

Curriculum Vitae di Piero Rapagnani

Informazioni personali

Stato Civile

Coniugato

Posizione attuale

Inquadramento

Professore Associato

Struttura

Dipartimento di Fisica, Università di Roma "La Sapienza"

Indirizzo

P.le A. Moro 2 – 00185 Roma

Telefono

+39 06 49914210

E-mail

piero.rapagnani@roma1.infn.it

Curriculum Accademico

1 Novembre 2001

Consegue l'idoneità a ricoprire il ruolo di Professore Associato, settore Fis 01 e viene chiamato presso il Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "La Sapienza".

19 Febbraio 1987

Diviene Ricercatore Confermato presso il Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "La Sapienza".

19 Febbraio 1984

Vince un posto come Ricercatore presso il Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "La Sapienza".

13 Luglio 1983

Vince una borsa di studio del CNR per l'estero, di cui usufruisce presso il Gruppo Radio Frequenza diretto dal Dr. P. Bernard della divisione EF del CERN a Ginevra.

Maggio-Giugno 1983

Svolge per due mesi attività professionale presso la ditta SISTEL di Roma in qualità di progettista di sistemi IR.

12 Novembre 1979 – 4 Novembre 1980

Svolge il servizio militare.

20 Settembre 1979

Vince la borsa di studio dell'ENEA "Misure di interferometria ottica multicanale" (n.18 del bando del 23/2/1979), da fruirsi presso la Divisione Fusione del Centro di Frascati.

29 Novembre 1978

Si laurea in Fisica il 29/11/1978 presso il Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "La Sapienza" con votazione 110/110 e lode discutendo una tesi dal titolo: "Misura del Rumore Browniano di un'antenna gravitazionale a 4.2 K", relatore il prof. Ivo Modena.

Luglio 1973

Maturità scientifica conseguita presso il Liceo Scientifico Statale "S. Cannizzaro" di Roma con votazione 60/60.

Attività di Ricerca

- **Introduzione**
- **1979-1982** **Attività scientifica post laurea**
- **1981** **Sviluppo del Trasduttore Risonante Capacitivo**
- **1981-1990** **Costruzione e Commissioning di EXPLORER al CERN**
- **1989-1995** **Sviluppo di trasduttori parametrici di tipo BAE (Back Action Evasion)**
- **1990-1995** **Costruzione del NAUTILUS al CERN**
- **1995** **Inizio Collaborazione con Virgo**
- **1996-2001** **Costruzione e Commissioning dell'Interferometro Centrale, come responsabile degli ultimi stadi di sospensione (Payload)**
- **2001-2003** **Costruzione di Virgo in Configurazione Iniziale**
- **2002-2008** **Collaborazione con l'esperienza AMS2**
- **2004-2008** **Proponente e partecipante a ILIAS-STREGA JRA in FP6**
- **2003-2007** **Primo run scientifico di Virgo e accordo con LIGO**
- **2008-2011** **Costruzione e Commissioning di Virgo+ con Sospensioni Monolitiche, come Detector Coordinator**
- **2008-2012** **Design Study di ET (Einstein Telescope) in FP7, come Coordinatore del Working Group 2 (Mirror Suspension and Control)**
- **2010-present** **Progettazione e costruzione di Advanced Virgo, come PAY SubSystem Manager**
- **2015** **Archimedes**
- **2016** **Prima rivelazione di onde gravitazionali da parte della collaborazione LIGO-Virgo**

Introduzione

L'attività scientifica del sottoscritto si è sempre incentrata, anche se con percorsi collaterali anche importanti (Casimir, AMS2), sullo studio e realizzazione di rivelatori per le onde gravitazionali.

Le onde gravitazionali, previste dalla teoria della Relatività Generale di Einstein, sono essenzialmente perturbazioni della geometria dello spazio-tempo che si propagano con la velocità della luce. La loro interazione con la materia è estremamente debole e quindi è possibile rivelarle soltanto nel caso siano emesse con eccezionale intensità da sorgenti astrofisiche. Un tipico esempio è il caso della coalescenza di due buchi neri. Se si considera una distanza sufficiente ad includere un numero di galassie che fornisca con buona probabilità un evento al mese (circa 100 Mpc), si ha che la variazione relativa della distanza tra due punti, effetto osservabile della deformazione della geometria prodotto dal passaggio dell'onda, è dell'ordine di $\Delta L/L \sim 10^{-21}$.

Si tratta di una sfida scientifica e tecnologica, che ancor oggi, quasi mezzo secolo dopo i lavori pionieristici di Weber è aperta e in pieno svolgimento.

Attività scientifica post laurea (1979-1984)

Piero Rapagnani si laurea in fisica il 29/11/1978 con votazione 110/110 e lode discutendo una tesi dal titolo: *Misura del Rumore Browniano di un'antenna gravitazionale a 4.2 K*, relatore il prof. Ivo Modena.

Il lavoro di tesi si svolge nell'ambito del Gruppo Onde Gravitazionali G 23 dell'Istituto di Fisica dell'Università di Roma "La Sapienza" e consiste essenzialmente nella messa a punto e nelle prove di una antenna gravitazionale risonante di 20 kg di massa raffreddata alla temperatura dell'He liquido. Una volta funzionante il sistema viene usato per studiare il comportamento a 4.2 K di un'antenna gravitazionale in cui vengano rivelati, mediante trasduttori piezoelettrici, sia i modi di vibrazione longitudinale di ordine dispari (eccitati dall'arrivo di un'onda gravitazionale) che pari (trasparenti alle onde gravitazionali).

In seguito, il sottoscritto partecipa alle misure necessarie alla caratterizzazione alla temperatura dell'azoto liquido e a quella dell'elio liquido dell'antenna gravitazionale criogenica di 380 kg di massa realizzata presso l'Istituto per la Fisica dello Spazio Interplanetario (IFSI) del CNR a Frascati.

Nello stesso tempo, il sottoscritto prosegue l'attività di sviluppo dei rivelatori gravitazionali collaborando all'indagine sulla possibilità di utilizzare un cristallo piezoelettrico di LiNbO₃ (Niobato di Litio) come trasduttore per antenne gravitazionali risonanti criogeniche. La prova di un campione usato come trasduttore di un'antenna di Al di 24 kg, raffreddata a 4.2 K, rivela la probabile esistenza di un picco di dissipazione anelastica, non noto dalla letteratura, centrato alla frequenza di circa 1 kHz alla temperatura dell'He liquido. L'osservazione del picco è stata resa possibile soltanto grazie all'accoppiamento del cristallo con l'antenna gravitazionale.

Vince, il 20/ 6/ 79, la borsa di studio del CNEN Misure di interferometria ottica multicanale (n.18 del bando 23/2/1979), da fruirsi presso la Divisione Fusione del centro di Frascati. In seguito, presta servizio nei laboratori del CNEN fino al 12/11/1979, data in cui parte per il servizio militare, collaborando alla realizzazione di un apparato di diagnostica del plasma mediante metodi interferometrici che sfruttano il fascio di microonde emesso da un laser HCN.

Una volta congedato dal servizio militare, il sottoscritto continua l'attività scientifica nel gruppo Onde Gravitazionali di Roma, collaborando alla realizzazione di filtri meccanici di elevata attenuazione per antenne gravitazionali criogeniche. Data la piccolissima ampiezza prevista per i segnali gravitazionali, l'isolamento di un'antenna gravitazionale dai disturbi acustici e sismici provenienti da sorgenti esterne (rumore ambiente) od interne al criostato che la contiene (ad es. ebollizione dei liquidi criogenici) costituisce uno dei problemi principali del suo funzionamento. Gli studi condotti hanno permesso di realizzare filtri

meccanici con un'attenuazione di $\approx 10^6$ a $T=4.2$ K e alla frequenza di 8000 Hz, che si sono rivelati efficaci nel rendere trascurabili, rispetto al livello browniano di eccitazione, i disturbi acustici che giungevano su una piccola antenna criogenica di 20.3 kg di massa. Si è trattato di una prima esperienza che ha poi permesso di progettare filtri meccanici adeguati sia per l'antenna gravitazionale di 380 kg dell'IFSI di Frascati che per quelle di 2400 kg di massa che verranno messe in funzione negli anni successivi presso i laboratori del CERN a Ginevra (EXPLORER) e i Laboratori Nazionali dell'INFN a Frascati (NAUTILUS).

In questo stesso periodo lo scrivente gestisce il funzionamento dell'antenna di 20 kg di massa presso il Dipartimento di Fisica di Roma "La Sapienza", partecipando alle prime misure in coincidenza tra questa antenna e quella di Frascati. L'analisi dei dati registrati nel corso delle misure ha permesso di osservare coincidenze tra le due antenne che si riconoscerà poi dovute ad eccitazioni meccaniche legate ai periodi delle vibrazioni della Terra, sia libere che forzate dalle maree solari e lunari, un effetto che oggi è ben noto ed è completamente sotto controllo della tecnologia attuale.

1981: lo sviluppo del Trasduttore Risonante Capacitivo per le antenne criogeniche.

Negli anni seguenti, il sottoscritto studia e sviluppa un nuovo tipo di trasduttore elettromeccanico risonante capacitivo per antenne gravitazionali criogeniche. Il problema presentato dalla realizzazione di un trasduttore efficiente per rivelare il segnale proveniente dall'antenna gravitazionale è uno dei punti centrali dell'esperimento. L'efficienza di un trasduttore elettromeccanico per antenne gravitazionali viene indicata essenzialmente da due parametri: il fattore di accoppiamento in energia β tra l'antenna ed il trasduttore, che indica l'energia nell'antenna, dovuta al segnale, che viene convertita in energia elettrica disponibile all'ingresso dell'amplificatore, ed il fattore di merito meccanico totale del sistema antenna+trasduttore, che deve essere naturalmente il più vicino possibile al valore proprio della sola sbarra risonante, e comunque il più alto possibile. Uno dei metodi ideati per riuscire ad aumentare il valore di β è stato quello di usare appunto trasduttori risonanti, in cui sono rivelate le vibrazioni di una piccola massa solidale con l'antenna ed avente la sua stessa frequenza di risonanza. In questo modo il valore di β viene accresciuto di un fattore pari all'inverso del rapporto tra la massa minore e quella maggiore, rispetto al caso di un trasduttore non risonante. D'altra parte, per due oscillatori perfettamente accoppiati, il Q totale è pari al doppio del Q minore tra quelli dei due oscillatori disaccoppiati. E' quindi essenziale che il risonatore del trasduttore abbia un Q intrinseco il più elevato possibile.

Dopo una fase di indagine con vari tipi di risonatori, lo scrivente realizza un primo prototipo di trasduttore, risonante a 1700 Hz (frequenza di lavoro dell'antenna dell'IFSI di Frascati), costituito essenzialmente da un disco fissato al centro e risonante al primo modo flessionale simmetrico. Le dimensioni del disco sono fissate in modo che esso abbia una frequenza di risonanza lievemente superiore a quella dell'antenna. La differenza tra le due frequenze viene ridotta tramite la forza di richiamo esercitata dal campo elettrico di polarizzazione. Questo tipo di comportamento, tipico di due oscillatori accoppiati, viene verificato con prove a temperatura ambiente, sviluppando metodi per ottenere le caratteristiche dei due oscillatori disaccoppiati dalla sola misura dei modi del sistema accoppiato. Dato che il valore di Q misurato a temperatura ambiente è risultato notevolmente minore di quello proprio dell'antenna, e quindi ascrivibile in gran parte al risonatore, si formula l'ipotesi che, a differenza che nell'antenna, nel risonatore siano dominanti, a causa delle sue dimensioni ridotte, effetti dissipativi di tipo termoelastico. L'ipotesi viene verificata raffreddando il sistema alla temperatura dell'elio liquido, ed osservando variazioni di Q in accordo con quelle previste dalla teoria. Il trasduttore capacitivo viene quindi adottato per l'utilizzo sull'antenna risonante criogenica in operazione presso l'IFSI e per l'antenna in costruzione presso il CERN.

1981-1990 La costruzione dell'EXPLORER al CERN

Alla fine del 1981 il sottoscritto inizia a lavorare al CERN a Ginevra per la realizzazione dell'antenna criogenica EXPLORER di 2270 kg di massa che verrà collocata nella vecchia Hall sperimentale dove era la camera a bolle Gargamelle, il Bat.171, collaborando a tutti gli aspetti relativi al montaggio del criostato e assumendosi in particolare la responsabilità della progettazione e realizzazione del sistema di termometria. L'apparato consiste in un criostato in grado di raffreddare fino a 4.2 K un'antenna di massa fino a 5 tonnellate con un'autonomia di operazione di 54 giorni.

A fianco dell'attività di sviluppo del criostato il sottoscritto lavora alla progettazione, realizzazione e integrazione con l'antenna del trasduttore capacitivo risonante da lui ideato.

A questo fine, migliora il disegno del prototipo, creando il risonatore da un pezzo unico di materiale identico a quello dell'antenna e spostando l'ancoraggio dal centro del disco vibrante ad una base massiccia. Inoltre, al fine di ottenere un valore elevato di capacità che faciliti l'accoppiamento del segnale del trasduttore con uno SQUID, collabora con il laboratorio ENEA di Frascati per eseguire una lavorazione delle varie parti meccaniche mediante frese diamantate ad alta velocità che permettono di ottenere precisioni di circa $1 \mu\text{m}$ sulle dimensioni, e per definire la procedura più opportuna di pulizia e di montaggio in camera pulita. In questo modo sono raggiunte intercapedini di $\approx 50 \mu\text{m}$ con valori di campi di polarizzazione applicati fino a $2 \cdot 10^7$ V/m.

Per prevedere il segnale aspettato in uscita dall'antenna, viene sviluppato un modello matematico del sistema antenna-trasduttore risonante che permette di ricavare, in accordo con le osservazioni sperimentali, sia la massa dell'oscillatore semplice equivalente al risonatore, sia l'effetto dello spostamento della frequenza del trasduttore a causa del campo elettrico applicato. Il modello permette di sviluppare un nuovo metodo di analisi dati per un'antenna equipaggiata con un trasduttore risonante, schematizzando il sistema come costituito da due oscillatori indipendenti di opportune masse equivalenti corrispondenti ai due modi di vibrazione caratteristici del sistema antenna-trasduttore, e quindi calcolando le coincidenze tra i segnali dei due modi. I risultati ottenuti con gli algoritmi sviluppati a questo scopo sono in buon accordo con i risultati sperimentali.

Nella prima serie di misure eseguite con l'antenna EXPLORER il trasduttore capacitivo è stato accoppiato ad un amplificatore a FET a basso rumore. Il valore di Q che viene misurato per il sistema accoppiato, ($Q \approx 6 \cdot 10^6$), è il più elevato raggiunto in

apparati di quel tipo fino a quel momento.

Negli anni successivi, lo scrivente continuerà a partecipare attivamente alla gestione e allo sviluppo dell'antenna EXPLORER, specialmente per quanto riguarda gli aspetti criogenici, l'isolamento acustico, ed il sistema di trasduzione. Il trasduttore viene ulteriormente migliorato ed accoppiato, mediante un trasformatore superconduttore di elevata efficienza, ad un dc SQUID, un amplificatore superconduttore ad effetto Josephson, caratterizzato da una temperatura di rumore intrinseca di $\approx 10^{-6}$ K. Nel novembre 1985 collabora alla preparazione, alla messa in funzione ed alla successiva acquisizione dei dati dell'antenna gravitazionale in questa configurazione. L'apparato raggiunge una sensibilità pari a $\Delta I/I \approx 10^{-18}$ ad 1kHz, miglior valore ottenuto fino ad allora in un rivelatore di onde gravitazionali. L'antenna rimane in funzione per 9 mesi prima che la raccolta dati sia interrotta per introdurre ulteriori migliorie all'apparato, riguardanti principalmente gli stadi di filtraggio meccanico, specialmente al fine di ridurre ulteriormente il rumore acustico e sismico proveniente dall'ebollizione dell'elio nel suo contenitore. I dati raccolti vengono utilizzati per effettuare misure in coincidenza con altre due antenne di caratteristiche simili localizzate alle Università di Stanford e della Louisiana, negli Stati Uniti, permettendo di porre un nuovo limite superiore al flusso di onde gravitazionali che giunge sulla Terra.

Nel 1988 l'antenna EXPLORER viene raffreddata a 2 K pompando sul bagno di He liquido. Questa tecnica, anche se inizialmente non prevista nel progetto del criostato, si rivela efficace nel ridurre in modo drastico i disturbi acustici dovuti all'ebollizione dell'elio liquido e nel raddoppiare l'autonomia del criostato, a causa della diminuzione dei moti turbolenti all'interno del liquido criogenico. Dopo un periodo di interruzione di alcuni mesi, necessari per adattare il sistema alla nuova configurazione in modo stabile, l'antenna viene posta in misura nel maggio 1989 con una sensibilità che permette di rivelare variazioni del tensore metrico di $h = 8 \cdot 10^{-19}$, la migliore mai registrata fino a quel momento, e viene utilizzata per misure in coincidenza con le altre antenne criogeniche. Dal 1989, EXPLORER sarà in misura in modo praticamente continuo, con sensibilità competitiva rispetto agli altri rivelatori risonanti in operazione, fino a quando non verrà spenta nel 2011.

I dati di EXPLORER vengono anche utilizzati per porre un limite superiore al flusso sulla terra di nucleariti, particelle supersimmetriche ipotizzate come possibili costituenti della materia oscura.

Inoltre, l'antenna viene utilizzata per misurare l'andamento del campo Newtoniano vicino nell'intervallo da 2 a 5 m. A questo scopo viene realizzato un opportuno rotore in Al con un momento di quadrupolo di 0.113 kg m², ruotante a 461 Hz, frequenza pari alla metà di quella di lavoro dell'antenna. I risultati vengono riportati in due articoli che mostrano come la sensibilità della misura, al limite della sensibilità dei migliori esperimenti dedicati, sia limitata essenzialmente dall'incertezza di posizionamento dell'antenna all'interno del criostato.

1988-1995 La costruzione del NAUTILUS al CERN.

A fianco dell'attività di sviluppo del criostato EXPLORER, già a partire dal 1984, lo scrivente partecipa attivamente alla progettazione e realizzazione di un nuovo criostato, in grado di raffreddare un'antenna gravitazionale di 2500 kg a circa 100 mK, assumendosi tra l'altro la responsabilità specifica della progettazione e realizzazione del sistema di termometria. Il nuovo apparato, denominato NAUTILUS, viene progettato in modo tale da poter raggiungere sensibilità dell'ordine di $h \approx 10^{-21}$. A quel tempo si pensava che una sensibilità simile avrebbe consentito di poter osservare gli impulsi di onde gravitazionali emessi dalle esplosioni di supernovae nell'ammasso di galassie più vicino a noi, quello della Vergine.

Nel 1990, al fine di valutare la frequenza e le intensità dei segnali prevedibili per l'antenna ultracriogenica NAUTILUS, lo scrivente ha studiato la frequenza del segnale aspettato generato dall'esplosione di Supernovae in funzione della distanza, sulla base dei modelli disponibili a quel tempo. A questo scopo sono stati analizzati il tipo e la distanza di 2810 galassie vicine in funzione di tre modelli statistici di produzione di Supernovae. Si è trovata una frequenza aspettata di alcuni impulsi l'anno già ad una distanza pari alla metà di quella dell'ammasso di galassie nella Vergine. Tuttavia, i modelli attuali prevedono un'emissione di onde gravitazionali da collassi stellari almeno 1000 volte inferiore, e non consentono di aspettarsi una rivelazione di segnali di questo tipo, se non per eventi galattici, e quindi con una frequenza di un evento ogni 20 – 30 anni.

La progettazione del nuovo criostato viene completata nel 1987. Nell'ottobre del 1988 inizia il montaggio presso il CERN del nuovo rivelatore. La prima prova dell'antenna ultracriogenica completa viene effettuata nei primi mesi del 1991. Durante la prova, l'antenna raggiunge una temperatura minima di 95 mK, dimostrando per la prima volta che è possibile raffreddare masse dell'ordine della tonnellata al di sotto di 100 mK.

Dopo tre run di prova al CERN, il NAUTILUS viene trasferito ai Laboratori Nazionali di Frascati dell'INFN, dove entra in misura nel febbraio 1995, ed è attualmente (2012) ancora in operazione.

Parallelamente alle attività di sviluppo e gestione di antenne criogeniche risonanti lo scrivente prosegue in quel periodo lo sviluppo di trasduttori risonanti capacitivi da accoppiare ai rivelatori, seguendo essenzialmente tre linee:

a) Sviluppo di un sistema standard di montaggio e diagnostica in grado di fornire trasduttori per i vari esperimenti gravitazionali in modo affidabile.

A causa delle ottime prestazioni del trasduttore capacitivo realizzato per l'EXPLORER, che erano le migliori raggiunte in campo internazionale, lo stesso schema di trasduzione viene adottato anche su tutti i rivelatori gravitazionali risonanti in Italia (le antenne criogeniche EXPLORER e NAUTILUS al CERN, l'antenna criogenica dell'IFSI, a Frascati, l'antenna criogenica dei Laboratori INFN di Legnaro, le antenne a temperatura ambiente GEOGRAV a Roma, ed AGATA al CERN). Inoltre anche il gruppo che ha realizzato l'antenna ALLEGRO in Louisiana e il gruppo di onde gravitazionali giapponese studiano ed utilizzano lo stesso schema. Quindi, a partire dal 1985 lo scrivente organizza lo sviluppo di un laboratorio di costruzione e diagnostica a

bassa temperatura dei trasduttori necessari per i vari esperimenti gravitazionali risonanti.

Per quanto riguarda la costruzione di nuovi trasduttori, al fine di migliorarne ulteriormente le prestazioni, lo scrivente è stato promotore di un'iniziativa che permettesse di adeguare le strutture del Servizio Meccanico della Sezione di Roma 1 dell'INFN alle esigenze di lavorazioni di alta precisione e di metrologia, in modo da consentire un controllo più accurato della storia termica dei materiali utilizzati, delle tolleranze di lavorazione meccanica e dello stato conseguente delle superfici lavorate. A questo scopo è stato realizzato presso i locali del Servizio Meccanico, un Reparto di Alta Precisione. Utilizzando le strutture del Reparto, si è arrivati a realizzare un trasduttore con un'intercapedine di $13\ \mu\text{m}$, minore di un fattore 4 del valore tipico per apparati di questo tipo.

Inoltre, in collaborazione con il Prof. Iacopini e la Dr.ssa Puppo del Dipartimento di Fisica dell'Università di Firenze è stato studiato e realizzato un apparato di trasduzione capacitiva e risonante per la misura dell'effetto Casimir tra conduttori, che ha permesso di affacciare superfici di rame ricoperte d'oro, di 25 mm di diametro, fino a $0.7\ \mu\text{m}$ di distanza.

Per quanto riguarda invece la diagnostica del sistema di trasduzione, prima del montaggio su un'antenna, un primo periodo di tempo viene impiegato per la realizzazione di un opportuno sistema di test che permetta di verificare in laboratorio il comportamento del trasduttore alla temperatura dell'elio liquido. La realizzazione del sistema di prova è complicata dalla mancanza di punti nodali accessibili per il trasduttore e quindi dalla necessità di ridurre il più possibile la dispersione di energia verso l'esterno mediante un sistema di filtri meccanici. Si ottiene infine un sistema che permette di misurare in laboratorio valori di Q dei trasduttori paragonabili a quelli ottenuti con trasduttori accoppiati ad un'antenna gravitazionale. Inoltre, a partire dal 1993, il sistema viene migliorato in modo da permettere la misura in laboratorio non solo dei parametri meccanici, ma anche di quelli elettrici del trasduttore. In questo modo viene realizzato un apparato di sviluppo e diagnostica che è stato utilizzato per verificare in modo completo il funzionamento di un trasduttore risonante prima del montaggio su una delle varie antenne.

Mediante questo sistema sono stati realizzati e provati in laboratorio i trasduttori capacitivi per l'antenna NAUTILUS, per l'antenna criogenica ALTAIR, in funzione presso l'IFSI del CNR di Frascati, e per l'antenna ultracriogenica AURIGA realizzata presso i Laboratori dell'INFN di Legnaro.

Inoltre il sistema è stato utilizzato per effettuare tutti gli studi sui materiali ed i trasduttori descritti di seguito.

b) Studio delle caratteristiche di nuovi materiali per i trasduttori con minori perdite intrinseche.

Utilizzando il sistema di prova, sono state effettuate varie prove in laboratorio per verificare l'esistenza di materiali con un valore di Q più elevato di quello dell'Al 5056, e che consentissero quindi la realizzazione di trasduttori più efficienti. In particolare sono stati pubblicati i risultati di prove su trasduttori in 38NiCrMo4 e in Ti puro al 99.95%, e su un monocristallo di BGO.

c) Realizzazione a medio-lungo termine di un trasduttore capacitivo parametrico che permetta prestazioni più elevate rispetto alle tecniche standard. Quest'ultimo punto è particolarmente importante, e costituirà una linea di ricerca che andrà avanti per alcuni anni, fino al 1995. Infatti, già alla fine degli anni '80 era chiaro allo scrivente che il miglioramento della sensibilità futura delle antenne gravitazionali risonanti sarebbe stato estremamente difficile utilizzando unicamente le tecniche sviluppate sino ad allora, e che un salto tecnologico era necessario se si voleva rimanere competitivi con i nuovi rivelatori interferometrici, la cui costruzione stava iniziando. Per questo motivo, si ritenne essenziale, insieme all'attività di sviluppo lungo le linee già intraprese per i trasduttori risonanti, di affrontare una nuova strada, complessa ma potenzialmente in grado di migliorare la sensibilità delle antenne risonanti in modo significativo: lo studio di trasduttori risonanti parametrici in configurazione **Back Action Evasion (BAE)**.

1986-1995 Sviluppo di un trasduttore parametrico di tipo BAE (Back Action Evasion).

Dal 1986, inizia quindi lo sviluppo di una versione differenziale del trasduttore realizzato per l'antenna gravitazionale criogenica. In questa versione il trasduttore può essere utilizzato in configurazioni di amplificazione parametrica, che permettono in teoria sia di superare il limite di sensibilità dovuto alla temperatura di rumore dell'amplificatore, sia di aggirare il limite ultimo rappresentato dalla natura quantistica dell'antenna risonante. In linea di principio infatti il limite alla risoluzione in energia di un'antenna risonante (circa $10^{-7}\ \text{K}$ a 1 kHz), è imposto dalla sua natura quantistica. Tale limite può dunque essere aggirato utilizzando la tecnica BAE (Back Action Evading), consistente essenzialmente nell'accoppiamento dell'oscillatore armonico da monitorare con un oscillatore elettrico ad alto Q mediante un trasduttore capacitivo ed un campo elettrico di forma opportuna. Si può dimostrare che in questo caso solo una delle variabili in quadratura che rappresentano il moto dell'oscillatore meccanico viene letta dal sistema di trasduzione, ma tale variabile risulta disaccoppiata dal rumore di retroazione dell'amplificatore elettronico in uscita. Il rumore di retroazione disturba invece la componente in quadratura, non rivelata, dell'oscillatore meccanico.

Le condizioni sperimentali per la realizzazione di un apparato di rivelazione BAE richiedono l'impiego di trasduttori capacitivi differenziali con un elevato grado di bilanciamento delle capacità delle due intercapedini ed elevati valori di Q. Inoltre, il trasduttore differenziale deve essere inserito in un ponte capacitivo anch'esso con un elevato grado di bilanciamento e polarizzato con sorgenti di tensione sinusoidale con rumore di fase il più basso possibile.

Nel 1987 viene iniziata la realizzazione del primo prototipo di trasduttore BAE. Nel 1992, dopo alcuni anni di sviluppo, un trasduttore BAE completo di oscillatore meccanico ed elettrico accoppiati viene raffreddato a 4.2 K nel sistema di prova, ed è possibile osservare per la prima volta il comportamento previsto dalla teoria: il moto browniano dell'oscillatore meccanico viene rivelato senza alcun effetto di retroazione dell'amplificatore.

In seguito a questo risultato, nel corso del 1992 un modello completo di trasduttore BAE viene accoppiato all'antenna

gravitazionale risonante ALTAIR, e raffreddato a 4.2 K. Il sistema permette di ricavare informazioni importanti sull'operazione di un'antenna gravitazionale criogenica operante con trasduzione parametrica.

Inoltre, sulla base dell'esperienza raggiunta in laboratorio sul trasduttore BAE isolato, si progetta e si inizia la realizzazione di un esperimento in cui all'amplificatore elettronico viene sostituito un amplificatore a dc SQUID, mostrando che un tale sistema permetterebbe l'osservazione delle variazioni di energia di un oscillatore macroscopico con risoluzione di un quanto dell'oscillatore armonico equivalente, ed anche inferiore. Un tale apparato sarebbe estremamente interessante per lo studio della transizione tra fisica classica e fisica quantistica nella descrizione dei fenomeni.

Tuttavia, alla fine del 1995 divenne chiaro che la comunità delle antenne gravitazionali risonanti non era pronta ad investire risorse economiche e umane in una direzione di sviluppo che era in effetti complessa e difficile.

Un prodotto collaterale dei nostri studi sui trasduttori parametrici fu la realizzazione di una nuova configurazione di misura che prevedeva l'utilizzo di due trasduttori risonanti su una stessa antenna, con evidenti vantaggi riguardo la ridondanza e sensibilità del sistema. Ma soprattutto si trovò che la presenza di due trasduttori genera un modo aggiuntivo nell'antenna, a frequenza vicina a quella di rivelazione, che ha la caratteristica di essere trasparente per le onde gravitazionali, ma non per i disturbi spuri generati ad esempio dal passaggio di raggi cosmici, e poteva costituire quindi un utile strumento di veto.

1995 - Inizio della collaborazione con l'esperimento VIRGO

A partire dal 1995 lo scrivente entra nella collaborazione VIRGO per la realizzazione di un'antenna interferometrica per la rivelazione delle onde gravitazionali nella banda di frequenze da 10 Hz a 6 kHz con una sensibilità migliore di $h \approx 10^{-22}/\sqrt{\text{Hz}}$. L'interferometro viene costruito nella pianura di Cascina, vicino Pisa, ad opera di una vasta collaborazione italo-francese, con fondi principalmente dall'INFN e dal CRNS.

L'antenna consiste essenzialmente di un interferometro di Michelson-Morley, con bracci costituiti da cavità ottiche Fabry-Perot lunghe 3 km. Infatti, si può mostrare facilmente che l'ampiezza minima rivelabile dall'antenna è inversamente proporzionale alla lunghezza dei bracci. Per evitare fenomeni di diffusione dovuti al gas residuo che limiterebbero la sensibilità, il raggio laser viaggia in ultra alto vuoto in tubi di 1.2 m di diametro. Gli specchi delle cavità sono anche le masse di prova, la cui posizione relativa viene variata da un'onda gravitazionale incidente al di fuori del piano dell'interferometro. Poiché si vuole avere una sensibilità tale da poter misurare una variazione del tensore metrico dell'ordine di $h \approx (10^{-22}/\sqrt{\text{Hz}}$ a 10 Hz, $10^{-23}/\sqrt{\text{Hz}}$ a 100 Hz), è fondamentale che tutto il rivelatore sia isolato dal rumore sismico con un'efficienza di almeno 200 dB. Per questa ragione tutti gli elementi ottici che costituiscono l'interferometro sono sospesi all'estremità di pendoli lunghi circa 10 m costituiti da cinque filtri meccanici in serie, ciascuno con una frequenza di circa 0.5 Hz sia in direzione longitudinale che trasversale. Questa configurazione permette di rendere trascurabile il rumore sismico già al di sopra dei 4 Hz, ma ha come conseguenza che occorre implementare un sistema di *controllo globale* per mantenere l'interferometro sul punto di lavoro, per smorzare le oscillazioni di pendolo a bassa frequenza e compensare le lente variazioni della sua posizione di equilibrio (drifts), che avvengono ad esempio, a causa delle maree terrestri.

Il sistema di controllo delle ottiche avviene principalmente mediante lo stadio stadio finale della sospensione costituito da una massa chiamata "marionetta" su cui si agisce elettromagneticamente con degli attuatori bobina-magnete. Tuttavia, la forza di reazione agente sulla marionetta viene trasmessa allo specchio filtrata dalla funzione di trasferimento della sospensione, per cui risulta attenuata ad alte frequenze in modo tale da non garantire l'efficienza dell'apparato in quella zona dello spettro. Per questo motivo, attorno allo specchio viene posta un'altra massa, detta massa di reazione, avente a riposo il baricentro nella stessa posizione, e sospesa anch'essa alla marionetta in modo da usufruire dello stesso isolamento meccanico. La massa di reazione agisce direttamente sullo specchio mediante attuatori elettromagnetici.

L'ultimo stadio di sospensione, costituito da marionetta, specchio e massa di reazione, con i relativi attuatori, viene denominato *payload*, ed è disegnato in modo da mantenere il posizionamento statico e dinamico degli specchi e da disaccoppiare i vari gradi di libertà tra di loro massimizzando lo spostamento in una data direzione in funzione della forza applicata.

Infine viene implementato un sistema di *controllo locale* in grado di misurare la posizione di specchio, massa di reazione e marionetta rispetto ad un riferimento locale e mantenere memoria di tale posizione per allineare l'interferometro e riportarlo al punto di lavoro quando, per una qualsiasi perturbazione, sia variata la configurazione di misura.

Elementi aventi la stessa funzione della marionetta, ma con caratteristiche progettuali differenti, controllano anche i tre banchi ottici destinati all'iniezione del fascio laser, al filtraggio del fascio laser in ingresso, e alla rivelazione del segnale.

1996-2001 Costruzione e Commissioning dell'Interferometro Centrale

Nel 1996, lo scrivente diviene il subsystem manager della collaborazione VIRGO responsabile della realizzazione e della messa in funzione dell'ultimo stadio della sospensione di tutti gli elementi ottici dell'interferometro. Nel 1999 vengono assemblati i sistemi di sospensione dei banchi di iniezione, filtraggio, e rivelazione, e viene effettuata l'integrazione con i relativi elementi ottici. Nel 2000 viene montata la prima serie di ottiche dell'interferometro: si tratta di specchi provvisori montati su supporti in alluminio che riproducono le dimensioni degli specchi finali. Questa configurazione, proposta dallo scrivente, consente di provare in modo completo il comportamento delle sospensioni prima del montaggio delle ottiche vere. Permette inoltre di definire nel dettaglio la procedura di montaggio e di pre-commissioning dei sistemi di sospensione e controllo degli specchi, in modo da rispondere alle condizioni molto stringenti di pulizia e sicurezza che la manipolazione delle ottiche richiede. Questa fase di costruzione e integrazione termina nel 2001, con il completamento delle ottiche della parte centrale dell'interferometro (esclusi quindi gli specchi al termine dei bracci di 3 km). Questa configurazione ottica provvisoria viene denominata Interferometro Centrale (CITF) e consente di raccogliere i primi dati utili all'ottimizzazione sia del controllo locale che del controllo globale dell'interferometro.

2001-2003 Costruzione di Virgo in configurazione iniziale

Nel 2003 termina il montaggio delle ottiche finali di Virgo. Si tratta di 6 specchi, 4 dei quali, agli estremi dei bracci dell'interferometro, costituiscono anche le masse di prova che vengono osservate per registrare il passaggio di un'onda gravitazionale.

Una volta completato, l'interferometro entra in fase di commissioning: i vari sistemi vengono integrati fino a far raggiungere all'interferometro il punto di lavoro ottimale, mantenuto dai sistemi di controllo locale e globale (punto di locking). Si passa quindi ad una fase di individuazione e riduzione dei rumori spuri, non fondamentali, presenti nel segnale, fino a giungere ad una sensibilità il più possibile vicina a quella di progetto, e comunque in grado di fornire dati di rilevanza scientifica.

2003-2007 Primo run scientifico di Virgo e accordo con LIGO

In questa fase, la Collaborazione Virgo discute al suo interno e con gli enti finanziatori la strategia da seguire per avere un ruolo il più possibile significativo nella futura prima rivelazione delle onde gravitazionali. Lo scrivente, a quel tempo membro della Seconda Commissione Scientifica dell'INFN (Fisica Astroparticellare), viene incaricato dalla Commissione di redigere una roadmap per lo sviluppo dei rivelatori di Onde Gravitazionali negli anni successivi. Le indicazioni che emergono dalla Collaborazione Virgo, e che vengono recepite nella roadmap proposta, portano alla ratifica di un accordo tra la Collaborazione Virgo e la Collaborazione LIGO, comprendente i due interferometri gravitazionali americani, per uno scambio libero dei dati e un'analisi in comune dei due esperimenti (*single machine approach*). L'accordo viene ratificato dagli enti finanziatori nel 2006.

Nel 2007 avviene il primo run scientifico di Virgo (*VSR1*), della durata di circa 3 mesi. I dati raccolti da LIGO e da Virgo vengono analizzati congiuntamente dalle due Collaborazioni, permettendo di stabilire una lunga serie di limiti superiori sulle possibili sorgenti di eventi astrofisici, quali segnali continui da pulsar veloci, o segnali variabili nel tempo dovuti ad esempio alla coalescenza di sistemi binari di buchi neri o stelle di neutroni. L'analisi congiunta consente anche di porre un importante limite superiore al fondo stocastico di onde gravitazionali, che viene pubblicato su *Nature*. Tale fondo stocastico si prevede sia dovuto essenzialmente alla sovrapposizione incoerente di un grande numero di sorgenti di onde gravitazionali di origine astrofisica e cosmologica, e dovrebbe mostrare un'impronta dell'universo a meno di un minuto dal big bang, inaccessibile ad altri tipi di osservazione. Il limite superiore riportato nell'articolo consente tra l'altro, di delimitare per la prima volta lo spazio dei parametri dell'equazione di stato dell'universo primordiale, e di escludere una serie di valori di tensione nei modelli di teoria delle stringhe.

2002-2008 Collaborazione con AMS-02

Nel periodo 2002 - 2008 il sottoscritto ha anche collaborato all'esperimento AMS-02, un rivelatore di particelle che è stato installato sulla Stazione Spaziale Internazionale nel 2011 e che prenderà dati per almeno tre anni. Nel tempo di osservazione, il rivelatore sarà in grado di porre uno stringente limite superiore alla presenza di nuclei pesanti di antimateria nello spazio. Inoltre, l'apparato potrà rivelare sia direttamente che indirettamente l'esistenza di vari tipi di particelle ipotizzate come possibili costituenti della materia oscura.

Questa esperienza è iniziata da un lato per fornire competenze tecniche e scientifiche sviluppate dal sottoscritto in ambito gravitazionale alla collaborazione AMS e dall'altro per un'esigenza personale di arricchimento culturale in un ambito tecnicamente competitivo come gli esperimenti spaziali e scientificamente stimolante come la ricerca della materia oscura.

Nell'ambito di AMS il sottoscritto ha contribuito, soprattutto con le proprie conoscenze sulle tecniche criogeniche, l'analisi di modelli termici e l'isolamento dalle vibrazioni, alla realizzazione del sistema di distribuzione del gas per il Transition Radiation Detector, e del sistema di rilevazione della posizione mediante osservazione di stelle di riferimento (Star Tracker). In particolare, ha partecipato ai test presso i laboratori ENEA della Casaccia per verificare che il sistema di distribuzione di gas, progettato presso la Sezione INFN di Roma, rientrasse nelle specifiche richieste dalla NASA riguardo alle frequenze di risonanza ammissibili e alle massime accelerazioni sopportabili. Ha inoltre partecipato alla realizzazione di un primo prototipo di Star Tracker, specialmente per quanto riguardava la valutazione del comportamento termico. In seguito, ha collaborato principalmente con l'Ing. Gargiulo, della Sezione INFN di Roma, divenuto responsabile dell'integrazione di AMS2, alla valutazione dell'impatto termico e meccanico delle modifiche che venivano man mano apportate all'apparato. L'esperienza in AMS-02 è stata particolarmente importante perché ha portato lo scrivente a confrontarsi con il controllo strettissimo di ogni fase della realizzazione degli apparati caratteristico degli esperimenti spaziali. Questo tipo di approccio risulta infatti particolarmente utile anche in esperimenti sulla terra caratterizzati da scarsa o nulla ridondanza e cicli di operazione molto lunghi, come appunto gli interferometri gravitazionali.

La collaborazione con AMS-02 terminata nel 2008, quando il sottoscritto assume l'incarico di Detector Coordinator di Virgo, una responsabilità che richiedeva una presenza pressoché costante sul sito di Virgo a Cascina e non era compatibile con altri impegni scientifici.

AMS-02 è stato lanciato con successo nel 2011 e da allora è operativo sulla Stazione Spaziale Internazionale, dove ha già fornito importanti risultati scientifici.

2008-2011 Costruzione e Commissioning di Virgo+ con Sospensioni Monolitiche

Nel 2008, il sottoscritto viene nominato Detector Coordinator di Virgo, e diviene responsabile della gestione scientifica e dello sviluppo ulteriore dell'interferometro. In questa veste, dirige l'upgrade della macchina ad un nuovo stadio di efficienza in cui, in una prima fase, viene aumentata la sensibilità ad alta frequenza (per frequenze maggiori di alcune centinaia di Hz) dell'interferometro migliorando l'elettronica e aumentando la potenza del laser di ingresso fino a circa 18 W. In questa configurazione, denominata Virgo+, l'interferometro arriva alla sensibilità di progetto anche nella zona delle basse frequenze

(da 10 Hz a 60 Hz) e inizia un secondo run scientifico (VSR2), sempre in coincidenza con LIGO. In queste condizioni Virgo, che ha comunque una sensibilità a bassa frequenza di alcuni ordini di grandezza migliore di quella di LIGO, riesce per la prima volta a porre un limite superiore all'emissione di onde gravitazionali continue dalla pulsar nella Vela a 21.2 Hz, al di sotto del cosiddetto "limite di spindown", corrispondente all'ampiezza del segnale aspettato nell'ipotesi, comunque non realistica, che tutta la perdita di energia della pulsar sia dovuta ad emissione gravitazionale.

La zona delle basse frequenze è particolarmente importante non solo per la rivelazione di onde gravitazionali continue provenienti da pulsar, ma anche perché permette un più lungo tempo di integrazione del segnale a frequenza sempre crescente (*chirp*) che precede la coalescenza di due corpi massivi. Tuttavia, il miglioramento della sensibilità nella zona di bassa frequenza è anche quello che comporta i maggiori problemi, sia per il contributo di rumori spuri (chiamati comunemente "tecnici") ancora non ben modellizzati (acustici, sismici, elettromagnetici, di luce diffusa, effetti non lineari dovuti ai sistemi di attuazione), sia per la presenza dominante del rumore termico dei pendoli e delle masse di test. Tale rumore, tramite il teorema fluttuazione-dissipazione, dipende principalmente dalle dissipazioni meccaniche, sia dei fili di sospensione che dei materiali di cui sono costituiti gli specchi. Gli effetti dissipativi predominanti nei fili impiegati per sospendere gli specchi sono sia di tipo viscoso, dovute alle correnti di Foucault indotte dagli attuatori elettromagnetici sulla massa di reazione a causa della potenza dissipata per effetto Joule, sia di tipo intrinseco, legate al tipo di materiale utilizzato per sospendere gli specchi.

Gli effetti dissipativi degli specchi dipendono invece in gran parte dalle perdite meccaniche degli strati dielettrici altamente riflettenti depositati sulla loro superficie.

Mentre il run scientifico è in corso, prosegue dunque la preparazione di un secondo upgrade per migliorare ulteriormente la sensibilità di Virgo alle basse frequenze, riducendo il rumore termico e gli accoppiamenti elettromagnetici spuri. Per raggiungere questo scopo è necessario essenzialmente ridisegnare il payload. Infatti la massa di reazione viene ricostruita in materiale dielettrico, comunque compatibile con le stringenti condizioni di vuoto e pulizia, mentre i fili di C85, utilizzati fino a quel momento per sospendere gli specchi, vengono sostituiti con fili di silice fusa, che hanno perdite intrinseche di alcuni ordini di grandezza inferiori a quelle dell'acciaio. L'ancoraggio dei fili di silice fusa del diametro di 0.4 mm allo specchio avviene con una tecnica di incollaggio che ricostruisce in modo continuo i legami molecolari tra il vetro del filo e quello dello specchio, denominata *silica bonding*. Per questo, le sospensioni degli specchi con fibre di silice fusa vengono chiamate *monolitiche*.

L'upgrade di Virgo con sospensioni monolitiche, nella configurazione denominata Virgo+MS, viene completata nel 2010 e porta a due run scientifici, VSR3 e VSR4, nel 2010 e nel 2011. In questa configurazione l'interferometro non riesce a raggiungere in pieno la sensibilità prevista, probabilmente a causa degli effetti spuri che abbiamo prima elencato. Tuttavia, con un intenso sforzo di commissioning, Virgo+MS stabilisce un nuovo primato di sensibilità proprio nella zona delle basse frequenze in cui si trova il segnale continuo dovuto alla pulsar nella Vela. Questo risultato consente un ulteriore miglioramento del limite superiore all'emissione di onde gravitazionali già raggiunto per la prima volta durante VSR2, e si avvicina alla zona in cui inizia ad essere utile per verificare le predizioni su stelle di neutroni con equazioni di stato esotiche.

2004-2012 Le Proposte Europee: ILIAS STREGA JRA3 (2004-2008) in FP6 ed ET Design Study (2008-2012) in FP7

Accanto all'attività centrata sul rivelatore VIRGO, lo scrivente è stato anche tra i proponenti e i partecipanti di alcune iniziative europee che hanno avuto lo scopo sia di integrare la comunità delle onde gravitazionali a livello europeo, che di iniziare lo studio degli interferometri di terza generazione, rivelatori di sensibilità tale da costituire un primo vero osservatorio gravitazionale.

Un primo esempio è la partecipazione alla JRA3 (Joint Research Activity 3) del Network ILIAS (Integrated Large Infrastructure for Astroparticle Science) per la fisica astroparticellare approvato dalla Comunità Europea nell'ambito di FP6, il sesto programma quadro. ILIAS è stata un'attività di interscambio e collaborazione tra vari gruppi e laboratori di fisica stroparticellare in europa finanziata dal 2004 al 2008. La JRA3, denominata STREGA, costituiva una sezione del JRP (Joint Research Program) di ILIAS dedicata esclusivamente alla collaborazione tra i gruppi gravitazionali europei per lo sviluppo di lungo termine di tecnologie utili per migliorare la sensibilità degli interferometri gravitazionali. Il programma ha avuto senza dubbio il merito di avere contribuito in modo sostanziale all'integrazione dei vari gruppi europei di ricerca sulle onde gravitazionali, soprattutto per quello che riguarda le comunità che si occupavano di antenne risonanti e di interferometri.

In STREGA, il sottoscritto ha partecipato al Work Package 7 (WP-C1) Cryogenic Last Stage Suspension. Appare chiaro infatti, che, oltre all'utilizzo di materiali non dissipativi, come in Virgo+MS, una ulteriore diminuzione del rumore termico può essere ottenuta dal raffreddamento degli specchi. Inoltre, ci si rese presto conto che un tale raffreddamento avrebbe contribuito anche a ridurre l'effetto di lente termica, che, a causa della deformazione dello specchio per la potenza assorbita, deforma il fronte d'onda della luce che viaggia nell'interferometro.

Tuttavia il problema del raffreddamento degli specchi a livello criogenico è complicato dal rumore acustico e sismico indotto sia dall'ebollizione dei liquidi refrigeranti che dalle parti mobili di eventuali refrigeratori. D'altra parte, la complessità e il costo di gestione di un grande impianto per il raffreddamento ad elio liquido, ha subito indirizzato gli sforzi verso l'utilizzo di refrigeratori di nuovo tipo, denominati a tubo impulsato, o pulse-tube, che hanno una buona efficienza e un minor numero di parti mobili degli altri refrigeratori. In questo tipo di refrigeratori infatti, il pistone che comprime ed espande il gas all'estremo freddo nel ciclo di Joule-Thomson viene sostituito da un fronte di pressione opportunamente generato. Si è proceduto quindi a sviluppare un refrigeratore pulse tube adatto ad essere accoppiato con l'ottica di un interferometro gravitazionale senza introdurre ulteriori vibrazioni. Per ottenere questo risultato, si è pensato di utilizzare le tecniche di retroazione sviluppate in Virgo per ridurre il movimento della testa del refrigeratore alla frequenza del ciclo termico (circa 1 Hz), mediante attuatori piezoelettrici. Un tale

sistema, denominato VFC (Vibration Free Cryostat) è stato implementato presso il laboratorio del gruppo Virgo della Sezione INFN di Roma presso "La Sapienza". Si è mostrato che il moto della testa del refrigeratore, corrispondente al punto freddo a cui va ancorata termicamente l'ottica da raffreddare, è stata ridotta di più di un fattore 10^{-2} su un grado di libertà. Si sta lavorando all'estensione della stessa attenuazione sugli altri gradi di libertà.

In parallelo, si è costruito un prototipo di ultimo stadio di sospensione di un blocco di silicio avente le dimensioni standard di uno specchio di Virgo (35 cm di diametro per 10 di spessore) e lo si è raffreddato mediante refrigeratori pulse tube in un criostato di prova realizzato sul sito di Virgo a Cascina. Si è trattato della prima esperienza di questo tipo, che ha fatto nascere una intensa collaborazione con il gruppo giapponese di KAGRA, che sta costruendo il primo interferometro con ottiche raffreddate. Inoltre, queste esperienze di criogenia a basso rumore in ambito gravitazionale si sono rivelate essenziali nel redigere una nuova proposta per la Comunità Europea, nell'ambito di FP7, il settimo programma quadro: il Design Study di ET, l'Einstein Telescope, un interferometro gravitazionale di terza generazione, che potrà essere costruito in Europa una volta che le onde gravitazionali siano state rivelate. Il sottoscritto è tra i proponenti del Design Study di ET che viene approvato ed è stato attivo dal 2008 all'inizio del 2012, ed in cui ha avuto il ruolo di Coordinatore del Working Group 2 (Mirror Suspension and Control). Lo scrivente lascerà la responsabilità di coordinatore del WG2 di ET quando assumerà la funzione di Detector Coordinator.

2010-present Advanced Virgo

Nel dicembre del 2009 l'INFN approva l'upgrade di Virgo ad Advanced Virgo. L'approvazione del progetto da parte del CNRS avviene alcuni mesi dopo. Si tratta di migliorare di circa un ordine di grandezza la sensibilità dell'interferometro rispetto a quella iniziale, in modo simile a quanto era già stato deciso per LIGO un anno prima, nel 2008.

Essenzialmente, il miglioramento in sensibilità viene ottenuto rendendo le sospensioni monolitiche più efficienti e raddoppiando la massa degli specchi in modo da ridurre il rumore termico alle basse e medie frequenze. Inoltre, l'ampiezza del fascio viene aumentata, in modo di ridurre il contributo al rumore termico dovuto al coating. Alle alte frequenze lo shot noise sarà ridotto aumentando la potenza del laser in ingresso a 200 W. L'elevata potenza circolante nell'interferometro ha però complicato notevolmente il disegno dei sistemi ottici e meccanici: intorno allo specchio devono essere posizionati baffle di dimensioni intorno al metro per assorbire i fasci dispersi, e per correggere la deformazione dello specchio indotta dalla potenza assorbita dal fascio laser è necessario utilizzare un complesso sistema di termocompensazione, che prevede di posizionare una lente aggiuntiva (*compensation plate*) a 20 cm dalla superficie a bassa riflettività degli specchi in ingresso delle cavità Fabry-Perot e un anello in vetro, riscaldato a varie decine di gradi da un avvolgimento in tungsteno percorso da corrente (il *Ring Heater*), concentrico allo specchio stesso, ad una distanza di pochi millimetri e con una precisione di posizionamento dell'ordine di 0.1 mm. Queste condizioni ci hanno portato a rivedere profondamente il disegno dell'ultimo stadio di sospensione degli specchi, rinunciando alla massa di reazione, con non può alloggiare elementi pesanti come baffle e compensation plate, o le motorizzazioni necessarie a posizionare il ring heater. Nel nuovo schema invece, sia la marionetta che lo specchio sono sospesi all'ultimo filtro meccanico del Super Attenuatore di Virgo, il cui corpo viene esteso verso il basso per sostenere tutti gli elementi che ora circondano lo specchio: i baffle, il compensation plate, il ring heater ed il supporto delle bobine di attuazione che agiscono su piccoli magneti incollati sullo specchio, come nello schema tradizionale di Virgo. L'analisi di questo nuovo sistema, sia dal punto di vista del rumore termico che del controllo locale, ha richiesto circa due anni di lavoro. È seguita poi la progettazione e realizzazione dei nuovi payload: la sfida tecnologica posta dalle necessità di preservare l'attenuazione sismica del Super Attenuatore e posizionare con la richiesta precisione tutti gli elementi intorno allo specchio si è rivelata notevole ed è stata risolta soltanto di recente (maggio 2015), con la realizzazione e l'installazione del primo payload completo per gli specchi all'ingresso dei bracci dell'interferometro.

Sin dall'inizio lo scrivente ha partecipato alla progettazione e all'approvazione di Advanced Virgo in qualità di SubSystem Manager dei sistemi di sospensione e controllo delle ottiche. Nei primi mesi del 2015 è iniziata il lungo e complesso lavoro di montaggio delle nuove sospensioni degli specchi di Advanced Virgo. L'integrazione della prima versione dei nuovi sistemi di terminerà alla fine di quest'anno, e all'inizio del 2017 Advanced Virgo entrerà in misurazione a fianco di Advanced LIGO per un nuovo run in coincidenza.

I rivelatori del tipo *advanced* sono in grado di rivelare sorgenti a distanze circa 10 volte più grandi di quanto avveniva negli interferometri iniziali, e quindi coprono un volume circa 1000 volte maggiore che in passato.

Grazie a questa aumentata sensibilità, il 14 settembre 2015 i due interferometri di Advanced LIGO, durante un run di prova prima dell'entrata in funzione ufficiale, hanno rivelato un segnale di onde gravitazionali che ha superato tutti i test di controllo, ed è stato pubblicato come il primo segnale di onde gravitazionali mai rilevato. Secondo i modelli, il segnale è stato prodotto dalla coalescenza di due buchi neri di alcune decine di masse solari, alla distanza di circa 400 Mparsec.

Altri due segnali simili sono stati rivelati da Advanced LIGO, prima che il run fosse interrotto. Uno di questi due segnali, sempre dovuto alla coalescenza di due buchi neri, ha superato tutti i controlli ed è stato designato come un secondo evento gravitazionale.

Si spera che all'inizio del 2017 Virgo possa dare il suo contributo costituendo insieme agli interferometri di Advanced LIGO una rete di rivelatori che porterà a nuove osservazioni della incipiente astronomia gravitazionale.

2015 Archimedes

La tecnologia in corso di sviluppo per i grandi interferometri gravitazionali sta aprendo nuove prospettive nella misura di piccole forze, permettendo di delineare un percorso che può portare ad una verifica sperimentale di uno dei problemi più aperti della fisica attuale: la non conciliabilità della Meccanica Quantistica con la teoria della Relatività Generale. Una manifestazione della differenza nelle predizioni delle due teorie è il valore della densità di energia del vuoto: la meccanica quantistica predice un valore enormemente più grande del valore fornito dalla relatività generale sulla base delle dimensioni dell'Universo. Questo

problema, noto come "il problema della costante cosmologica", ha portato a profonde investigazioni teoriche, che hanno implicato anche lo sviluppo della teoria delle stringhe e della gravità quantistica a loop. Tuttavia, attualmente non si ha ancora una soluzione definitiva: non si sa ancora se esiste un'interazione tra l'energia del vuoto e la gravità.

Circa dieci anni fa, è stato osservato che un possibile metodo per misurare questo effetto avrebbe potuto essere pesare una cavità di Casimir rigida opportunamente realizzata. L'effetto Casimir, in cui due piastre conduttrici affacciate si attraggono tra di loro, è stato più volte verificato in passato, ed è dovuto all'esclusione di alcuni modi di vibrazione delle fluttuazioni elettromagnetiche del vuoto a causa delle condizioni al contorno create dalle due lastre. Una conseguenza di questa esclusione è che l'energia del vuoto è minore tra le due piastre rispetto all'esterno. Se l'energia del vuoto è soggetta alla gravità, dovrebbe allora potersi osservare un "galleggiamento" della cavità di Casimir nel vuoto circostante.

Archimedes è una collaborazione che vede la partecipazione di ricercatori dell'Università di Napoli Federico II e dell'INFN, Sezione di Napoli, e dell'Università La Sapienza e dell'INFN Sezione di Roma, tra cui anche lo scrivente, che vuole realizzare un esperimento per pesare una cavità di Casimir costituita da strati di YBCO, un superconduttore di tipo II. Infatti, l'effetto Casimir dipende dalla riflettività delle pareti della cavità e utilizzando un superconduttore è possibile modulare tale riflettività cambiando in corrispondenza anche la dimensione della bolla di vuoto tra le pareti. Se l'energia di vuoto gravita, si modula quindi anche il peso della cavità di Casimir. Nell'esperimento ci si propone di rivelare la forza gravitazionale agente sulla cavità, alla frequenza di modulazione, con una opportuna bilancia, avendo il superconduttore su uno dei "piatti" e modulando la transizione conduttore-superconduttore in temperatura o in campo magnetico. L'esperimento ha per ora ottenuto un finanziamento dalla CSN 5 (Sviluppo Tecnologico) dell'INFN. E' stata inoltre sottoposta dallo scrivente una richiesta d'ateneo per fondi pre progetti di ricerca di medie dimensioni.

Incarichi di responsabilità

2001-2003 Membro della Giunta del Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "La Sapienza".

2004-2011 Coordinatore scientifico e amministrativo delle attività scientifiche del Gruppo II (fisica astroparticellare) della Sezione INFN di Roma "La Sapienza". Membro della Seconda Commissione Scientifica Nazionale dell'INFN.

2005-2010 Membro della Commissione per il Trasferimento Tecnologico dell'INFN.

2005 Convener delle gruppo di lavoro per la Roadmap INFN sulle onde gravitazionali.

2007-2008 Responsabile del Working Group 2 (Mirrors Suspension and Control) del progetto Europeo in ambito FP7 per il Design Study di ET, un interferometro gravitazionale di terza generazione.

2008-2011 Detector Coordinator di Virgo.

2008-Oggi SubSystem Manager per la sospensione ed il controllo delle ottiche in Advanced Virgo.

2008-2012 Membro del Consiglio Didattico del Dottorato in Astronomia e Astrofisica di Roma "La Sapienza".

2012 Membro del Consiglio Didattico del nuovo Dottorato Congiunto in Astronomia e Astrofisica di Roma La Sapienza e Roma Tor Vergata.

Attualmente, lo scrivente è referee di progetti di ricerca in Italia (INFN) ed in Belgio (FNRS).

Presentazioni a Congressi

E. Amaldi, P. Bonifazi, F. Bronzini, P. Carelli, M.G. Castellano, G. Cavallari, E. Coccia, C. Cosmelli, V. Foglietti, S. Frasca, R. Habel, I. Modena, G.V. Pallottino, G. Pizzella, P. Rapagnani, F. Ricci, G. Vannaroni:

"The Gravitational Wave Experiment of the Rome Group", Comunicazione al IV M.Grossman Meeting on General Relativity and Gravitation, Roma, luglio 1985.

M. Bassan, E. Coccia, I. Modena, G. Pizzella, P. Rapagnani, F. Ricci:

"Descrizione della nuova antenna gravitazionale a bassissima temperatura del gruppo di Roma" Comunicazione al 73° Congresso SIF, Napoli, ottobre 1987.

P. Rapagnani (Invited):

"Expected SNe rates and ultralow temperature gravitational wave antennas", Comunicazione al IX Convegno Nazionale di Relatività Generale e Fisica della Grav-

itazione, Capri, settembre 1990.

E. Majorana, N. Pergola, P. Puppo, P. Rapagnani, F. Ricci:

“The Rome BAE transducer: Experimental Results on a Prototype and perspectives of its application to the EXPLORER and NAUTILUS Antennas”, The Second William Fairbank Conference on Relativistic Gravitational Experiments in Space & Related Theoretical Topics, 13-16 Dicembre 1993, Hong Kong

(Invited) E. Majorana, N. Pergola, P. Puppo, P. Rapagnani, F. Ricci:

“The Rome BAE transducer: Experimental Results on a Prototype and perspectives of its application to the EXPLORER and NAUTILUS Antennas”, Cryogenic Gravitational Waves Antennae: A Progress Workshop, INFN- Laboratori Nazionali di Legnaro, 19-22 giugno 1993

C. Cinquegrana, E. Majorana, N. Pergola, P. Puppo, P. Rapagnani, F. Ricci:

“The Rome BAE transducer: perspectives of its application to ultracryogenic gravitational wave antennas”, First Edoardo Amaldi Conference on Gravitational Wave Experiments, Jun. 14, 1994, Frascati, Rome, Italy.

(Invited) C. Cinquegrana, E. Majorana, N. Pergola, P. Puppo, P. Rapagnani, F. Ricci: “Low temperature monitoring of mechanical noise by means of a high sensitivity back action evading transduction technique”, Vibration and Noise '95, 25-27 april, 1995 Venice, Italy. Proc. published by Staffordshire University, M.J. Goodwin Ed.

Invited for Virgo Collaboration:

B. Caron, A. Dominjon, R. Flaminio, X. Grave, F. Marion, L. Massonet, C. Mehmél, R. Morand, B. Mours, M. Yvert F. Barone, E. Calloni, L. Di Fiore, M. Flagiello, A. Grado, M. Longo, M. Lops, S. Marano, L. Milano, G. Russo, S. Solimeno, D. Babusci, G. Giordano, G. Matone, L. Dognin, J.-M. Mackowski, M. Napolitano, L. Pinard, C. Boccara, Ph. Gleyzes, V. Lorientte, J.-P. Roger Y. Acker, M. Barsuglia, A. Brillet, F. Bondu, V. Brisson, F. Cavalier, M. Davier H. Heitmann, P. Hello, L. Latrach, F. Lediberder, C. N. Man, P.T. Manh, M. Taubmann, J.-Y. Vinet, G. Cagnoli, L. Gammaitoni, J. Kovalik, F. Marchesoni, M. Punturo, M. Beccaria, M. Bernardini, S. Braccini, C. Bradaschia, G. Cella, A. Ciampa, E. Cuoco, G. Curci, R. Del Fabbro, R. De Salvo, A. Di Virgilio, D. Enard, I. Ferrante, F. Fidecaro, A. Giazotto, A. Giassi, G. Gorini, L. Holloway, P. Lapenna, G. Losurdo, A. Luiten, M. Morganti, F. Palla, H.-B. Pan, D. Passuello, R. Poggiani, G. Torelli, A. Vicere', J. Winterflood, R. Woode, Z. Zhang, E. Majorana, P. Puppo, P. Rapagnani, F. Ricci: “The VIRGO suspension system”, in Proc. of the International Conference on Gravitational Waves and Detectors, Cascina, Pisa, 19-23 Marzo 1996

S. Picucci, P. Rapagnani: “Development of Precision Techniques for the Assembling of High Sensitivity Electromechanical Transducers for Gravitational Ultracryogenic Antennas”, in Proc. of the 9th International Precision Engineering Seminar, Braunschweig, Germany, 1997

Invited for Virgo Collaboration:

C. Boccara, J. B. Deban, O. Germain, Ph. Gleyzes, M. Leliboux, V. Lorientte, R. Nahoum, J.-P. Roger Y. Acker, L. Dognin, P. Ganuau, B. Lagrange, J. M. Mackowski, C. Michel, M. Morgue, M. Napolitano, L. Pinard, C. Arnault, G. Barrand, J. L. Beney, R. Bihaut, F. Bondu, V. Brisson, F. Cavalier, R. Chiche, M. Dialinas, A. Ducorps, P. Hello, P. Heusse, A. Hrisoho, P. Marin, M. Mencik, A. Reboux, P. Roudier, R. Barrillet, M. Barsuglia, J. P. Berthet, A. Brillet, J. Cachenaute, F. Cleva, H. Heitmann, L. Latrach, C. N. Man, T. Carron, D. Castellazzi, F. Chollet, A. Dominjon, C. Drezen, R. Flaminio, C. Girard, X. Grave, J. C.

Lacotte, B. Lieunard, F. Marion, V. Sannibale, M. Yvert, E. Bougleux, R. Cecchini, F. Ciuffi, M. Mazzoni, P. G. Pelfer, R. Stanga, D. Babusci, S. Bellucci, S. Candusso, H. Fang, G. Giordano, G. Matone, F. Barone, E. Calloni, L. Di Fiore, F. Garufi, A. Grado, M. Longo, M. Lops, L. Milano, A. Aragona, F. Cagnoli, L. Gammaitoni, J. Kovalik, F. Marchesoni, M. Punturo, M. Beccaria, M. Bernardini, S. Braccini, C. Bradaschia, G. Cella, A. Ciampa, R. Del Fabbro, A. Di Virgilio, D. Enard, I. Ferrante, F. Fidecaro, A. Gaddi, A. Gennai, A. Giassi, A. Giazotto, P. La Penna, L. Holloway, G. Losurdo, M. Maggiore, R. Poggiani, P. Popolizio, F. Raffaelli, Z. Zhang, F. Bronzini, V. Ferrari, E. Majorana, P. Puppo, P. Rapagnani, F. Ricci:
"Virgo Status Report - July 1998"
The Eighth Marcel Grossmann Meeting
Jerusalem 22-27 June 1997

P. Rapagnani (Invited)
"The Virgo Gravitational Wave Detector" – September 2003
Advanced School and Conference On Sources of Gravitational Waves
SISSA, 15-26 September 2003

P. Rapagnani (invited)
"Performance of the AMS-02 TRD" – October 2003
8th ICATPP Conference on Astroparticle, Particle, Space Physics, Detectors and Medical Physics Applications
Villa Erba, Como, 6-10 October, 2003

P. Rapagnani (invited)
"Sviluppo e medio e lungo termine di Virgo e dei rivelatori interferometrici in Europa" – March 2008
Incontri di Fisica delle Alte Energie 2008
Bologna, 26-28 March, 2008

P. Rapagnani (Invited)
"Cryogenic Development for Future Detectors" – May 2008
The 8th Gravitational Wave Advanced Detectors Workshop
La Biodola, Isola d'Elba, 12-18 May, 2008

P. Rapagnani (Invited)
"Payloads for Advanced Gravitational Wave Detectors"
Meeting Russia-Italia on GW Detectors
Lomonosov University, Mosca, 19-21 June 2008

P. Rapagnani (Invited)
"Gravitational Wave Detectors on the Earth" - January 2010
The 14th Gravitational Data Analysis Workshop
Rome, January 26-29 2010

P. Rapagnani (invited for Virgo Collaboration)
"Virgo and the Global Network of Gravitational Wave Detectors: from the First Detection to GW Astronomy" – March 2011
Bridging Electromagnetic Astrophysics and Cosmology with Gravitational Waves
Milano Bicocca, March 28-30 2011

P. Rapagnani (invited for Virgo Collaboration)
"From Gravitational Waves Detection to Gravitational Wave Astronomy" - June 2016

Attività didattica aggiornata al 2016

A.A. 1983-1984: Esercitazioni ed esami per il corso di Fisica Generale I per fisici (Prof. Bizzarri)

A.A. 1984-1985: Esercitazioni ed esami per il corso di Fisica Generale II per fisici (Prof. Bizzarri) e per il corso serale di Fisica Generale I per fisici (Prof. Stella).

A.A. 1985-1986: Esercitazioni ed esami per il corso di Fisica Generale I per fisici (Prof. Bizzarri) e di Esperimentazioni di Fisica I (Prof. Signorelli).

A.A. 1986-1987: Esercitazioni ed esami per il corso di Fisica Generale II per fisici (Prof. Bizzarri).

A.A. 1987-1988: Esercitazioni, lezioni ed esami per i corsi di Fisica Generale I per fisici (Prof. Bizzarri). Esercitazioni ed esami per il corso di Laboratorio di Fisica I, (Prof. Calvani).

A.A. 1988-1989: Esercitazioni, lezioni ed esami per il corso di Fisica Generale II per fisici (Prof. Bizzarri). Esercitazioni ed esami per il corso di Laboratorio di Fisica I, (Prof. Calvani).

A.A. 1989-1990: Esercitazioni ed esami per il corso di Laboratorio di Fisica I (Prof. Calvani). Esami per il corso di Fisica II per matematici (Prof.sa Barone).

A.A. 1990-1991: Esercitazioni ed esami per il corso di Laboratorio di Fisica I (Prof. Calvani). Esami per il corso di Fisica generale I per matematici (Prof.sa Barone). Lezioni ed esami per il corso di Costanti Fisiche Fondamentali (Prof. Pizzella).

A.A. 1991-1992 Esercitazioni ed esami per il corso di Fisica Generale II per Informatica (Prof. Capone). Esercitazioni ed esami per il corso di Laboratorio di Fisica I (Prof. Nigro).

A.A. 1992-1993: Esercitazioni ed esami per il corso di Laboratorio di Fisica I (Prof. Ceradini, Prof. Nigro)

A.A. 1993-1994: Esercitazioni ed esami per il corso di Laboratorio di Fisica I (Prof. Ceradini, Prof. Nigro) Lezioni, esercitazioni ed esami per il corso di Fisica I per Informatica (Prof. Loverre)

A.A. 1994-1995: Esercitazioni ed esami per il corso di Laboratorio di Fisica I (Prof. Mattioli), Corso di Fisica I per Scienze dell'Informazione in affidamento gratuito

A.A. 1995-1996: Esercitazioni ed esami per il corso di Laboratorio di Fisica I (Prof. Mattioli), Corso di Fisica II per Scienze dell'Informazione, in affidamento

A.A. 1996-1997: Esercitazioni ed esami per il corso di Laboratorio di Fisica I (Prof. Capone), Corso di Fisica II per Scienze dell'Informazione, in affidamento

A.A. 1997-1998: Esercitazioni ed esami per il corso di Laboratorio di Fisica I (Prof. Capone) Esercitazioni ed esami per il corso di Fisica II per Scienze dell'Informazione

A.A. 1998-1999: Esercitazioni ed esami per il corso di Laboratorio di Fisica I (Prof. Capone), Corso di Fisica II per Scienze dell'Informazione in affidamento

A.A. 2000-2001 Corso di Esperimentazione di Fisica III, in affidamento.

A.A. 2001-2002 Titolare del corso di Fisica Generale I Meccanica e Teoria della Misura per il Corso di Laurea in Informatica

A.A. 2002-2003 Titolare dei corsi di Fisica Generale I Nuovo Ordinamento e Fisica Generale II Nuovo Ordinamento per il Corso di Laurea in Informatica.

A.A. 2003-2004 Titolare del corso di Fisica Generale II Nuovo Ordinamento per il Corso di Laurea in Informatica.

A.A. 2005-2006 Titolare del corso di Laboratorio di Misura e Analisi Dati per il Corso di Laurea Triennale in Scienze Biologiche

A.A. 2006-2007 Titolare del corso di Laboratorio di Misura e Analisi Dati per il Corso di Laurea Triennale in Scienze Biologiche

A.A. 2007-2008 Titolare del corso di Fisica 3 per il Corso di Laurea Magistrale in Informatica

A.A. 2008-2009 Titolare del corso di Fisica 3 per il Corso di Laurea Magistrale in Informatica

A.A. 2009-2010 Titolare del corso di Fisica 3 per il Corso di Laurea Magistrale in Informatica

A.A. 2010-2011 Titolare del corso di Fisica 2 per il Corso di Laurea Triennale in Chimica Industriale; Titolare del corso di Fisica per il Corso di Laurea Magistrale in Informatica

A.A. 2011-2012 Titolare del corso di Fisica 2 per il Corso di Laurea Triennale in Chimica; Titolare del corso di Fisica 3 per il Corso di Laurea Magistrale in Informatica

A.A. 2012-2013 Titolare del corso di Fisica 2 per il Corso di Laurea Triennale in Chimica; Titolare del corso di Complementi di Fisica (Meccanica Quantistica e Calcolo Quantistico) per il Corso di Laurea Magistrale in Informatica

A.A. 2013-2014 Titolare del corso di Fisica 2 per il Corso di Laurea Triennale in Chimica; Titolare del corso di Complementi di Fisica (Meccanica Quantistica e Calcolo Quantistico) per il Corso di Laurea Magistrale in Informatica

A.A. 2014-2015 Titolare del corso di Fisica 2 per il Corso di Laurea Triennale in Chimica; Titolare del corso di Complementi di Fisica (Meccanica Quantistica e Calcolo Quantistico) per il Corso di Laurea Magistrale in Informatica

A.A. 2015-2016 Titolare del corso di Fisica 2 per il Corso di Laurea Triennale in Chimica; Titolare del corso di Complementi di Fisica (Meccanica Quantistica e Calcolo Quantistico) per il Corso di Laurea Magistrale in Informatica

Tesi seguite come primo relatore:

Correlatore con il Prof. F. Ricci: E. Barro: "Studio sperimentale di una strategia di misura per evadere la perturbazione di retroazione in apparati per la rivelazione di onde gravitazionali", Tesi di laurea in Fisica, Dipartimento di Fisica dell'Università "La Sapienza", A.A. 1987-1988.

Correlatore con i Prof.ri M. Cerdonio e S. Vitale: C. Ravanelli: "Sensibilità dell'antenna ultracriogenica AURIGA e prime prove preliminari sul trasduttore di spostamento", Tesi di laurea in Fisica, Dipartimento di Fisica dell'Università di Trento, A.A. 1989-1990.

Correlatore con il Prof. F. Ricci: M. Monaco: "Sistema di trasduzione ad evasione del rumore di retroazione per antenna

gravitazionale”, Tesi di laurea in Fisica, Dipartimento di Fisica, Università “La Sapienza”, A.A. 1989-1990.
Correlatore con il Prof. F. Ricci: C. Cinquegrana: “Studio sperimentale delle caratteristiche di rumore di un trasduttore ad evasione dell’effetto di retroazione per antenne gravitazionali criogeniche”, Tesi di laurea in Fisica, Dipartimento di Fisica, Università “La Sapienza”, A.A. 1990-1991.
Correlatore con il Prof. F. Ricci:
3M. Canzoniere: “Studio per la realizzazione di un rivelatore gravitazionale alla Weber a doppio trasduttore risonante”, Tesi di laurea in Fisica, Dipartimento di Fisica, Università “La Sapienza”, A.A. 1990-1991.
Correlatore con il Prof. G.V. Pallottino: P. Tricarico: “Trasduttore capacitivo risonante per antenna gravitazionale ultracriogenica: modello ed esperimenti”, Tesi di laurea in Fisica, Dipartimento di Fisica, Università “La Sapienza”, A.A. 1991-1992.
Correlatore con il Prof. F. Ricci: N. Pergola: “Studio sperimentale delle caratteristiche di rumore di un trasduttore ad evasione dell’effetto di retroazione accoppiato ad un’antenna gravitazionale criogenica”, Tesi di laurea in Fisica, Dipartimento di Fisica, Università “La Sapienza”, A.A. 1991-1992.
Correlatore con il Prof. F. Ricci: P. Puppo: “Misure di rumore su sistemi parametrici a singolo e doppio oscillatore”, Tesi di laurea in Fisica, Dipartimento di Fisica, Università “La Sapienza”, A.A. 1992-1993.
Correlatore con il Prof. F. Ricci: A. Caleno: “Misure di rumore su sistemi di trasduzione parametrici accoppiati ad un amplificatore a dc SQUID”, Tesi di laurea in Fisica, Dipartimento di Fisica, Università “La Sapienza”, A.A. 1994-1995.
S. Picucci: “Studio sperimentale dell’ottimizzazione di trasduttori risonanti per antenne gravitazionali criogeniche”, Tesi di laurea in Fisica, Dipartimento di Fisica, Università “La Sapienza”, A.A. 1994-1995.
Correlatore con il Prof. M. Cerdonio: V. Crivelli Visconti: “Realizzazione di una catena di trasduzione per l’ottimizzazione della sensibilità a dell’antenna gravitazionale AURIGA”, Tesi di laurea in Fisica, Dipartimento di Fisica, Università “La Sapienza”, A.A. 1992-1993.
Correlatore con il Prof. F. Ricci: A. Bernardini: “Caratterizzazione sperimentale dell’ultimo stadio del sistema di sospensione degli specchi di Virgo”, Tesi di laurea in Fisica, Dipartimento di Fisica, Università “La Sapienza”, A.A. 1996-1997.
Correlatore con il Prof. F. Ricci: E. Gueli: “La calibrazione di antenne interferometriche mediante campi gravitazionali vicini”, Tesi di laurea in Fisica, Dipartimento di Fisica, Università “La Sapienza”, A.A. 1998-1999.
Alessandro Cinelli. “Studio di materiali a bassa temperatura per un interferometro gravitazionale di nuova generazione”. AA 2001/2002.
David Tombolato. “Studio di un sistema elettrostatico per il controllo delle ottiche di un’antenna gravitazionale interferometrica”. AA 2002/2003.
Roberta Ferrari. “Sviluppo di un sistema di sospensione criogenico per gli specchi di un interferometro gravitazionale”. AA 2004/2005.
Veronica Moscatelli. “Studio dell’ultimo stadio di sospensione di un interferometro gravitazionale criogenico”. AA 2005/2006.
Sibilla DiPace. “Studio del Rumore Termico degli Specchi di Virgo con Sospensioni Monolitiche”. AA2009/2010
Giorgia Salvucci. “Sviluppo di un accelerometro criogenico per rivelatori di onde gravitazionali della terza generazione”. AA 2010/2011

Data 15/09/2016

Firma

Pubblicazioni di Piero Rapagnani

Indice h Web of Science 40

Indice h Google Scholar 55

Supplement: Localization and broadband follow-up of the gravitational-wave transient GW150914

2016 ApJS 225 8, <http://dx.doi.org/10.3847/0067-0049/225/1/8>

The Advanced Virgo monolithic fused silica suspension

By: Aisa, D.; Aisa, S.; Campeggi, C.; et al.

NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH SECTION A-ACCELERATORS SPECTROMETERS DETECTORS AND ASSOCIATED EQUIPMENT

Volume: 824 Pages: 644-645 Published: JUL 11 2016

The Archimedes experiment

By: Calloni, E.; Caprara, S.; De Laurentis, M.; et al.

NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH SECTION A-ACCELERATORS SPECTROMETERS DETECTORS AND ASSOCIATED EQUIPMENT

Volume: 824 Pages: 646-647 Published: JUL 11 2016

Comprehensive All-sky Search for Periodic Gravitational Waves in the Sixth Science Run LIGO Data

Phys. Rev. D 94, 042002 - DOI:<http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevD.94.042002>

GW150914: First results from the search for binary black hole coalescence with Advanced LIGO

Phys. Rev. D 93, 122003 - DOI:<http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevD.93.122003>

Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger

GW150914: Detection - Phys. Rev. Lett. 116, 061102 -

<http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.116.061102> (2016)

GW150914: The Advanced LIGO Detectors in the Era of First Discoveries

Phys. Rev. Lett. 116, 131103 - DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.116.131103>

GW150914: Implications for the stochastic gravitational wave background from binary black holes

Phys. Rev. Lett. 116, 131102 - DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.116.131102>

Astrophysical Implications of the Binary Black-Hole merger GW150914

GW150914: Astro - ApJL, 818:L22, 2016 - <http://dx.doi.org/10.3847/2041-8205/818/2/L22>

Properties of the binary black hole merger GW150914

Phys. Rev. Lett. 116, 241102 - DOI:<http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.116.241102>

Observing gravitational-wave transient GW150914 with minimal assumptions

Phys. Rev. D 93, 122004 - DOI:<http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevD.93.122004>

Search for Transient Gravitational Waves in Coincidence with Short Duration Radio

Transients during 2007-2013

Phys. Rev. D 93, 122008 - DOI :<http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevD.93.122008>

Tests of general relativity with GW150914

Phys. Rev. Lett. 116, 221101 - DOI:<http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.116.221101>

Characterization of transient noise in the Advanced LIGO interferometers relevant to gravitational wave signal GW150914

Class. Quantum Grav. 33 (2016) 134001 - doi:10.1088/0264-9381/33/13/134001

Localization And Broadband Follow-Up Of The Gravitational-Wave Transient GW150914
ApJL 826 L13, <http://dx.doi.org/10.3847/2041-8205/826/1/L13>

Tuning of a high magnification and low aberration compact parabolic telescope for cm-scale laser beams

Applied Optics Vo. 55, No. 6 - DOI: <http://dx.doi.org/10.1364/AO.55.001275>

All-sky search for long-duration gravitational-wave transients with initial LIGO

Phys. Rev. D 93, 042005 - DOI:<http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevD.93.042005>

Higher-order Laguerre-Gauss interferometry for gravitational-wave detectors with in-situ mirror defects compensation

Phys. Rev. D 92, 102002 <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevD.92.102002>

First low frequency all-sky search for continuous gravitational wave signals

Phys. Rev. D 93, 042007 (2016) - DOI:<http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevD.93.042007>

Search of the Orion spur for continuous gravitational waves using a loosely coherent algorithm on data from LIGO interferometers

Phys. Rev. D 93, 042006 - DOI:<http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevD.93.042006>

Directed search for gravitational waves from Scorpius X-1 with initial LIGO data

Phys. Rev. D 91, 062008 - <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevD.91.062008>

Searches for continuous gravitational waves from nine young supernova remnants

By J. Aasi, B.P. Abbott, R. Abbott, T. Abbott, M.R. Abernathy, F. Acernese, K. Ackley, C. Adams et al..

arXiv:1412.5942 [astro-ph.HE].

Directed search for gravitational waves from Scorpius X-1 with initial LIGO data

By LIGO Scientific and VIRGO Collaborations (J. Aasi et al.).

arXiv:1412.0605 [gr-qc].

10.1103/PhysRevD.91.062008.

Phys.Rev. D91 (2015) 6, 062008.

Narrow-band search of continuous gravitational-wave signals from Crab and Vela pulsars in Virgo VSR4 data

By LIGO Scientific and VIRGO Collaborations (J. Aasi et al.).

arXiv:1410.8310 [astro-ph.IM].

10.1103/PhysRevD.91.022004.
Phys.Rev. D91 (2015) 2, 022004.

Characterization of the LIGO detectors during their sixth science run
By LIGO Scientific and VIRGO Collaborations (J. Aasi et al.).
arXiv:1410.7764 [gr-qc].

Searching for stochastic gravitational waves using data from the two colocated LIGO
Hanford detectors
By LIGO Scientific and VIRGO Collaborations (J. Aasi et al.).
arXiv:1410.6211 [gr-qc].
10.1103/PhysRevD.91.022003.
Phys.Rev. D91 (2015) 2, 022003.

Advanced Virgo: a second-generation interferometric gravitational wave detector
By VIRGO Collaboration (F. Acernese et al.).
arXiv:1408.3978 [gr-qc].
10.1088/0264-9381/32/2/024001.
Class.Quant.Grav. 32 (2015) 2, 024001.

Multimessenger search for sources of gravitational waves and high-energy neutrinos:
Initial results for LIGO-Virgo and IceCube
By IceCube and LIGO Scientific and VIRGO Collaborations (M.G. Aartsen et al.).
arXiv:1407.1042 [astro-ph.HE].
10.1103/PhysRevD.90.102002.
Phys.Rev. D90 (2014) 10, 102002.

Improved Upper Limits on the Stochastic Gravitational-Wave Background from 2009–
2010 LIGO and Virgo Data
By LIGO Scientific and VIRGO Collaborations (J. Aasi et al.).
arXiv:1406.4556 [gr-qc].
10.1103/PhysRevLett.113.231101.
Phys.Rev.Lett. 113 (2014) 23, 231101.

First all-sky search for continuous gravitational waves from unknown sources in binary
systems
By LIGO Scientific and VIRGO Collaborations (J. Aasi et al.).
arXiv:1405.7904 [gr-qc].
10.1103/PhysRevD.90.062010.
Phys.Rev. D90 (2014) 6, 062010.

Methods and results of a search for gravitational waves associated with gamma-ray
bursts using the GEO600, LIGO, and Virgo detectors
By LIGO Scientific and VIRGO Collaborations (J. Aasi et al.).
arXiv:1405.1053 [astro-ph.HE].
10.1103/PhysRevD.89.122004.
Phys.Rev. D89 (2014) 12, 122004.

Concepts and research for future detectors : Summary of the Amaldi 10 C4 session
By F. Acernese, F. Barone, A.S. Bell, G. Bergmann, D. Blair, M. Born, D. Brown, X. Chen

et al..
10.1007/s10714-014-1700-8.
Gen.Rel.Grav. 46 (2014) 5, 1700.

Search for gravitational radiation from intermediate mass black hole binaries in data from the second LIGO-Virgo joint science run
By LIGO Scientific and VIRGO Collaborations (J. Aasi et al.).
arXiv:1404.2199 [gr-qc].
10.1103/PhysRevD.89.122003.
Phys.Rev. D89 (2014) 12, 122003.

Search for gravitational waves associated with γ -ray bursts detected by the Interplanetary Network
By LIGO Scientific and VIRGO and IPN Collaborations (J. Aasi et al.).
arXiv:1403.6639 [astro-ph.HE].
10.1103/PhysRevLett.113.011102.
Phys.Rev.Lett. 113 (2014) 1, 011102.

Search for gravitational wave ringdowns from perturbed intermediate mass black holes in LIGO-Virgo data from 2005–2010
By LIGO Scientific and VIRGO Collaborations (J. Aasi et al.).
arXiv:1403.5306 [gr-qc].
10.1103/PhysRevD.89.102006.
Phys.Rev. D89 (2014) 10, 102006.

Implementation of an \mathcal{F} -statistic all-sky search for continuous gravitational waves in Virgo VSR1 data
By LIGO Scientific and VIRGO Collaborations (J. Aasi et al.).
arXiv:1402.4974 [gr-qc].
10.1088/0264-9381/31/16/165014.
Class.Quant.Grav. 31 (2014) 165014.

Reconstruction of the gravitational wave signal $h(t)$ during the Virgo science runs and independent validation with a photon calibrator
By VIRGO Collaboration (T. Accadia et al.).
arXiv:1401.6066 [gr-qc].
10.1088/0264-9381/31/16/165013.
Class.Quant.Grav. 31 (2014) 165013.

The NINJA-2 project: Detecting and characterizing gravitational waveforms modelled using numerical binary black hole simulations
By LIGO Scientific and VIRGO and NINJA-2 Collaborations (J. Aasi et al.).
arXiv:1401.0939 [gr-qc].
10.1088/0264-9381/31/11/115004.
Class.Quant.Grav. 31 (2014) 115004.

Application of a Hough search for continuous gravitational waves on data from the fifth LIGO science run
By LIGO and VIRGO Collaborations (J. Aasi et al.).
arXiv:1311.2409 [gr-qc].

10.1088/0264-9381/31/8/085014.
Class.Quant.Grav. 31 (2014) 085014.

Constraints on cosmic strings from the LIGO-Virgo gravitational-wave detectors
By LIGO Scientific and VIRGO Collaborations (J. Aasi et al.).
arXiv:1310.2384 [gr-qc].
10.1103/PhysRevLett.112.131101.
Phys.Rev.Lett. 112 (2014) 131101.

First Searches for Optical Counterparts to Gravitational-wave Candidate Events
By LIGO Scientific and VIRGO Collaborations (J. Aasi et al.).
arXiv:1310.2314 [astro-ph.IM].
10.1088/0067-0049/211/1/7.
Astrophys.J.Suppl. 211 (2014) 7.

Directed search for continuous gravitational waves from the Galactic center
By LIGO Scientific and VIRGO Collaborations (J. Aasi et al.).
arXiv:1309.6221 [gr-qc].
10.1103/PhysRevD.88.102002.
Phys.Rev. D88 (2013) 10, 102002.

Search for long-lived gravitational-wave transients coincident with long gamma-ray bursts
By LIGO Scientific and VIRGO Collaborations (J. Aasi et al.).
arXiv:1309.6160 [astro-ph.HE].
10.1103/PhysRevD.88.122004.
Phys.Rev. D88 (2013) 12, 122004.

Gravitational waves from known pulsars: results from the initial detector era
By LIGO Scientific Collaboration (J. Aasi et al.).
arXiv:1309.4027 [astro-ph.HE].
10.1088/0004-637X/785/2/119.
Astrophys.J. 785 (2014) 119.

Parameter estimation for compact binary coalescence signals with the first generation
gravitational-wave detector network
By LIGO and VIRGO Collaborations (J. Aasi et al.).
arXiv:1304.1775 [gr-qc].
10.1103/PhysRevD.88.062001.
Phys.Rev. D88 (2013) 062001.

Prospects for Localization of Gravitational Wave Transients by the Advanced LIGO and
Advanced Virgo Observatories
By LIGO Scientific and VIRGO Collaborations (J. Aasi et al.).
arXiv:1304.0670 [gr-qc].

Central heating radius of curvature correction (CHRoCC) for use in large scale
gravitational wave interferometers
By T. Accadia, F. Acernese, M. Agathos, A. Allocca, P. Astone, G. Ballardin, F. Barone, M.
Barsuglia et al..
10.1088/0264-9381/30/5/055017.

Class.Quant.Grav. 30 (2013) 055017.

Virgo gravitational wave detector: Results and perspectives

By T. Accadia, F. Acernese, P. Astone, G. Ballardin, F. Barone, M. Barsuglia, A. Basti, Th.S. Bauer et al..

10.1393/ncc/i2011-11111-9.

Nuovo Cim. C034N06 (2011) 189-194.

Search for gravitational waves from binary black hole inspiral, merger, and ringdown in LIGO-Virgo data from 2009–2010

By LIGO Scientific and VIRGO Collaborations (J. Aasi et al.).

arXiv:1209.6533 [gr-qc].

10.1103/PhysRevD.87.022002.

Phys.Rev. D87 (2013) 2, 022002.

Status of the commissioning of the virgo interferometer

By T. Accadia, F. Acernese, F. Antonucci, P. Astone, G. Ballardin, F. Barone, M. Barsuglia, A. Basti et al..

10.1063/1.4727993.

AIP Conf.Proc. 1446 (2012) 150-158.

A thermal compensation system for the gravitational wave detector VIRGO

By T. Accadia, F. Acernese, F. Antonucci, K.G. Arun, P. Astone, G. Ballardin, F. Barone, M. Barsuglia et al..

10.1142/9789814374552_0295.

Progresses in the realization of a Monolithic suspension system in VIRGO

By T. Accadia, F. Acernese, F. Antonucci, K.G. Arun, P. Astone, G. Ballardin, F. Barone, M. Barsuglia et al..

10.1142/9789814374552_0296.

First cryogenic test of a mirror suspension for the 3rd generation G.W. interferometer

By F. Basti, F. Frasconi, E. Majorana, V. Moscatelli, L. Naticchioni, M. Perciballi, P. Puppo, P. Rapagnani et al..

10.1142/9789814374552_0297.

Noise analysis in VIRGO: On-line and offline tools for noise characterization

By T. Accadia, F. Acernese, F. Antonucci, K.G. Arun, P. Astone, G. Ballardin, F. Barone, M. Barsuglia et al..

10.1142/9789814374552_0304.

Plans for the upgrade of the gravitational wave detector VIRGO: Advanced VIRGO

By T. Accadia, F. Acernese, F. Antonucci, P. Astone, G. Ballardin, F. Barone, M. Barsuglia, Th.S. Bauer et al..

10.1142/9789814374552_0313.

Einstein@Home all-sky search for periodic gravitational waves in LIGO S5 data

By LIGO Scientific and VIRGO Collaborations (J. Aasi et al.).

arXiv:1207.7176 [gr-qc].

10.1103/PhysRevD.87.042001.

Phys.Rev. D87 (2013) 4, 042001.

A state observer for the Virgo inverted pendulum

By T. Accadia, F. Acernese, P. Astone, G. Ballardin, F. Barone, M. Barsuglia, A. Basti, Th.S. Bauer et al..

10.1063/1.3637466.

Rev.Sci.Instrum. 82 (2011) 094502.

Noise monitor tools and their application to Virgo data

By T. Accadia, F. Acernese, M. Agathos, P. Astone, G. Ballardin, F. Barone, M. Barsuglia, A. Basti et al..

10.1088/1742-6596/363/1/012024.

J.Phys.Conf.Ser. 363 (2012) 012024.

The NoEMi (Noise Frequency Event Miner) framework

By T. Accadia, F. Acernese, M. Agathos, P. Astone, G. Ballardin, F. Barone, M. Barsuglia, A. Basti et al..

10.1088/1742-6596/363/1/012037.

J.Phys.Conf.Ser. 363 (2012) 012037.

Scientific Objectives of Einstein Telescope

By B. Sathyaprakash, M. Abernathy, F. Acernese, P. Ajith, B. Allen, P. Amaro-Seoane, N. Andersson, S. Aoudia et al..

arXiv:1206.0331 [gr-qc].

10.1088/0264-9381/30/7/079501, 10.1088/0264-9381/29/12/124013.

Class.Quant.Grav. 29 (2012) 124013, Class.Quant.Grav. 30 (2013) 079501.

A First Search for coincident Gravitational Waves and High Energy Neutrinos using LIGO, Virgo and ANTARES data from 2007

By LIGO Scientific and VIRGO Collaborations (S. Adrian-Martinez et al.).

arXiv:1205.3018 [astro-ph.HE].

10.1088/1475-7516/2013/06/008.

JCAP 1306 (2013) 008.

Search for gravitational waves associated with gamma-ray bursts during LIGO science run 6 and Virgo science runs 2 and 3

By LIGO Scientific Collaboration (J. Abadie et al.).

arXiv:1205.2216 [astro-ph.HE].

10.1088/0004-637X/760/1/12.

Astrophys.J. 760 (2012) 12.

Swift follow-up observations of candidate gravitational-wave transient events

By LIGO Scientific Collaboration (P.A. Evans et al.).

arXiv:1205.1124 [astro-ph.HE].

10.1088/0067-0049/203/2/28.

Astrophys.J.Suppl. 203 (2012) 28.

Virgo: a laser interferometer to detect gravitational waves

By VIRGO Collaboration (T. Accadia et al.).

10.1088/1748-0221/7/03/P03012.

JINST 7 (2012) P03012.

The characterization of Virgo data and its impact on gravitational-wave searches

By VIRGO Collaboration (J. Aasi et al.).

arXiv:1203.5613 [gr-qc].

10.1088/0264-9381/29/15/155002.

Class.Quant.Grav. 29 (2012) 155002.

Sensitivity Achieved by the LIGO and Virgo Gravitational Wave Detectors during LIGO's Sixth and Virgo's Second and Third Science Runs

By VIRGO and LIGO Scientific Collaborations (J. Abadie et al.).

arXiv:1203.2674 [gr-qc].

All-sky search for gravitational-wave bursts in the second joint LIGO-Virgo run

By LIGO Scientific and VIRGO Collaborations (J. Abadie et al.).

arXiv:1202.2788 [gr-qc].

10.1103/PhysRevD.85.122007.

Phys.Rev. D85 (2012) 122007.

Search for Gravitational Waves from Intermediate Mass Binary Black Holes

By LIGO Scientific and VIRGO Collaborations (J. Abadie et al.).

arXiv:1201.5999 [gr-qc].

10.1103/PhysRevD.85.102004.

Phys.Rev. D85 (2012) 102004.

First Low-Latency LIGO+Virgo Search for Binary Inspirals and their Electromagnetic Counterparts

By VIRGO and LIGO Collaborations (J. Abadie et al.).

arXiv:1112.6005 [astro-ph.CO].

10.1051/0004-6361/201218860.

Astron.Astrophys. 541 (2012) A155.

Upper limits on a stochastic gravitational-wave background using LIGO and Virgo interferometers at 600-1000 Hz

By LIGO Scientific and VIRGO Collaborations (J. Abadie et al.).

arXiv:1112.5004 [gr-qc].

10.1103/PhysRevD.85.122001.

Phys.Rev. D85 (2012) 122001.

Search for Gravitational Waves from Low Mass Compact Binary Coalescence in LIGO's Sixth Science Run and Virgo's Science Runs 2 and 3

By LIGO and VIRGO Collaborations (J. Abadie et al.).

arXiv:1111.7314 [gr-qc].

10.1103/PhysRevD.85.082002.

Phys.Rev. D85 (2012) 082002.

The Virgo interferometer for gravitational wave detection

By VIRGO Collaboration (T. Accadia et al.).

10.1142/S0218271811020202.

Int.J.Mod.Phys. D20 (2011) 2075-2079.

All-sky Search for Periodic Gravitational Waves in the Full S5 LIGO Data
By LIGO Scientific and VIRGO Collaborations (J. Abadie et al.).
arXiv:1110.0208 [gr-qc].
10.1103/PhysRevD.85.022001.
Phys.Rev. D85 (2012) 022001.

Implementation and testing of the first prompt search for gravitational wave transients with electromagnetic counterparts
By LIGO Scientific and VIRGO Collaborations (B.P. Abbott et al.).
10.1051/0004-6361/201118219.
Astron.Astrophys. 539 (2012) A124.

Directional limits on persistent gravitational waves using LIGO S5 science data
By LIGO Scientific Collaboration (J. Abadie et al.).
arXiv:1109.1809 [astro-ph.CO].
10.1103/PhysRevLett.107.271102.
Phys.Rev.Lett. 107 (2011) 271102.

A cryogenic payload for the 3rd generation of gravitational wave interferometers
By F. Basti, F. Frasconi, E. Majorana, L. Naticchioni, M. Perciballi, P. Puppo, P. Rapagnani, F. Ricci.
10.1016/j.astropartphys.2011.05.004.
Astropart.Phys. 35 (2011) 67-75.

Characterization of the Virgo Seismic Environment
By VIRGO Collaboration (T. Accadia et al.).
arXiv:1108.1598 [gr-qc].
10.1088/0264-9381/29/2/025005.
Class.Quant.Grav. 29 (2012) 025005.

Scientific Potential of Einstein Telescope
By B. Sathyaprakash, M. Abernathy, F. Acernese, P. Ajith, B. Allen, P. Amaro-Seoane, N. Andersson, S. Aoudia et al..
arXiv:1108.1423 [gr-qc].
2011 Gravitational Waves and Experimental Gravity, Etienne Auge, Jacques Dumarchez, Jean Tran Thanh Van, eds. The Gioi Publishers, Vietnam.

Status of the Virgo project
By T. Accadia, F. Acernese, F. Antonucci, P. Astone, G. Ballardin, F. Barone, M. Barsuglia, A. Basti et al..
10.1088/0264-9381/28/11/114002.
Class.Quant.Grav. 28 (2011) 114002.

Beating the spin-down limit on gravitational wave emission from the Vela pulsar
By LIGO Scientific and VIRGO Collaborations (J. Abadie et al.).
arXiv:1104.2712 [astro-ph.HE].
10.1088/0004-637X/737/2/93.
Astrophys.J. 737 (2011) 93.

Performance of the Virgo interferometer longitudinal control system during the second science run

By T. Accadia, F. Acernese, F. Antonucci, P. Astone, G. Ballardin, F. Barone, M. Barsuglia, A. Basti et al..

10.1016/j.astropartphys.2010.11.006.

Astropart.Phys. 34 (2011) 521-527.

Search for gravitational waves from binary black hole inspiral, merger and ringdown

By LIGO Scientific and VIRGO Collaborations (J. Abadie et al.).

arXiv:1102.3781 [gr-qc].

10.1103/PhysRevD.86.069903, 10.1103/PhysRevD.83.122005,

10.1103/PhysRevD.85.089904.

Phys.Rev. D83 (2011) 122005, Phys.Rev. D86 (2012) 069903.

Automatic alignment system during the second science run of the Virgo interferometer

By T. Accadia, F. Acernese, F. Antonucci, P. Astone, G. Ballardin, F. Barone, M. Barsuglia, A. Basti et al..

10.1016/j.astropartphys.2010.10.005.

Astropart.Phys. 34 (2011) 327-332.

Sensitivity Studies for Third-Generation Gravitational Wave Observatories

By S. Hild, M. Abernathy, F. Acernese, P. Amaro-Seoane, N. Andersson, K. Arun, F. Barone, B. Barr et al..

arXiv:1012.0908 [gr-qc].

10.1088/0264-9381/28/9/094013.

Class.Quant.Grav. 28 (2011) 094013.

Search for Gravitational Wave Bursts from Six Magnetars

By VIRGO Collaboration (J. Abadie et al.).

arXiv:1011.4079 [astro-ph.HE].

10.1088/2041-8205/734/2/L35.

Astrophys.J. 734 (2011) L35.

Cleaning the Virgo sampled data for the search of periodic sources of gravitational waves

By F. Acernese, M. Alshourbagy, F. Antonucci, S. Aoudia, K.G. Arun, P. Astone, G. Ballardin, F. Barone et al..

10.1088/0264-9381/26/20/204002.

Class.Quant.Grav. 26 (2009) 204002.

Gravitational wave detectors on the earth

By Piero Rapagnani.

10.1088/0264-9381/27/19/194001.

Class.Quant.Grav. 27 (2010) 194001.

The Einstein Telescope: A third-generation gravitational wave observatory

By M. Punturo, M. Abernathy, F. Acernese, B. Allen, N. Andersson, K. Arun, F. Barone, B. Barr et al..

10.1088/0264-9381/27/19/194002.

Class.Quant.Grav. 27 (2010) 194002.

Noise from scattered light in Virgo's second science run data

By T. Accadia, F. Acernese, F. Antonucci, P. Astone, G. Ballardin, F. Barone, M. Barsuglia, T.S. Bauer et al..

10.1088/0264-9381/27/19/194011.

Class.Quant.Grav. 27 (2010) 194011.

Tools for noise characterization in Virgo

By T. Accadia, F. Acernese, F. Antonucci, P. Astone, G. Ballardin, F. Barone, M. Barsuglia, T.S. Bauer et al..

10.1088/1742-6596/243/1/012004.

J.Phys.Conf.Ser. 243 (2010) 012004.

Calibration and sensitivity of the Virgo detector during its second science run

By VIRGO Collaboration (T. Accadia et al.).

arXiv:1009.5190 [gr-qc].

10.1088/0264-9381/28/2/025005, 10.1088/0264-9381/28/7/079501.

Class.Quant.Grav. 28 (2011) 025005, Class.Quant.Grav. 28 (2011) 079501.

Preliminary results on the cryogenic payload for the 3rd generation g.w. interferometers

By F. Basti, F. Frasconi, M. Granata, E. Majorana, V. Moscatelli, L. Naticchioni, M. Perciballi, P. Puppo et al..

10.1088/1742-6596/228/1/012030.

J.Phys.Conf.Ser. 228 (2010) 012030.

Search for Gravitational Waves from Compact Binary Coalescence in LIGO and Virgo Data from S5 and VSR1

By LIGO Scientific and VIRGO Collaborations (J. Abadie et al.).

arXiv:1005.4655 [gr-qc].

10.1103/PhysRevD.85.089903, 10.1103/PhysRevD.82.102001.

Phys.Rev. D82 (2010) 102001.

The third generation of gravitational wave observatories and their science reach

By M. Punturo, M. Abernathy, F. Acernese, B. Allen, N. Andersson, K. Arun, F. Barone, B. Barr et al..

10.1088/0264-9381/27/8/084007.

Class.Quant.Grav. 27 (2010) 084007.

Automatic alignment for the first science run of the Virgo interferometer

By F. Acernese, M. Alshourbagy, F. Antonucci, S. Aoudia, K.G. Arun, P. Astone, G. Ballardin, F. Barone et al..

10.1016/j.astropartphys.2010.01.010.

Astropart.Phys. 33 (2010) 131-139.

Performances of the Virgo interferometer longitudinal control system

By F. Acernese, F. Antonucci, S. Aoudia, K.G. Arun, P. Astone, G. Ballardin, F. Barone, M. Barsuglia et al..

10.1016/j.astropartphys.2009.11.006.

Astropart.Phys. 33 (2010) 75-80.

Predictions for the Rates of Compact Binary Coalescences Observable by Ground-based

Gravitational-wave Detectors

By LIGO Scientific and VIRGO Collaborations (J. Abadie et al.).

arXiv:1003.2480 [astro-ph.HE].

10.1088/0264-9381/27/17/173001.

Class.Quant.Grav. 27 (2010) 173001.

Sensitivity to Gravitational Waves from Compact Binary Coalescences Achieved during LIGO's Fifth and Virgo's First Science Run

By LIGO and VIRGO Collaborations (J. Abadie et al.).

arXiv:1003.2481 [gr-qc].

Status and perspectives of the Virgo gravitational wave detector

By T. Accadia, F. Acernese, F. Antonucci, S. Aoudia, K.G. Arun, P. Astone, G. Ballardin, F. Barone et al..

10.1088/1742-6596/203/1/012074.

J.Phys.Conf.Ser. 203 (2010) 012074.

Virgo calibration and reconstruction of the gravitational wave strain during VSR1

By VIRGO Collaboration (T. Accadia et al.).

arXiv:1002.2329 [gr-qc].

10.1088/1742-6596/228/1/012015.

J.Phys.Conf.Ser. 228 (2010) 012015.

All-sky search for gravitational-wave bursts in the first joint LIGO-GEO-Virgo run

By LIGO and VIRGO Collaborations (J. Abadie et al.).

arXiv:1002.1036 [gr-qc].

10.1103/PhysRevD.85.089905, 10.1103/PhysRevD.81.102001.

Phys.Rev. D81 (2010) 102001.

Search for gravitational-wave inspiral signals associated with short Gamma-Ray Bursts during LIGO's fifth and Virgo's first science run

By LIGO Scientific and VIRGO Collaborations (J. Abadie et al.).

arXiv:1001.0165 [astro-ph.HE].

10.1088/0004-637X/715/2/1453.

Astrophys.J. 715 (2010) 1453-1461.

An Upper Limit on the Stochastic Gravitational-Wave Background of Cosmological Origin

By LIGO Scientific and VIRGO Collaborations (B.P. Abbott et al.).

arXiv:0910.5772 [astro-ph.CO].

10.1038/nature08278.

Nature 460 (2009) 990.

Searches for gravitational waves from known pulsars with S5 LIGO data

By VIRGO Collaboration (B.P. Abbott et al.).

arXiv:0909.3583 [astro-ph.HE].

10.1088/0004-637X/713/1/671.

Astrophys.J. 713 (2010) 671-685.

Search for gravitational-wave bursts associated with gamma-ray bursts using data from LIGO Science Run 5 and Virgo Science Run 1

By VIRGO Collaboration (B.P. Abbott et al.).
arXiv:0908.3824 [astro-ph.HE].
10.1088/0004-637X/715/2/1438.
Astrophys.J. 715 (2010) 1438-1452.

The future of gravitational-wave detectors
By P. Rapagnani.
10.1393/ncb/i2008-10639-x.
Nuovo Cim. B123 (2008) 1003-1005.

Noise studies during the first Virgo science run and after
By F. Acernese, M. Alshourbagy, P. Amico, F. Antonucci, S. Aoudia, K.G. Arun, P. Astone, S. Avino et al..
10.1088/0264-9381/25/18/184003.
Class.Quant.Grav. 25 (2008) 184003.

Virgo status
By F. Acernese, M. Alshourbagy, P. Amico, F. Antonucci, S. Aoudia, K.G. Arun, P. Astone, S. Avino et al..
10.1088/0264-9381/25/18/184001.
Class.Quant.Grav. 25 (2008) 184001.

Gravitational wave burst search in the Virgo C7 data
By VIRGO Collaboration (F. Acernese et al.).
arXiv:0812.4870 [gr-qc].
10.1088/0264-9381/26/8/085009.
Class.Quant.Grav. 26 (2009) 085009.

VIRGO: A large interferometer for gravitational wave detection started its first scientific run
By F. Acernese, M. Alshourbagy, P. Amico, F. Antonucci, S. Aoudia, P. Astone, S. Avino, L. Baggio et al..
10.1088/1742-6596/120/3/032007.
J.Phys.Conf.Ser. 120 (2008) 032007.

Lock acquisition of the Virgo gravitational wave detector
By F. Acernese, M. Alshourbagy, P. Amico, F. Antonucci, S. Aoudia, K.G. Arun, P. Astone, S. Avino et al..
10.1016/j.astropartphys.2008.06.005.
Astropart.Phys. 30 (2008) 29-38.

The status of Virgo
By VIRGO Collaboration (F. Acernese et al.).
10.1088/1742-6596/110/6/062025.
J.Phys.Conf.Ser. 110 (2008) 062025.

Status of Virgo
By F. Acernese, M. Alshourbagy, P. Amico, F. Antonucci, S. Aoudia, P. Astone, S. Avino, L. Baggio et al..
10.1088/0264-9381/25/11/114045.
Class.Quant.Grav. 25 (2008) 114045.

Search for gravitational waves associated with GRB 050915a using the Virgo detector
By VIRGO Collaboration (F. Acernese et al.).
arXiv:0803.0376 [gr-qc].
10.1088/0264-9381/25/22/225001.
Class.Quant.Grav. 25 (2008) 225001.

Astrophysically Triggered Searches for Gravitational Waves: Status and Prospects
By LIGO Scientific and VIRGO Collaborations (B. Abbott et al.).
arXiv:0802.4320 [gr-qc].
10.1088/0264-9381/25/11/114051.
Class.Quant.Grav. 25 (2008) 114051.

A Cross-correlation method to search for gravitational wave bursts with AURIGA and Virgo
By AURIGA and VIRGO Collaborations (M. Bignotto et al.).
arXiv:0801.3801 [gr-qc].
10.1088/0264-9381/25/11/114046.
Class.Quant.Grav. 25 (2008) 114046.

Status of coalescing binaries search activities in Virgo
By F. Acernese, P. Amico, M. Al-Shourbagy, F. Antonucci, S. Aoudia, P. Astone, S. Avino, D. Babusci et al..
10.1088/0264-9381/24/23/003.
Class.Quant.Grav. 24 (2007) 5767-5775.

Gravitational waves by gamma-ray bursts and the Virgo detector: The case of GRB 050915a
By F. Acernese, P. Amico, M. Alshourbagy, F. Antonucci, S. Aoudia, P. Astone, S. Avino, D. Babusci et al..
10.1088/0264-9381/24/19/S29.
Class.Quant.Grav. 24 (2007) S671-S679.

Improving the timing precision for inspiral signals found by interferometric gravitational wave detectors
By F. Acernese, P. Amico, M. Alshourbagy, F. Antonucci, S. Aoudia, P. Astone, S. Avino, D. Babusci et al..
10.1088/0264-9381/24/19/S24.
Class.Quant.Grav. 24 (2007) S617-S625.

Coincidence analysis between periodic source candidates in C6 and C7 Virgo data
By F. Acernese, P. Amico, M. Alshourbagy, F. Antonucci, S. Aoudia, P. Astone, S. Avino, D. Babusci et al..
10.1088/0264-9381/24/19/S12.
Class.Quant.Grav. 24 (2007) S491-S499.

Analysis of noise lines in the Virgo C7 data
By F. Acernese, P. Amico, M. Alshourbagy, F. Antonucci, S. Aoudia, P. Astone, S. Avino, D. Babusci et al..
10.1088/0264-9381/24/19/S07.

Class.Quant.Grav. 24 (2007) S433-S443.

Data quality studies for burst analysis of Virgo data acquired during weekly science runs
By F. Acernese, P. Amico, M. Alshourbagy, F. Antonucci, S. Aoudia, P. Astone, S. Avino, D. Babusci et al..

10.1088/0264-9381/24/19/S05.

Class.Quant.Grav. 24 (2007) S415-S422.

Status of Virgo detector

By F. Acernese, P. Amico, M. Alshourbagy, F. Antonucci, S. Aoudia, P. Astone, S. Avino, D. Babusci et al..

10.1088/0264-9381/24/19/S01.

Class.Quant.Grav. 24 (2007) S381-S388.

Methods of gravitational wave detection in the VIRGO Interferometer

By F. Acernese, S. Avino, F. Barone, E. Calloni, R. De Rosa, L. Di Fiore, A. Eleuteri, F. Garufi et al..

10.1063/1.2774858.

AIP Conf.Proc. 924 (2007) 187-193.

First joint Gravitational Waves search by the Auriga-Explorer-Nautilus-Virgo collaboration

By VIRGO AURIGA-EXPLORER-NAUTILUS Collaboration (F. Acernese et al.).

arXiv:0710.3752 [gr-qc].

10.1088/0264-9381/25/20/205007.

Class.Quant.Grav. 25 (2008) 205007.

First coincidence search among periodic gravitational wave source candidates using VIRGO data

By VIRGO Collaboration (F. Acernese et al.).

10.1142/9789812834300_0430.

VIRGO commissioning progress

By VIRGO Collaboration (F. Acernese et al.).

10.1142/9789812834300_0408.

VIRGO data analysis for C6 and C7 engineering runs

By VIRGO Collaboration (F. Acernese et al.).

10.1142/9789812834300_0040.

The status of the VIRGO gravitational wave detector

By VIRGO Collaboration (F. Acernese et al.).

10.1142/9789812834300_0010.

Experimental upper limit on the estimated thermal noise at low frequencies in a gravitational wave detector

By A. Di Virgilio, S. Bigotta, L. Barsotti, S. Braccini, C. Bradaschia, G. Cella, V. Dattilo, M. Del Prete et al..

gr-qc/0612130.

10.1103/PhysRevD.76.122004.

Phys.Rev. D76 (2007) 122004.

Normal / independent noise in VIRGO data

By F. Acernese, P. Amico, M. Al-Shourbagy, F. Antonucci, S. Aoudia, S. Avino, D. Babusci, G. Ballardin et al..
10.1088/0264-9381/23/19/S21.
Class.Quant.Grav. 23 (2006) S829-S836.

The Virgo status

By F. Acernese, P. Amico, M. Al-Shourbagy, F. Antonucci, S. Aoudia, S. Avino, D. Babusci, G. Ballardin et al..
10.1088/0264-9381/23/19/S01.
Class.Quant.Grav. 23 (2006) S635-S642.

Status of Virgo

By F. Acernese, P. Amico, M. Al-Shourbagy, S. Aoudia, S. Avino, D. Babusci, G. Ballardin, F. Barone et al..
10.1088/1742-6596/39/1/007.
J.Phys.Conf.Ser. 39 (2006) 32-35.

Testing Virgo burst detection tools on commissioning run data

By F. Acernese, M. Al-Shourbagy, P. Amico, S. Aoudia, S. Avino, D. Babusci, G. Ballardin, F. Barone et al..
10.1088/0264-9381/23/8/S25.
Class.Quant.Grav. 23 (2006) S197-S205.

The status of coalescing binaries search code in Virgo, and the analysis of C5 data

By F. Acernese, P. Amico, M. Al-Shourbagy, S. Aoudia, S. Avino, D. Babusci, G. Ballardin, F. Barone et al..
10.1088/0264-9381/23/8/S24.
Class.Quant.Grav. 23 (2006) S187-S196.

The Virgo automatic alignment system

By F. Acernese, P. Amico, M. Al-Shourbagy, S. Aoudia, S. Avino, D. Babusci, G. Ballardin, R. Barille et al..
10.1088/0264-9381/23/8/S13.
Class.Quant.Grav. 23 (2006) S91-S102.

The variable finesse locking technique

By F. Acernese, P. Amico, M. Al-Shourbagy, S. Aoudia, S. Avino, D. Babusci, G. Ballardin, R. Barille et al..
10.1088/0264-9381/23/8/S12.
Class.Quant.Grav. 23 (2006) S85-S89.

Vibration free cryostat for cooling suspended mirrors

By E. Majorana, M. Perciballi, P. Puppo, P. Rapagnani, F. Ricci.
10.1088/1742-6596/32/1/057.
J.Phys.Conf.Ser. 32 (2006) 374-379.

Considerations on collected data with the Low Frequency Facility experiment

By A. Di Virgilio, G. Cella, V. Dattilo, F. Frasconi, A. Gennai, P. La Penna, G. Losurdo, A.

Pasqualetti et al..
10.1088/1742-6596/32/1/053.
J.Phys.Conf.Ser. 32 (2006) 346-352.

Virgo upgrade investigations
By VIRGO Collaboration (F. Acernese et al.).
10.1088/1742-6596/32/1/033.
J.Phys.Conf.Ser. 32 (2006) 223-229.

Environmental noise studies in Virgo
By VIRGO Collaboration (F. Acernese et al.).
10.1088/1742-6596/32/1/013.
J.Phys.Conf.Ser. 32 (2006) 80-88.

A parallel in-time analysis system for Virgo
By VIRGO Collaboration (F. Acernese et al.).
10.1088/1742-6596/32/1/007.
J.Phys.Conf.Ser. 32 (2006) 35-43.

The Virgo detector
By VIRGO Collaboration (F. Acernese et al.).
10.1063/1.2125677.
AIP Conf.Proc. 794 (2005) 307-310.

A simple line detection algorithm applied to Virgo data
By F. Acernese, P. Amico, M. Al-Shourbagy, S. Aoudia, S. Avino, D. Babusci, G. Ballardin,
R. Barille et al..
10.1088/0264-9381/22/18/S33.
Class.Quant.Grav. 22 (2005) S1189-S1196.

Testing the detection pipelines for inspirals with Virgo commissioning run C4 data
By F. Acernese, P. Amico, M. Al-Shourbagy, S. Aoudia, S. Avino, D. Babusci, G. Ballardin,
R. Barille et al..
10.1088/0264-9381/22/18/S28.
Class.Quant.Grav. 22 (2005) S1139-S1148.

A first study of environmental noise coupling to the Virgo interferometer
By F. Acernese, P. Amico, M. Al-Shourbagy, S. Aoudia, S. Avino, D. Babusci, G. Ballardin,
R. Barille et al..
10.1088/0264-9381/22/18/S21.
Class.Quant.Grav. 22 (2005) S1069-S1077.

NAP: A tool for noise data analysis. Application to Virgo engineering runs
By F. Acernese, P. Amico, M. Al-Shourbagy, S. Aoudia, S. Avino, D. Babusci, G. Ballardin,
R. Barille et al..
10.1088/0264-9381/22/18/S18.
Class.Quant.Grav. 22 (2005) S1041-S1049.

Measurement of the seismic attenuation performance of the VIRGO superattenuator
By S. Braccini, L. Barsotti, C. Bradaschia, G. Cella, A. Di Virgilio, I. Ferrante, F. Fidecaro,

I. Fiori et al..
10.1016/j.astropartphys.2005.04.002.
Astropart.Phys. 23 (2005) 557-565.

The Automatic alignment system for the VIRGO interferometer
By F. Acernese, P. Amico, M. Alshourbagy, S. Aoudia, S. Avino, D. Babusci, G. Ballardin,
F. Barone et al..

The Status of VIRGO
By F. Acernese, P. Amico, M. Alshourbagy, S. Aoudia, S. Avino, D. Babusci, G. Ballardin,
F. Barone et al..
10.1088/0264-9381/23/8/S09.
Class.Quant.Grav. 23 (2006) S63-S70.

The Status of VIRGO
By F. Acernese, P. Amico, M. Alshourbagy, S. Aoudia, S. Avino, D. Babusci, G. Ballardin,
F. Barone et al..
PoS HEP2005 (2006) 029.

Automation of the lock acquisition of the 3km arm of the Virgo interferometer
By F. Acernese, P. Amico, M. Alshourbagy, S. Aoudia, S. Avino, D. Babusci, G. Ballardin,
F. Barone et al..

Software engineering for the VIRGO project at EGO
By F. Acernese, P. Amico, M. Alshourbagy, S. Aoudia, S. Avino, D. Babusci, G. Ballardin,
F. Barone et al..

Virgo status and commissioning results
By VIRGO Collaboration (F. Acernese et al.).
10.1088/0264-9381/22/10/008.
Class.Quant.Grav. 22 (2005) S185-S191.

VIRGO and the worldwide search for gravitational waves
By F. Acernese, P. Amico, S. Aoudia, N. Arnaud, S. Avino, D. Babusci, G. Ballardin, R.
Barille et al..
10.1063/1.1891534.
AIP Conf.Proc. 751 (2005) 92-100.

The AMS-02 TRD for the International Space Station
By F. Hauler, W. de Boer, L. Jungermann, M. Schmanau, A. Bartoloni, B. Borgia, C. Bosi,
C. Gargiulo et al..
10.1109/TNS.2004.832901.
IEEE Trans.Nucl.Sci. 51 (2004) 1365-1372.

Automatic mirror alignment for VIRGO: First experimental demonstration of the Anderson
technique on a large-scale interferometer
By VIRGO Collaboration (F. Acernese et al.).
gr-qc/0411116.

Lock acquisition of the central interferometer of the gravitational wave detector Virgo

By F. Acernese, P. Amico, N. Arnaud, D. Babusci, R. Barille, F. Barone, L. Barsotti, M. Barsuglia et al..
10.1016/j.astropartphys.2004.03.007.
Astropart.Phys. 21 (2004) 465-477.

Status of VIRGO
By VIRGO Collaboration (F. Acernese et al.).
gr-qc/0406123.
10.1088/0264-9381/22/18/S01.
Class.Quant.Grav. 22 (2005) S869-S880.

The commissioning of the central interferometer of the Virgo gravitational wave detector
By VIRGO Collaboration (F. Acernese et al.).
10.1016/j.astropartphys.2003.12.004.
Astropart.Phys. 21 (2004) 1-22.

First locking of the Virgo central area interferometer with suspension hierarchical control
By VIRGO Collaboration (F. Acernese et al.).
10.1016/j.astropartphys.2003.10.003.
Astropart.Phys. 20 (2004) 629-640.

A local control system for the test masses of the Virgo gravitational wave detector
By VIRGO Collaboration (F. Acernese et al.).
10.1016/j.astropartphys.2003.10.001.
Astropart.Phys. 20 (2004) 617-628.

The maraging-steel blades of the Virgo super attenuator
By S. Braccini, C. Casciano, F. Cordero, F. Corvace, M. De Sanctis, R. Franco, F. Frasconi, E. Majorana et al..
10.1088/0957-0233/11/5/304.
Measur.Sci.Tech. 11 (2000) 467-476, Measur.Sci.Tech. 15 (2004) 599.

First results of the low frequency facility experiment
By A. Di Virgilio, S. Braccini, G. Ballardini, C. Bradaschia, G. Cella, E. Cuoco, V. Dattilo, M. Fazzi et al..
10.1088/0264-9381/21/5/106.
Class.Quant.Grav. 21 (2004) S1099-S1106.

The VIRGO large mirrors: A challenge for low loss coatings
By VIRGO Collaboration (F. Beauville et al.).
10.1088/0264-9381/21/5/083.
Class.Quant.Grav. 21 (2004) S935-S945.

A first test of a sine-Hough method for the detection of pulsars in binary systems using the E4 VIRGO engineering run data
By VIRGO Collaboration (M. Yvert et al.).
10.1088/0264-9381/21/5/049.
Class.Quant.Grav. 21 (2004) S717-S727.

Search for inspiralling binary events in the VIRGO engineering run data

By F. Acernese, P. Amico, N. Arnaud, D. Babusci, R. Barille, F. Barone, L. Barsotti, M. Barsuglia et al..

10.1088/0264-9381/21/5/048.

Class.Quant.Grav. 21 (2004) S709-S716.

Properties of seismic noise at the VIRGO site

By VIRGO Collaboration (F. Acernese et al.).

10.1088/0264-9381/21/5/008.

Class.Quant.Grav. 21 (2004) S433-S440.

The last-stage suspension of the mirrors for the gravitational wave antenna VIRGO

By VIRGO Collaboration (F. Acernese et al.).

10.1088/0264-9381/21/5/007.

Class.Quant.Grav. 21 (2004) S425-S432.

Results of the VIRGO central interferometer commissioning

By VIRGO Collaboration (F. Acernese et al.).

10.1088/0264-9381/21/5/003.

Class.Quant.Grav. 21 (2004) S395-S402.

Status of VIRGO

By VIRGO Collaboration (F. Acernese et al.).

10.1088/0264-9381/21/5/002.

Class.Quant.Grav. 21 (2004) S385-S394.

Status of the Virgo experiment

By F. Beauville, D. Buskulic, R. Flaminio, F. Marion, A. Masserot, L. Massonnet, B. Mours, F. Moreau et al..

Influence of a mirror holder on thermal noise in gravitational wave interferometers

By F. Antonucci, P. Rapagnani, F. Ricci, S. Ricciardi, A. Schirone, E. Majorana, P. Puppo.

10.1016/S0375-9601(03)00950-2.

Phys.Lett. A315 (2003) 409-417.

Data analysis methods for non-Gaussian, nonstationary and nonlinear features and their application to VIRGO

By VIRGO Collaboration (F. Acernese et al.).

10.1088/0264-9381/20/17/333.

Class.Quant.Grav. 20 (2003) S915-S924.

Status of VIRGO

By VIRGO Collaboration (F. Acernese et al.).

10.1088/0264-9381/20/17/304.

Class.Quant.Grav. 20 (2003) S609-S616.

The gravitational wave detector VIRGO

By VIRGO Collaboration (R. Flaminio et al.).

Monitoring the acoustic emission of the blades of the mirror suspension for a gravitational wave interferometer

By S. Braccini, C. Casciano, F. Cordero, F. Frasconi, G.P. Gregori, E. Majorana, G. Paparo, R. Passaquieti et al..
10.1016/S0375-9601(02)00991-X.
Phys.Lett. A301 (2002) 389-397.

Last stage control and mechanical transfer function measurement of the VIRGO suspensions

By A. Bozzi, C. Bourgoïn, S. Cortese, A. Errico, D. Enard, S. Mataguez, A. Paoli, A. Pasqualetti et al..
10.1063/1.1463717.
Rev.Sci.Instrum. 73 (2002) 2143-2149.

Status of the low frequency facility experiment

By L. Bracci, G. Calamai, E. Cuoco, P. Dominici, L. Fabbroni, G. Guidi, G. Losurdo, F. Martelli et al..
10.1088/0264-9381/19/7/360.
Class.Quant.Grav. 19 (2002) 1675-1682.

The present status of the VIRGO central interferometer

By VIRGO Collaboration (F. Acernese et al.).
10.1088/0264-9381/19/7/325.
Class.Quant.Grav. 19 (2002) 1421-1428.

Measurement of the VIRGO superattenuator performance for seismic noise suppression

By G. Ballardin, L. Bracci, S. Braccini, C. Bradaschia, C. Casciano, G. Calamai, R. Cavalieri, R. Cecchi et al..
10.1063/1.1392338.
Rev.Sci.Instrum. 72 (2001) 3643-3652.

Acoustic emission in mechanical vertical filters for gravitational wave antennas

By F. Cordero, G. Paparo, S. Braccini, C. Casciano, F. Frasconi, R. Passaquieti, M. De Sanctis, D. Righetti et al..

Prototype of the suspension last stages for the mirrors of the VIRGO interferometric gravitational wave antenna

By A. Bernardini, L. Brocco, E. Majorana, P. Puppo, P. Rapagnani, F. Ricci, G. Testi.

The Maraging steel blades of the VIRGO super attenuator

By S. Braccini, C. Casciano, F. Cordero, F. Corvace, M. De Sanctis, R. Franco, F. Frasconi, E. Majorana et al..

Suspension last stages for the mirrors of the Virgo interferometric gravitational wave antenna

By A. Bernardini, E. Majorana, P. Puppo, P. Rapagnani, F. Ricci, G. Testi.
10.1063/1.1149938.
Rev.Sci.Instrum. 70 (1999) 3463-3472.

Electromagnetic coupling dissipation between mirrors and reaction masses in Virgo

By S. Frasca, E. Majorana, P. Puppo, P. Rapagnani, F. Ricci.
10.1016/S0375-9601(98)00883-4.

Phys.Lett. A252 (1999) 11-16.

Status of the gravitational wave detector VIRGO

By Y. Acker, C. Arnault, P. Astone, D. Babusci, R. Barillet, F. Barone, G. Barrand, M. Barsuglia et al..

In *Vancouver 1998, High energy physics, vol. 2* 1413-1417.

Status and noise limit of the VIRGO antenna

By VIRGO Collaboration (L. Gammaitoni et al.).

In *Pasadena 1998, Laser interferometer space antenna* 222-225.

Experimental study of the dynamic Newtonian field with a cryogenic gravitational wave antenna

By P. Astone, M. Bassan, R. Bizzarri, P. Bonifazi, L. Brocco, P. Carelli, E. Coccia, C. Cosmelli et al..

10.1007/s100520050307.

Eur.Phys.J. C5 (1998) 651-664.

The VIRGO interferometer for gravitational wave detection

By B. Caron, A. Dominjon, C. Drezen, R. Flaminio, X. Grave, F. Marion, L. Massonnet, C. Mehmél et al..

10.1016/S0920-5632(97)00109-6.

Nucl.Phys.Proc.Suppl. 54B (1997) 167-175.

Virgo status report - July 1998

By D. Buskulic, B. Caron, T. Carron, D. Castellazzi, L. Derome, C. Drezen, R. Flaminio, X. Grave et al..

Test on a membrane resonant transducer with an optical and a capacitive readout

By P. Puppo, P. Rapagnani.

A facility to measure the displacement noise of mirrors suspended as in the Virgo antenna, aimed to improve the performance of the antenna below 600-Hz (LF facility)

By M. Bernardini, S. Braccini, C. Bradaschia, G. Cella, C. Casciano, A. Ciampa, E. Cuoco, G. Curci et al..

The Gravitational wave detector NAUTILUS operating at $T = 0.1\text{-K}$

By P. Astone, M. Bassan, P. Bonifazi, P. Carelli, E. Coccia, C. Cosmelli, V. Fafone, S. Frasca et al..

10.1016/S0927-6505(97)00023-6.

Astropart.Phys. 7 (1997) 231-243.

A Search for gravitational radiation from supernova 1993J

By E. Maucelli, Z.K. Geng, W.O. Hamilton, W.W. Johnson, S. Merkwowitz, A. Morse, N. Solomonson, P. Astone et al..

10.1103/PhysRevD.56.6081.

Phys.Rev. D56 (1997) 6081-6084.

The Virgo interferometer

By B. Caron, A. Dominjon, C. Drezen, R. Flaminio, X. Grave, F. Marion, L. Massonnet, C.

Mehmel et al..
10.1088/0264-9381/14/6/011.
Class.Quant.Grav. 14 (1997) 1461-1469.

A.B.A.E.: Squid transducer for the resonant gravitational wave antenna
By L. Longo, P. Puppo, P. Rapagnani, F. Ricci, E. Majorana.

VIRGO seismic noise isolation system
By VIRGO Collaboration (C. Boccara et al.).

VIRGO status report, November 1996
By VIRGO Collaboration (A. Brillet et al.).

SIESTA: A general purpose simulation program for the VIRGO experiment
By VIRGO Collaboration (B. Caron et al.).

The present status of VIRGO project
By VIRGO Collaboration (Y. Acker et al.).

The gravitational wave detectors EXPLORER and NAUTILUS
By P. Astone, C. Cosmelli, S. Frasca, G.V. Pallottino, P. Rapagnani, F. Ricci, M. Bassan,
E. Coccia et al..

VIRGO: A laser interferometer for the detection of gravitational waves
By VIRGO Collaboration (B. Caron et al.).

The VIRGO suspension system
By B. Caron, A. Dominjon, R. Flaminio, X. Grave, F. Marion, L. Massonet, C. Mehmel, R.
Morand et al..
In *Cascina 1996, Gravitational waves* 116-123.

State of the art of the VIRGO experiment
By B. Caron, A. Dominjon, C. Drezen, R. Flaminio, X. Grave, F. Marion, L. Massonet, C.
Mehmel et al..
In *Cascina 1996, Gravitational waves* 73-92.

The status of the VIRGO experiment
By VIRGO Collaboration (C. Boccara et al.).
In *Chicago 1996, Relativistic astrophysics and cosmology* 542-547.

Test of a back-action evading scheme on a cryogenic gravitational wave antenna
By P. Bonifazi, C. Cinquegrana, E. Majorana, N. Pergola, P. Puppo, P. Rapagnani, F.
Ricci, S. Vaselli et al..
10.1016/0375-9601(96)00238-1.
Phys.Lett. A215 (1996) 141-148.

Upper limit for a gravitational wave stochastic background with the EXPLORER and
NAUTILUS resonant detectors
By P. Astone, M. Bassan, P. Bonifazi, P. Carelli, E. Coccia, C. Cosmelli, V. Fafone, S.
Frasca et al..

10.1016/0370-2693(96)00965-3.
Phys.Lett. B385 (1996) 421-424.

Performance and preliminary results of the cosmic ray detector associated with NAUTILUS

By P. Astone, M. Bassan, P. Bonifazi, P. Carelli, D. Castellazzi, C. Cosmelli, E. Coccia, V. Fafone et al..

In *Sao Jose dos Campos 1996, Omnidirectional gravitational radiation observatory* 134-137.

VIRGO: A Wide band gravitational wave detector

By B. Caron, A. Dominjon, C. Drezen, R. Flaminio, X. Grave, F. Marion, L. Massonnet, C. Mehmel et al..

The Virgo project: Present status of the technology

By J.Y. Vinet, F. Bondu, A. Brillet, F. Cleva, H. Heitmann, L. Latrach, N. Man, M. Pham-Tu et al..

Cosmic-ray-induced cascades on the ultracryogenic antenna NAUTILUS

By F. Ronga, P. Astone, M. Bassan, P. Bonifazi, P. Carelli, D. Castellazzi, C. Cosmelli, E. Coccia et al..

10.1016/0920-5632(96)00218-6.

Nucl.Phys.Proc.Suppl. 48 (1996) 101-103.

Status of the VIRGO experiment

By B. Caron, A. Dominjon, C. Drezen, R. Flaminio, X. Grave, F. Marion, L. Massonnet, C. Mehmel et al..

10.1016/0920-5632(96)00220-4.

Nucl.Phys.Proc.Suppl. 48 (1996) 107-109.

Effects of cosmic ray induced cascades on the ultracryogenic antenna NAUTILUS

By P. Astone, M. Bassan, P. Bonifazi, P. Carelli, C. Cosmelli, E. Coccia, D. Castellazzi, V. Fafone et al..

The ultracryogenic gravitational wave antenna NAUTILUS

By P. Astone, M. Bassan, P. Bonifazi, P. Carelli, G. Castellano, E. Coccia, C. Cosmelli, V. Fafone et al..

Operation of the Explorer detector of the Rome Group

By P. Astone, M. Bassan, P. Bonifazi, E. Coccia, C. Cosmelli, V. Fafone, S. Frasca, I. Modena et al..

In *Trieste 1994, General relativity and gravitational physics* 409-410.

The NAUTILUS experiment

By P. Astone, C. Cosmelli, S. Frasca, G.V. Pallottino, P. Puppo, P. Rapagnani, F. Ricci, M. Bassan et al..

In *Frascati 1994, Proceedings, Gravitational wave experiments* 161-175.

Measurement on the gravitational wave antenna ALTAIR equipped with a BAE transducer

By P. Bonifazi, C. Cinquegrana, E. Majorana, N. Pergola, P. Puppo, P. Rapagnani, F.

Ricci, G. Vannaroni et al..

In *Frascati 1994, Proceedings, Gravitational wave experiments* 368-379.

The Rome BAE transducer: Perspectives of its application to ultracryogenic gravitational wave antennas

By C. Cinquegrana, E. Majorana, N. Pergola, P. Puppo, P. Rapagnani, F. Ricci.

In *Frascati 1994, Proceedings, Gravitational wave experiments* 380-389.

Signal-to-noise ratio analysis for a back action evading measurement on a double harmonic oscillator

By C. Cinquegrana, E. Majorana, N. Pergola, P. Puppo, P. Rapagnani, F. Ricci.

10.1103/PhysRevD.50.3596.

Phys.Rev. D50 (1994) 3596-3607.

Characteristics of the double resonant transducer configuration for resonant gravitational wave antennas

By Y. Ogawa, M. Canzoniere, E. Majorana, P. Rapagnani, F. Ricci.

Back action evading transducing scheme for cryogenic gravitational wave antennas

By C. Cinquegrana, P. Rapagnani, F. Ricci, E. Majorana.

10.1103/PhysRevD.48.448.

Phys.Rev. D48 (1993) 448-465.

Weber type gravitational wave antenna with two resonant transducers: A New tool for gravitational wave signal identification

By M. Canzoniere, P. Rapagnani, F. Ricci, E. Majorana, Y. Ogawa.

10.1103/PhysRevD.47.5233.

Phys.Rev. D47 (1993) 5233-5237.

Long term operation of the Rome 'Explorer' cryogenic gravitational wave detector

By P. Astone, M. Bassan, P. Bonifazi, P. Carelli, M.G. Castellano, G. Cavallari, E. Coccia, C. Cosmelli et al..

10.1103/PhysRevD.47.362.

Phys.Rev. D47 (1993) 362-375.

Present status and prospects of the ALTAIR g.w. antenna

By P. Astone, M. Bassan, P. Bonifazi, E. Coccia, C. Cosmelli, V. Fafone, S. Frasca, E. Majorana et al..

Development of a back action evading transducing scheme for cryogenic gravitational wave antennas

By E. Majorana, P. Rapagnani, F. Ricci.

Result of a preliminary data analysis in coincidence between the LSU and Rome gravitational wave antennas

By P. Astone, M. Bassan, P. Bonifazi, M.G. Castellano, G. Cavallari, E. Coccia, C.

Cosmelli, V. Fafone et al..

Upper limit for nuclearite flux from the Rome gravitational wave resonant detectors

By P. Astone, M. Bassan, P. Bonifazi, E. Coccia, C. Cosmelli, V. Fafone, S. Frasca, E.

Majorana et al..
10.1103/PhysRevD.47.4770.
Phys.Rev. D47 (1993) 4770-4773.

NAUTILUS: The First ultracryogenic gravitational wave detector
By E. Coccia, P. Astone, M. Bassan, P. Bonifazi, C. Cosmelli, V. Fafone, V. Fafone, S. Frasca et al..

Noise behavior of the Explorer gravitational wave antenna during lambda transition to the superfluid phase
By P. Astone, M. Bassan, P. Bonifazi, E. Coccia, C. Cosmelli, S. Frasca, E. Majorana, I. Modena et al..
10.1016/0011-2275(92)90300-Y.
Cryogenics 32 (1992) 668-670.

Test facility for resonant transducers of cryogenic gravitational wave antennas
By E. Majorana, P. Rapagnani, F. Ricci.
10.1088/0957-0233/3/5/010.
Measur.Sci.Tech. 3 (1992) 501-507.

Correlation between the Maryland and Rome gravitational wave detectors and the Mont Blanc, Kamioka and IMB particle detectors during SN1987A
By M. Aglietta, A. Castellina, W. Fulgione, G. Trincherro, S. Vernetto, P. Astone, G. Baldino, G. Bologna et al..
10.1007/BF02728660.
Nuovo Cim. B106 (1991) 1257-1269.

First cooling below 0.1-K of the new gravitational wave antenna 'Nautilus' of the Rome group
By P. Astone, M. Bassan, P. Bonifazi, F. Bronzini, M.G. Castellano, E. Coccia, C. Cosmelli, V. Fafone et al..
10.1209/0295-5075/16/3/002.
Europhys.Lett. 16 (1991) 231-235.

Coincidences among the data recorded by the Baksan, Kamioka and Mont Blanc underground neutrino detectors, and by the Maryland and Rome gravitational wave detectors during supernova SN1987A
By M. Aglietta, A. Castellina, W. Fulgione, G. Trincherro, S. Vernetto, C. Castagnoli, P. Galeotti, O. Saavedra et al..
10.1007/BF02509396.
Nuovo Cim. C14 (1991) 171-193.

Evaluation and preliminary measurement of the interaction of a dynamical gravitational near field with a cryogenic gravitational wave antenna
By P. Astone, M. Bassan, S. Bates, R. Bizzarri, P. Bonifazi, R. Cardarelli, G. Cavallari, E. Coccia et al..
10.1007/BF01558552.
Z.Phys. C50 (1991) 21-29.

Correlation between the Maryland and Rome gravitational wave detectors and the IMB

detector during SN1987A

By P. Astone, M. Bassan, P. Bonifazi, M.G. Castellano, E. Coccia, C. Cosmelli, S. Frasca, I. Modena et al..

The Gravitational wave experiment of the Rome group: Status report for the resonant antennas Explorer and Nautilus

By P. Astone, M. Bassan, P. Bonifazi, M.G. Castellano, G. Cavallari, E. Coccia, C. Cosmelli, S. Frasca et al..

In *Canberra 1990, Proceedings, Gravitational astronomy* 189-206.

Correlation between the Maryland and Rome gravitational wave detector data and the Frejus muon detector data during SN1987A

By G. Pizzella, P. Astone, M. Bassan, P. Bonifazi, C. Castagnoli, M.G. Castellano, E. Coccia, C. Cosmelli et al..

In *Venice 1990, Proceedings, Neutrino telescopes* 173-181.

Expected supernovae rates and gravitational wave antennas at ultralow temperatures

By P. Rapagnani.

In *Capri 1990, Proceedings, General relativity and gravitational physics* 589-595.

Sensitivity of the Rome gravitational wave experiment with the Explorer cryogenic resonant antenna operating at 2-K

By E. Amaldi, P. Astone, M. Bassan, P. Bonifazi, M.G. Castellano, G. Cavallari, E. Coccia, C. Cosmelli et al..

10.1209/0295-5075/12/1/002.

Europhys.Lett. 12 (1990) 5-11.

Analysis of the Data Recorded by the Mont Blanc Neutrino Detector and by the Maryland and Rome Gravitational Wave Detectors During {SN1987A}

By M. Aglietta, G. Badino, G. Bologna, C. Castagnoli, A. Castellina, W. Fulgione, P. Galeotti, O. Saavedra et al..

10.1007/BF02509071.

Nuovo Cim. C12 (1989) 75-103.

First gravity wave coincidence experiment between three cryogenic resonant mass detectors: Louisiana-Rome-Stanford

By E. Amaldi, O. Aguiar, M. Bassan, P. Bonifazi, P. Carelli, M.G. Castellano, G. Cavallari, E. Coccia et al..

In *Perth 1988, Proceedings, Recent developments in theoretical and experimental general relativity, gravitation and relativistic field theories, pt. B* 1839-1856..

Features of the cooling at ultralow temperatures of a resonant gravitational wave antenna

By M. Bassan, E. Coccia, I. Modena, G. Pizzella, P. Rapagnani, F. Ricci.
In *Perth 1988, Proceedings, Recent developments in theoretical and experimental general relativity, gravitation and relativistic field theories, pt. B* 1723-1732..

The Cryogenic gravitational wave experiment of the Roma group: The Status of art

By E. Amaldi, M. Bassan, P. Bonifazi, P. Carelli, M.G. Castellano, G. Cavallari, E. Coccia, C. Cosmelli et al..

In *Perth 1988, Proceedings, Recent developments in theoretical and experimental

general relativity, gravitation and relativistic field theories, pt. B* 1691-1700..

The New ultralow temperature gravitational wave detection project of the Rome group

By F. Ricci, M. Bassan, E. Coccia, I. Modena, G. Pizzella, P. Rapagnani.

In *Guangzhou 1987, Proceedings, Experimental gravitational physics* 403-406..

Push-pull resonant capacitive transducer for parametric measurement schemes on cryogenic gravitational wave antennas

By E. Barro, R. Onofrio, P. Rapagnani, F. Ricci.

In *Guangzhou 1987, Proceedings, Experimental gravitational physics* 363-366..

Data Recorded By The Rome Room Temperature Gravitational Wave Antenna, During The Supernova Sn1987a In The Large Magellanic Cloud

By E. Amaldi, P. Bonifazi, M.G. Castellano, E. Coccia, C. Cosmelli, S. Frasca, M. Gabellieri, I. Modena et al..

IN *LA THUILE 1987, PROCEEDINGS, RESULTS AND PERSPECTIVES IN PARTICLE PHYSICS* 59-68..

Operation Of The 2270-kg Gravitational Wave Resonant Antenna Of The Rome Group

By E. Amaldi, P. Bonifazi, P. Carelli, M.G. Castellano, G. Cavallari, E. Coccia, C. Cosmelli, V. Foglietti et al..

Conf.Proc. C861214 (1986) 18-19.

Preliminary Results on the Operation of a 2270-kg Cryogenic Gravitational Wave Antenna With a Resonant Capacitive Transducer and a SQUID Amplifier

By E. Amaldi, C. Cosmelli, G.V. Pallottino, G. Pizzella, P. Rapagnani, F. Ricci, P. Bonifazi, M.G. Castellano et al..

10.1007/BF02558082.

Nuovo Cim. C9 (1986) 829-845.

Data Analysis For A Gravitational Wave Antenna With Resonant Capacitive Transducer

By E. Amaldi, G. Pizzella, P. Rapagnani, F. Ricci, P. Bonifazi, G. Cavallari, E. Coccia, G.V. Pallottino.

10.1007/BF02508052.

Nuovo Cim. C9 (1986) 51-73.

The Gravitational Wave Experiment Of The Rome Group

By E. Amaldi, P. Bonifazi, F. Bronzini, P. Carelli, M.G. Castellano, G. Cavallari, E. Coccia, C. Cosmelli et al..

In *Rome 1985, Proceedings, General Relativity, Pt. A*, 499-521.

Initial Operation At Liquid Helium Temperature Of The M = 2270-kg Al-5056 Gravitational Wave Antenna Of The Rome Group

By E. Amaldi, E. Coccia, C. Cosmelli, Y. Ogawa, G. Pizzella, P. Rapagnani, F. Ricci, P. Bonifazi et al..

10.1007/BF02507677.

Nuovo Cim. C7 (1984) 338-354.

The Cryogenic System Of The Gravitational Wave Experiment Of The Rome Group.
(abstract Only)

By F. Bronzini, E. Coccia, I. Modena, P. Rapagnani, F. Ricci.
In *Helsinki 1984, Proceedings, Cryogenic engineering* 461..

Lagrangian Formalism For Resonant Capacitive Transducers For Gravitational Wave Antennas

By Y. Ogawa, P. Rapagnani.

10.1007/BF02507194.

Nuovo Cim. C7 (1984) 21-34.

Development Of Transducers For Gravitational Wave Antennas At The University Of Rome

By M.G. Castellano, C. Cosmelli, P. Rapagnani.

In *Shanghai 1982, Proceedings, General Relativity. Part B*, 1473-1476.

Mechanical Transfer Function And Brownian Noise Measurements At $T = 4.2\text{-k}$ Of A Small ($m = 20.3\text{-kg}$) Gravitational Wave Antenna Using Double 'four Point' Mechanical Suspensions

By P. Bonifazi, E. Coccia, P. Rapagnani.

10.1007/BF02558294.

Nuovo Cim. C4 (1981) 408-416.

Background Of Gravitational Wave Antennas Of Possible Terrestrial Origin. I

By E. Amaldi, E. Coccia, S. Frasca, I. Modena, P. Rapagnani, F. Ricci, G.V. Pallottino, G. Pizzella et al..

10.1007/BF02574722.

Nuovo Cim. C4 (1981) 295-308.

Progress Report On The Gravitational Wave Experiment In Rome. (talk)

By E. Amaldi, P. Bonifazi, F. Bordoni, M.G. Castellano, C. Cosmelli, V. Ferrari, S. Frasca, M.k. Fujimoto et al..

In *Trieste 1979, Proceedings, General Relativity, Part B*, 1211-1225.