

# FLAGS

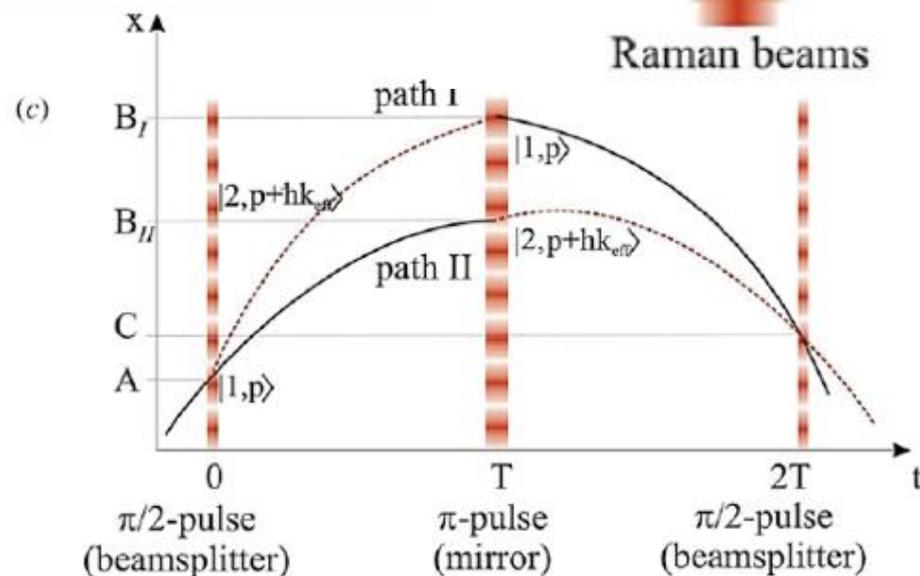
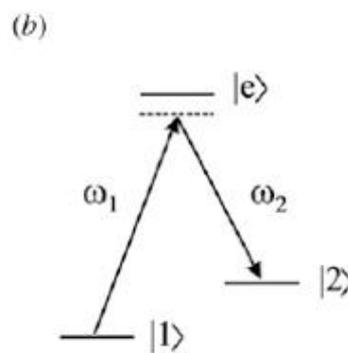
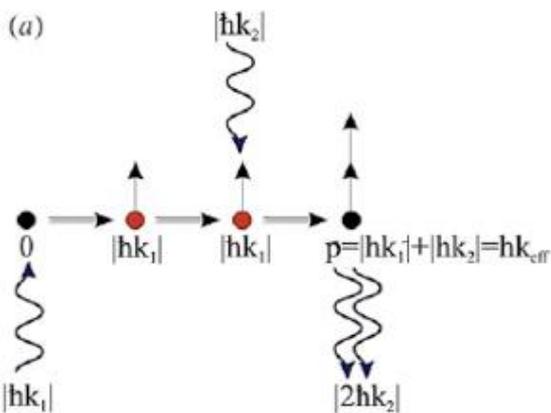
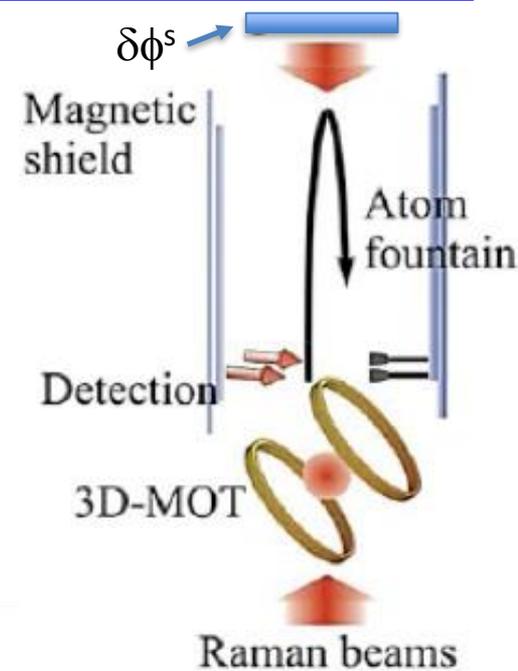
Fiber Links for Atomic Gravity Sensors  
una proposta per la call. Gruppo V

N.Poli

Coordinatore nazionale (F. Sorrentino –INFN Sez. Ge)

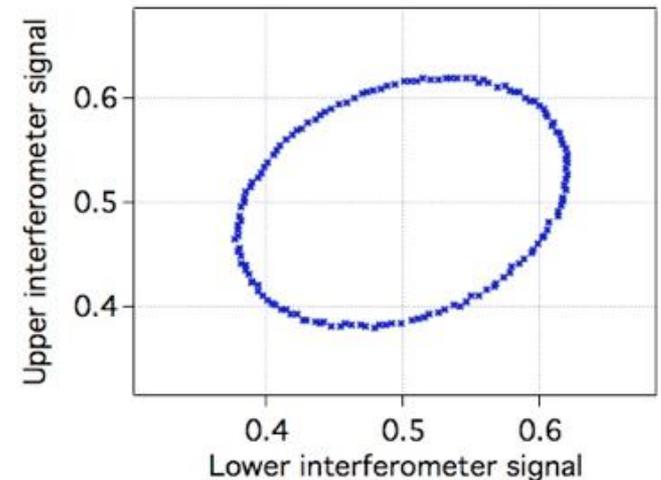
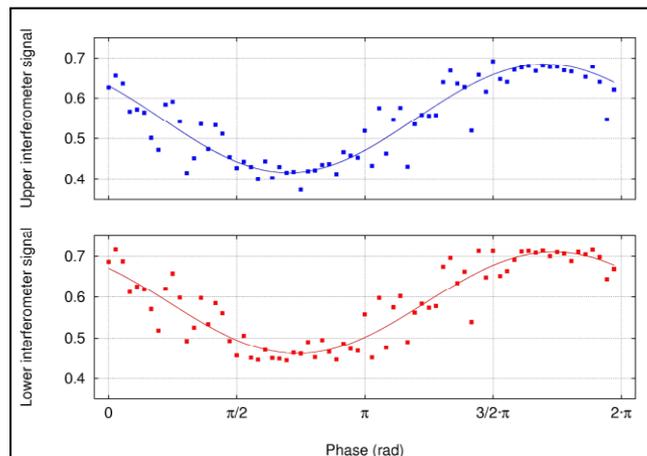
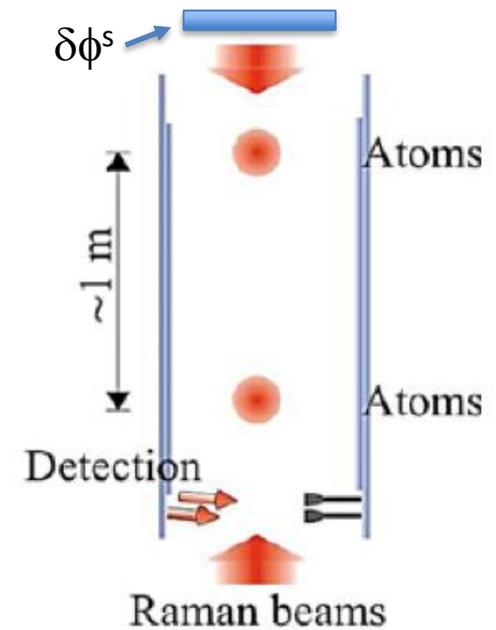
# Gravimetri atomici

- 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



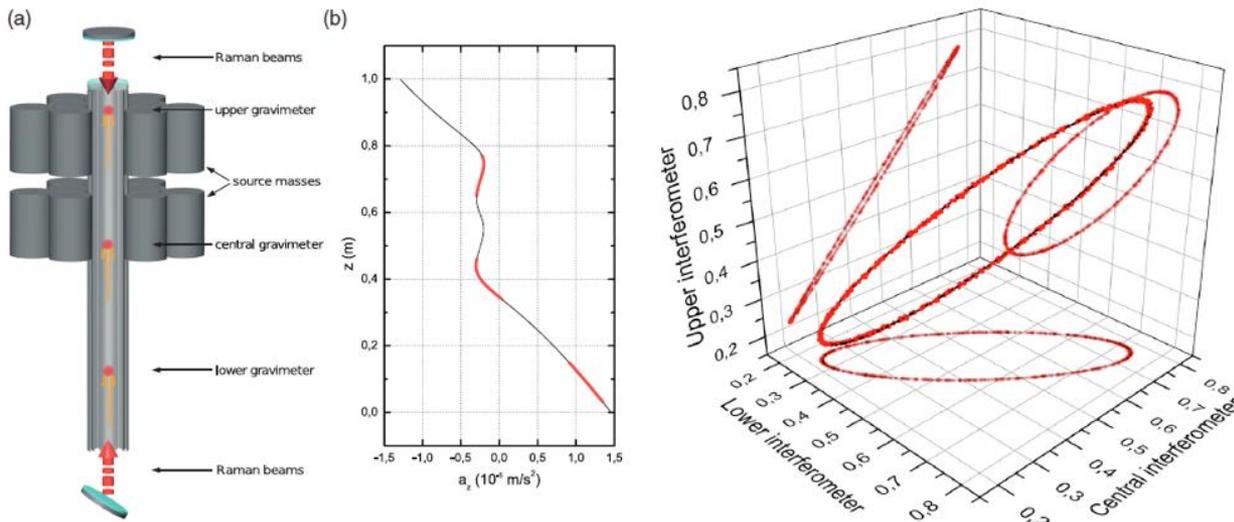
# Gradiometri gravitazionali

- 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

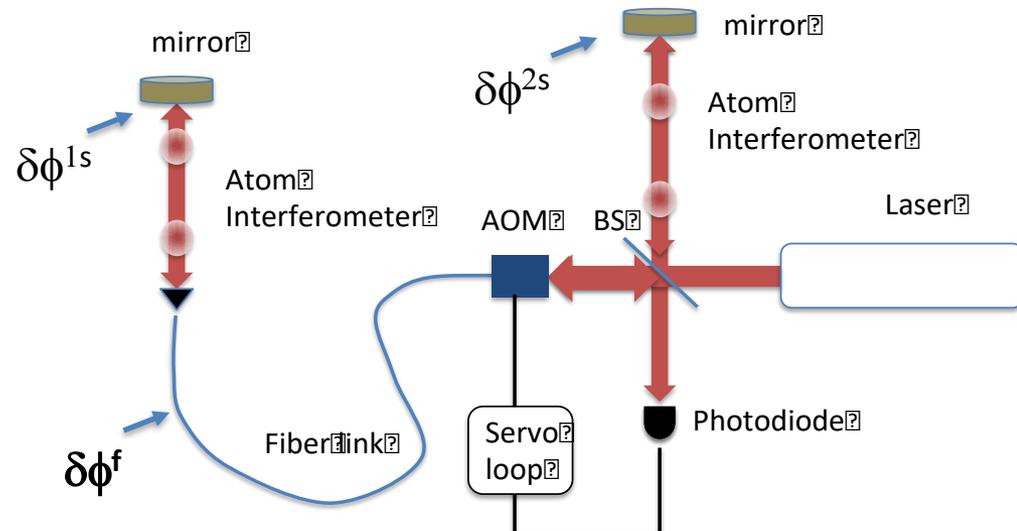
- Con  $n+1$  campioni atomici equispaziati si misura la derivata spaziale  $n$ -sima del campo gravitazionale
- Dimostrato ad es. per la misura della curvatura del campo gravitazionale
  - F. Sorrentino et al., Appl. Phys. Lett. **101**, 114104 (2012)
- La sensibilità nella misura di gradiente dipende dalla *distanza* tra i sensori
  - Misure ultra-sensibili richiedono apparati di grandi dimensioni
  - E.g. progetto MIGA del CNRS, attualmente in costruzione a LNBB



# FLAGS: concetto di base

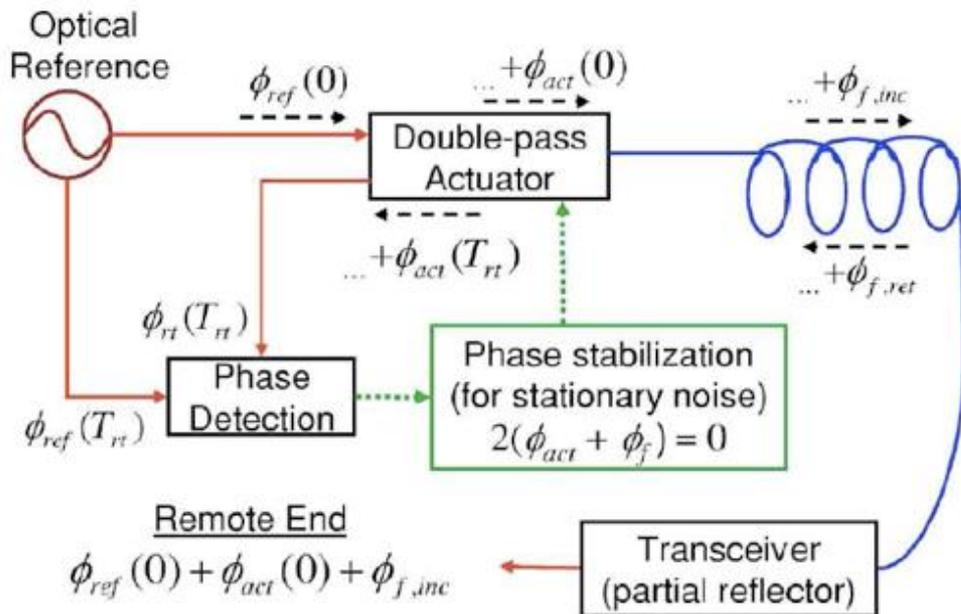


- Dimostrare la possibilità di misurare il gradiente gravitazionale con due sensori atomici compatti e distanti
- Utilizzare lo *stesso campo laser* per interrogare i due gravimetri, mediante un *link coerente* in fibra ottica
- Studiare la scalabilità della rete per:
  - numero di sensori
  - distanza tra i sensori
  - dimensioni (e sensibilità) del singolo sensore
- Studiare le configurazioni ottimali per specifici campi applicativi
  - Topologia della rete
  - trade-off costo/prestazioni



# 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



# Link ottici coerenti



Direct fiber link from UNIFI to INRIM (Torino) - 642 km

$10^{-19}$  frequency stability

**N. Poli, coord. naz. PRIN - MIUR (2009)**

**N. Poli et al., Appl. Phys. B (2014) 117: 1107**

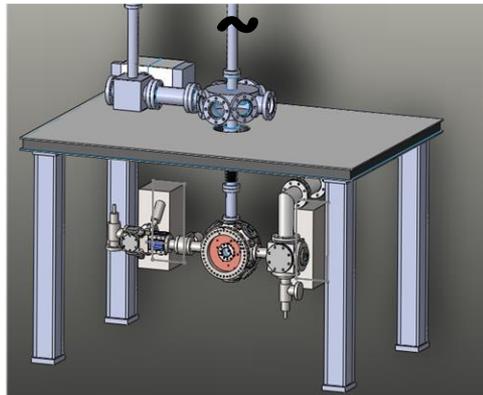
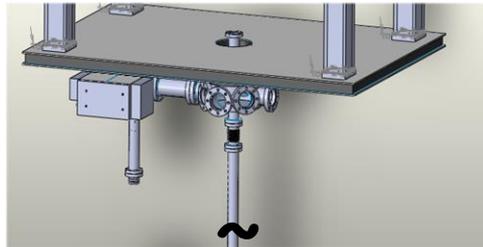
**D. Calonico et al., Appl. Phys. B 117, 979–986 (2014)**



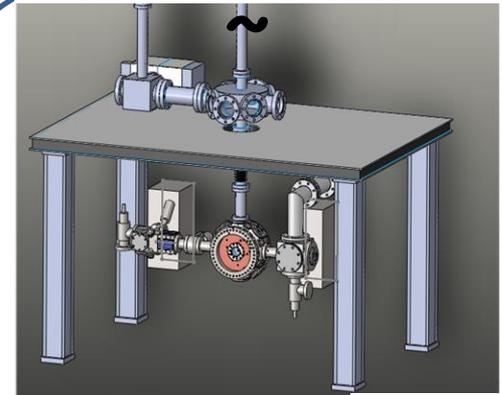
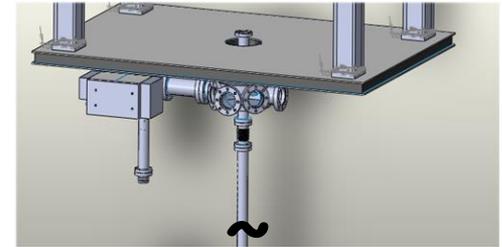
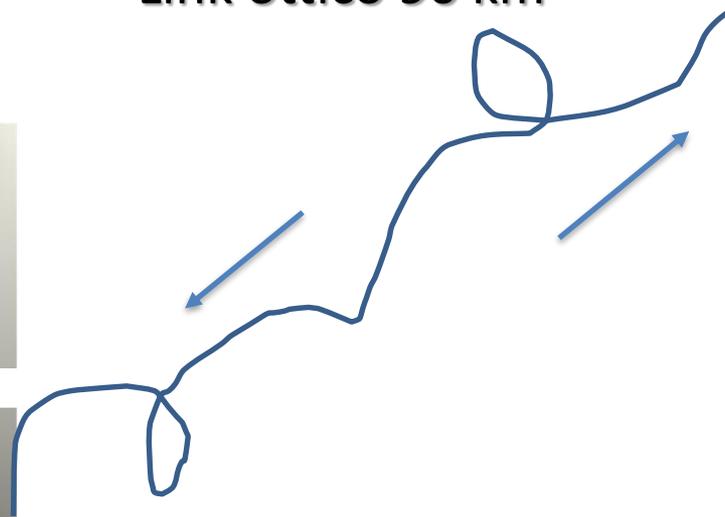
# L'idea

- Rete di gravimetri/gradimetri distribuita
- Interrogazione dei sensori per mezzo dello *stesso* campo laser

INFN - Firenze 



Link ottico 90 km



INFN - Pisa 

 EGO EUROPEAN GRAVITATIONAL OBSERVATORY

D. Calonico, C. Calosso, C. Clivati, G. A. Costanzo, A. Godone, M. Frittelli, A. Mura, N. Poli, D. V. Sutyryn, G. M. Tino, M. Zucco and F. Levi, "High accuracy coherent optical frequency transfer over a doubled 642 km fiber link", *Appl. Phys. B* **117**, 979–986 (2014)

- 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
  - 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)]

# Il gruppo proponente



- Genova (F. Sorrentino)
  - coord. naz. + “physics package” del sensore atomico
- Firenze (N. Poli)
  - laser per beam splitter dell’interferometro atomico, implementazione dello schema di ottica atomica, topologia del link ottico, test della rete su scala di laboratorio
- Pisa (G. Cella)
  - isolamento sismico, controllo angolare, elettronica di controllo della rete
- Milano (J. Harms)
  - modelli per misure di rumore Newtoniano
- Roma 3 (W. Plastino)
  - modelli per misure di fisica della terra e dell’atmosfera
- Enti esterni
  - INGV (supporto per lo studio di applicazioni geofisiche)
  - EGO (supporto per test su larga scala, confronto con reti di sismometri per monitoraggio del rumore Newtoniano – R.Passaquieti)

- In corso
  - MAGIA Advanced (Gr. II)
    - Sezioni di FI e PI
      - Metodi per interferometri atomici avanzati
  - PRIN 2015
    - UNIFI, UNINA, UNIURB, INFN, INGV, EGO
      - Tecniche sub-shot noise per interferometri atomici
      - Sviluppo di modelli per applicazioni alla vulcanologia, a test di fisica fondamentale e alla rivelazione di onde gravitazionali
- Proposte in corso di valutazione
  - S. Paolo bando 2017
    - Sviluppo di una sorgente ottica basata su stati quantistici per applicazione a gravimetri atomici
  - Bando INFRADEV2017 H2020
    - ELGAR (European Laboratory for Gravitation and Atom-interferometric Research), coord. CNRS
      - Sviluppo di una infrastruttura sotterranea su scala chilometrica per fisica gravitazionale

- Primo anno
  - Progetto e sviluppo del singolo sensore atomico
  - Definizione e sviluppo del link ottico
  - Progetto dei sistemi di isolamento sismico ed angolare
- Secondo anno
  - Test del metodo proposto su scala di laboratorio
  - Sviluppo del link ottico su grande scala
  - Sviluppo dei sistemi di isolamento sismico ed angolare
- Terzo anno
  - Test su grande scala (link da 90 km tra FI e EGO)
  - 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), che nel secondo anno contribuiranno alla definizione della topologia della rete

# Struttura del progetto



- WP1 Meccanica ed elettronica del sensore atomico (GE + FI)
  - sistema da vuoto, apparato opto-meccanico, e controllo dei campi magnetici per il singolo sensore della rete, elettronica relativa
- WP2 Ottica atomica e link in fibra ottica (FI + GE + PI + EGO)
  - beam-splitters atomici e rivelazione; link in fibra ottica e controllo a due vie; test della rete su prototipo da laboratorio.
- WP3 Isolamento sismico ed elettronica di controllo (PI + GE)
  - sistema per la riduzione del rumore di accelerazione verticale sul singolo IA; sviluppo del sistema elettronico di controllo e read-out della rete di sensori.
  - sviluppo di un sistema di controllo dell'assetto angolare e del rumore di puntamento per i fasci laser utilizzati come beam splitter per il pacchetto d'onda atomico
- WP4 Modelli per misura del rumore newtoniano (MI + RM3 + INGV + EGO)
  - metodi di analisi del segnale per la misura del rumore newtoniano
- WP5 Modelli per misura di osservabili fisiche in ambiente terrestre (RM3 + INGV)
  - analisi di serie temporali per caratterizzazione delle componenti di rumore, modelli per misure di osservabili geofisiche

- Ricercatori:
  - N. Poli (resp. locale.) 60%
  - G. M. Tino 40%
  - M. Fattori 50%
  - G. D'Amico 30% (dottorando UNIFI - associato)
  - Liang Hu 50 % (dottorando UNIFI - associato)
- Servizi:
  - Officina elettronica 2 m/u
  - Officina meccanica 1 m/u
  - Servizi generali 1 m/u
- Spazi:
  - Nessuna richiesta. L'attività verrà svolta negli attuali spazi dedicati alle attività MAGIA-MAGIA Adv.

# Fine

---



Grazie per l'attenzione...