

Il controllo real-time di un grande sistema distribuito: il caso di Advanced Virgo

Giovanni Cerretani (Università di Pisa & INFN Pisa)

*Pisa, 23 aprile 2015
Congressino Dip. Fisica*



Le onde gravitazionali

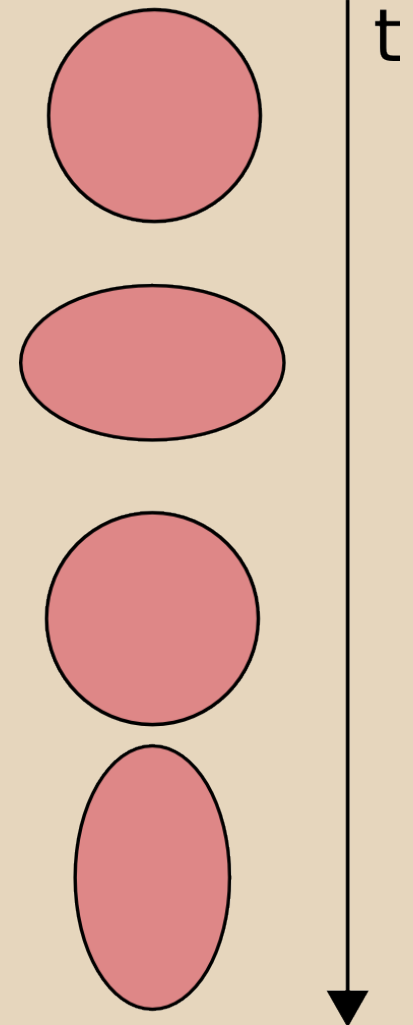
Onde Grav. : Relatività Generale
=
Onde E.M. : Equazioni di Maxwell

Ad oggi nessuna rivelazione diretta.

Tuttavia la teoria è estremamente affidabile:

**in 100 anni, la Relatività Generale
*non ha mai sbagliato un colpo.***

Ampiezza tipica: $\Delta L/L < 10^{-18}$



100 anni di storia



1887

Esperimento di Michelson sull'etere con un interferometro

1915

Albert Einstein pubblica la teoria della Relatività Generale

1972

Reiner Weiss ipotizza la rivelazione di onde gravitazionali con un interferometro di Michelson

2007

Primi dati di VIRGO e LIGO

Advanced Virgo



Cosa è?

→ Interferometro con bracci di 3 km

Dove è?

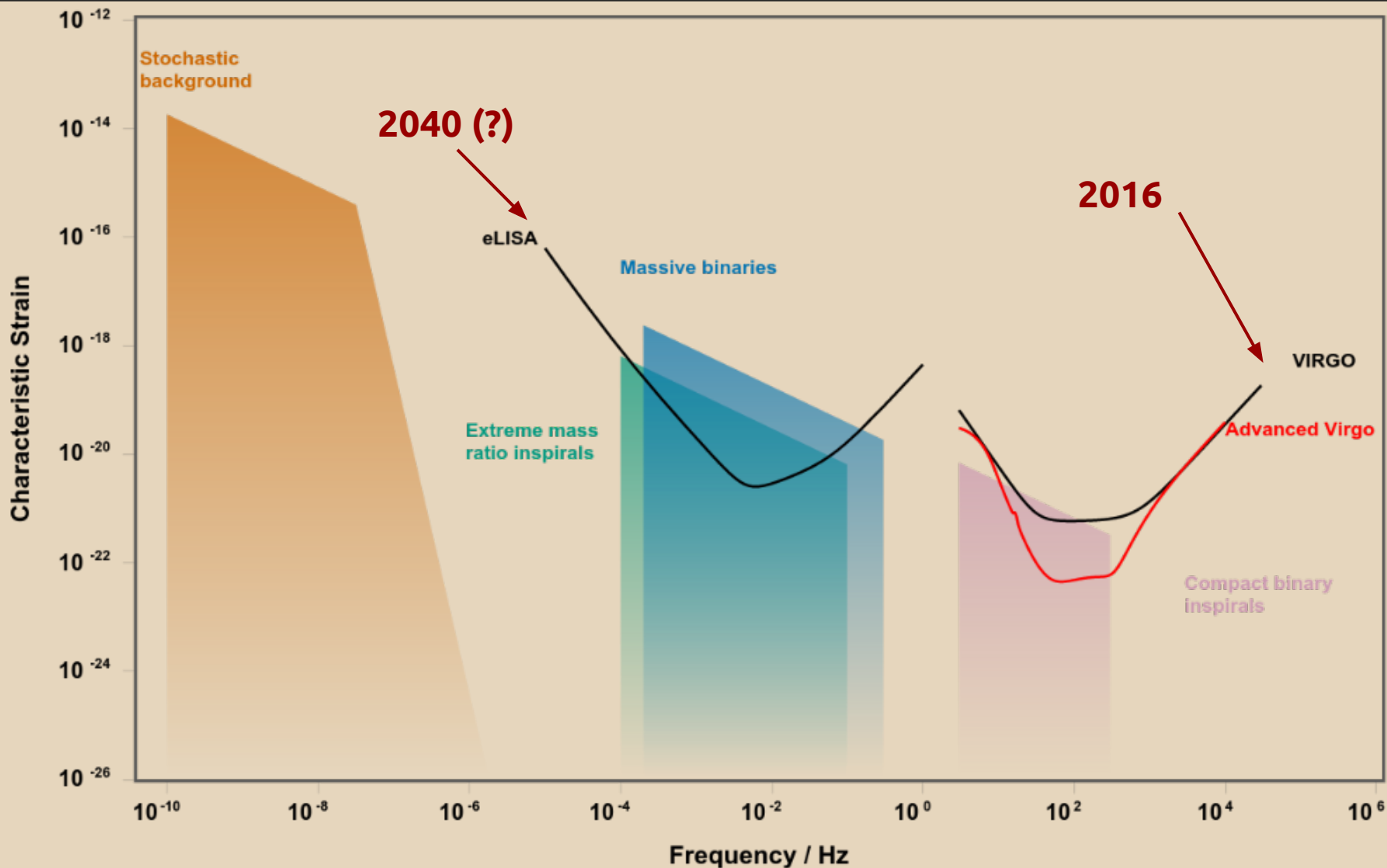
→ 10 km a sud est di Pisa

Cosa fa?

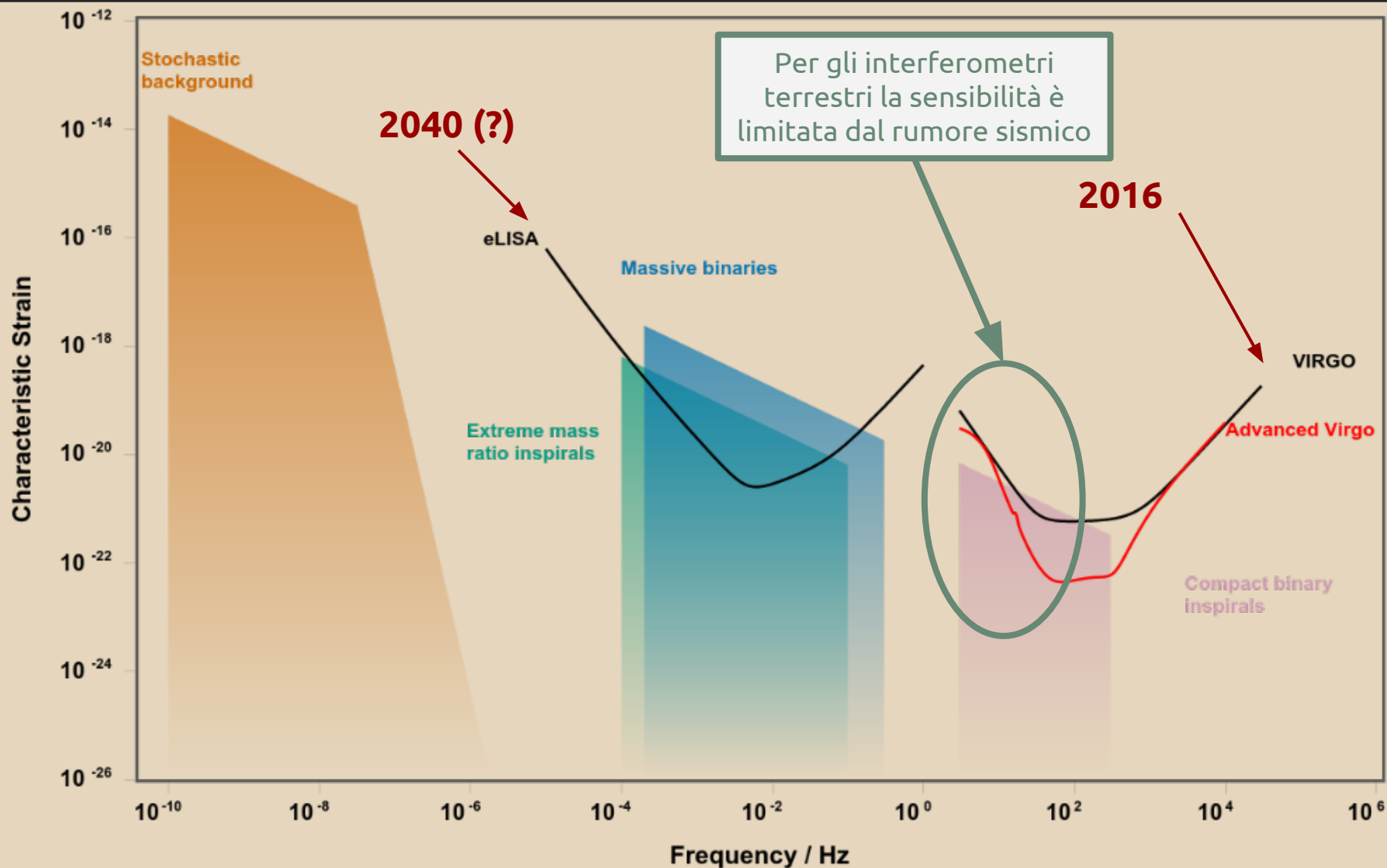
→ Migliora la sensibilità di Virgo di un fattore 10

Il rate di eventi osservabili aumenta di un fattore **1000**

Sensibilità e sorgenti



Sensibilità e sorgenti

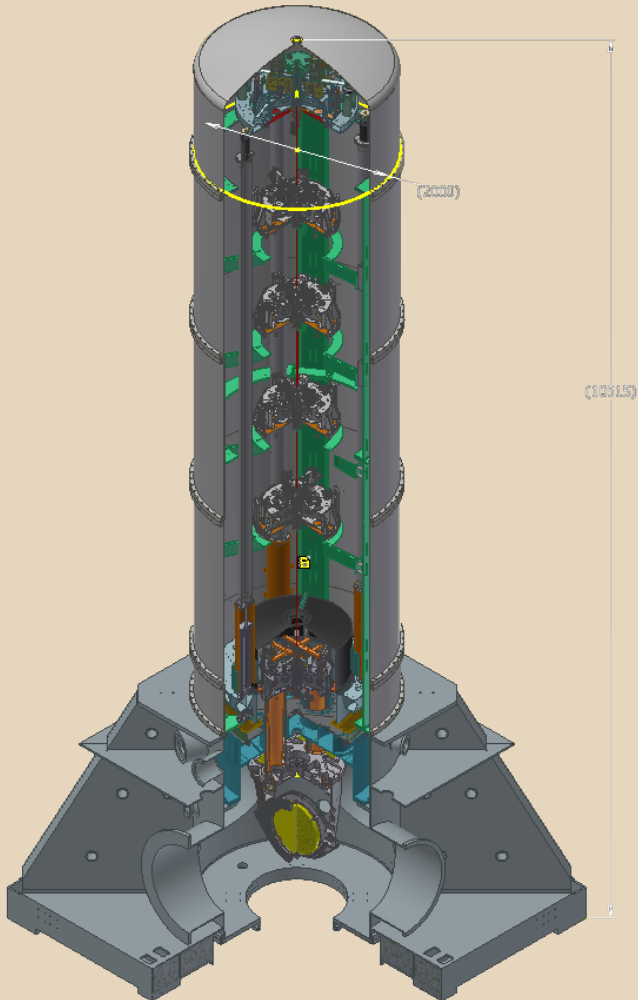


Le sospensioni degli specchi

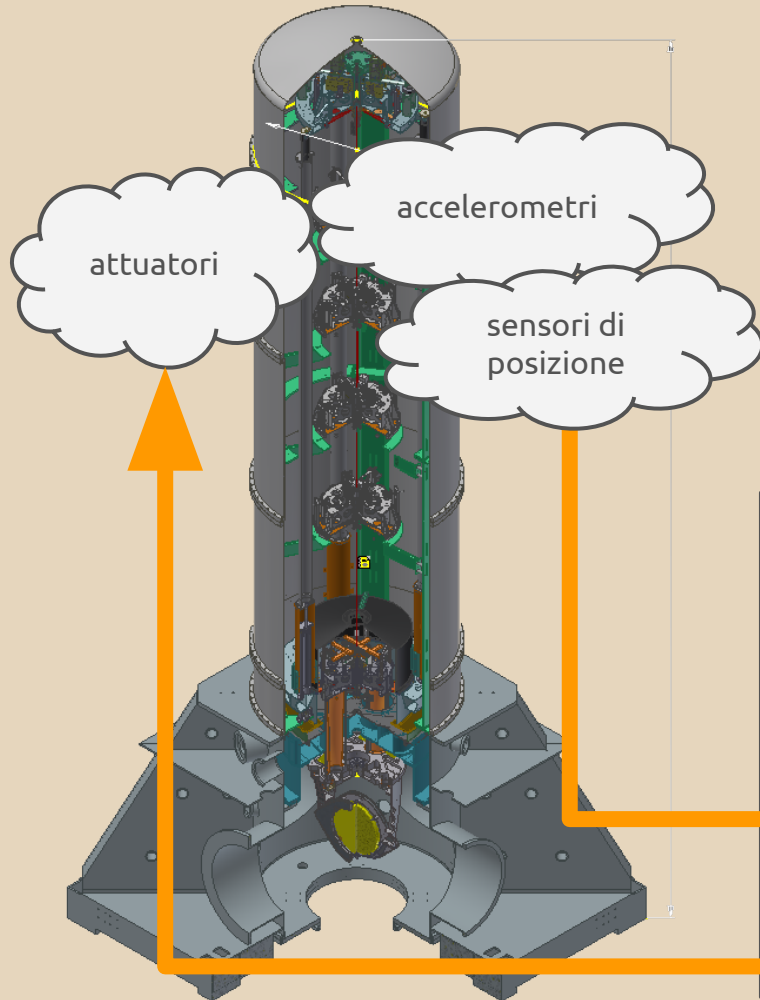
**Progettate e sviluppate dal
gruppo INFN Pisa.**

Filtrano il rumore sismico come f^{-2n}
cioè di un fattore

10^{-15} già a 10 Hz



Le sospensioni degli specchi



Progettate e sviluppate dal gruppo INFN Pisa.

Filtrano il rumore sismico come f^{-2n} cioè di un fattore

10^{-15} già a 10 Hz

Controllate da un complesso sistema in feedback:

**processori
hard-real-time**

Sensoristica

Sfida:

- Creare sensori per controllare la posizione della sospensione.

accelerometri

$$10^{-10} \frac{\text{m/s}^2}{\sqrt{\text{Hz}}}$$

sensori di posizione

$$10^{-9} \frac{\text{m}}{\sqrt{\text{Hz}}}$$

Tanto per dare un senso a questi numeri:

Gli accelerometri di Advanced Virgo sono 10 milioni di volte più sensibili di quelli del Samsung Galaxy S6.

Per ogni scheda integriamo:

- Un'interfaccia A/D a bassissimo rumore
- Un controllo digitale di elevata complessità

ADC e DAC

6 canali in ingresso
6 canali in uscita
24 bit a 320 kHz

DSP

calcolo hard-real-time
60 GFLOPS in doppia
precisione per DSP

Rispetto a un esperimento di particelle:

1. meno canali da acquisire
2. precisione molto più alta del singolo canale
3. assenza di trigger: Virgo registra tutto (un po' come un file audio)

Perché usare i DSP?

Piattaforma	Tempo effettivo per il calcolo di una FFT a 1024 punti in singola precisione (μ s)	Potenza (W)	Energia per FFT (μ J)
DSP TI C6678 @ 1.2 GHz	0.86	10	8.6
GPU nVidia Tesla C2070	0.16	255	36
CPU Intel Nehalem Quad Core @ 3.2 GHz	1.2	130	156

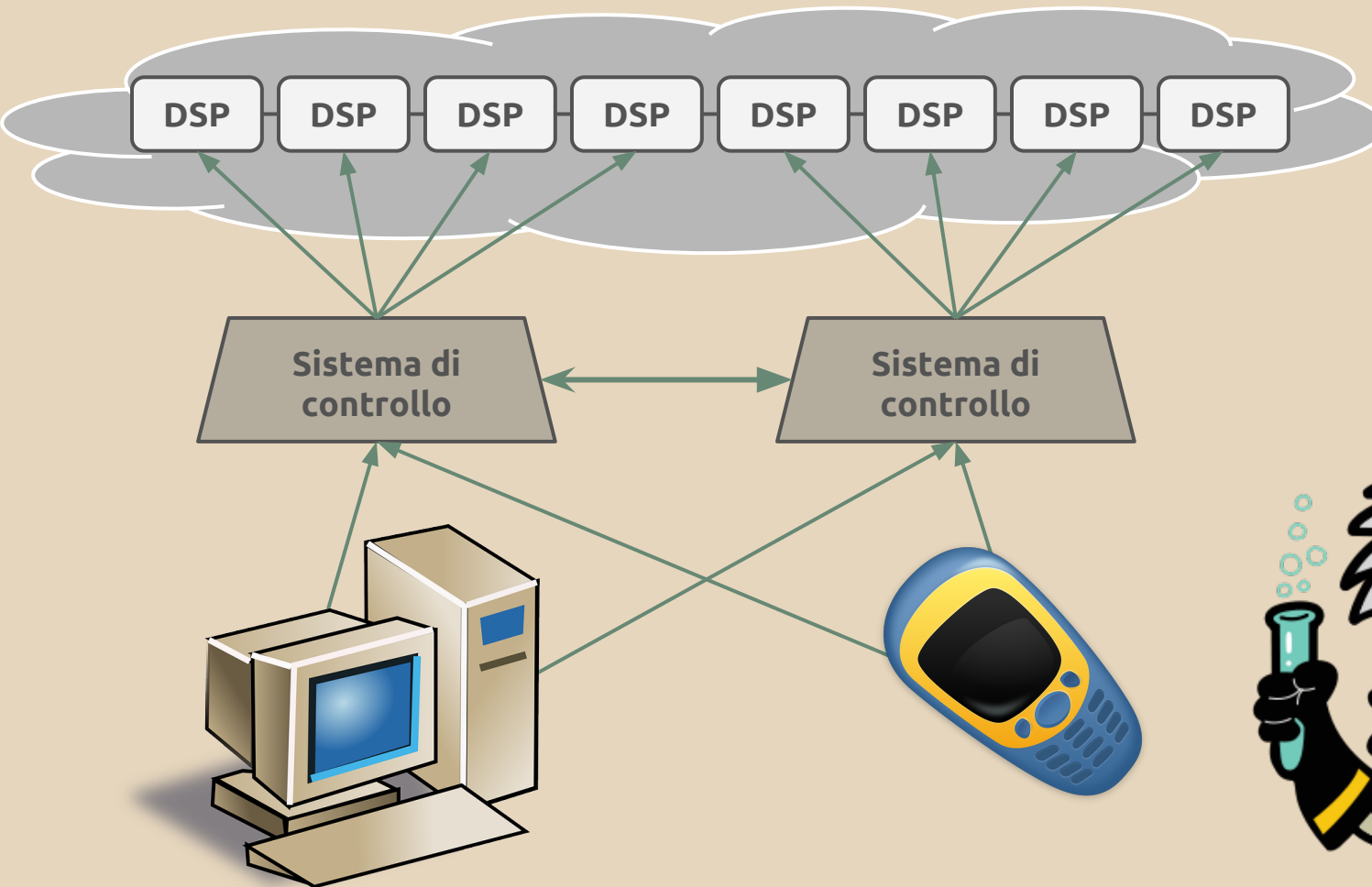
A parità di energia dissipata le prestazioni dei DSP sono:

- più di 4 volte migliori delle GPU
- più di 18 volte migliori delle CPU

Software

Abbiamo costruito un enorme sistema di calcolo distribuito:

circa 200 DSP
sincronizzati via GPS
@320 kHz

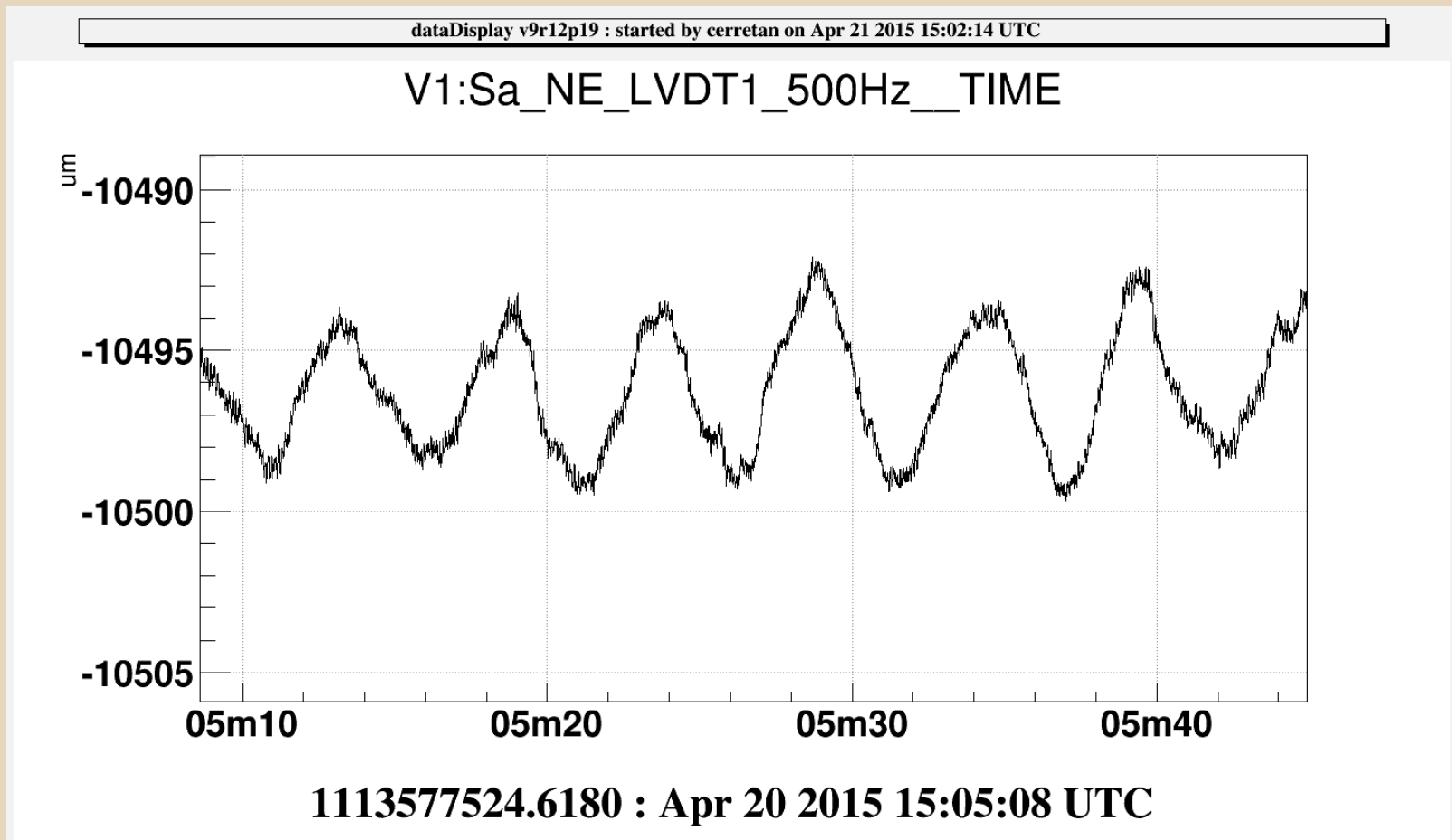


In pratica cosa facciamo?

1. fisica sperimentale su gravità (e dintorni)
2. tanta meccanica, tanta elettronica
3. controlli in feedback, filtri digitali
4. programmazione a basso livello per i DSP
5. reti di computer, telecomunicazioni, sistemi di controllo distribuiti
6. interfacce di alto livello per controllare l'apparato sperimentale (su computer, su smartphone, ...)

Qualche esempio pratico

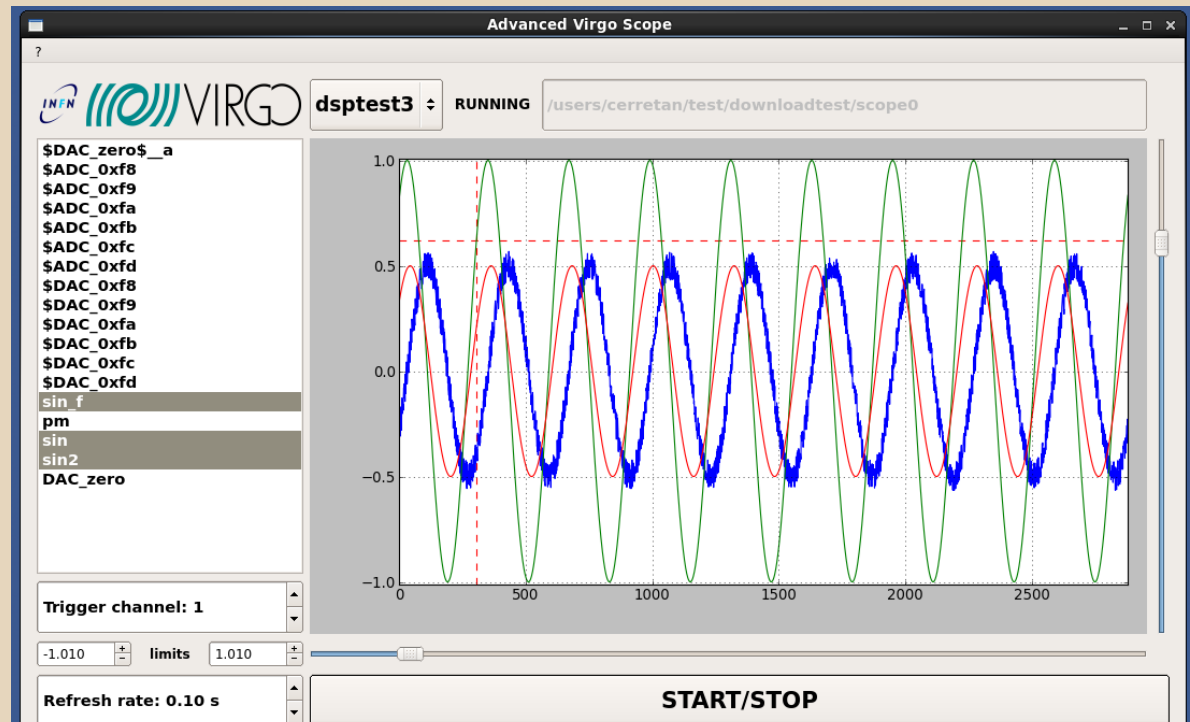
Primi test sulla nuova elettronica in corso da pochi giorni.



Qualche esempio pratico

Un oscilloscopio + analizzatore di spettro

- 6 canali in ingresso e 6 canali in uscita per DSP
- 24 bit di risoluzione, 4 MSPS
- ampia collezione di funzioni matematiche
- trigger, analisi nel dominio della frequenza, calcolo di funzioni di trasferimento, ...



Grazie!