

FLAGS

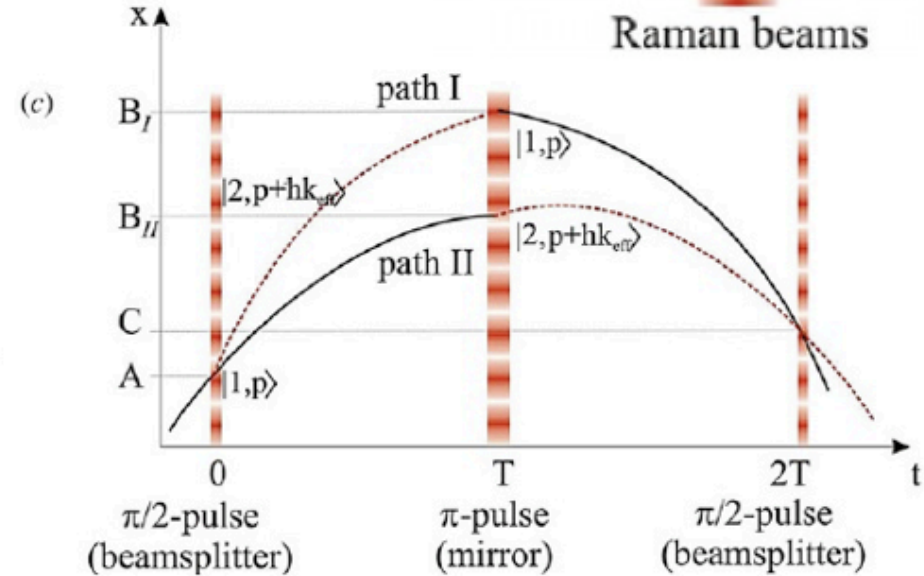
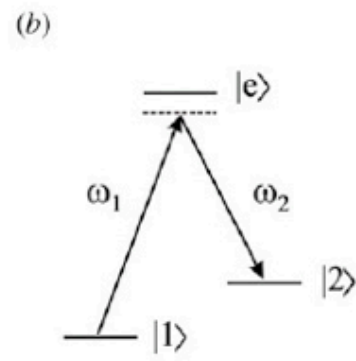
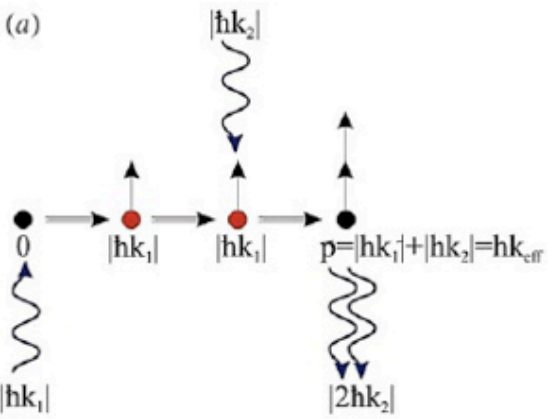
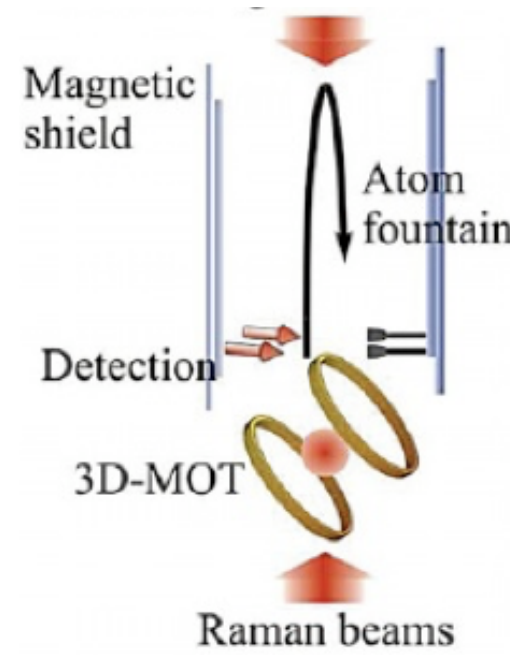
Fiber Links for Atomic Gravity Sensors

nuova sigla CSN5
già proposta per la call CSN5 2018

F. Sorrentino

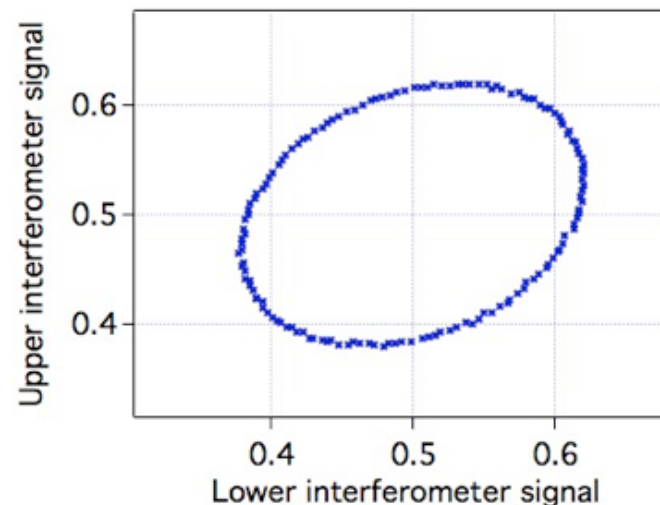
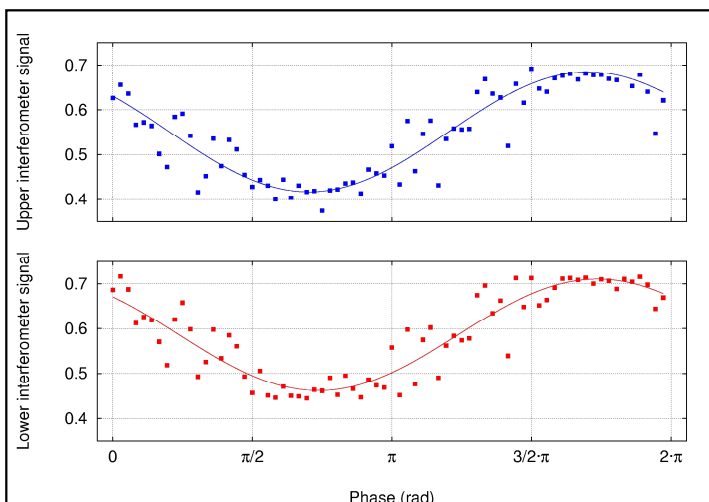
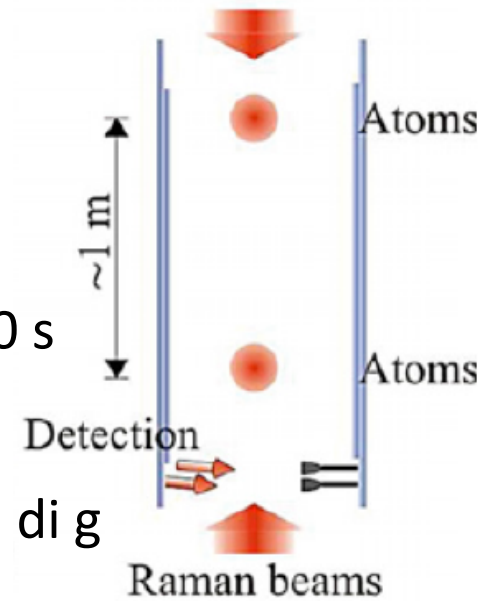
Gravimetri atomici

- Sono basati sull'interferometria atomica: laser cooling + manipolazione coerente di pacchetti d'onda atomici
- Sono i migliori gravimetri assoluti: dimostrate sensibilità dell'ordine di $10 \mu\text{gal}/\sqrt{\text{Hz}}$, accuratezza $\sim 1 \mu\text{gal}$ ($1 \mu\text{gal} = 10^{-8} \text{ m/s}^2$)
- Il rumore sismico è uno dei principali limiti di sensibilità



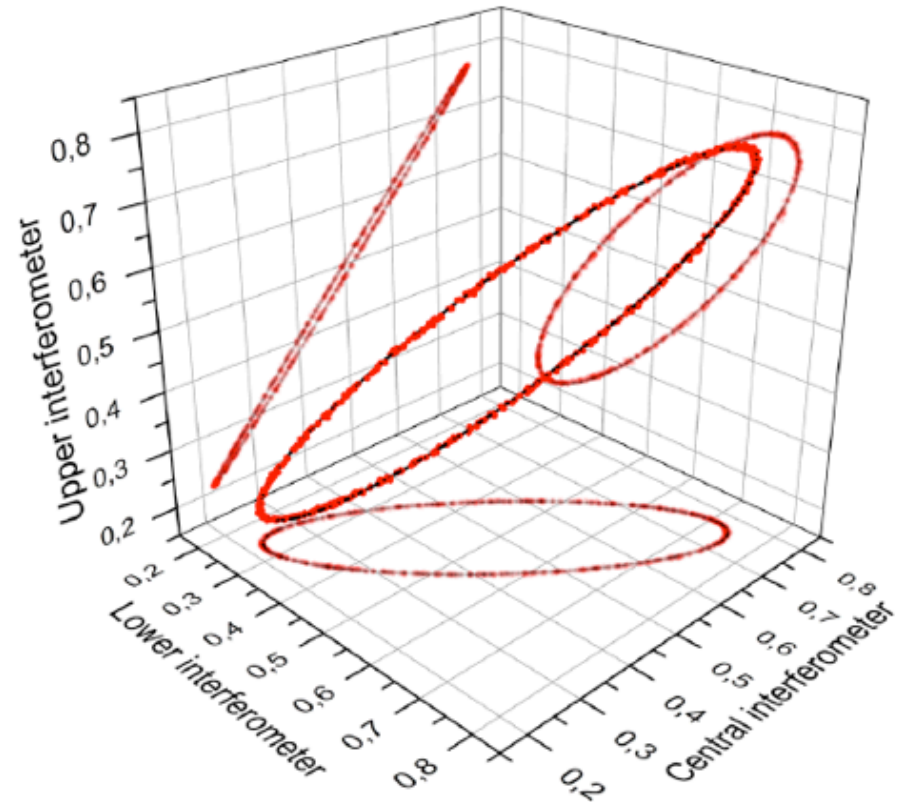
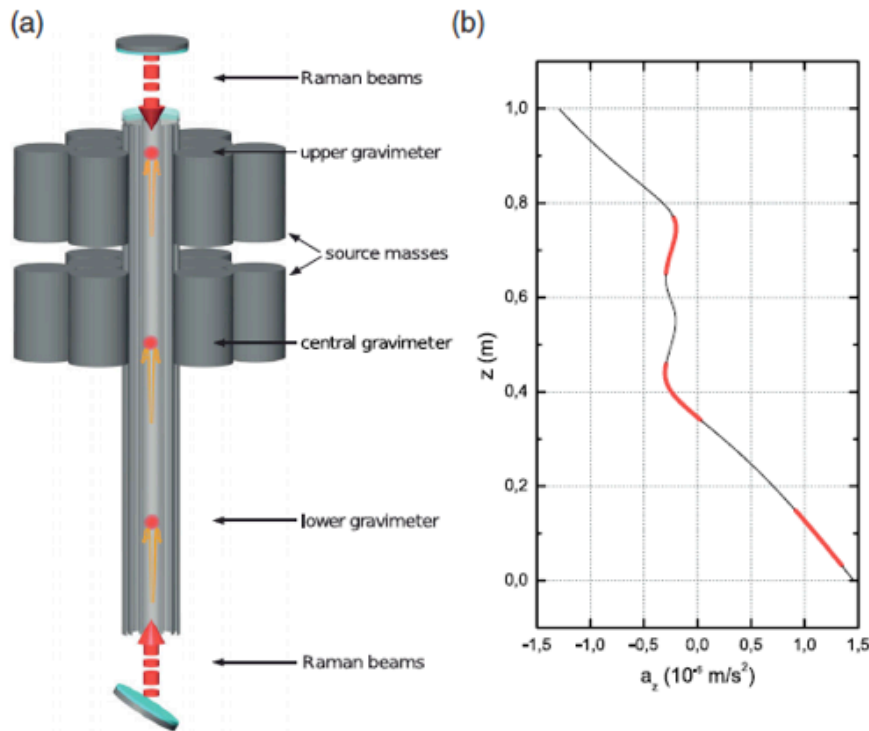
Gradiometri gravitazionali

- Due campioni atomici separati verticalmente
- Interrogazione con lo stesso campo laser per la manipolazione del pacchetto d'onda atomico
- Dimostrato un CMRR migliore di 140 dB per rumore sismico
- Sensibilità differenziale dimostrata di $5 \cdot 10^{-11}$ g @10000 s con baseline di 30 cm
 - [F. Sorrentino et al., Phys. Rev. A **89**, 023607 (2014)]
- L'uso di due nuvole atomiche migliora anche la misura di g
 - F. Sorrentino et al., Appl. Phys. Lett. **101**, 114104 (2012)



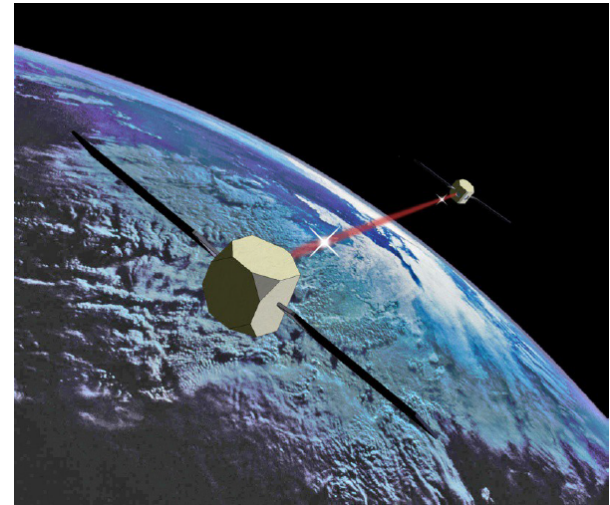
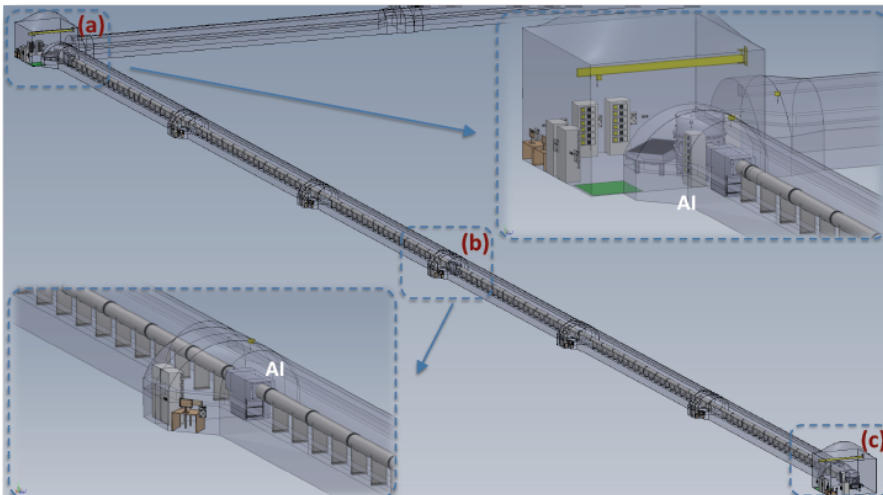
Scalabilità dei gradiometri

- Con $n+1$ campioni atomici equispaziati si misura la derivata spaziale n -sima del campo gravitazionale
- Dimostrato ad es. per la misura della curvatura del campo gravitazionale
 - F. Sorrentino et al., Appl. Phys. Lett. **101**, 114104 (2012)



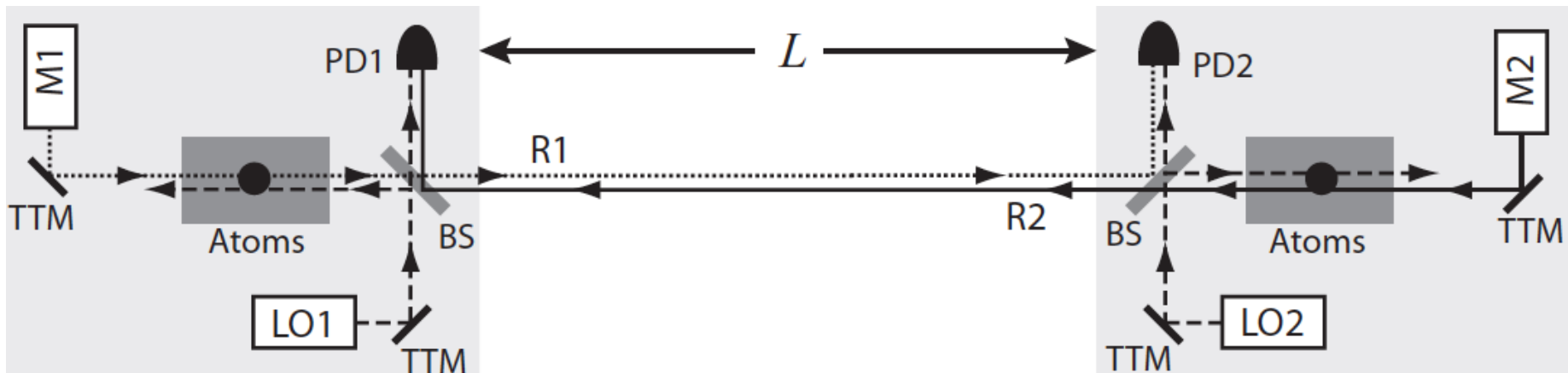
Scalabilità dei gradiometri

- Con $n+1$ campioni atomici equispaziati si misura la derivata spaziale n -sima del campo gravitazionale
- Dimostrato ad es. per la misura della curvatura del campo gravitazionale
 - F. Sorrentino et al., Appl. Phys. Lett. **101**, 114104 (2012)
- La sensibilità nella misura di gradiente dipende dalla distanza tra i sensori
 - Misure ultra-sensibili richiedono apparati di grandi dimensioni
 - Fontane verticali da ~ 10 m (Stanford, Hannover, Firenze)
 - Cavità ottica orizzontale da 300 m, (LNBB, Francia, progetto MIGA)
 - Proposte per link laser tra satelliti distanti: AGIS, AGIS-LEO, SAGE



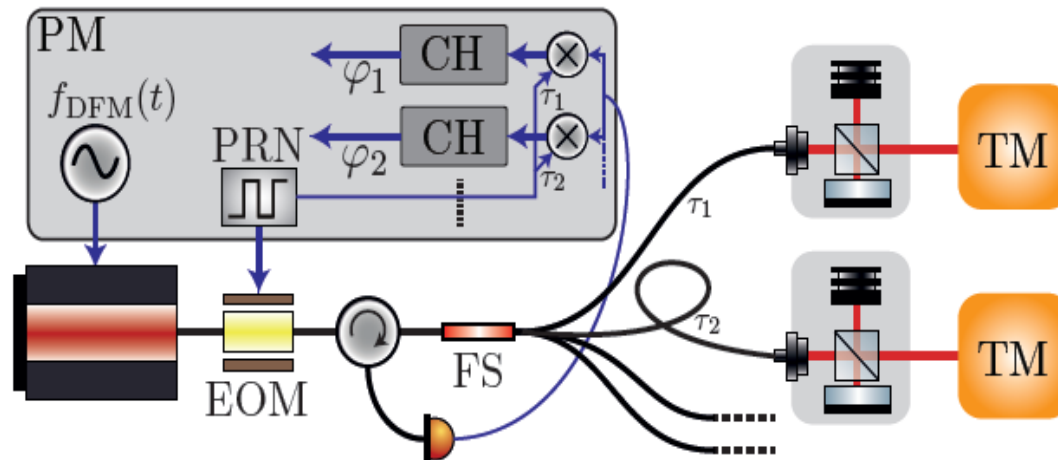
FLAGS: concetto di base

- Dimostrare la possibilità di misurare il gradiente gravitazionale con due sensori atomici distanti
- Utilizzare lo stesso campo laser per interrogare i due gravimetri, mediante un link ottico coerente
 - Link in vuoto
 - CMRR elevato su grandi distanze (\sim km)
 - controllo di fronti d'onda laser
 - Link in eterodina [J. M. Hogan and M. A. Kasevich, Atom interferometric gravitational wave detection using heterodyne laser links, Phys. Rev. A 94, 033632 (2016)]



FLAGS: concetto di base

- Dimostrare la possibilità di misurare il gradiente gravitazionale con due sensori atomici distanti
- Utilizzare lo stesso campo laser per interrogare i due gravimetri, mediante un link ottico coerente
 - Link in vuoto
 - Link in fibra ottica
 - Metodi di metrologia ottica per la cancellazione del rumore di fase indotto dalla fibra tramite link a due vie
 - Metodi interferometrici per trasferimento di un riferimento inerziale ad una massa di test [O. Gerberding, Opt. Expr. 14753, 234267 (2015)]



FLAGS: concetto di base

- Dimostrare la possibilità di misurare il gradiente gravitazionale con due sensori atomici distanti
- Utilizzare lo stesso campo laser per interrogare i due gravimetri, mediante un link ottico coerente
 - Link in vuoto
 - Link in fibra ottica
 - Metodi di metrologia ottica per la cancellazione del rumore di fase indotto dalla fibra tramite link a due vie
 - Metodi interferometrici per trasferimento di un riferimento inerziale ad una massa di test [O. Gerberding, Opt. Expr. 14753, 234267 (2015)]
- Studiare la scalabilità della rete per:
 - numero di sensori
 - distanza tra i sensori
 - dimensioni (e sensibilità) del singolo sensore

FLAGS: concetto di base

- Dimostrare la possibilità di misurare il gradiente gravitazionale con due sensori atomici distanti
- Utilizzare lo stesso campo laser per interrogare i due gravimetri, mediante un link ottico coerente
 - Link in vuoto
 - Link in fibra ottica
 - Metodi di metrologia ottica per la cancellazione del rumore di fase indotto dalla fibra tramite link a due vie
 - Metodi interferometrici per trasferimento di un riferimento inerziale ad una massa di test [O. Gerberding, Opt. Expr. 14753, 234267 (2015)]
- Studiare la scalabilità della rete per:
 - numero di sensori
 - distanza tra i sensori
 - dimensioni (e sensibilità) del singolo sensore
- Studiare le configurazioni ottimali per specifici campi applicativi
 - Topologia della rete
 - trade-off costo/prestazioni

Ambiti applicativi

- Fisica terrestre e dell'ambiente
 - Fisica della terra solida
 - Fisica della terra fluida
- Rivelazione di onde gravitazionali
 - Misura del rumore Newtoniano in bassa frequenza per rivelatori di 3° generazione
 - Misura di fondo stocastico tramite modi normali della terra
- Fisica fondamentale
 - Ricerca di Dark Matter
 - Dark energy

Il gruppo proponente

- Genova (1 FTE)
 - coord. Naz., link in fibra ottica, controllo di fronti d'onda laser, controllo dei campi magnetici, modelli per misure di rumore Newtoniano
- Firenze (1.6 FTE)
 - Interferometria atomica su riga di orologio ottico, metodi di ottica atomica, integrazione di link ottici e isolamento sismico su sistemi atomici
- Pisa (1 FTE)
 - isolamento sismico, controllo angolare, modelli per misure di rumore Newtoniano, modelli per ottica atomica con atomi intrappolati
- Roma 3 (0.2 FTE)
 - modelli per misure di fisica della terra e dell'atmosfera
- LNF (0.4 FTE)
 - sistema da vuoto, elettronica di controllo

Struttura della proposta

- **Tecnologie per i link ottici** (GE + FI + Pi)
 - Sviluppo del link ottico in fibra; studio della topologia ottimale; *test* del principio su scala di lunghezze variabile; integrazione con sensori atomici
 - Metodi di controllo per fronti d'onda laser; nella propagazione libera su grandi distanze
- **Tecnologie di ottica atomica** (FI + PI + EGO)
 - Interferometro atomico su riga di orologio ottico; beam-splitters atomici ad alto momento trasferito; Interferometria in trappola con atomi di Sr
 - Integrazione di sistemi per isolamento sismico e controllo di fronti d'onda
- **Isolamento sismico** (PI)
 - Sistema per la riduzione del rumore di accelerazione verticale sul singolo IA
 - Controllo dell'assetto angolare e del rumore di puntamento per i fasci laser utilizzati come beam splitter per il pacchetto d'onda atomico
- **Altri sviluppi tecnologici** (LNF + GE)
 - Sistema da vuoto per l'I.A.
 - Sistema di controllo dei campi magnetici
 - Elettronica di controllo della rete
- **Modelli per misura di osservabili fisiche in ambiente terrestre** (RM3 + PI+ GE + INGV + EGO)
 - Fisica terrestre: analisi di serie temporali per caratterizzazione delle componenti di rumore, modelli per misure di osservabili geofisiche
 - Onge gravitazionali: metodi di analisi del segnale per la misura del rumore newtoniano e per rivelazione di OG sub-Hz attraverso i modi normali terrestri

Anagrafica, spazi & servizi

- Anagrafica: t.b.d.
- Servizi: n.a.
- Spazi:
 - Laboratorio ottico
 - Già in funzione in L206 per Virgo e PRIN 2015

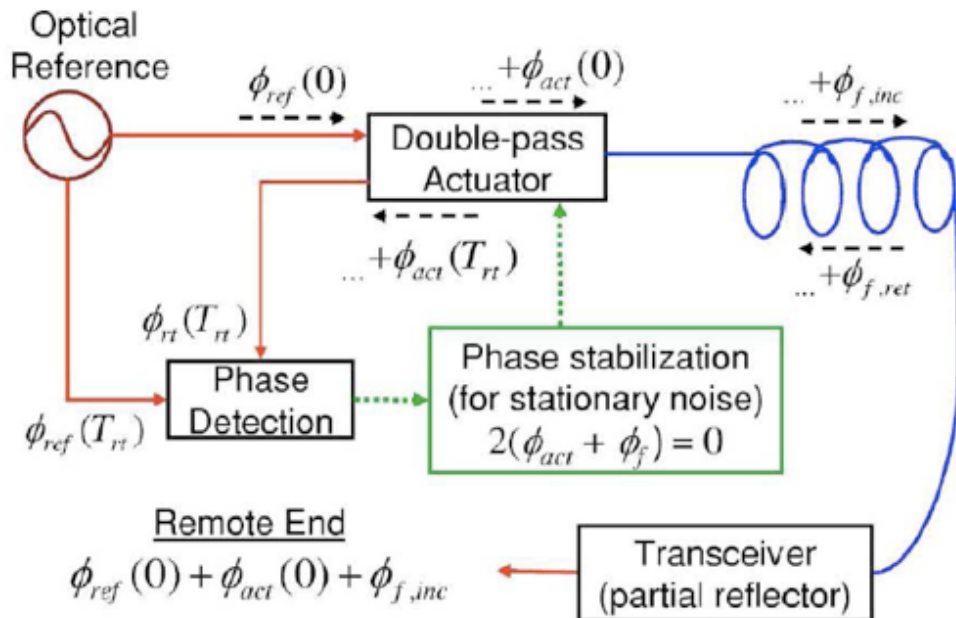
Slides di riserva

Programma

- Primo anno
 - Progetto e sviluppo del sensore atomico
 - Definizione e sviluppo del *link* ottico
 - Progetto dei sistemi di isolamento sismico ed angolare
- Secondo anno
 - *Test* del *link* ottico su scala di laboratorio
 - Sviluppo dei sistemi di isolamento sismico ed angolare
 - *Test* dei componenti critici di ottica atomica
- Terzo anno
 - Test del sensore atomico differenziale
 - Integrazione del sensore atomico con il *link* ottico
 - Studio e mitigazione delle sorgenti di rumore
- Durante il corso del progetto verranno sviluppati modelli per estrazione di dati di interesse fisico (applicazioni di fisica della terra solida e dell'atmosfera, rumore newtoniano, onde gravitazionali, ricerca di dark matter), che nel secondo anno contribuiranno alla definizione della topologia della rete

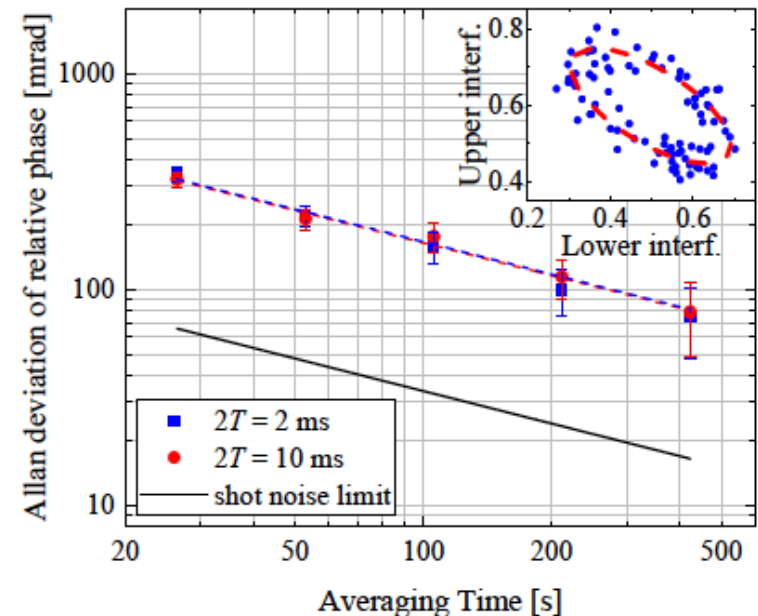
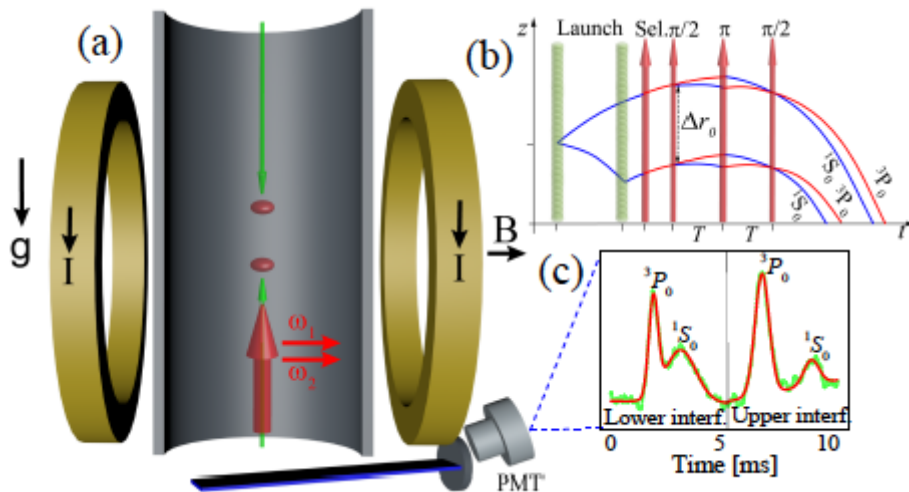
Link ottici coerenti

- Eliminazione del rumore di fase indotto dalla fibra ottica (per effetti termici e meccanici) mediante il controllo attivo del campo laser
- Dimostrata la possibilità di confrontare frequenze ottiche con precisioni migliori di 10^{-20} su distanze di centinaia di km
- Diversi link già sviluppati, che utilizzano le infrastrutture esistenti per telecomunicazioni



Interferometri atomici ed orologi ottici

- Schema con transizioni ad un fotone, per ridurre l'impatto del rumore di frequenza su baseline lunghe per l'effetto del tempo di propagazione
 - Proposta teorica di schema differenziale: N. Yu and M. Tinto, Gen. Relativ. Grav. 43, 1943(2011); S. Dimopoulos et al., Phys. Rev. D 78, 122002 (2008)
 - Dimostrazione di interferometro con transizione ad un fotone: L. Hu et al., Atom interferometry with the Sr optical clock transition, arXiv:1708.05116 (2017)
 - In FLAGS si intende sviluppare questo metodo per misure differenziali fino a livelli di sensibilità allo stato dell'arte dei migliori gradiometri atomici

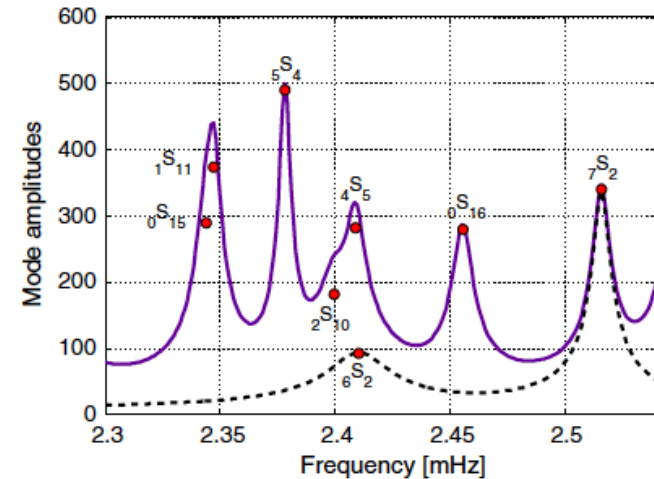
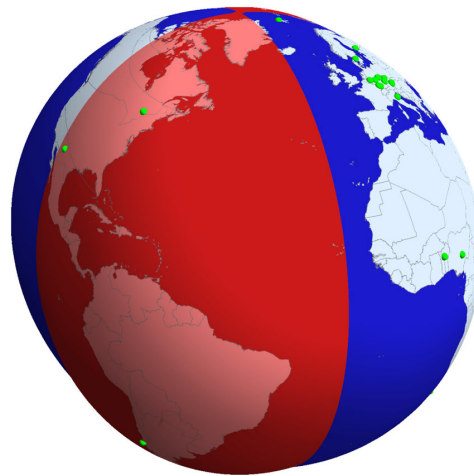
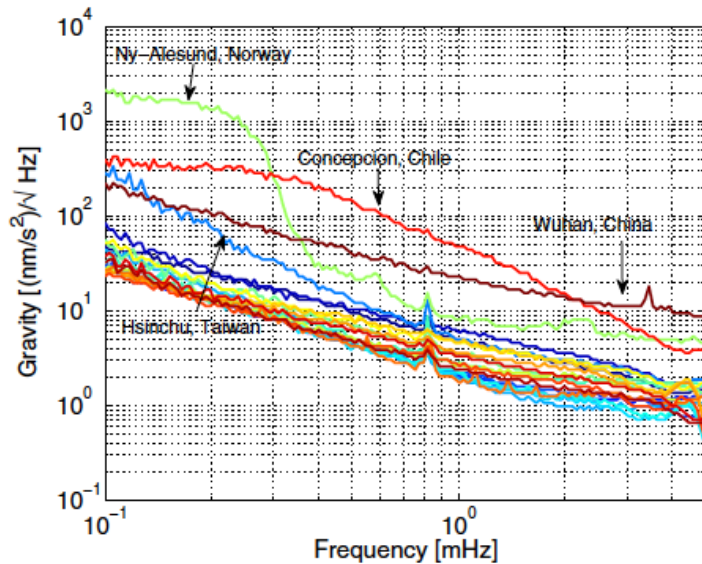


Fisica terrestre e dell'ambiente

- Fisica della terra solida
 - Scala globale
 - rivelazione dei modi di Slichter
 - Osservazione dell'Earth Hum
 - Anomalie gravitazionali locali
 - Idrologia degli acquiferi
 - deformazione elastica di corpi rocciosi
 - migrazione di fluidi magmatici-idrotermali in sistemi vulcanici o geotermici
 - Fenomeni sismici
 - Deformazione di corpi rocciosi sotterranei
 - processi fisici di dislocazione di strutture sismogenetiche
- Fisica della terra fluida
 - Oceani
 - sorgenti e propagazione di tsunami
 - dinamiche oceaniche (strutture bentoniche, circolazione termoalina)
 - Atmosfera
 - fisica delle nubi, coalescenza in transizione di fase del vapor acqueo
 - fisica delle nubi e dei processi di coalescenza durante la transizione di fase del vapor acqueo
 - dinamiche atmosferiche in atmosfera stratificata
 - Fluidi endogeni
 - riserve di gas naturale
 - idrologia

Rivelazione di onde gravitazionali

- Misura del rumore Newtoniano in bassa frequenza (sub-Hz) per rivelatori di 3° generazione
- Misura di fondo stocastico tramite modi normali della terra [M. Coughlin and J. Harms, Phys. Rev. D **90**, 042005 (2014)]



Fisica fondamentale

- Ricerca di Dark Matter

- A. Geraci and A. Derevianko, Sensitivity of Atom Interferometry to Ultralight Scalar Field Dark Matter, PRL 117, 261301 (2016)
- A. Derevianko, Detecting dark matter waves with a network of precision measurement tools, arXiv:1605.09717 (2016)
- P. W. Graham et al., Dark Matter Direct Detection with Accelerometers, arXiv: 1512.06165 (2016)
- A. Arvanitaki et al., Search for light scalar dark matter with atomic gravitational wave detectors, arXiv:1606.04541 (2016)

- Ricerca di Dark Energy

- C. Burrage and E. J. Copeland, Using Atom Interferometry to Detect Dark Energy, arXiv: 1507.07493 (2015)
- P. Hamilton et al., Atom-interferometry constraints on dark energy, Science 349, 849 (2015)

