

# SDR e GNURadio

Introduzione elementare alla  
sintesi *aperta* tra Radio e Software

Alberto Trentadue, IZ0CEZ

# SDR e GNU Radio

di Alberto Trentadue IZ0CEZ

L'obiettivo della presentazione è quello di guardare alla Software Defined Radio (SDR) con l'occhio dell'appassionato e togliere quell'alone di mistero e di diffidenza che la circonda.

Per far questo ho incluso anche la presentazione di uno strumento di sperimentazione SDR, GNURadio, che permette un approccio graduale, completo ed immediato alla sperimentazione SDR

Software Defined Radio sta per "radio definita dal software", ovvero un sistema radioelettrico in cui la de/modulazione e l'elaborazione del segnale principale, sono realizzate mediante dispositivi programmabili e procedure software applicate a dati numerici ottenuti campionando il segnale medesimo

Il modello di riferimento è quello classico dei segnali campionati, che è applicabile anche nelle tecnologie multimediali (musica ed immagini). Questo modello si fonda su diverse leggi matematiche, ma la più importante è il teorema di Shannon, che legando banda del segnale con la minima frequenza di campionamento (o la frequenza di campionamento con la massima banda campionabile), costituisce il vincolo tecnologico principale per l'applicabilità dei sistemi digitali nel mondo RF.

Le architetture SDR si dividono in due classi fondamentali: la SDR che trasla in analogico il segnale di interesse in banda base e applica la demodulazione e l'elaborazione in tale porzione di spettro (scheda audio); e la SDR in cui il segnale ad RF viene immediatamente campionato e gestito da procedure software. Quest'ultima classe di SDR è stata possibile solo a partire dal 2000 in poi, quando la potenza di calcolo di dispositivi programmabili (FPGA e DSP) hanno permesso l'esecuzione di operazioni aritmetiche in virgola mobile (Multiply and Accumulate – MAC) in tempi inferiori ai 10ns, permettendo frequenze di campionamento dell'ordine dei 30-80 MHz.

Tipici esempi di SDR sono il PerseL'obiettivo e la FlexRadio. Non c'è ancora grande diffusione per motivi di marketing: la comunità dei radioamatori ancora a maggioranza preferisce un pannello operabile con 2 mani e completo di manopola di sintonia. Tuttavia progetti di sviluppo SDR si stanno diffondendo rapidamente, soprattutto in ambito accademico, militare e consulenziale. I più noti in campo amatoriale sono il SoftRock e HPSDR.

Uno di questi progetti è GNURadio. GNURadio è un progetto HW/SW che fornisce una vasta libreria di strumenti con i quali è possibile costruire SDR con la programmazione in linguaggio Python.

E' un progetto Free, nel senso che sorgenti software e schemi di progetto dell'hardware sono pubblicati e modificabili alle stesse condizioni, e non è legalmente ammesso chiudere tali elaborazioni in prodotti proprietari che impediscano l'accesso al sorgente. Il Free Software, governato dal progetto GNU, garantisce agli sperimentatori di poter sempre accedere ai documenti di progetto e al sorgente in maniera libera, senza alcuna limitazione futura. Il Free Software può essere considerato espressione dell'ham-spirit nel mondo del software, ovvero apertura a tutti al servizio della diffusione della tecnologia e della sperimentazione.

GNURadio può far uso di un HW esterno chiamato USRP che opera come unità di conversione a 4+4 canali full duplex RX/TX a campionamento in RF collegato al sistema via USB2. Un buon numero di schede figlie permette la sua applicazione in innumerevoli campi di telecomunicazione. Tuttavia, GNURadio permette anche l'approccio della traslazione in banda base, dato che accetta campioni anche dalla scheda audio.

La caratteristica fondamentale di GNURadio è quella di essere una libreria organizzata a blocchi. I blocchi sono moduli che realizzano specifiche funzioni, ma che possono essere utilizzati con approccio black-box, cioè solo conoscendo la relazione tra sequenze numeriche di ingresso e di uscita. Esempi di blocchi sono filtri, mixers, agc, modulatori, demodulatori, ecc. Questo permette di sperimentare la SDR senza dover preventivamente conoscere i dettagli della tecnologia digitale (DSP).

Uno strumento in particolare, il GNURadio Companion, permette di manipolare i blocchi di GNURadio in maniera visuale e di costruire manualmente la propria SDR, o qualsiasi altro sistema DSP, semplicemente interconnettendo i blocchi funzionali. Questo permette di sperimentare la SDR senza nemmeno dover conoscere la programmazione in Python! Il Companion "esegue" la radio costruita col mouse e realizza istantaneamente la SDR. Inoltre, la radio così definita, può essere tradotta nel corrispondente script Python, così che l'utilizzatore esperto può realizzare sistemi più complessi che richiedono interazioni tra blocchi non semplicemente rappresentabili con approccio black-box ingresso-uscita.

In conclusione, la SDR, se approcciata gradualmente e sfruttando la grande semplificazione offerta da GNURadio, diventa davvero aperta ad un vasto pubblico di sperimentatori e questo permette di togliere quell'aria di diffidenza che la circonda.

La SDR è un'evoluzione della Radio: affrontando l'evoluzione con lo stesso spirito della sperimentazione libera e del divertimento, la passione Radioamatoriale non tramonterà.

Alberto Trentadue, IZ0CEZ

# Obiettivi

- Guardare alla SDR con gli occhi dell'appassionato e dell'amatore
- Proporre la SDR come campo di esperienza amatoriale
- Proporre GNURadio come strumento di sperimentazione della SDR

# Panoramica

- Prima parte: Introduzione ai fondamenti della SDR
- Seconda parte: Presentazione di GNURadio
- Demo

# SDR & GNURadio

**Prima parte**

**Introduzione alle SDR**

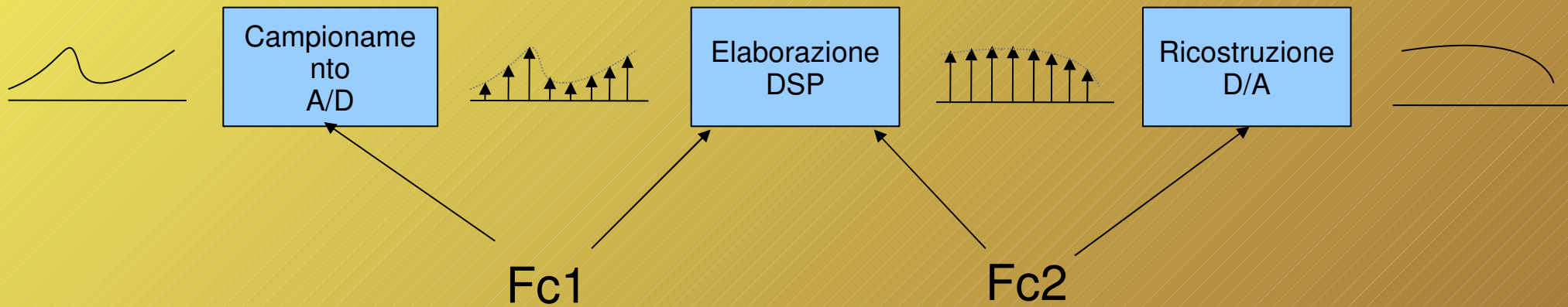
Alberto Trentadue, IZ0CEZ



# SDR - (Una) Definizione

- Software defined radio = Radio definita dal software
- Sistema radioelettrico in cui la de/modulazione e l'elaborazione del segnale principale, sono realizzate mediante dispositivi programmabili e procedure software applicate a dati numerici ottenuti campionando il segnale medesimo

# Modello di riferimento

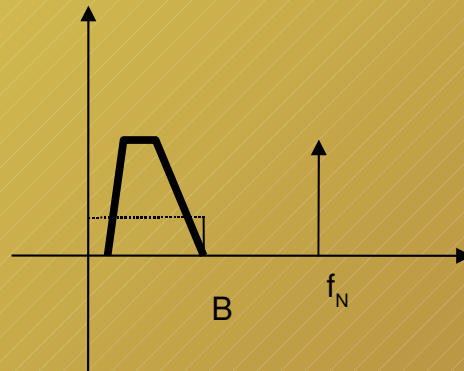




# Teorema del Campionamento

- Introdotto da H. Nyquist (1928) e perfezionato da C. E. Shannon (1949)
- Un segnale “limitato in una banda B” è descritto interamente dalle sue misure (campioni) prese ad una frequenza  $\geq 2B$
- La Frequenza di Nyquist di un segnale:  $f_N = 2B$

...E quindi si può ricostruire, almeno in linea teorica



# La banda effettiva di una SDR

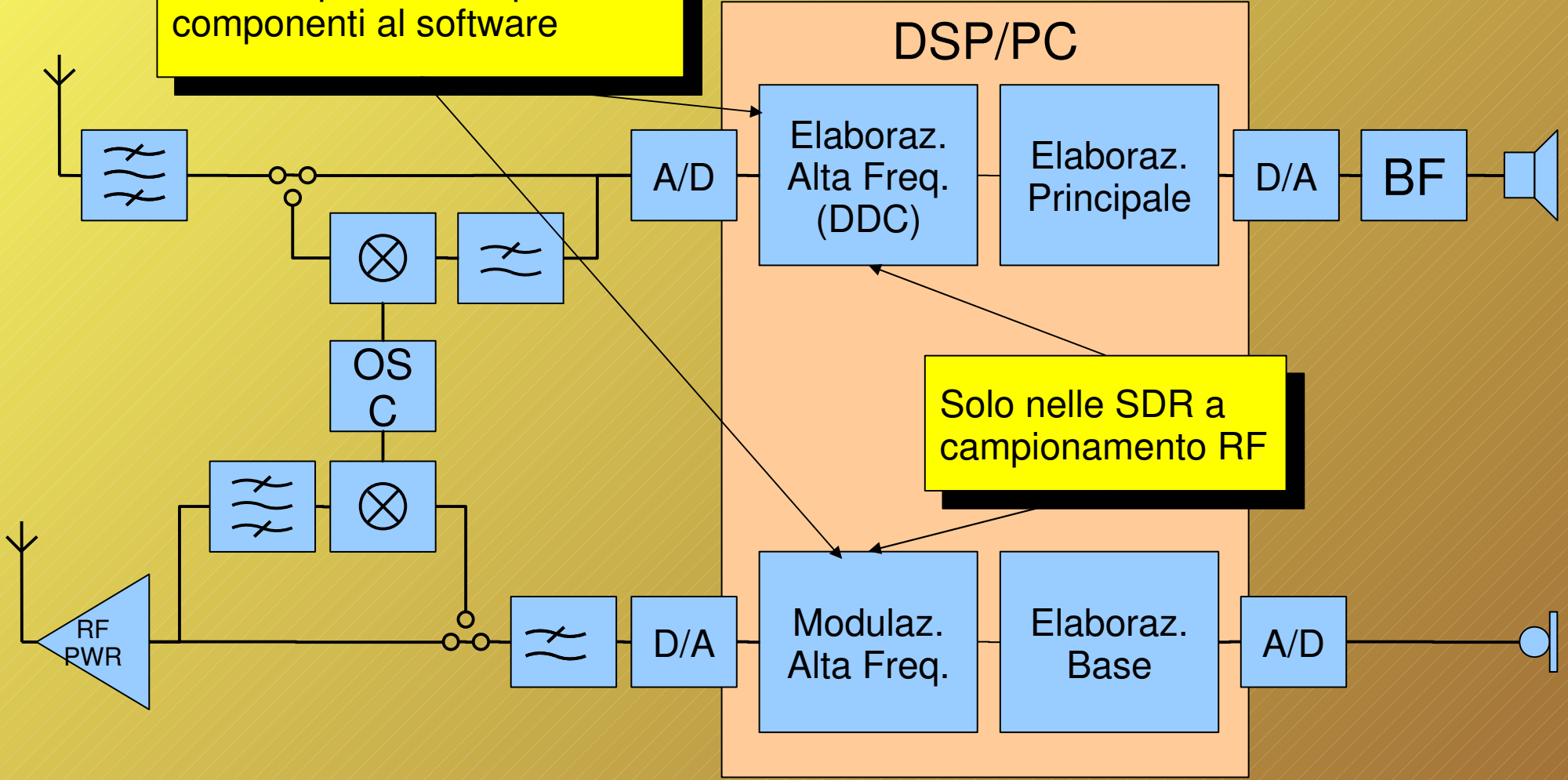
- Non dipende dalla velocità dell convertitore A/D



- Dipende principalmente dalla velocità di “moltiplicazione e accumulo” (MAC)
- Ecco perchè le architetture dei DSP tendono ad ottimizzare l'operazione di MAC

# Architettura di base di una SDR

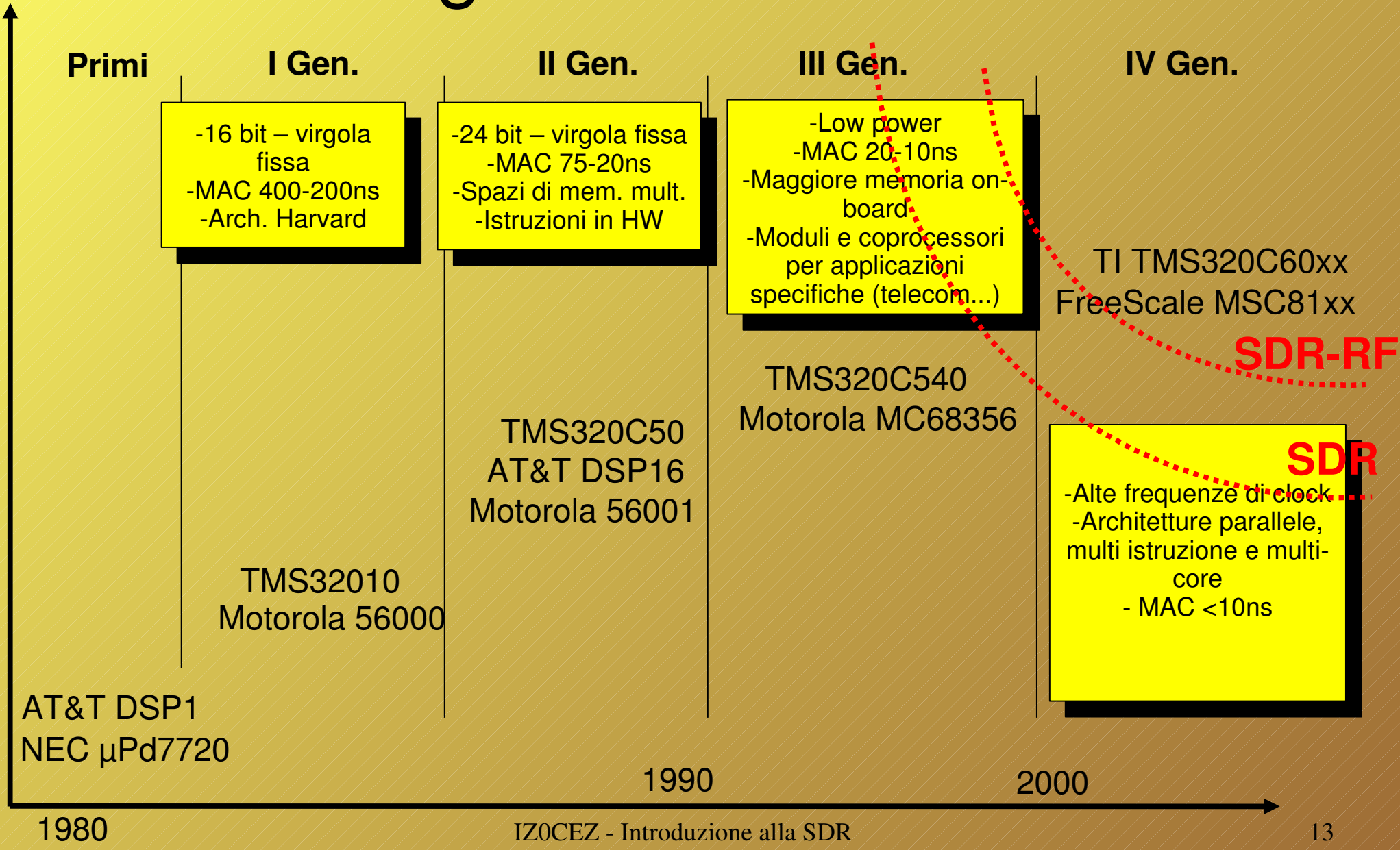
- Semplificazione costruttiva
- La complessità si sposta dai componenti al software



# Due classi di SDR

- Le SDR a conversione diretta
  - Le traslazioni della banda di interesse in banda base sono analogiche
  - Campionamento ed elaborazione in banda base
    - Ad es. con schede audio
- Le SDR a campionamento RF
  - Il campionamento avviene sul segnale RF proveniente dall'antenna o dal preamplificatore
  - Due sezioni DSP: DDC e Elaborazione in banda base

# Le generazioni DSP



# Campionamento in RF

- Reso possibile solo con l'introduzione di DSP di quarta generazione (dal 2000 in poi)
- Una elaborazione a 64 Mc/s ... 80 Mc/s gestisce segnali RF fino a 30 ... 40 Mhz
- Da un punto di vista del sistema campionato, è come se il segnale RF fosse già in banda base!
- Per frequenze superiori è necessario un mixer e una media frequenza
  - Con requisiti di prestazione comunque meno stringenti di una IF analogica perchè l'elaborazione principale avviene in digitale

Teorema di Shannon

# Esempi di SDR



## Microtelecom PERSEUS

RX VLF-LF-HF

Camp. 14 bit – 80MHz

## FlexRadio – FLEX series

RTX completi con le stesse funzioni di un  
RTX standard di alto livello - 100W

Modelli 3000 e 5000A simili, differiscono  
per funzionalità avanzate

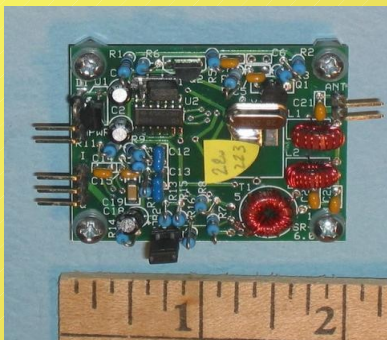
Il 5000C include un PC dual core (ma con  
2200\$ in più!??)

Mod.1500 - una versione QRP 5W





# Progetti SDR



## SoftRock Kits

Progetti di Tony Parks, KB5YIG - <http://www.kb9yig.com/>  
Una scheda RX per ogni banda da 160m fino a 15m  
Versione 6.2 RTX con schede aggiuntive Filtro/PA per TX  
E' un DDC che trasla in banda base. Il DSP finale avviene  
tramite una scheda audio con 96 KHz di banda  
Il software può essere qualsiasi, p.e. WinRad o il Rocky



## HPSSDR

Progetto di progetti di moduli integrati in un backplane comune  
Obiettivo: creare una SDR open source dalle alte prestazioni  
Campionamento diretto a 65MHz e segnale I/Q inviato su USB2.0  
<http://openhpsdr.org>



## GNURadio/USRP

Ne parliamo dopo... ;-)

# SDR & GNURadio

**Seconda parte**

**Introduzione a GNURadio**

Alberto Trentadue, IZ0CEZ

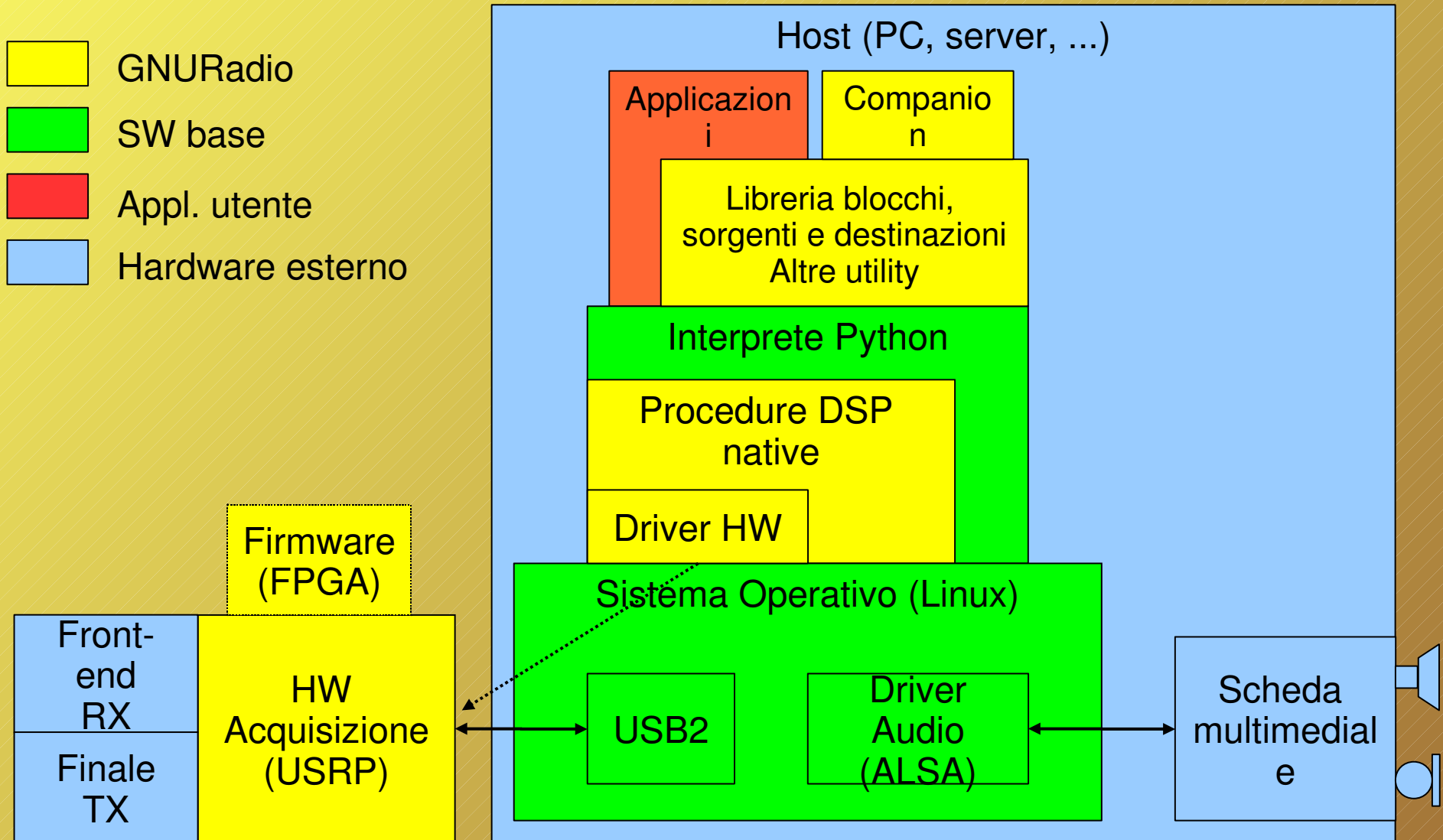
# Cos'è GNURadio

\*

- Piattaforma software (ed HW) per lo sviluppo e la sperimentazione di applicazioni SDR e DSP
- “Free” = Progetto aderente ai principi del Free Software del GNU Project
- Gira principalmente in ambiente Linux
  - Windows: possibile con lo strato Cygwin
- Sito web: [www.gnuradio.org](http://www.gnuradio.org)

# Architettura di GNURadio

\*



# Il linguaggio Python

\*

- Linguaggio di scripting estremamente potente
- E' un linguaggio interpretato (come il BASIC) ma dispone di tantissime librerie perfettamente integrate con il S.O.
- Permette la definizione di moduli nativi accessibili da script
  - Facilità di programmazione
  - Stesse prestazioni di un programma nativo

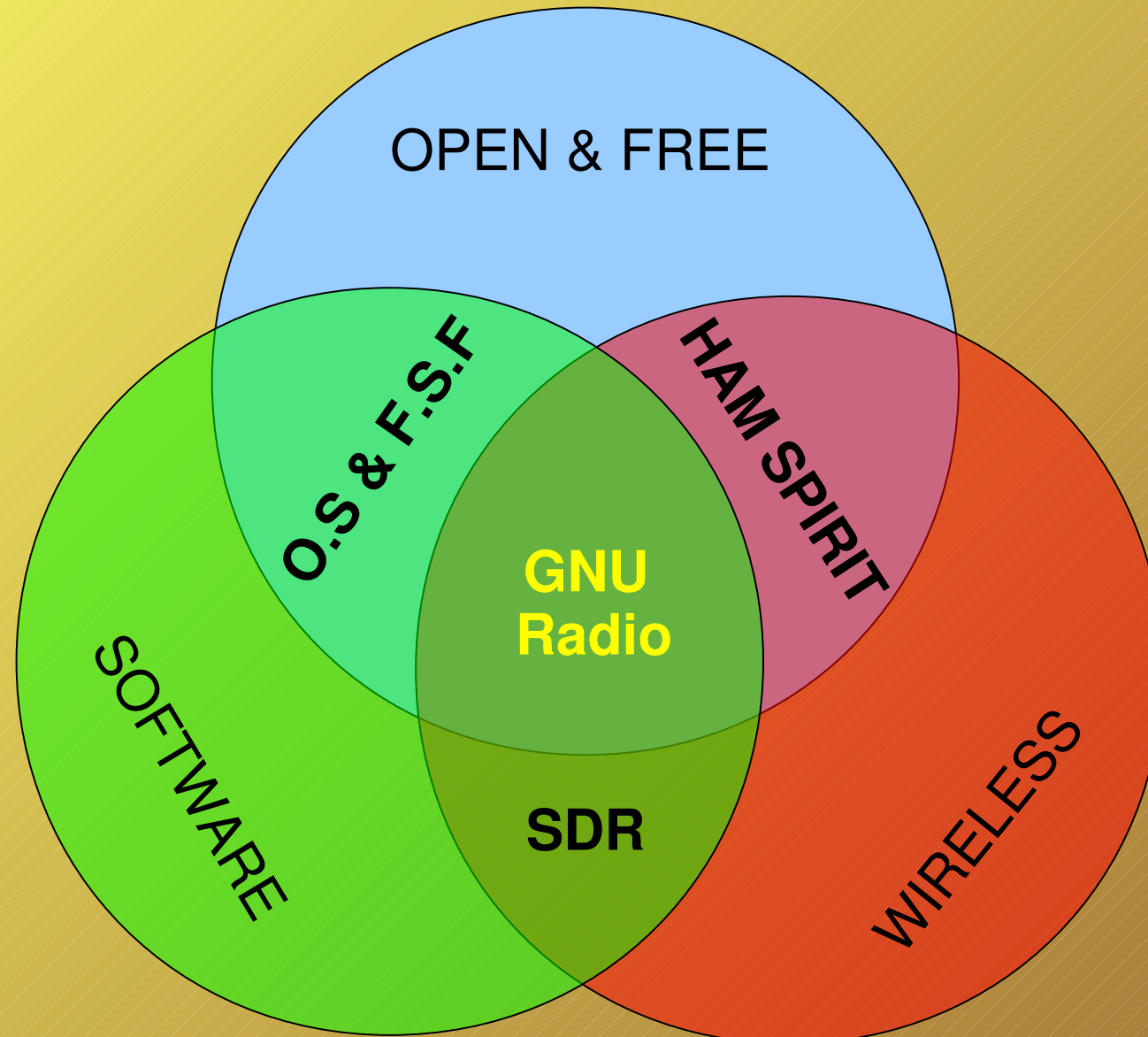
# Free Software e GNU



- Free Software è l'estremizzazione dell'Open Source
  - **NON** vuol dire software gratis ma software **LIBERO**
  - Difende il diritto dei programmatori di “aprire”, capire e modificare il software che essi usano
  - Introdotto da R.Stallman (1985) e portato avanti dal progetto del sistema operativo GNU
- La licenza GPL (General Public License) difende legalmente il Free Software da qualsiasi tentativo di chiusura all'interno di in un prodotto proprietario
  - non è possibile avere prodotti Free in cui una parte integrante non ha sorgente accessibile e viceversa
  - si estende anche ai prodotti derivati

# Free Software ed Ham Spirit

\*





# La USRP

- Scheda di acquisizione disegnata appositamente per GNURadio
  - Riduce problematiche HW ma non è vincolante
  - Schemi, PCB e progetti sono disponibili sul web
- Scheda principale
  - 4xA/D (12bit 64MSPS)
  - 4xD/A (14bit 128MSPS)
  - FPGA
  - USB2 controller (operante a 32MB/s)
- 2+2 slot schede figlie, ciascuna con 2 canali

# Le schede figlie della USRP <sup>\*</sup>

## Una grande varietà di schede figlie:

- BasicRX, BasicTX
- LFRX, LFTX (0-HF)
- TVRX (50-870MHz)
- 800MHz-2,4GHz RX
  - GSM/GPRS
- 400-500MHz RTX
- 1150-1450MHz RTX
- 1,5 – 2,1GHz RTX
- Banda S
  - 2,3-2,9 GHz
- RTX Dual Band S+C
  - 2,4-2,5GHz
  - 4,9-5,8GHz
- Pianificate anche schede per i 2m.

# Modello di riferimento

\*

- Radio = Connessione di Blocchi Funzionale
- Blocchi = funzioni DSP
- Sorgenti e Destinazioni = interfacce con l'esterno
- La radio viene “*avviata*” con l'*esecuzione* di un grafo di flusso, rappresentato con uno script in Python

# I blocchi DSP di GNURadio

\*

- E' l'aspetto chiave di GNURadio
- Scompongono naturalmente il sistema DSP nelle sue parti funzionali
  - Facilita il progetto, l'analisi e le modifiche
  - Apprendimento più rapido dei principi e delle pratiche del DSP
  - Campi di applicazione praticamente illimitati
- E' possibile definire ed usare blocchi personalizzati

# Esempi di blocchi

- Filtri DSP (FIR, IIR) passa-basso, -banda, alto, notch, stop-banda...
- Funzioni tipo AGC, mixers, amplificatori...
- Funzioni complesse tipo PLL, NCO, squelch...
- De/Modulatori di ogni tipo (AM, SSB, NBFM, WBFM, QAM...)
- Enc/Decoders (packet, FSK, PSK,...)
- Funzioni DSP pure (somme, estrazioni di modulo, ritardo, medie, RMS, decimazione...)

# Blocchi sorgenti e destinazioni \*

- Interfacce verso l'esterno
  - USRP
  - Scheda Audio (in, out)
    - GNURadio supporta DSP a valle di un RTX tradizionale
    - Speech processing
  - Generatori di segnale, di rumore, sinusoidi, onda...
  - File
  - Oscilloscopio!
  - Visualizzatore di spettro!
  - Waterfall display!

# Costruzione visuale

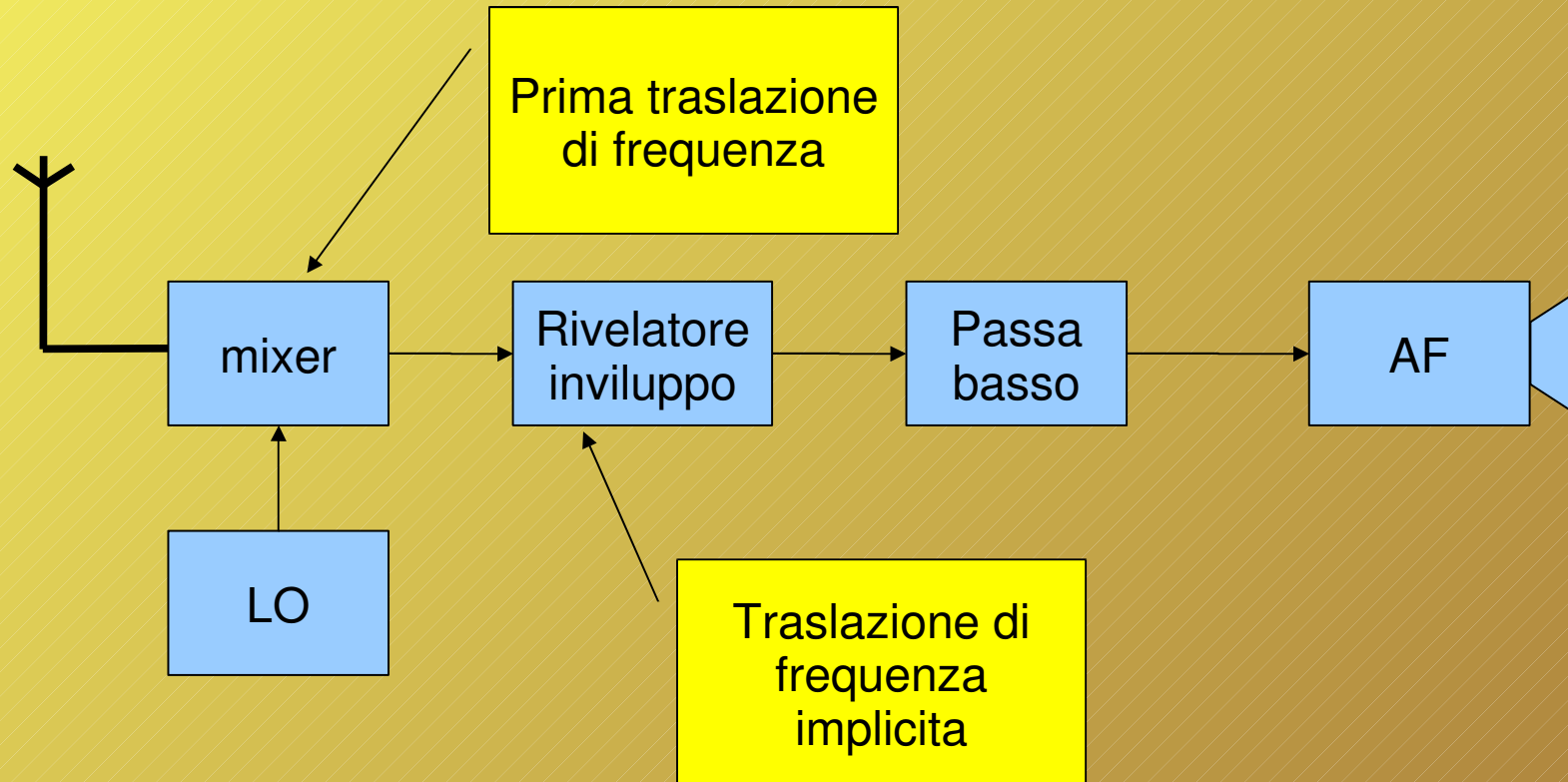
\*

- Uno strumento dalla grande potenza espressiva: il **GR Companion**
- Permette di mettere insieme visualmente i blocchi
  - esattamente come li si connette quando si progetta una radio
- Il progetto può essere *eseguito* sul PC e diventa immediatamente SDR!



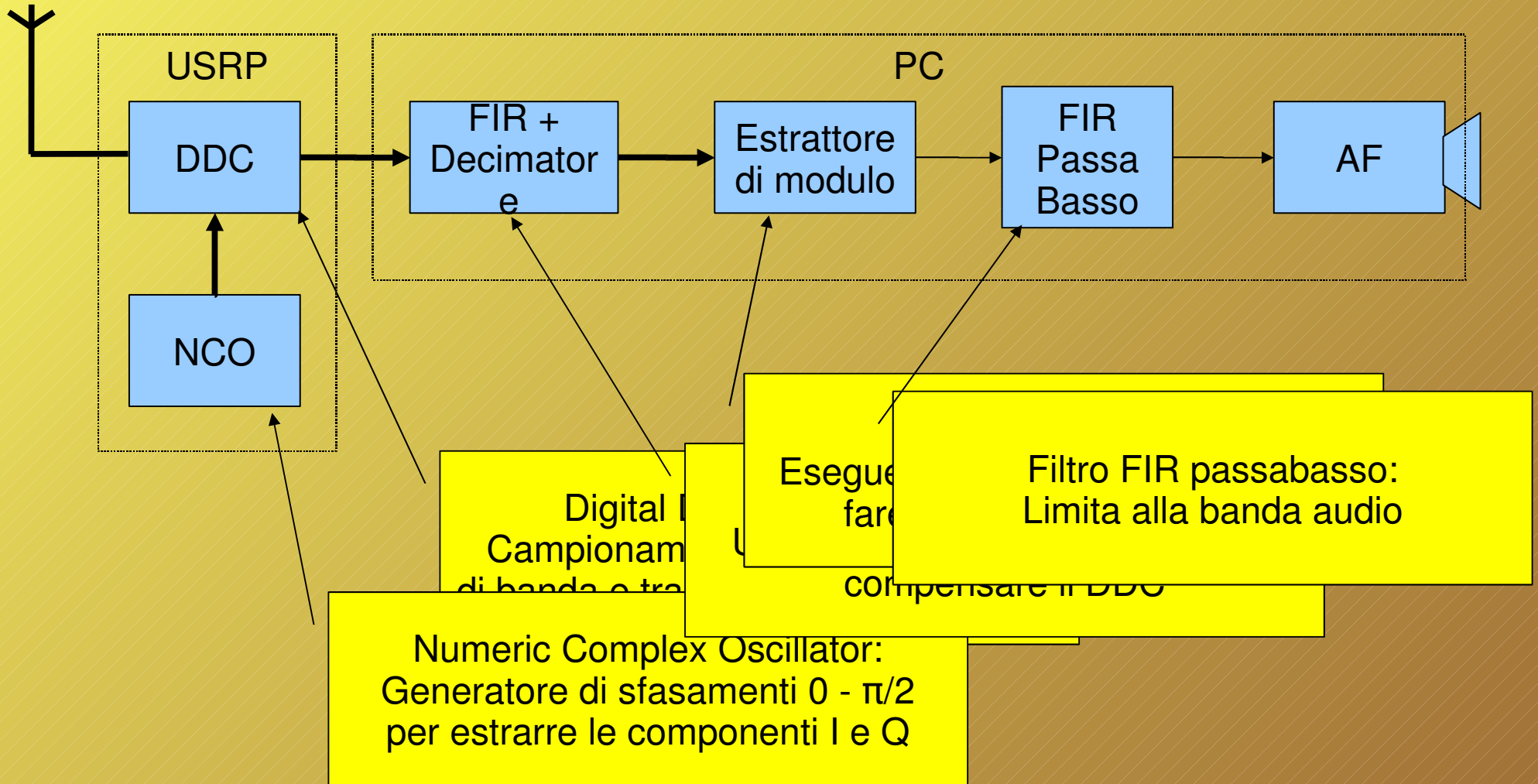
# Esempio di ricevitore AM

\*



# Ricevitore AM SDR

\*



# Le applicazioni di GNURadio <sup>\*</sup>

- GNURadio è soprattutto uno strumento di sperimentazione e prototipizzazione
- I campi di applicazione sono
  - Sperimentazione SDR/DSP didattica e amatoriale
  - Supporto alla ricerca (tesi, progetti sperimentali)
  - Applicazioni custom fortemente specializzate a basso costo
  - Sviluppo “*open*” in campo telecom
    - Protocolli ed apparati GSM/UMTS/NGN
    - WiFi e WiMAX

# GNURadio e i Radioamatori \*

- GNURadio toglie quell'aria di mistero intorno alla SDR
  - Rende concrete le nozioni astratte di DSP
  - Permette la sperimentazione immediata a costi accessibili
  - Riscopre il gusto dell'autocostruzione con tecnologie di avanguardia
  - Sintesi free radio / free software
- Supporto alla didattica
  - Possibilità di supporto e collaborazione con scuole ed università per la sperimentazione di tecnologie DSP

# Bibliografia

- Haddad, Parsons – “Digital Signal Processing” - Wiley
- [www.gnuradio.org](http://www.gnuradio.org)
- Wikipedia: DSP
- ARRL Handbook 2003