

# RICEVITORI E RICETRASMETTITORI SDR (SOFTWARE DEFINED RADIO) E LORO PARAMETRI



# OBIETTIVI DELLA SESSIONE

- Evidenziare, così come fatto per gli RX analogici, una serie di **PARAMETRI MISURABILI** da considerare per la valutazione di un RX/RTX SDR
- Quanto sopra anche per un paragone con gli **RX/RTX ANALOGICI**
- Per potere fare ciò è quindi preventivamente necessaria una **carrellata sulle varie tecnologie utilizzate negli SDR**
- Nessun approfondimento sulle problematiche che le varie soluzioni tecnologiche implicano !
- **Nessuna valutazione circa scelte dei costruttori o performances di specifiche radio SDR (solo esempi) !**

# CONFRONTO GENERALE FRA RX ANALOGICI E SDR

- I ricevitori SDR hanno prestazioni, specie nel campo della selettività dinamica, **MOLTO ELEVATE** se confrontati con i classici analogici
- Solo gli analogici **DI ALTA FASCIA** reggono il confronto
- I costi degli rtx SDR , con qualche eccezione, però sono ancora alti, perché è una tecnologia appena implementata
- Nel futuro è lecito attendersi una forte contrazione degli stessi appena le linee di produzione verranno adattate alla nuova tecnologia
- **Un principio della tecnologia SDR infatti è: costa molto meno scrivere software che progettare e realizzare un nuovo hardware !!**

# **TIPOLOGIE DI APPARATI SDR : UN PANORAMA VARIEGATO ....**

- **RICEVITORI SDR (o RTX) A 'CONVERSIONE DIRETTA'**
- **RICEVITORI SDR (o RTX) 'A CAMPIONAMENTO DIRETTO'**
- **RICEVITORI SDR (o RTX) 'IBRIDI'**  
e dal punto di vista di forma e contenuto ...
  - **RICEVITORI (o RTX) SDR 'BLACK BOX'**
  - **RICEVITORI (o RTX) SDR 'RADIO LIKE'**

# ESEMPI DI RX 'BLACK BOX'



PERSEUS

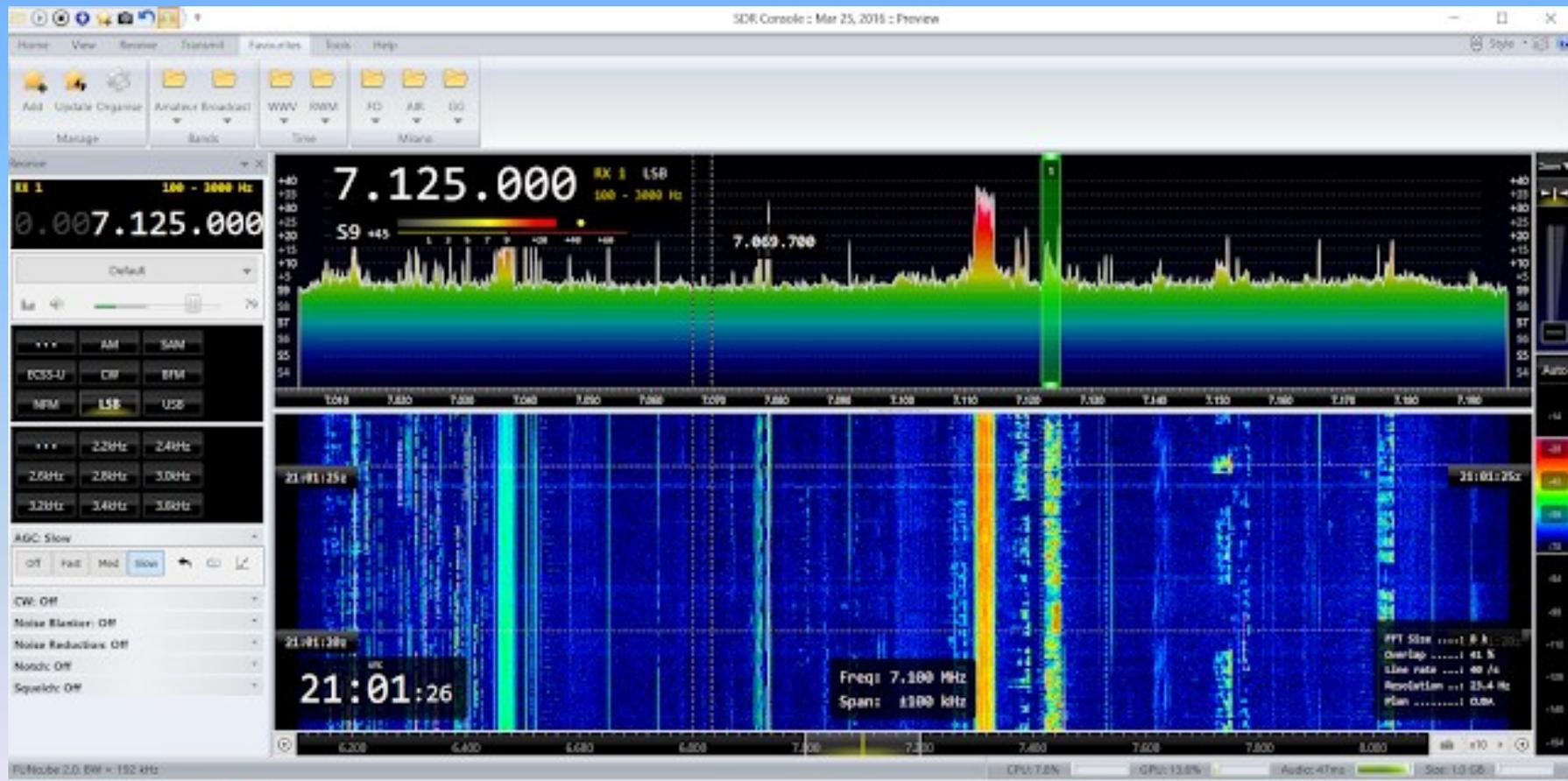


AIRSPY HF+



ELAD SDM

# ESEMPIO DI SDR SOFTWARE PER BLACK BOX : SDR CONSOLE



# TIPOLOGIE DI APPARATI SDR : A CONVERSIONE DIRETTA (ZERO IF)

- La conversione diretta è una tecnica già usata in passato negli RX analogici (SINCRODINA), inserendo nel mixer una frequenza molto vicina a quella da ricevere
- Aveva il problema che in realtà si ricevevano in contemporanea **DUE frequenze** (le due bande laterali), per cui una doveva venire eliminata con una complessa e costosa rete di sfasamento
- Tutto questo oggi è molto facilmente realizzabile con la tecnologia elettronica disponibile ed i software DSP ...

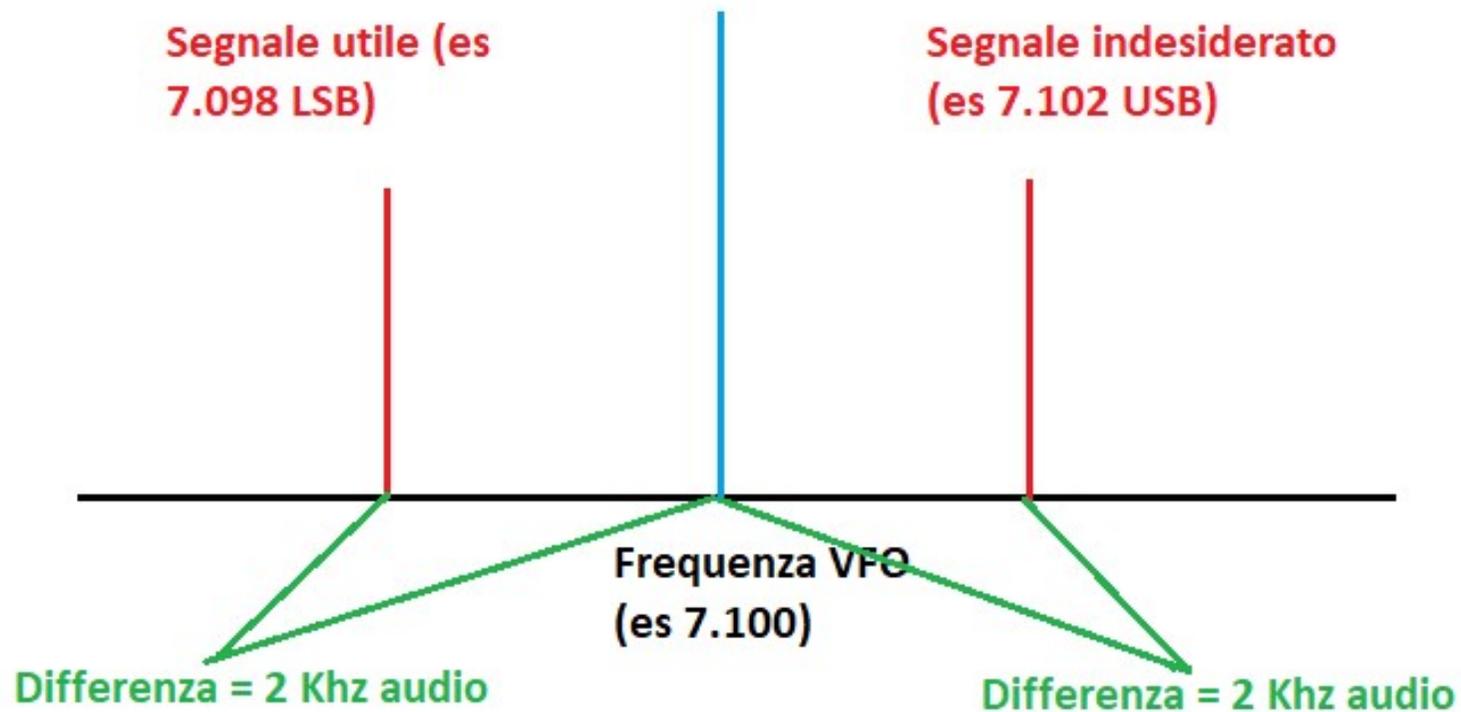
# RX SINCRODINA (ZERO IF)

SCHEMA A BLOCCHI RX  
SINCRODINA (ZERO IF)

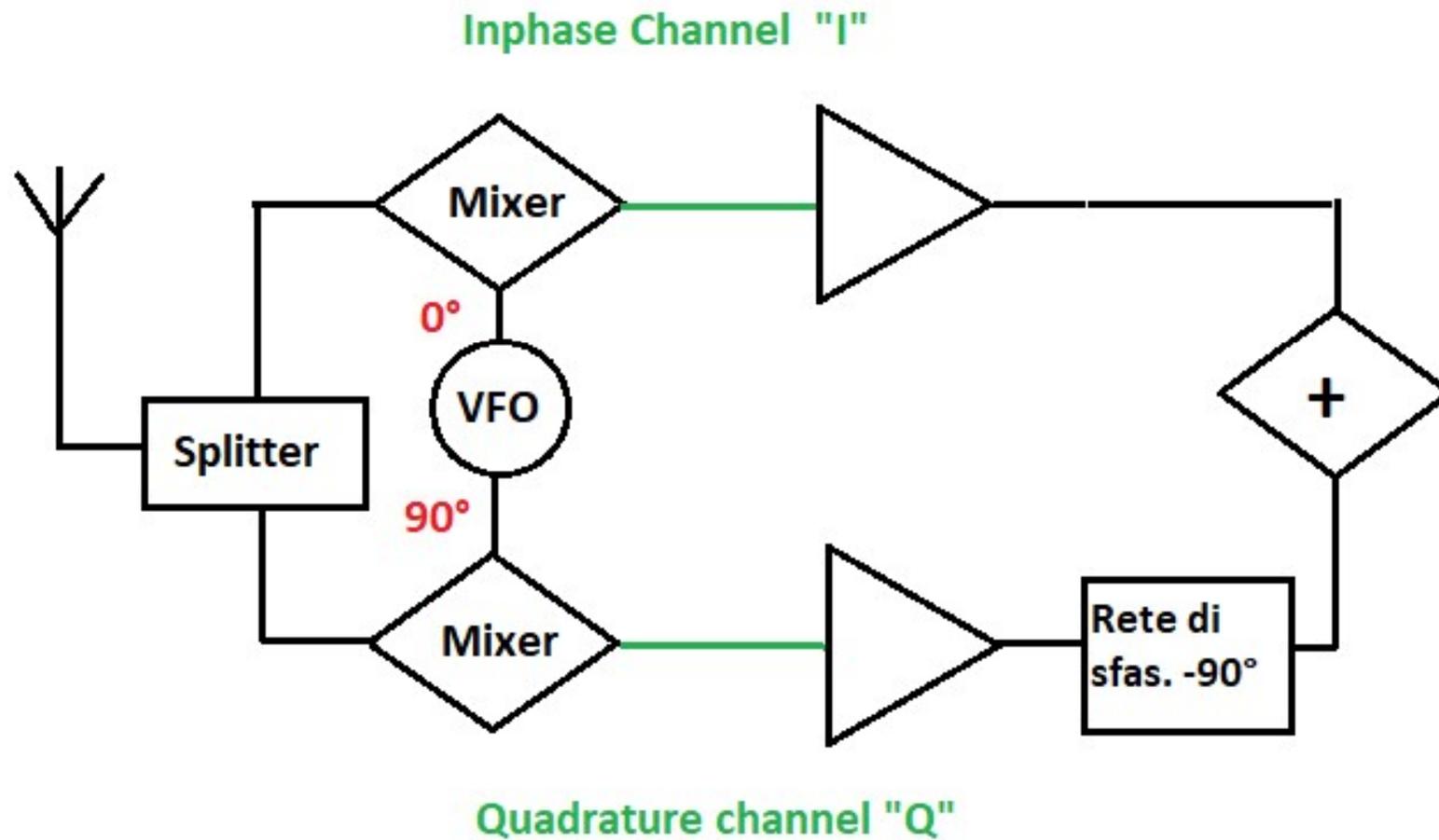


# RX SINCRODINA (ZERO IF)

## FREQUENZE RICEVUTE - RX SINCRODINA



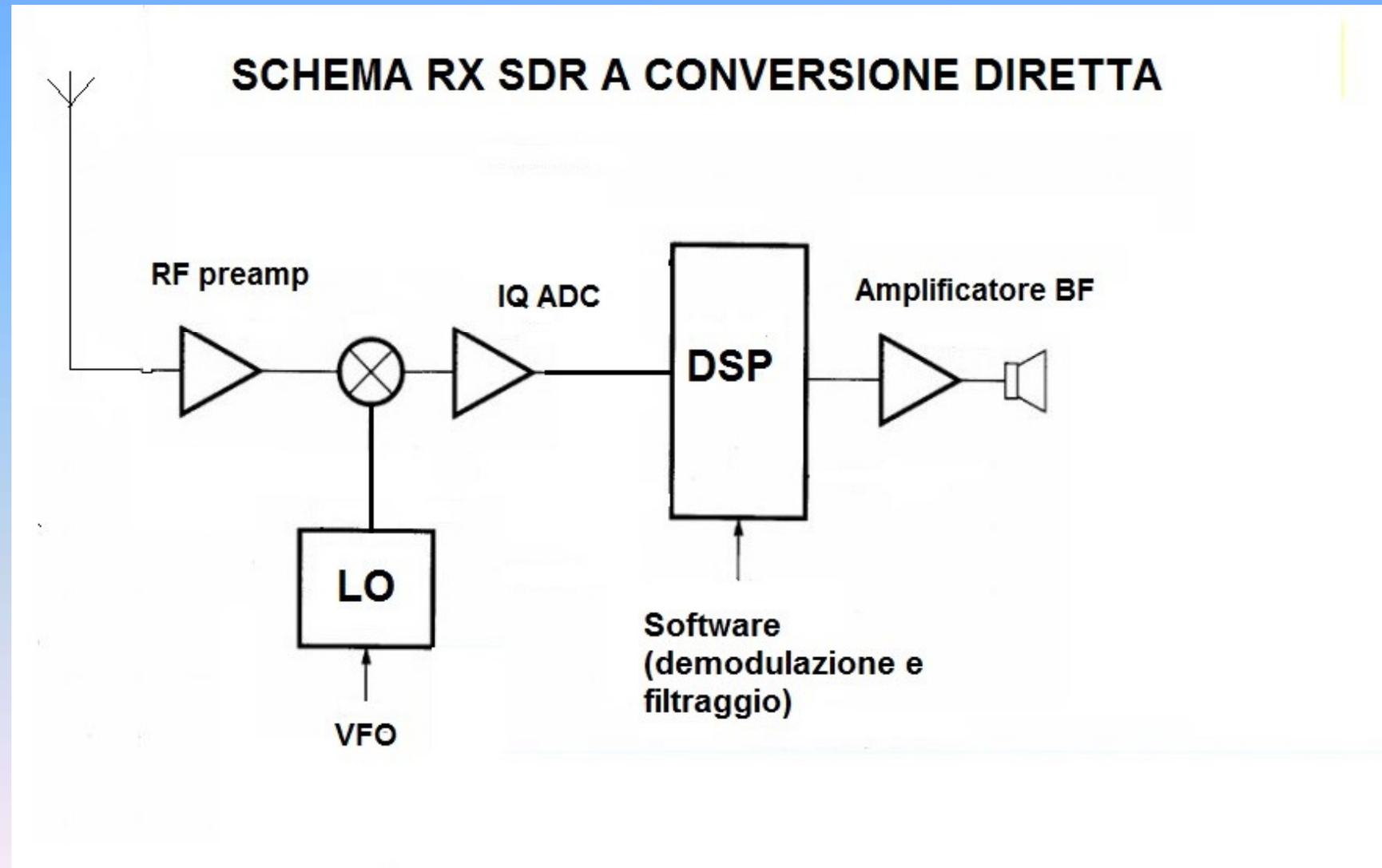
# RX SINCRODINA A SFASAMENTO



# SDR A CONVERSIONE DIRETTA: FUNZIONAMENTO

- Negli SDR questo complicato sistema viene **interamente gestito in DSP (Digital Signal Processing) dal PC**
- La conversione in 'banda base' (in genere max 0-48 khz) è analogica
- Il campionamento e l'elaborazione da analogico a digitale (panadapter e demodulazione) avviene in banda base con tecniche DSP
- Un rx può avere solo l'hardware necessario alla conversione, il resto può farlo il PC con una buona scheda audio e un buon software (black box SDR)
- Ovviamente ci sono anche RTX 'radio-like' che utilizzano questa tecnica

# RX SDR A CONVERSIONE DIRETTA (I - Q)



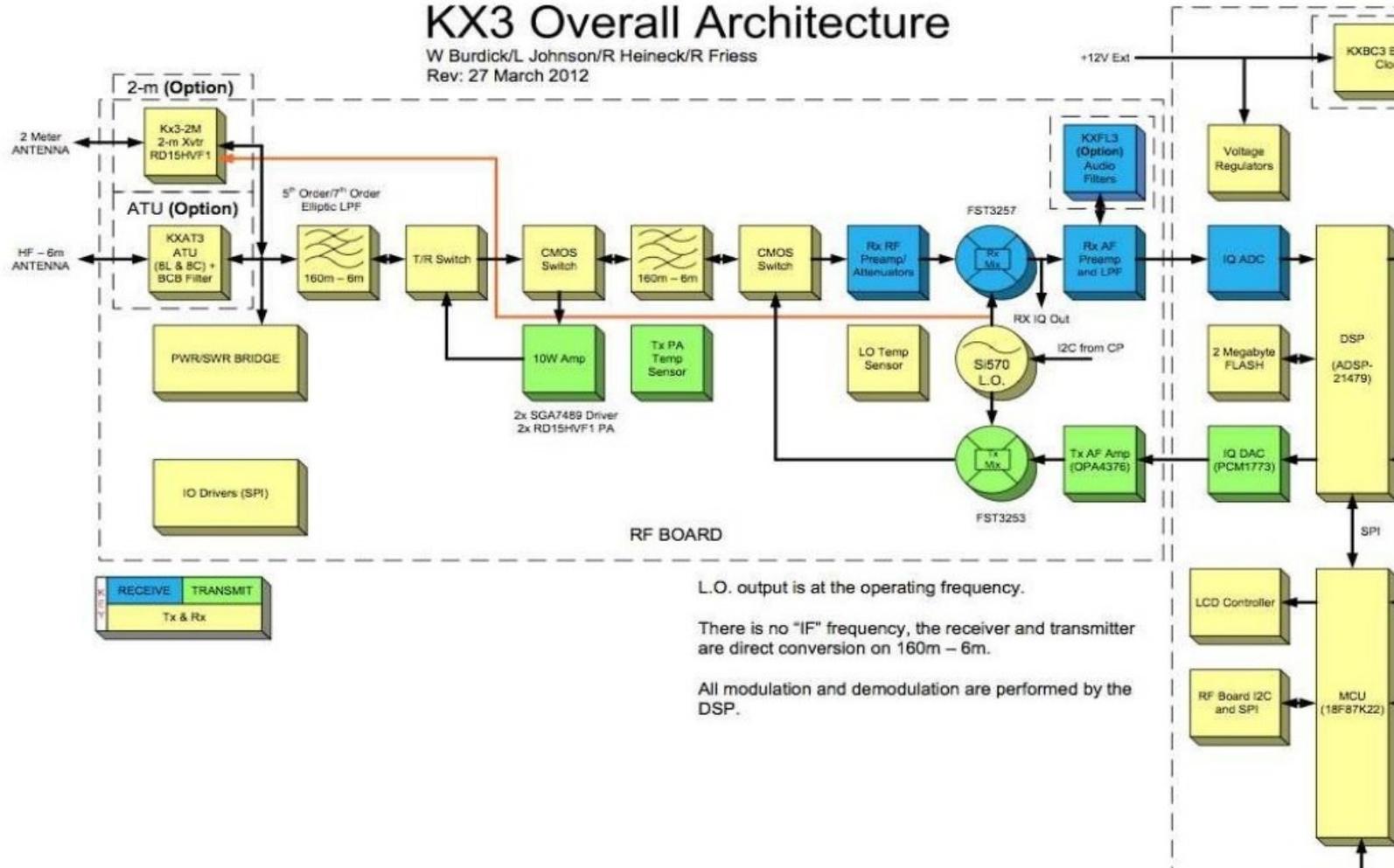
# UN ESEMPIO DI RTX A CONVERSIONE DIRETTA : L'ELECRAFT KX3



# L'ELECRAFT KX3 ARCHITETTURA

## KX3 Overall Architecture

W Burdick/L Johnson/R Heineck/R Friess  
Rev: 27 March 2012



# TIPOLOGIE DI APPARATI SDR : A CAMPIONAMENTO DIRETTO

- Il campionamento diretto invece è una tecnica possibile **solo 'in digitale'**, grazie ai moderni convertitori ADC
- In pratica si usa la tecnica DDC (Digital Down Converter) campionando TUTTA la banda che serve (ad es. TUTTE LE HF) e convertendola in segnale digitale con un Convertitore ADC molto veloce
- La frequenza di campionamento deve essere (per il teorema di Nyquist) almeno DOPPIA di quella da ricevere, e ovviamente più alta è e meglio è...
- Poi ci si può 'concentrare' sulla parte di banda che interessa, con tanto di visualizzazione grafica della banda prescelta ...

# **SDR A CAMPIONAMENTO DIRETTO E TECNICHE DI ALIASING**

- **Come ricevere frequenze PIU' ALTE di quella di campionamento?**
- **Immaginiamo di usare 80 Mhz. Da 0 a 40 Mhz abbiamo la 'prima zona di Nyquist' e da 40 a 80 la seconda, a banda invertita (in alias con quelli della prima....). Fra 80 e 120 la terza non in alias, fra 120 e 160 la quarta, di nuovo invertita**
- **In teoria quindi un segnale a 3 Mhz, uno a 77 e uno a 83 sono indistinguibili...**

# SDR A CAMPIONAMENTO DIRETTO E TECNICHE DI ALIASING

- Se volessi ricevere la banda da 144 a 148 Mhz, sarò in alias a banda invertita con quella da 16 a 12 Mhz (a spettro invertito) ...
- SE METTO DAVANTI ALL' ADC UN FILTRO PASSA BANDA PER I 144-146 POTRO' OTTENERE IL SEGNALE DIGITALIZZATO PER LA BANDA DEI 2 METRI, usando un clock a frequenza relativamente bassa
- Non avrò infatti problemi di ALIAS perché il filtro passa-banda eliminerà le frequenze indesiderate!
- I filtri devono avere ottime caratteristiche perché potrei avere problemi in presenza di forti segnali (ad es. banda 88-108) !!!

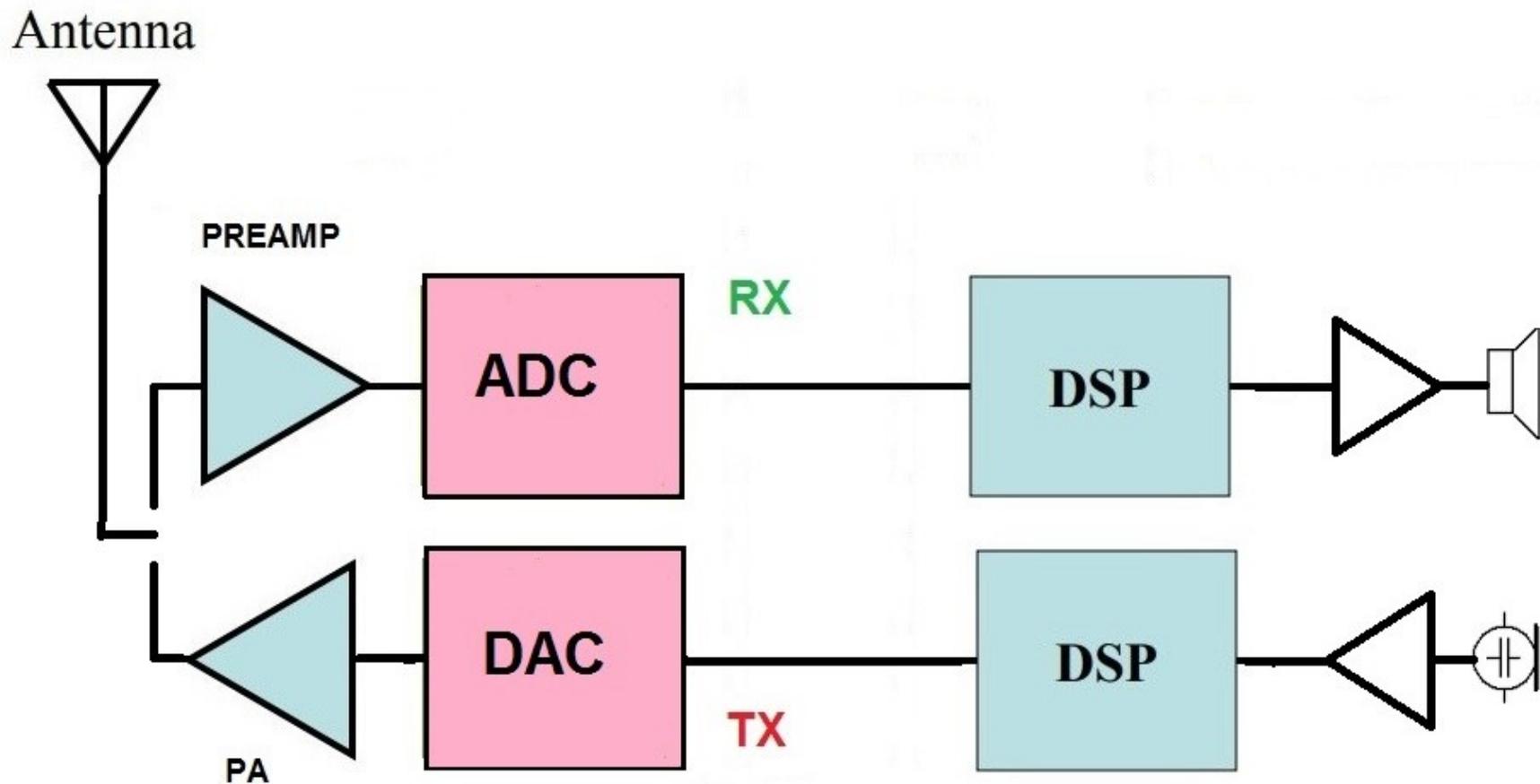
# SDR A CAMPIONAMENTO DIRETTO

## FUNZIONAMENTO

- Il campionamento avviene direttamente sul segnale RF in arrivo dall'antenna o dal preamplificatore
- Vi sono quindi **DUE sezioni DSP**:
- Il **DDC** (Digital Down Converter)
- Il **DSP** per l'elaborazione del segnale in banda base
- La demodulazione (o la modulazione del segnale TX) avviene nella DSP in banda base

# SDR A CAMPIONAMENTO DIRETTO

## SCHEMA RTX A CAMPIONAMENTO DIRETTO



# SDR A CAMPIONAMENTO DIRETTO

## GLI FPGA

- L' ADC genera una quantità di dati non direttamente elaborabili a valle da un Processore (enorme data-rate...)
- Per risolvere questo problema si usano dei **Field Programmable Gate Array (FPGA)**
- Questi eseguono operazioni matematiche **puramente hardware**, quindi molto veloci
- In pratica le stesse che si fanno in conversione diretta, convertendo il segnale in banda base e ricampionandolo a frequenza gestibile dal processore
- Il ricampionamento infatti riduce lo spettro da elaborare (in genere a 100 KHz, o a 2 o a 4 Mhz....)

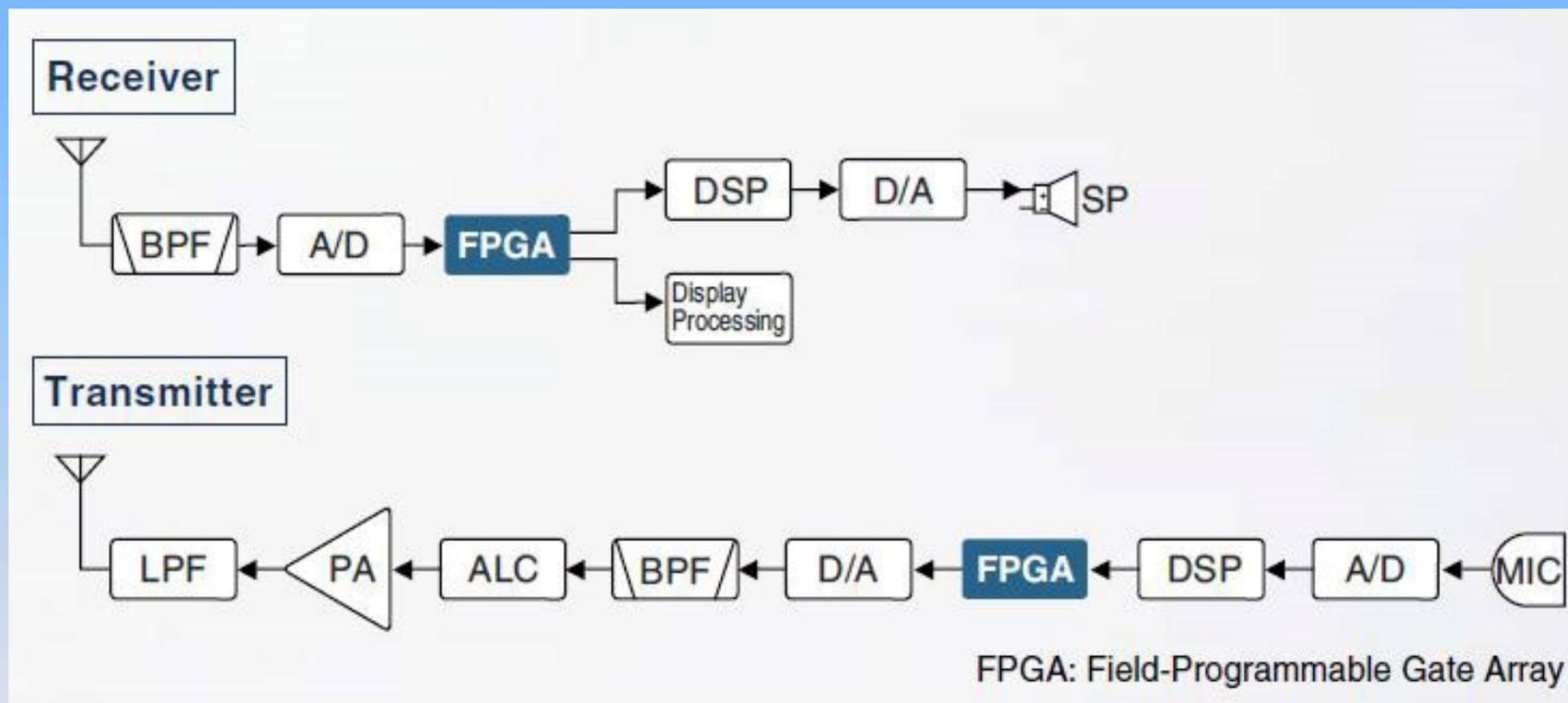
# SDR A CAMPIONAMENTO DIRETTO

## ESEMPI 'RADIO LIKE'

- ICOM IC-7300
- MB1 SUN
- FLEX RADIO 6400



# SDR A CAMPIONAMENTO DIRETTO ARCHITETTURA (IC-7300)



Fonte = ICOM Inc.

# **TIPOLOGIE DI APPARATI SDR :**

## **SDR IBRIDI**

- **Rtx dove la tecnica ‘a campionamento diretto’ è utilizzata insieme alla tecnica SDR a conversione diretta**
- **Ad es. la prima per la visualizzazione dell’intera banda**
- **La seconda per la demodulazione dei segnali Narrow Band (SSB, CW etc.)**
- **Il front-end è analogico con elevate caratteristiche**

# ESEMPIO SDR IBRIDO: YAESU FT-101D

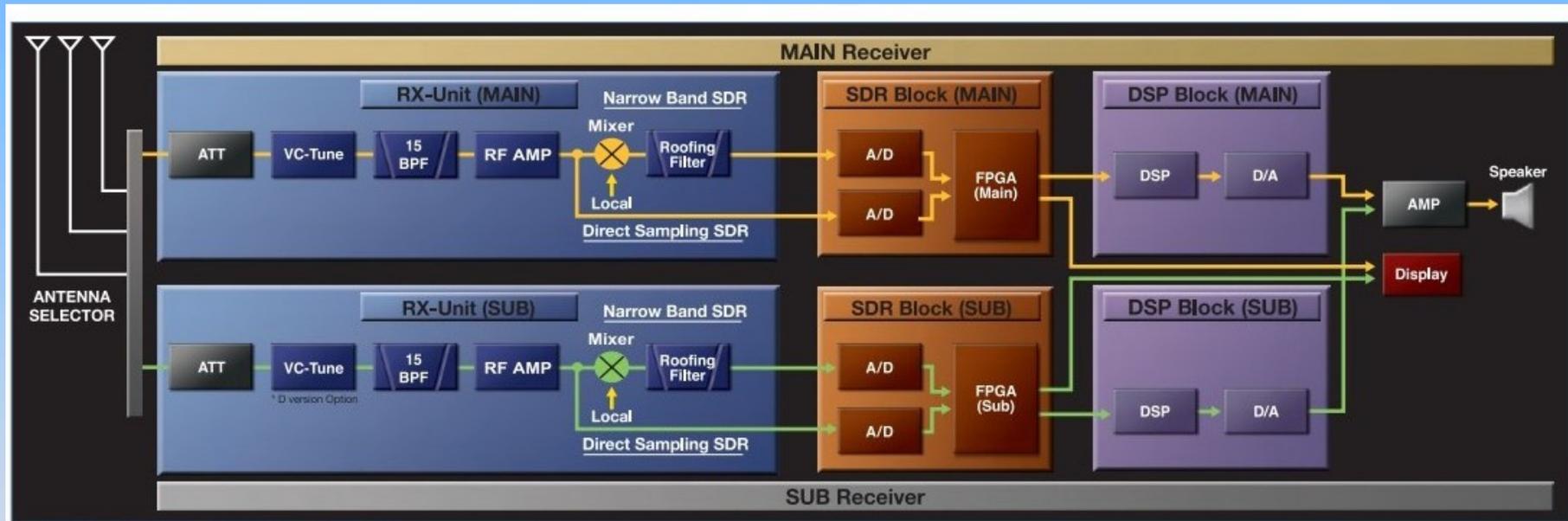
*Named after the well-known FT-101,  
a corner stone in the history of HF Transceivers,  
creating the future of HF communications*

*Birth of the **FT<sub>DX</sub>101***



Fonte YAESU USA

# YAESU FT-101D ARCHITETTURA



Fonte YAESU USA

# APPARATI SDR : COSA GUARDARE? PARAMETRI DI VALUTAZIONE

- Nella valutazione degli SDR bisogna prendere in considerazione **ANCHE** parametri **DIVERSI** dai tradizionali analogici
- Ad. es. la **sensibilità è analoga** a quella dei normali analogici (e si misura nello stesso modo...)
- La **selettività dinamica** è invece di norma **BEN SUPERIORE** agli analogici, ma vanno considerati alcuni parametri specifici per gli SDR ...

# **COS'E' LA SENSIBILITA' DI UN RX?**

- **La capacità di discriminare dal rumore un segnale il più debole possibile**
- **Si può esprimere in vari modi**
- **Quello più usato nei vari laboratori è il cosiddetto MDS (Minimum Discernible Signal), ma è solo un termine descrittivo (un buon operatore CW può decodificare un segnale anche molto più basso...)**
- **Corrisponde ad un segnale di potenza PARI al rumore intrinseco del ricevitore (detto anche NOISE FLOOR)**

# **COME SI MISURA L'MDS O NOISE FLOOR**

- **Si misura la potenza del rumore generato dal ricevitore con un Voltmetro TRUE RMS**
- **Si può misurare nei vari modi di emissione (SSB, CW) con diverse larghezze di banda (2,4 Khz SSB, 500 hz CW)**
- **Si inietta un segnale singolo con un Generatore di Segnali calibrato (in grado di modificare la potenza del segnale generato con precisione di almeno 0.5 db)**
- **Si trova il segnale in grado di produrre all'uscita un RADDOPPIO DI POTENZA letta sul voltmetro TRUE RMS (raddoppio di potenza = + 3 db)**
- **Così abbiamo stabilito quale segnale EGUAGLIA il rumore prodotto dal ricevitore (appunto il NOISE FLOOR !!!)**
- **Ovviamente cambia in base ai PRE inseriti**
- **I migliori RX vanno da -125 dbm fino a -145 dbm !!!**

# COME SI MISURA L'MDS O "NOISE FLOOR"

## SETUP MISURA MDS



**Generatore RF**



**Radio in prova**



**Voltmetro True-RMS**

# PARAMETRI SDR

## FREQUENZA DI CAMPIONAMENTO

- Più è elevata la frequenza di campionamento, migliori sono le prestazioni del ricevitore
- Viene espressa in Msps
- Deve essere almeno **DOPPIA** della massima frequenza da ricevere
- Alcuni RTX SDR di pregio hanno una frequenza di campionamento > di 3 volte
- Oltre certi livelli, il raddoppio della FdC comporta un miglioramento della dinamica di soli 3 db
- In **'aliasing'** posso ricevere anche frequenze superiori, ma in presenza di segnali forti (es. banda 88-108) si possono determinare intermodulazioni

# **PARAMETRI SDR**

## **LIVELLO DI CLIPPING**

- **Misura l'intensità che un segnale ad una certa spaziatura (fuori dal canale ricevuto) deve possedere per produrre il CLIPPING dell'ADC**
- **In genere si usa la spaziatura di 25 Khz e si rileva il livello che produce l'indicazione di OVERFLOW (o situazione analoga) dell'RX SDR**
- **Ovviamente PRE, ATT, eventuali IP+ inseriti o meno influenzano la misura (in genere si pone tutto a OFF)**

# MISURA LIVELLO DI CLIPPING

## SETUP MISURA LIVELLO DI CLIPPING



Generatore RF

Radio in prova

FREQUENZA GENERATORE = + 25 KHZ RADIO IN  
PROVA

# PARAMETRI SDR

## EFFECTIVE NUMBER OF BIT (ENOB)

- Numero di bit 'reali' del convertitore ADC
- L'ENOB è un parametro utilizzato per misurare la qualità dell'ADC, ed è di norma **INFERIORE** ai bit nominali
- Maggiore il numero, migliori le prestazioni
- Rappresenta in pratica la '**risoluzione reale**' dell'ADC
- Ad es. un DDC a 16 bit può avere un ENOB di 14
- Le differenze aumentano significativamente via via che scendiamo di numero

# PARAMETRI SDR

## EFFECTIVE NUMBER OF BIT (ENOB)

- Normalmente l'ENOB si deriva da altre misure sul DAC in maniera matematica
- Di norma la formula utilizzata per calcolarlo è:
- $ENOB = (SINAD - 1.76) : 6.02$  (in db)
- In genere l'ENOB si posiziona da 1 a 2 db ca. SOTTO il numero di bit nominale dell'ADC
- Come detto, diminuendo i bit le prestazioni dinamiche degradano velocemente

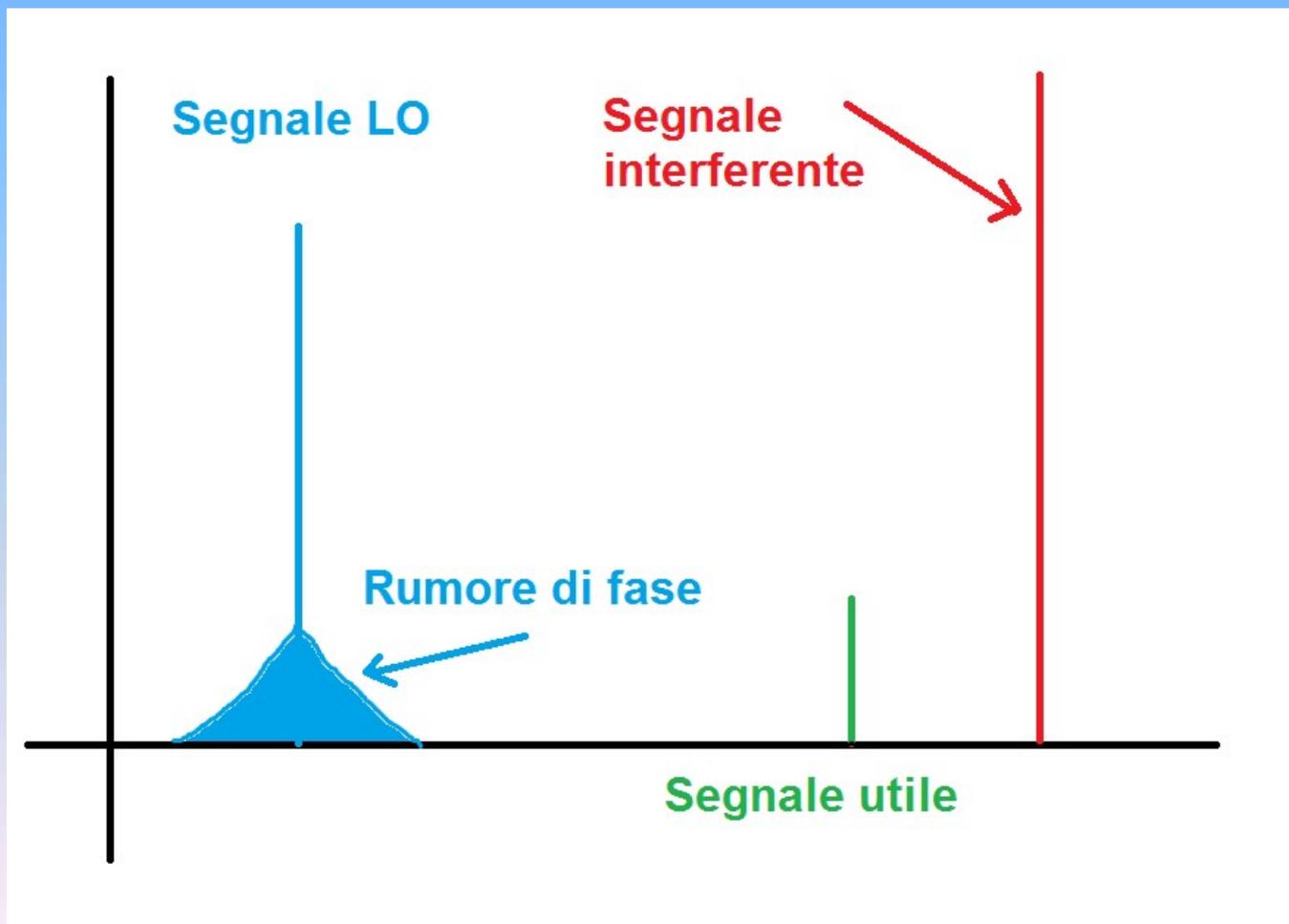
# PARAMETRI SDR

## MISURARE L'ENOB

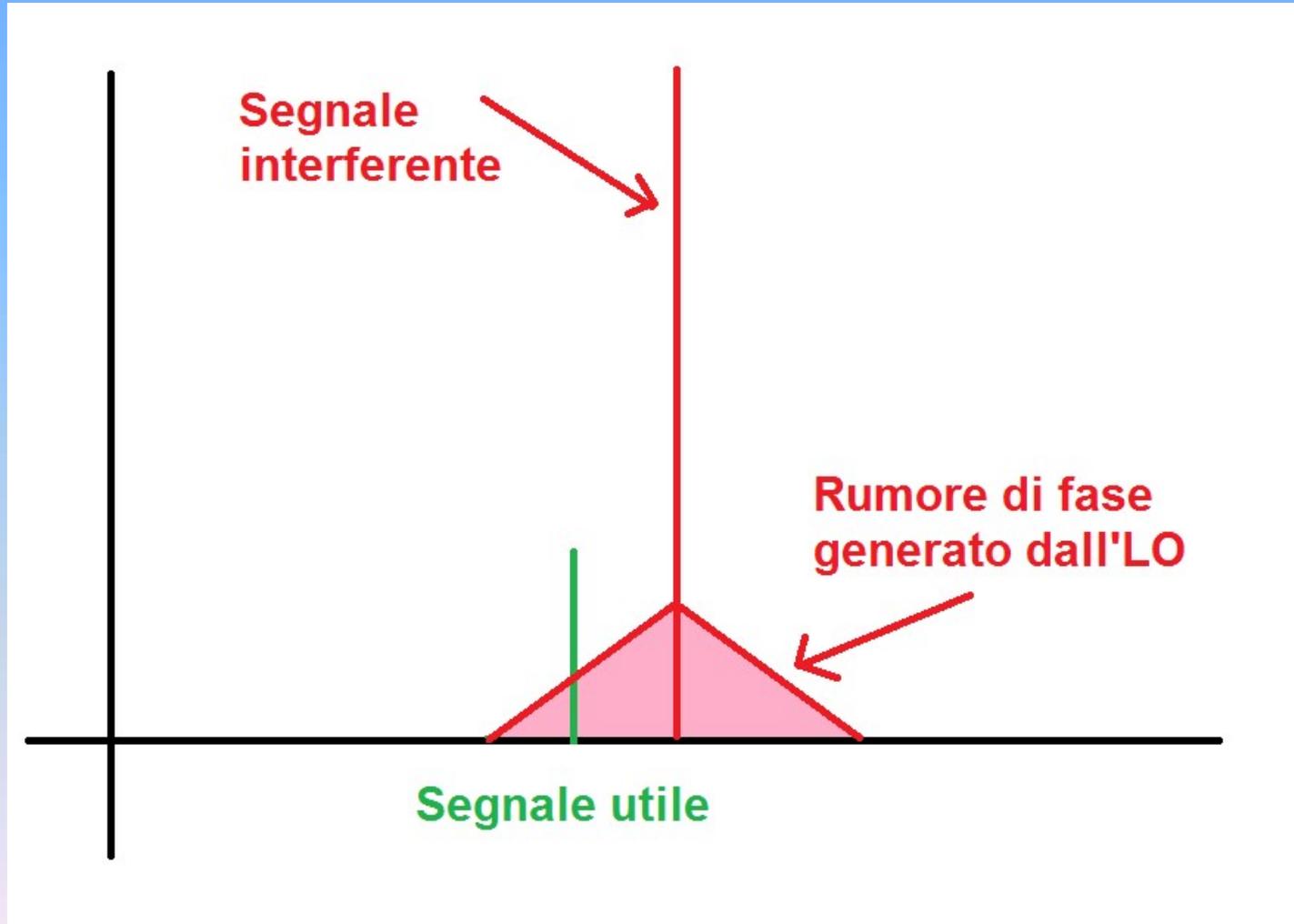
- L'ENOB viene di norma misurato con un singolo tono sinusoidale nell'intera banda di Nyquist
- Il SINAD viene rilevato al massimo livello di segnale gestibile appena sotto il livello di CLIPPING
- Diminuendo infatti l'ampiezza diminuisce il SINAD
- E' possibile calcolarlo per segnali di ampiezza ridotta applicando un fattore di correzione alla formula:
- $ENOB = (SINAD - 1.76 + 20 \log (\text{Fullscale V./Input V.})) : 6.02$  (in db)

# IL RECIPROCAL MIXING

RICORDATE IL PROBLEMA DEL RECIPROCAL MIXING  
NEI RICEVITORI ANALOGICI?



# IL RECIPROCAL MIXING



# PARAMETRI SDR

## RMDR

### RMDR (Reciprocal Mixing Dynamic Range)

- Nei rx SDR dipende dal rumore di fase dell'ADC e dall'eventuale presenza di un forte segnale adiacente
- In pratica indica la **purezza spettrale del clock**
- In alcuni casi può risultare **(poco) DIPENDENTE** (contrariamente agli rx analogici) dalla **SPAZIATURA** del segnale
- Un RMDR di 100 db è molto buono, 120 db è eccellente

# PARAMETRI SDR

## MISURA DELL'RMDR

- Si inietta un segnale a basso rumore di fase (noto) ad una frequenza **FUORI** dal canale di rx (si va da 1 a 20 KHz)
- Si aumenta il livello del segnale fino a rilevare un **aumento di 3db del Noise Floor**
- L' RMDR è dato dalla **DIFFERENZA** fra il livello del segnale iniettato e l'MDS misurato della radio
- E' possibile derivare il rumore di fase in dbc/hz con la formula :  $P_n = -(RMDR + 10 \log BW)$

# SETUP MISURA RMDR

## SETUP MISURA RMDR



**Generatore RF**



**Radio in prova**



**Voltmetro True-RMS**

Frequenza Generatore RF = + X Khz di quella della radio

# APPARATI SDR

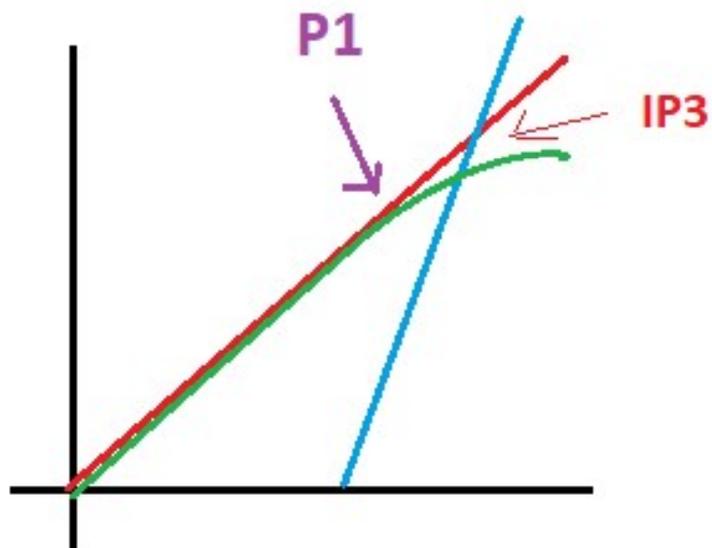
## PARAMETRI DA **NON** CONSIDERARE

### IMD3/IP3

- Nei rx SDR ha molto meno senso la misura dell'IMD3/IP3 rispetto a quanto avviene negli analogici ...
- Negli analogici infatti la IMD3 peggiora in proporzione lineare, mentre negli SDR rimane costante fino al livello prossimo alla saturazione
- Quando l'SDR raggiunge un livello prossimo al **clipping** l'IMD3 peggiora catastroficamente e l'RX non è in grado più di elaborare segnali ....
- Questo perché negli analogici la IMD3 è un prodotto delle miscele, che negli SDR sono praticamente inesistenti...

# CONFRONTO IP3 RX ANALOGICI E SDR

IP3 RX analogico



SDR a camp. diretto



# RX SDR E RX ANALOGICI QUALE MISURA DINAMICA LI METTE A CONFRONTO?

ORMAI CI SI E' DEFINITIVAMENTE ORIENTATI VERSO

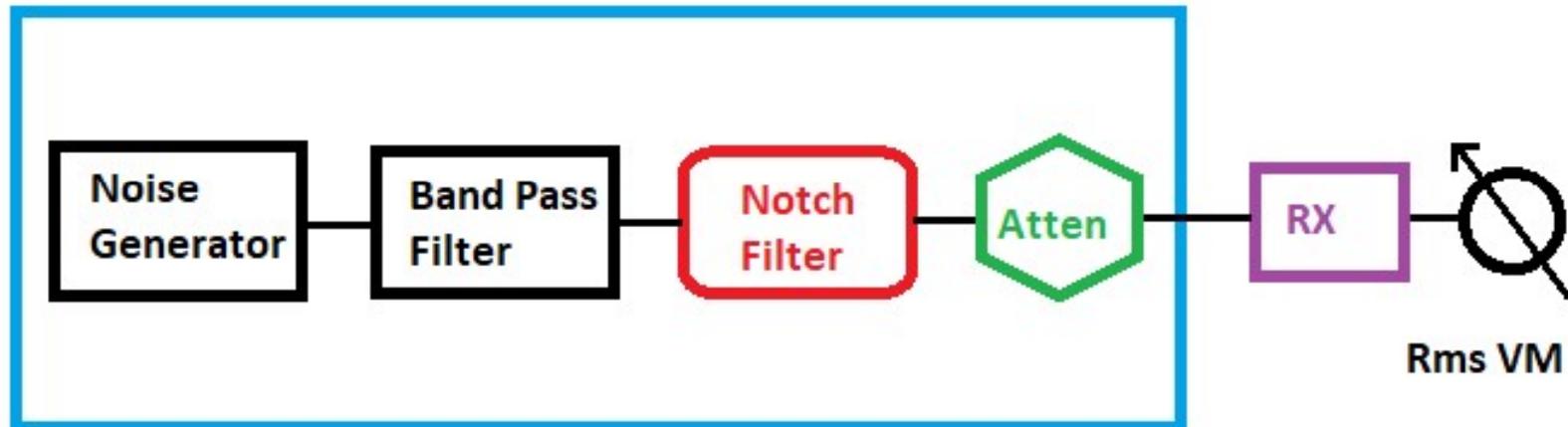
L' **NPR TEST** !!!

**NPR = Noise Power Ratio**

- Sistema di valutazione messo a punto da VA7OJ e in contemporanea proposto dal nostro Eraldo I4SBX (purtroppo SK)
- E' la misura di massimo stress per ogni rx
- Si riempie la banda di **RUMORE BIANCO** di livello appena inferiore a quello di Clipping per alcuni Mhz e si scava con un notch una parte di banda di ampiezza leggermente superiore a quella di IF dell'RX (es. 3 khz per la SSB)
- Si misura la differenza fra la densità spettrale del rumore fuori banda e quello dentro il notch
- Un NPR di 75 db è molto buono, 78 è un valore ottimo

# SETUP MISURA NPR TEST

## SETUP MISURA NPR TEST



White Noise Generator Wandel &  
Goltermann RS-50

# WNG WANDELL & GOLTERMANN



# NPR TEST VA70J PERSEUS NDR



Fonte = VA70J

# MASSIMO NPR TEORICO SDR

BIT ADC	MAX NPR TEORICO
20	108,41
18	96,88
16	85,40
14	74,01
12	62,71
10	51,56
8	40,60

# CONCLUSIONI ...

- Investire nell'acquisto di un RTX SDR **PUO' AVERE UN SENSO** in quanto la tecnologia evolve decisamente in quella direzione ...
- Le performances di un RTX SDR anche per gli entry level **SONO DI TUTTO RISPETTO** se confrontate con quelle dei migliori RTX analogici
- Purtroppo i modelli SDR di maggior pregio presentano ancora **COSTI ELEVATI** a motivo della tecnologia ancora recente e scontano i costi di impianto (software etc.) ...
- E' lecito attendersi una **RIDUZIONE DEI COSTI** per RTX di livello superiore agli attuali man mano che la tecnologia evolverà e verranno assorbiti i costi di impianto ...
- **Di sicuro l'operatore deve COMPRENDERE bene il funzionamento specie della parte RX di un SDR per poterlo utilizzare al meglio ....**

# Bibliografia

- **‘Guida ai ricevitori SDR’ (IN3ECI Andrea Cavattoni)**
- **‘Dalla supereterodina alle Software Defined Radio’ (IZ7QSS Giovanni De Filippo)**
- **‘Conosciamo e proviamo la Radio definita dal software’ (I2PHD Alberto Di Bene)**
- **‘SDR e GNU Radio’ (IZ0CEZ Alberto Trentadue)**
- **Noise Power Ratio (NPR) Testing (I4LEC Claudio Capelli e I4SBX Eraldo Sbarbati)**
- **Noise Power Ratio Testing of HF Receivers (VA7OJ Adam Farson)**
- **‘Parametri di confronto fra ricevitori’ (I2VG0 Gianfranco Verbana)**
- **‘SDR Software Defined Radio – Carrellata storico-tecnica’ (I7SWX Giancarlo Modà – MADS 2008)**

# RICEVITORI E RICETRASMETTITORI SDR (SOFTWARE DEFINED RADIO) E LORO PARAMETRI

