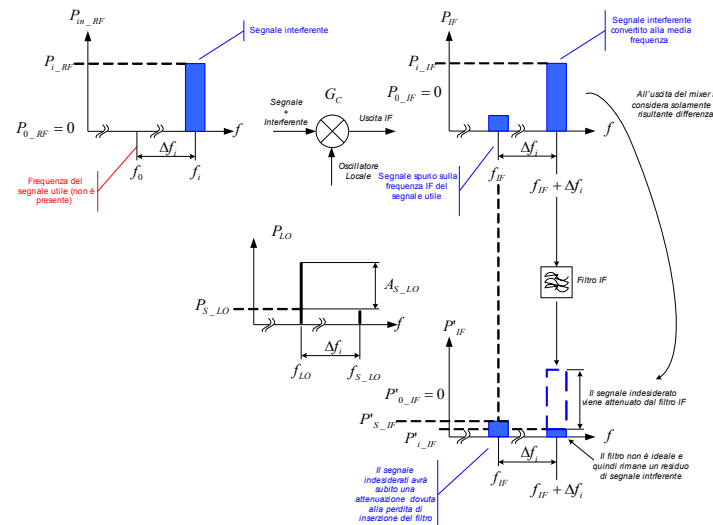


Elettronica per le telecomunicazioni

AA 2014-2015

Marco Zubalic

Rumore dell'oscillatore locale e responso ai segnali indesiderati del ricevitore



Rumore del LO e risposta spurie del ricevitore

Le considerazioni che seguono sono relative all'impatto del rumore e delle **spurie** dell'oscillatore locale sul responso di un ricevitore supereterodina ai segnali indesiderati presenti sui **canali adiacenti** al segnale utile.

Si mettono in evidenza le situazioni dei segnali all'ingresso del mixer, alla sua uscita e dopo il filtro di frequenza intermedia.

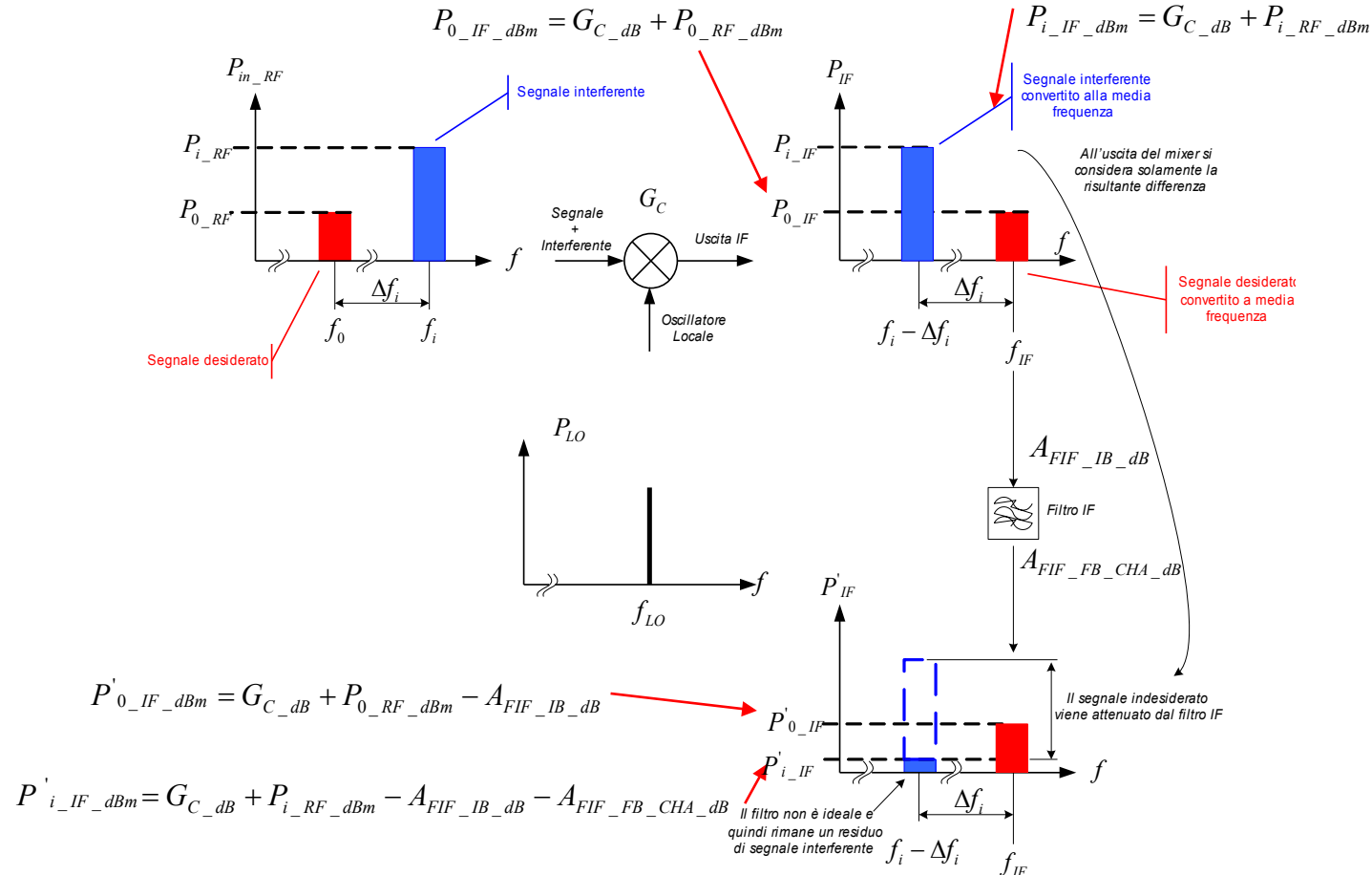
All'uscita del mixer viene presa in considerazione solamente la risultante differenza. I casi esaminati sono:

- **LO ideale, segnale utile più segnale interferente;**
- LO ideale, solo segnale interferente;
- LO non ideale, solo segnale interferente;
- **LO non ideale, segnale utile più segnale interferente;**
- LO non ideale, segnale utile più diversi segnali interferenti

LO ideale, segnale utile più segnale interferente

Il segnale dell'oscillatore locale è considerato ideale, cioè rappresentabile da una sola riga spettrale.

Il segnale interferente si trova ad una distanza Δf_i dal segnale desiderato f_0 .



LO ideale, segnale utile più segnale interferente

Dopo il filtro di media frequenza la situazione dei livelli dei segnali sarà:

Potenza del segnale desiderato alla frequenza: f_{IF}

$$P'_{0_IF_dBm} = G_{C_dB} + P_{0_RF_dBm} - A_{FIF_IB_dB}$$

Può essere anche discriminato dal demodulatore

Potenza del segnale interferente alla frequenza $f_{IF} - \Delta f_i$

$$P'_{i_IF_dBm} = G_{C_dB} + P_{i_RF_dBm} - A_{FIF_IB_dB} - A_{FIF_FB_CHA_dB}$$

Affinché il demodulatore operi in modo corretto è necessario che il circuito di media frequenza presenti al suo ingresso i due segnali, utile e interferente, in un rapporto specificato in base ai requisiti di sistema (C/I , A_i)

$$A_{i_dB} = P'_{0_IF_dBm} - P'_{i_IF_dBm}$$

$$A_{i_dB} = P_{0_RF_dBm} - P_{i_RF_dBm} + A_{FIF_FB_CHA_dB}$$

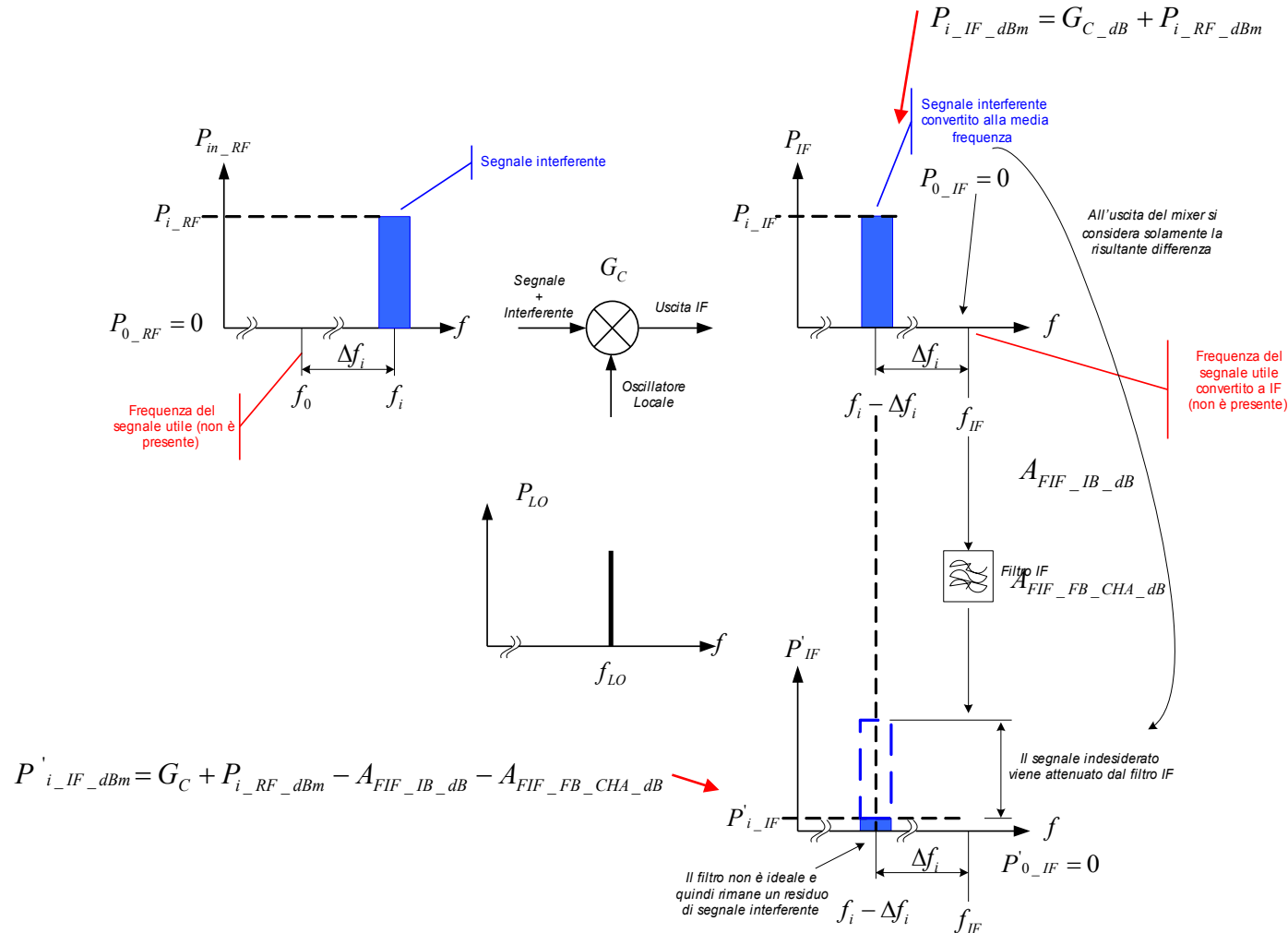
$$A_{CHA_dB} = P_{i_RF_dBm} - P_{0_RF_dBm}$$

$$A_{i_dB} = -A_{CHA_dB} + A_{FIF_FB_CHA_dB}$$

A_{i_dB} può essere aumentata aumentando la selettività del filtro IF

LO ideale, solo segnale interferente

E' utile considerare il comportamento della conversione nella condizione in cui l'oscillatore locale è ideale e all'ingresso esiste **solamente il segnale interferente**.



Dopo il filtro di media frequenza la situazione dei livelli dei segnali sarà:

Potenza del segnale desiderato alla
frequenza

$$f_{IF} \quad P'_{0_IF_dBm} = 0$$

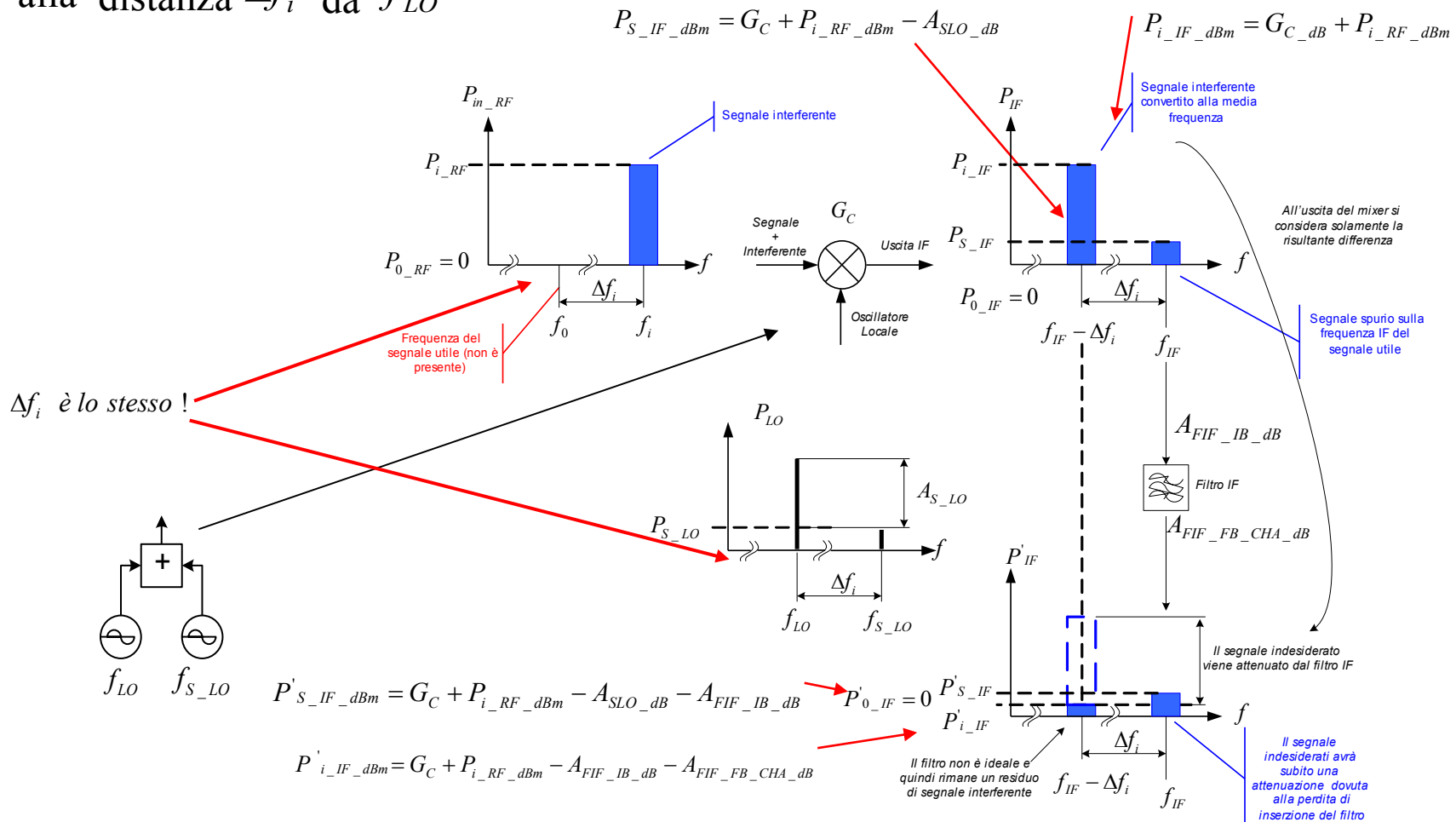
Potenza del segnale interferente alla frequenza $f_{IF} - \Delta f_i$

$$P'_{i_IF_dBm} = G_{C_dB} + P_{i_RF_dBm} - A_{FIF_IB_dB} - A_{FIF_FB_CHA_dB}$$

La situazione del segnale interferente è la stessa del caso precedente.

LO non ideale, solo segnale interferente

In questo caso il segnale utile, f_0 è assente, esiste il segnale interferente, f_i
 L'oscillatore locale non è più ideale, ma contiene un segnale spurio, f_{S_LO}
 alla distanza Δf_i da f_{LO}



LO non ideale, solo segnale interferente

All'uscita del mixer si avranno due segnali (si considera solamente $f_{LO} - f_{ingresso}$ cioè la differenza) :

- uno alla frequenza $f_{LO} - f_{ingresso} = f_{LO} - f_i = f_{LO} - (f_0 + \Delta f_i) = \underbrace{f_{LO} - f_0}_{f_{IF}} - \Delta f_i$

$f_{IF} - \Delta f_i$
E' il segnale interferente traslato in media frequenza

- uno alla frequenza $f_{S_LO} - f_{ingresso} = f_{S_LO} - f_i = (f_{LO} + \Delta f_i) - (f_0 + \Delta f_i) = f_{LO} + \Delta f_i - f_0 - \Delta f_i = f_{LO} - f_0$

$f_{LO} - f_0 = f_i$
E' il segnale interferente convertito al valore centrale di media frequenza a causa della presenza del segnale spurio sull'oscillatore locale.

La potenza dei segnali all'uscita del mixer sarà:

- potenza del segnale indesiderato alla frequenza f_{IF}

$$P_{S_IF_dBm} = G_C + P_{i_RF_dBm} - A_{SLO_dB}$$

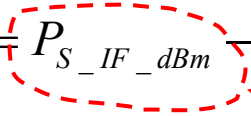
- potenza del segnale indesiderato alla frequenza $f_{IF} + \Delta f_i$

$$P_{i_IF_dBm} = P_{i_RF_dBm} + G_C$$


LO non ideale, solo segnale interferente

Dopo il filtro passa banda di media frequenza il segnale indesiderato alla frequenza f_{IF} subirà una attenuazione dovuta alla perdita di inserzione del filtro IF

$$P'_{S_IF_dBm} = P_{S_IF_dBm} - A_{FIF_IB_dB}$$



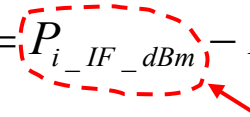
$$P_{S_IF_dBm} = G_C + P_{i_RF_dBm} - A_{SLO_dB}$$




$$P'_{S_IF_dBm} = G_C + P_{i_RF_dBm} - A_{SLO_dB} - A_{FIF_IB_dB}$$

Il segnale indesiderato alla frequenza $f_{IF} + \Delta f_i$ subirà anche l'attenuazione fuori banda del filtro IF

$$P'_{i_IF_dBm} = P_{i_IF_dBm} - A_{FIF_IB_dB} - A_{FIF_FB_CHA_dB}$$



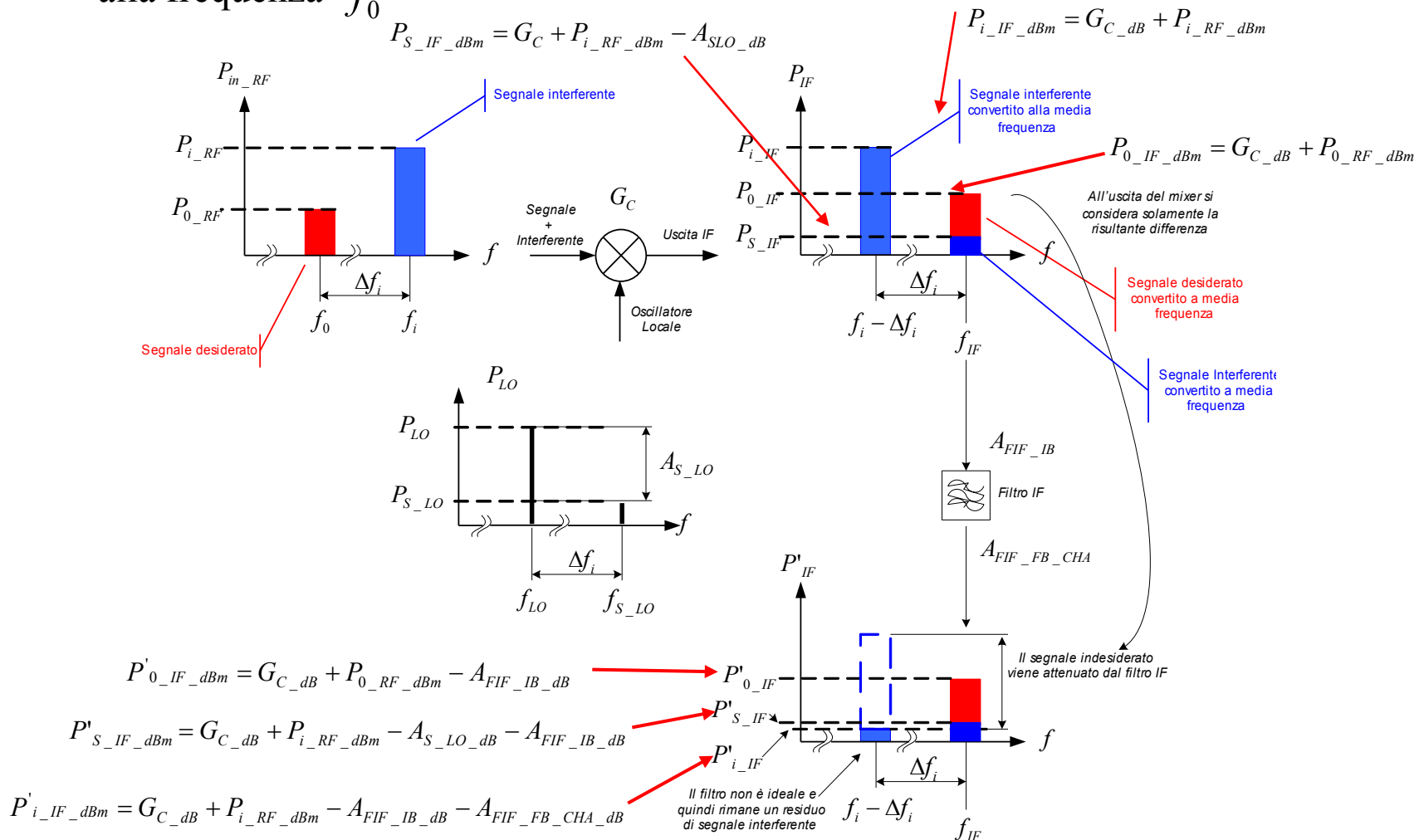
$$P_{i_IF_dBm} = P_{i_RF_dBm} + G_C$$



$$P'_{i_IF_dBm} = P_{i_RF_dBm} + G_C - A_{FIF_IB_dB} - A_{FIF_FB_CHA_dB}$$

LO non ideale, segnale utile più segnale interferente



La situazione è la stessa del caso precedente, ma con la presenza del segnale utile alla frequenza f_0



All'uscita del mixer, il segnale utile, f_{IF} , avrà un livello di potenza di

$$P_{0_IF_dBm} = G_{C_dB} + P_{0_RF_dBm}$$



I segnali interferenti, all'uscita del mixer, sono due ed il loro livello di potenza sarà dato dalle:

- a f_{IF}  $P_{S_IF_dBm} = G_{C_dB} + P_{i_RF_dBm} - A_{S_LO_dB}$
- a $f_{IF} - \Delta f_i$  $P_{i_IF_dBm} = G_{C_dB} + P_{i_RF_dBm}$

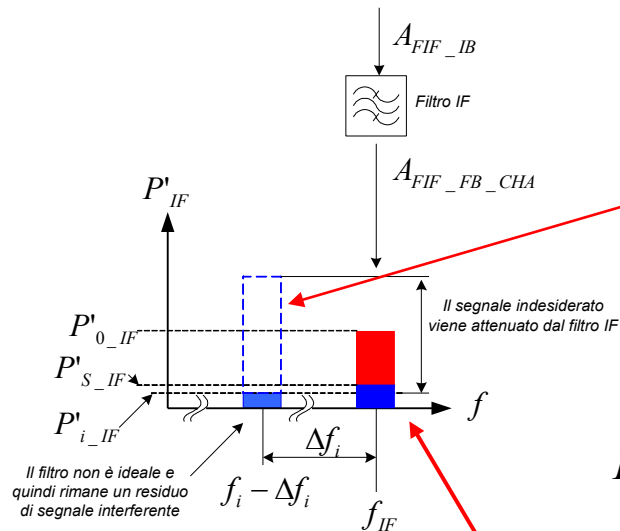
Dopo il filtro IF il livello di potenza del segnale utile sarà :

$$P'_{0_IF_dBm} = G_{C_dB} + P_{0_RF_dBm} - A_{FIF_IB_dB}$$

I segnali interferenti:

- a f_{IF}  $P'_{S_IF_dBm} = G_{C_dB} + P_{i_RF_dBm} - A_{S_LO_dB} - A_{FIF_IB_dB}$
- a $f_{IF} - \Delta f_i$  $P'_{i_IF_dBm} = G_{C_dB} + P_{i_RF_dBm} - A_{FIF_IB_dB} - A_{FIF_FB_CHA_dB}$

LO non ideale, segnale utile più segnale interferente



Il segnale interferente alla frequenza è meno pericoloso, può essere discriminato in frequenza ed il suo livello può essere attenuato sensibilmente aumentando la selettività del filtro IF. Nelle considerazioni che seguono lo si trascurerà.

Attenuazione fra segnale utile e segnale interferente

$$P'_{0_IF_dBm} = G_{C_dB} + P_{0_RF_dBm} - A_{FIF_IB_dB}$$

$$A_{i_dB} = P'_{0_IF_dBm} - P'_{S_IF_dBm}$$

$$P'_{S_IF_dBm} = G_{C_dB} + P_{i_RF_dBm} - A_{S_LO_dB} - A_{FIF_IB_dB}$$

$$A_{i_dB} = G_{C_dB} + P_{0_RF_dBm} - A_{FIF_IB_dB} - (G_{C_dB} + P_{i_RF_dBm} - A_{S_LO_dB} - A_{FIF_IB_dB})$$

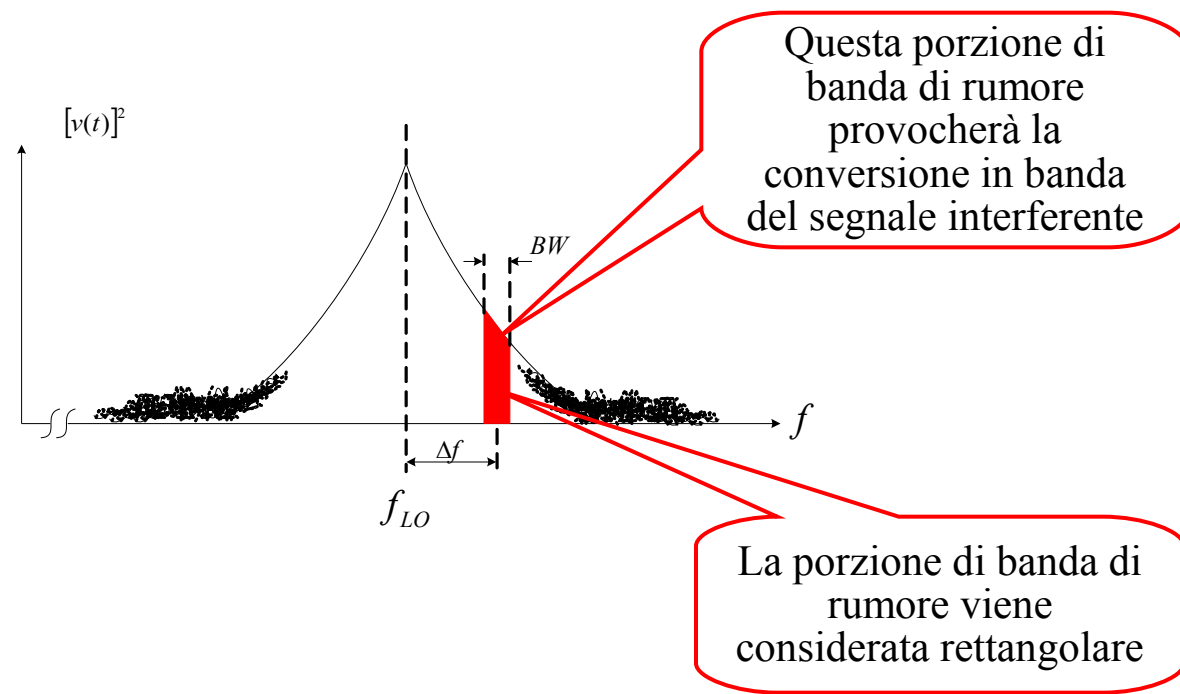
$$A_{i_dB} = P_{0_RF_dBm} - P_{i_RF_dBm} + A_{S_LO_dB}$$

$$A_{S_LO_dB} = P_{i_RF_dBm} - P_{0_RF_dBm} + A_{i_dB}$$

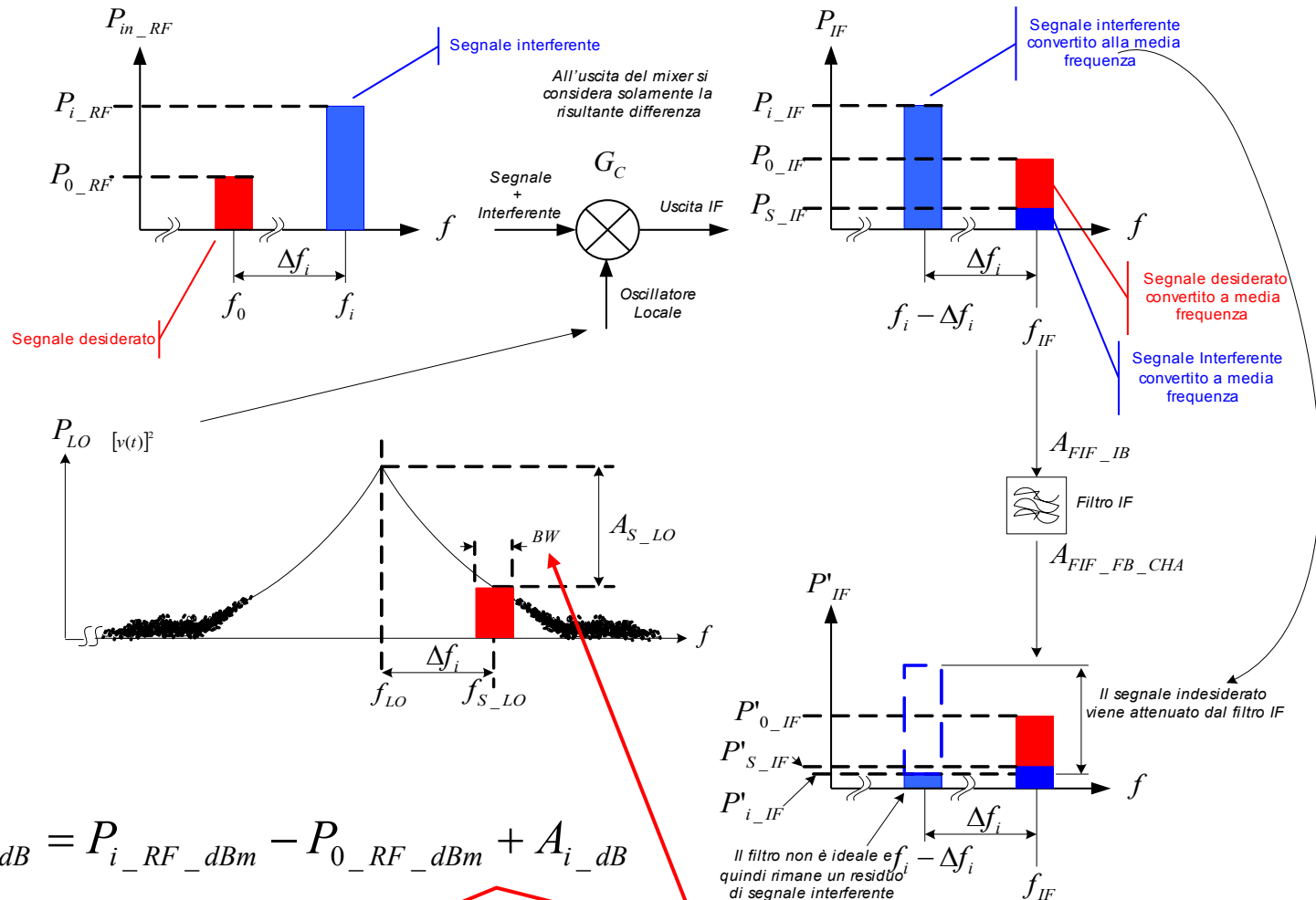
Fissato un dato rapporto di attenuazione fra segnale utile e segnale interferente, si può calcolare l'attenuazione minima che deve avere il segnale spurio dell'oscillatore locale

Fino a qui sono state fatte considerazioni basandosi sul fatto che l'oscillatore locale abbia una sola spuria ad una certa distanza dalla sua frequenza centrale.

Questa situazione in pratica non esiste o perlomeno la presenza della spuria è accompagnata dal rumore dell'oscillatore locale stesso. La situazione spettrale più comune è questa



LO non ideale, segnale utile più segnale interferente



$$A_{S_LO_dB} = P_{i_RF_dBm} - P_{0_RF_dBm} + A_{i_dB}$$

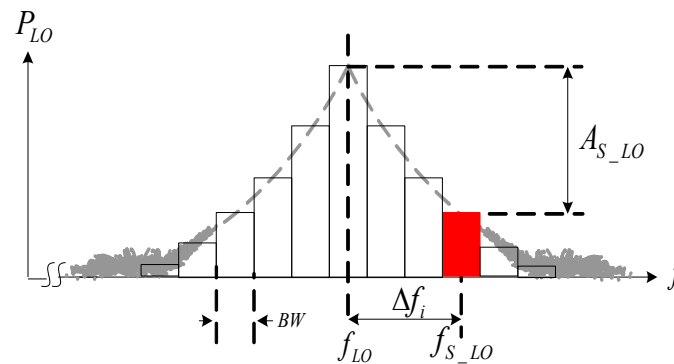
E' valida per livelli di potenza misurati in una banda di frequenza uguale alla banda passante (BW) del ricevitore

Nella realtà si avrà del rumore piuttosto che un segnale discreto.

Rumore che occuperà una banda di frequenza.

Quindi la potenza del rumore dovrà essere integrata in una a banda di frequenza, BW (Hz), banda che sarà la stessa di quella del filtro IF del ricevitore.

In modo macroscopico lo spettro dell'oscillatore locale potrà essere rappresentato a scalini di larghezza BW e di ampiezza decrescente all'aumentare della distanza dalla f_o .

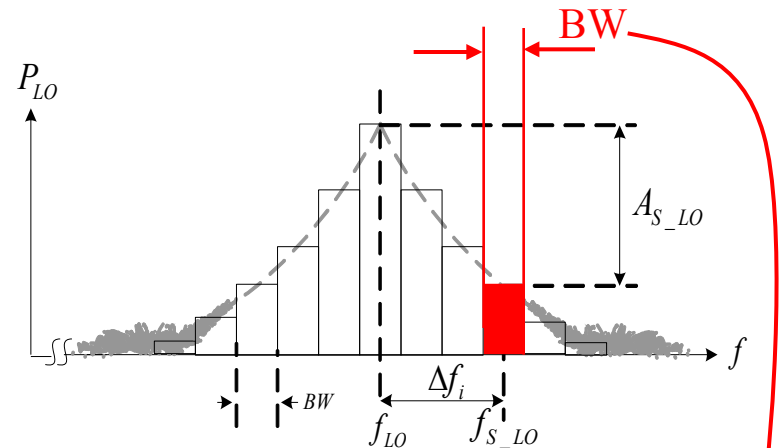
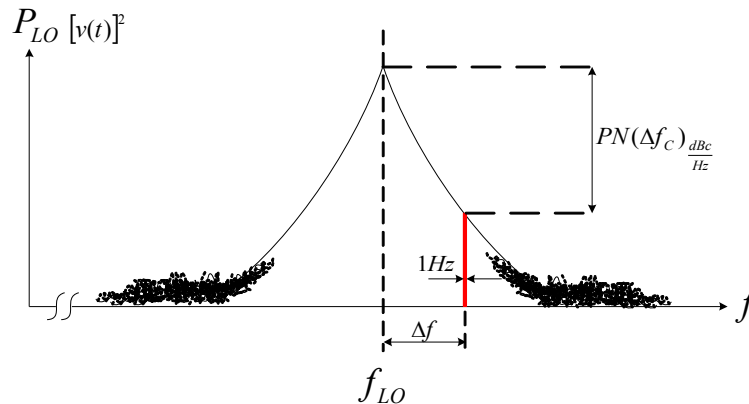


LO non ideale, segnale utile più segnale interferente

La potenza del rumore sulle bande adiacenti di un ricevitore viene solitamente misurata in una banda di frequenza unitaria (1Hz) ed espressa in

$$\frac{dB_C}{Hz}$$

specificato per un valore di Δf .



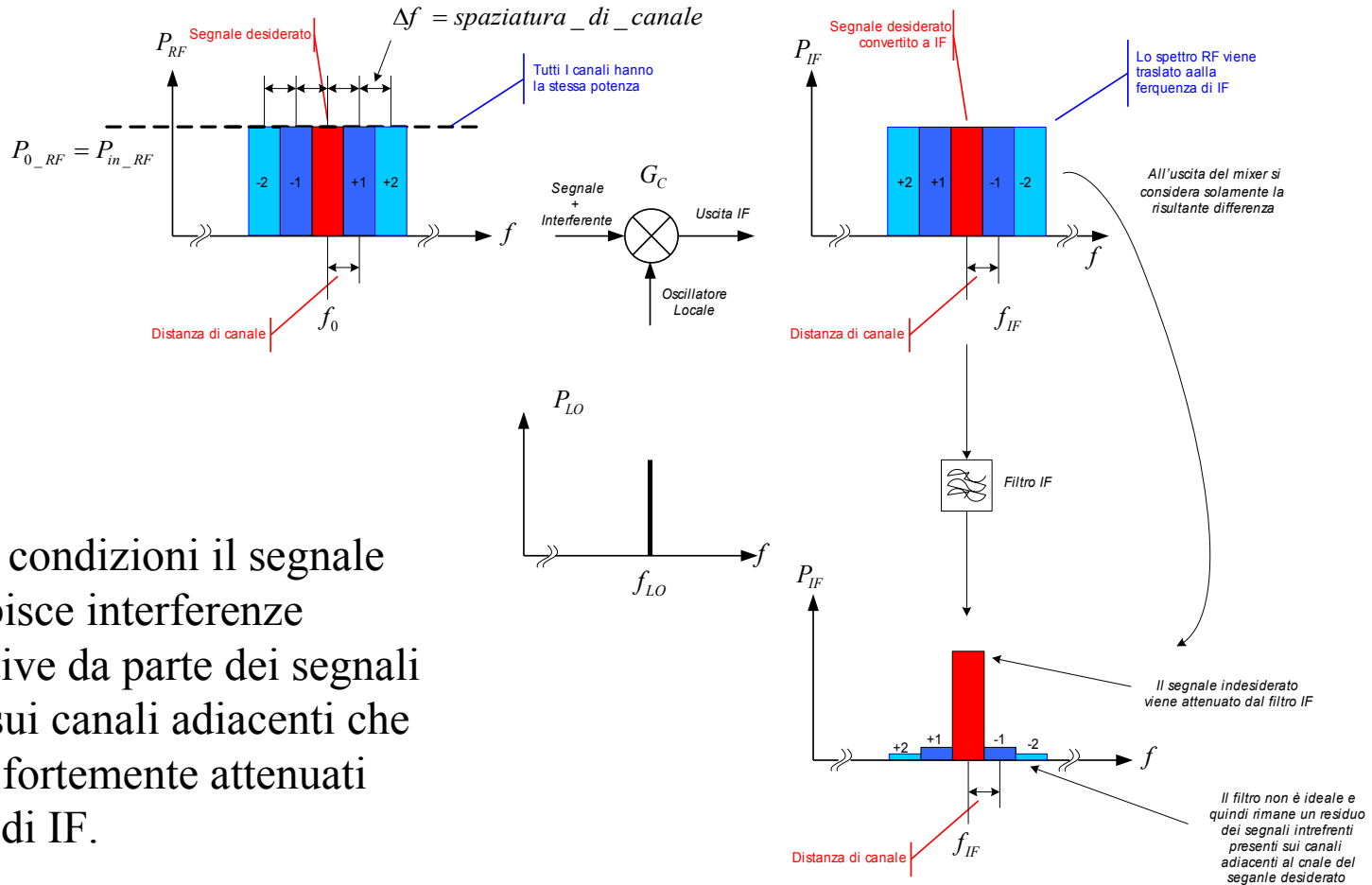
Approssimando l'area di integrazione del rumore ad un rettangolo si potrà tenere conto di una correzione dovuta alla larghezza di banda del rumore pari a $10 \log (BW)$

$$A_{S_LO_dB} = P_{i_RF_dBm} - P_{0_RF_dBm} + A_{i_dB}$$

$$A_{S_LO_dBc/Hz} = P_{i_RF_dBm} - P_{0_RF_dBm} + A_{i_dB} + 10 \log(BW) \frac{dBc}{Hz}$$

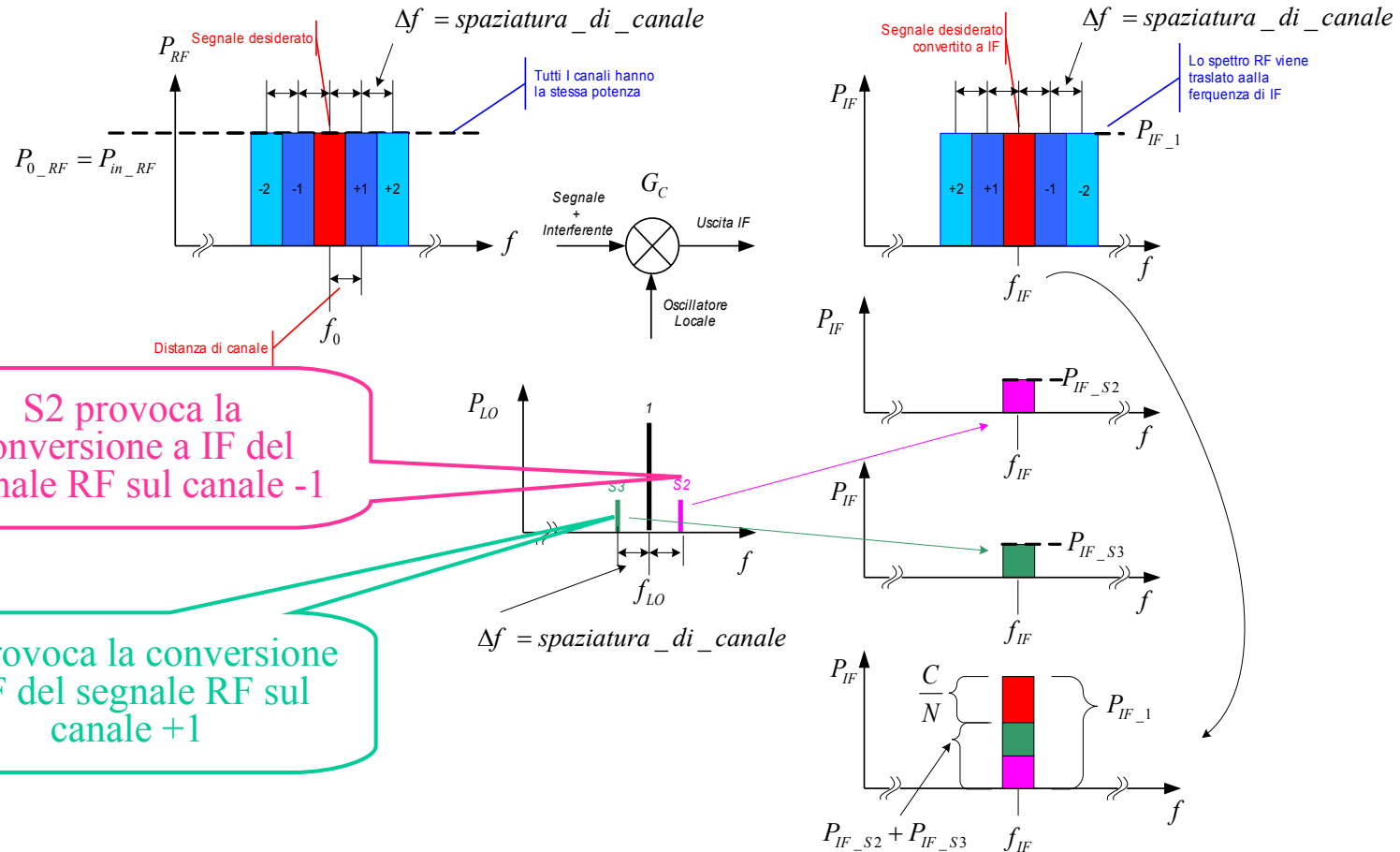
$$PN(\Delta f_C) \frac{dBc}{Hz} = P_{i_RF_dBm} - P_{0_RF_dBm} + \left(\frac{C}{I} \right)_{dB} + 10 \log(BW) \frac{dBc}{Hz}$$

Caso in cui all'ingresso del ricevitore sono presenti, oltre al segnale desiderato, anche i segnali sui canali adiacenti al canale del segnale utile.



In queste condizioni il segnale NON subisce interferenze significative da parte dei segnali presenti sui canali adiacenti che risultano fortemente attenuati dal filtro di IF.

Le cose si complicano se l'oscillatore locale non è ideale, ma è accompagnato da dei segnali spuri .



In pratica l'oscillatore locale presenta uno spettro continuo (dovuto al rumore) e non solamente due componenti spurie discrete, per cui se sono presenti all'ingresso tutti i canali adiacenti **tutti danno un contributo alla potenza del segnale interferente in banda**.

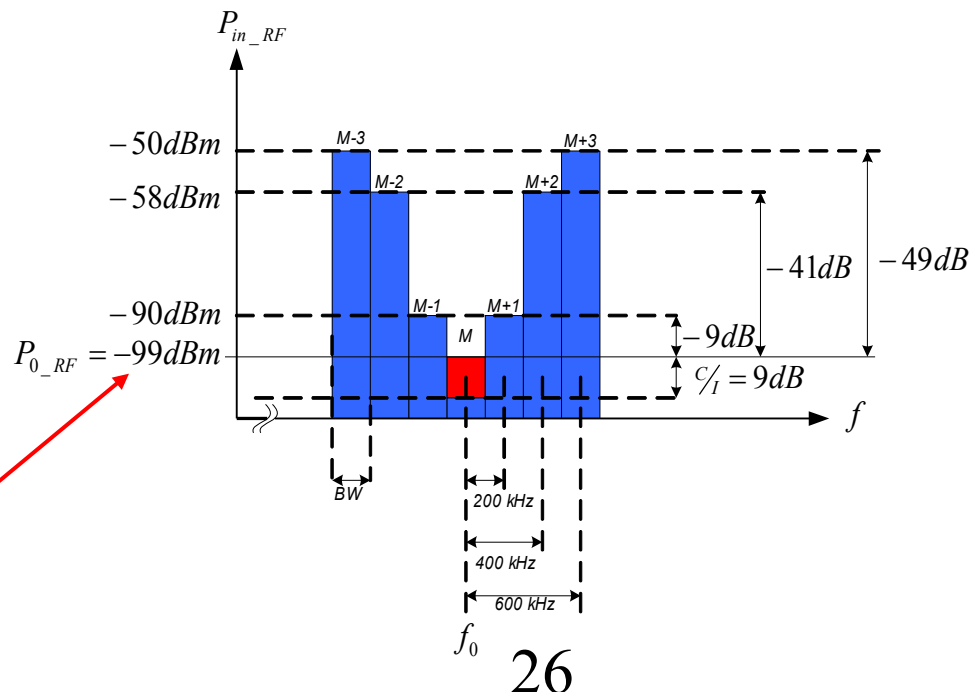
Normalmente le norme che riportano i requisiti del sistema (DECT, GSM, UMTS, ...) specificano i livelli di interferenza a cui il ricevitore sarà sottoposto sui canali adiacenti. Questi livelli sono crescenti all'aumentare della distanza dal canale utile e sono specificati per un certo numero di canali, tipicamente ± 3 .

Segnali interferenti,
richiesti dalla normativa
GSM, (ricevitore del
mobile).

Sensibilità di riferimento

$$-102 \text{ dBm} \rightarrow \text{BER} \leq 10^{-4}$$

3 dB di margine



Canale	Frequenza	Livello interferente (dBm)	Livello di interferenza relativo A_{CHA} (dB)	Livello segnale utile (dBm)
M	f_0		0	-99
M	f_0	-108	9	
$M \pm 1$	$f_0 \pm \Delta f$	-90	-9	
$M \pm 2$	$f_0 \pm 2\Delta f$	-58	-41	
$M \pm 3$	$f_0 \pm 3\Delta f$	-50	-49	

LO ideale, segnale utile con più segnali interferenti

Esempio

Calcolare l'attenuazione fuori banda alle diverse distanze di canale

$$M \pm 1 \quad M \pm 2 \quad M \pm 3$$

che dovrà avere un filtro di media frequenza in un ricevitore GSM.

Si considera che l'oscillatore locale sia ideale.

Si applica la relazione $A_{i_dB} = P_{0_RF_dBm} - P_{i_RF_dBm} + A_{FIF_FB_CHA_dB}$

$$A_{FIF_FB_CHA_dB} = A_{i_dB} - (P_{0_RF_dBm} - P_{i_RF_dBm})$$

Si usano i valori riportati nella tabella della diapositiva precedente

$$P_{0_RF_dBm} = -99 \text{ dBm} \quad A_{i_dBm} = 9 \text{ dBm} \quad P_{i_RF_dBm} = \text{da tabella}$$

$$M \pm 1 \rightarrow P_{i_RF_dBm} = -90 \text{ dBm} \quad A_{FIF_FB_CHA_dB} = 9 - [-99 - (-90)] = 18 \text{ dB}$$

$$M \pm 2 \rightarrow P_{i_RF_dBm} = -58 \text{ dBm} \quad A_{FIF_FB_CHA_dB} = 9 - [-99 - (-58)] = 50 \text{ dB}$$

$$M \pm 3 \rightarrow P_{i_RF_dBm} = -50 \text{ dBm} \quad A_{FIF_FB_CHA_dB} = 9 - [-99 - (-50)] = 58 \text{ dB}$$

Con questi valori si potrà tracciare la sagoma del filtro di media frequenza.

La selettività di un ricevitore è la misura della sua capacità di essere immune ai segnali indesiderati .

I segnali indesiderati presenti all'ingresso del ricevitore creano delle risposte spurie che cadono sul canale occupato dal segnale desiderato. Queste risposte spurie provocano un degrado del rapporto fra segnale utile e segnale interferente (C/I) all'ingresso del demodulatore.

Sono stati visti gli aspetti di selettività legati alle interferenze sui canali adiacenti,

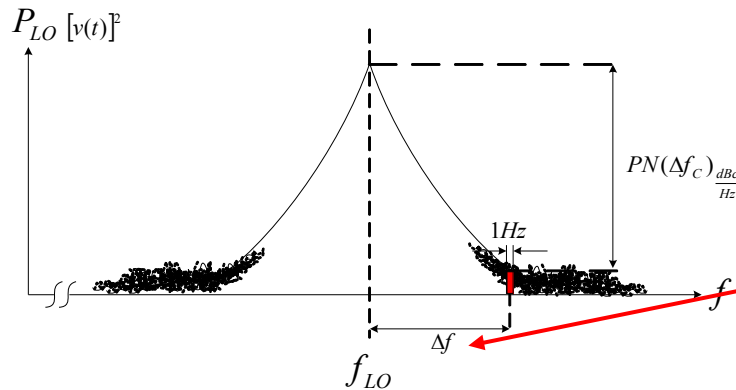
$$M \pm 1 \quad M \pm 2 \quad M \pm 3$$

Ci sono delle interferenze provocate da **segnali di forte intensità** presenti a **distanze di canale maggiori** di quelle dei canali adiacenti dal canale utile.

Questo tipo di selettività viene chiamata **bloccaggio** (blocking).

Il meccanismo con cui si forma l'interferenza è lo stesso di quello descritto nei paragrafi precedenti e dipende dalla purezza spettrale dell'oscillatore locale, cioè dalle bande laterali dovute al rumore.

La principale differenza è che si prende in considerazione il rumore ad una maggiore distanza dalla portante dell'oscillatore locale



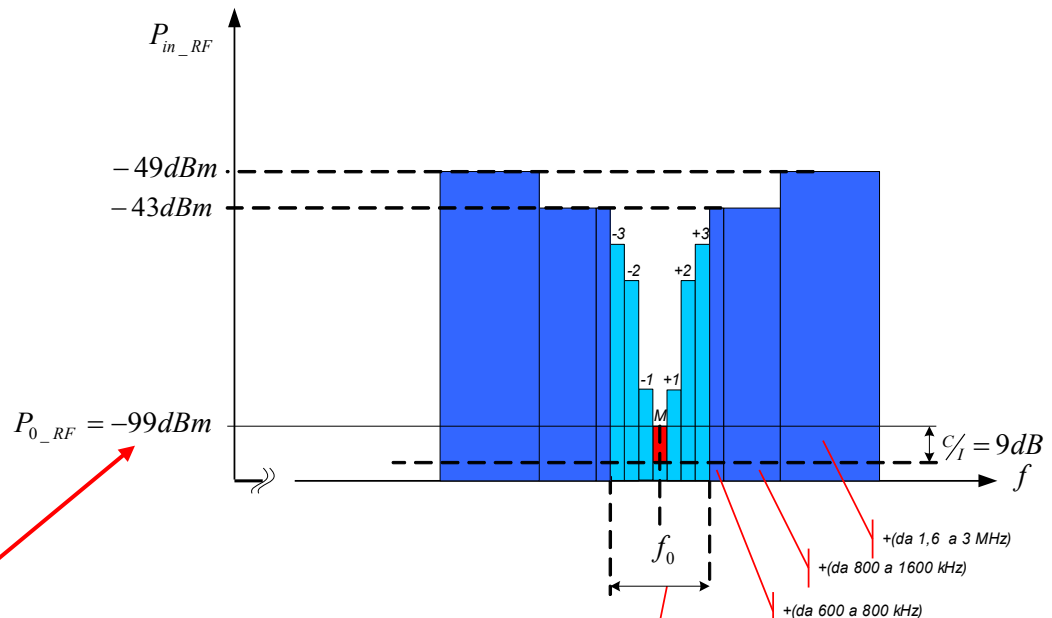
Nel bloccaggio si considera una distanza in frequenza che sia maggiore di alcune spaziatute di canale

Livelli dei segnali interferenti di **bloccaggio**, richiesti dalla normativa GSM, (Rx mobile).

Sensibilità di riferimento

$$-102 \text{ dBm} \rightarrow BER \leq 10^{-4}$$

3 dB di margine



Gamma in cui viene specificata l'interferenza sui canali adiacenti da M1 a M3

Banda di frequenza	Livello interferente (dBm)	Livello di interferenza relativo A_{CHA} (dB)	Livello segnale utile (dBm)
f_0		0	-99
f_0	-108	9	cocanale
$600kHz \geq \Delta f < 800kHz$	-43	-56	
$800kHz \geq \Delta f < 1,6MHz$	-43	-56	
$1,6MHz \geq \Delta f < 3MHz$	-33	-66	
$3MHz \geq \Delta f$	-23	-76	
Fuori banda GSM	0	-99	

Il bloccaggio dipende dalla **linearità** degli **stadi RF** e del **mixer**, ma se si considera di operare in condizioni di linearità esso dipende solamente dal **rumore dell'oscillatore locale**.

Quindi dalle specifiche di bloccaggio si ricavano i requisiti di purezza spettrale per l'LO.

Il procedimento è lo stesso a quello descritto nei paragrafi precedenti per gli aspetti di selettività sui canali adiacenti al canale del segnale utile, varia solamente il valore del Δf che è **maggiore della distanza di canale**.

$$A_{S_LO_dBc/Hz} = P_{i_RF_dBm} - P_{0_RF_dBm} + A_{i_dB} + 10\log(BW) \frac{dBc}{Hz}$$

$$PN(\Delta f_C) \frac{dBc}{Hz} = P_{i_RF_dBm} - P_{0_RF_dBm} + \left(\frac{C}{I} \right)_{dB} + 10\log(BW) \frac{dBc}{Hz}$$

Calcolare i requisiti di rumore di fase per un oscillatore locale da impiegarsi in un ricevitore supereterodina per un terminale mobile GSM.

Per i limiti di sistema si fa riferimento alla tabella che specifica i limiti del bloccaggio per un ricevitore GSM e si tiene conto che :

- la sensibilità di riferimento è -99 dBm,
- $C/I = 9$ dB,
- la banda $BW = 200$ kHz.

Si applica la relazione $PN(\Delta f_C)_{\frac{dBc}{Hz}} = P_{i_RF_dBm} - P_{0_RF_dBm} + \left(\frac{C}{I}\right)_{dB} + 10\log(BW)_{\frac{dBc}{Hz}}$

si calcola il rumore di fase richiesto nella banda $600kHz \geq \Delta f < 800kHz$
a cui corrisponde un livello di segnale interferente di -43 dB,

$$PN(\Delta f_C)_{\frac{dBc}{Hz}} = -43 - (-99) + 9 + 10\log(2 \cdot 10^5)$$

$$PN(\Delta f_C)_{\frac{dBc}{Hz}} = 118 dBm$$

Con lo stesso procedimento si calcola l'attenuazione del rumore nelle altre bande.