

Curriculum Vitae di Piero Rapagnani

I - Informazioni personali

Nome / Cognome	Piero Rapagnani
Indirizzo	Via Gabriello Chiabrera 144 I-00145 Roma
Telefono	+39 333 2926146
E-Mail	piero.rapagnani@roma1.infn.it
Cittadinanza	Italiana
Data di nascita	16/07/1954
Sesso	maschile
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@uniroma1.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 Scientifica

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.

Nel periodo post laurea svolge un'attività, breve ma formativa, nell'ambito della diagnostica dei plasmi per macchine tokamak presso l'ENEA (allora CNEN) di Frascati e nella progettazione di sistemi all'infrarosso per l'avvistamento di mezzi aerei presso la ditta SISTEL di Roma. Nello stesso periodo, intervallato dallo svolgimento del servizio militare, continua a mantenere i contatti con il Gruppo Onde Gravitazionali di Roma, contribuendo alla realizzazione dei primi sistemi di filtraggio del rumore sismico per le antenne risonanti. A partire dal 1981, l'attività di ricerca nello sviluppo di rivelatori per onde gravitazionali lo porta a lavorare al CERN, per partecipare alla costruzione del nuovo rivelatore criogenico di 2.5 tonnellate di massa Explorer. In questo ambito sviluppa un nuovo tipo di trasduttore capacitivo risonante per antenne gravitazionali criogeniche, che verrà utilizzato con successo negli anni successivi sia sul rivelatore Explorer, sia sulle antenne risonanti ultracriogeniche di nuova generazione Nautilus e Auriga, sia in antenne analoghe realizzate alla Louisiana State University e all'Università di Tokyo.

L'antenna Explorer viene messa in funzione nel 1985, riuscendo ad ottenere la migliore sensibilità raggiunta fino ad allora, e resterà operativa fino al 2011. I dati di Explorer hanno consentito di porre limiti superiori significativi sia sull'intensità dei segnali gravitazionali che giungono sulla Terra, sia sul flusso sulla terra di necleariti, particelle supersimmetriche ipotizzate come possibili costituenti della materia oscura.

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 circa due ordini di grandezza migliori di Explorer. 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 e vi rimane fino al 2019.

Nello stesso periodo di sviluppo del rivelatore Nautilus, lo scrivente continua lo sviluppo di nuovi trasduttori, più efficienti, per la rivelazione del segnale dell'antenna gravitazionale. Infatti, già alla fine degli anni '80 risultava evidente 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, 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).

Dal 1986, inizia quindi lo sviluppo di una versione differenziale del trasduttore realizzato per le antenne gravitazionali criogeniche. 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. La tecnica sviluppata consiste 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.

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 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 ancor oggi 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.

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 circa tre ordini di grandezza rispetto a quella raggiunta con le antenne risonanti, nella pianura di Cascina, vicino Pisa, con fondi finanziati principalmente dall'INFN e dal CRNS francese.

L'antenna consiste in masse di prova sospese agli estremi dei due bracci di un interferometro di Fabry Perot. Si può mostrare facilmente che l'ampiezza minima rivelabile dall'antenna è inversamente proporzionale alla lunghezza dei bracci, che in VIRGO è di 3 km. Per evitare fenomeni di diffusione che limiterebbero la sensibilità, il raggio laser viaggia in ultra alto vuoto in tubi di 1.2

m di diametro. Inoltre, per poter rivelare con la sensibilità richiesta onde gravitazionali a frequenze inferiori a 10 Hz, è necessario dotare gli specchi dell'interferometro di un sistema di filtraggio del rumore sismico esterno con un'efficienza di almeno 200 dB. A questo scopo, gli specchi ad altissima riflettività che costituiscono le masse di prova dell'interferometro vengono sospese ad una colonna di cinque filtri meccanici in serie, ciascuno con una frequenza di circa 0.5 Hz sia in direzione longitudinale che trasversale. Ad un ultimo stadio di filtraggio, denominato *payload* viene anche affidato il compito di orientare lo specchio mediante un opportuno sistema di retroazione per mantenere allineato l'interferometro.

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.

Nel 2003 si procede al montaggio delle ottiche finali di Virgo. Una volta completata la costruzione, 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.

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. L'accordo viene ratificato dagli enti finanziatori nel 2006.

Nel 2007 avviene il primo run scientifico di Virgo, della durata di circa 3 mesi. I dati vengono analizzati in coincidenza con quelli degli interferometri americani, permettendo di stabilire una lunga serie di limiti superiori sulle possibili sorgenti di eventi astrofisici, quali le pulsar per i segnali continui, la coalescenza di sistemi binari di elementi massivi per i segnali con andamento temporale impulsivo, ed il fondo stocastico di onde gravitazionali sia di origine cosmologica che da collassi stellari.

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 la sensibilità ad alta frequenza (per frequenze maggiori di alcune centinaia di Hz) viene migliorata aumentando la potenza del laser di ingresso fino a circa 20 W, e la sensibilità a bassa frequenza (da 10 Hz in poi) viene aumentata utilizzando speciali sospensioni degli specchi (sospensioni monolitiche), costituite da fili di silice fusa del diametro di 0.4 mm, che sono in grado di ridurre il rumore dovuto al moto termico del pendolo equivalente allo specchio sospeso.

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. 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 costellazione della Vela (21,2 Hz). Questo risultato consente di porre per la prima volta un limite superiore all'emissione di onde gravitazionali significativamente minore 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.

Accanto a questa attività centrata sul rivelatore VIRGO, lo scrivente si è interessato anche agli sviluppi futuri dei rivelatori gravitazionali, occupandosi in particolare del problema della riduzione del rumore termico, anche mediante tecniche criogeniche. A questo scopo egli ha realizzato il sistema di sospensione e controllo dell'ultimo stadio di sospensione dell'impianto realizzato presso i laboratori INFN di Pisa a S. Piero a Grado per lo studio del rumore termico a bassa frequenza e a temperatura ambiente. Inoltre ha partecipato alla progettazione e realizzazione presso il Dipartimento di Fisica della Sapienza di un sistema criogenico di prova per lo studio del rumore termico a 4 K degli specchi e per lo sviluppo di sistemi di sospensioni e controllo ottimizzati per lavorare a basse temperature, in vista della realizzazione in futuro di un interferometro gravitazionale di nuova generazione. Tale progetto ha trovato un'ampia eco in Europa e quindi si svilupperà negli anni successivi nell'ambito del sesto programma quadro dell'Unione Europea (progetto di R&D APPEC-IRAS ufficialmente approvato nell'Ottobre del 2003 dalla Commissione Europea).

In questo periodo lo scrivente è anche tra i proponenti di alcune iniziative europee che hanno lo scopo sia di integrare la comunità delle onde gravitazionali a livello europeo, che di iniziare lo studio degli interferometri di terza generazione, che saranno i primi veri osservatori gravitazionali dopo che gli strumenti attuali avranno effettuato, sperabilmente, la prima rivelazione.

Nell'ambito del VII programma quadro della Comunità Europea viene quindi proposto e approvato il Design Study di ET (Einstein Telescope), un nuovo rivelatore europeo che sarà in grado in futuro di fare una vera astronomia gravitazionale. Nell'ambito di ET lo scrivente assume la responsabilità di coordinatore del Working Group 2 – Mirror Suspension and Control, responsabilità a cui rinuncia quando diviene Detector Coordinator di Virgo.

L'esperienza accumulata nell'ambito del progetto Virgo nella progettazione di sistemi di isolamento e controllo con elevate prestazioni, ha portato lo scrivente a partecipare, nel periodo 2002-2008, all'esperimento AMS-02, un rivelatore di particelle progettato per operare sulla Stazione Spaziale Internazionale e in grado di rivelare sia direttamente che indirettamente l'esistenza di vari tipi di particelle ipotizzate come possibili costituenti della materia oscura.

Nell'ambito di AMS-02, lo scrivente ha contribuito 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), collaborando agli stringenti test di compatibilità meccanica richiesti dalla NASA per oggetti trasportati nello spazio con gli Shuttle. 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.

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.

2010-presente 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 misura 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. Il 1 agosto 2017 Advanced Virgo è entrato ufficialmente in misura, a fianco dei rivelatori Advanced LIGO. Il 14 agosto la terna di rivelatori ha osservato un nuovo segnale dovuto alla coalescenza di due buchi neri. La presenza di Virgo ha permesso di restringere di due ordini di grandezza l'incertezza sulla posizione della sorgente. Il 17 agosto, la rete di interferometri ha rivelato per la prima volta il segnale gravitazionale dovuto alla coalescenza di due stelle di neutroni. Il segnale è giunto sulla Terra due secondi prima di un gamma ray burst rivelato Fermi ed Integral. La presenza di Virgo ha permesso di triangolare la posizione della sorgente, che nel giro di un paio d'ore è stata identificata anche in ottico, e seguita nella sua evoluzione da decine di osservatori astronomici in tempo reale. È la nascita dell'astronomia multimessaggera.

Gli interferometri LIGO e Virgo hanno interrotto la presa dati il 1 settembre 2017, per una ulteriore fase di upgrade. Lo scrivente,

come subsystem manager dei payload di Virgo, ha coordinato l'upgrade delle sospensioni degli specchi con le nuove fibre monolitiche, garantendo la riduzione del rumore termico di pendolo delle sospensioni degli specchi di circa due ordini di grandezza. L'installazione è terminata nel marzo 2018. È seguita una lunga fase di commissioning del nuovo interferometro che ha portato Virgo a migliorare la propria sensibilità di circa un fattore due rispetto al 2017. Il nuovo run di osservazioni in coincidenza con LIGO è iniziato il 1 aprile 2019 ed è tuttora in corso. Ad oggi (settembre 2019) sono stati rivelati circa una ventina di segnali gravitazionali.

2018-presente ET Collaboration

Il successo nella rivelazione delle onde gravitazionali ha portato ad una accelerazione nello sviluppo degli interferometri di terza generazione. Lo scrivente ha inizialmente partecipato alla nascita del progetto ET, contribuendo all'approvazione del Design Study da parte della Comunità Europea, per poi concentrarsi principalmente sullo sviluppo di Virgo, che ha seguito dalla configurazione iniziale a quella advanced. Una volta terminato l'upgrade di Virgo, lo scrivente è tornato ad interessarsi di ET, ormai nella fase in cui si cerca di far nascere la nuova struttura, dedicandosi specialmente al problema del raffreddamento a bassa temperatura degli specchi. In ET gli specchi saranno in silicio o zaffiro, con una massa di circa 200 kg. Per limitare il rumore termico si prevede di raffreddarli ad almeno 20 K. Naturalmente nessun contatto termico può essere ancorato sullo specchio, e bisogna tenere conto anche della potenza (circa 1 W) immessa continuamente nello specchio durante il funzionamento dell'interferometro. Per affrontare questa sfida tecnologica, lo scrivente sta cercando di riunire l'esperienza in criogenia da vari gruppi e centri di eccellenza per formare una squadra che si dedichi al problema. Per questo, ha contattato il gruppo di criogenia del CERN, esperti di criogenia dell'esperimento CUORE e di ICARUS, e soprattutto i colleghi giapponesi di KAGRA, il primo interferometro criogenico sotterraneo che è attualmente nella fase finale di costruzione in Giappone.

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. È stata inoltre accettata una richiesta per fondi d'Ateneo per progetti di ricerca di medie dimensioni.

Incarichi di responsabilità scientifica e gestionale

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

2008-2018 SubSystem Manager per la sospensione ed il controllo delle ottiche in Advanced Virgo.

2018-Oggi Responsabile locale della sigla INFN ET-Italia per la Sezione di Roma

Attualmente, lo scrivente è referee di progetti di ricerca in Italia ed in Belgio.

Assegnazione e Gestione di Fondi di Ricerca:

Lo scrivente ha sempre concentrato la propria attività nello sviluppo e nella realizzazione sul campo dei rivelatori gravitazionali. In questo senso, ha svolto essenzialmente la propria attività gestendo i fondi dei Working Package di cui era responsabile. Come Detector Coordinator, in Virgo+, ha gestito un budget di circa 300 k€ su 2 anni. Per Advanced Virgo, come responsabile dell'installazione dei nuovi payload, ha gestito la spesa di circa 1.2 M€ su 3 anni. Inoltre, è stato responsabile locale del progetto PRIN 2000 sul Rumore Newtoniano (circa 30 kEuro), ed è attualmente responsabile locale per INFN-Roma della sigla ET-Italia (circa 50 - 60 k€ l'anno).

Pubblicazioni:

Piero Rapagnani ha pubblicato circa trecento lavori su rivista internazionale e su atti di congressi con referee. L'elenco completo è nella lista allegata: **Pubblicazioni di Piero Rapagnani**.

Indici Bibliometrici (2021):

Database	N lavori	Citazioni	Citazioni medie	H-index	H-index normalizzato
SCOPUS	363	46807	129	81	2.19
Web of Science	357	42504	119	78	2.11
Google Scholar	501	66678	133	99	2.68

Attività didattica:

Piero Rapagnani è stato titolare di corsi fisica generale per i corsi di laurea in Informatica, Biologia, Chimica industriale. E' stato titolare del corso di Esperimentazione Fisica 3 per il corso di laurea in Fisica nell'AA. 2001-2002. E' stato relatore di varie tesi di laurea e di dottorato, e ha partecipato a varie commissioni per esami finali di Dottorato in Italia e Francia. Attualmente, è titolare del corso di Termodinamica e Laboratorio per il corso di laurea in Fisica, e del corso di Complementi di Fisica (Introduzione al Calcolo Quantistico) per il corso di laurea in Informatica. Inoltre, lo scrivente è stato membro del Consiglio Didattico del Dottorato in Astronomia e Astrofisica di Roma "La Sapienza" ed è attualmente membro del Collegio Docente del Dottorato in Astronomy, Astrophysics and Space Sciences, tenuto in modo congiunto dall'Università La Sapienza e dall'Università Tor Vergata.

Premi:

Breakthrough Prize for Fundamental Physics (2016) Assegnato alla collaborazione LIGO-Virgo

Gruber Cosmology Prize (2016) Assegnato alla collaborazione LIGO-Virgo.

