

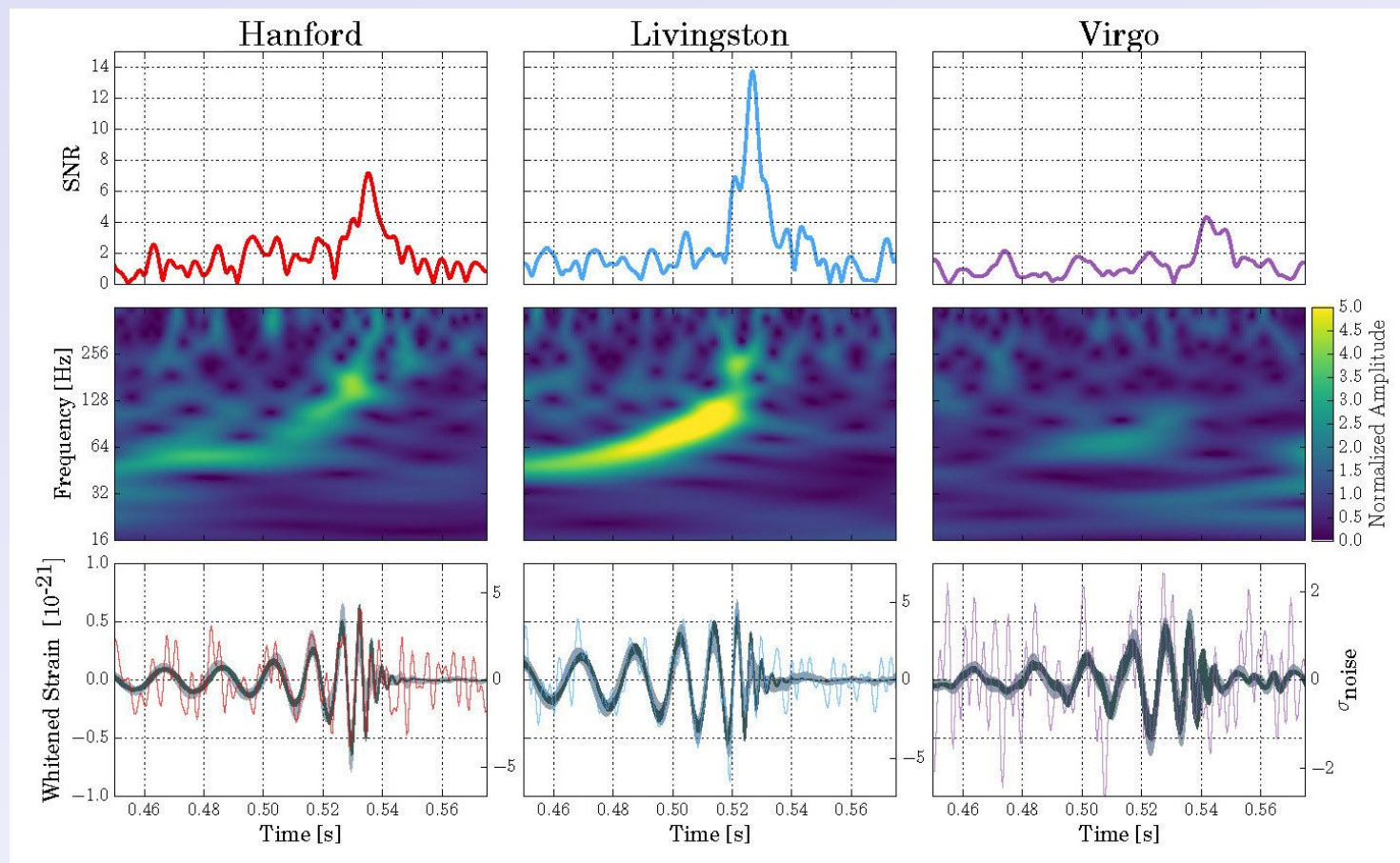
Irene Fiori ⁽¹⁾, Federico Paoletti ⁽²⁾, Valerio Boschi ⁽¹⁾

(1) European Gravitational Observatory, (2) INFN sezione di Pisa

Rivelare le Onde Gravitazionali

Il 14 Settembre del 2015 l'onda gravitazionale prodotta dalla collisione di due buchi neri avvenuta 1.3 miliardi di anni fa è stata rivelata dai due osservatori gravitazionali LIGO negli USA. Questa osservazione è stata premiata con il Nobel per la Fisica del 2017.

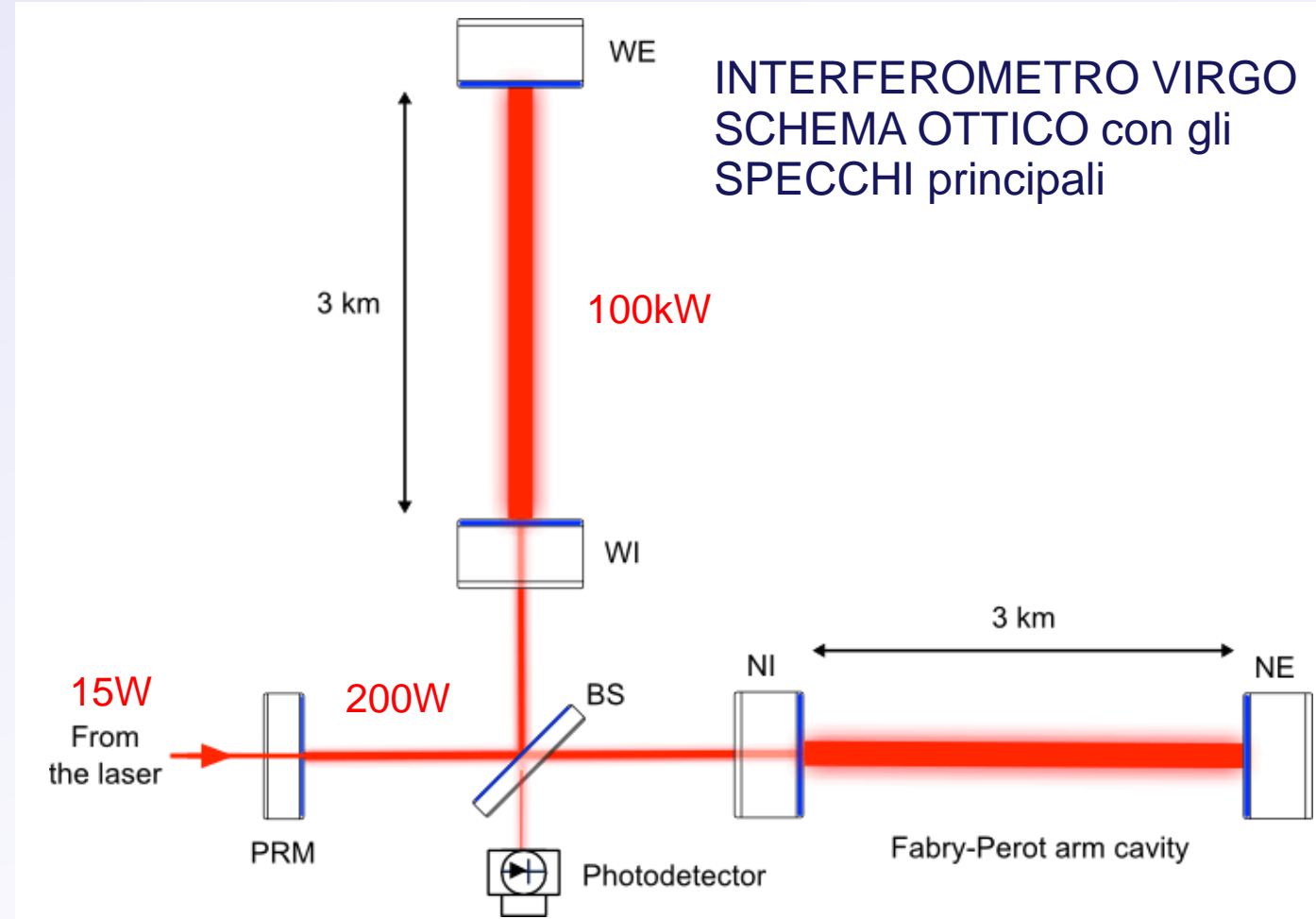
Il primo Agosto 2017 è entrato in funzione anche l'osservatorio italiano VIRGO. Il 14 Agosto è stata fatta la prima osservazione in triplice coincidenza, mostrata nella figura sottostante.



Segnale di onda gravitazionale osservato il 14 Agosto 2017 in triplice coincidenza dagli osservatori LIGO e VIRGO

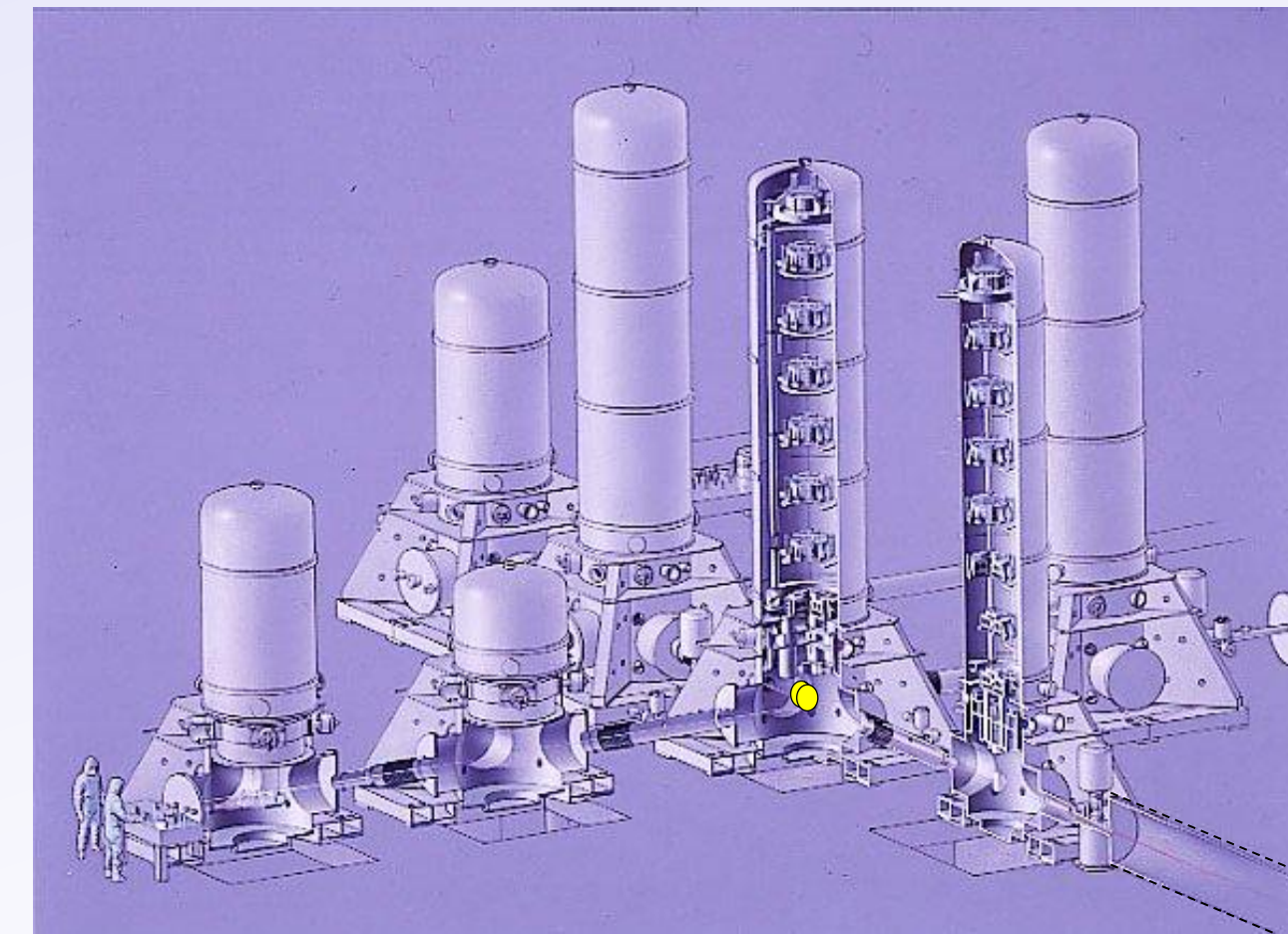
Come funziona VIRGO

Virgo è un grande interferometro laser di elevata precisione. Un fascio di luce laser infrarossa è diviso in due fasci sincroni perpendicolari che entrano nei "bracci" di 3km. Ciascun braccio è una cavità ottica risonante formata da due specchi. All'uscita dalle cavità i fasci si ricombinano su un rivelatore di luce (fotodiodo). La lunghezza dei bracci è regolata in modo che normalmente i due fasci interferiscano distruttivamente e quindi sul fotodiodo si veda BUIO. L'onda gravitazionale (come previsto da Einstein) provoca una variazione di lunghezza differenziale dei due bracci (uno si accorcia mentre l'altro si allunga) e cambia la fase relativa dei due fasci che si ricombinano in uscita. Di conseguenza nel fotodiodo si vede un FLASH di luce.



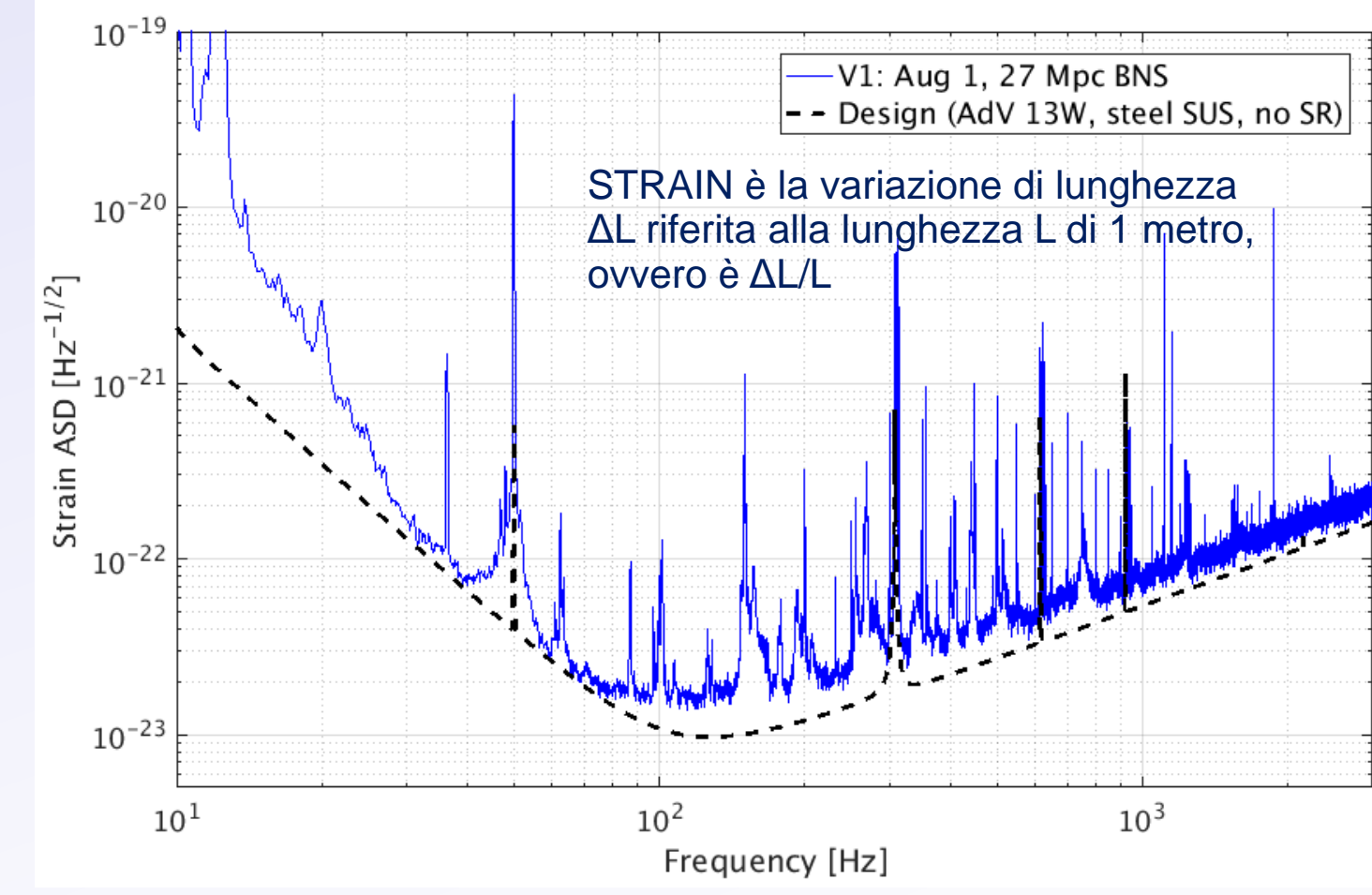
Sensibilità estrema

La banda di ascolto di VIRGO è simile a quella dell'orecchio umano: 10Hz ÷ 10kHz. Come previsto da Einstein le onde gravitazionali sono debolissime, l'evento del 14 Agosto 2017 ha variato la lunghezza dei bracci di Virgo solo di 10⁻¹⁸ metri !!!



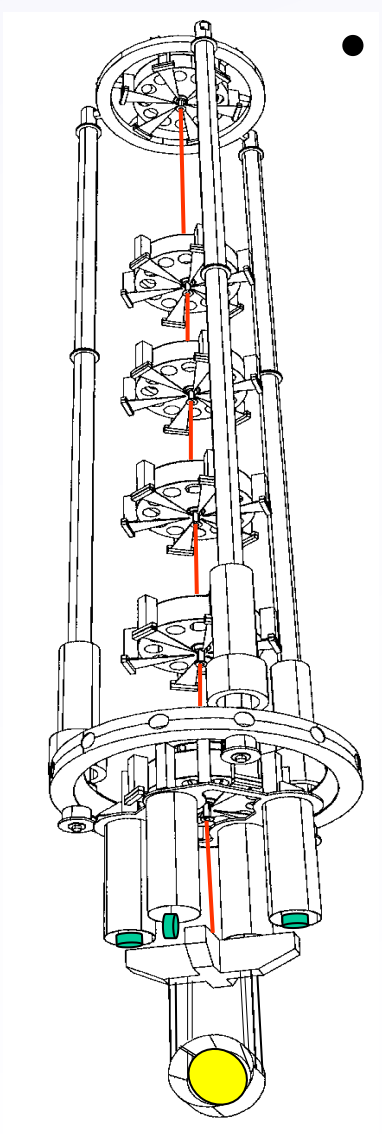
Ultra-alto vuoto

Fluttuazioni di densità dell'aria e diffusione allungano in cammino ottico dei fasci falsando la misura. Dunque il percorso del fascio di luce tra gli specchi si trova alla pressione estremamente bassa di 10⁻⁹ mbar. Il vuoto funge anche da ottimo isolatore per i disturbi acustici. Ma questo non basta! Vedi sotto ...



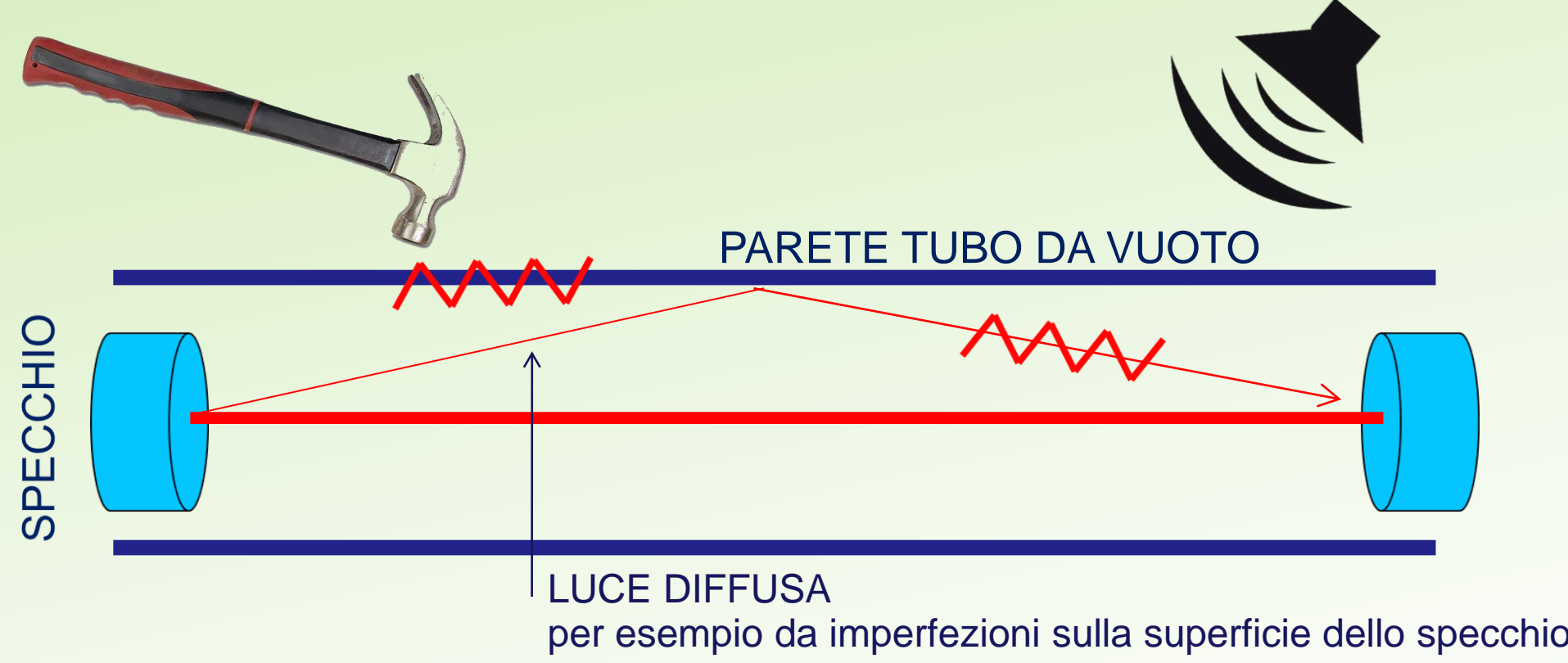
Isolatori sismici

Occorre isolare gli specchi dalle vibrazioni naturali del terreno che sono molto molto più grandi delle variazioni di distanza indotte dalle onde gravitazionali. A tal scopo gli specchi sono appesi ad una catena di pendoli in cascata che attenuano le vibrazioni di 10¹² volte a partire da qualche Hz.

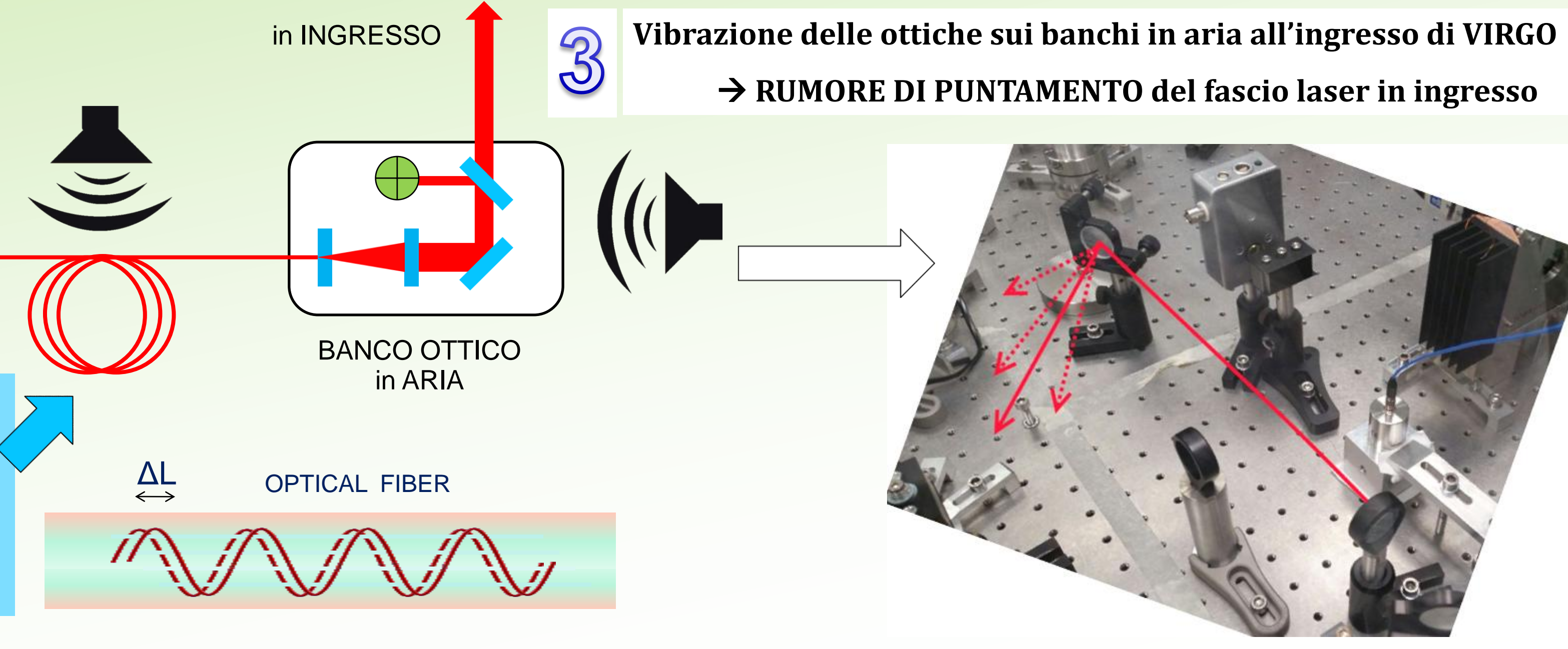


Come il rumore acustico puo' disturbare la misura?

1 Luce diffusa (scattering) da una superficie eccitata acusticamente → modulazione della fase della luce laser (RUMORE DI FASE)



2 Deformazione meccanica della fibra ottica che trasporta la luce del laser → modulazione della fase della luce in ingresso

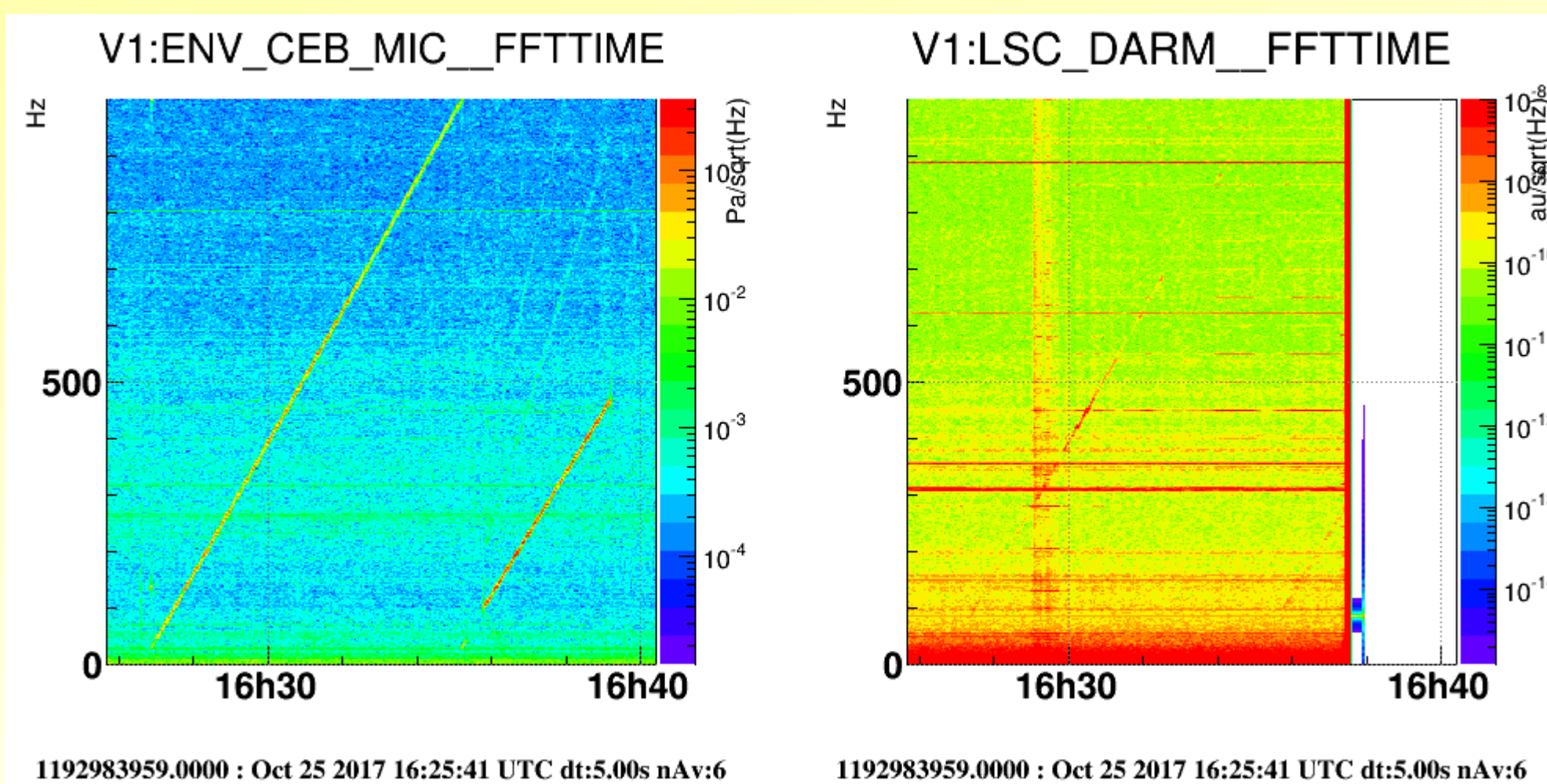


3 Vibrazione delle ottiche sui banchi in aria all'ingresso di VIRGO → RUMORE DI PUNTAMENTO del fascio laser in ingresso

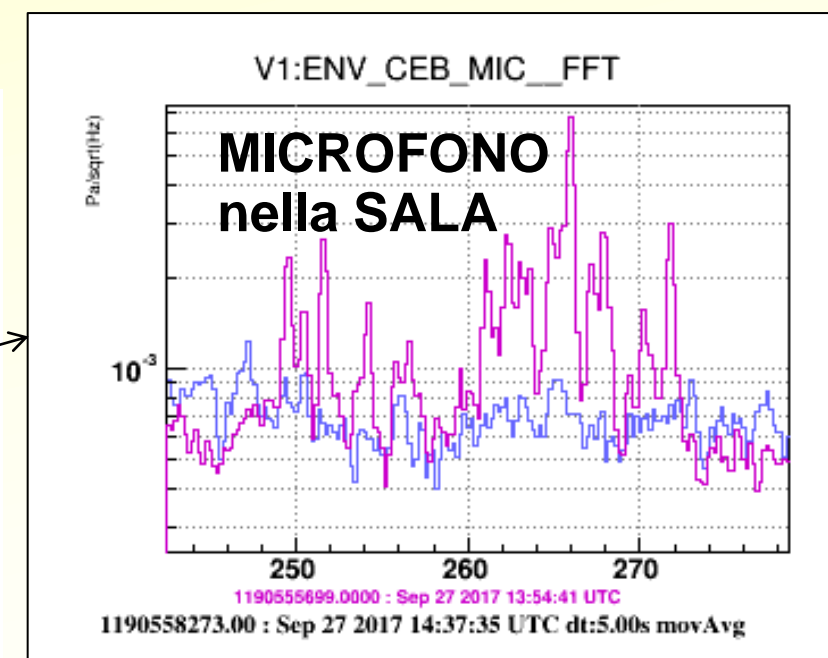
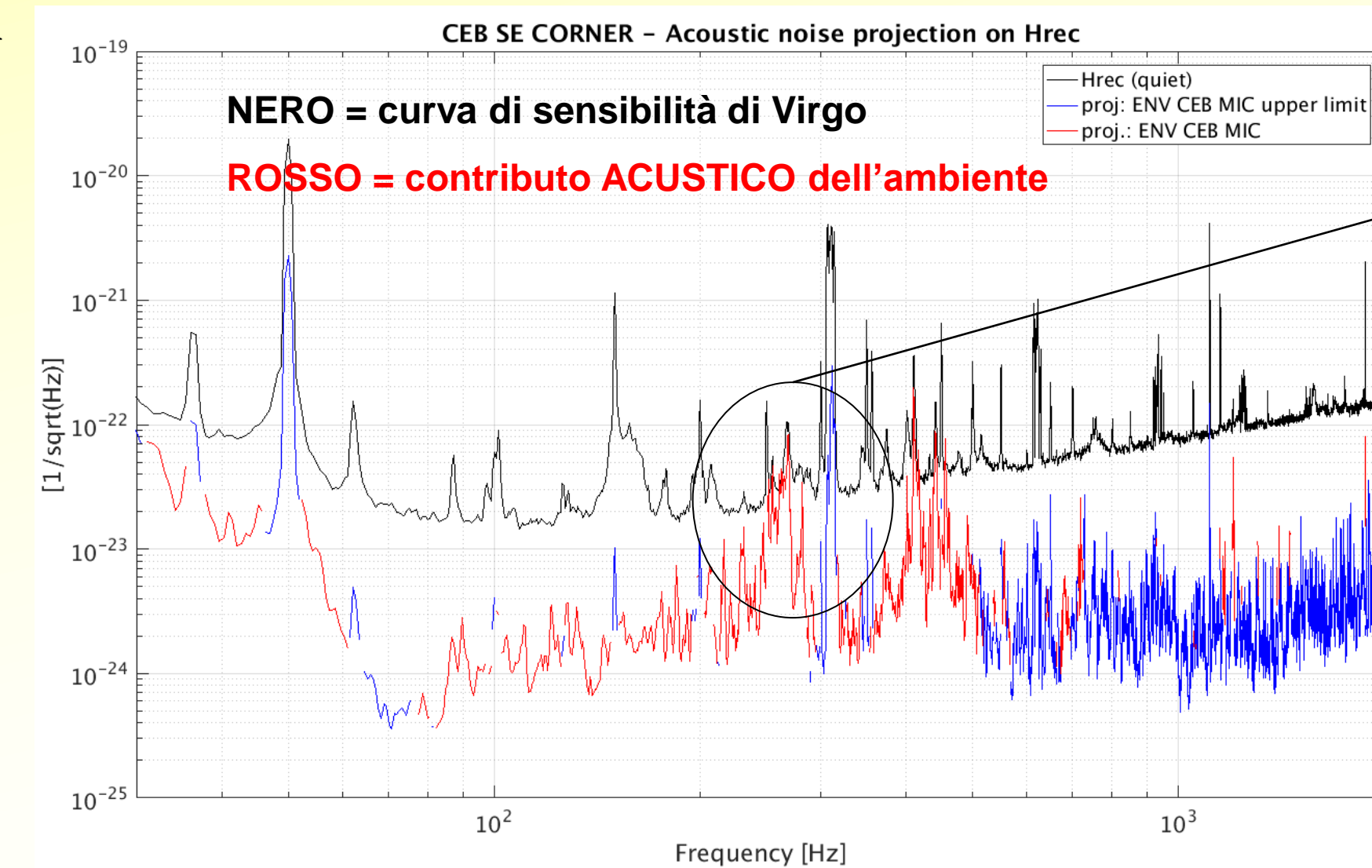


Misura e valutazione della criticità del disturbo acustico

Con Altoparlanti "iniettiamo" rumore acustico nella sala sperimentale. Per esempio una sinusoide a frequenza crescente (sweep). Misuriamo l'effetto nel segnale di uscita di Virgo.



Usiamo questa misura per stimare il contributo del rumore acustico dell'ambiente (sala) al segnale di Virgo, in funzione della frequenza.



Questi picchi sono associati a Emissione Acustica/Sismica delle ventole di alcuni rack di elettronica (nel grafico blu in Figura le ventole sono spente)

Mitigazione del rumore acustico

Obiettivi

- Basse frequenze: < 1000 Hz (dove VIRGO è più sensibile)
- Ridurre accoppiamenti pressione acustica → vibrazioni della struttura
- Silenziamento del "laboratorio laser" che contiene elementi sensibili (i banchi ottici in aria e il laser fibrato)
- Silenziamento sorgenti in prossimità delle camere a vuoto dei banchi sospesi e specchi (dove puo' avvenire lo scattering)

Interventi su sorgenti

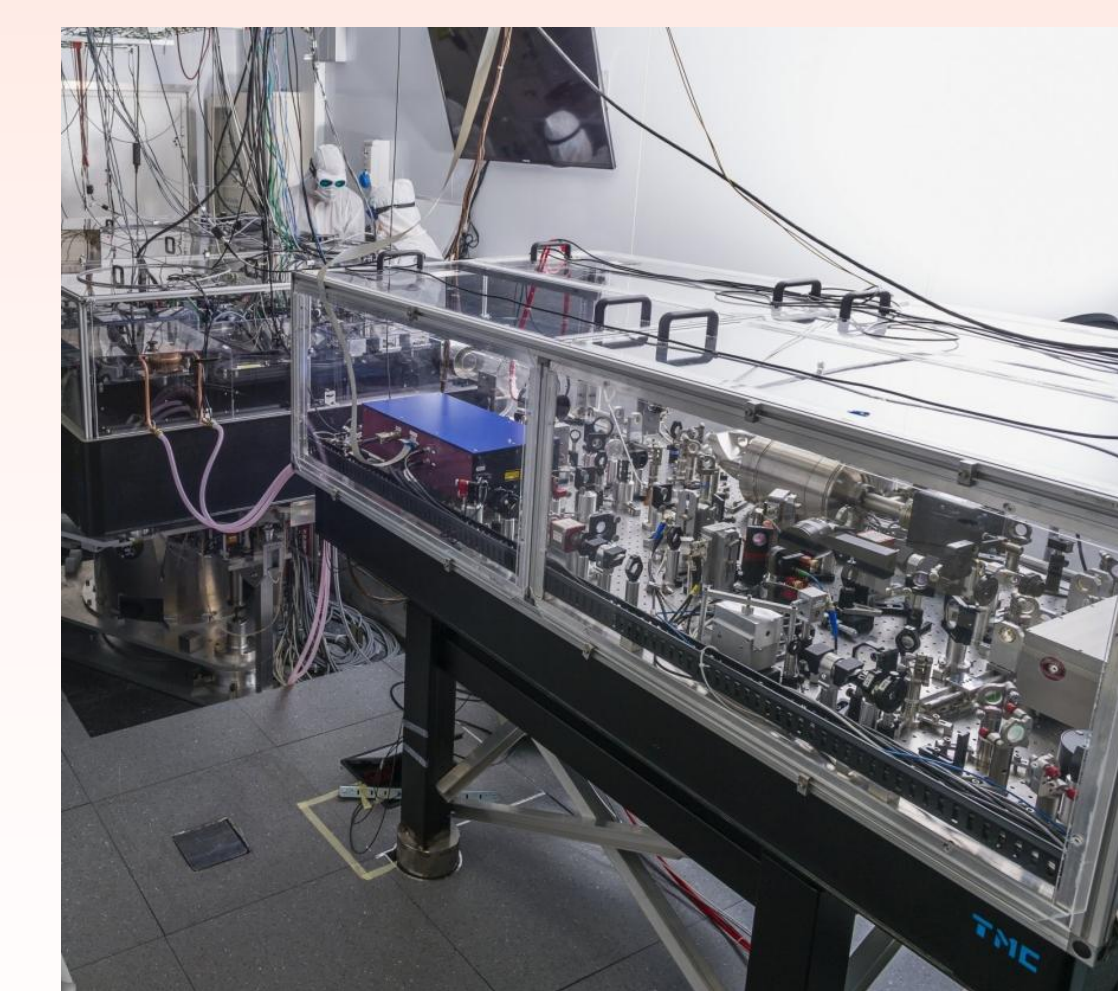
- Sostituire alcune ventole con raffreddamento a fluido refrigerante e chiller remoto
- Climatizzatori d'aria: rallentamento dei grossi ventilatori (-30%)

Interventi su accoppiamenti acustico - vibrazionali

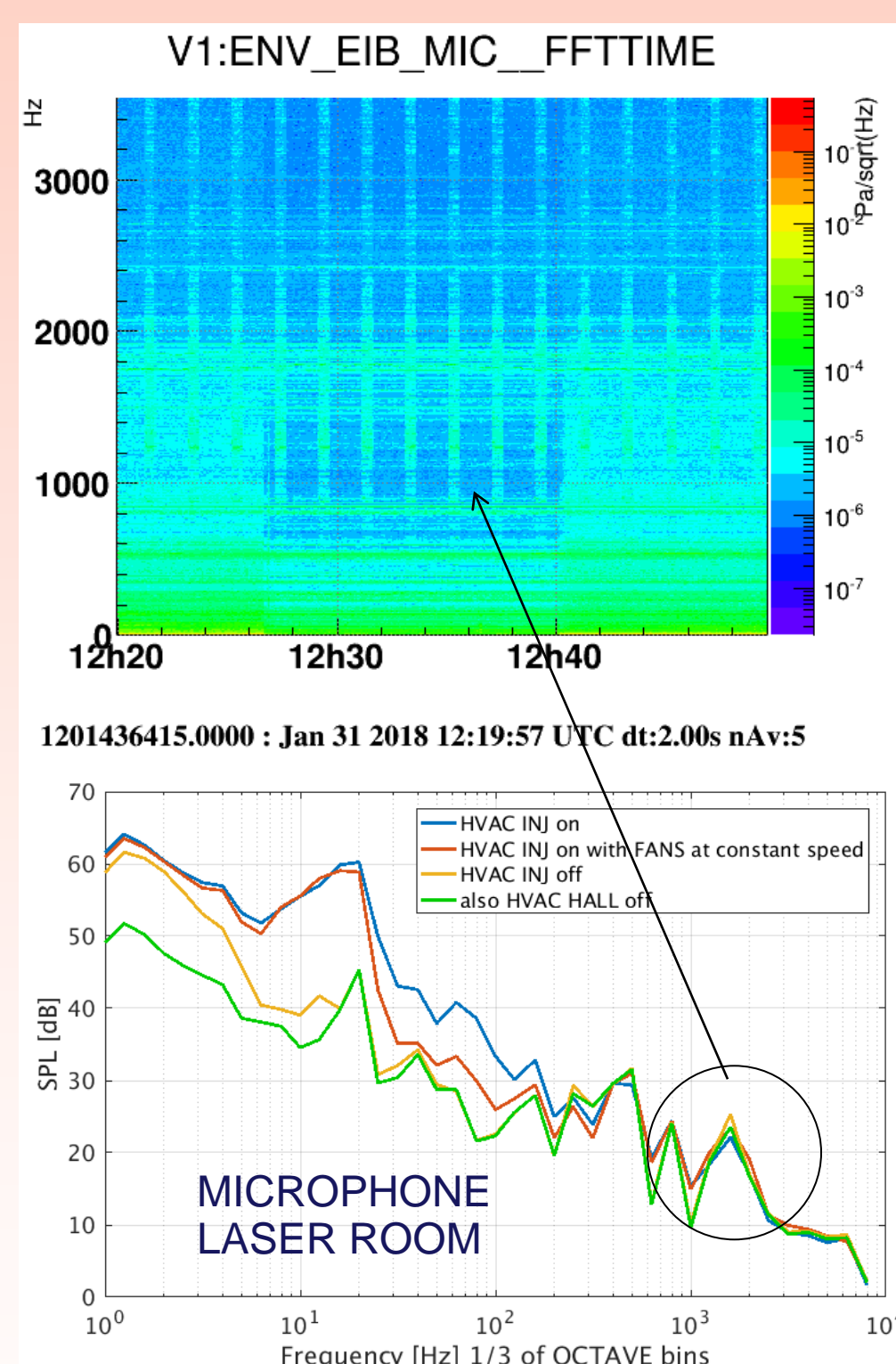
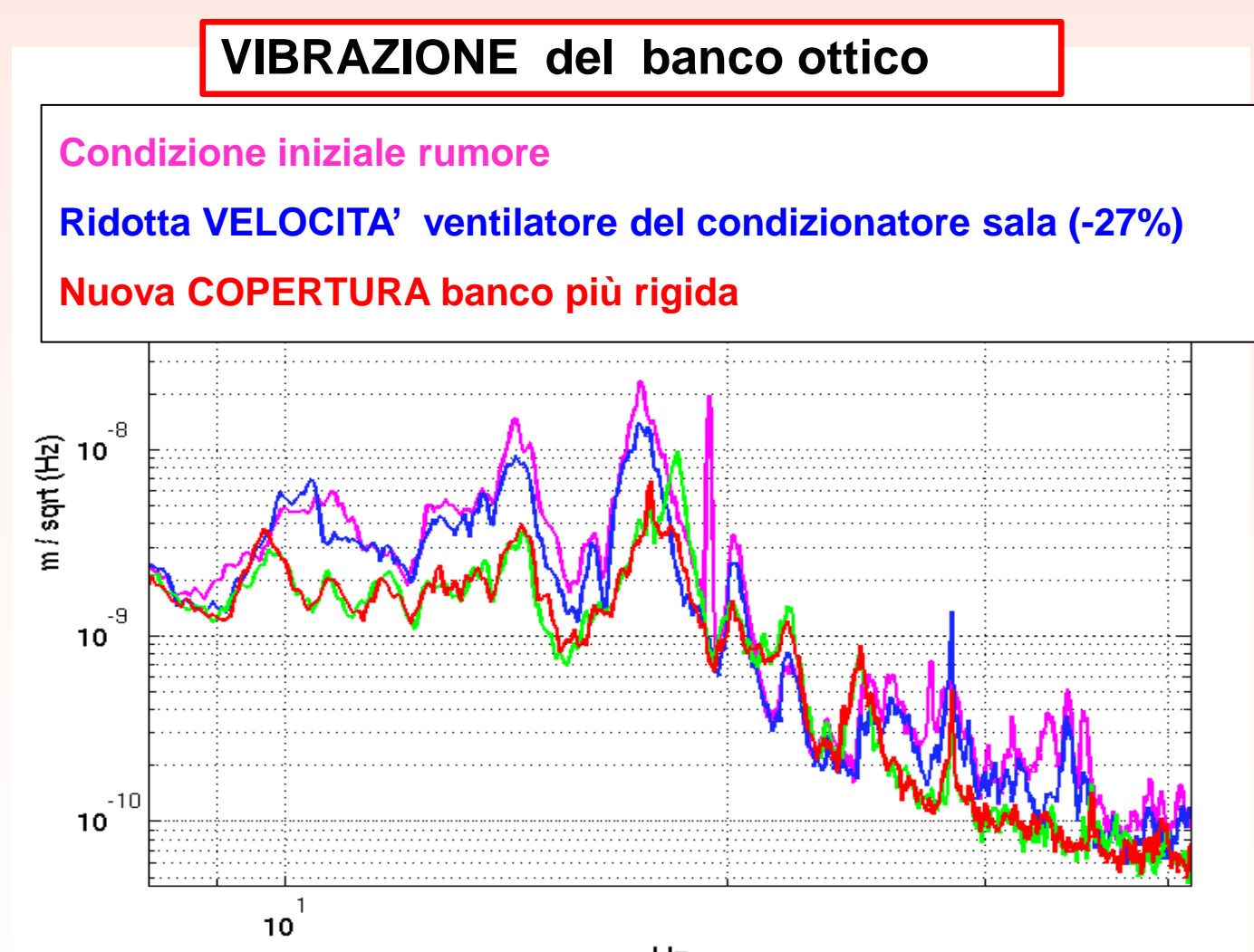
- Irrigiditi i pannelli di copertura dei banchi ottici

Interventi di silenziamento delle zone sensibili

- I banchi ottici più sensibili sono stati messi sotto modesto vuoto (1mbar) e sospesi a superattenuatori corti
- I moduli di elettronica con rumorose ventole di raffreddamento sono stati segregati in locali acusticamente isolati
- Migliorato l'isolamento acustico del laboratorio laser rispetto a locali rumorosi circostanti

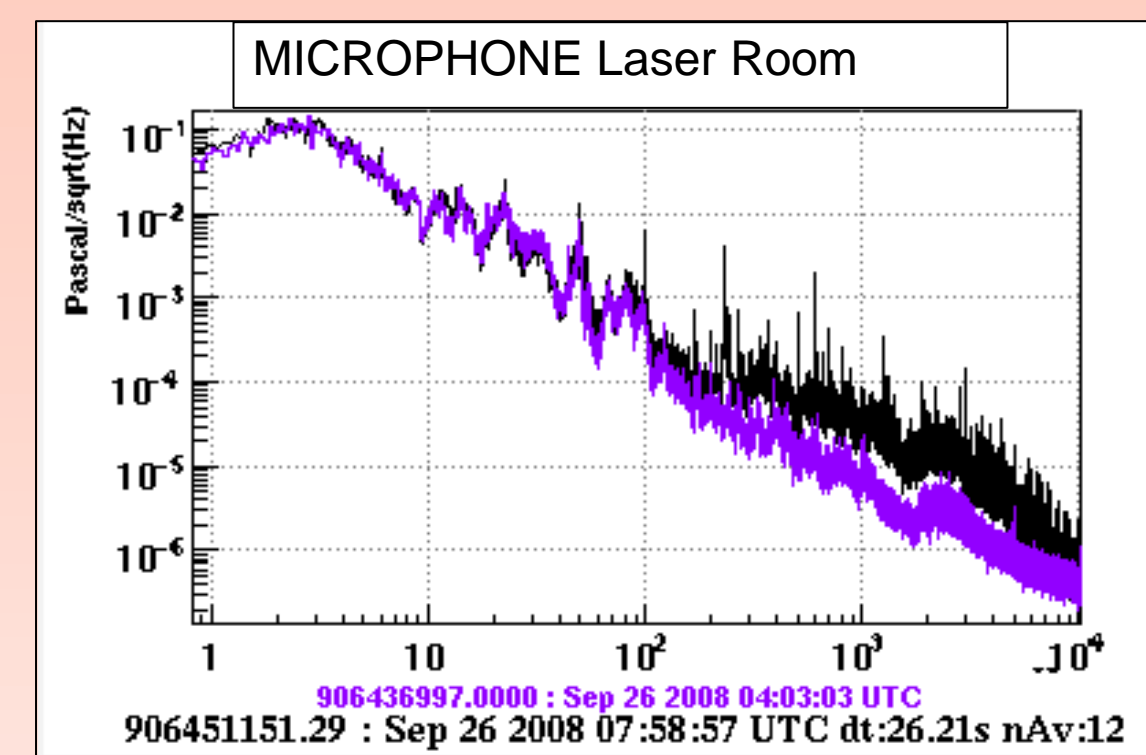


LABORATORIO LASER, si vedono i BANCHI OTTICI con la COPERTURA RIGIDA in PLEXIGLASS



Il lavoro continua...

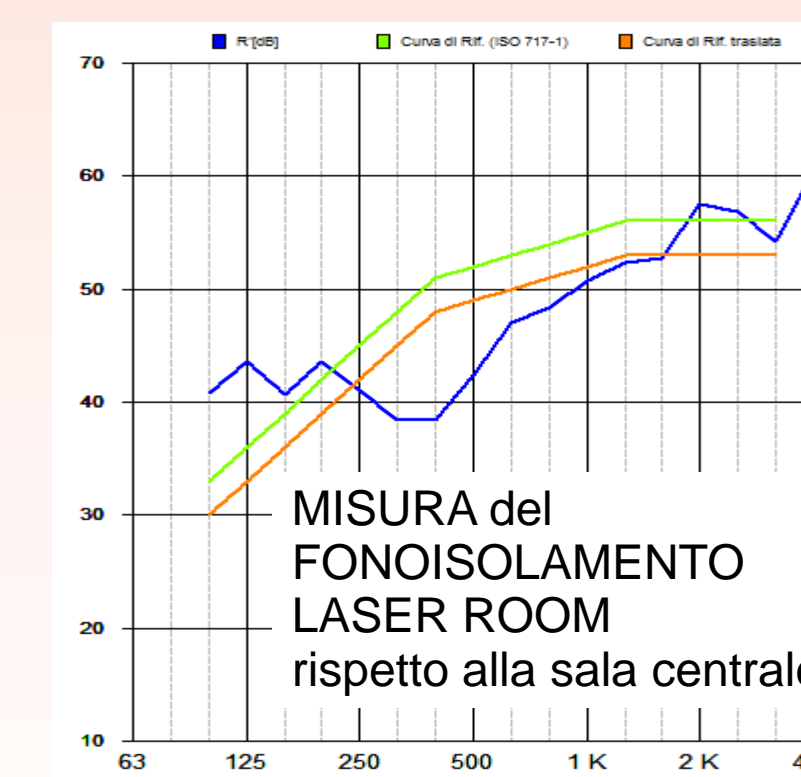
Per silenziare ulteriormente il laboratorio laser stiamo cercando di identificare per poi mitigare le sorgenti nella banda di frequenze ≥ 100Hz. Un esempio è la sorgente ciclica mostrata sopra.



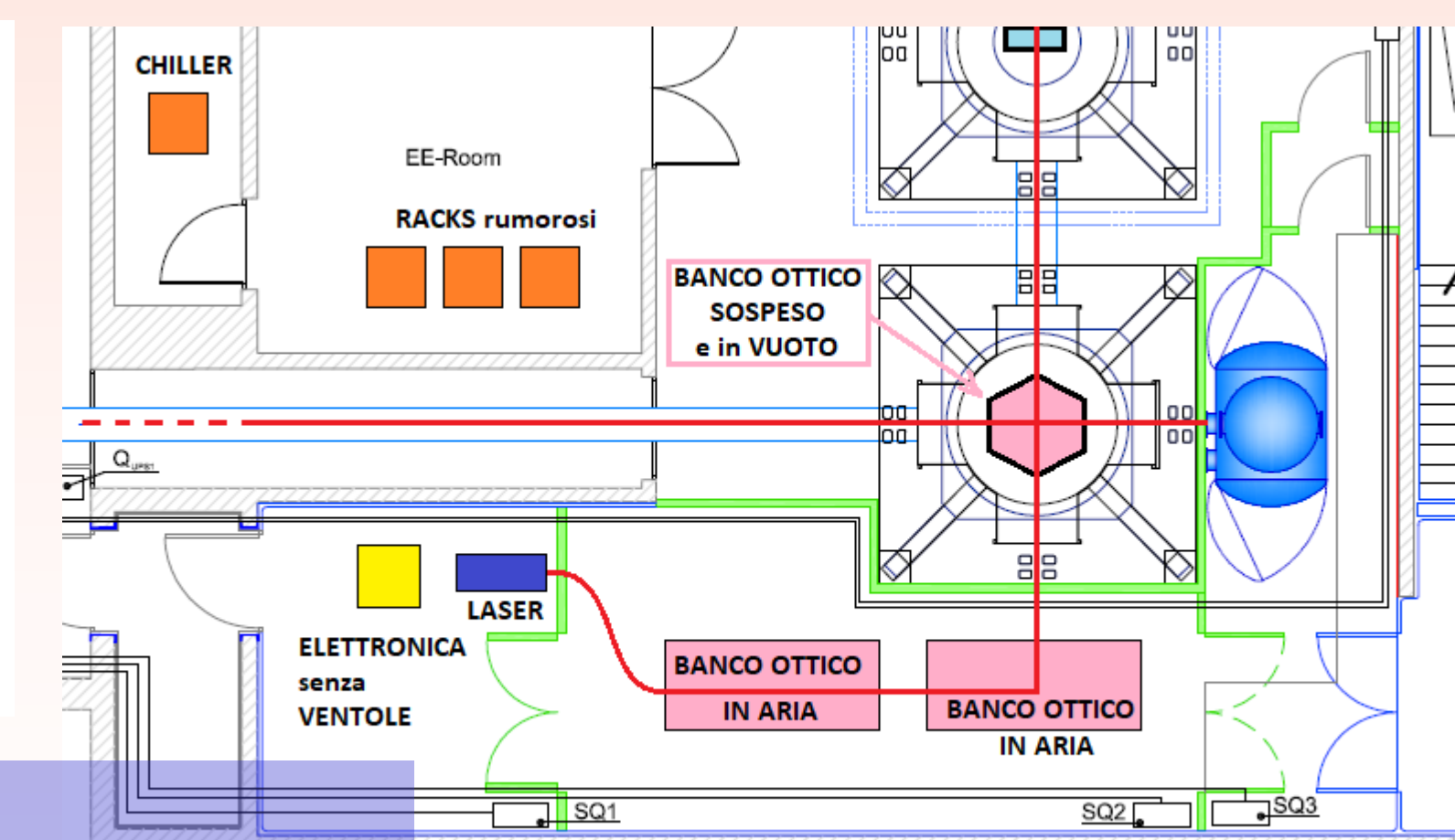
EFFETTO DELLA RIMOZIONE dei RACK di ELETTRONICA dal LABORATORIO LASER



IL BANCO OTTICO in USCITA nella sua CAMERA a VUOTO, qui aperta per un intervento.



MISURA del FONOSILANZAMENTO LASER ROOM rispetto alla sala centrale



LABORATORIO LASER - PLANIMETRIA In VERDE = PARETE FONOSILANZANTE

Riferimenti:

- Advanced Virgo: a 2nd generation interferometric gravitational wave detector - <https://arxiv.org/abs/1408.3978>
- Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger - <https://physics.aps.org/featured-article-pdf/10.1103/PhysRevLett.116.061102>
- GW170817: Observation of Gravitational Waves from a Binary Neutron Star Inspiral - <https://journals.aps.org/prl/pdf/10.1103/PhysRevLett.119.161101>