

Università degli Studi di ROMA "La Sapienza" >> Dipartimento: "Fisica"

09/10/2017 17:00:24

Sezione A - Informazioni generali

QUADRO A.1		A.1 Struttura del Dipartimento										
Ateneo	Università degli Studi di ROMA "La Sapienza"											
Struttura	Fisica											
Direttore	MATALONI Paolo											
Referente tecnico del portale	MATALONI PAOLO, email: paolo.mataloni@uniroma1.it											
Altro Referente tecnico del portale	PROIETTO CECILIA MARIA LUISA, email: maria.proietto@uniroma1.it											
Aree CUN del Dipartimento e personale che vi afferisce												
Codice Area	Descrizione Area	Prof. Ordinari	Prof. Associati	Ricercatori	Assistenti	Prof. Ordinario r.e.	Straordinari a t.d.	Ricercatori a t.d.	Assegnisti	Dotto-randi	Specializzandi	Totale
02	Scienze fisiche	26	49	17	0	0	0	16	46	97	0	251
05	Scienze biologiche	1	0	0	0	0	0	0	1	2	0	4
09	Ingegneria industriale e dell'informazione	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
-	Nessuna Afferenza	0	0	0	0	0	0	0	1	9	0	10
Totale		27	49	17	0	0	0	16	48	109	0	266
Indicatore Standardizzato della Performance Dipartimentale (ISPD)				97,0								
Incidenza delle Aree Cun nel Calcolo dell'ISPD												
Aree preminenti (sopra la media)				02 - Scienze fisiche								
Altre Aree (sotto la media)				05 - Scienze biologiche								
Quintile dimensionale				5								

Sezione B - Selezione dell'area CUN

QUADRO B.1		B.1 Area CUN del progetto ed eventuali aree CUN da coinvolgere
Area CUN del progetto	02 - Scienze fisiche	
Eventuali ulteriori Aree CUN da coinvolgere		
QUADRO B.2		B.2 Referente
Referente	MATALONI Paolo Prof. Ordinario FIS/01	

Sezione C - Risorse a disposizione del progetto

QUADRO C		C Risorse per la realizzazione del progetto	
		Annuale	Quinquennale
Budget MIUR - Dipartimenti di Eccellenza		1.620.000	8.100.000
Eventuale ulteriore budget per investimenti in infrastrutture per le aree CUN 1 - 9		250.000	1.250.000
	Totale	1.870.000	9.350.000
Importi minimi e massimi per ciascuna attività, come previsto dalla Legge 232/2016			
Budget per dipartimenti di eccellenza	Budget Complessivo Quinquennale		
Reclutamento Personale - Min 50% - Max 70%		3.933.000	5.728.500
Infrastrutture - Maggiorazione per le aree CUN 1-9		1.250.000	1.250.000
Altre Attività - Max 50% - Min 30%			
Infrastrutture			
Premialità		4.167.000	2.371.500
Attività didattiche di elevata qualificazione			
TOTALE		9.350.000	9.350.000

Sezione D - Descrizione del progetto

Il Dipartimento di Fisica di Sapienza Università di Roma, il più grande in Italia in questa disciplina per numero di docenti e di studenti, rappresenta la discendenza naturale della cosiddetta Scuola Romana, conosciuta nel mondo per l'elevata qualità della sua ricerca, oggi condotta in differenti campi della fisica. Tutto ciò è testimoniato da una serie di importanti indicatori quali:

1) **Finanziamenti esterni.** Il volume delle attività derivanti da contratti di ricerca con organizzazioni e agenzie di finanziamento, in particolare la Comunità europea e altre istituzioni è considerevole. Nel triennio 2014-2016 sono stati ottenuti finanziamenti mediante 16 progetti europei, 8 progetti PRIN, 3 progetti Futuro in Ricerca, 1 progetto SIR, circa 15 progetti finanziati da altri enti (fra cui ASI, Regione Lazio, Programma Nazionale Ricerche in Antartide) e fondazioni (John Templeton Foundation, Simon Foundation).

2) **European Research Council.** Sapienza di Roma è il primo ateneo pubblico italiano per numero di finanziamenti da parte dell'European Research Council (ERC) con 23 grants come host institution, il Dipartimento di Fisica di Roma ospita 8 di questi progetti.

Nei dieci anni di vita dell'ERC 14 grants hanno avuto come Principal Investigator un membro dal nostro Dipartimento. Alcuni grants sono stati vinti da membri strutturati del Dipartimento, altri da ricercatori reclutati dall'estero o provenienti da altri enti di ricerca, attraverso chiamata diretta. In particolare sono stati vinti 4 Starting grant (Conti, Pani, Scopigno, Trotta), 5 Consolidator (Di Leonardo, Giardina, Sciarrino, Schneider, Cavoto), 5 Advanced (Martinelli, Ferroni, Parisi [2], Sciortino).

3) **ERC Proof-of-Concept.** Ai precedenti grants si aggiungono 4 ERC Proof-of-Concept (Conti, Di Leonardo, Giardina, Sciarrino) vinti da membri del Dipartimento, cosa che mette in luce la forte propensione del Dipartimento nel trasferire i risultati scientifici fuori dal contesto accademico.

4) **Articoli.** Gli articoli scientifici pubblicati su prestigiose riviste internazionali sono circa 1900 nel triennio 2014-2016 e in particolare quelli con impact factor IF maggiore di 10 sono più di 50 nello stesso periodo.

5) **Workshops e conferenze.** Il Dipartimento ha organizzato un elevato numero di eventi internazionali, workshop e conferenze (20 workshops e conferenze internazionali solo nel triennio 2014-2016). Consistente è la presenza in comitati scientifici di nostri docenti e ricercatori.

6) **Premi.** Un ulteriore aspetto che testimonia l'eccellenza del nostro Dipartimento è rappresentato dal numero di importanti premi, nazionali e internazionali, attribuiti negli ultimi anni a componenti della nostra comunità. Tra questi, per le tematiche inerenti al presente progetto, si ricorda l'assegnazione del Fundamental Physics Breakthrough Prize 2016 e il Gruber Cosmology Prize 2016 alla collaborazione LIGO/Virgo, di cui fanno parte docenti del nostro Dipartimento.

Tutti questi aspetti dimostrano l'alto livello di internazionalizzazione della nostra comunità. Il Dipartimento si qualifica in posizioni elevate di diverse graduatorie internazionali. Secondo la classifica internazionale Academic Ranking of World Universities 2017, pubblicata dall'Università di Shanghai, il nostro Dipartimento si colloca al 29-imo posto al mondo ed al primo in Italia (<http://www.shanghairanking.com/>). Sempre nel 2016, il Centre for world university rankings (Cwur) ha pubblicato la classifica per materie che posiziona la Sapienza al primo posto in Italia e tra le prime 10 a livello internazionale in 7 discipline scientifiche fra cui 4 fisiche: fisica delle particelle; fisica nucleare; fisica dei fluidi e del plasma; fisica matematica (<http://cwur.org/>). Secondo il Nature index 2016, la Sapienza si colloca al quinto posto in Italia nelle Scienze Fisiche, dopo l'INFN, l'INAF, il CNR e la SISSA (<https://www.natureindex.com/annual-tables/2017/institution/all/physical-sciences/countries-Italy>).

L'attività di ricerca si riflette nei corsi di dottorato in Fisica, in Astronomy, Astrophysics and Space science e in Fisica degli acceleratori attivi nel nostro Dipartimento (33 studenti per ciclo), nonché nei corsi di laurea magistrale, in Fisica e in Astronomia e Astrofisica, con numero di studenti pari rispettivamente a 150 e 30. Il numero totale di studenti in corso di primo e secondo livello è pari a circa 1200 di cui 417 immatricolati nell'Anno Accademico 2016-2017. Un aspetto caratterizzante dei nostri corsi di laurea è l'elevato numero di laboratori didattici: otto come corsi obbligatori per la didattica di I livello e uno, di durata annuale, diversificato nelle varie discipline, per la didattica di II livello.

Il numero delle linee di ricerca condotte nel Dipartimento è superiore a 100, raggruppate nei differenti campi della Fisica Teorica, Particelle elementari e Interazioni fondamentali, Materia condensata, Tecnologie quantistiche, Biofisica, nonché dell'Astronomia e Astrofisica e della Geofisica. Nell'ambito di queste attività la sinergia con altre istituzioni nazionali di ricerca, come INFN, CNR, INAF, ASI, INGV, è costante e, in alcuni casi, regolata da opportune convenzioni. Il Dipartimento ospita in totale 45 laboratori,

con competenze in Fisica delle Particelle, Astrofisica, Fisica computazionale, Struttura della Materia.

Una descrizione completa e aggiornata di tutte queste attività è reperibile nello Scientific Report del triennio 2014-2016:

<http://www.phys.uniroma1.it/fisica/sites/default/files/allegati/ScientificReport2014-2016.pdf>

L'obiettivo principale del progetto di sviluppo del Dipartimento è creare un centro di fisica e astrofisica della gravitazione di eccellenza a livello mondiale. Il Dipartimento di Fisica della Sapienza ha una lunga tradizione nella ricerca delle onde gravitazionali, ispirata negli anni 70 da Edoardo Amaldi e in seguito consolidata sia dal punto di vista sperimentale che da quello teorico. Il rivelatore EXPLORER, che per anni è stato lo strumento più sensibile al mondo, è stato concepito all'interno del nostro Dipartimento. Negli anni successivi l'attività sperimentale si è orientata verso il progetto internazionale Virgo, che ha sede a Cascina (Pisa), una scelta influenzata anche dagli importanti studi sulla modellizzazione delle sorgenti gravitazionali portati avanti dal gruppo teorico. Dagli anni 90 il Dipartimento ha fortemente contribuito alla costruzione, il commissioning e l'analisi dei dati dell'interferometro Virgo ed è stato in prima linea nel guidare il lavoro che ha portato alla prima osservazione di un evento di onde gravitazionali. L'annuncio della prima scoperta dell'11 Febbraio 2016, per la quale è stato appena deciso il conferimento del Premio Nobel per la Fisica 2017, ha innescato un'intensa attività di ricerca: i 32 articoli pubblicati dalla collaborazione LIGO/Virgo a partire da Febbraio 2016 sono stati citati da più di 4600 lavori scientifici in poco più di 18 mesi.

Oggi Virgo nella sua configurazione avanzata è il vertice di un triangolo che costituisce l'attuale rete mondiale di interferometri gravitazionali. A partire dal 17 Giugno 2017, infatti, tutti e tre gli interferometri di seconda generazione - LIGO Hanford, LIGO Livingston e Virgo - operano contemporaneamente. Analisi preliminari dei dati raccolti nel primo periodo di osservazioni scientifiche congiunte, avvenuto tra il 1 e il 25 Agosto 2017, hanno portato all'identificazione di alcune sorgenti estremamente interessanti, consentendo - per la prima volta nella storia - di circoscrivere la regione di cielo di provenienza del segnale e di attivare telescopi e satelliti operanti a diverse lunghezze d'onda con l'intento di ricercare, in quella stessa regione, possibili controparti elettromagnetiche: Virgo ha contribuito in maniera decisiva ad aprire la nuova era della *astronomia multi-messenger*. Nel nostro Dipartimento, Fulvio Ricci, allievo di Edoardo Amaldi, è stato fino al Maggio del 2017 coordinatore della collaborazione internazionale Virgo e Valeria Ferrari è stata coordinatrice del European Gravitational Observatory Scientific Forum (Virgo-EGO, 2008-2013).

Questo successo scientifico è l'inizio di una nuova era e di un nuovo modo di osservare l'Universo. Si tratta di una sfida imponente da raccogliere, per consolidare la leadership in un quadro internazionale altamente competitivo. Ci proponiamo di farlo facendo leva sulle molteplici competenze presenti in questo Dipartimento, ben rappresentate da fisici di alto valore riconosciuti a livello internazionale. A coloro che operano nel campo della fisica gravitazionale, della cosmologia e dell'astrofisica, si aggiungono gli esperti di ottica quantistica, fisica dei materiali e delle superfici, criogenia e superconduttività, tutti elementi indispensabili per la concezione e lo sviluppo dei rivelatori di onde gravitazionali di prossima generazione.

Gli obiettivi di sviluppo del progetto proposto coinvolgono ricercatori che operano in 15 laboratori del Dipartimento, tra cui 6 Principal Investigators di ERC grants.

QUADRO D.2

D.2 Obiettivi complessivi di sviluppo del dipartimento

Il potenziale di scoperta aperto dalle osservazioni delle onde gravitazionali (GW) coinvolge in maniera trasversale la fisica fondamentale e l'astrofisica, con domande quali: le proprietà della gravità nei regimi di campo forte e di alta curvatura dello spazio-tempo, il comportamento della materia a densità supra-nucleari, come l'Universo sia emerso dal Big Bang, quale sia la natura della materia oscura e il suo ruolo nella formazione delle strutture cosmiche, come l'emissione delle GW dalle sorgenti astrofisiche sia collegata all'emissione elettromagnetica e/o associata alla produzione di neutrini, quali siano i canali di formazione e gli ambienti astrofisici più comuni di stelle di neutroni e buchi neri.

Per essere all'altezza di queste importanti sfide nuovi centri di fisica della gravitazione sono stati fondati in diversi paesi del mondo, tra cui: i laboratori LIGO presso il California Institute of Technology e il Massachusetts Institute of Technology, l'Istituto Raggi Cosmici, dell'Università di Tokyo, l'Institute of Gravitational Wave Astronomy (University of Birmingham), il Gravitational-Wave Physics and Astronomy Center (California State University), il Center for Gravitational Wave Physics (Penn State University), il Center for Gravitational Waves and Cosmology (West Virginia University), l'eXtreme Gravity Institute (Montana State University), l'ARC Centre of Excellence for Gravitational Wave Discovery (Swinburne University of Technology, Australia), il TianQin Research Center for Gravitational Physics (Sun Yat-Sen University), il Center for Gravitational Physics (Yukawa Institute).

In parallelo alla discussione nella comunità scientifica internazionale sulla promozione di interferometri terrestri di terza generazione (3G), il 20 Giugno del 2017 l'Agenzia Spaziale Europea (ESA) ha annunciato ufficialmente di avere selezionato la missione LISA, il primo telescopio gravitazionale nello spazio, come la terza missione "large-class" del programma scientifico dell'ESA.

In questo contesto, l'obiettivo principale del progetto è di creare un **Centro interdisciplinare di fisica e astrofisica della gravitazione** dedicato ad Edoardo Amaldi che sia in grado di *(i) consolidare il ruolo del Dipartimento di Fisica e dell'Italia nella comunità internazionale della ricerca sulle GW, (ii) sfruttare il ritorno scientifico dei risultati di LIGO/Virgo, (iii) essere protagonisti nella concezione e nello sviluppo dei telescopi gravitazionali 3G e di LISA, (iv) formare una nuova generazione di studenti e ricercatori con competenze fortemente trasversali, (v) essere incubatore di nuove idee che possano coprire bande di frequenza al di là di quelle degli attuali interferometri, (vi) promuovere il trasferimento tecnologico verso le industrie e le imprese (vii) coordinare le attività di outreach.*

Un significativo miglioramento delle sensibilità degli strumenti attuali richiede lo sviluppo di nuove strategie di misura, nuovi sensori e apparati sperimentali basati su metodologie innovative, combinando competenze trasversali nei campi della fisica dei materiali, dell'ottica quantistica, della criogenia e della superconduttività, molto ben rappresentate da gruppi di ricerca attivi all'interno del Dipartimento, con eccellenze riconosciute a livello internazionale.

Le attività del **Centro Amaldi di fisica e astrofisica della gravitazione** si articoleranno secondo le seguenti linee di sviluppo:

(L1) Fisica e astrofisica della gravitazione:

Nei prossimi 5 anni gli interferometri LIGO e Virgo raccoglieranno una mole enorme di dati che porterà alla rivelazione di classi di sorgenti già note o inaspettate. Questo aprirà una nuova finestra osservativa sull'Universo e permetterà di affrontare tematiche che riguardano la struttura fondamentale dell'Universo (teoria della gravità, comportamento della materia ad alta densità, fenomeni astrofisici delle alte energie, cosmologia, materia oscura).

La grande sfida con cui i fisici e gli astrofisici teorici si dovranno confrontare sarà quella di sviluppare modelli interpretativi delle sorgenti rivelate per poterne inferire la massima informazione possibile. Questi modelli forniranno supporto a strategie di osservazione delle controparti elettromagnetiche del segnale gravitazionale e alla caratterizzazione delle sorgenti che i telescopi 3G - sulla terra e nello spazio - consentiranno di osservare.

(L2) Analisi dati e multimessenger astronomy

I segnali gravitazionali sono estremamente deboli quando raggiungono la Terra, quindi una parte cruciale di questa ricerca è quella di estrarre il segnale dal rumore dell'interferometro. I dati prodotti dalla rete di interferometri sono analizzati applicando algoritmi ottimizzati in funzione della natura del segnale. Per ottenere un quadro completo del fenomeno astrofisico associato all'emissione di GW è necessaria un'astronomia multimessenger, che consiste nell'analisi integrata di dati prodotti da rivelatori di segnali elettromagnetici e di particelle con i nuovi algoritmi. Questo stimolerà la concezione di nuovi rivelatori di particelle cosmiche ottimizzati per studiare le nuove sorgenti. La produzione di dati della rete degli interferometri è dell'ordine di alcuni Terabytes al giorno e, per usufruire della potenza di calcolo necessaria all'analisi, si deve ricorrere a grandi centri dedicati al calcolo scientifico. La manipolazione di grandi quantità di dati e l'estrazione di un segnale dal rumore hanno vastissime aree di applicazione. Il problema dell'analisi multimessenger è un esempio di *Big data crunch*, un argomento di punta di Horizon 2020 di interesse per ambiti diversissimi, dal mondo finanziario a

quello della biologia. Le nuove metodologie che si intendono applicare, quali ad esempio le tecniche di *Machine Learning*, sono una occasione unica per addestrare le nuove generazioni di studenti e renderli capaci di risolvere problemi del tutto simili e di grandissimo interesse per il mondo economico e industriale.

(L3) Tecnologie quantistiche per la rivelazione di GW:

La banda di frequenza di un interferometro a terra si estende da 4 Hz a 5 kHz. Le regioni di bassa ed alta frequenza di questo intervallo sono limitate anche da rumore ottico. E' già stato dimostrato sperimentalmente come l'adozione di luce *squeezed* consenta di diminuire il rumore ottico nella rivelazione di GW e i futuri rivelatori ne faranno certamente uso. Recenti proposte teoriche hanno mostrato come attraverso l'utilizzo di luce *entangled* in variabili continue sia possibile ottenere un significativo miglioramento della sensibilità degli interferometri per GW. L'obiettivo principale sarà lo sviluppo di un prototipo per la dimostrazione sperimentale di questa nuova tecnologia quantistica. Verrà realizzata una sorgente di fasci di luce, correlati quantisticamente in variabili continue, al fine di ridurre - in ampiezza e in fase - il rumore ottico al variare della frequenza di rilevazione. La combinazione del know-how presente presso il Dipartimento in rivelazione sperimentale di GW, in Ottica e Tecnologie Quantistiche consentirà di dare contributi fondamentali allo sviluppo di rivelatori 3G. Inoltre, grazie alle competenze in metrologia quantistica del Dipartimento si svilupperanno nuovi protocolli per ottimizzare l'estrazione dell'informazione dal segnale misurato.

(L4) Scienza dei materiali per interferometri 3G:

Nella zona di frequenze dove la sensibilità degli interferometri per la rivelazione delle GW è più elevata, il limite di questi rivelatori è dovuto al rumore termico degli specchi, determinato in ultima istanza dalle dissipazioni acustiche dei film sottili che ne formano il rivestimento (*coatings*) e ne determinano l'alta qualità ottica. Una caratterizzazione estremamente accurata delle perdite meccaniche degli specchi sospesi è dunque il punto di partenza per il miglioramento dell'attuale sensibilità. E' cruciale minimizzare il coefficiente di assorbimento ottico dei film sottili di ossido e il controllo della distribuzione della natura dei difetti e degli stress elastici nei coatings.

Si propone una strategia di analisi e caratterizzazione attraverso un innovativo approccio di spettromicroscopia che integri la mappatura delle costanti elastiche (*Brillouin mapping*), della risposta vibrazionale (*Raman mapping*), della omogeneità stechiometrica e distribuzione dei difetti (*core level photoemission mapping*), con risoluzione e correlazione spaziale fino alla scala del micron.

Realizzeremo una camera di misura in grado di interfacciare le tecniche sopra menzionate in un ambiente privo di contaminanti, che possa operare anche a temperature criogeniche e con risoluzione spaziale micrometrica. Questa linea di sviluppo convoglierà l'esperienza scientifica di vari gruppi di ricerca del Dipartimento, con competenze sia nella fisica di materiali amorfi sia di quelli cristallini, con l'obiettivo specifico di investigare prototipi di coating cresciuti nell'ambito della collaborazione LIGO/Virgo e di proporre soluzioni tecnologiche e trattamenti opportuni per i rivelatori 3G.

(L5) 3G GW Lab:

Il 3G GW Lab avrà un ruolo determinante nello sviluppo del progetto e nella costruzione dei rivelatori 3G che osserveranno l'Universo sino al suo confine estremo. Verrà realizzata una infrastruttura opto-criogenica che ospiterà i prototipi realizzati in L3 e L4. Per i rivelatori 3G è necessario attrezzarsi per sperimentare nuove strategie di raffreddamento in grado di non perturbare lo stato degli specchi sospesi. La parte critica di questi rivelatori è l'ultimo stadio di sospensione che include sia i super-specchi dell'interferometro che il sistema di movimentazione e controllo. Questa infrastruttura sarà utilizzata come ultimo banco di prova su grande scala delle nuove soluzioni scientifiche, prima dell'implementazione sui rivelatori 3G. Con l'ausilio di ulteriori stadi di raffreddamento, l'infrastruttura potrà anche ospitare attività di sviluppo di sensori superconduttori per la misura della polarizzazione della radiazione di fondo cosmico. Questa attività si inquadra nei tentativi di estendere a bassissime frequenze la rivelazione delle GW.

La sinergia di competenze diverse, unica nel panorama Europeo, faranno del Centro Amaldi un polo di eccellenza internazionale della scienza delle onde gravitazionali.

L'impatto del progetto si manifesterà in cinque diversi ambiti:

1) **Scientifico** - L'astrofisica gravitazionale apre una nuova finestra osservativa sull'Universo con un potenziale di scoperta enorme. Nuove osservazioni permetteranno di investigare l'interazione gravitazionale in regimi finora inesplorati. Lo sviluppo di nuovi rivelatori 3G consentirà di estendere le osservazioni fino al confine estremo dell'Universo. La creazione di una infrastruttura di spettromicroscopie che correlano le proprietà elastiche, vibrazionali ed elettroniche per la caratterizzazione delle ottiche dei rivelatori di GW sarà estesa allo sviluppo di materiali innovativi a bassa dimensionalità. Inoltre, tecniche di entanglement di variabili continue avranno applicazioni in metrologia quantistica.

2) **Tecnologico** - Le nuove tecniche di caratterizzazione di materiali e l'applicazione di tecnologie di ottica quantistica avranno ricadute anche al di fuori degli obiettivi specifici del progetto. Tecniche di entanglement di variabili continue possono essere utilizzate per la crittografia quantistica e dunque per la **cyber-security**. La combinazione tra machine learning e quantum technology, obiettivi del progetto, contribuirà al campo fortemente emergente del **quantum machine learning**. Materiali a bassa dimensionalità e meccanicamente deformabili sono oggi d'avanguardia e impiegati nella green economy (catalisi, produzione e immagazzinamento di idrogeno e fotovoltaico) e nella information technology (sensoristica molecolare, optoelettronica a basso consumo energetico). La rete di sensori sismici sviluppati per gli interferometri su scala chilometrica può essere estesa su una scala maggiore, con potenziale impatto sulla protezione del territorio da eventi sismici.

3) **Formativo** - I laureati e i dottori di ricerca del nostro Dipartimento hanno competenze peculiari che provengono dai numerosi laboratori frequentati nel loro percorso didattico e dai corsi di Relatività Generale e Onde Gravitazionali. Questo profilo formativo verrà arricchito attraverso una preparazione interdisciplinare basata su conoscenze di machine learning, fisica dei materiali, ottica quantistica, fisica e astrofisica delle GW.

4) **Sociale** - Negli ultimi due anni la prima osservazione delle GW è stato uno degli eventi scientifici che ha riscosso più attenzione presso il grande pubblico. Il Centro Amaldi dedicherà un'attenzione particolare al coinvolgimento sia degli studenti degli istituti superiori sia del pubblico generale in attività di outreach. In particolare si propone di istituire il **GW Day, un evento da organizzare il 14 Settembre di ogni anno per celebrare l'anniversario della nascita dell'astronomia GW**. Inoltre attività legate alla fisica ed astrofisica della gravitazione verranno inserite all'interno di iniziative nelle quali il nostro Dipartimento è già attivo: alternanza scuola-lavoro, museo della scienza del Dipartimento, progetto lauree scientifiche, master class in ottica, master class in fisica delle particelle, Lab2Go, <http://www.roma1.infn.it/LAB2GO/> (aiuto alla diffusione della pratica laboratoriale nelle scuole).

5) **Economico** - La formazione degli studenti di II e III livello avrà ricadute importanti all'esterno del mondo accademico favorendo nuove competenze nei settori industriali e imprenditoriali. Questo sarà reso possibile grazie alle competenze acquisite nello sviluppo di sensoristica e controlli, nell'uso di tecnologie criogeniche e laser, in tecniche spettroscopiche, in tecnologie quantistiche, nell'uso di cloud computing, nello sviluppo di simulazioni numeriche e in tecniche di *big data crunch*.

Alcune di queste tematiche rientrano nelle tecnologie abilitanti per l'**industria 4.0**: prima di tutto *Big Data Analytics* e *Simulation*, ma anche *Cloud*, *Cyber-security*.

Per questa sezione è stato inserito un allegato.

QUADRO D.3

D.3 Strategie complessive di sviluppo del progetto

Le strategie di sviluppo del progetto richiedono di integrare risorse esistenti con quelle da acquisire, con un'articolazione appropriata alle esigenze di ciascuna linea di sviluppo.

S1) Il gruppo teorico delle GW e quello astrofisico presenti nel Dipartimento includono una molteplicità di competenze, riconosciute a livello internazionale dall'assegnazione di due grants ERC (Pani e Schneider) e la partecipazione a due network internazionali finanziati da "Horizon 2020" su temi attinenti, nei quali docenti del Dipartimento (Ferrari e Gualtieri) hanno ruoli di responsabilità scientifica: la COST action "Gravitational Waves, Black Holes and Fundamental Physics", e il RISE network "Strong Gravity and High-Energy Physics". Questi network contribuiranno a finanziare visite scientifiche, partecipazione e organizzazione di convegni internazionali sui temi del progetto.

Le attività previste nell'ambito di L1 richiedono principalmente risorse umane da integrare con il personale già presente (1 PO, 4 PA, 3 Ricercatori, e numerosi dottorandi e studenti della laurea magistrale): una promozione da PA a PO e il reclutamento di un RTD-A per 5 anni. Le attività teoriche verranno svolte in stretta collaborazione con le attività del progetto ERC DarkGRA (2017-2022). Le risorse di calcolo indispensabili alle attività di L1 andranno ad integrare il centro locale di calcolo scientifico amministrato

dalla Sezione di Roma dell'INFN.

S2) Il gruppo coinvolto nell'analisi dati e nella multimessenger astronomy lavora in forte sinergia con gruppi di ricerca di istituzioni estere partecipanti alla collaborazione LIGO/Virgo (più di 100 istituti sparsi su 4 continenti). Queste collaborazioni sono testimoniate dai numerosi lavori pubblicati in comune e da un programma di scambio di visiting scientists che ha coinvolto numerosi ricercatori del Dipartimento. Le competenze presenti all'interno del Dipartimento sono documentate dall'assegnazione di una borsa Rita Levi Montalcini (Leaci), di un Grant della MathWorks (Frasca), dalla responsabilità scientifica del RISE network "News" (Fulvio Ricci) finanziato da Horizon 2020 e dai contratti finanziati dallo European Gravitational Observatory (EGO). Le attività previste per L2 richiedono principalmente risorse umane da integrare con il personale già presente (1 PO, 2 PA, 1 RTD-B e numerosi dottorandi e studenti della laurea magistrale): il reclutamento di un PO esterno e di un RTD-B in condivisione con S5.

Per quel che concerne la fase di elaborazione massiccia dei dati, i gruppi di analisi del Dipartimento accedono alle risorse di calcolo che l'INFN mette a disposizione presso il centro di Bologna del CNAF. Si prevedono risorse aggiuntive dall'Agenzia Spaziale Italiana, dall'INFN e dall'INAF fortemente coinvolte nella multimessenger astronomy e nel progetto LISA.

S3) I gruppi di ottica ed informazione quantistica presenti nel Dipartimento includono una molteplicità di competenze, riconosciute a livello internazionale dall'assegnazione di tre grants ERC incluso un PoC (Sciarrino e Trotta) e diversi progetti europei sia nell'ambito di FP7 che di H2020, nei quali docenti del Dipartimento (Sciarrino) hanno ruoli di responsabilità scientifica. Questi network contribuiranno allo sviluppo della tematica nell'ambito del progetto.

Le attività previste per L3 richiedono sia fondi per infrastrutture che di risorse umane da integrare con il personale già presente (1 PO, 2 PA, 1 Ricercatore e numerosi dottorandi e studenti della laurea magistrale): una promozione da PA a PO e il reclutamento di un RTD-B, entrambi in condivisione con S4. Verrà sviluppata una sorgente di stati entangled a variabili continue da utilizzare nel Lab 3G GW. Le attività di ricerca verranno svolte in stretta collaborazione con quelle del progetto ERC Capable (2017-2022). Le attività di quantum metrology e quantum machine learning sono svolte in collaborazione con Microsoft Research e MIT.

S4) I gruppi di scienza dei materiali e spettroscopia presenti nel Dipartimento includono una molteplicità di competenze, riconosciute a livello internazionale dall'assegnazione di un grant ERC (Scopigno) e diversi progetti europei sia nell'ambito di FP7 che di H2020, nei quali docenti del Dipartimento (Betti, Lupi, Nucara, Ortolani, Polimeni, Postorino, Saini) hanno ruoli di responsabilità scientifica. Questi network contribuiranno allo sviluppo della tematica nell'ambito del progetto.

Le attività previste per L4 richiedono sia fondi per infrastrutture che di risorse umane da integrare con il personale già presente (2 PO, 8 PA, 2 Ricercatori e numerosi dottorandi e studenti della laurea magistrale): un passaggio da PA a PO e il reclutamento di un RTD-B, entrambi in condivisione con S3, e un tecnico di laboratorio. Il progetto prevede la realizzazione di un'infrastruttura che consiste in un **sistema integrato di spettromicroscopie** in una camera ad ultra alto vuoto. Cio' completerà la strumentazione già esistente in Dipartimento, utilizzata per attività di ricerca di scienze dei materiali anche al di là degli obiettivi del presente progetto.

S5) Il gruppo coinvolto nello sviluppo dei nuovi rivelatori 3G ha una lunga esperienza nel disegno e nella costruzione degli interferometri e ha giocato un ruolo di rilievo nella collaborazione LIGO/Virgo. A livello Europeo, la collaborazione coinvolge 21 gruppi di ricerca di cui 8 italiani. Il gruppo di Roma La Sapienza (Fulvio Ricci) ha rivestito il ruolo di coordinamento dell'intera collaborazione internazionale dal 2014 al 2017. Negli anni precedenti il gruppo ha avuto la responsabilità del disegno concettuale dei sistemi criogenici per una delle proposte più complete per la costruzione di un rivelatore 3G: Einstein Telescope, studio finanziato nell'ambito del programma FP7. Inoltre è attiva una collaborazione di scambio sia con l'Università di Mosca Lomonosov che con l'Università di Tokyo, responsabile del progetto KAGRA.

Le attività previste per L5 richiedono risorse umane da integrare con il personale già presente (2 PO, 5 PA, 4 RU e numerosi dottorandi e studenti della laurea magistrale): il reclutamento di un PO esterno e di un RTD-B, entrambi in condivisione con S2.

In aggiunta, il progetto svilupperà una nuova infrastruttura nell'attuale laboratorio Virgo, che è già equipaggiato con refrigeratori criogenici, molto utili per misure delle proprietà opto-meccaniche di campioni di piccole dimensioni. La nuova struttura dovrà necessariamente ospitare sistemi con specchi dalle dimensioni più estese e sufficientemente flessibile per consentire la sperimentazione di processi di raffreddamento radiativo che faranno uso di bagni sottoraffreddati di elio liquido.

Strategie di attrazione dei talenti:

Per accompagnare la crescita del Centro Amaldi a livello internazionale, prevediamo di attrarre giovani talenti, anche dall'estero, (i) finanziando posizioni di post-doc (Amaldi Fellowships) con salari in linea con gli standard europei, (ii) incoraggiando l'applicazione a bandi europei Marie Curie, (iii) tramite il programma Rientro dei Cervelli "Rita Levi Montalcini". Queste due ultime azioni sono state già intraprese con successo dal Dipartimento (due borse R.L.Montalcini, quattro Fellowship M.Curie vinte nell'ultimo triennio). Inoltre, il Dipartimento, forte dell'esperienza acquisita attraverso la partecipazione a progetti europei, (iv) si farà promotore di azioni COFUND e Innovative Training Network europee di carattere interdisciplinare sui temi di ricerca del Centro Amaldi, (v) estenderà i curricula delle lauree magistrali in lingua inglese, (vi) progetterà Erasmus Mundus Joint Master Degrees. Infine, anche per reclutare le figure di più alto livello si solleciterà l'espressione di interesse nel più vasto ambito internazionale.

Governance del progetto:

La Sapienza nominerà un **Advisory Board** (AB) composto da esperti, di chiara fama internazionale, esterni al Dipartimento (vedi quadro D.8).

In aggiunta, si costituirà uno **Steering Committee** (SC) interno al Dipartimento, composto da un responsabile per ogni linea di sviluppo, il Responsabile Amministrativo Delegato, un responsabile per l'outreach e presieduto dal Direttore di Dipartimento (coordinatore del progetto). Lo SC si avvarrà della consulenza del Consiglio di Area Didattica, dei Collegi di Dottorato, dell'Area Supporto alla Ricerca, dell'Ufficio brevetti della Sapienza e del progetto Sapienza Saperi&Co (un'infrastruttura di ricerca e innovazione finanziata dalla Regione Lazio) e potrà invitare i delegati degli enti cofinanziatori. Lo SC si riunirà almeno ogni due mesi pianificando, coordinando e dirigendo le attività programmate.

Condivisione e diffusione dei risultati:

Il Centro Amaldi ospiterà un programma di seminari dedicato ai temi di ricerca del progetto (almeno uno al mese). Inoltre, si inviteranno *visiting scientists* che contribuiranno al programma dei seminari e terranno corsi per le scuole di dottorato. In questo ambito, il Centro Amaldi lavorerà in sinergia con la Scuola Superiore di Studi Avanzati Sapienza (SSAS) per promuovere attività di natura interdisciplinare.

Si prevede di ospitare nel Dipartimento due congressi internazionali nei quali verranno presentati e discussi i risultati del progetto, uno dopo i primi due anni di attività e il secondo a conclusione del progetto. Il Centro Amaldi organizzerà l'attività di outreach orientandola in particolare verso gli istituti superiori (alternanza scuola-lavoro, museo della scienza del Dipartimento, progetto lauree scientifiche, master class in ottica, master class in fisica delle particelle, Lab2Go).

Il GW Day, evento organizzato il 14 settembre di ogni anno sarà dedicato al grande pubblico e prevederà una serie di attività tra cui l'apertura al pubblico dei laboratori e conferenze.

Collaborazione con enti esterni al Dipartimento:

Il progetto proposto beneficerà delle collaborazioni esistenti con gli enti di ricerca nazionali e internazionali. L'INFN ha una tradizione ben radicata nel nostro Dipartimento di sviluppo e costruzione di rivelatori di messaggeri cosmici quali le GW, i neutrini ed in generale le particelle elementari. Il ruolo dell'INAF, ben inserito nelle nostre attività didattiche e scientifiche, è determinante per il grande successo delle nuove osservazioni multi-messenger e dei progetti futuri, tra cui i telescopi di raggi cosmici su satelliti e sulla stazione spaziale, con il supporto dell'Agenzia Spaziale Italiana. Le attività del Dipartimento sono svolte in collaborazione con numerose Università, laboratori ed enti internazionali, quali la National Science Foundation (USA), la Max Planck Society, il CNRS e il Science & Technology Facilities Council (UK) e l'Australian Research Council.

Per questa sezione è stato inserito un allegato.

QUADRO D.4

D.4 Reclutamento del personale

Obiettivi specifici

Un'efficace pianificazione del progetto richiede di:

	<p>1) potenziare in modo mirato, avendo individuato le criticità esistenti, la consistenza numerica di personale docente e tecnico-amministrativo (TA) coinvolto nelle diverse linee di sviluppo.</p> <p>2) individuare nuove figure leader per consolidare il livello di eccellenza nelle tematiche di ricerca del progetto. Particolare attenzione verrà riservata a quei casi in cui è prevista la messa in quiescenza di professori di prima fascia coinvolti nel progetto.</p> <p>3) bandire a livello internazionale 6 posizioni biennali di post-dottorato (Amaldi fellowships) cofinanziate dal Dipartimento e dall'INFN.</p>
Descrizione azioni pianificate 2018-2019	<p>Il personale da reclutare nei primi due anni del progetto consiste in:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Professore di I fascia destinato ad assumere la leadership dell'esperimento Virgo (linee L2 e L5). Operazione prevista anche attraverso chiamata diretta in vista del pensionamento, tra quattro anni, del leader attuale, Prof. Ricci. - Ricercatore tipo b) per attività previste per le linee L3 o L4. - Ricercatore tipo a) per 5 anni (3+2), per attività previste per la linea L1. - Tecnico di livello D da destinare alla infrastruttura I4 prevista dalla linea L4. - 2 Amaldi fellowships (inizio entro 9/2019).
Descrizione azioni pianificate 2020-2022	<p>Personale da reclutare previsto entro il 2020:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ricercatore tipo b) per attività relative alla linea L2 e/o L5. - Promozione di due professori di seconda fascia in prima fascia negli ambiti delle attività L1, L3 e L4 del progetto. - 2 Amaldi fellowships (inizio entro 9/2020). - 2 Amaldi fellowships (inizio entro 9/2021).

QUADRO D.5

D.5 Infrastrutture

Obiettivi specifici

Le infrastrutture da acquisire con il progetto sono:

(I1/I2) **Potenziamento della struttura informatica** (180.000 €).

Verrà potenziato il Centro di calcolo presente in Dipartimento per le linee L1 e L2, mediante l'acquisto di CPU e disco. Tale infrastruttura verrà utilizzata anche con finalità didattiche.

(I3) **Sorgente di stati entangled a variabili continue** (340.000 €).

Il sistema consisterà in un Nd:YAG laser operante sia alla lunghezza d'onda fondamentale, 1064 nm (la stessa di Virgo), che alla seconda armonica, 532 nm, che a sua volta sarà utilizzata come pompa di un Oscillatore Parametrico Ottico per creare luce entangled. Le correlazioni quantistiche verranno poi rivelate mediante un sistema di doppia omodina.

(I4) **Sistema integrato di spettro-microscopia** (1.200.000 €).

Si svilupperà una camera di misurazione in alto vuoto e a temperature criogeniche per poter realizzare le condizioni di operazione di Virgo e dei futuri interferometri 3G.

Lo studio delle perdite meccaniche nei materiali per gli specchi si effettuerà tramite simultanea caratterizzazione elastica (spettromicroscopia Brillouin), strutturale (spettromicroscopia Raman) e chimica (spettroscopia di fotoelettroni eccitati da raggi X), con risoluzione spaziale dell'ordine del micron. Nella camera si eseguiranno in situ trattamenti chimico-fisici del film sottile di superficie con particolare attenzione allo studio dei difetti causati da legami spaiati, come possibile origine di dissipazione elastica (two level systems tunnelling), e alla possibilità di neutralizzarli utilizzando atomi di idrogeno di bassa energia. Inoltre, si testeranno nuovi materiali oltre agli ossidi per cercare la soluzione tecnologica adatta per gli interferometri 3G. Questa infrastruttura, ospitante un

vasto parco di tecniche spettromicroscopiche, servirà anche da laboratorio didattico per i corsi di laurea magistrale, consentendo una connessione multidisciplinare tra diverse realtà di ricerca che già convivono nel Dipartimento.

(I5) **3G GW Lab** (713.500 €).

L'infrastruttura deve consentire il raffreddamento in intervalli di temperature prossime a 4K di una cavità Fabry-Perot di specchi sospesi della taglia di quelli utilizzati in Virgo. Il nuovo laboratorio sarà una evoluzione del Virgo-Lab già esistente in Dipartimento, che consente di provare a temperatura ambiente le prestazioni dei sistemi di Virgo, al fine di effettuare prove di qualifica a temperature criogeniche. Tale facility va progettata ad hoc (non essendo disponibile sul mercato) e sfrutterà la consolidata expertise dell'INFN per la progettazione di criostati di grande volume (esperimenti EXPLORER, NAUTILUS, CUORE a cui collaborano membri del nostro Dipartimento).

Descrizione azioni pianificate 2018-2019

(I1/I2) Acquisto di hardware per il calcolo.
 (I3) Allestimento degli spazi, realizzazione e test della sorgente di entanglement in variabili continue presso il Quantum Lab.
 (I4) Allestimento degli spazi per il nuovo Laboratorio scientifico-didattico. Progetto esecutivo, costruzione ed installazione della camera di misura. Modello fisico per gli specchi attuali dell'interferometro Virgo.
 (I5) Progettazione della meccanica della nuova infrastruttura criogenica. Allestimento degli spazi, costruzione e installazione. Disegno e produzione dei primi prototipi dei nuovi sensori sismici a temperatura ambiente.

Descrizione azioni pianificate 2020-2022

(I1/I2) Acquisto di hardware per il calcolo.
 (I3) Interfaccia della sorgente quantistica con il 3G Lab. Implementazione di protocolli di metrologia quantistica.
 (I4) Studio di materiali cristallini innovativi per i rivelatori di prossima generazione. Implementazione sulla camera di misura di nuove tecniche spettroscopiche e di imaging, e di nuovi trattamenti in situ della superficie, che si rendano necessari per i nuovi materiali.
 (I5) Test di qualifica dell'infrastruttura criogenica. Misura dell'efficienza di raffreddamento e misure delle funzioni di trasferimento opto-meccaniche sull'ultimo stadio di sospensione degli specchi dell'interferometro gravitazionale (payload) a temperature criogeniche. Ottimizzazione dei sistemi di monitor e controllo del payload criogenico. Test e ottimizzazione dei sensori in ambiente criogenico.

Per questa sezione è stato inserito un allegato.

QUADRO D.6

D.6 Premialità

Obiettivi specifici

Il progetto non prevede premialità.

Descrizione azioni pianificate 2018-2019

Descrizione azioni pianificate 2020-2022

QUADRO D.7

D.7 Attività didattiche di elevata qualificazione

Obiettivi specifici

Il Dipartimento ha uno dei suoi punti di forza nell'ampio numero di studenti e nella qualità e nella varietà dell'offerta didattica. Per tutti gli obiettivi del progetto sarà cruciale la formazione di studenti di secondo livello e di dottorato (sia in Fisica che in Astrofisica) che abbiano le **competenze trasversali** necessarie. La formazione di questa nuova generazione di studenti comincerà dai corsi di laurea magistrale in Fisica e in Astrofisica. Si prevedono:
 - 20 Borse di dottorato (4 per ogni anno, costo individuale 49.864,32 €, totale 997.286,40 €);

	<ul style="list-style-type: none"> - 15 posizioni da visiting scientists da 30 giorni (5000 € ciascuna) e 3 posizioni da 90 giorni cofinanziate dalla Sapienza (costo individuale 9.000 €), per un totale di 102.000 €; - incarico di insegnamento per tre anni su machine learning (costo annuale 1.652 € per 6 CFU, totale 4.956 €) - 1 corso di imprenditorialità e start-up per ogni ciclo di dottorato cofinanziato dalla Sapienza attraverso il progetto Saperi&Co (costo annuale 20.000 €, totale 60.000 €); - Istituzione di 12 Premi Amaldi per le migliori tesi di laurea magistrale e di dottorato su temi attinenti alle tematiche del progetto (totale 24.000 €); - Istituzione di un fondo per la mobilità in ingresso e in uscita (missioni) degli studenti di dottorato e dei docenti (60.000 €). <p>Inoltre si prevede di organizzare, sui temi del progetto:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 5 cicli di seminari (50.000 €); - 1 scuola internazionale di dottorato (22.489 €); - 2 conferenze internazionali (40.000 €).
Descrizione azioni pianificate 2018-2019	<p>8 borse di dottorato su temi di ricerca legati agli obiettivi scientifici del progetto.</p> <p>Attivazione di nuovi corsi congiunti per le due scuole di dottorato: analisi dati multimessenger, tecnologie e fisica dei materiali 2D, astrofisica degli oggetti compatti, teoria delle GW.</p> <p>8 visiting scientists saranno coinvolti nel progetto, sia nell'attività di ricerca sia in quella didattica.</p> <p>Aggiornamento dell'attività didattica dei corsi di laboratorio erogati nel primo anno di laurea magistrale. In particolare gli studenti frequenteranno i nuovi laboratori coinvolti nel progetto per svolgere parte delle loro esperienze didattiche.</p> <p>2 cicli di seminari.</p> <p>1 conferenza internazionale a conclusione del biennio.</p>
Descrizione azioni pianificate 2020-2022	<p>12 borse di dottorato</p> <p>10 visiting scientists</p> <p>Attivazione di un corso di laboratorio di calcolo avanzato per gli studenti di II livello sulle più recenti tecniche di <i>machine learning</i> e <i>data mining</i>. Questo consentirà di ampliare lo spettro formativo degli studenti del corso magistrale, aggiungendo nuove competenze necessarie al progetto (L1 e L2 in particolare). Tale potenziamento di competenze va incontro alla crescente domanda di <i>data scientists</i> da parte del mondo lavorativo esterno all'accademia (vedi <i>industria 4.0</i>).</p> <p>A partire dal 2020 ogni anno verranno attribuiti 4 premi Amaldi, due su temi teorici e due su temi sperimentali di importo pari a 1000 € (per ciascuna delle due tesi magistrali) e 3000 € (per ciascuna delle due tesi di dottorato).</p> <p>3 cicli di seminari.</p> <p>1 scuola internazionale di dottorato nel terzo anno del progetto.</p> <p>1 conferenza internazionale a conclusione del triennio.</p>

QUADRO D.8

D.8 Modalità e fasi del monitoraggio

Ai fini del monitoraggio scientifico e strategico del progetto, la Sapienza nominerà 1 Advisory Board internazionale, descritto nell'allegato al presente Quadro.

In aggiunta, per facilitare il monitoraggio del progetto lo Steering Committee:

- organizza una volta all'anno un Review meeting, anche allo scopo di diffondere i risultati nel Dipartimento;
- alla fine dei primi due anni e del secondo triennio, preparerà un

Scientific Report sullo stato di avanzamento e l'impatto del progetto negli ambiti scientifico, tecnologico, formativo, sociale ed economico. Attenzione verrà prestata nel riportare

i risultati relativi a: internazionalizzazione, numero di studenti stranieri di II e III livello, numero di iscritti e laureati, cofinanziamenti ottenuti, numero di articoli, produzione di prototipi, brevetti e spin-off.

Per questa sezione è stato inserito un allegato.

QUADRO D.9

D.9 Strategie per la sostenibilità del progetto

L'astrofisica gravitazionale ci fa entrare in una nuova era della scienza, con una forte spinta internazionale a costruire nei prossimi 20 anni i nuovi interferometri terrestri di 3G e la missione spaziale LISA prevista nel programma scientifico dell'ESA. Il nostro Dipartimento intende contribuire in maniera significativa alla realizzazione di questi nuovi progetti. Ci aspettiamo quindi un cospicuo aumento dei finanziamenti per sostenere l'ulteriore sviluppo delle linee L1, L2 e L5 da parte di agenzie di finanziamento nazionali e internazionali oltre la durata del progetto (azioni ITN, COFUND, ESA, ASI, ERC e EGO).

D'altra parte, la ricerca scientifica e tecnologica nell'ambito delle linee L3 e L4 avrà ricadute significative nell'ambito della Fisica della Materia. L3 consentirà di rafforzare ulteriormente le competenze del Dipartimento di Fisica nell'ambito delle Quantum Technology (<http://www.qtflagship.cnr.it/>), in particolare per la Quantum Metrology. Questa tematica è uno dei pillars delle **Quantum Flagship** della Commissione Europea (2018-2028), anche in previsione del nono programma quadro. Il Centro Amaldi, finanziato dal progetto, potrà quindi essere un punto d'incontro unico fra due campi di ricerca generalmente distinti, quello della fisica e astrofisica gravitazionale e quello delle tecnologie quantistiche.

Il sistema integrato di spettro-microscopie (infrastruttura I4 sviluppata per la linea L4), unica per simultanea risoluzione spaziale e spettrale per la caratterizzazione dei materiali, potrà essere utilizzata anche per la caratterizzazione di sistemi 2D, in stretta connessione con la **Flagship Europea del Grafene**. I diversi gruppi del Dipartimento attivi in questo settore potranno trarne benefici oltre la durata del progetto.

Nel corso dei cinque anni del progetto ci aspettiamo che i requisiti scientifici delle infrastrutture realizzate abbiano un impatto positivo sullo sviluppo di nuove tecnologie in ambito industriale aumentandone la competitività internazionale. I rapporti stabiliti potranno dare, oltre la durata del progetto, prospettive di sostenibilità all'alta formazione finanziando possibili borse di dottorato.

Sezione E - Budget per la realizzazione del progetto

QUADRO E.1

E.1 Reclutamento di personale

Combinazione scelta: Punti 1 PO + 2 RU B; Punti Organico = 2,30; Risorse = 3.933.000 €;

Residui: Punti Organico = 1,05; Risorse = 1.795.500 €

Massimo destinabile = 5.728.500 €

Tipologia	BUDGET PUNTO ORGANICO (numero)			RISORSE FINANZIARIE (€)			RECLUTAMENTO (testo)		
	PO "Budget MIUR Dipartimenti di Eccellenza"	Eventuali Punti Organico su altre risorse disponibili	Totale	Risorse "Budget"	Eventuali altre risorse disponibili		Totale	Descrizione altro personale	Area CUN di riferimento ed

	Opzione selezionata	PO residui	PO Ateneo	PO su finanziamenti esterni	Punti Organico	MIUR Dipartimenti di Eccellenza"	Risorse proprie	Risorse di terzi	Totale risorse	persone da reclutare	ed eventuali risorse proprie e/o di enti terzi	eventuale macro-settore o settore concorsuale
Professori esterni all'ateneo di I fascia	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1.710.000	0	0	1.710.000	1,00		Area CUN 02 SC 02/A1
Professori esterni all'ateneo di II fascia	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0	0,00		
Ricercatori art. 24, c. 3, lett. b), Legge 240/2010 (compreso passaggio II fascia)	1,30	0,00	0,00	0,00	1,30	2.223.000	0	0	2.223.000	2,00		Area CUN 02 n.1 posizione per SC 02/A1 n.1 posizione per SC 02/B1
Altro Personale tempo indeterminato		0,90	0,00	0,00	0,90	1.539.000	0	0	1.539.000	3,00	2 promozioni da PA a PO 1 assunzione tecnico - livello D	Area CUN 02 n. 1 posizione per SC 02/B1 n. 1 posizione per SC 02/A2, 02/C1
Altro personale tempo determinato (ricercatori di tipo A, Assegnisti di ricerca, Personale TA)						244.269	240.000	120.000	604.269	7,00	1 posto RTD-A (durata 5 anni) 4 assegni di ricerca (AdR, durata 2 anni) cofinanziate dal Dipartimento 2 assegni di ricerca (AdR, durata 2 anni) cofinanziate dall'INFN.	Area CUN 02 n. 1 posizione RTD-A per SC 02/A2, 02/C1. n. 6 posizioni AdR per SC 02/A1, 02/A2, 02/B1, 02/C1
Totale	2,30	0,90	0,00	0,00	3,20	5.716.269	240.000	120.000	6.076.269	13,00		

QUADRO E.2

E.2 Infrastrutture, premialita' al personale, attività didattiche di elevata qualificazione

Risorse Miur: 8.100.000

Risorse Miur Infrastrutture: 1.250.000

Risorse Miur Totali: 9.350.000

Totale Reclutamento personale: 5.716.269

Risorse residue: 3.633.731

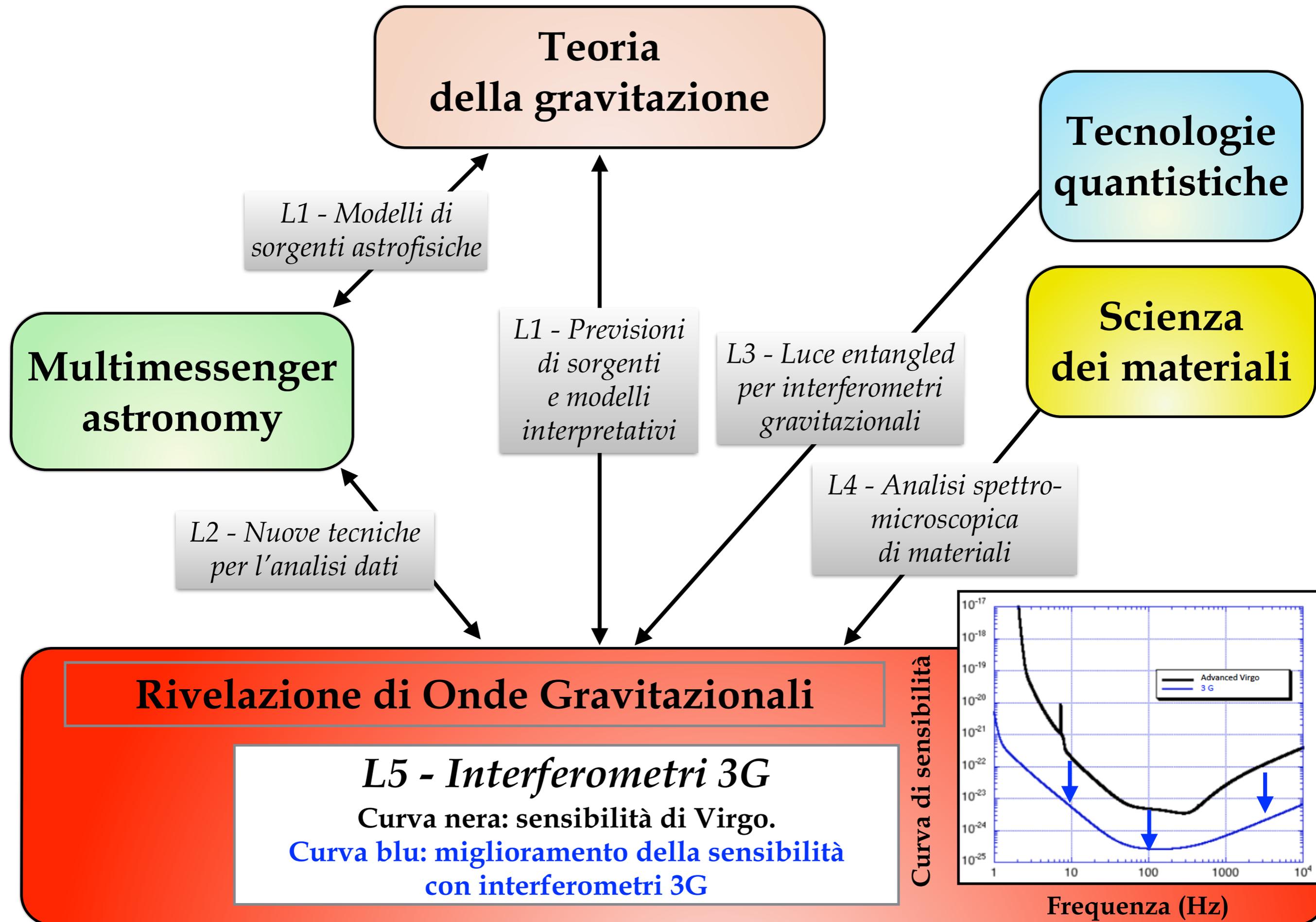
Oggetto	Budget complessivo (€)	Budget dip. eccellenza (€)	Budget delle eventuali risorse aggiuntive certe proprie o da enti terzi (€)	Descrizione delle eventuali risorse già disponibili al Dipartimento e di quelle aggiuntive
Infrastrutture	2.433.500	2.360.000	73.500	Il cofinanziamento di 73.500 € è supportato nel modo seguente: - 50.000 € provenienti dal fondo Grandi Attrezzature della Sapienza - 23.500 € derivanti dal finanziamento 2018 della Sezione INFN di Roma 1 al Gruppo Virgo.
Premialità Personale	0	0	0	
Attività didattiche di alta qualificazione	1.360.731	1.273.731	87.000	Il cofinanziamento di 87.000 € proviene dalla Sapienza è articolato in: - 27.000 € per 3 posizioni di visiting scientist da 90 giorni; - 60.000 € per il progetto Saperi&Co.
Totale	3.794.231	3.633.731	160.500	

QUADRO E.3

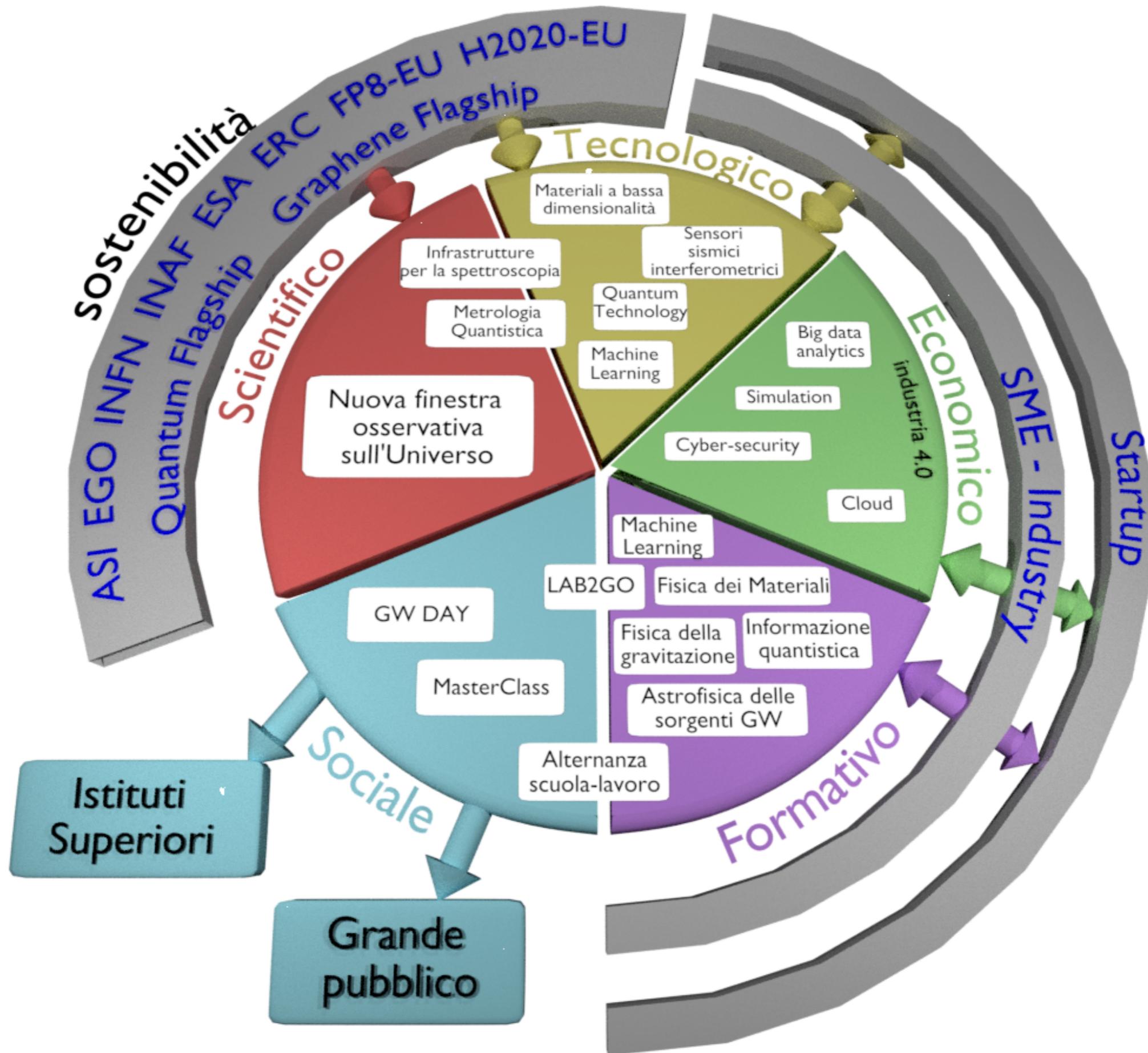
E.3 Sintesi

Oggetto	Budget complessivo (€)	Budget dip. eccellenza (€)	Budget delle eventuali risorse aggiuntive certe proprie o da enti terzi (€)
Professori esterni all'ateneo	1.710.000	1.710.000	0
Ricercatori art. 24, c. 3, lett. b), Legge 240/2010	2.223.000	2.223.000	0
Altro Personale	2.143.269	1.783.269	360.000
Subtotale	6.076.269	5.716.269	360.000
Infrastrutture	2.433.500	2.360.000	73.500
Premialità Personale	0	0	0
Attività didattiche di alta qualificazione	1.360.731	1.273.731	87.000
Totale	9.870.500	9.350.000	520.500

Centro Amaldi di fisica e astrofisica della gravitazione



Centro Amaldi: impatto del progetto



Programma temporale delle azioni all'interno del progetto

1 anno

Reclutamento: 1 RTD-A, 1 Tecnico categoria D

Infrastrutture: Potenziamento Centro di Calcolo, Allestimento Quantum Lab, Progettazione laboratorio di scienza dei materiali e dell'infrastruttura criogenica

Didattica: 4 borse di PhD, 4 visiting scientists, 1 ciclo di seminari

Disseminazione: GW day, outreach verso gli istituti superiori

Monitoraggio: Review meeting e riunione Advisory Board Sapienza

2 anno

Reclutamento: 1 PO esterno 1 RTD-B, 2 Amaldi fellows

Infrastrutture: Test sorgente Quantum Lab, Allestimento laboratorio di scienza dei materiali e dell'infrastruttura criogenica

Didattica: 4 borse di PhD, 4 visiting scientists, 1 ciclo di seminari, 1 conferenza internazionale, attivazione di esperienze didattiche nei nuovi laboratori

Disseminazione: GW day, outreach verso gli istituti superiori

Monitoraggio: Review meeting, Scientific Report e riunione Advisory Board Sapienza

3 anno

Reclutamento: 2 PA → PO, 1 RTD-B, 2 Amaldi fellows

Infrastrutture: Potenziamento Centro di Calcolo, interfaccia sorgente quantistica con 3G GW Lab, studio materiali cristallini innovativi, qualifica infrastruttura criogenica

Didattica: 4 borse di PhD, 4 premi Amaldi, 4 visiting scientists, 1 ciclo di seminari, 1 scuola internazionale di PhD, attivazione del corso di calcolo avanzato

Disseminazione: GW day, outreach verso gli istituti superiori

Monitoraggio: Review meeting e riunione Advisory Board Sapienza

4 anno

Reclutamento: 2 Amaldi fellows

Infrastrutture: Implementazione protocolli di metrologia quantistica, nuove tecniche e nuovi trattamenti dei materiali, test di raffreddamento e caratterizzazione payload del 3G GW Lab

Didattica: 4 borse di PhD, 4 premi Amaldi, 3 visiting scientists, 1 ciclo di seminari

Disseminazione: GW day, outreach verso gli istituti superiori

Monitoraggio: Review meeting e riunione Advisory Board Sapienza

5 anno

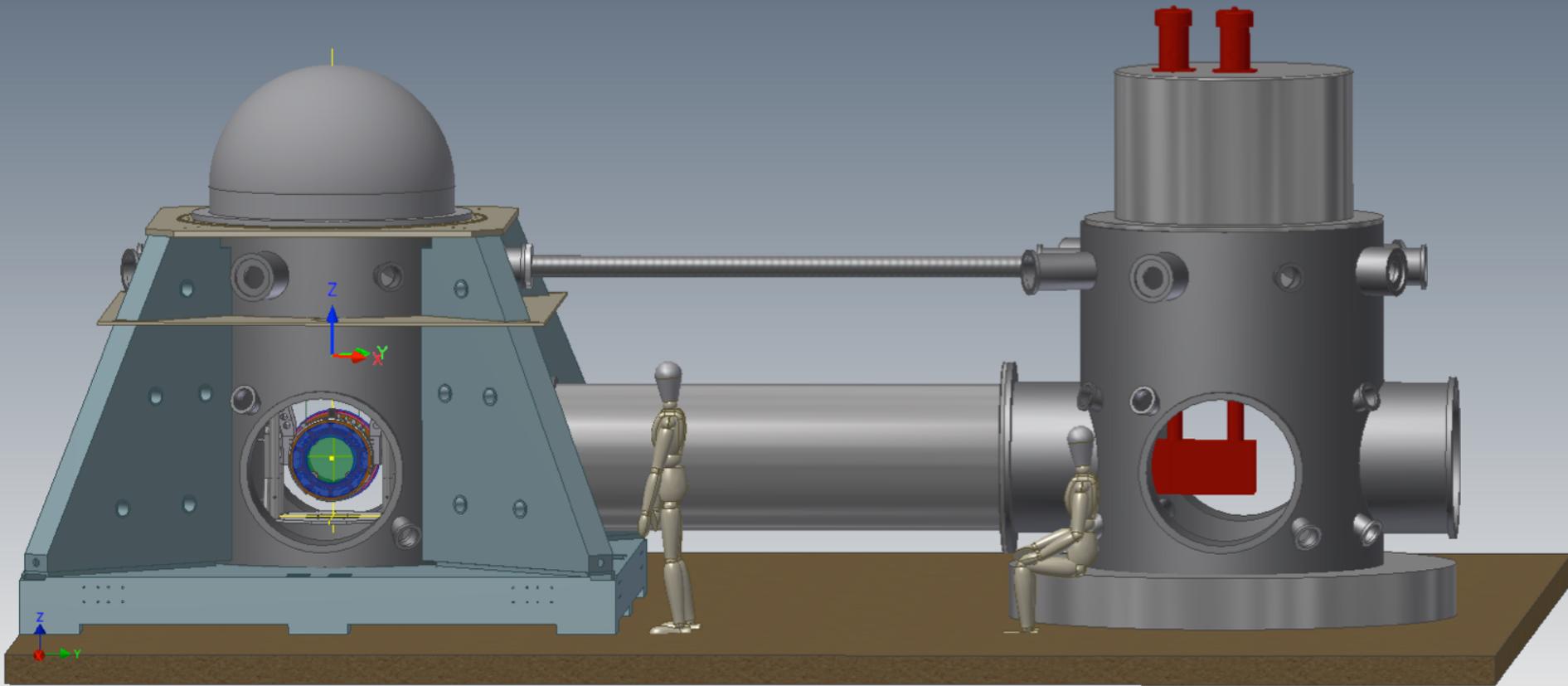
Infrastrutture: Ottimizzazione dei sistemi di controllo del payload e dei sensori in ambiente criogenico

Didattica: 4 borse di PhD, 4 premi Amaldi, 3 visiting scientists, 1 ciclo di seminari, 1 conferenza internazionale

Disseminazione: GW day, outreach verso gli istituti superiori

Monitoraggio: Review meeting, Scientific Report e riunione Advisory Board Sapienza

3G Lab: cryogenic infrastructure for suspended optics



Il criostato di sinistra ospita il *payload* con le ottiche sospese, quello di destra, ben disaccoppiato sismicamente ed acusticamente dal precedente, include le unità che forniscono la potenza refrigerante

Governance del Centro Amaldi



**Coordinatore: Direttore
del Dipartimento**

**Steering
Committee**

**Advisory
board**

monitoraggio



*impatto
scientifico
e tecnologico*

**Area supporto alla
ricerca e sviluppo
tecnologico**

*trasferimento
tecnologico*

*formazione
innovazione
e sostenibilità*

*alta
formazione*

**Consiglio di
Area Didattica**

Ufficio brevetti

**Collegi di
Dottorato**

Saperi & Co
Sapienza Enhances Research
Innovation & Coworking

Monitoraggio scientifico e strategico del progetto da parte di Sapienza

Ai fini del monitoraggio scientifico e strategico del progetto, Sapienza Università di Roma nominerà fino ad un massimo di tre advisory board internazionali, riconducibili ai settori ERC PE, LS, SSH.

Ciascun comitato svolgerà il monitoraggio dei progetti approvati in base alla relativa collocazione delle attività scientifiche previste nei citati settori ERC.

I Board saranno così composti:

- almeno 5 esperti esterni per ciascuno dei comitati, da designarsi in seguito ai risultati dell'Avviso MIUR con decreto del Magnifico Rettore, sentito il Senato Accademico;
- 1 membro per ciascun comitato nominato dal Magnifico Rettore, sentito il Senato Accademico, ed individuato all'interno di una terna proposta dal Nucleo di Valutazione di Ateneo;
- 1 membro per ciascun comitato nominato dal Magnifico Rettore, sentito il Senato Accademico, ed individuato all'interno di una terna proposta dal Team Qualità di Ateneo.

I Board, i cui costi saranno in capo all'Ateneo, si riuniranno in presenza almeno una volta l'anno per analizzare l'andamento dei progetti in termini scientifici ed organizzativi, esprimendo ove ritenuto opportuno raccomandazioni, suggerimenti e correttivi. Riunioni periodiche dei board con cadenza maggiore potranno svolgersi in via telematica.