

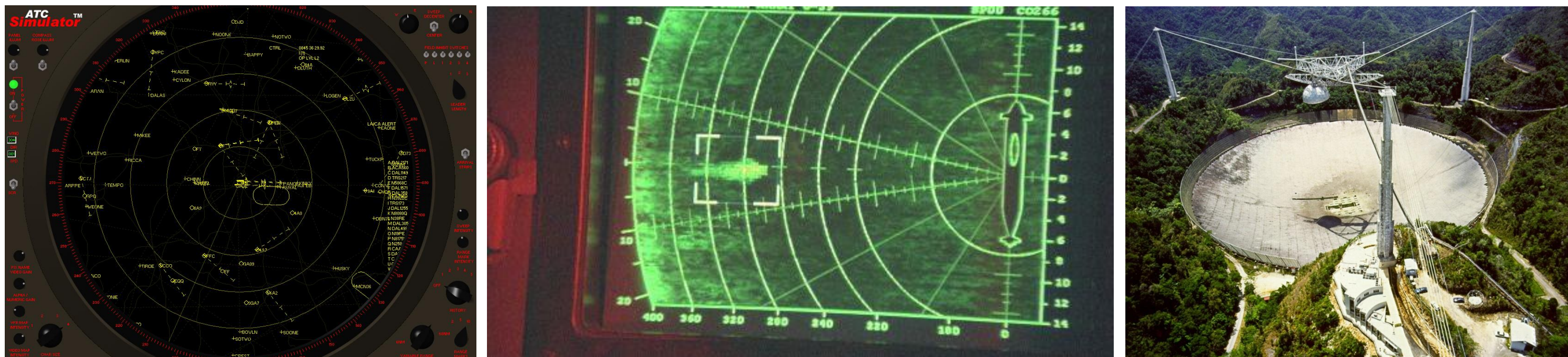
# Introduzione alle tecniche di misura di segnali deboli in presenza di rumori e disturbi

Senza nemmeno rendercene conto, nella vita di tutti i giorni utilizziamo sistemi in grado di manipolare deboli segnali elettromagnetici in presenza di forti rumori e disturbi. In termini più precisi, si parla di «segnali deboli» quando la **potenza** del segnale utile è molto inferiore a quella di rumori e disturbi. Si classificano come «rumori elettromagnetici» tutte quelle sorgenti naturali o artificiali che disturbano i segnali d’interesse in una banda relativamente larga ed in maniera uniforme. Ad esempio la radiazione cosmica di fondo ed il rumore termico, due sorgenti sempre presenti in natura. Si classificano invece come «disturbi elettromagnetici» tutti quelle sorgenti che occupano bande più limitate in maniera non uniforme. Esempio tipico sono due stazioni radio che occupano frequenze adiacenti disturbandosi a vicenda, linee di alimentazione elettrica, motori elettrici, saldatrici e forni industriali, etc.



Quello che invece non succede nella vita di tutti i giorni è la necessità di dover **misurare con precisione** le caratteristiche di **debolissimi segnali** (nano Watt, milionesimi di Watt) in presenza di rumori e disturbi elettromagnetici importanti.

Applicazioni in cui sono indispensabili misure precise sui segnali ricevuti sono: RADAR e SONAR, radiotelescopi (es. SETI), LASER scanner ad alta risoluzione (RGB-ITR), etc.



RADAR

SONAR

RADIOTELESCOPIO

In tali situazioni la semplice rivelazione ed uso «*qualitativo*» dell’informazione contenuta nei segnali non è sufficiente ma diventa indispensabile la **misura precisa** di caratteristiche quali l’ampiezza, la fase, la distribuzione della potenza nel dominio della frequenza (spettro), il rapporto tra la potenza del segnale e quella del rumore, etc. Per motivi storici , lo strumento elettronico principalmente utilizzato in queste applicazioni viene detto «**Lock-In Amplifier**» (**LIA**, amplificatore ad aggancio di fase). In italiano, è più corretto utilizzare la denominazione «amplificatore selettivo con demodulazione coerente».

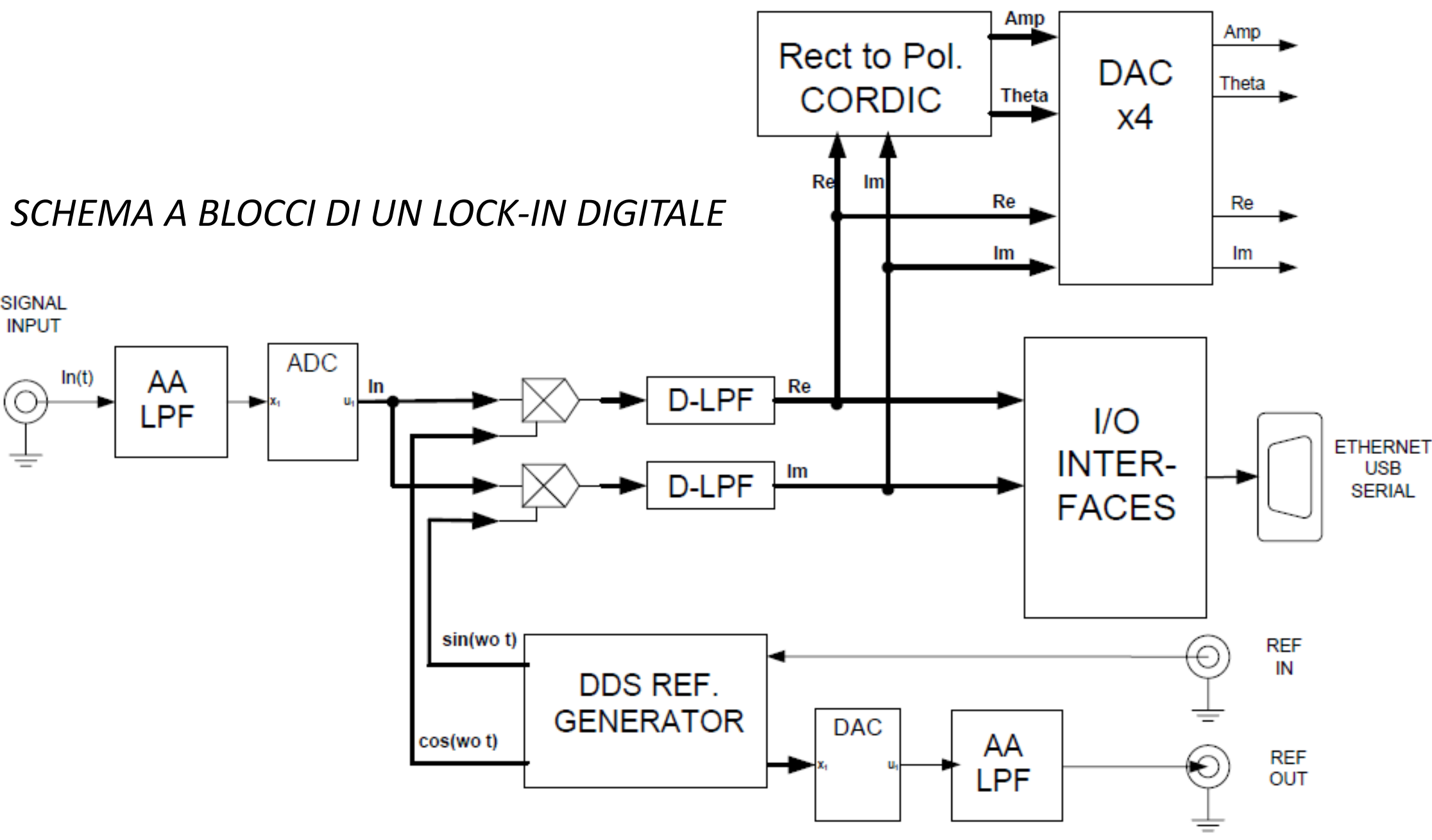
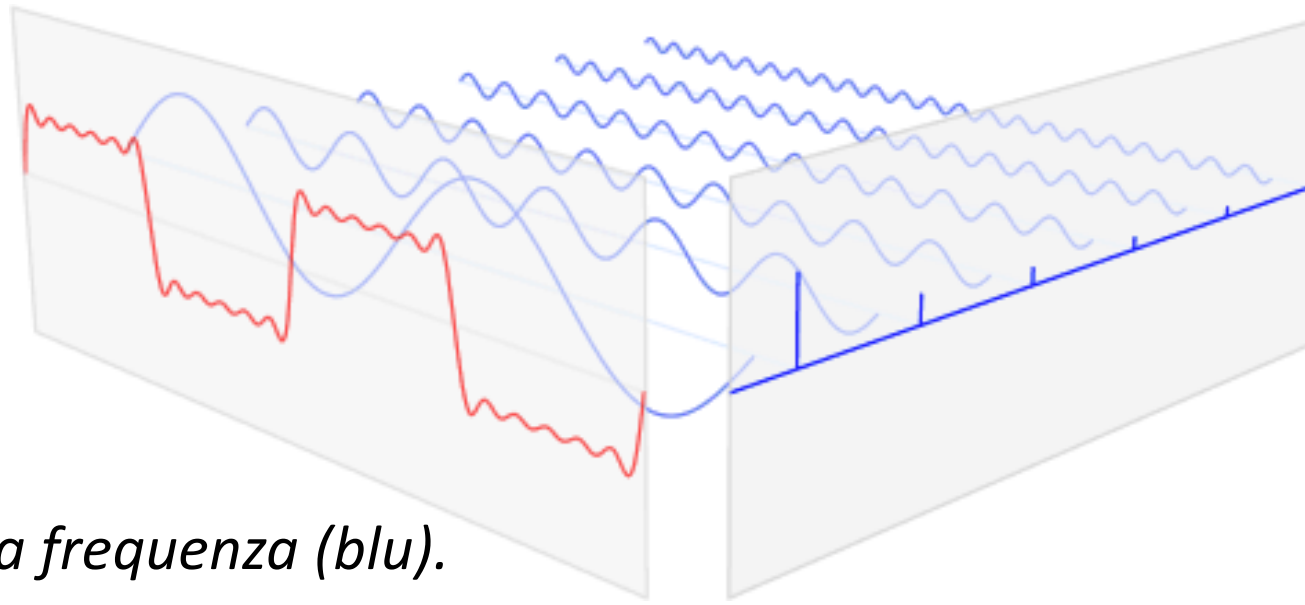
## Teoria e pratica della demodulazione coerente

La teoria matematica della demodulazione coerente si basa sugli studi di Jean Baptiste Joseph **Fourier**, matematico e fisico francese vissuto a cavallo tra il ‘700 e l’800. Fourier costruì un modello matematico della propagazione del calore nei materiali basato sulla decomposizione di una qualunque funzione matematica ***In(t)*** (che - nel nostro caso - rappresenta il segnale d’ingresso) in una serie convergente di funzioni trigonometriche armoniche (seno, coseno) le cui ampiezze vengono indicate come ***Re*** (parte reale) e ***Im*** (parte immaginaria). Questo metodo di calcolo viene detto **TRASFORMATATA DI FOURIER**. La sua implementazione numerica (es. utilizzando un calcolatore elettronico) viene detta **FFT** (Fast Fourier Transform): tale tecnica permette una sostanziale riduzione del tempo di calcolo, indispensabile quando si vuole ottenere un’analisi del segnale in tempo reale.

*Rappresentazione di un segnale nel dominio del tempo (rosso) e nel dominio della frequenza (blu).*

$$Re = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} In(t) * \cos(\omega_M t) dt$$

$$Im = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} In(t) * \sin(\omega_M t) dt$$



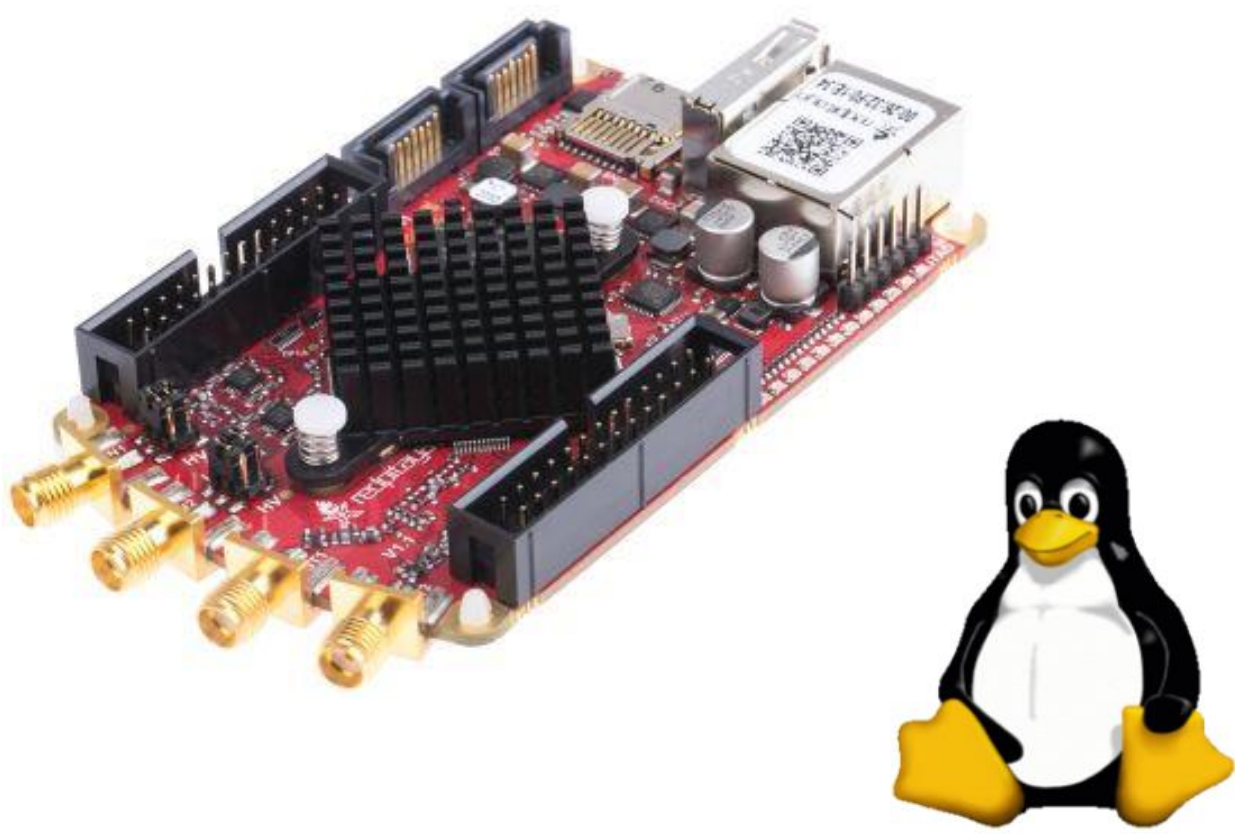
## Demodulazione coerente realizzata con tecnologie numeriche

La tecnologia analogica resta tuttora competitiva – rispetto a quella digitale – quando si ha a che fare con frequenze superiori a 10 MHz. Questo è dovuto all’elevato costo dei convertitori analogico/digitale e dei circuiti integrati ad alte prestazioni. Inoltre, allo stato attuale dell’arte, un LIA analogico a 200MHz richiede un’alimentazione di pochi Watt contro le decine di Watt richiesti dal suo equivalente digitale.

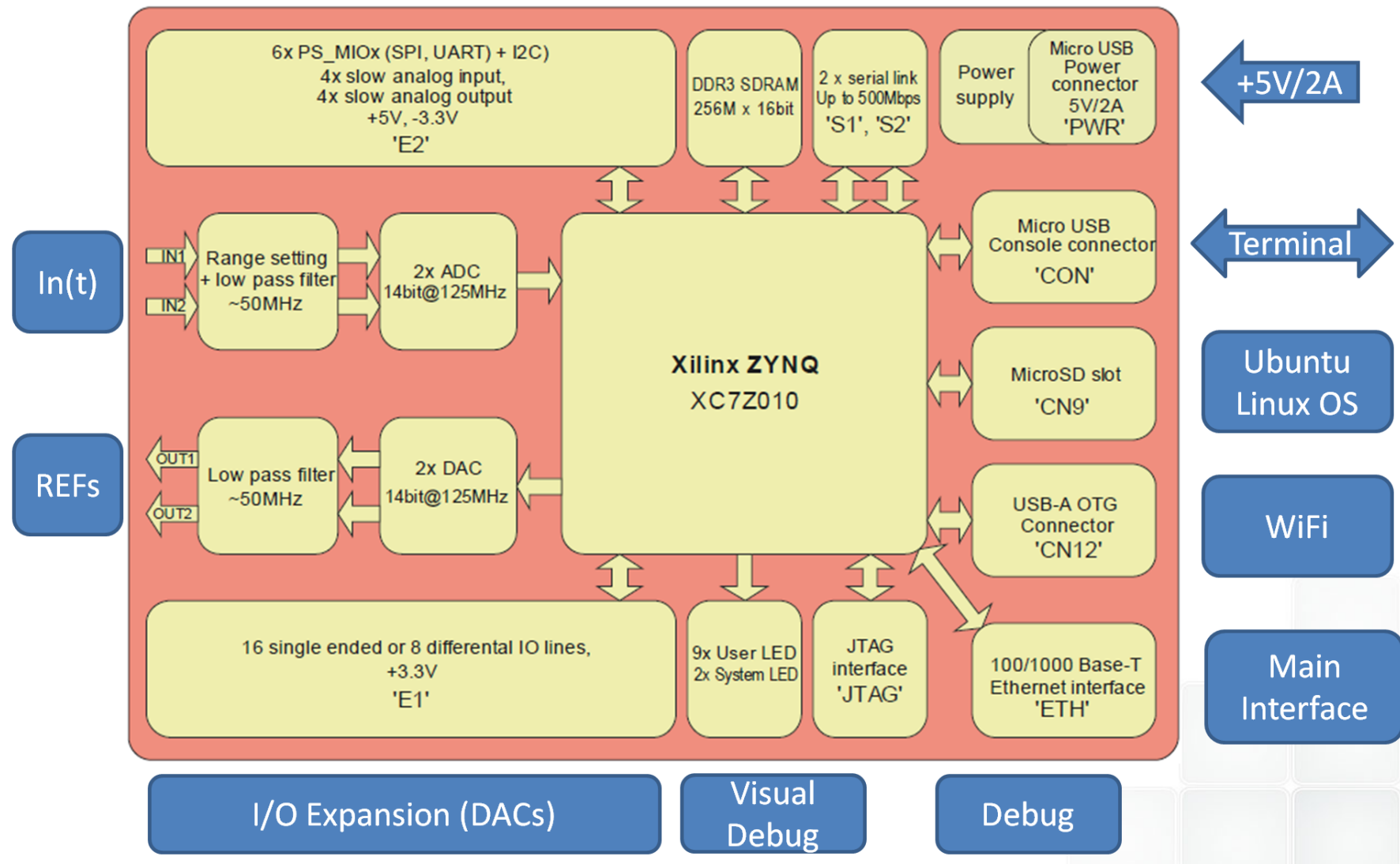
Il LIA viene impiegato in numerose applicazioni dove le frequenze operative sono comprese tra 1mHz e 10 MHz. In questi casi, le moderne tecnologie numeriche offrono soluzioni oramai superiori alle soluzioni analogiche ed offrono numerosi «vantaggi collaterali» come la connessione diretta con dispositivi mobili come smartphone e tablet e la connettività Internet. Esistono diverse tecnologie numeriche per implementare un LIA digitale:

- PC (CPU) usare un normale PC/Tablet/Smartphone per implementare un LIA come « software application» è possibile fino a frequenze dell’ordine di 20-40 kHz.
- DSP (Digital Signal Processors): dispositivi progettati per il trattamento dei segnali utilizzabili fino a 100-200 kHz
- FPGA («Field Programmable Logic Array) è possibile arrivare fino al GHz, ma costi e consumi elettrici sono attualmente competitivi solo fino a 1-10 MHz.

Con l’obiettivo di arrivare ad una realizzazione economicamente competitiva e «allo stato dell’arte», ovvero che permetta la futura migrazione del progetto anche su campi operativi superiori ai 10 MHz, è stata scelta la scheda **Red Pitaya**, una scheda basata su di un SOC (**System On Chip**) della Xilinx. Il SOC Xilinx serie 7000 integra un processore **ARM** «dual core» in grado di supportare un SO **Linux** completo e una FPGA in grado di implementare due canali LIA indipendenti.

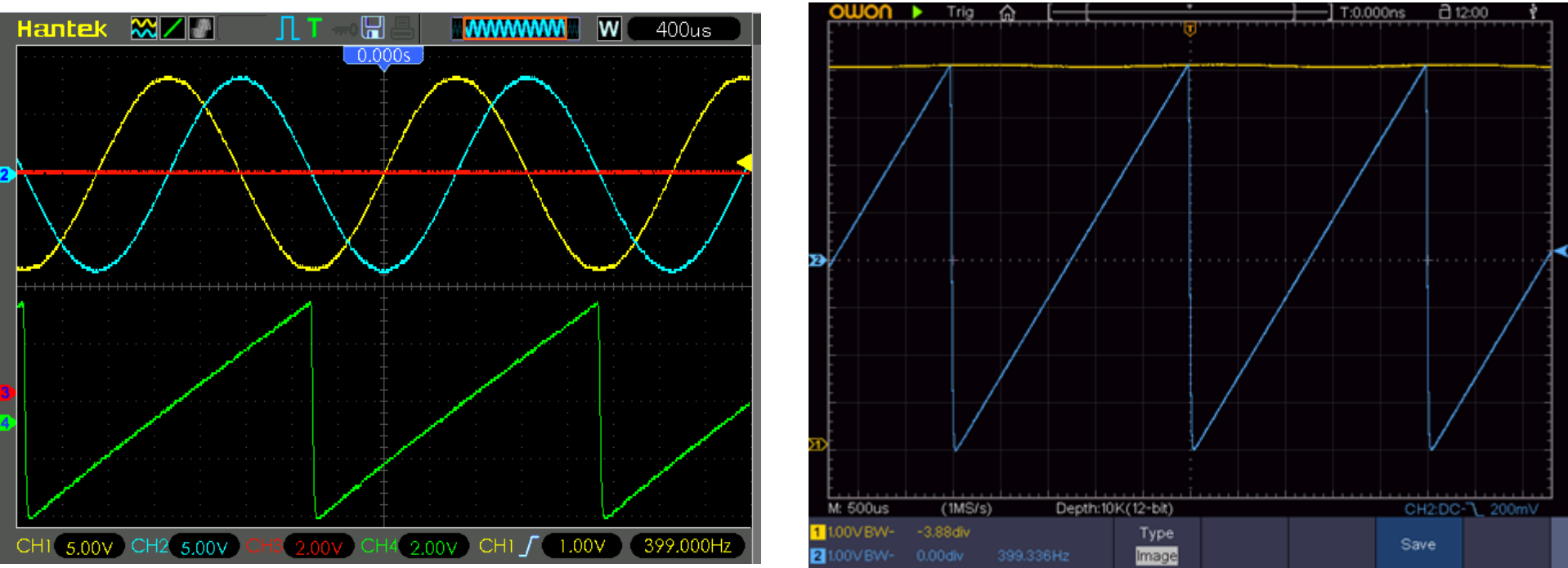


Scheda SOC (CPU + FPGA) Red Pitaya



## Lavori in corso, applicazioni specifiche e prospettive future

Il primo prototipo «*Red Scorpion LIA V1*» (**RSV1**) è stato presentato a Dicembre 2017. Lo scopo di questo sviluppo è stato verificare la realizzabilità di un LIA completamente digitale implementato in un componente FPGA/SOC relativamente economico (500€, convertitori ADC e DAC inclusi). L’implementazione di funzioni numeriche avanzate all’interno di una FPGA si è dimostrata possibile ed economicamente competitiva, ma ha richiesto un significativo investimento di tempo (circa quattro mesi) per familiarizzare con la metodologia di lavoro della piattaforma **Xilinx VIVADO**. Durante il primo semestre 2018 sono stati individuati due esperimenti/settori applicativi (in aggiunta a **RGB-ITR**) per i quali si sta sviluppando una versione ingegnerizzata **RSV2-SF-ZSC** che sarà prodotta in piccola serie da un’azienda esterna.



Test di linearità della risposta in ampiezza e fase (SX: 8 bit, DX: 12 bit)

Per la **diagnostica di superconduttori ceramici (SC)** usati per la trasmissione di energia e per la realizzazione di macchine elettriche (motori, generatori, etc.) è necessario condurre delle misure di **spettroscopia d’impedenza (Zx)** ad alta corrente (1000 A) nel campo di frequenze 0.1-500Hz. Per determinare l’impedenza del superconduttore Zx è necessario misurare ampiezza e fase di un segnale di pochi micro Volt in maniera coerente con la corrente impressa. A questo scopo viene impiegato un LIA.

Il progetto **SAFE FOOD (SF)** ha lo scopo di sviluppare strumentazione non invasiva in grado di rivelare contaminanti e frodi alimentari. A questo scopo viene utilizzato un LASER infrarosso a lunghezza d’onda variabile che illumina il campione sotto analisi con un fascio modulato (100Hz-100 kHz) in ampiezza. Il campione emette un’onda di pressione che viene rivelata da un apposito trasduttore; il segnale elettrico proveniente dal trasduttore, di debolissima ampiezza (micro Volt) e affetto da rumore ambientale, viene «ripulito» dal LIA. Il segnale in uscita dal LIA viene successivamente utilizzato per individuare l’eventuale contaminazione o contraffazione.