONE

Il problema che ci poniamo è quello di ricevere un **segnale passa-banda**, il cui spettro cioè non comprenda la continua e componenti armoniche ad essa prossime.

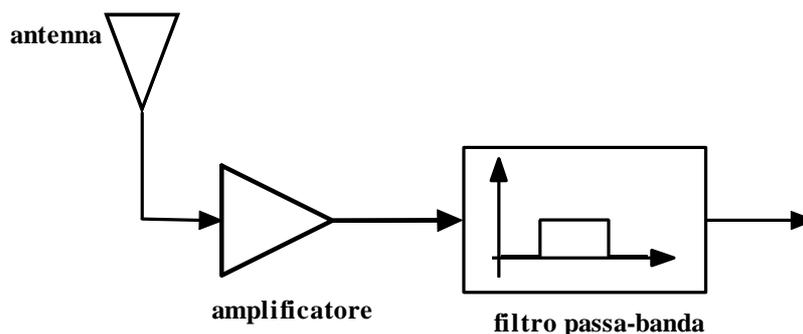
Dobbiamo necessariamente fare i conti con due aspetti:

- in primo luogo, con il **rumore termico** sovrapposto al segnale da ricevere: tale rumore è sia quello captato dall'antenna ricevente sia quello generato all'interno degli stessi dispositivi usati nel ricevitore;
- in secondo luogo, con tutti i segnali che “accompagnano” il segnale di nostro interesse e che sono separati da esso in quanto allocati in bande di frequenza diverse.

Sono altresì evidenti due considerazioni:

- in primo luogo, il segnale che giunge al nostro apparato ricevente è un segnale generalmente di livello molto basso, per cui è sempre necessario amplificarlo prima di poterlo elaborare;
- in secondo luogo, dovendo isolare il segnale utile da tutti gli altri segnali captati, incluso il rumore nelle bande adiacenti, dobbiamo necessariamente effettuare un **filtraggio**.

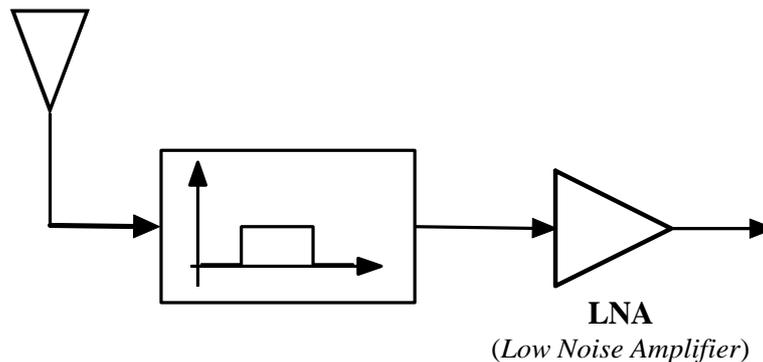
Deduciamo quindi che, *in ricezione, le operazioni da compiere comunque sono amplificazione e filtraggio*. Si tratta di capire in quale ordine effettuare queste operazioni. La prima possibilità è quella di effettuare prima l'amplificazione e poi il filtraggio:



In questo caso, quello che facciamo è amplificare tutti i segnali captati (quindi il segnale utile, gli eventuali altri segnali ed il rumore) e poi inviare il tutto ad un filtro che dovrebbe far passare solo tutto quanto è contenuto nella banda di nostro interesse. Il problema è, però, che l'amplificazione non sempre è lineare: infatti, dato che la **dinamica** di un qualsiasi amplificatore è sempre limitata, se amplifichiamo tutto quello che riceviamo in ingresso, è probabile che l'amplificatore venga portato a funzionare anche in *regione non-lineare*, il che porta ad una **distorsione** del segnale e quindi rende inutile la successiva operazione di filtraggio.

Tanto per chiarirci le idee, supponiamo che la nostra antenna abbia captato solo due segnali (e, per ipotesi, nessun rumore): una sinusoidale a frequenza f_0 , che possiamo identificare come quella di nostro interesse, e una sinusoidale a frequenza f_k molto minore di f_0 ; se le due sinusoidi sono entrambe di ampiezza molto piccola, è possibile che l'amplificatore, nell'amplificare la loro somma, rimanga in zona lineare di funzionamento, per cui effettivamente il successivo filtraggio consente la separazione; al contrario, se la sinusoidale a frequenza f_k è di ampiezza notevole, al contrario dell'altra, essa porta l'amplificatore in saturazione, per cui la sua uscita è una forma d'onda fortemente distorta rispetto al caso precedente, dalla quale sarà quindi impossibile tirare fuori il segnale di interesse a frequenza f_0 .

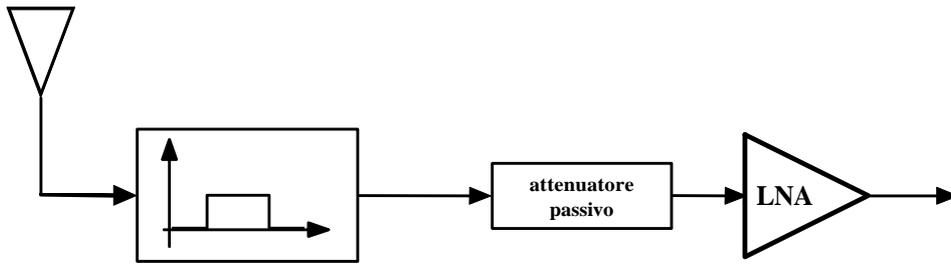
L'altra possibilità è quella di effettuare prima il filtraggio nella banda di interesse, al fine di eliminare sia il rumore sia eventuali altri segnali allocati all'esterno di tale banda, e poi **l'amplificazione**¹, che tiri nuovamente su il segnale di interesse:



Questa soluzione, pur essendo sicuramente preferibile rispetto alla precedente, non è però esente da problemi. Il problema fondamentale deriva dal filtro passa-banda, che non potrà mai avere, nella realtà, quelle caratteristiche ideali che noi desideriamo: in particolare, ogni filtro reale ha sempre, oltre ad un *comportamento reattivo*, un *comportamento dissipativo*, per cui esso introduce inevitabilmente una **attenuazione** anche alle componenti di segnale interne alla sua banda passante. Questa attenuazione prende il nome di **perdita di inserzione** del filtro.

Possiamo dunque schematizzare un qualsiasi **filtro reale** mediante la cascata di due componenti: un filtro ideale, che ha attenuazione nulla (cioè modulo unitario della funzione di trasferimento) nella banda passante ed attenuazione infinita (cioè modulo nullo della funzione di trasferimento) al di fuori, ed un attenuatore passivo:

¹ Quest'ultima andrà ovviamente eseguita mediante un amplificatore che generi internamente il minor rumore possibile, al fine di sporcare il meno possibile il segnale in ingresso: dovrà essere un **LNA** (Low Noise Amplifier), cioè un amplificatore con un bassissimo fattore di rumore.

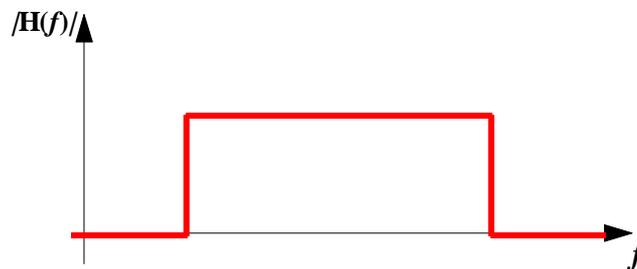


Il segnale all'uscita del filtro è allo stesso livello (basso) con cui è stato captato. L'attenuatore passivo interviene allora ad abbassare ulteriormente il livello del segnale, col pericolo che esso sprofondi rispetto al rumore. Quindi, si peggiorano comunque le prestazioni del sistema in termini di **rapporto segnale-rumore**, senza considerare il fatto che l'attenuatore passivo è esso stesso sede di rumore e quindi contribuisce ad un ulteriore abbassamento del rapporto S/N.

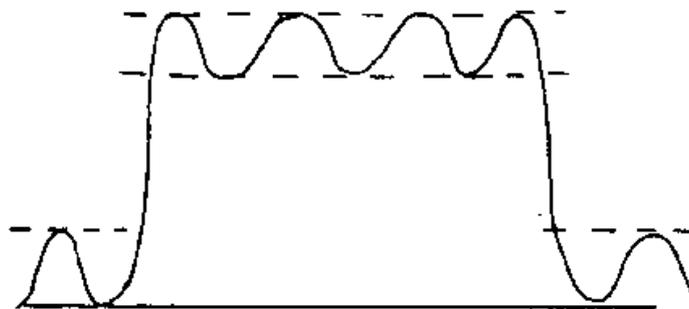
Siamo dunque giunti alla conclusione per cui *le funzioni fondamentali di un ricevitore passa-banda sono, nell'ordine, il filtraggio e l'amplificazione.*

CARATTERISTICHE DEL FILTRO PASSA-BANDA

Un **filtro reale**, oltre a presentare una *perdita di inserzione* (cioè una attenuazione non nulla anche nella banda passante), non ha mai una funzione di trasferimento con modulo perfettamente costante nella banda passante e al di fuori di essa:



Al contrario, esso presenta sempre delle **ondulazioni** sia in banda sia fuori banda, come indicato nella figura seguente:



Allora, per specificare le caratteristiche del filtro che serve, generalmente si fissa l'escursione massima delle ondulazioni nella banda passante: in particolare, si specifica una fascia di valori permessi per la suddetta escursione.

L'altra specifica fondamentale è evidentemente la **banda passante** del filtro, intesa come l'intervallo di frequenza al cui interno l'attenuazione non va oltre i 3dB.

Si specifica anche l'intervallo di frequenza all'interno del quale l'attenuazione supera un minimo prefissato: questo è l'intervallo di frequenza nel quale il filtro taglia, in modo sufficientemente efficace, i segnali che riceve in ingresso. Il legame tra la banda passante e quest'ultimo intervallo è evidentemente rappresentato dalle **bande di transizione** (o *fianchi*) del filtro, ossia gli intervalli di frequenza in cui il modulo della funzione di trasferimento passa dal valore minimo al valore massimo e viceversa. E' intuitivo comprendere che quanto più ripidi si vogliono i fianchi del filtro, tanto maggiore è la difficoltà di implementazione, data la necessità di introdurre poli molto ravvicinati tra loro.

Sempre dal punto di vista della difficoltà realizzativa, si verifica che *la realizzazione di un filtro stretto (cioè di banda passante stretta) è molto più agevole in bassa frequenza che non in alta frequenza*. Questo per dire che, nel progettare un filtro, non è tanto importante la banda passante in se, quanto la cosiddetta **banda relativa**, definita come rapporto tra la banda passante e la frequenza centrale attorno alla quale essa è allocata:

$$B_{\text{relativa}} = \frac{B_{\text{passante}}}{f_{\text{centrale}}}$$

Quanto maggiore è la banda relativa, tanto più facile è la realizzazione pratica del filtro.

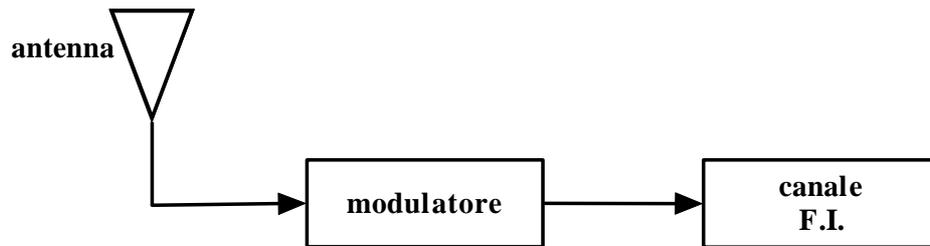
Ad esempio, volendo un filtro con banda passante di 1 MHz, sarà più facile realizzarlo se tale banda è centrata su una frequenza centrale di 10 MHz che non su una di 1 GHz: nel primo caso, la banda relativa è 1/10, mentre nel secondo è 1/1000.

RICEVITORE A CONVERSIONE DI FREQUENZA (O A SUPERETERODINA)

Il fatto che il filtro (da porre a valle dell'antenna) presenti difficoltà realizzative diverse a seconda che la sua banda passante sia allocata in bassa o in altra frequenza, comporta una conseguenza molto importante. Consideriamo ad esempio un **ricevitore radio**: esso deve essere in grado di ricevere tutti quanti i *canali radiofonici* presenti e non solo uno di essi; ciò significa che esso dovrà essere **sintonizzabile**, nel senso che dovrà essere in grado di isolare, trattare e fornire all'utente un segnale presente in una qualsiasi banda di frequenza. Allora, volendo porre un filtro immediatamente a valle dell'antenna, dovremo fare in modo che anch'esso sia sintonizzabile: dovremmo poter spostare la sua banda passante a nostro piacimento, in modo da isolare il segnale di interesse dovunque sia sistemato nello *spettro di frequenza*. In base a quanto detto, però, spostare la banda passante in alta frequenza potrebbe non essere possibile, il che ci impedirebbe di realizzare un ricevitore sintonizzabile. Dobbiamo allora trovare un altro sistema.

L'opposto di un *ricevitore sintonizzabile* è un **ricevitore a frequenza fissa**, che cioè è ottimizzato per funzionare ad una frequenza centrale prefissata, situata al centro della banda passante. In effetti, quello che si fa nella pratica è proprio progettare dei ricevitori a frequenza centrale standardizzata: è allora ovvio che, per ricevere un qualunque segnale non allocato attorno a tale frequenza centrale, è necessaria una preventiva **traslazione in frequenza**, in modo che il suddetto segnale venga spostato appunto attorno alla frequenza centrale del ricevitore.

Lo schema a blocchi da adottare è dunque il seguente:



Il segnale di interesse, una volta captato (insieme al rumore e a tutti gli altri segnali presenti), viene spostato (mediante una semplice operazione di **modulazione**) a cavallo della frequenza centrale del ricevitore a frequenza fissa, che prende il nome di **canale a frequenza intermedia**. Quest'ultimo non è altro che un blocco di amplificazione, filtraggio e demodulazione, il cui funzionamento sarà descritto tra un attimo.

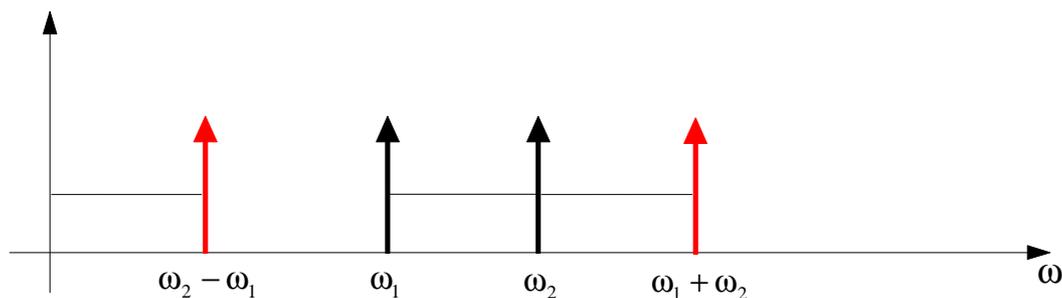
Questo è lo schema di un **ricevitore a conversione di frequenza** (detto anche *ricevitore a supereterodina*)².

Conversione di frequenza

Vediamo allora di scendere nei dettagli del funzionamento del modulatore. Abbiamo detto che dobbiamo *shiftare* in frequenza il segnale, in modo che finisca a cavallo della frequenza del **canale F.I.** (canale a frequenza intermedia). Possiamo allora sfruttare quanto sappiamo a proposito della **modulazione di ampiezza**: avendo due sinusoidi, di frequenza ω_1 ed ω_2 (con $\omega_2 > \omega_1$), il loro prodotto è

$$\cos(\omega_1 t) \cos(\omega_2 t) = \frac{1}{2} \cos((\omega_1 + \omega_2)t) + \frac{1}{2} \cos((\omega_2 - \omega_1)t)$$

Il prodotto da cioè origine ad altre due sinusoidi, una a frequenza somma ed una a frequenza differenza. In frequenza, quindi, abbiamo due impulsi, alle frequenze $\omega_1 + \omega_2$ e $\omega_2 - \omega_1$:



Se, al posto di usare la sinusoida $\cos(\omega_1 t)$, usiamo un generico segnale $s(t)$, il discorso non cambia: infatti, dato che il **moltiplicatore** è un dispositivo lineare³ e dato che un generico segnale $s(t)$ è sempre interpretabile, secondo Fourier, come somma di sinusoidi, allora anche il prodotto di

² Ricordiamo che si parla di **eterodina** quando il risultato del prodotto (battimento) di un segnale con l'oscillazione locale è un segnale passa-banda, come nel caso considerato. Se, invece, il risultato del battimento è un segnale passa-basso, allora si parla di **omodina**.

³ Il *moltiplicatore* (o **mixer** o *convertitore di frequenza*) è lineare ma non è tempo-invariante, per cui non ha senso parlare, per esso, di funzione di trasferimento.

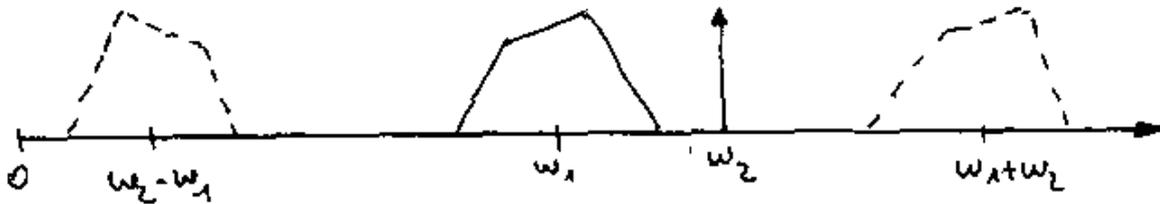
$s(t)$ per $\cos(\omega_2 t)$ dà origine a due repliche traslate (e scalate di un fattore 2) dello spettro del segnale: lo spettro del segnale dato dal prodotto è infatti

$$S_t(\omega) = \frac{1}{2}S(\omega - \omega_2) + \frac{1}{2}S(\omega + \omega_2)$$

Gli spettri traslati sono identici allo spettro di partenza dato che ogni componente spettrale viene traslata della stessa quantità.

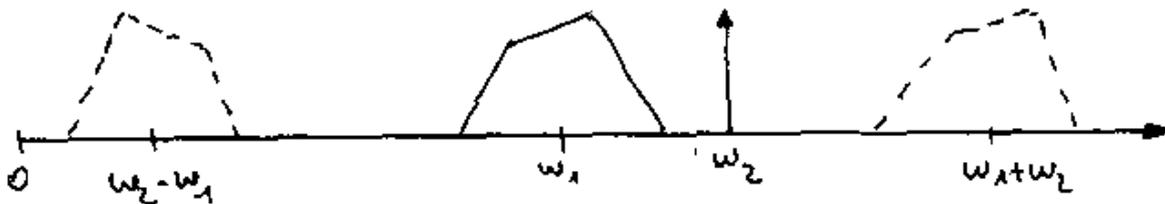
Con questo procedimento, riusciamo dunque a spostare lo spettro del segnale dove ci fa comodo, semplicemente variando il valore dell'oscillazione locale ω_2 .

In realtà, c'è però da fare una importante osservazione circa la posizione reciproca dei vari spettri. Consideriamo il caso in cui lo spettro di $s(t)$, che supponiamo centrato su una frequenza centrale ω_1 , si trovi a frequenza più alta di ω_2 . In questo caso, la situazione è indicata nella figura seguente:



Come si nota, lo spettro viene semplicemente spostato in alta e in bassa frequenza rispetto alla posizione originale, senza ribaltamenti.

Al contrario, se supponiamo che ω_2 sia superiore alla massima frequenza di $S(f)$, la situazione è indicata nella figura seguente:



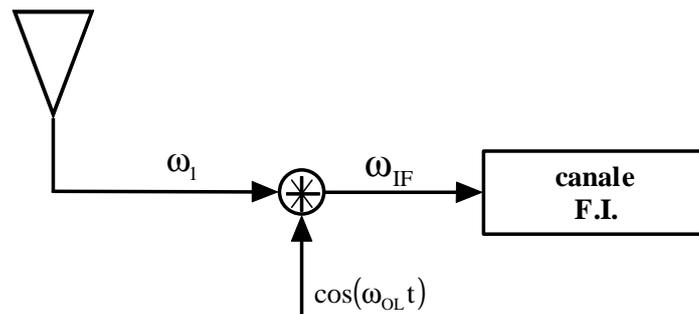
Si osserva che lo spettro $S(f)$ non viene solo spostato in alta e in bassa frequenza, ma subisce anche un ribaltamento nella replica a bassa frequenza. Il motivo, senza addentrarci nei dettagli matematici, è il seguente:

- quando $\omega_1 \gg \omega_2$, le componenti di $S(f)$ a maggior frequenza sono quelle più lontane all'oscillazione locale, per cui, dopo la moltiplicazione, subiscono lo spostamento maggiore da $\omega=0$;
- al contrario, quando $\omega_2 \gg \omega_1$, le componenti di $S(f)$ a maggior frequenza sono quelle più vicine all'oscillazione locale, per cui, dopo la moltiplicazione, subiscono lo spostamento minore da $\omega=0$.

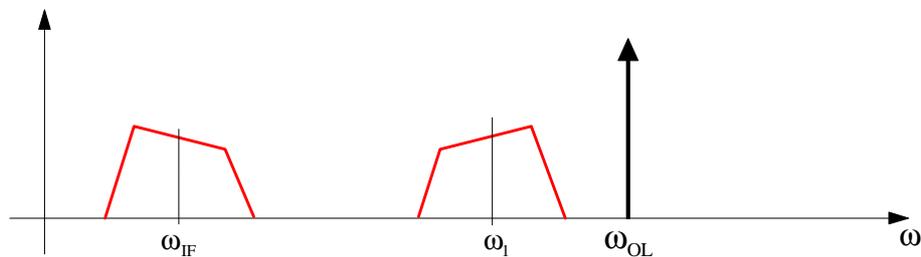
Quindi, nell'effettuare il battimento, il termine a frequenza somma viene replicato così com'è, mentre quello a frequenza differenza può essere ribaltato o meno a seconda che l'oscillazione locale sia, rispettivamente, maggiore o minore della frequenza centrale del segnale in arrivo.

Di questo bisognerà tener conto a monte del moltiplicatore, qualora si decida di utilizzare la replica a bassa frequenza⁴.

In definitiva, quindi, utilizzando l'effetto del battimento tra una sinusoidale ed un segnale passa-banda generico, possiamo realizzare un **ricevitore a conversione**:



Il segnale ricevuto, con banda centrata su ω_1 , batte con l'oscillazione locale ω_{OL} , dando origine alle due repliche descritte prima, le quali vanno in ingresso al **canale F.I.**: quest'ultimo è un blocco di amplificazione, filtraggio e demodulazione, che, come detto, funziona ad una frequenza fissa, che indicheremo con ω_{IF} (**frequenza intermedia**). Se scegliamo di utilizzare la replica dello spettro $S(f)$ a bassa frequenza, è evidente che, fissata ω_{IF} e nota ω_1 , bisognerà impostare ω_{OL} in modo che risulti $\omega_{IF} = \omega_{OL} - \omega_1$:



Il problema della banda immagine

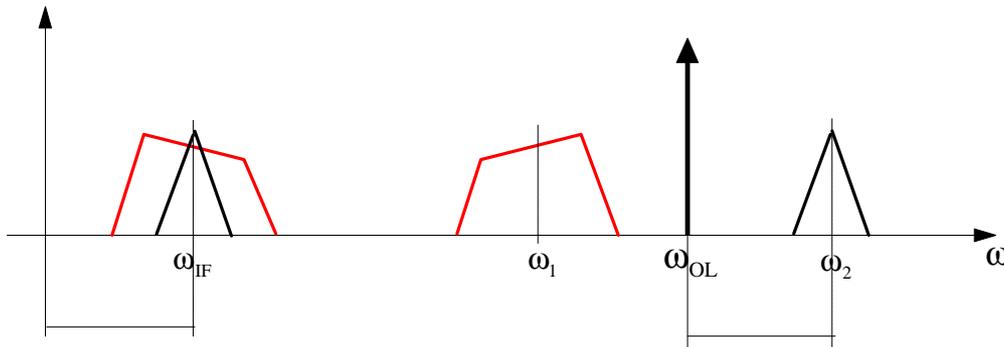
Lo schema descritto finora non è completo, in quanto c'è un altro problema da considerare: abbiamo detto che, tramite la moltiplicazione con ω_{OL} , il segnale $S(f)$ di nostro interesse viene portato a cavallo di ω_{IF} ; tuttavia, il segnale di interesse non è stato captato da solo dall'antenna, per cui ci sono anche altre componenti spettrali (oltre l'immane rumore) che vengono moltiplicate con ω_{OL} ; è allora possibile che anche alcune di queste ulteriori componenti vengano spostate a cavallo ω_{IF} . È anche facile verificare quali componenti spettrali possono darci "fastidio": indichiamo con ω_2 la frequenza di una generica componente spettrale che, essendo stata captata, viene moltiplicata per l'oscillazione locale a frequenza ω_{OL} ; la moltiplicazione dà origine ai due

⁴ Intuitivamente, è più logico utilizzare proprio la replica a bassa frequenza, visto che l'elaborazione di un segnale è sempre più agevole in bassa frequenza che non in altra frequenza. Tuttavia, come avremo modo di vedere, ci sono anche casi in cui si usa la replica ad alta frequenza. Si consideri, tra l'altro, che, allo stato attuale della tecnologia, circuiti funzionanti a diverse decine di MHz sono comunque ampiamente sperimentati ed efficienti.

termini $\omega_2 + \omega_{OL}$ (somma) e $\omega_2 - \omega_{OL}$ (differenza); imponendo allora che questi due termini siano entrambi uguali a ω_{IF} , otteniamo

$$\begin{aligned} \omega_X + \omega_{OL} = \omega_{IF} &\longrightarrow \omega_X = \omega_{IF} + \omega_{OL} \\ \omega_X - \omega_{OL} = \omega_{IF} &\longrightarrow \omega_X = \omega_{OL} + \omega_{IF} = \omega_2 \end{aligned}$$

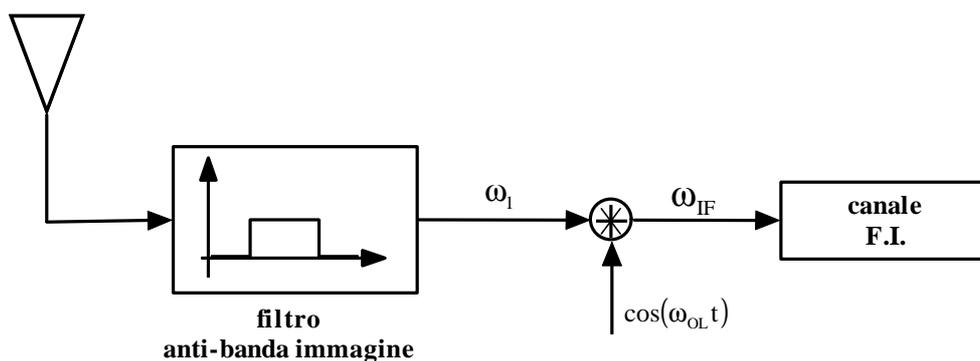
Dalla seconda uguaglianza otteniamo una pulsazione $\omega_2 = \omega_{IF} + \omega_{OL}$. Quindi, dopo la moltiplicazione con ω_{OL} , a cavallo della frequenza intermedia ω_{IF} troviamo sia il segnale utile, centrato su ω_1 , sia un eventuale segnale centrato su ω_2 , come indicato nella figura seguente:



Quindi, se l'antenna ha captato qualcosa a cavallo di ω_2 , questo "qualcosa" si sposterà anch'esso a cavallo di ω_{IF} , ossia si andrà a sovrapporre al segnale utile, risultando così indistinguibile da questo.

La banda di frequenza che si trova a cavallo di ω_2 (cioè, nel dettaglio, la banda che si trova a distanza ω_{IF} dall'oscillazione locale ω_{OL} e in posizione simmetrica, rispetto sempre a ω_{OL} , al segnale utile) prende il nome di **banda immagine** del segnale considerato⁵.

E' chiaro che la banda immagine può essere un notevole problema: se ci sono componenti spettrali contenute nella banda immagine, esse finiscono col sommarsi al segnale utile (a cavallo di ω_{IF}) impedendone l'estrazione. Non possiamo allora far altro che porci al riparo da questo problema, predisponendo un filtro che elimini qualsiasi cosa sia contenuta nella banda immagine:



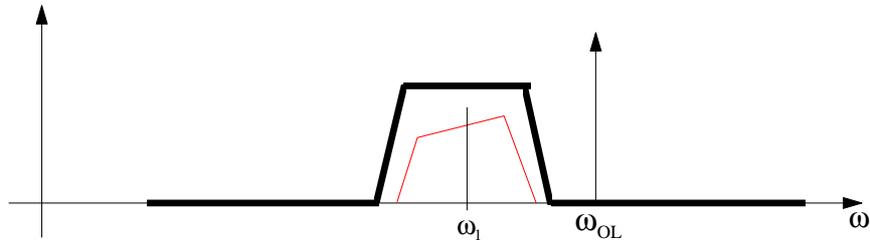
Questo **filtro anti-banda immagine** completa dunque lo schema di un **ricevitore a conversione**.

Sembrerebbe però di essere giunti ad una contraddizione: è evidente, infatti, che, dovendo variare di volta in volta il valore di ω_{OL} (in modo da portare a cavallo di ω_{IF} il segnale desiderato), dovremo anche variare la banda passante del filtro anti-banda immagine, ossia dovremmo adottare un filtro sintonizzabile. Ma noi siamo giunti a questo schema del ricevitore proprio partendo dal presupposto

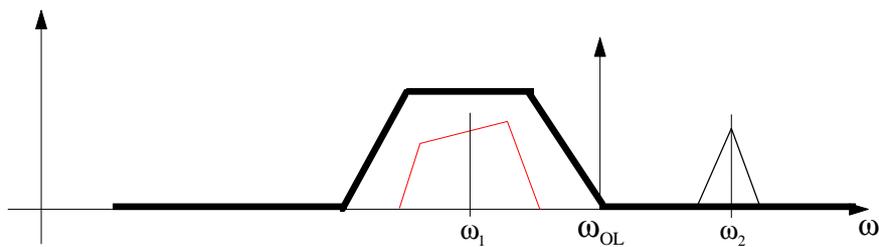
⁵ Segnaliamo che, per definizione, l'ampiezza della banda immagine è pari all'ampiezza della banda del segnale di interesse.

di non poter realizzare in pratica un buon filtro sintonizzabile. Come si spiega? Si spiega nel modo seguente:

- se ipotizziamo di usare un filtro passa-banda immediatamente a valle dall'antenna, in modo da lasciar passare solo il segnale di interesse, abbiamo la necessità di realizzare un filtro sintonizzabile con fianchi molto ripidi, in modo che il filtraggio sia sempre ottimale, cioè molto selettivo:



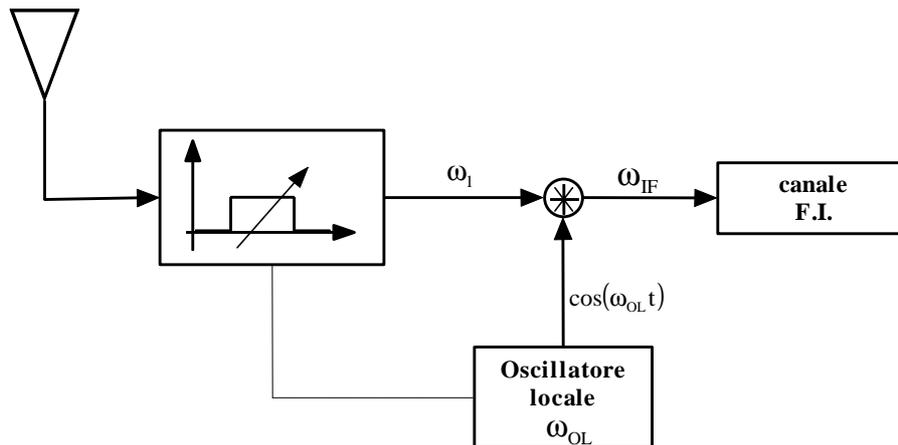
- al contrario, il filtro anti-banda immagine non deve avere fianchi particolarmente ripidi, in quanto non deve effettuare un filtraggio particolarmente selettivo: esso, infatti, deve lasciar passare il segnale, centrato in ω_1 , e deve attenuare solo nella banda immagine, ossia a partire almeno da ω_{OL} :



La distanza tra la frequenza centrale (ω_1) del segnale utile e quella (ω_2) della banda immagine è $2\omega_{IF}$: facendo allora ω_{IF} abbastanza grande, la banda passante del filtro, centrata su ω_1 , potrà avere un andamento piuttosto lento ai bordi, il che rende facile la realizzazione pratica del filtro: si può persino utilizzare un semplice *circuito risonante RLC*, che è facilmente sintonizzabile. Un filtro molto più selettivo andrà invece posto a valle del moltiplicatore, nel blocco denominato **canale F.I.**, ma si tratterà di un filtro a frequenza fissa (pari a ω_{IF}), per cui si potrà realizzare anch'esso con più facilità.

Quello trovato è dunque lo schema della cosiddetta **radio a supereterodina**: come visto, essa è costituita da un filtro passa-banda (anti-banda immagine) sintonizzabile, posto immediatamente a valle dell'antenna, da un convertitore di frequenza e dal canale a frequenza intermedia.

Una cosa interessante è che *il filtro passa-banda e il convertitore sono pilotati dallo stesso oscillatore*, proprio perché gli spostamenti dell'oscillazione locale e della banda passante vanno di comune accordo:



Si parla di **supereterodina** proprio perché il ricevitore riesce a sintonizzare di comune accordo, tramite l'oscillatore locale (OL), il filtro in ingresso e l'oscillatore locale.

Osserviamo che il filtro anti-banda immagine, pur essendo irrinunciabile, ha comunque delle controindicazioni, legate ancora una volta alla inevitabile perdita di inserzione e quindi alla inevitabile degradazione del rapporto S/N. D'altra parte, non ne possiamo proprio fare a meno, in quanto, anche nella ipotesi che la banda immagine non contenga alcun segnale, conterrà sicuramente del rumore: senza il filtro, all'uscita del moltiplicatore avremmo una doppia potenza di rumore, nella banda utile (centrata su ω_{IF}), rispetto a quella che otteniamo con il filtro.

Esempio numerico: trasmissione radiofonica AM e trasmissione TV

Per scendere in dettagli ancora maggiori a proposito del problema della banda immagine, facciamo un esempio numerico. Partiamo da due ipotesi:

- in primo luogo, supponiamo di aver progettato un canale a frequenza intermedia che lavora a $\omega_{IF}=455 \text{ kHz}$ ⁶;
- in secondo luogo, supponiamo che il segnale da ricevere sia un segnale **AM in doppia banda laterale**, che quindi occupa una banda, centrata sulla frequenza ω_1 della portante, doppia rispetto alla banda del segnale modulante: se B è la banda di quest'ultimo, 2B sarà la banda del segnale da ricevere.

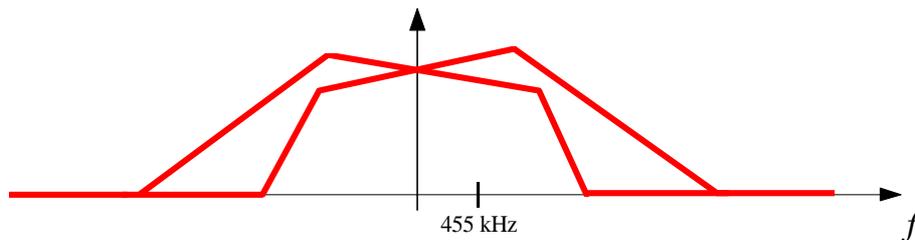
Supponiamo che il segnale modulante sia un **segnale audio**: per la diffusione AM dei segnali audio, generalmente si assegnano canali larghi 9 kHz, il che significa che la banda del segnale da ricevere sarà $2B=9\text{kHz}$. Per questa banda, la frequenza $\omega_{IF}=455\text{kHz}$ ci va bene, in quanto, dopo la moltiplicazione, avremo 9 kHz centrati su 455kHz.

Non andrebbe invece bene per un segnale TV, che ha una banda di circa 7 MHz (considerando 1 MHz per la banda vestigiale e l'ulteriore banda per il segnale audio): in questo caso, avremmo 7MHz centrati su 455 kHz, per cui avremmo ben 3.045 MHz nel campo delle frequenze negative:

⁶ Ricordiamo che i ricevitori a frequenza fissa lavorano a frequenze centrali standardizzate, che sono 455 kHz, 10.7 MHz, 35 MHz e così via.



Considerando che per le frequenze negative vale la situazione esattamente simmetrica, avremmo alla fine la sovrapposizione spettrale di due segnali a cavallo dello 0, per cui otterremmo alla fine un segnale passa-basso con caratteristiche profondamente diverse dal segnale ricevuto:



Questo discorso serve dunque a spiegare che la scelta della frequenza intermedia ω_{IF} va fatta sulla base di almeno due considerazioni:

- la prima, in base a quanto detto in precedenza, è che al crescere di ω_{IF} , cresce anche la distanza della banda immagine dalla banda del segnale utile, per cui il filtro anti-banda immagine può essere fatto più blando;
- la seconda riguarda appunto la banda del segnale utile da traslare a cavallo di ω_{IF} : quanto maggiore è la banda del segnale utile, tanto maggiore dovrà essere ω_{IF} . A questo proposito, esistono dei valori standardizzati, che, per esempio, nel caso del segnale televisivo (che richiede almeno 3.5MHz a destra e a sinistra di ω_{IF}), prevedono $\omega_{IF}=10.7$ MHz.

Ottimizzare il valore di ω_{IF} non è comunque una operazione facile. Fin quando il ricevitore che si intende realizzare lavora a frequenza fissa⁷ (cioè non è sintonizzabile), è possibile trovare una soluzione pratica abbastanza efficiente. Nei ricevitori sintonizzabili, invece, che devono coprire (o *spazzolare*) un intervallo di frequenza percentualmente grande⁸, non è affatto facile determinare un valore di ω_{IF} fisso.

Per risolvere questi problemi, si sono adottate, negli anni, due soluzioni:

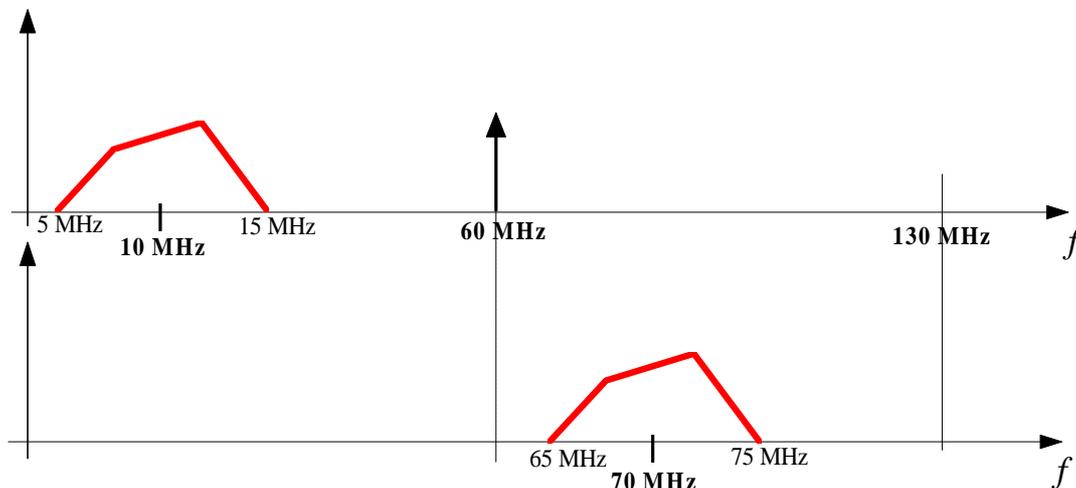
- inizialmente (e parliamo di circa di 20 anni fa), i ricevitori effettuavano più conversioni di frequenza, portando il segnale verso le basse frequenze in più passi successivi anziché in un unico passo. Questo modo di procedere consentiva di controllare meglio la ricezione della banda indesiderata;
- attualmente, invece, si usa un'altra strategia: anziché usare il termine differenza ($\omega_{OL}-\omega_I$) che viene fuori dal battimento del segnale con l'oscillazione locale, si usa il termine somma ($\omega_{IF}=\omega_{OL}+\omega_I$), considerando che la gran parte dei dispositivi (filtri, amplificatori, ...) sono ormai tranquillamente in grado di operare a frequenze abbastanza elevate. Il vantaggio di

⁷ Tutt'al più, si può fare in modo che ω_{IF} vari in un intervallo percentualmente piccolo

⁸ Ad esempio, i **ricevitori per onde corte** (che ricordiamo essere onde con lunghezze d'onda che vanno da 600 m a 10 m) devono coprire le frequenze da 500 kHz a 30 MHz.

questa procedura è che la distanza della banda immagine dalla banda centrata su ω_1 è ancora maggiore di prima: infatti, la banda immagine è ancora centrata su $\omega_2 = \omega_{IF} + \omega_{OL}$, ma ω_{IF} è cresciuta notevolmente rispetto a prima, proprio perché è la somma di ω_{OL} e ω_1 e non più la differenza. Di conseguenza, il filtraggio che richiediamo al filtro anti-banda immagine potrà essere ancora più blando, per cui il filtro stesso avrà caratteristiche ancora migliori in termini di sintonizzabilità.

Possiamo anche fare un esempio numerico di quanto appena detto: supponiamo di avere scelto una frequenza intermedia $\omega_{IF}=70$ MHz e supponiamo che, in trasmissione, si sia usato un segnale modulante con banda di 5 MHz. Se questo segnale è andato a modulare (in DSB-SC) una portante a $\omega_1=10$ MHz, il segnale che ci interessa ricevere è centrato su ω_1 e occupa una banda di 10 MHz disposta simmetricamente su ω_1 . L'oscillazione locale da predisporre per portare il segnale a cavallo di ω_{IF} sarà in questo caso $\omega_{OL} = \omega_{IF} - \omega_1 = 60$ MHz. La banda immagine si trova invece centrata su $\omega_2 = \omega_{IF} + \omega_{OL} = 130$ MHz, a ben 120 MHz da ω_1 :



In questa situazione, basterà che il filtro anti-banda immagine elimini componenti spettrali a partire, per esempio, da 90 MHz in poi.

Il ricevitore potrà poi funzionare alla frequenza fissa di 70 MHz e potrà così essere ottimizzato. Eventualmente, si potrà scendere a frequenza più bassa in un secondo momento, magari in più passaggi, in modo da effettuare una demodulazione più agevole del segnale.

Autore: **SANDRO PETRIZZELLI**
 e-mail: sandry@iol.it
 sito personale: <http://users.iol.it/sandry>
 succursale: <http://digilander.iol.it/sandry1>