



Senato  
Accademico

Seduta del

28 NOV. 2017

L'anno duemiladiciassette, addì **28 novembre** alle ore 16.01, a seguito di regolare convocazione trasmessa con nota prot. n. 0092685 del 23 novembre 2017, nell'Aula Organi Collegiali si è riunito il Senato Accademico per l'esame e la discussione degli argomenti iscritti al seguente ordine del giorno:

.....o m i s s i s .....

**Sono presenti:** il Rettore, prof. Eugenio Gaudio, Presidente ed i componenti del Senato Accademico: prof. Renato Masiani, Pro Rettore Vicario, prof. Enzo Lippolis, prof.ssa Maria Rosaria Torrasi, prof. Sergio Fucile, prof.ssa Rita Cerutti, prof.ssa Alessandra Zicari, prof. Augusto Desideri, prof. Stefano Catucci, prof. Giuseppe Piras, prof.ssa Stefania Portoghesi Tuzi, prof.ssa Beatrice Alfonzetti, prof.ssa Claudia Ciancaglini, prof. Paolo Mataloni, prof. Stefano Biagioni, prof. Emilio Nicola Maria Cirillo, prof.ssa Caterina De Vito, prof. Giorgio De Toma, prof. Claudio Letizia, prof. Marco Biffoni, prof. Augusto D'Angelo, prof. Mauro Rota, i Rappresentanti del personale: Tiziana Germani, Carlo D'Addio, Pietro Maioli, Maria Rita Ferri, Stefano Marotta e i Rappresentanti degli studenti: Alessio Folchi, Angelo Carlini, Alessandro Cofone, Maria Giacinta Bianchi, Tiziano Pergolizzi, Francesco Mosca.

**Assistono:** il Direttore Generale, Carlo Musto D'Amore, che assume le funzioni di Segretario, i Presidi: prof. Fabrizio D'Ascenzo, prof. Paolo Ridola, prof. Antonio D'Andrea, prof. Giancarlo Bongiovanni, prof. Vincenzo Nesi, prof. Stefano Pietro Luigi Asperti, prof. Massimo Volpe, prof. Sebastiano Filetti, prof. Carlo Della Rocca, prof. Paolo Teofilatto, il Direttore della Scuola degli Studi Avanzati: prof.ssa Irene Bozzoni, la rappresentante dei dottorandi: dott.ssa Francesca Rossetti e i Prorettori: prof. Bruno Botta, prof. Gianni Orlandi, prof. Teodoro Valente.

**Assenti giustificati:** prof. Enrico Elio Del Prato.

**Assenti:** prof.ssa Maria Carmela Benvenuto.

**Il Presidente, constatata l'esistenza del numero legale, dichiara l'adunanza validamente costituita ed apre la seduta.**

.....o m i s s i s .....

Fl



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

Senato  
Accademico

Seduta del

28 NOV. 2017

SAPIENZA UNIVERSITÀ DI ROMA

Area Ricerca Umana

Il Rettore

Dr. Francesco Greco

*Greco*

SAPIENZA UNIVERSITÀ DI ROMA

Area Ricerca Umana

Ufficio Relazioni Docenti e Collaborazioni Esterne

Il Capo Ufficio

Dr. Pierfrancesco Conversano

*uw*

AREA RICERCA UMANA

Ufficio Relazioni Docenti e Collaborazioni Esterne

Dr. Martino Rosaroli

Il Capo Ufficio

*MR*

**PROGRAMMA PER GIOVANI RICERCATORI "RITA LEVI MONTALCINI"  
D.M. N. 962 DEL 28 DICEMBRE 2015**

Il Presidente sottopone all'esame del Senato Accademico la relazione predisposta dal Settore Collaborazioni esterne dell'Area Risorse Umane.

In applicazione della procedura prevista dal D.M. n. 962 del 28 dicembre 2015 per il reclutamento di giovani ricercatori "Rita Levi Montalcini", il Ministro dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca ha approvato le liste di priorità presentate dal Comitato preposto alla valutazione e selezione delle domande. In particolare, il dott. Francesco Pannarale Greco ha scelto questo Ateneo in ordine di preferenza per lo svolgimento del programma di ricerca, dal titolo *"Coalescenze di stelle di neutroni binarie: scienza per l'era dell'astronomia delle onde gravitazionali"*

L'Università deve trasmettere al Ministero entro il 30.11.2017 la delibera del Consiglio di Amministrazione contenente l'impegno alla stipula del contratto di ricercatore a tempo determinato ai sensi dell'articolo 24, comma 3) lettera b) della legge 240/2010 e l'attestazione del Dipartimento a fornire adeguate strutture di accoglienza e di supporto, ovvero la dichiarazione che non è intenzione dell'Ateneo accogliere la richiesta.

L'assunzione del ricercatore dovrà avvenire entro gli otto mesi successivi alla data della delibera del Consiglio di Amministrazione.

Il MIUR, nella nota sopra citata, ha ricordato che nel terzo anno del contratto, nell'ambito delle risorse disponibili per la programmazione, l'università valuta il titolare del contratto che abbia conseguito l'abilitazione scientifica ai fini della chiamata nel ruolo di professore associato e che in caso di esito positivo della valutazione, il titolare del contratto, alla scadenza dello stesso, è inquadrato nel ruolo dei professori associati. L'Ateneo sarà tenuto a impegnare esclusivamente il differenziale di Punti organico tra il posto di Professore e quello ricercatore originariamente attribuito dal Ministero all'Ateneo. In tal caso sarà reso consolidabile a valere sul FFO l'importo del relativo costo annuo del contratto da ricercatore.

Il Dipartimento di Fisica, in data 02.11.2017, ha espresso parere favorevole a fornire adeguate strutture di accoglienza e di supporto al dott. Pannarale Greco.

Il Presidente comunica che il Consiglio di Amministrazione, nella seduta del 14.11.2017, ha deliberato di autorizzare la stipula del contratto di ricercatore a tempo determinato di cui all'art. 24, comma 3) lettera b) della legge 240/2010 con lo studioso sopra indicato, subordinatamente al parere favorevole del Senato Accademico in merito all'eccellenza del curriculum del ricercatore.

Il Consiglio ha stabilito, inoltre, di dare mandato all'ASSCO di accantonare, in sede di programmazione delle risorse, il differenziale di punti organico per l'inquadramento del dott. Francesco Pannarale Greco in qualità di professore associato, ex art. 24, comma 5, della Legge n. 240/2010.



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

Senato  
Accademico

Seduta del

28 NOV. 2017

Il Presidente invita, pertanto, il Senato Accademico a esprimersi in merito all'eccellenza del curriculum del dott. Francesco Pannarale Greco.

SAPIENZA UNIVERSITÀ DI ROMA  
Area Ricerca Urbana  
Il Direttore  
Dott.ssa Daniela Cavello

SAPIENZA UNIVERSITÀ DI ROMA  
Area Ricerca Urbana  
Ufficio Amministrativo e Collaborazioni Esterne  
Il Capo Ufficio  
Dott. Pierfrancesco Conversano

AREA RICERCA URBANA  
e Collaborazioni Esterne  
Settore  
Dott.ssa Giuliana De Martino Rosatoli

ALLEGATI PARTE INTEGRANTE:  
CV e Progetto di ricerca del dott. Francesco Pannarale Greco.

ALLEGATI IN VISIONE:  
Verbale del Consiglio del Dipartimento di Fisica del 02.11.2017.



Senato  
Accademico

Seduta del

28 NOV. 2017

.....OMISSIS.....

**DELIBERAZIONE N. 292/17**

**IL SENATO ACCADEMICO**

- Letta la relazione istruttoria;
- Visto lo Statuto dell'Università emanato con D.R. n. 3689 del 29.10.2012;
- Visto il n. 962 del 28 dicembre 2015 per il reclutamento di giovani ricercatori "Rita Levi Montalcini";
- Vista la nota MIUR del 16.10.2017, prot. n. 80212;
- Visto il progetto di ricerca presentato dal dott. Francesco Pannarale Greco;
- Visto il verbale del Consiglio del Dipartimento di Fisica del 02.11.2017;
- Vista la deliberazione n. 426/17 del Consiglio di Amministrazione del 14.11.2017 con cui è stata autorizzata la stipula del contratto di ricercatore a tempo determinato di cui all'art. 24, comma 3) lettera b) della legge 240/2010 con il dott. Francesco Greco Pannarale, subordinatamente al parere favorevole del Senato Accademico in merito all'eccellenza del suo curriculum;
- Visto il curriculum del dott. Francesco Greco Pannarale;
- Presenti e votanti 31: con voto unanime espresso nelle forme di legge dal Rettore, dal Pro Rettore Vicario e dai Senatori: Lippolis, Alfonzetti, Biagioni, Biffoni, De Toma, Catucci, Cerutti, Ciancaglini, Cirillo, D'Angelo, De Vito, Desideri, Fucile, Letizia, Mataloni, Piras, Portoghesi Tuzi, Rota, Torrisi, Zicari, D'Addio, Ferri, Germani, Maioli, Marotta, Bianchi, Carlini, Cofone, Folchi

**DELIBERA**

di esprimere parere favorevole in merito all'eccellenza del curriculum del dott. Francesco Pannarale Greco.

Letto e approvato seduta stante per la sola parte dispositiva.

IL SEGRETARIO  
Carlo Musto D'Amore

IL PRESIDENTE  
Eugenio Gaudio

.....OMISSIS.....

# Programma per Giovani Ricercatori

*"Rita Levi Montalcini" 2015*

(D.M. n. 962 del 28/12/2015, pubblicato su GU Serie Generale n. 51 del 02/03/2016)

## DOMANDA DI PARTECIPAZIONE

Codice: PGR15IZFM9

### DATI GENERALI STUDIOSO

<b>Nome</b>	<i>FRANCESCO</i>
<b>Cognome</b>	<i>PANNARALE GRECO</i>
<b>Nato/a a</b>	<i>TRIESTE</i>
<b>il</b>	<i>13/02/1983</i>
<b>Nazionalità</b>	<i>Italy</i>
<b>Dottore di ricerca o titolo equivalente in</b>	<i>Fisica</i>
<b>Data di conseguimento del titolo</b>	<i>21/01/2010</i>
<b>Istituzione universitaria presso la quale è stato conseguito il titolo</b>	<i>Sapienza - Università di Roma</i>
<b>Stato estero di provenienza attuale</b>	<i>United Kingdom</i>
<b>Ente</b>	<i>Cardiff University</i>
<b>Data inizio attività all'estero</b>	<i>01/11/2009</i>

### ATTIVITÀ DI DIDATTICA E/O DI RICERCA SVOLTE ALL'ESTERO NELL'ULTIMO TRIENNIO

<b>n°</b>	<b>Dal</b>	<b>Al</b>	<b>Presso</b>	<b>In qualità di</b>
1.	<i>01/11/2009</i>	<i>31/10/2012</i>	<i>Max Planck Institute for Gravitational Physics - Albert Einstein Institute, Golm, Germany</i>	<i>Postdoctoral Research</i>
2.	<i>01/11/2012</i>	<i>31/10/2013</i>	<i>Max Planck Institute for Gravitational Physics - Albert Einstein Institute, Golm, Germany</i>	<i>Junior Scientist</i>
3.	<i>01/11/2013</i>	<i>31/10/2016</i>	<i>Cardiff University</i>	<i>Research Associate</i>

## RECAPITO DELLO STUDIOSO

<b>Indirizzo</b>	<i>39 Daisy Street</i>
<b>CAP</b>	<i>CF5 1EP</i>
<b>Città</b>	<i>Cardiff</i>
<b>Paese</b>	<i>United Kingdom</i>
<b>Email</b>	<i>francesco.pannarale@ligo.org</i>
<b>Telefono</b>	<i>+44(0)7438616526</i>

## CURRICULUM SCIENTIFICO

### Italiano

#### Sommario delle qualifiche

- *Chair del gruppo LIGO-Virgo di analisi di dati in coincidenza con lampi gamma (gamma-ray burst)*
- *Esperto in onde gravitazionali, buchi neri, stelle di neutroni, elaborazione dati/segnali, statistica, simulazioni numeriche di (magneto)idrodinamica in relatività generale*
- *Perizia nel calcolo in parallelo ad alte prestazioni ed alto throughput*
- *Vasta esperienza di sviluppo software (PyCBC, BayesWave, LALsuite, Cactus, Whisky, Lorene) in vari linguaggi (Python, C/C++, Fortran, shell-scripting, ROOT), individualmente e in piccole e grandi collaborazioni; competenza in numerose librerie (HDF5, NumPy/SciPy, Matplotlib, Lustre, LATfield) e software scientifici (Mathematica, Matlab, Maple, Gnuplot, XMGrace, SuperMongo, VisIt, Git, SVN)*
- *Solida formazione analitica con marcata attitudine per il problem solving*
- *Collaboratore di lunga data di team scientifici internazionali; per esempio: Università del Mississippi, di Glasgow, di Varsavia, di Syracuse, Albert-Einstein-Institut (Hannover), European Space Astronomy Centre (Madrid), Los Alamos National Laboratory, Yukawa Institute for Theoretical Physics (Kyoto), RIKEN (Tokyo)*
- *Eccellenti capacità comunicative scritte (26 pubblicazioni peer-reviewed e 11 preprint, 913 citazioni, indice-h 14, indice-g 30) e orali (33 interventi internazionali, un terzo su invito)*
- *Esperienza didattica a livello pre- e post-laurea*
- *Comprovata perizia nell'organizzare e gestire con efficienza numerose responsabilità per raggiungere obiettivi con scadenza, in progetti individuali e collettivi*
- *Impeccabili capacità organizzative e interpersonali, cura del dettaglio, abilità nel condurre e gestire molteplici progetti dall'inizio al termine*
- *Madrelingua italiana, bilingue in inglese, tedesco base*

#### Posizioni

*11/2013-: Research associate, Gravitational Physics Group, Università di Cardiff*  
*11/2009-10/2013: Post-doctoral researcher poi junior scientist, Numerical Relativity Group, Albert-Einstein-Institut, Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik (Golm, Germania)*

#### Studi

*11/2006-10/2009: Dottorato in fisica (Sapienza Università di Roma)*  
*10/2004-09/2006: Laurea specialistica in fisica teorica (Sapienza Università di Roma), 110/110 e lode*

10/2001-09/2004: *Laurea triennale in fisica (Sapienza Università di Roma), 110/110 e lode*

#### Ulteriore formazione

-----

2016: *Programma "Fast Track to Fellowships" (Università di Cardiff)*

2014-: *"Research Staff Career Development Skills Courses" (Università di Cardiff):*

- *"Introduction to Research Funding"*
- *"Managing People in Research"*
- *"Delivering Lectures"*
- *"Supervising Research Students"*
- *"Equality & Diversity Training"*

2007: *Scuola VESF sulle onde gravitazionali (Italia)*

2005: *Summer student al Collider Detector at Fermi National Accelerator Laboratory (USA)*

#### Attività e risultati di ricerca salienti

-----

- *Prima osservazione di onde gravitazionali [1-13]; responsabile di un test di relatività generale [8]*
- *Chair del gruppo LIGO-Virgo di analisi di dati in coincidenza con lampi gamma (gamma-ray burst, GRB)*
- *Editor dell'articolo sull'analisi dei dati del First Advanced LIGO Observation Run in coincidenza con GRB*
- *Sviluppatore PyGRB, pipeline per la ricerca di coalescenze di binarie compatte (CBC) in coincidenza con short GRB; direttore della relativa analisi dati*
- *Lettera ApJ su prospettive di osservazione di onde gravitazionali e short GRB [26] (utilizzata nelle ricerche rapide di CBC, evidenziata su [phys.org](http://phys.org) e [motherboard.vice.com](http://motherboard.vice.com))*
- *Sviluppatore PyCBC, toolkit Python di analisi dati per la ricerca di onde gravitazionali da CBC*
- *Sviluppatore BayesWave, codice di inferenza Bayesiana per onde gravitazionali transienti e "glitch" strumentali: lancio automatico di run paralleli, post-processing, generazione automatica di webpage dinamiche con i risultati, velocizzazione del 35%*
- *Caratterizzazione di BayesWave per la ricerca di coalescenze di buchi neri*
- *Analisi a tutt'oggi più estesa ed esaustiva della predizione della frequenza di osservazioni di onde gravitazionali da CBC [24]*
- *Primo modello dello spettro di potenza delle onde gravitazionali [18,19,30] e delle proprietà del buco nero [28,31] prodotti da binarie stella di neutroni-buco nero*
- *Possibilità di porre vincoli sulle teorie della gravitazione con LISA Pathfinder [27]*
- *Ricerche sull'emissione gravitazionale ed elettromagnetica, formazione di tori di accrescimento, interazioni mareali ed equazione di stato della materia nucleare superdensa nelle coalescenze stella di neutroni-buco nero [25,28,30-37]*
- *Dimostrazione della perdita di universalità, in modo dipendente dall'equazione di stato, delle relazioni ("I-Love-Q") fra momento di quadrupolo, momento di inerzia e deformabilità mareale per stelle di neutroni magnetizzate lentamente rotanti [29]*
- *Ideazione e gestione del progetto "Improving Advanced LIGO/Virgo event rate estimates for compact binary mergers" (vedasi sezione Premi e finanziamenti)*
- *Simulazioni numeriche dimostranti l'indistinguibilità dell'emissione gravitazionale di binarie stella di neutroni-buco nero con e senza campi magnetici e il prolungamento, in presenza di campi magnetici, della vita di stelle di neutroni ipermassive formate da coalescenze di stelle di neutroni*
- *Sviluppo di codice mediante classi Lorene per produrre dati iniziali per tali simulazioni; realizzata compilazione di Lorene su Mac OS X*
- *Studio delle oscillazioni di stelle di neutroni rapidamente rotanti*
- *Confronto fra simulazioni Monte Carlo e dati strumentali relativi alla densità di particelle cariche e alla struttura di jet adronici in eventi  $W \rightarrow$  jets al Fermilab*

#### Attività didattica

-----

2015-16: *Titolare del corso "Advanced General Relativity and Gravitational Waves" (Università di Cardiff)*

2015: *Mentore del summer student N.De Lillo che ha svolto ricerche per la tesi triennale "Joint Electromagnetic and Gravitational-Wave Observations of Neutron Star-Black Hole Mergers" e co-relatore della stessa (Università di Trento, 28/09/2015, 110/110)*

2014: Mentore del summer student R.Macas che ha analizzato CBC con tecniche di inferenza Bayesiana

2014: Mentore del summer student L.Shamberger che ha modellizzato binarie stella di neutroni-buco nero con distruzione mareale, finanziato dal programma NSF Partnerships for International Research and Education

06/2012: Docente alla "International Max Planck Research School in Gravitational Waves" (Germania)

2006-09: Assistente didattico per i corsi Metodi e Modelli Matematici per la Fisica e Laboratorio di Calcolo (laurea triennale in fisica, Sapienza Università di Roma)

#### Altre attività

Referee: *Physical Review Letters, Physical Review D, Classical and Quantum Gravity*

2014-15: Organizzatore dei seminari di fisica gravitazionale (Università di Cardiff)

2012-13: Amministratore SVN (Albert-Einstein-Institut)

2012-13: Organizzatore del Journal Club di astrofisica relativistica (Albert-Einstein-Institut)

2010-13: Design e manutenzione del sito del gruppo di relatività numerica (Albert-Einstein-Institut)

#### Premi e finanziamenti

2016: Domanda per un ECT\* workshop

2016: 300€ per missioni (Università di Cardiff)

2016: Selezionato per il programma "Fast Track to Fellowships" (Università di Cardiff)

2015: Domanda per una Royal Society University Research Fellowship

2012: 10000€ dalla Fondazione Tedesca per la Ricerca (DFG) per il progetto "Improving Advanced LIGO/Virgo event rate estimates for compact binary mergers" in collaborazione con le Università del Mississippi e di Varsavia, RIKEN e Yukawa Institute of Theoretical Physics [18,19,24,28,30,31]

2006-09: Borse di assistenza didattica (Sapienza Università di Roma)

2006-09: Posizione e borsa di dottorato [1 di 10 per ~100 candidati] (Sapienza Università di Roma)

2005: Borsa per summer student (U.S. Department of Energy)

2002-05: Tre borse di collaborazione (Sapienza Università di Roma)

#### Inglese

##### Qualification Summary

- Chair of the LIGO-Virgo gamma-ray burst follow-up data analysis group
- Expertise in gravitational waves, black holes, neutron stars, data/signal processing, statistics, general-relativistic-(magneto)hydrodynamics numerical simulations
- Proficiency in high-performance and high-throughput parallel computing
- Extensive software development experience (PyCBC, BayesWave, LALsuite, Cactus, Whisky, Lorene) in various programming languages (Python, C/C++, Fortran, shell-scripting, ROOT), within small and large collaborations and individually; knowledgeable of myriad scientific libraries (HDF5, NumPy/SciPy, Matplotlib, Lustre, LATfield) and software (Mathematica, Matlab, Maple, Gnuplot, XMGrace, SuperMongo, VisIt, Git, SVN)
- Strong analytical background with a marked aptitude for problem solving
- Broad range experience collaborating with international scientific research teams from, among others, the Universities of Mississippi, Glasgow, Warsaw, Syracuse, the Albert-Einstein-Institut in Hannover, the European Space Astronomy Centre (Madrid), Los Alamos National Laboratory, the Yukawa Institute for Theoretical Physics (Kyoto), RIKEN (Tokyo)
- Excellent written (26 peer-reviewed publications and 11 preprints, 913 citations, h-index 14, g-index 30) and oral communication skills (33 international talks, a third invited)
- Teaching experience at undergraduate and graduate level
- Track-record of efficiently organizing and managing numerous responsibilities to promptly meet deadline-driven objectives, for both individual and team projects
- Impeccable organizational and interpersonal skills; keen eye for detail and ability to assume and manage multiple projects from inception to conclusion
- Italian mother tongue, English bilingual proficiency, basic German

#### Positions

-----  
 11/2013-: *Research associate, Gravitational Physics Group, Cardiff University*  
 11/2009-10/2013: *Post-doctoral researcher and then junior scientist, Numerical Relativity Group, Albert-Einstein-Institut, Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik (Golm, Germany)*

#### *Education*

-----  
 11/2006-10/2009: *Ph.D. in physics (Sapienza University of Rome)*  
 10/2004-09/2006: *Master's degree in theoretical physics (Sapienza University of Rome), 110/110 cum laude*  
 10/2001-09/2004: *Bachelor's degree in physics (Sapienza University of Rome), 110/110 cum laude*

#### *Further Formation*

-----  
 2016: *Cardiff University Fast Track to Fellowships Program*  
 2014-: *Cardiff University Research Staff Career Development Skills Courses:*  
 • *Introduction to Research Funding*  
 • *Managing People in Research*  
 • *Delivering Lectures*  
 • *Supervising Research Students*  
 • *Equality & Diversity Training*  
 2007: *VESF School On Gravitational Waves (Italy)*  
 2005: *Summer student at the Collider Detector at Fermi National Accelerator Laboratory (USA)*

#### *Main Research Activities and Achievements*

- 
- *First gravitational-wave detection [1-13]; lead of one of the general relativity tests [8]*
  - *Chair of the LIGO-Virgo gamma-ray burst (GRB) data analysis group*
  - *Editor of the First Advanced LIGO Observation Run paper on GRB follow-ups*
  - *Developer of PyGRB, the LIGO-Virgo offline search pipeline for compact binary coalescences (CBCs) in coincidence with short GRBs; lead of the analysis*
  - *ApJ Letter on joint gravitational-wave and short GRB observation prospects [26] (used by low-latency CBC searches and highlighted on phys.org and motherboard.vice.com)*
  - *Developer of PyCBC, a Python toolkit for analysing gravitational-wave laser interferometer detector data to detect and study CBC signals*
  - *Developer of BayesWave, a Bayesian inference code for transient gravitational waves and instrument glitches: unmanned launch of parallel runs, post-processing, unmanned generation of dynamic result webpages, 35% speed-up in performance*
  - *Characterized BayesWave for binary black hole merger searches*
  - *Most extensive and exhaustive analysis available to date of predicted CBC gravitational-wave detection rates [24]*
  - *First model of the gravitational-wave power spectrum [18,19,30] and the black hole remnant properties [28,31] of neutron star-black hole merging binaries*
  - *Explored constraining alternative theories of gravity with LISA Pathfinder mission [27]*
  - *Investigated gravitational-wave and electromagnetic emission, accretion torus formation, tidal interactions, and the equation of state of superdense nuclear matter in black hole-neutron star mergers [25,28,30-37]*
  - *Showed that realistic magnetic field configurations can break the universality of the ("I-Love-Q") relations among the quadrupole moment, the moment of inertia, and the tidal deformability of slowly rotating neutron stars in an equation of state dependent way [29]*
  - *Devised and managed the project "Improving Advanced LIGO/Virgo event rate estimates for compact binary mergers" (see Awards and Grants section)*
  - *Ran numerical-relativity simulations, showing that the gravitational wave emission of magnetized and unmagnetized black hole-neutron star binary coalescences cannot be distinguished and that magnetic fields can significantly increase the lifetime of hypermassive neutron stars formed by binary neutron star mergers*
  - *Developed code using Lorene classes to produce initial data for numerical simulations; made Lorene compilation possible on Mac OS X*
  - *Investigated the oscillations of rapidly rotating neutron stars*

- *Compared Monte Carlo simulations and physical data to analyze charged particle density and hadronic jet shape in  $W^+$  jets events at Fermilab*

#### Teaching Activity

2015-16: *"Advanced General Relativity and Gravitational Waves" module organizer (Cardiff University)*

11/2015: *Lecturer for gravitational-wave project students (Cardiff University)*

2015: *Mentored summer student Nicola De Lillo on the research for his BA thesis "Joint Electromagnetic and Gravitational-Wave Observations of Neutron Star-Black Hole Mergers" which I coadvised (University of Trento, 28/09/2015, 110/110)*

2014: *Mentored summer student Ronaldas Macas on Bayesian inference analysis of coalescing binary black hole gravitational-wave data*

2014: *Mentored summer student Logan Shamberger on modelling tidally disrupted neutron-star black hole mergers; he was funded by NSF's Partnerships for International Research and Education program*

06/2012: *Lecturer at the International Max Planck Research School in Gravitational Waves (Germany)*

2006-09: *Teaching assistant for the "Metodi e Modelli Matematici per la Fisica" (Mathematical Methods and Models for Physics) and "Laboratorio di Calcolo" (Computer Programming Lab) courses of the BA in physics at Sapienza University of Rome*

#### Other Activities

*Regular referee: Physical Review Letters, Physical Review D, Classical and Quantum Gravity*

2014-15: *Gravitational Physics Seminars organizer (Cardiff University)*

2012-13: *SVN administrator (Albert-Einstein-Institut)*

2012-13: *Astrophysical Relativity Journal Club organizer (Albert-Einstein-Institut)*

2010-13: *Designer and maintainer of the Numerical Relativity group website (Albert-Einstein-Institut)*

#### Awards and Grants

2016: *ECT\* workshop application*

2016: *300€ of travel funds (Cardiff University)*

2016: *Selected for Cardiff University's Fast Track to Fellowships program*

2015: *Royal Society University Research Fellowship application*

2012: *10000€ from the German Research Foundation (DFG) for the project "Improving Advanced LIGO/Virgo event rate estimates for compact binary mergers" in collaboration with the Universities of Mississippi and Warsaw, RIKEN, and the Yukawa Institute of Theoretical Physics*

[18,19,24,28,30,31]

2006-09: *Teaching assistance fellowships (Sapienza University of Rome)*

2006-09: *Ph.D. position and fellowship [1 of 10 for ~100 candidates] (Sapienza University of Rome)*

2005: *Summer student fellowship (U.S. Department of Energy)*

2002-05: *Three collaboration fellowships (Sapienza University of Rome)*

## PUBBLICAZIONI SCIENTIFICHE

[1] B.P.Abbott, et al., *Localization and broadband follow-up of the gravitational-wave transient GW150914*, arXiv:1602.08492 (2016).

[2] ANTARES Collaboration, S.Adrián-Martínez, et al., *High-energy Neutrino follow-up search of Gravitational Wave Event GW150914 with ANTARES and IceCube*, arXiv:1602.05411 (2016).

[3] B.P.Abbott, et al., *GW150914: Implications for the stochastic gravitational wave background from binary black holes*, arXiv:1602.03847 (2016).

[4] B.P.Abbott, et al., *Calibration of the Advanced LIGO detectors for the discovery of the binary black-hole merger GW150914*, arXiv:1602.03845 (2016).

[5] B.P.Abbott, et al., *Characterization of transient noise in Advanced LIGO relevant to gravitational wave signal GW150914*, arXiv:1602.03844 (2016).

- [6] B.P.Abbott, et al., *Observing gravitational-wave transient GW150914 with minimal assumptions*, arXiv:1602.03843 (2016).
- [7] B.P.Abbott, et al., *The Rate of Binary Black Hole Mergers Inferred from Advanced LIGO Observations Surrounding GW150914*, arXiv:1602.03842 (2016).
- [8] B.P.Abbott, et al., *Tests of general relativity with GW150914*, arXiv:1602.03841 (2016).
- [9] B.P.Abbott, et al., *Properties of the binary black hole merger GW150914*, arXiv:1602.03840 (2016).
- [10] B.P.Abbott, et al., *GW150914: First results from the search for binary black hole coalescence with Advanced LIGO*, arXiv:1602.03839 (2016).
- [11] B.P.Abbott, et al., *GW150914: The Advanced LIGO Detectors in the Era of First Discoveries*, arXiv:1602.03838 (2016).
- [12] B.P.Abbott, et al., *Astrophysical Implications of the Binary Black Hole Merger GW150914*, *Astrophys.J.* 818, L22 (2016).
- [13] B.P.Abbott, et al., *Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger*, *Phys.Rev.Lett.* 116, 061102, (2016).
- [14] B.P.Abbott, et al., *Prospects for Observing and Localizing Gravitational-Wave Transients with Advanced LIGO and Advanced Virgo*, *Living Reviews in Relativity* 19, (2016).
- [15] J.Aasi, et al., *First low frequency all-sky search for continuous gravitational wave signals*, *Phys.Rev.D* 93, 042007 (2016).
- [16] J.Aasi, et al., *A search of the Orion spur for continuous gravitational waves using a "loosely coherent" algorithm on data from LIGO interferometers*, *Phys.Rev.D* 93, 042006 (2016).
- [17] J.Aasi, et al., *All-sky search for long-duration gravitational wave transients with LIGO*, *Phys.Rev.D* 93, 042005 (2016).
- [18] F.Pannarale, E.Berti, K.Kyutoku, B.Lackey, M.Shibata, *Gravitational-wave cutoff frequencies of tidally disruptive neutron star-black hole binary mergers*, *Phys.Rev.D* 92, 081504 (2015).
- [19] F.Pannarale, E.Berti, K.Kyutoku, B.Lackey, M.Shibata, *Aligned spin neutron star-black hole mergers: a gravitational waveform amplitude model*, *Phys.Rev.D* 92, 084050 (2015).
- [20] J.Aasi, et al., *Searches for continuous gravitational waves from nine young supernova remnants*, *Astrophys.J.* 813, 39 (2015).
- [21] J.Aasi, et al., *Directed search for gravitational waves from Scorpius X-1 with initial LIGO*, *Phys.Rev.D* 91, 062008 (2015).
- [22] J.Aasi, et al., *Advanced LIGO*, *Class.Quant.Grav.* 32, 074001 (2015).
- [23] J.Aasi, et al., *Narrow-band search of continuous gravitational-wave signals from Crab and Vela pulsars in Virgo VSR4 data*, *Phys.Rev.D* 91, 022004 (2015).
- [24] M.Dominik, E.Berti, R.O'Shaughnessy, I.Mandel, K.Belczynski, C.Fryer, D.Holz, T.Bulik, F.Pannarale, *Double Compact Objects III: Gravitational Wave Detection Rates*, *Astrophys.J.* 806, 263 (2015).
- [25] A.Maselli, L.Gualtieri, F.Pannarale, V.Ferrari, *On the validity of the adiabatic approximation in compact binary inspirals*, *Thirteenth Marcel Grossmann Meeting*: pp. 951-953 (2015).
- [26] F.Pannarale, F.Ohme, *Prospects for joint gravitational-wave and electromagnetic observations of neutron-star-black-hole coalescing binaries*, *Astrophys.J.* 791, L7 (2014). [Highlighted on <http://phys.org/news/2014-11-unravelling-mystery-gamma-ray.html> and <http://motherboard.vice.com/read/giant-space-microphones-will-record-the-soundtrack-of-the-universe>]
- [27] N.Korsakova, C.Messenger, F.Pannarale, M.Hewitson, M.Armano, *Data Analysis Methods for Testing Alternative Theories of Gravity with LISA Pathfinder*, *Phys.Rev.D* 89, 123511 (2014).
- [28] F.Pannarale, *Black Hole Remnant of Black Hole-Neutron Star Coalescing Binaries with arbitrary black hole spin*, *Phys.Rev.D* 89, 044045 (2014).
- [29] B.Haskell, R.Ciolfi, F.Pannarale, L.Rezzolla, *On the universality of I-Love-Q relations in magnetized neutron stars*, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, 438, L71 (2014).
- [30] F.Pannarale, E.Berti, K.Kyutoku, M.Shibata, *Nonspinning black hole-neutron star mergers: A model for the amplitude of gravitational waveforms*, *Phys.Rev.D* 88, 084011 (2013). [A Mathematica package that implements this model is publicly available at <http://www.phy.olemiss.edu/berti/research/PhenomNSBH.tgz>]
- [31] F.Pannarale, *Black Hole Remnant of Black Hole-Neutron Star Coalescing Binaries*, *Phys. Rev. D* 88, 104025 (2013).
- [32] A.Maselli, L.Gualtieri, F.Pannarale, V.Ferrari, *On the validity of the adiabatic approximation in compact binary inspirals*, *Phys.Rev.D.* 86, 044032 (2012).

[33] F.Pannarale, L.Rezzolla, F.Ohme, J.S.Read, *Will black hole-neutron star inspirals tell us about the neutron star equation of state?*, *Phys.Rev.D* 84, 104017 (2011).

[34] F.Pannarale, A.Tonita, L.Rezzolla, *Black hole-neutron star mergers and short GRBs: a relativistic toy model to estimate the mass of the torus*, *Astrophys.J.* 727, 95 (2011).

[35] V.Ferrari, L.Gualtieri, F.Pannarale, *Black Hole-Neutron Star Coalescing Binaries*, *Int.J.Mod.Phys.D* 19, 1241 (2010).

[36] V.Ferrari, L.Gualtieri, F.Pannarale, *Neutron star tidal disruption in mixed binaries: the imprint of the equation of state*, *Phys.Rev.D* 81, 064026 (2010).

[37] V.Ferrari, L.Gualtieri, F.Pannarale, *A Semi-relativistic Model for Tidal Interactions in BH-NS Coalescing Binaries*, *Class.Quant.Grav.* 26, 125004 (2009).

## PROGRAMMA DI RICERCA

<b>Area Scientifico Disciplinare</b>	<i>02 - Scienze fisiche</i>	
<b>Settori scientifico-disciplinari</b>	<i>FIS/05 - Astronomia e astrofisica</i>	<i>FIS/02 - Fisica teorica modelli e metodi matematici</i>
<b>Settori ERC</b>	<i>PE9_13 - Gravitational astronomy</i>	<i>PE9_11 - Relativistic astrophysics</i>
<b>Titolo del Programma di Ricerca (in italiano)</b>	<i>Coalescenze di stelle di neutroni binarie: scienza per l'era dell'astronomia delle onde gravitazionali</i>	
<b>Titolo del Programma di Ricerca (in inglese)</b>	<i>Neutron Star Binary Coalescences: Science for the Gravitational Wave Astronomy Era</i>	

## PAROLE CHIAVE

### Italiano

1. *onde gravitazionali*
2. *stelle di neutroni*
3. *buchi neri*
4. *coalescenze di binarie compatte*
5. *gamma-ray bursts*
6. *astronomia multi-messenger*
7. *analisi dati*

### Inglese

1. *gravitational waves*

2. *neutron stars*
3. *black holes*
4. *compact binary coalescences*
5. *gamma-ray bursts*
6. *multi-messenger astronomy*
7. *data analysis*

## DESCRIZIONE DEL PROGRAMMA DI RICERCA

### Italiano

*La prima rivelazione di onde gravitazionali (GW) [acronimi in inglese] del 14 settembre 2015 da parte dei due strumenti LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) costituisce una svolta epocale in fisica e astronomia [13] [vedasi lista di pubblicazioni allegata]. Nel 1916, l'anno dopo aver formulato la teoria generale della relatività, Albert Einstein scoprì che essa prevede l'esistenza di tali onde di deformazione spaziale, propagantesi alla velocità della luce e generate da variazioni temporali del momento di quadrupolo di una distribuzione di massa. Il risultato di LIGO, che conferma la predizione di Einstein, rappresenta un caposaldo nella nostra comprensione dell'universo, poiché avvia l'era dell'astronomia delle GW [1-12]. Le GW hanno ampiezze piccolissime [tipicamente inferiori a 1 parte in  $10^{21}$ ] per gli eventi cosmologici più violenti, quali le collisioni di buchi neri (BH) e stelle di neutroni (NS)], ma trasportano preziose e altresì inaccessibili informazioni sulle loro sorgenti: gli scienziati possiedono ora un nuovo mezzo di studio del cosmo. Ad esempio, la prima rivelazione dimostra che le binarie di BH esistono e che coalescono entro un tempo di Hubble.*

*È appena l'alba dell'era d'oro dell'astronomia delle GW. Profondi ed esaltanti progressi segneranno i prossimi anni con l'entrata in funzione di Advanced Virgo (fine 2016), del Kamioka Gravitational-wave detector (~2019), fresco di primo laser lock, e di LIGO-India (~2021), approvato dal governo indiano appena sei giorni dopo l'annuncio della prima rivelazione. Questa rete mondiale di interferometri avrà sensibilità senza precedenti e sonderà un volume di milioni di megaparsec cubi, rivelando segnali con cadenza regolare [p.es. ~4 coalescenze NS-NS l'anno [24]].*

*La prossima pietra miliare nell'astronomia delle GW è l'osservazione di GW e radiazione elettromagnetica (EM) dallo stesso evento. Ciò sancirà l'inizio dell'astronomia multi-messenger con l'apporto delle GW; essa svelerà le risposte ad alcune delle domande più affascinanti sull'universo. La mia ricerca si occupa di tre di esse principalmente.*

- *Esistono i sistemi NS-BH?*
- *Cosa aziona gli short-hard gamma-ray bursts (SGRB), lampi, osservati ma non compresi, di radiazione gamma di breve durata ( $< 2s$ ) ed elevata intensità che non si ripetono e che superano in splendore ogni altra sorgente del cielo-gamma mentre sono attivi?*
- *Qual è l'equazione di stato (EOS) della materia nelle NS?*

*I sistemi NS-NS e NS-BH (collettivamente NS binarie) sono fra le sorgenti più promettenti per l'astronomia multi-messenger. Come il BH-BH della prima rivelazione, emettono GW che trasportano energia a discapito della loro riserva di energia orbitale, fino alla fusione dei due corpi in un oggetto unico. Sono inoltre i candidati più promettenti come progenitori di SGRB, siti per la nucleosintesi di elementi pesanti tramite cattura rapida di neutroni (processo-r) e sorgenti di svariate controparti EM.*

*Il mio progetto di ricerca mira a migliorare le strategie di rivelazione di GW per le NS binarie e a costruire competenze e strumenti atti ad estrarre informazioni fisiche di rilievo dalle misure di GW,*

*sia in presenza che in assenza di controparti EM. L'obiettivo è di legare fermamente l'origine degli SGRB alla coalescenza di NS binarie, di determinare il contributo relativo di NS-NS e NS-BH a tali eventi e di porre vincoli sulla microfisica all'interno delle NS.*

*Tali rivoluzionari obiettivi sono destinati ad avere profonde ripercussioni e a far progredire notevolmente vari ambiti della fisica. Essi mostrano la sfida che affronta al momento la comunità di GW nel dover rapidamente e prontamente avanzare dalla fase della prima rivelazione al compimento di scoperte d'avanguardia in astronomia, astrofisica, fisica fondamentale e cosmologia.*

*In qualità di chair del gruppo LIGO-Virgo di analisi di dati in coincidenza di lampi gamma e mediante il mio progetto di ricerca, ho e avrò un ruolo di guida a livello mondiale in tale impresa. Inoltre, il mio lavoro accrescerà automaticamente e considerevolmente il contributo dell'Italia alla ricerca di coalescenze di binarie compatte, le principali sorgenti di GW. Data la sua posizione in Virgo, l'Italia avrà un ruolo di rilievo nello sforzo di osservare l'emissione gravitazionale ed EM di tali sistemi e nell'ottenimento di nuovi risultati scientifici tramite tali misure.*

*L'insieme unico di competenze analitiche e numeriche nell'analisi dati di GW, nel modellizzare forme d'onda e nella fisica delle NS che ho sviluppato con le mie attività di ricerca è necessario per realizzare gli obiettivi del presente progetto che porterà la comunità scientifica all'avanguardia nell'astronomia delle GW. I BH e le NS spingono la fisica ai suoi estremi: il regime altamente non-lineare della relatività generale, forti campi magnetici, singolarità dello spaziotempo, orizzonti degli eventi e fisica nucleare a densità sopranucleari determinano l'esito delle coalescenze delle NS binarie. Questa complessità richiede una varietà di metodi, capacità e tecniche al fine di liberare l'intero potenziale delle future osservazioni di GW. Tali competenze rientrano nella mia ampia preparazione e il loro consolidamento e affinamento è perciò di suprema importanza strategica.*

*I temi e gli obiettivi delineati motivano gli specifici programmi di ricerca da me pianificati. Essi si dividono in tre categorie dettagliate in seguito e ruotano attorno alle tre fasi principali delle misure di GW: modellizzazione dei segnali, analisi dei dati strumentali e interpretazione delle osservazioni. Tali investigazioni possono essere condotte in parallelo.*

#### *Modellizzazione di forme d'onda e interazione con la relatività numerica*

*L'analisi dati di GW necessita di forme d'onda ad alta precisione, sia a scopo osservativo che interpretativo. La relatività numerica ha costi computazionali troppo elevati per produrre forme d'onda complete su tutto lo spazio dei parametri delle binarie di NS e BH, ma viene sfruttata per coprire la fase finale di spiraleggiamento e quella di fusione e per fornire input a modelli analitici in grado invece di descrivere con tecniche di approssimazione la fase iniziale di lento spiraleggiamento.*

*Simulazioni e modelli sono più avanzati per i sistemi BH-BH che, al contrario delle NS binarie, non richiedono assunzioni riguardanti fisica poco compresa — ma interessante da esplorare — né richiedono di risolvere le equazioni che la governano. Ad esempio, la microfisica all'interno delle NS regola gli effetti di deformazione mareale che possono portare alla distruzione delle NS durante le coalescenze e determina così le differenze fra l'emissione gravitazionale delle NS binarie e dei meglio studiati BH-BH.*

*Ho assemblato una rete di esperti in USA, Giappone e Polonia e diretto uno sforzo pionieristico per colmare il divario nella modellizzazione delle GW emesse da NS binarie. Abbiamo prodotto: (1) il primo modello completo dello spettro di GW per NS-BH senza precessione [18,30], di interesse per le comunità di GW (ricerca e stima dei parametri) e di astrofisica (deflussi e processi-r) [19]; (2) il primo e unico metodo per predire accuratamente massa e spin dei BH prodotti da coalescenze NS-BH direttamente dai parametri iniziali della binaria [28,31]; (3) i calcoli finora più esaustivi ed avanzati della frequenza di osservazioni di GW [24].*

*Tali successi costituiscono il fondamento per i seguenti obiettivi di questa parte del progetto.*

- *Miglioramento dell'accuratezza del nostro modello NS-BH. Incorporerò i recenti progressi ottenuti a Cardiff per i modelli fenomenologici di forme d'onda BH-BH.*
- *Formulazione di un modello per la fase dei sistemi NS-BH. Essa costituisce l'osservabile principale nelle GW. Mi baserò su recenti simulazioni dei miei collaboratori in Giappone, sulla mia competenza*

negli effetti mareali nei sistemi NS-BH [33] e sugli ultimi sviluppi nei modelli di forme d'onda BH-BH.

- *Generalizzazione del modello a forme d'onda di NS-BH con precessione.* Sfrutterò i risultati dei miei colleghi in Giappone, recentemente in grado di simulare questo scenario, e la mia esperienza a Cardiff, che guida la modellizzazione di BH-BH con precessione.
- *Miglioramento delle strategie osservative per sistemi NS-BH.* Utilizzerò le suddette simulazioni per valutare per la prima volta le prestazioni di PyCBC (pipeline per la ricerca di GW da binarie compatte) in scenari realistici di coalescenza NS-BH. Migliorerò la messa a punto della pipeline di conseguenza. Includerò inoltre i nuovi modelli di forme d'onda NS-BH direttamente nella pipeline. Le mie competenze sono necessarie per raggiungere questi importanti miglioramenti.
- *Quantificazione degli errori sistematici nelle forme d'onda numeriche NS-NS.* Questo consiste nel confronto sistematico fra gli output di vari codici evolutivi per coalescenze NS-NS. Un errore in fase può infatti incidere sull'accuratezza dei parametri stimati tramite GW e pertanto sulla nostra abilità nel porre vincoli sull'EOS di NS. L'investigazione coinvolgerà l'Università di Cardiff ed altri istituti.

*Identificazione dei progenitori di short gamma-ray burst mediante onde gravitazionali*

---

*Questa parte del progetto riguarda le ricerche coerenti di GW in coincidenza di SGRB e mira a proiettare la comunità di GW verso l'astronomia multi-messenger in maniera efficiente ed efficace. Essa concerne miglioramenti e aggiornamenti da compiere entro il 2020, quando effettueremo fino a 2 osservazioni GW+SGRB l'anno e le antenne gravitazionali saranno raddoppiate in numero, esaltando l'efficacia delle ricerche coerenti.*

*Come chair e membro del gruppo LIGO-Virgo di analisi dati di GW in coincidenza di lampi gamma, sono all'avanguardia nella ricerca coerente di segnali NS-NS e NS-BH nei dati di GW al momento e nella posizione celeste degli SGRB. Attualmente guido l'analisi dei dati del "First Advanced LIGO Observation Run" e la produzione della relativa pubblicazione per la collaborazione. Prima del "First Observation Run", ho implementato le nuove idee da me introdotte in [26], aumentando così la sensibilità di PyGRB, la pipeline per la ricerca coerente di GW da NS binarie in corrispondenza di SGRB, e riducendone il costo computazionale (di un fattore ~2).*

*Continuerò a guidare a livello mondiale le ricerche di GW in corrispondenza di SGRB e a sviluppare PyGRB. I miei sforzi su questo fronte saranno condotti in sinergia con Cardiff, dove PyGRB è stata storicamente sviluppata. Nel loro insieme, permetteranno di:*

- (1) spingere la ricerca di sorgenti a redshift più elevati, incrementando così la possibilità di ottenere osservazioni congiunte GW+SGRB;*
- (2) di cercare segnali GW all'interno di intervalli temporali più estesi attorno all'istante di un SGRB, sottoponendo così a verifica dei recenti modelli suggerenti un elevato ritardo temporale fra la fine dello spiraleggiamento e l'attivazione del getto gamma;*
- (3) di diffondere avvisi agli astronomi su tempi scala utili per l'osservazione dei bagliori EM di breve durata associati alle kilonove. Sia in presenza che in assenza di kilonove saremo in grado di porre nuovi vincoli sull'EOS di NS, sulla quantità di materiale espulso e, ancor di più, sul meccanismo che aziona gli SGRB.*

*Per ottenere questi obiettivi, intraprenderò i seguenti passi.*

- *Completamento della pythonizzazione della pipeline.* Al momento PyGRB utilizza alcune librerie esterne non in Python. Ciò ne limita la flessibilità, robustezza e velocità nel complesso.
- *Ricodifica dello stadio di filtro coerente, ossia il cuore dell'algoritmo di ricerca.* Questo è un punto chiave della precedente mansione; lo leggerò al piano di sviluppo di una pipeline di ricerca coerente, continuativa ed omnidirezionale del gruppo LIGO-Virgo per le coalescenze di binarie compatte.
- *Aumento della sensibilità della ricerca e della significatività assegnata agli eventi.* Sfrutterò i miei risultati di modellizzazione NS-BH per fissare in maniera ottimale le frequenze massime utilizzate nel filtraggio.
- *Riduzione della latenza della ricerca rapida per un singolo SGRB ad un'ora.* Effettuerò un'ulteriore ottimizzazione del codice e metterò a punto la pipeline man mano che apprenderemo le specifiche prestazioni degli interferometri.

*Infine analizzerò i dati di GW in corrispondenza di SGRB con una seconda, ulteriore pipeline al fine di fornire uno strumento di validazione aggiuntivo per stabilire un chiaro legame fra SGRB e NS*

*binarie: BayesWave. Questo è un codice di inferenza Bayesiana per GW transienti al cui sviluppo ho contribuito in maniera sostanziale. Esso complementa PyGRB in quanto non sfrutta modelli di forme d'onda: è perciò insensibile alla fisica poco nota che entra nelle simulazioni di coalescenza di NS utilizzate per costruire i modelli di GW, un aspetto che gioverà allo studio dell'EOS delle NS.*

### *Nuova fisica con osservazioni di onde gravitazionali*

---

*Le GW emesse da NS binarie e le loro controparti EM (o la loro assenza) possono fornire informazioni di fisica di base permettendoci di porre vincoli sull'EOS di NS. È perciò fondamentale valutare "bias" e limiti delle attuali strategie di rivelazione e di misura delle GW [29,30,32,33] e comprendere come l'EOS influenzi le controparti EM [26,34,36,37].*

*Affronterò pertanto i seguenti temi di ricerca.*

- Sviluppo di un'analisi Bayesiana per porre vincoli sull'EOS di NS tramite osservazioni congiunte GW+SGRB. Mi baserò sulla mia recente Lettera [26] e sullo studio preliminare condotto in una tesi di cui sono co-relatore [vedasi il CV per maggiori dettagli]. L'esito è potenzialmente rivoluzionario: le osservazioni congiunte permetteranno di svelare il motore centrale degli SGRB e di comprendere l'interno delle NS. L'analisi terrà progressivamente conto di un maggior numero di aspetti fisici mediante un'appropriata estensione dello spazio dei parametri e la marginalizzazione su parametri descriventi processi fisici con scarsi vincoli sperimentali, come l'efficienza di conversione del disco di accrescimento in energia.*
- Aumento della precisione nel determinare le proprietà di sistemi NS-BH in presenza di controparti EM. Sfruttando il lavoro presentato in [26] ridurrò il volume di spazio dei parametri esplorato dagli algoritmi di stima dei parametri con GW. Ciò aiuterà a determinare il contributo di coalescenze NS-BH alla popolazione di SGRB.*
- Inclusione di effetti cosmologici nella nostra comprensione di osservazioni congiunte GW+SGRB di sorgenti NS-BH. La terza generazione di antenne gravitazionali rivelerà tali sistemi fino a redshift di  $\sim 2$ . In tale contesto espanderò l'approccio di [26] mediante effetti cosmologici per migliorare le strategie per l'osservazione ottimale di queste binarie e per inferire le loro proprietà tramite le GW. L'impatto sarà considerevole, poiché le antenne di terza generazione mirano a misurare con precisione i parametri di fondo cosmologico, a sondare l'evoluzione della "star-formation rate density" per le NS binarie e a porre vincoli sull'EOS dell'energia oscura.*
- Analisi del ruolo dei campi magnetici delle NS nelle coalescenze di NS binarie. Come dimostrato ad esempio in [29], i campi magnetici delle NS possono ingannare gli approcci interpretativi canonici di dati di GW. Sappiamo che la resistività della materia nelle NS influenza la quantità di materia espulsa da coalescenze di NS-NS magnetizzate, ripercuotendosi sulla produzione di controparti EM e sulla comprensione della loro origine. Tramite simulazioni di relatività numerica quantificherò per la prima volta l'impatto della resistività sulle proprietà della materia espulsa da coalescenze NS-BH magnetizzate. Analizzerò anche come tener conto della resistività nel determinare se un evento EM provenga da una coalescenza NS-NS o NS-BH.*

### **Inglese**

*On September 14, 2015 physics and astronomy reached a turning point, when the two instruments of the Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory (LIGO) simultaneously detected a gravitational wave (GW) for the first time [13] [all references are in the publication list included in the application]. In 1916, a year after formulating his general theory of relativity, Albert Einstein discovered that it predicted the existence of such waves of spatial strain that travel at the speed of light and are generated by time variations of the mass quadrupole moment of a source. The LIGO result confirmed Einstein's long-standing prediction and it constitutes a landmark in mankind's understanding of the universe, because it initiated the era of GW astronomy [1-12]. GWs have remarkably small amplitudes [typically below 1 part in  $10^{21}$ ] for the most violent events in the universe, such as black hole (BH) and neutron star (NS) collisions], but carry precious and otherwise inaccessible information about the emitting source: scientists are now in possess of a new mean to learn about the cosmos. As an example, the first detection demonstrates that binary BHs exist and that they merge within a Hubble time.*

*The golden age of GW astronomy is just at its dawn. We will witness dramatic and exciting progress over the next few years: the Advanced Virgo detector will become operational (late 2016), followed by the Kamioka Gravitational-wave detector ( $\sim 2019$ ), which just achieved its first full laser lock, and*

by LIGO-India (~2021), approved by the Indian government only six days after the announcement of the first GW detection. This worldwide network of ground-based laser interferometers will operate at an unprecedented sensitivity, probing a volume of millions of cubic megaparsecs, and performing detections on a regular basis [e.g., ~4 NS-NS mergers per year [24]].

The next major milestone in GW astronomy is the coincident detection of GW and electromagnetic (EM) radiation emitted by the same event. This will mark the beginning of multi-messenger astronomy incorporating GWs, which will unveil the answers to some of the most fascinating questions about the universe we live in. My research mainly addresses three of these.

- Do NS-BH binary systems exist?
- What powers short-hard gamma-ray bursts (SGRBs), the observed but yet unexplained brief ( $< 2$  s), intense, non-repeating flashes of radiation that outshine every other source in the gamma-ray sky while active?
- What is the equation of state (EOS) for matter in the core of NSs?

NS-NS and NS-BH systems (collectively NS binaries) are among the most promising multi-messenger astronomy sources. Just as the BH-BH source of the first GW detection, they emit GW signals that carry energy away from them, draining their orbital energy reservoir until the two companions merge into a single object. Additionally, they have attracted the attention of astrophysicists as the most promising SGRB progenitor candidates, as sites for the nucleosynthesis of heavy elements via rapid neutron capture, and as a source of a variety of EM counterparts whenever unbound material is ejected during the coalescence.

My research project aims at improving GW detection strategies for NS binaries and at building the necessary insight and tools to extract relevant physical information from GW observations, both in the presence and in the absence of EM counterpart measurements. My research goals are to provide conclusive evidence that NS binary mergers power SGRBs, to determine the relative contribution of NS-NS and NS-BH mergers to these events, and to constrain the microphysical behaviour of NS matter.

The groundbreaking targets that I listed are bound to have a tremendous impact and to significantly advance several fields of physics. They illustrate how the GW community currently faces the challenge of having to swiftly and readily progress from the first detection stage to performing cutting-edge discoveries in astronomy, astrophysics, fundamental physics, and cosmology with GWs.

As chair of the LIGO-Virgo SGRB follow-up data analysis group and with my research project, I have and will maintain a leading role at worldwide level in this endeavour. My work will also automatically and significantly increase Italy's contribution to the searches for compact binary coalescences, which are primary GW sources. Given its position within the Virgo collaboration, Italy will have a substantial part in the community's effort to observe the GW and EM emission of these systems and to produce new science with these measurements.

The unique blend of analytical and numerical skills in GW data analysis, gravitational waveform modelling, and NS physics I developed with my research activities is necessary to meet the goals of the present proposal, which will propel the scientific community to the forefront of GW astronomy. BHs and NSs drive physics to its extremes: the highly non-linear regime of general relativity, strong magnetic fields, spacetime singularities, event horizons, and nuclear physics at supranuclear densities all determine the outcome of NS binary mergers. This complexity requires a variety of methods, skills, and techniques in order to unleash the full potential of future GW observations. These proficiencies are all part of my broad background and it is thus of paramount strategic importance to consolidate and hone my expertise.

The issues and goals that I outlined motivate the specific research programs that I have planned. These can be divided into the three categories detailed below and revolve around the main stages of GW measurements: signal modelling, analysis of detector data, and interpretation of observations. These investigations can be carried out in parallel.

*Waveform Modelling and Interplay with Numerical Relativity*

---

*Highly accurate waveform models are essential in GW data analysis, both for detection and observation interpretation purposes. While numerical-relativity simulations are too computationally intensive to produce complete waveforms over the whole parameter space of BH and NS binaries, they are used to cover the late inspiral and merger stages and to produce input for analytic waveform models that can cover the early, slow inspiral stage with approximation techniques.*

*Simulations and models are most advanced for BH-BH systems, which, unlike NS binaries, do not require introducing assumptions about poorly understood — but interesting to explore — physics, nor require solving the equations that govern it. For example, the microphysics of NS core matter regulates the effect of tidal deformations, which may lead to NS disruption during the coalescence of NS binaries. It thus determines how the GW emission of NS binaries differs from the better studied BH-BH emission.*

*I established an international network of experts in the USA, Japan, and Poland, and led a pioneering effort to bridge the gap in NS-BH and NS-NS waveform modelling. We produced: (1) the first complete GW spectrum model for nonprecessing NS-BH systems [18,30], which has a direct impact for the GW community (search and parameter estimation) and the astrophysics community (outflows and r-process nucleosynthesis) [19]; (2) the first and so far only method to accurately predict the mass and spin of BH remnants of NS-BH mergers directly from the binary parameters [28,31]; (3) the most exhaustive and advanced GW event rate calculations to date [24].*

*These successes constitute the foundation for the following tasks of this part of my proposal.*

- *Improving the accuracy of our NS-BH model. I will port over recent progress in BH-BH phenomenological waveform modelling achieved in Cardiff.*
- *Formulating a phase evolution model for NS-BH systems. This is the key observable for GW searches. I will rely on existing simulations performed by my collaborators in Japan, on my expertise in NS-BH tidal phase effects [33], and on recent BH-BH waveform modelling advancements.*
- *Generalizing the NS-BH waveform model to the precessing case. This will be based on numerical simulations performed by my collaborators in Japan, who were recently able to address this scenario, and will benefit from my experience in Cardiff, which leads precessing BH-BH modelling efforts.*
- *Improving detection strategies for NS-BH systems. I will use the simulations mentioned above to evaluate for the first time the behaviour of PyCBC (a GW detection pipeline for compact binaries) in realistic NS-BH merger scenarios. On this basis, I will improve the pipeline tuning. I will also include the new NS-BH waveform models directly in the pipeline. My expertise is necessary to accomplish these important improvements.*
- *Quantifying systematic errors in NS-NS numerical waveforms. This task consists in thoroughly comparing the output of different NS-NS evolution codes. It is important because any phase error can affect GW parameter estimation accuracy and thus our ability to constrain the NS EOS. This long-term investigation will involve Cardiff University and other institutes.*

#### *Identifying Short Gamma-Ray Burst Progenitors with Gravitational Waves*

---

*This part of the proposal is devoted to coherent GW searches in coincidence with SGRB events and aims at moving the GW community towards multi-messenger astronomy efficiently and effectively. It addresses several improvements and upgrades that must be achieved by 2020, when we will be making GW+SGRB joint detections at a rate of up to 2 per year and the GW detector network will have doubled its instruments, boosting the effectiveness of coherent searches.*

*As chair and member of the LIGO-Virgo gamma-ray burst data analysis group, I am at the forefront of dedicated NS-NS and NS-BH coherent searches in GW data at the time and sky position of SGRB events. I am currently leading the analysis on data from the First Advanced LIGO Observation Run and the production of the related collaboration paper. Prior to the start of the First Observation Run, I implemented the new ideas I introduced in [26], thus reducing (by a factor  $\sim 2$ ) the computational cost and increasing the sensitivity of PyGRB, the pipeline used to follow-up SGRB events with coherent GW searches for NS binaries.*

*I will continue to lead at worldwide level the searches for GWs in coincidence with SGRB observations and to develop and improve PyGRB. My efforts on this front will be carried out by collaborating with the Cardiff group, where PyGRB was historically developed. Collectively, they will*

ultimately allow us to:

- (1) push the search for sources to higher redshifts, thus increasing our ability to achieve joint GW+SGRB detections;
- (2) to look for GW signals within longer duration windows around an SGRB event time, therefore probing recent models that suggest a high time delay between the end of the inspiral and the gamma-ray jet ignition; and
- (3) to circulate alerts to the astronomy community on a timescale that is useful to perform follow-up observations targeting the rapidly fading EM afterglows associated with kilonovæ. Both in the presence and in the absence of a kilonova, we will be able to place new constraints on the NS EOS, on the amount of ejected material, and, most importantly, on the mechanism powering SGRBs.

In order to achieve these goals, I will undertake the following steps.

- Completing the pythonization of the pipeline. Currently, part of the search relies on non-Python libraries that are external to PyGRB. This limits the flexibility, robustness, and speed of the pipeline as a whole.
- Rewriting the coherent filtering stage, which is the core of the search algorithm. This is a key point of the previous task; I will tie it into the plan of the LIGO-Virgo compact binary coalescence data analysis group to develop an all-sky all-time coherent search pipeline.
- Enhancing the sensitivity of the search and the significance assigned to events. This will be achieved by using my NS-BH modelling results to optimally fix the termination frequency used in the filtering stage for each search template.
- Decreasing the latency of the rapid follow-up search for a single SGRB trigger to within an hour. This will be achieved via further code optimization and by fine-tuning the search space as we learn about GW detector performance.

Lastly, I will analyze all GW data in coincidence with a SGRB trigger with a second, additional pipeline in order to provide a further validation tool in establishing a clear link between SGRBs and NS binaries: *BayesWave*. This is a Bayesian inference code for transient GWs that I have significantly contributed to develop. It complements PyGRB in that it does not rely on gravitational waveform models: it is thus insensitive to the underconstrained physics that enters NS merger simulations used to build waveform models, an aspect that will be beneficial also in constraining the NS EOS.

### *New Physics with Gravitational Wave Observations*

---

GWs emitted by NS binaries and their EM counterparts (or the lack thereof) can provide information about fundamental physics by allowing us to place constraints on the NS EOS. It is thus fundamental to assess biases and limitations in current GW detection and measurement strategies [29,30,32,33], and to understand how the EOS affects EM counterparts [26,34,36,37].

I will thus pursue the following lines of investigation.

- Developing a Bayesian analysis to constrain the NS EOS with joint GW+SGRB observations. This work will build on my recent Letter [26] and on a preliminary study conducted with a bachelor thesis student I coadvised [see CV for further details]. The potential outcome of this investigation is groundbreaking: joint observations will allow us to solve the long-standing puzzle of the central engine of SGRBs and to understand the interior of NSs. This analysis will progressively account for more physical aspects by appropriately extending the parameter space and marginalizing over parameters describing underconstrained physical processes, such as the efficiency in converting the accretion disk mass into energy.
- Increasing the accuracy at which NS-BH system properties are determined, whenever EM counterparts are present. I will exploit the work presented in [26] to reduce the volume of parameter space explored by GW parameter estimation algorithms. This improvement will help us determine the contribution of NS-BH mergers to the SGRB population.
- Including cosmological effects in our understanding of GW+SGRB joint detections of NS-BH sources. The third generation of GW detectors will detect these systems at redshifts up to  $\sim 2$ . I will therefore augment the approach of [26] with cosmological effects to improve our strategies to optimally target these binaries and to infer their properties with GW measurements, when using third generation GW detectors. The impact will be significant because the science targets for third generation detectors include precision measurements of background cosmological parameters, probing the evolution of the star-formation rate density of NS binary systems, and constraining the

*dark-energy EOS.*

*• Exploring the role of NS magnetic fields in NS binary mergers. As demonstrated for example in [29], NS magnetic fields can deceive standard approaches to interpret GW data. We know that NS matter resistivity affects the amount of matter ejected by magnetized NS-NS mergers, which clearly has repercussions on EM counterpart production and on understanding their origin. I will use numerical-relativity simulations to quantify for the first time the impact of resistivity on the properties of the ejecta of magnetized NS-BH mergers. I will also investigate how resistivity can be taken into account when determining whether an EM event was originated by an NS-NS or an NS-BH coalescence.*

## COSTO COMPLESSIVO DEL PROGRAMMA

<b>Voce di spesa</b>	<b>Spesa (€)</b>	<b>Descrizione dettagliata in italiano</b>	<b>Descrizione dettagliata in inglese</b>
<b>Materiale inventariabile</b>	2.300,00	<i>Per coprire l'acquisto di un portatile (2000€), un monitor esterno (250€) e un drive esterno per il backup di dati (50€) per un totale di 2300€.</i>	<i>To cover the purchase of a laptop (2000€), an external monitor (250€), and an external hard-disk backup drive (50€) for a total of 2300€.</i>
<b>Pubblicazioni</b>	1.620,00	<i>Per coprire un contributo di rilievo all'anno da inserire in Astrophysical Journal Letters, o simile rivista, che applica una tariffa di pubblicazione stimata attorno ai 540€ per contributo per un totale di 1620€.</i>	<i>To cover one outstanding contribution a year to be published in Astrophysical Journal Letters, or a similar journal, that applies publication charges estimated to be 540€ per contribution for a total of 1620€.</i>
<b>Missioni</b>	15.000,00	<i>5000€ annui per coprire due missioni oltreoceano (2500€ cad.) o una missione oltreoceano e due in Europa (1250€ cad.), per un totale di 15000€.</i>	<i>5000€ a year to cover two overseas trips (2500€ each), or an overseas trip and two European trips (1250€ each), for a total of 15000€.</i>
<b>Altro</b>	8.445,00	<i>1500€ annui di fondo ospiti e, solamente qualora non siano coperte dall'istituto ospitante, 1315€ annui di licenze software (840€ per Mathematica e 475€ per Matlab) per un totale di 8445€ (o 4500€).</i>	<i>1500€ a year to host collaborators and, only if not covered by the host institute, 1315€ a year in software licenses (840€ for Mathematica and 475€ for Matlab), for a total of 8445€ (or 4500€).</i>
	<b>27.365,00</b>		

## LETTERE DI PRESENTAZIONE

n°	Nome	Cognome	Qualifica	E-mail	Ente
1.	BANGALORE	SATHYAPRAKASH	Professore	B.Sathyaprakash@astro.cf.ac.uk	Cardiff University
2.	BERNARD	SCHUTZ	Professore	SchutzBF@cardiff.ac.uk	Cardiff University

La domanda è stata presentata in data *01/04/2016* alle ore *00:00*

Si rammenta che ai sensi del D.P.R 28 dicembre 2000, n.445 testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia di documentazione amministrativa, le dichiarazioni rese e sottoscritte nella presente domanda di ammissione on line, hanno valore di autocertificazione e nel caso di falsità in atti o dichiarazioni mendaci si applicano le sanzioni previste dal codice penale e dalle leggi speciali. La verifica delle autocertificazioni potrà essere disposta in ogni fase del procedimento sia dal Ministero che, prima della sottoscrizione del contratto, dall'Università di destinazione dei vincitori. Si ricorda altresì che ai sensi dell'art. 3, comma 4 del D.p.r n. 445/2000, "al di fuori dei casi di cui ai commi 2 e 3, gli stati, le qualità personali e i fatti, sono documentati mediante certificati o attestazioni rilasciati dalla competente autorità dello Stato estero, corredati di traduzione in lingua italiana autenticata dall'autorità consolare italiana che ne attesta la conformità all'originale, dopo aver ammonito l'interessato sulle conseguenze penali della produzione di atti o documenti non veritieri". Tali certificati o attestazioni potranno essere richiesti all'interessato dal Ministero, e, in ogni caso, dovranno essere presentati all'Università di destinazione dei vincitori, prima della sottoscrizione del contratto.

## ALLEGATI

**Autocertificazione, ovvero certificazione, di stabile e continuativa permanenza all'estero, con impegno in attività didattiche o di ricerca post dottorale, da almeno un triennio alla data di presentazione della domanda**

[AUTOCERTIFICAZIONE-  
GENERICA-SCAN.pdf](#)

**Pubblicazione realizzata nell'ultimo triennio**

[PhysRevLett.116.061102.pdf](#)