

SDR, questa sconosciuta

Alberto di Bene, I2PHD



SDR

QUANDO ?

COME ?

SDR

PERCHE' ?

DOVE ?

CHI ?

COSA ?



SDR

**L'ALBA DI UNA
NUOVA ERA
RADIANTISTICA**



Alberto, I2PHD

Quadrature Signals: Complex, But Not Complicated

by Richard Lyons

Introduction

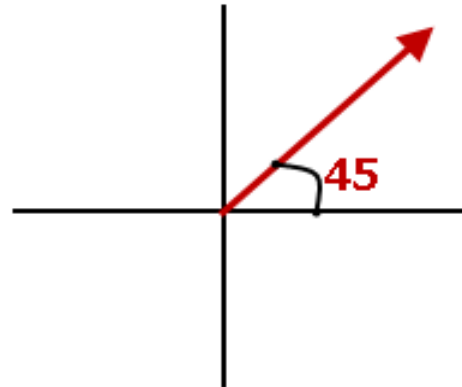
Quadrature signals are based on the notion of complex numbers and perhaps no other topic causes more heartache for newcomers to DSP than these numbers and their strange terminology of *j-operator*, *complex*, *imaginary*, *real*, and *orthogonal*. If you're a little unsure of the physical meaning of complex numbers and the $j = \sqrt{-1}$ operator, don't feel bad because you're in good company. Why even Karl Gauss, one of the world's greatest mathematicians, called the *j-operator* the "shadow of shadows". Here we'll shine some light on that shadow so you'll never have to call the Quadrature Psychic Hotline for help. I

Quadrature signal processing is used in many fields of science and engineering, and quadrature signals are necessary to describe the processing and implementation that takes place in modern digital communications systems. In this tutorial we'll review the fundamentals of complex numbers and get comfortable with how they're used to represent quadrature signals. Next we examine the notion of negative frequency as it relates to quadrature signal algebraic notation, and learn to speak the language of quadrature processing. In addition, we'll use three-dimensional time and frequency-domain plots to give some physical meaning to quadrature signals. This tutorial concludes with a brief look at how a quadrature signal can be generated by means of *quadrature-sampling*.

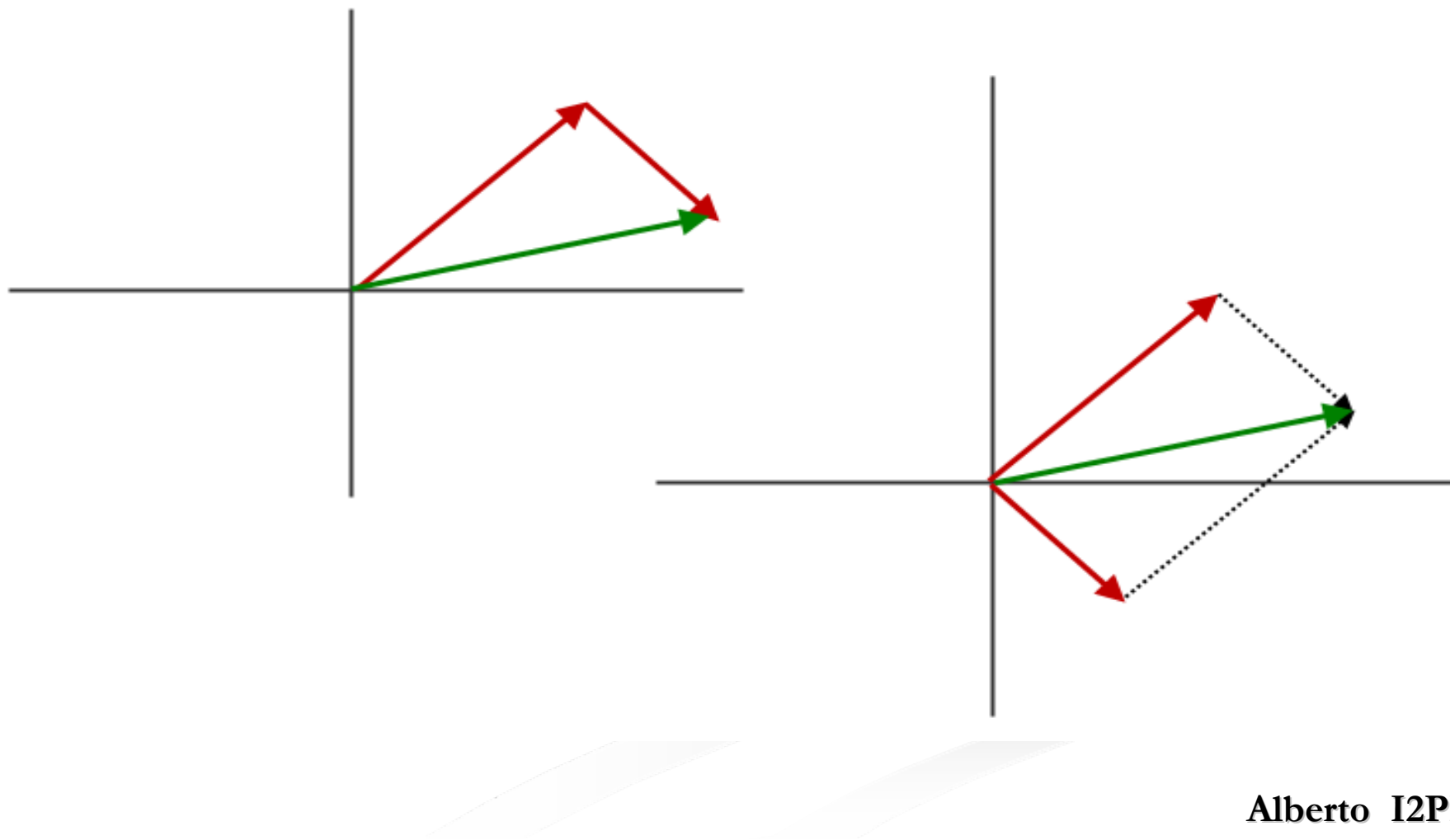
Scaricabile da : <http://www.sdradio.eu/doc/quadsignals.pdf>

**Quanto ho in tasca ? 20 Euro.
20 Euro e` una grandezza 'scalare'**

**Quanto ho camminato oggi ?
5 km, in direzione NE (45 gradi)
 $5 \angle 45^\circ$
e` una grandezza vettoriale**

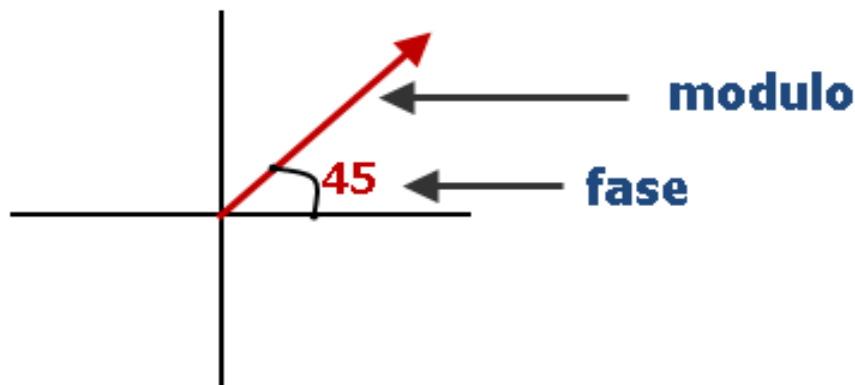


Se durante il cammino cambio direzione, il punto finale sarà calcolato dalla composizione dei vettori, che si può fare in modi diversi ma equivalenti



Un vettore e` caratterizzato dal 'modulo', ovvero dal suo valore assoluto, la sua lunghezza, ed inoltre dall'angolo che forma con l'asse orizzontale. Questo angolo, in caso di segnali elettrici, e` chiamato 'fase'

Quindi, quando si vuol dare risalto a questa ultima caratteristica, il vettore viene spesso chiamato 'fasore'

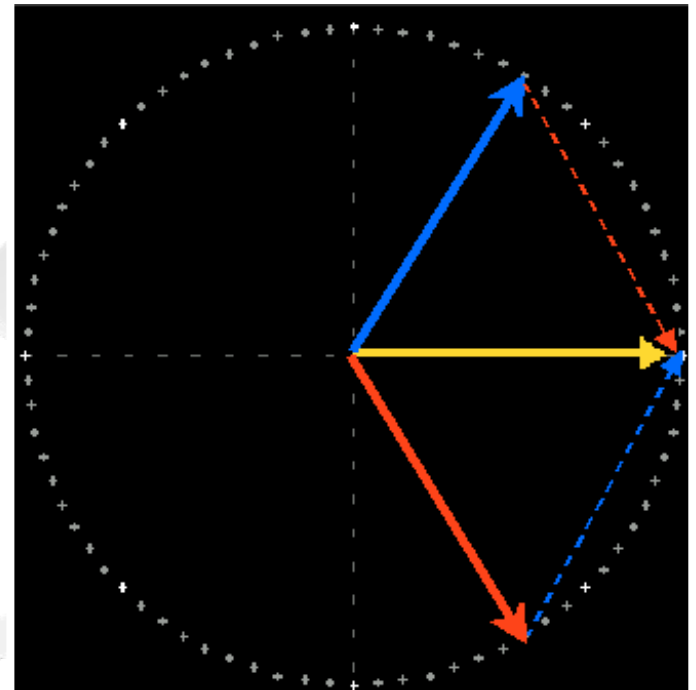
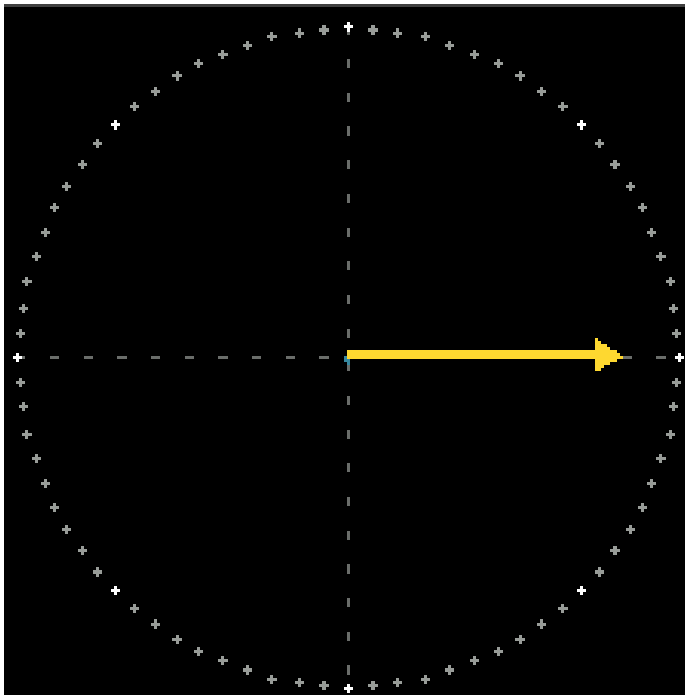


I fasori nel piano complesso

**Un nuovo modo illuminante di
rappresentare la realta` di un
segnale elettrico**

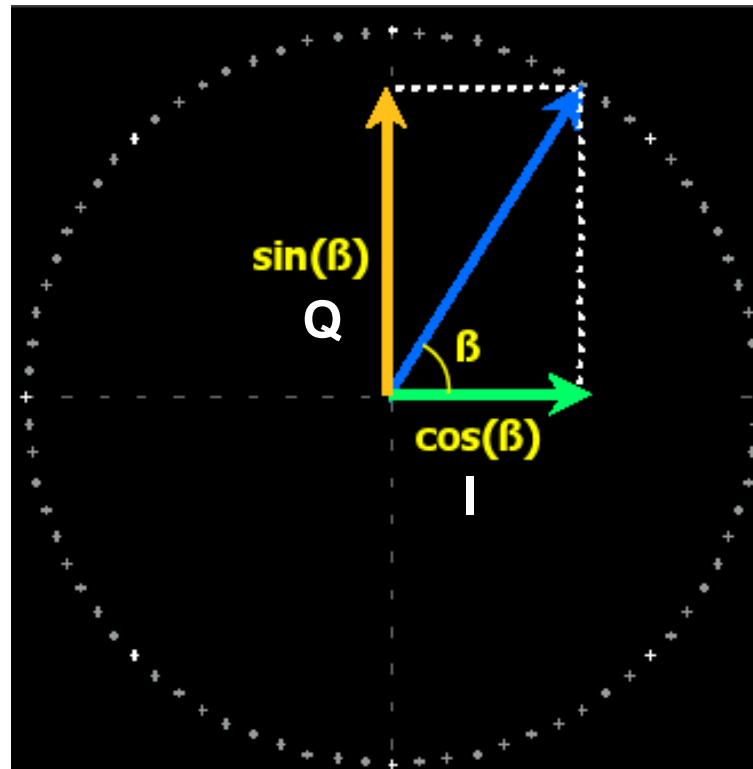
[Animazione](#)

Un segnale reale e' la somma di due segnali complessi, l'uno coniugato dell'altro



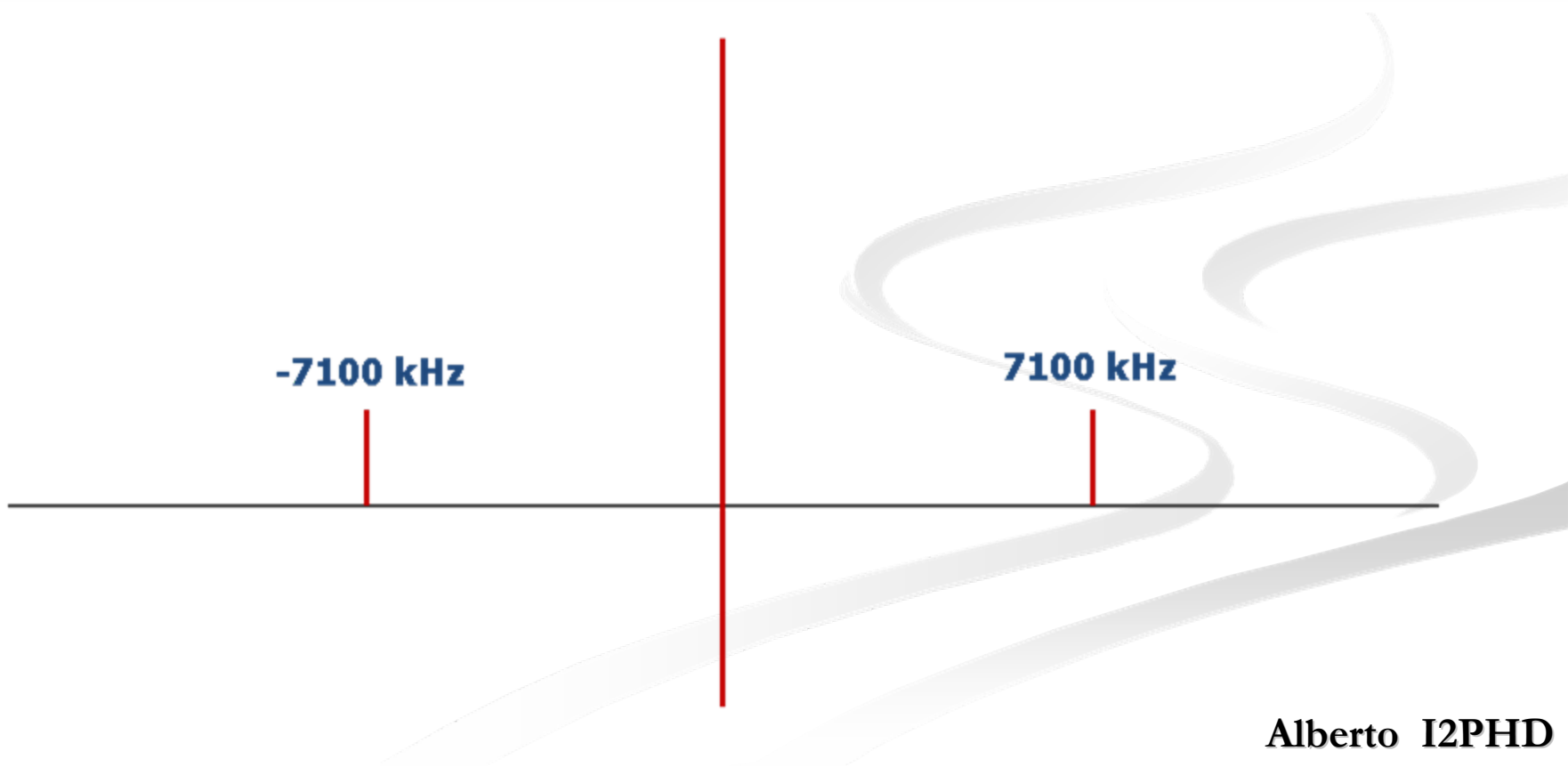
Ognuno dei due fasori puo' essere descritto da due componenti, chiamate I e Q, e in notazione complessa, il segnale, grazie ad Eulero, e` dato da

$$e^{j\phi} = \cos(\phi) + j\sin(\phi)$$

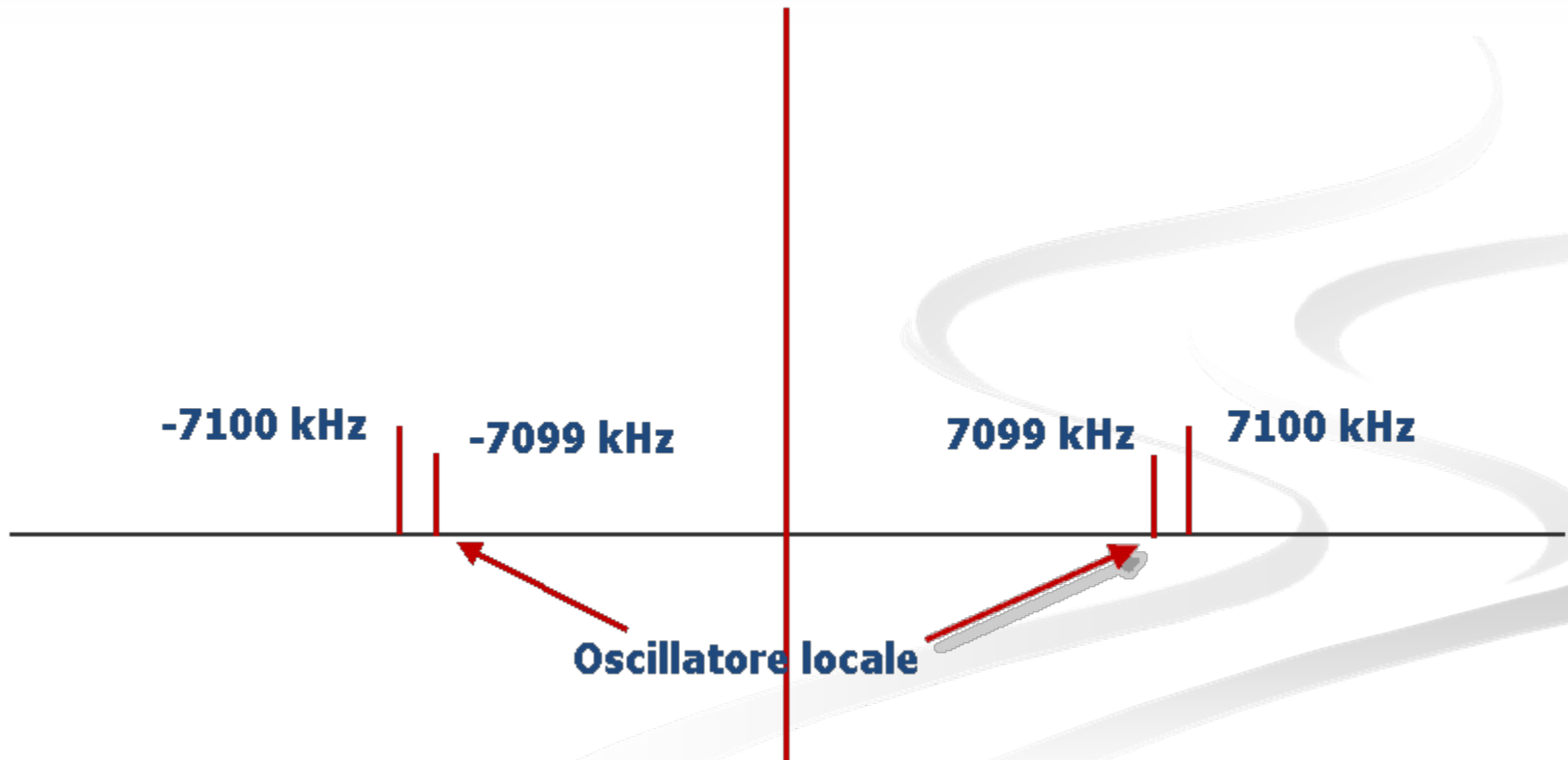


**Se ho un segnale diciamo a 7100 kHz, questo e`
inevitabilmente accompagnato dalla sua immagine
specchiata nel campo negativo delle frequenze, nel modello
matematico che abbiamo visto prima.**

La domanda "Ma in realta` le ho queste frequenze negative oppure no ?" e` una domanda che, epistemologicamente parlando, non ha neppure senso porsi....



In questo nuovo modo di vedere le cose, cosa succede quando faccio una conversione, usando un mixer e un LO, in un ricevitore a conversione diretta ?



Succede che, poiche` i segnali sono descritti da fasori ruotanti, e visto che il mixer altro non e` che un moltiplicatore, quello che ottengo e` la somma delle frequenze combinate due a due...

Quindi, se S_p e` la parte positiva del segnale, S_n quella negativa, L_p la parte positiva dell'oscillatore locale, ed infine L_n , la sua parte negativa, avro` che, $2 \cdot n \cdot t$ a parte, :

$$S_n * L_n = \exp((-7100) + (-7099)) = \exp(-14199)$$

$$S_n * L_p = \exp((-7100) + (+7099)) = \exp(-1)$$

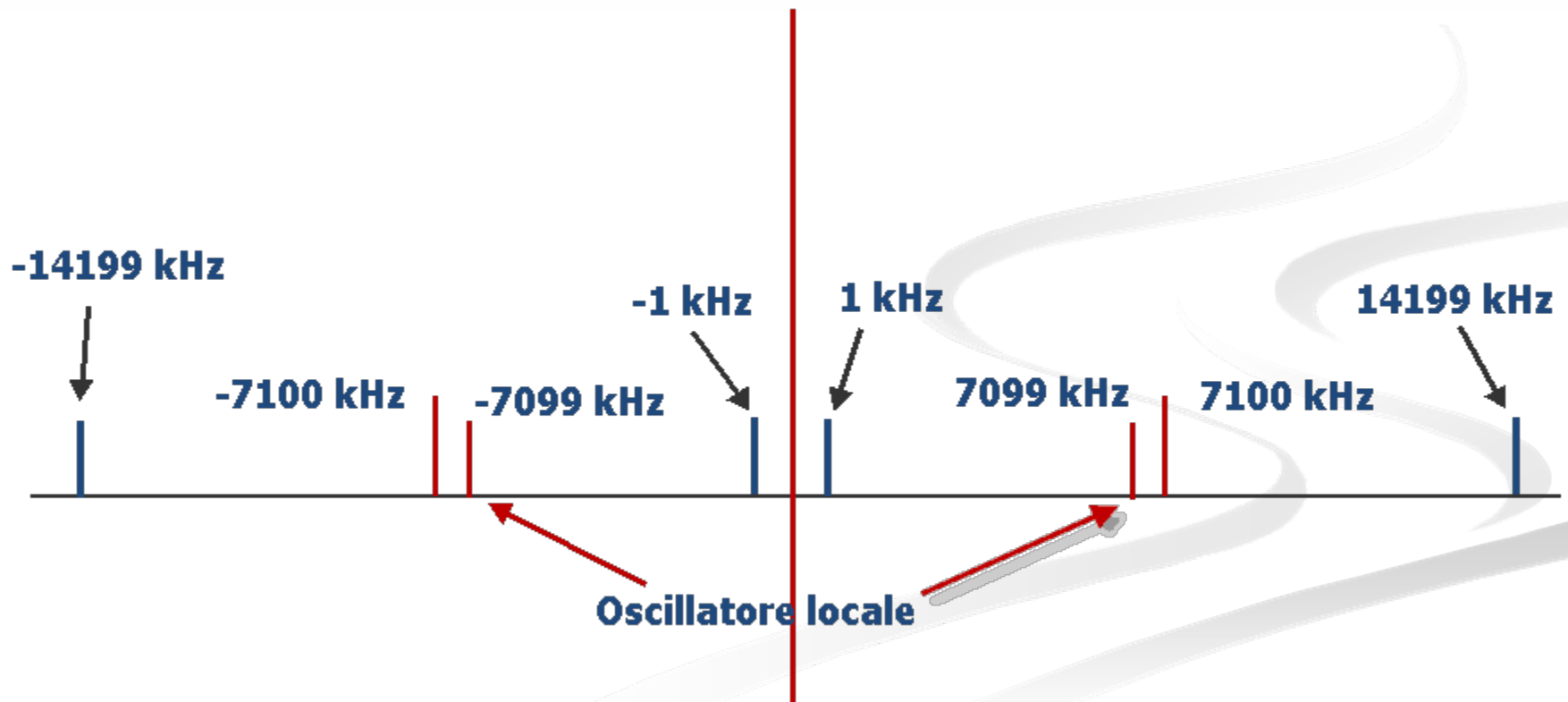
$$S_p * L_n = \exp((+7100) + (-7099)) = \exp(+1)$$

$$S_p * L_p = \exp((+7100) + (+7099)) = \exp(+14199)$$

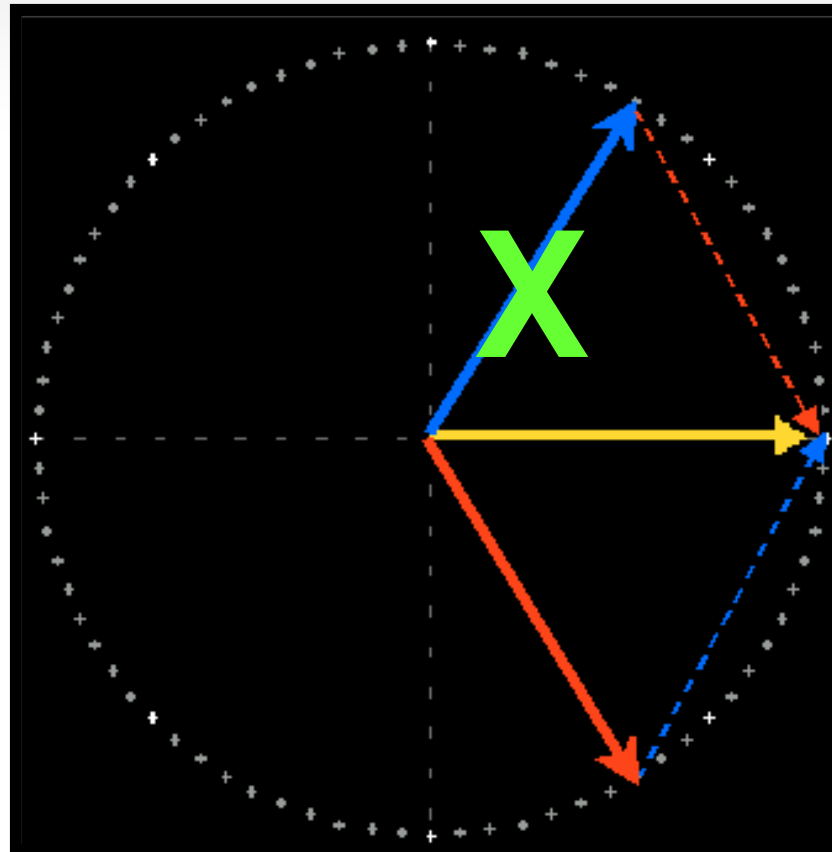
Che, graficamente, corrisponde a questa situazione :

In pratica ho ottenuto un segnale a 14199 kHz (somma) e un segnale a 1 kHz (differenza), ciascuno composto dalle sue due parti, positiva e negativa.

Quindi, inevitabilmente, un mixer tradizionale produrrà sempre, come abbiamo sempre saputo, la somma e la differenza dei due segnali che gli vengono applicati.



**Se potessi eliminare ad esempio la componente
positiva nel tempo dell'oscillatore locale, avrei
solo vantaggi...**



E quali sono questi vantaggi ?

Supponiamo che ci sia anche un altro segnale a 7098 kHz

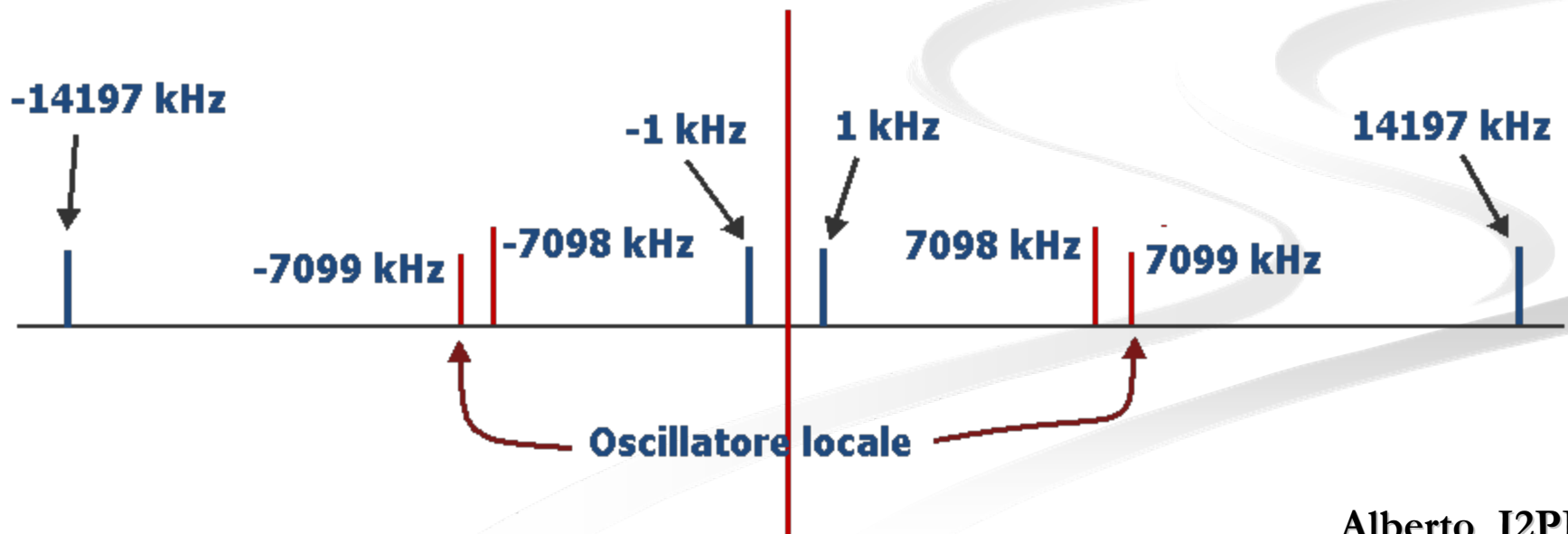
Rifacendo i conti di prima anche per questo :

$$S_n * L_n = \exp((-7098) + (-7099)) = \exp(-14197)$$

$$S_n * L_p = \exp((-7098) + (+7099)) = \exp(+1)$$

$$S_p * L_n = \exp((+7098) + (-7099)) = \exp(-1)$$

$$S_p * L_p = \exp((+7098) + (+7099)) = \exp(+14197)$$

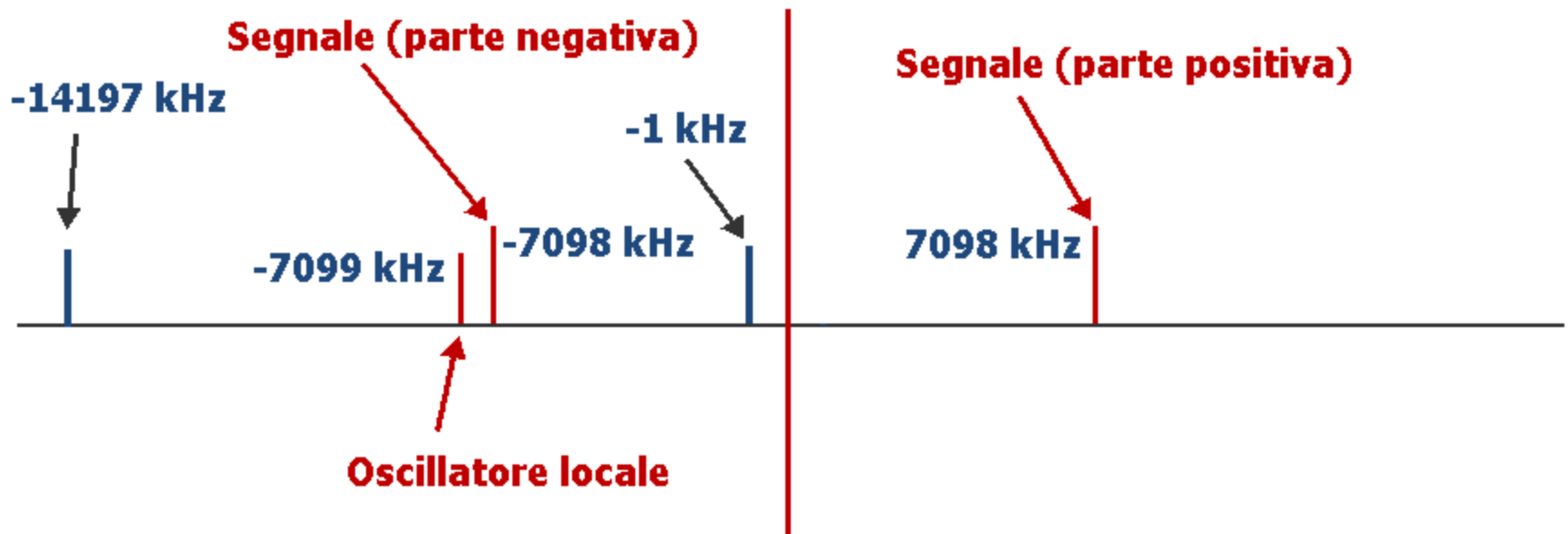


Quindi il risultato finale e` che entrambi i segnali, sia quello a 7100 kHz che quello a 7098 kHz, producono un segnale finale, dopo il miscelamento con l'oscillatore locale, alla frequenza di 1 kHz...

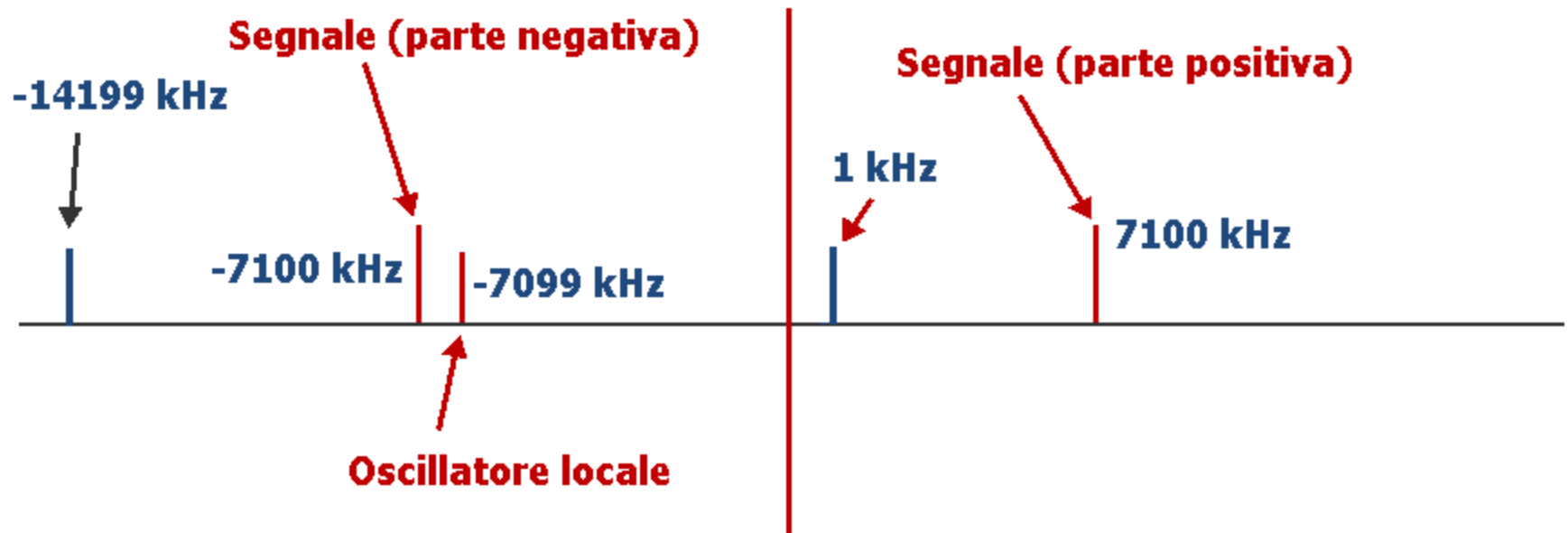
Ormai sono inesorabilmente sovrapposti uno all'altro, non c'e` forza su questa terra che li possa piu` separare...

Ma che succederebbe se io diventassi furbo, ed eliminassi uno dei due fasori controrotanti dell'oscillatore locale, ad esempio quello positivo ???

Succederebbe quello che segue per il segnale in arrivo a 7098 kHz

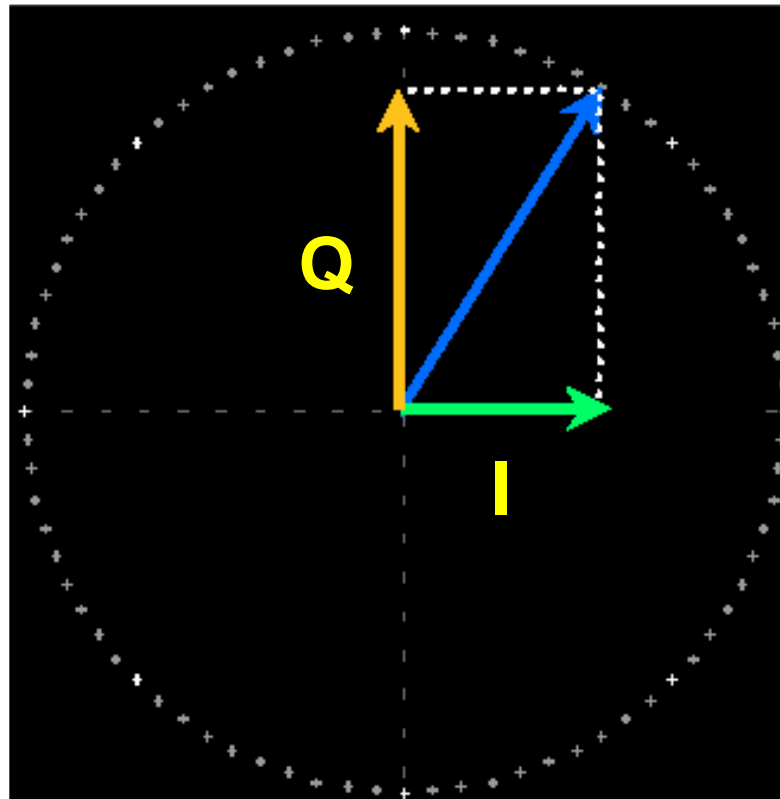


Ed invece succedrebbe questo per il segnale in arrivo a 7100 kHz...
Quindi i due segnali in arrivo, uno a 7098 e l'altro a 7100 kHz sono stati portati entrambi ad una frequenza finale di 1 kHz, pero` con segno opposto, uno a -1 kHz e l'altro a +1 kHz.
Separarli poi con il software e` un gioco da ragazzi...



Il fasore che rimane puo' (deve...)essere descritto da due componenti, chiamate I e Q.

Ecco perche` in un ricevitore SDR a conversione diretta (omodina, Near Zero IF...) l'oscillatore locale ha due componenti a 90 gradi.



Software-Defined Radio

Cosa vuol dire SDR ?

- Detto in due parole, significa trasformare il segnale ricevuto in numeri, e fare poi ogni elaborazione su di esso mediante operazioni matematiche su quei numeri.

Software-Defined Radio

E perche' mai ???

- **Flessibilita'** – non occorre piu' usare il saldatore per cambiare il funzionamento della radio, basta cambiare il software.
- **Economicita'** – il software non costa nulla (almeno finche' c'e' qualcuno che lo scrive gratis...)
- **Prestazioni** – Nessun filtro hardware puo' stare alla pari con un buon filtro software. E lo stesso si puo' dire per i demodulatori SSB, AM, FM, etc.

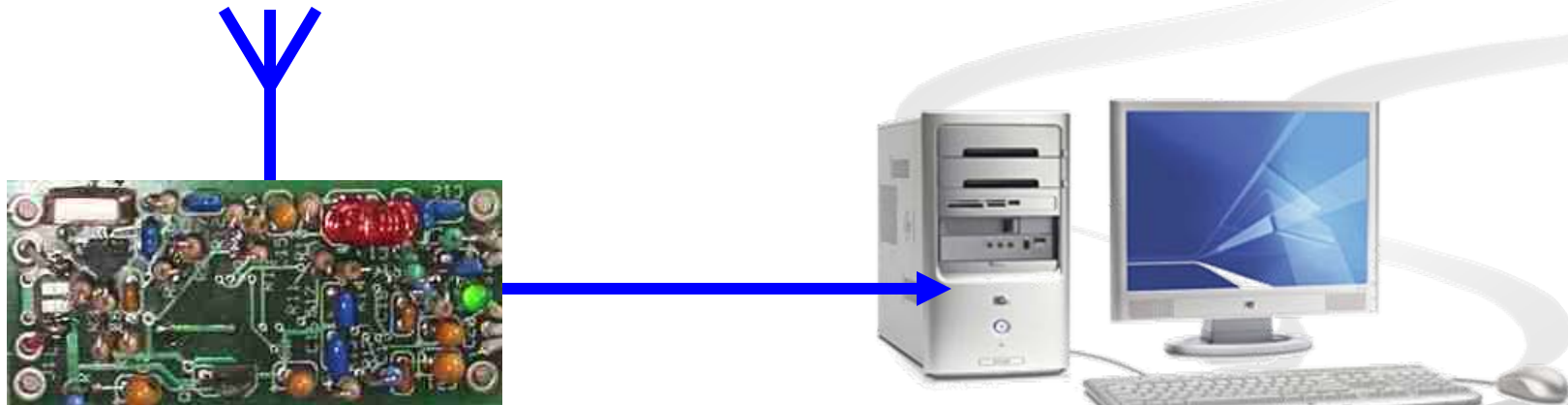
Software-Defined Radio

E perche' mai ???

- **Ripetibilita'** – Nessuna dipendenza da tolleranze di componenti o dal loro invecchiamento nel tempo.
- **Nuove funzioni** – Possibilita' di display dello spettro, waterfall, registrazione di una fetta di banda larga anche alcuni MHz, per poi riascoltare con comodo le stazioni presenti (es. DX, Contest, etc.)
- **Disponibilita' dei componenti**– E' sempre piu' difficile trovare componenti in quantita' hobbistiche, a buon prezzo e non SMT...

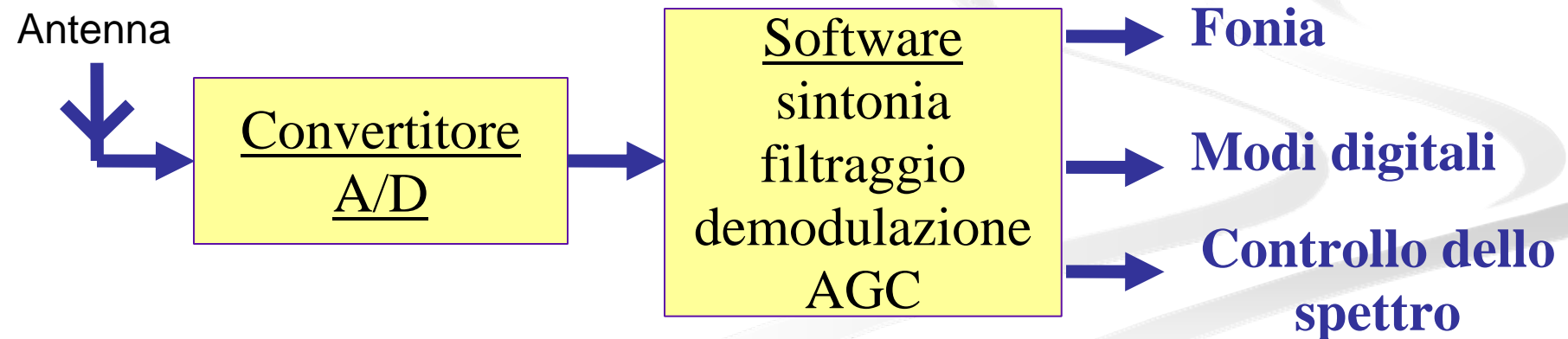
Software-Defined Radio

- Massima semplicita' nell'hardware
- Sofisticata elaborazione nel software



Ricevitore SDR

- Il ricevitore SDR è quello in cui il TRATTAMENTO DEL SEGNALE viene realizzato dal SOFTWARE
- Non sono SDR i vari ricevitori controllati dal computer in cui la demodulazione è fatta in HW
- Il ricevitore SDR ideale:

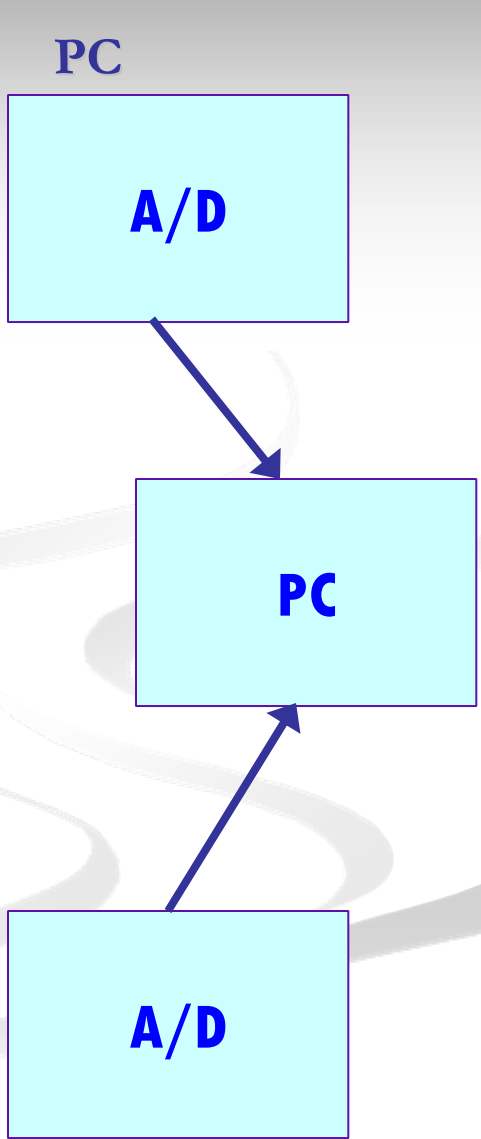
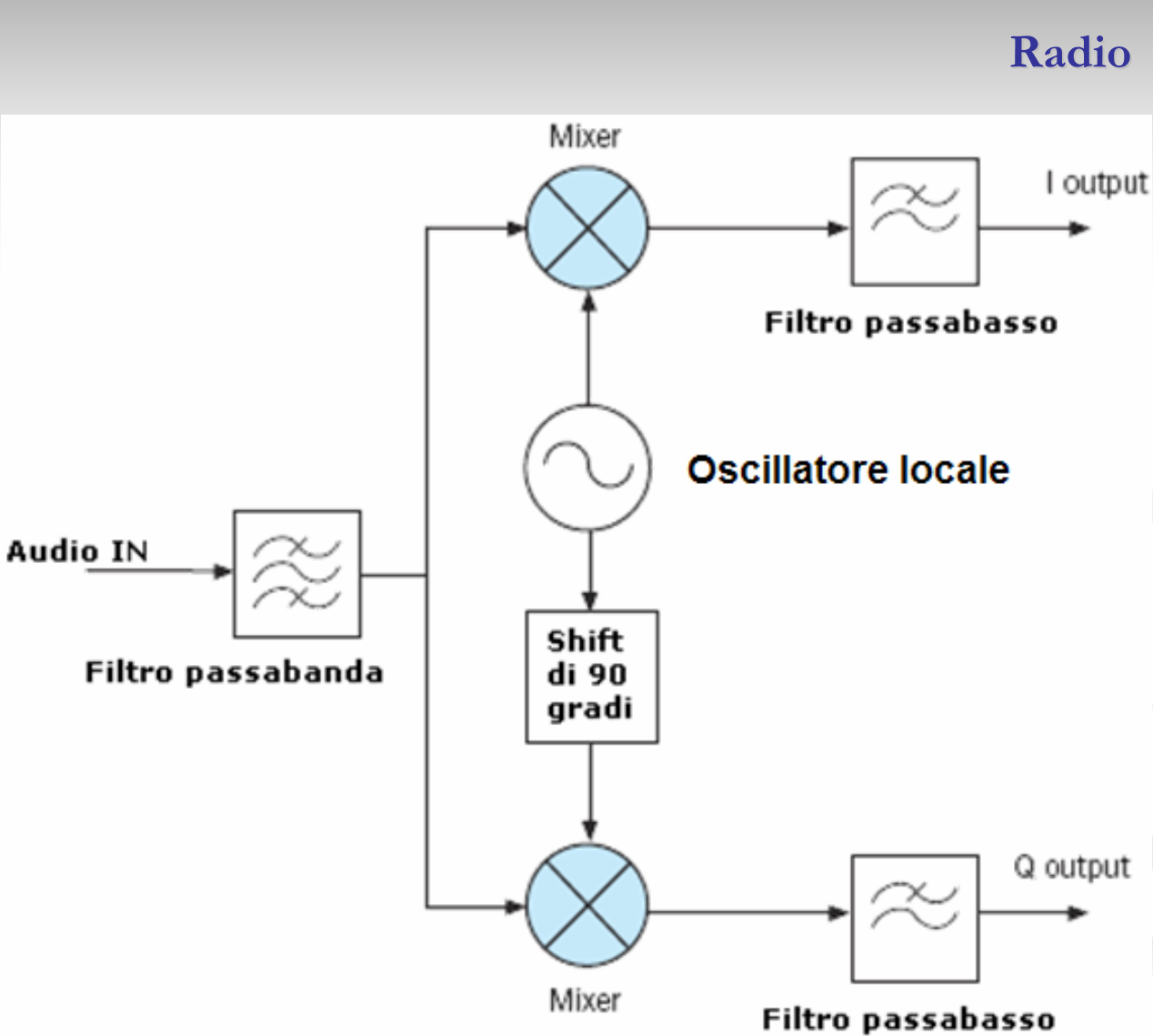


Ricevitore SDR

Pero' la soluzione “ADC sotto l'antenna”, per quanto attraente, e' costosa ed ha alcune complicazioni tecniche, per quanto risolvibili.

Si e' allora sviluppata una seconda, parallela, scuola di pensiero, che trova delle validissime implementazioni. La versione moderna della “omodina”, ovvero il ricevitore a conversione diretta

Ricevitore SDR "NZIF" (Near Zero IF) – evoluzione del ricevitore a conversione diretta



SoftRock hardware

- Disponibile come kit da Tony KB9YIG
- Solo Rx, oppure RxTx



Ricevitore, 12 dollari...

SoftRock hardware

- Disponibile come kit da Tony KB9YIG
- Solo Rx, oppure RxTx



**Rx-Tx bibanda per 35 dollari
(pari a circa 26 Euro...)**

Flex-5000 hardware

 **FlexRadio Systems**
Software Defined Radios

www.flex-radio.com

FLEX-5000A™

Il nuovo ricetrasmittitore HF&6M ad alte prestazioni in tecnologia SDR che non ha confronto con altri apparati. Più di 100dB di gamma dinamica con solo 2Khz di spaziatura dei toni interferenti !

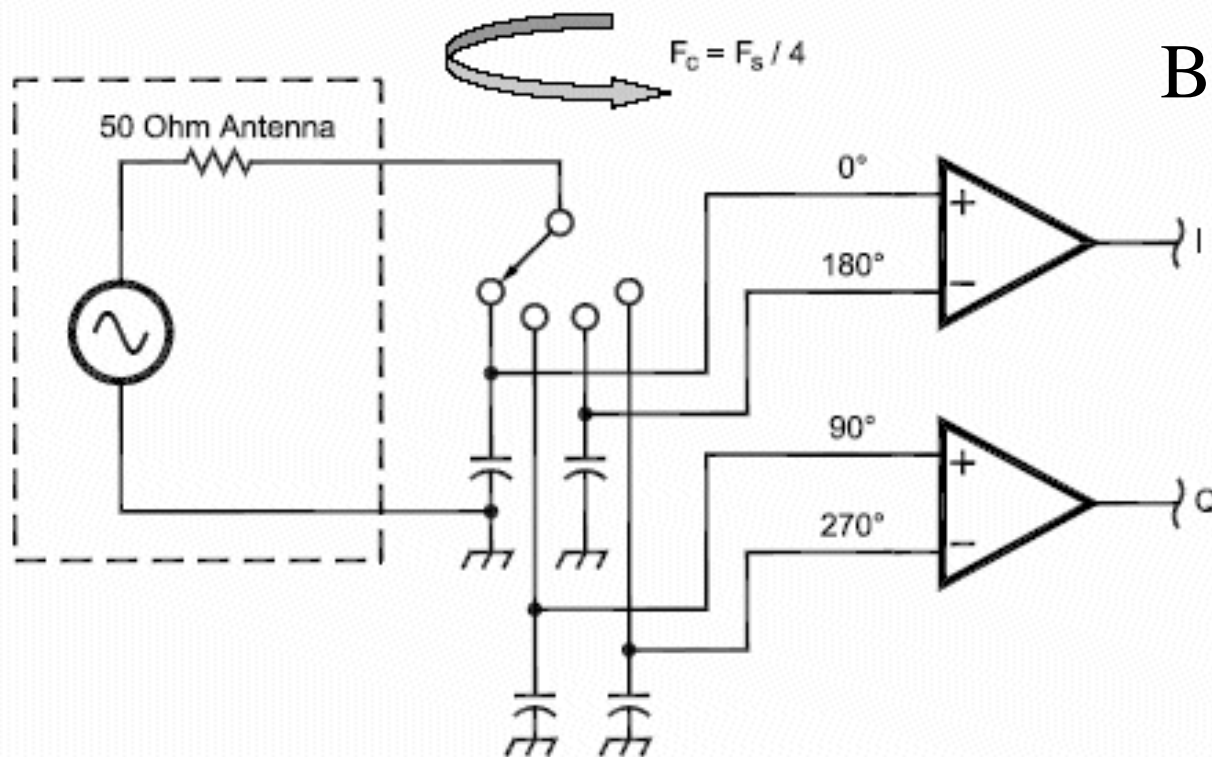


Ricetrasmittitore, 2800 Euro...

Alberto I2PHD

Ricapitolando...

Il ricevitore a conversione diretta, o "zero IF", si basa su un doppio mixer in quadratura di fase. Spesso e' usato il cosiddetto "mixer di Tayloe" o QSD.



$$BW = \frac{1}{\pi n R_{ant} C_s}$$

La seconda scuola : il campionamento diretto RF

Sembra essere la scuola vincente, vista la pressoché totale indipendenza dalle tolleranze dei componenti analogici, e la sua maggiore flessibilità'.

I costi sono destinati a scendere, ma certo sarà difficile vedere un equivalente del Softrock che usi questa tecnologia.

Un chip ADC adatto per questi scopi può costare dai 30 ai 150 USD. Poi va considerato il costo della FPGA e del controllore USB...

Il campionamento diretto RF

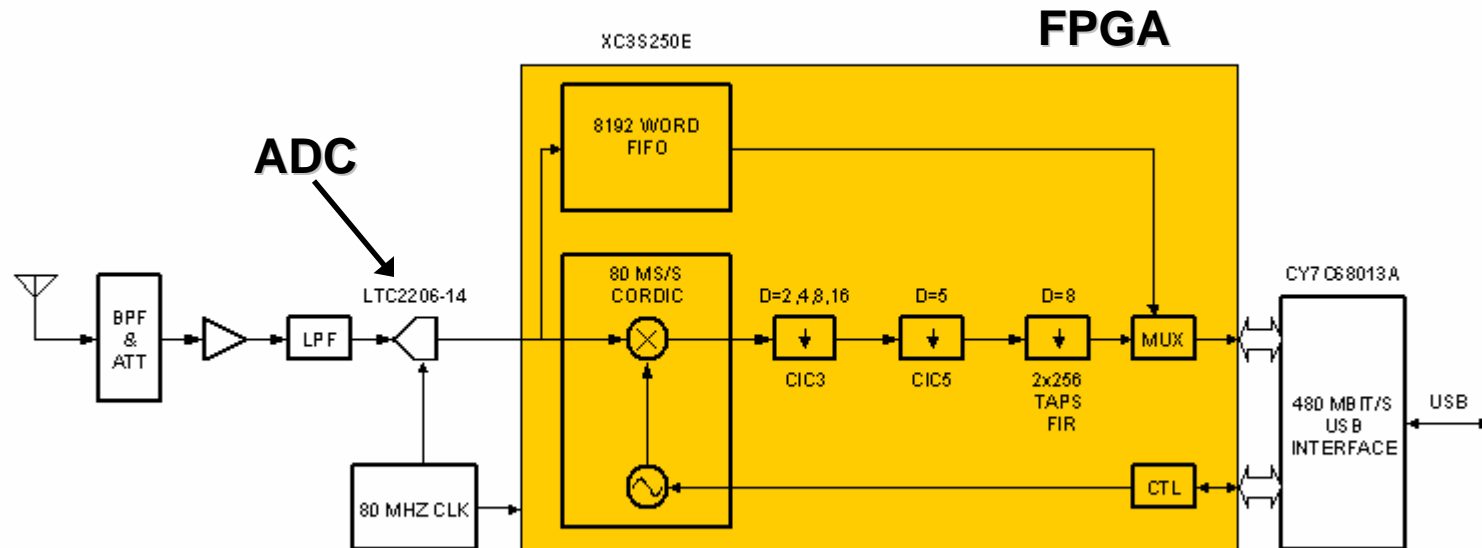
I principali rappresentanti di questa scuola, capaci di coprire tutte le HF, sono ad oggi, Giugno 2010 :

- xxxxxxx che verra' presentato a Friedrichshafen 2010
- Perseus, prodotto dalla Microtelecom di IV3NWV
- SDR-14, SDR-IQ e SDR-IP prodotti dalla RFspace
- QS1r prodotto dalla SRL-LLC di Phil Covington N8VB
- Schede Mercury e Hermes del progetto HPSSDR

Il campionamento diretto RF

Naturalmente non e' pensabile di portare un segnale campionato a 80 MHz direttamente nel PC. Occorre fare una decimazione con una FPGA, con relativi filtri anti-alias. Il segnale ricampionato (100 kHz – 2 MHz) viene portato nel PC tramite la porta USB in High Speed Mode

Schema a blocchi del Perseus



Il campionamento diretto RF

Ma bastano i 14 bit di un LTC2206 ?

Ebbene, si', bastano grazie al 'processing gain', cioè al fatto che facendo una decimazione l'informazione resta inalterata, mentre il rumore viene abbattuto di un fattore pari al rapporto tra le frequenze di campionamento.



Esempio :

$N = 14$ bit (LTC2206)

$F_s = 80$ MHz $F_d = 100$ kHz

SNR = 115 dB

In soldoni :

$$\text{SNR} = (6.02N + 1.76) + 10 \cdot \log_{10}(F_s/F_d) \text{ dB}$$

dove F_s è la frequenza iniziale di campionamento e F_d quella dopo la decimazione. N è il numero di bit dell'ADC

Rohde&Schwarz EM510 – 30k€ !

Usa lo stesso ADC della Analog Devices da 14 bit dell'SDR-14 !



HF Digital Wideband Receiver R&S® EM510

Effiziente und vielseitige Lösung für die Funkerfassung

Version
01.00

Dezember
2006

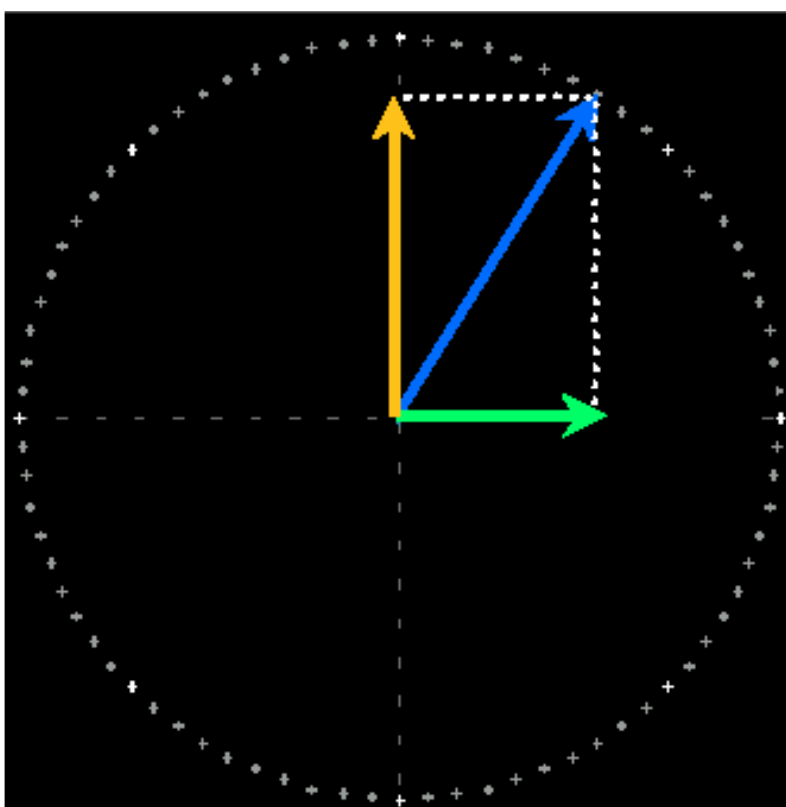
Entra sua maestà'

IL SOFTWARE

(altrimenti che SDR sarebbe... ?)



Il demodulatore AM



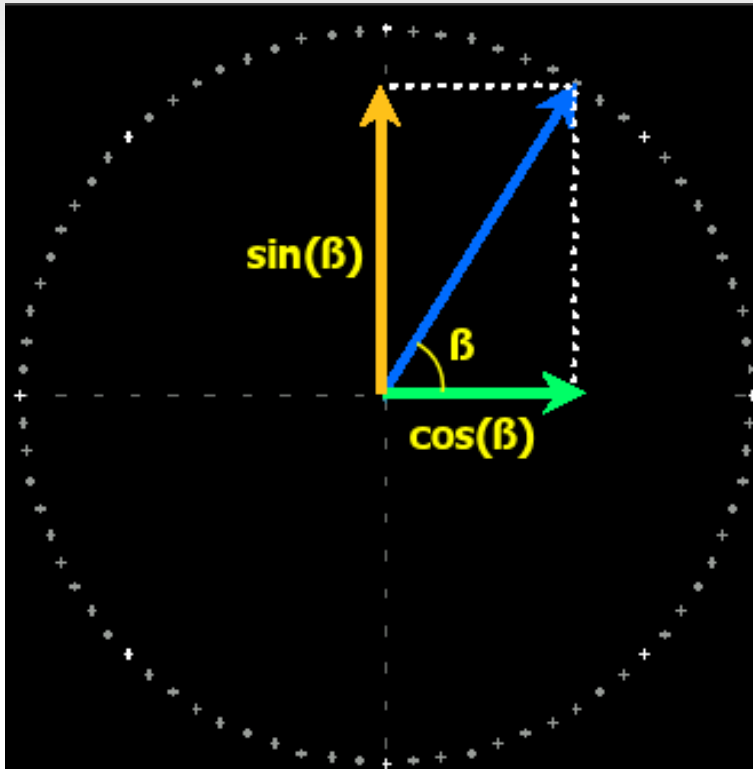
La modulazione di ampiezza altro non e' che la variazione istantanea del modulo del vettore descritto dalle due componenti I e Q

Quindi basta applicare il Teorema di Pitagora...

$$A = (I^2 + Q^2)^{0.5}$$

(e poi magari mettere un bel passa-alto per eliminare la DC...)

Il demodulatore FM



La modulazione di frequenza altro non è che la variazione istantanea della velocità di incremento dell'anomalia del vettore descritto dalle due componenti I e Q

Quindi basta applicare una formuletta trigonometrica

$$\beta = \arctan(Q/I)$$

E poi differenziare rispetto al tempo, per passare dalla fase alla frequenza (e poi anche qui serve un passa-alto)

Il demodulatore SSB

La SSB altro non e' che banda fonica traslata nello spettro, quindi basta rimetterla al suo posto. Pero', come tutti i segnali pertinenti alla fisica e non all'astrazione matematica, e' un segnale reale, con parte immaginaria nulla.

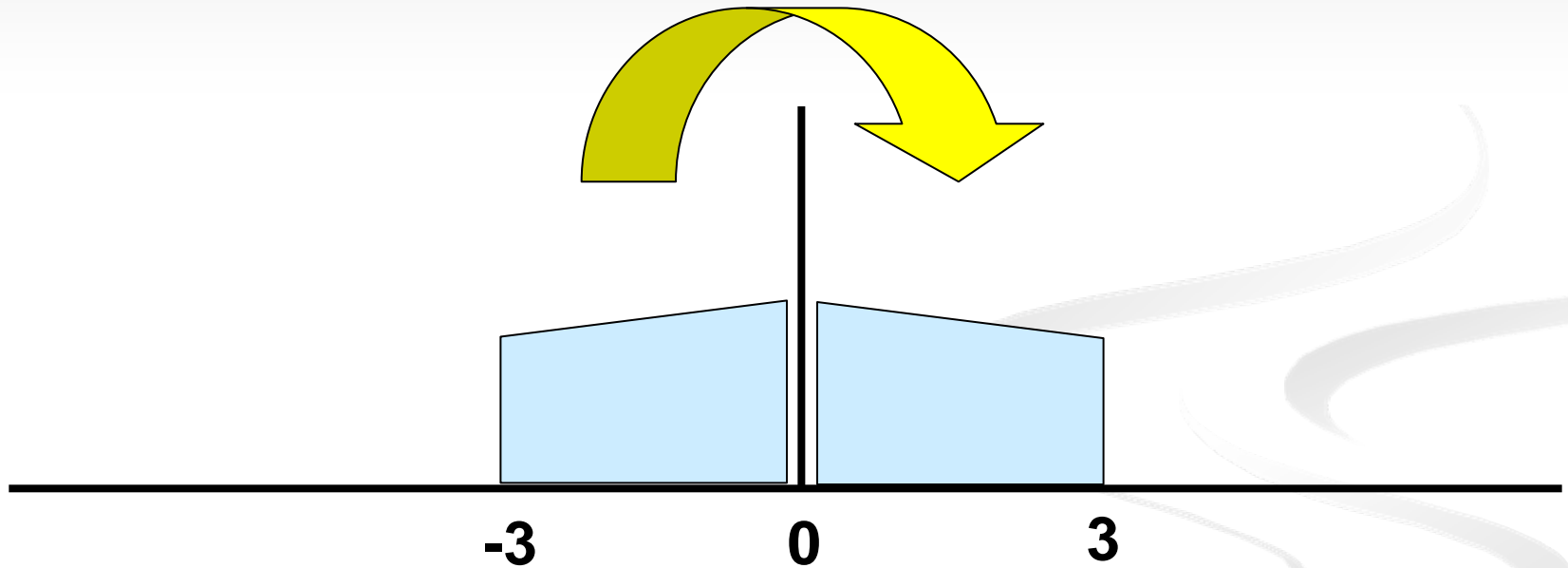
Quindi bisogna ritrasformare il segnale da analitico (I e Q) a segnale reale

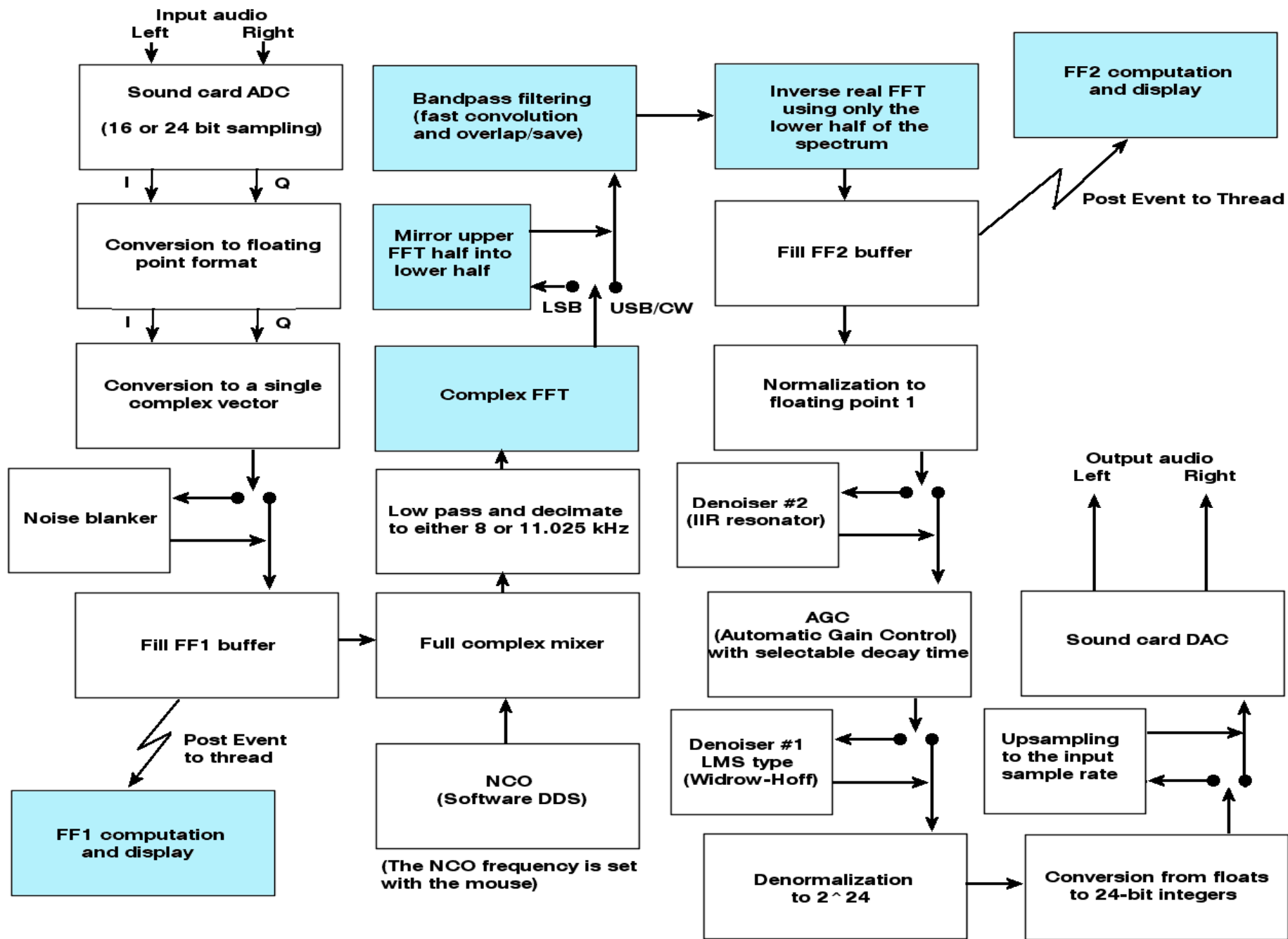
Il demodulatore SSB

Si possono usare due metodi :

- **Operando nel dominio del tempo**,
ovvero un filtro FIR accoppiato a un trasformatore di Hilbert (in analogia a quello che si faceva ai tempi dell'hardware...)
- **Operando nel dominio della frequenza**,
ovvero lo specchiamento coniugato in frequenza, seguito da una IFT

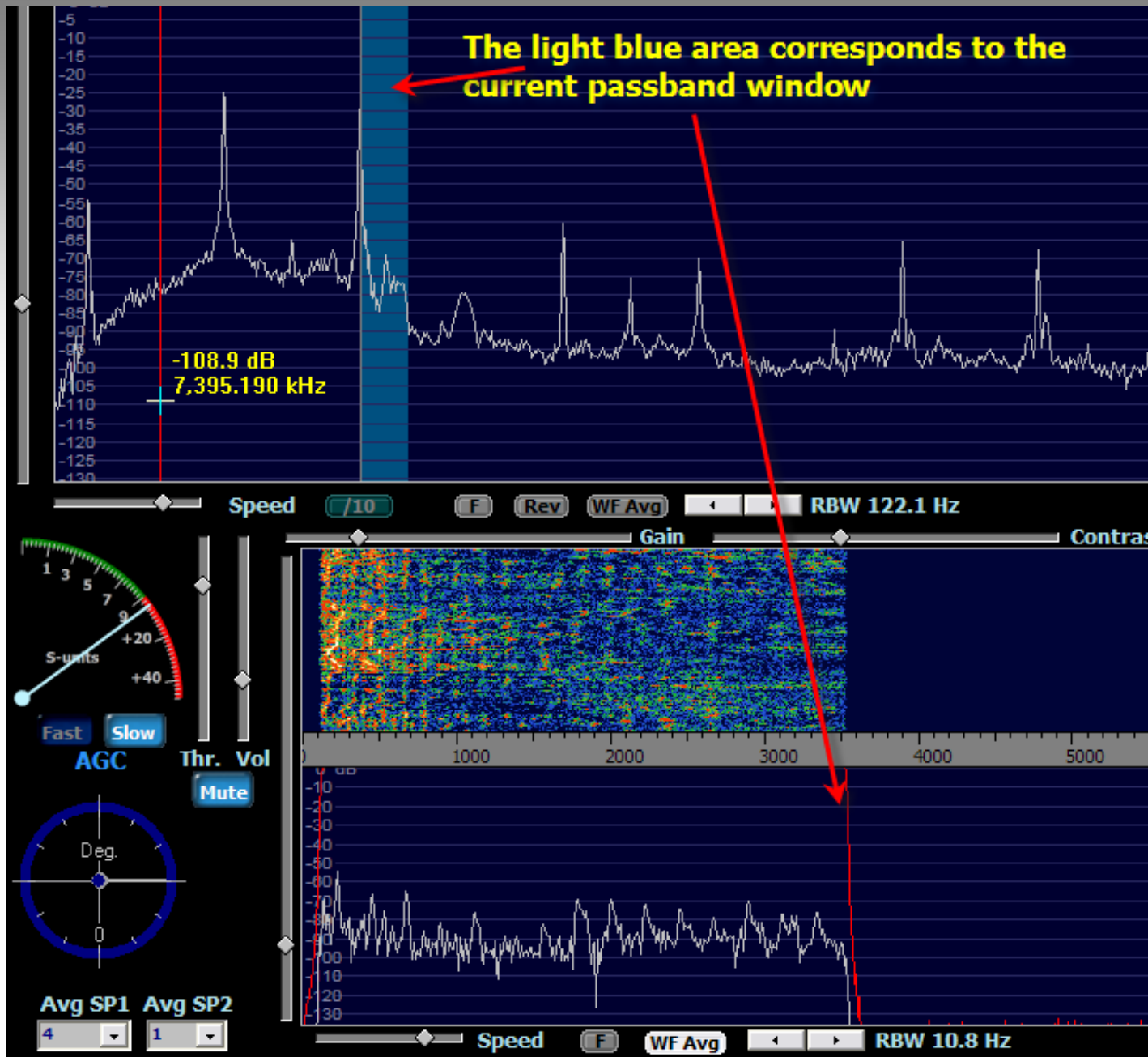
Il demodulatore SSB





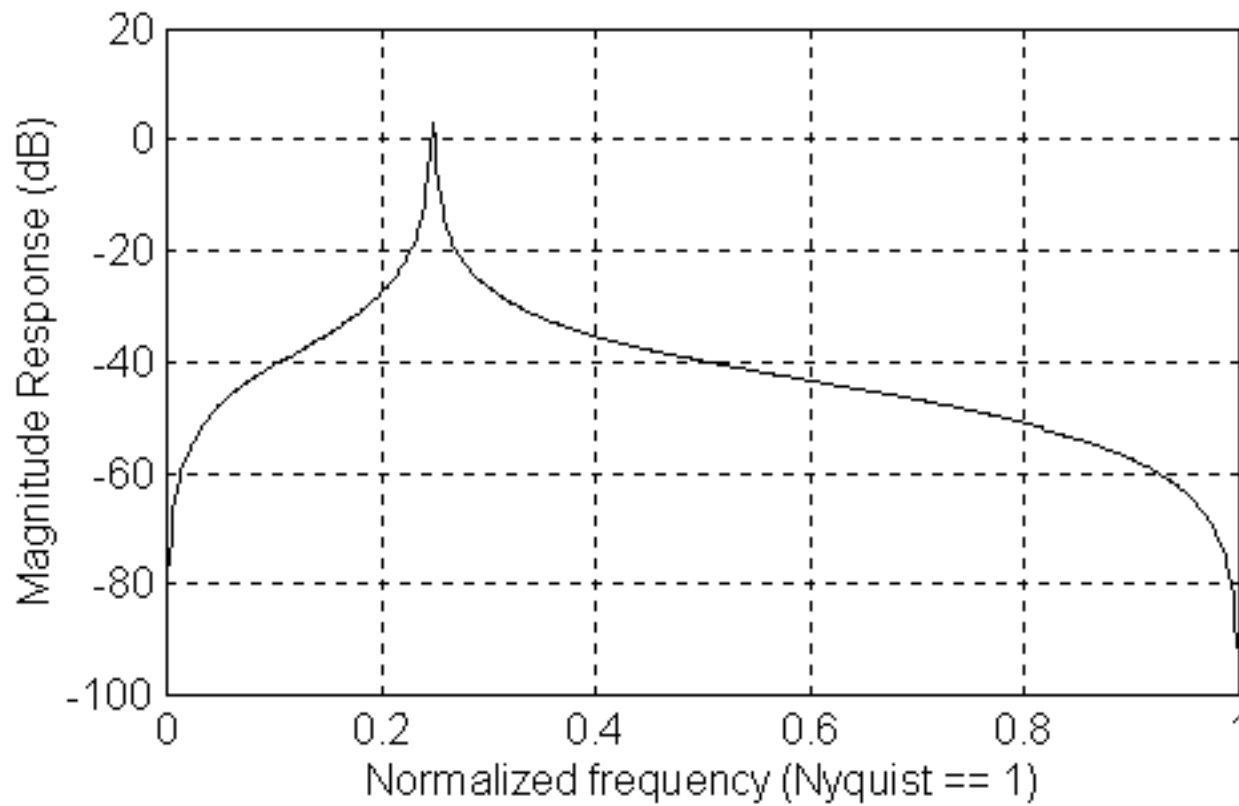
Blocks with cyan background operate in the frequency domain

Alberto I2PHD



W
I
N
R
A
D

CW Peak filter in Winrad



Grazie per l'attenzione

Il software Winrad puo' essere
scaricato da :

<http://www.weaksignals.com>



SDR

Quando la 'R' diventa una 'T'

Un eccitatore SSB completamente digitale

Alberto I2PHD



SDR – Software Defined Radio oppure....

SDR – Software Defined Receiver ?

**Spesso, anche inconsciamente, si intende la
seconda definizione...**

Ma, con le tecniche SDR, basate sul software, è possibile realizzare un trasmettitore completamente digitale, dove il segnale viene immediatamente digitalizzato e poi usato per generare una trasmissione SSB, con conversione digitale alla frequenza finale.

In pratica, una

Digital
Up
Conversion

D U C k - Donald Duck, Paperino....



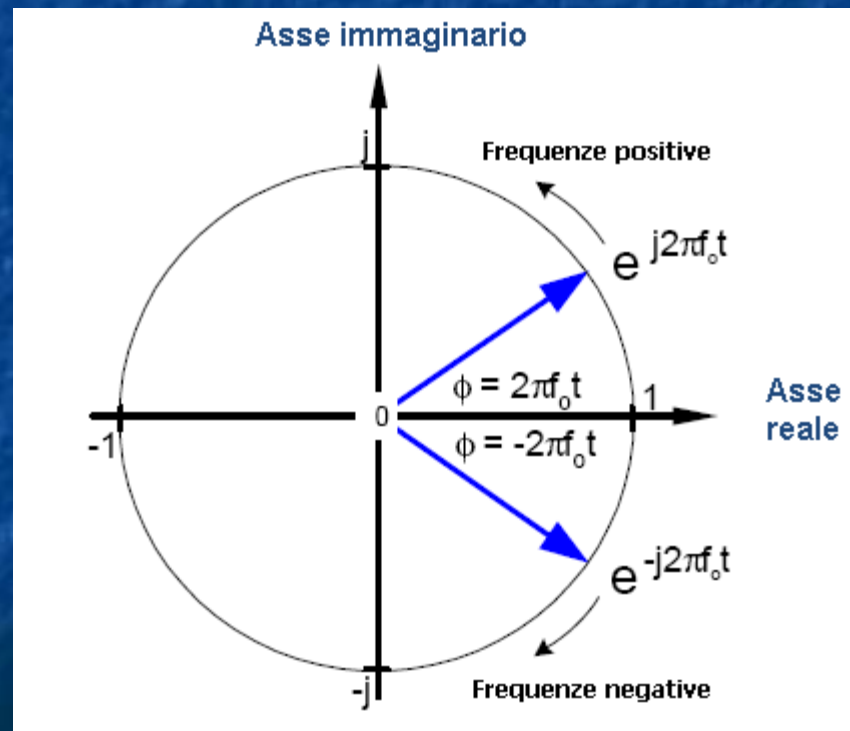
In pratica, cosa devo fare per trasmettere un segnale SSB ?

La "modulazione" SSB in realtà è una traslazione del segnale dalla banda

Poco... e` sufficiente che trasli il segnale audio alla frequenza finale di trasmissione...



Peccato che abbiamo fatto i conti senza l'oste... dove, in questo caso, l'oste sono le frequenze negative....



Se coinvolgiamo anche l'oste nei nostri conti, vediamo che la realtà è questa :



Peccato che ora compaia anche la LSB, che non vogliamo...

**Come fare per toglierla ? Ovviamente
usando solo strumenti software...**

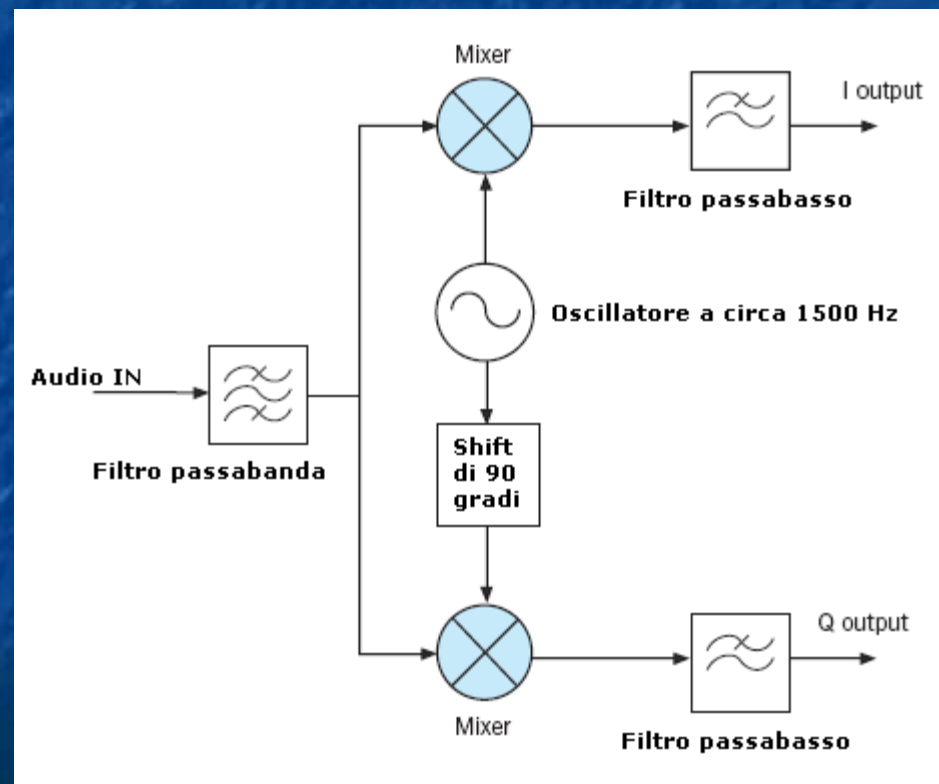


Filtro a quarzo ? Ma scherziamo ? Non è mica software...

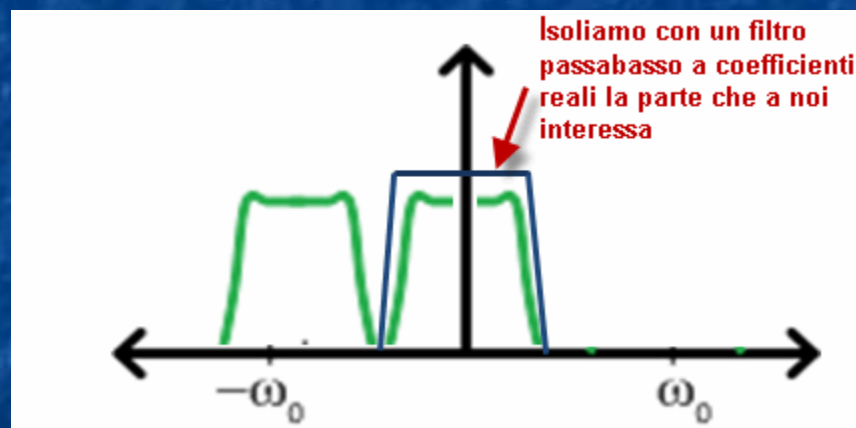
Metodo a sfasamento ? Forse.... Ma ci trasciniamo dietro la LSB per poi cancellarla alla fine...

Ma... aspetta un po'... non c'era quel famoso terzo metodo... come si chiamava ? Ah, si, Weaver...

Si centra la USB sull'asse zero delle frequenze con un mixer in quadratura per non avere risposte immagine...

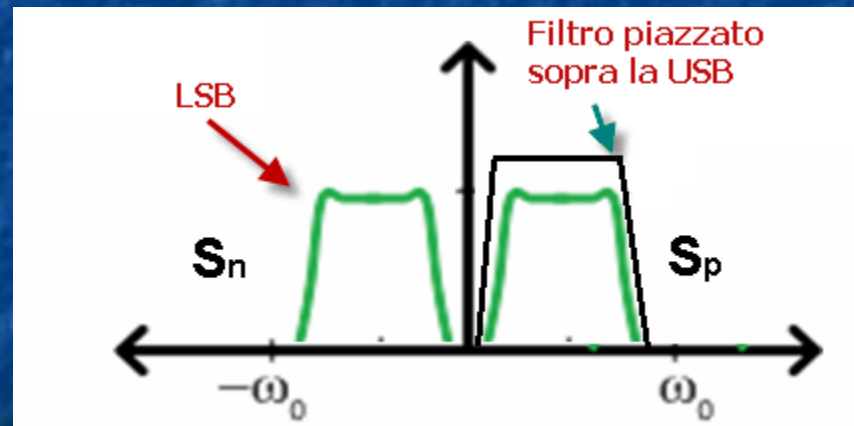


... e poi si taglia via la LSB con un filtro passabasso reale, che visto nel campo complesso è in realtà un passabanda...



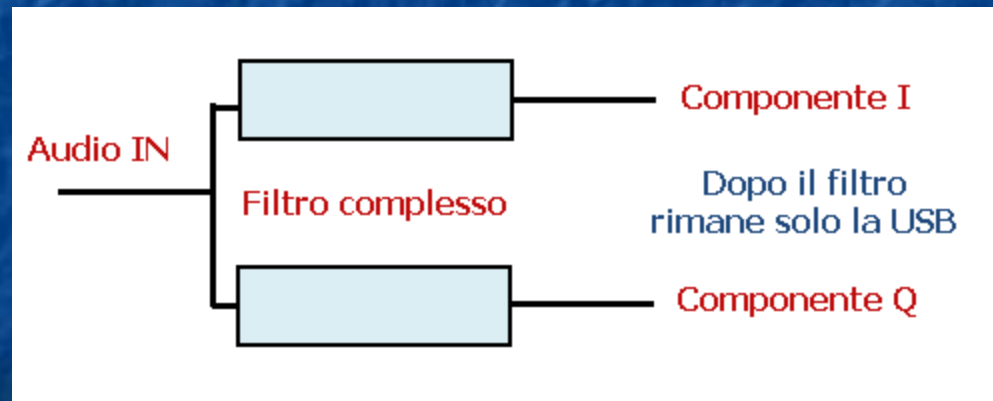
Niente male, ma dobbiamo proprio fare due moltiplicazioni per ogni campione in arrivo ?

E se invece di spostare il segnale, spostassimo il filtro ?



L'idea mi piace di più... si risparmia poco, ma sempre si risparmia...

Ovviamente ora il filtro deve essere a coefficienti complessi...

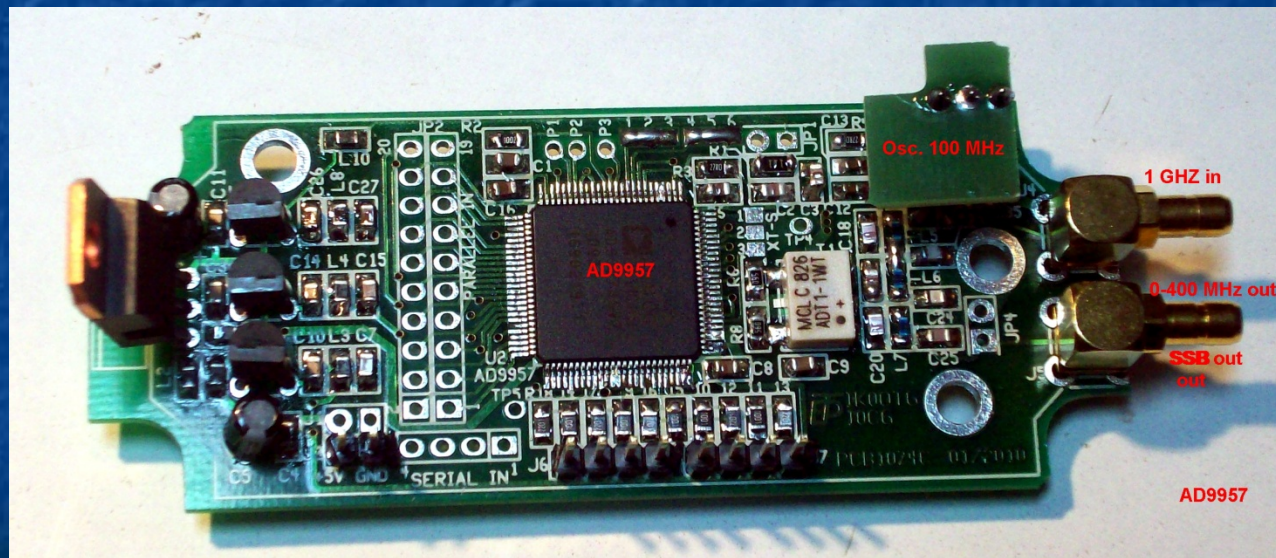


Bene, ora abbiamo le due componenti I e Q che descrivono il segnale analitico che rappresenta la USB, ma ce le abbiamo in banda base... devono essere trasportate alla frequenza finale di trasmissione.

Se, ad esempio, voglio poter trasmettere fino ad una frequenza di 100 MHz, occorre un modulatore con un half-complex mixer che operi almeno a 250 MHz di frequenza di campionamento...



Fortunatamente questa è una esigenza sentita anche nel mondo delle comunicazioni commerciali, e per ogni esigenza dietro alla quale ci sia un business esiste quasi sempre una risposta...



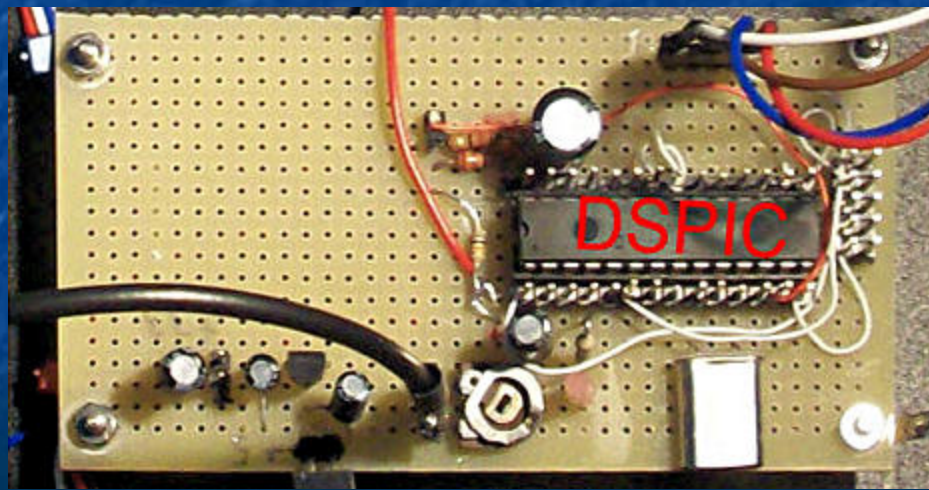
L'AD9957 ha una serie di interpolatori programmabili interni, fino ad un rapporto di 1008. Quindi desidera che il segnale gli venga presentato in formato I/Q ad una frequenza di campionamento pari a :

$$2.5E8 / 1008 = \text{circa } 248016 \text{ Hz}$$

La cosa migliore da fare è campionare l'audio ad un sedicesimo di tale valore, cioè circa 15501 Hz, filtrarlo con il filtro complesso visto prima a quella frequenza, e poi interpolarlo x 16

Possiamo farlo con un componente simpatico e poco costoso, il dsPIC della Microchip. In pratica un PIC più o meno classico, con un ADC on board, e anche un core DSP che permette di fare 50 milioni di MAC al secondo. Per un chip da 5 dollari, non è male...

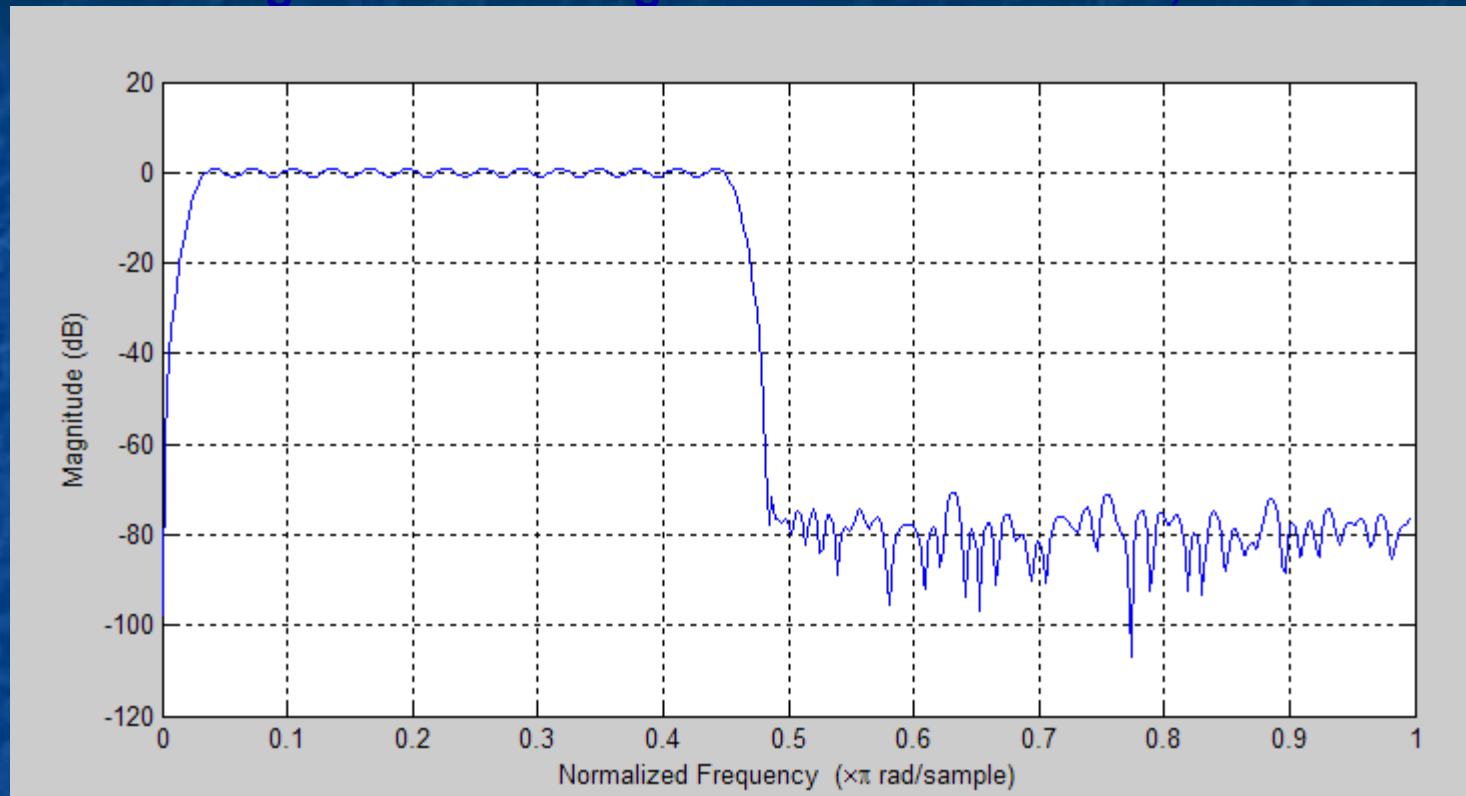
E per di più esiste anche in versione 28 pin DIP...



Quindi, riassumendo, il dsPIC digitalizza l'audio a 15501 Hz, elimina la LSB con il filtro complesso, e poi fa una interpolazione x 16, portando la frequenza di campionamento a 248016 Hz.

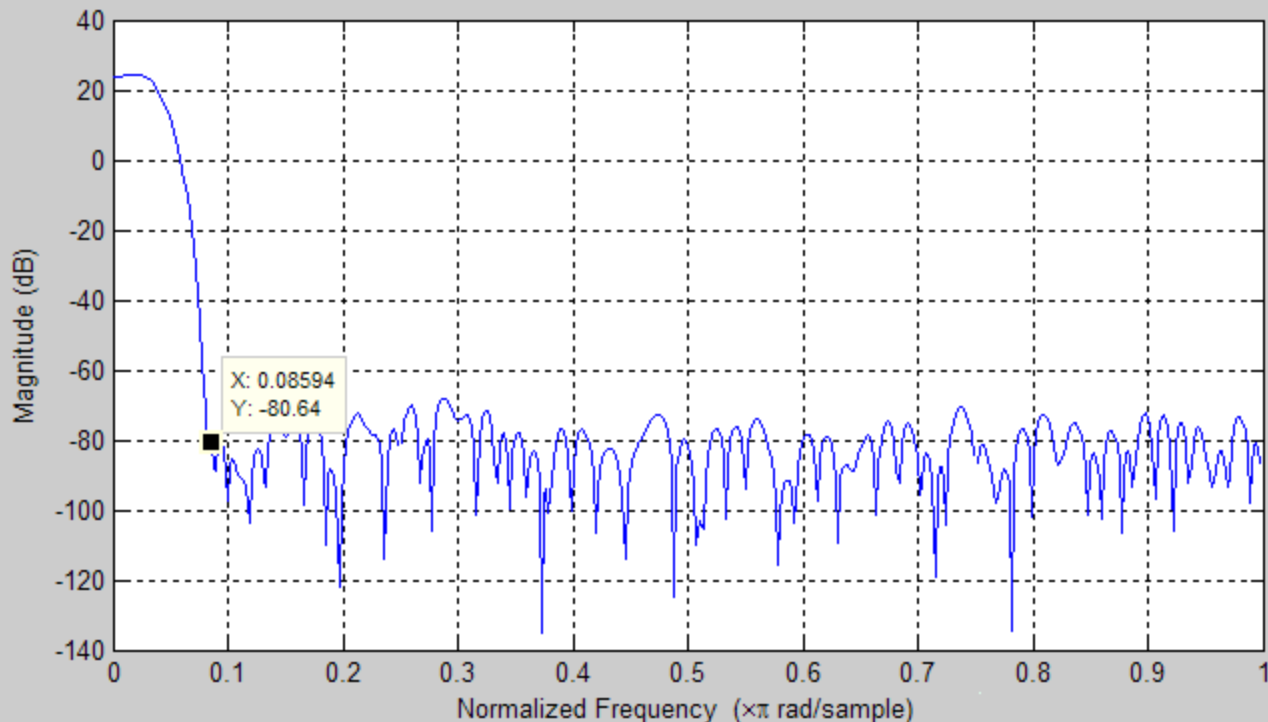
A questo punto i campioni I e Q vengono passati, in formato Q15, all'AD9957 tramite una doppia interfaccia seriale di tipo SPI (Serial Peripheral Interface), e l'AD9957 fa il suo sporco lavoro, producendo la USB (o opzionalmente la LSB, cambiando il segno della parte immaginaria dell'NCO), con una frequenza di uscita compresa tra zero e, diciamo, 100 MHz, per non avvicinarci troppo a Nyquist (125 MHz).

Alcuni grafici che dettagliano il funzionamento, ottenuti



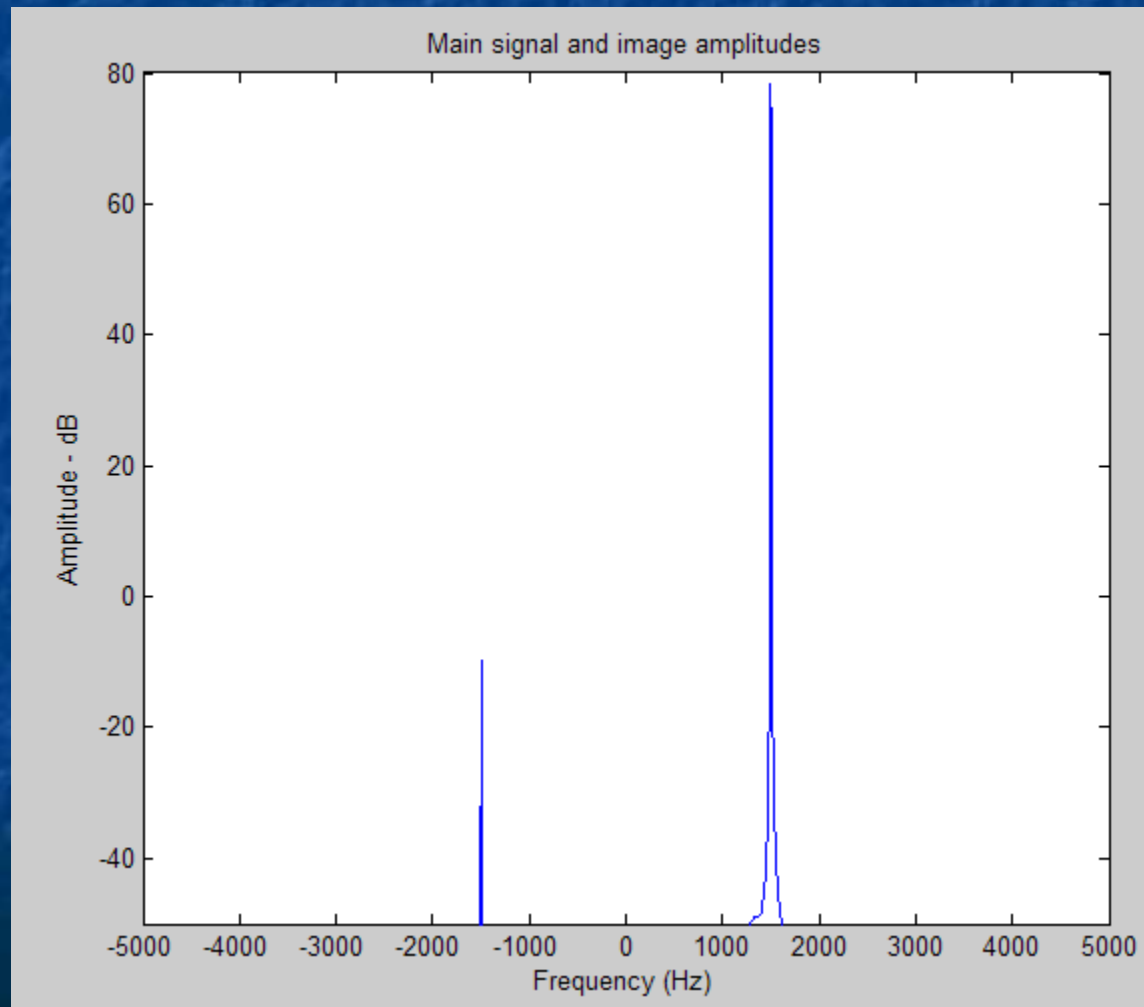
**Andamento in frequenza della magnitudine del filtro complesso,
che tiene conto dell'arrotondamento a 16 bit dei coefficienti**

Risposta del filtro anti-alias necessario per la interpolazione. La risposta in banda passante è di +24 dB per tener conto della equalizzazione in ampiezza richiesta da un up-sampling x 16

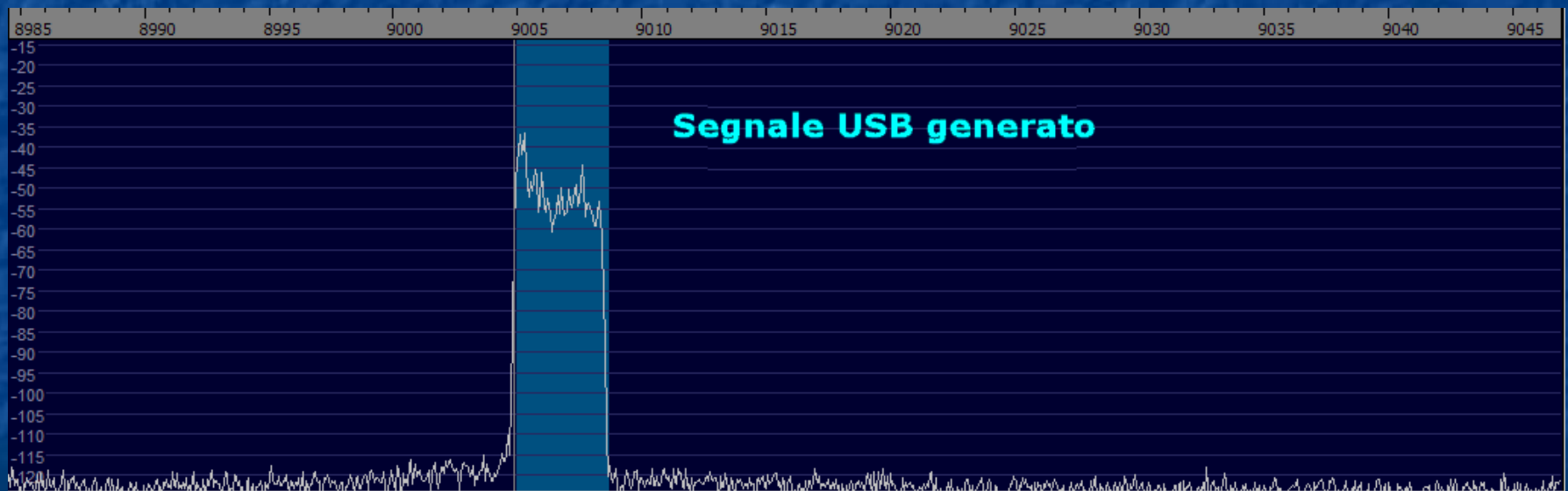


$0.08594 * 248016 / 2 = \text{circa } 10657 \text{ Hz, ben al disotto del valore richiesto per questo filtro anti-alias.}$

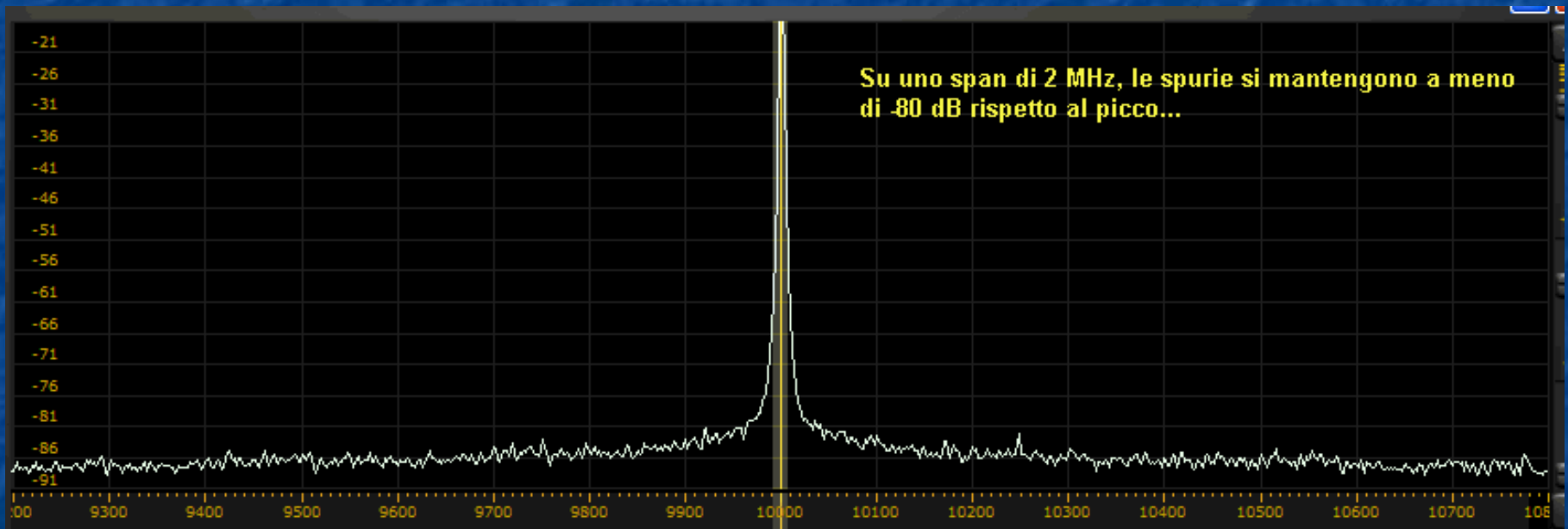
**Simulazione con Matlab della reiezione della banda non voluta,
Con un segnale di 1500 Hz, centro banda, siamo a più di 88 dB**



Il segnale USB generato, ricevuto con Perseus, risulta essere molto pulito, sia visto in una banda di 60 kHz....



... che anche in uno span più ampio, pari a 2 MHz.



La realizzazione dell'hardware di questo progetto è stata fatta da Giuliano I0CG, e probabilmente diventera` un prodotto commerciale.

A sentirci in aria con Donald !



**Per gli interessati, il PDF di questa presentazione e`
scaricabile da questo sito Web**

http://www.sdradio.eu/doc/I2PHD_ARI_2010.pdf