

DIPARTIMENTO DI FISICA

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA "TOR VERGATA"



RIVISTA ANNUALE

DEL DIPARTIMENTO DI FISICA

2019

ea  
ANICIA





# RIVISTA ANNUALE

DEL DIPARTIMENTO DI FISICA

## 2019

A cura di:

Alice Aldi, Giordano Amicucci, Laura Calconi, Liù M. Catena

Direttore: Pasquale Mazzotta

Vice-Direttore: Lucio Cerrito

Segretario Amministrativo: Liù M. Catena

Comitato Scientifico della Newsletter del Dipartimento di Fisica:

Francesco Berrilli, Viviana Fafone, Mauro Sbragaglia, Roberto Senesi

[www.fisica.uniroma2.it](http://www.fisica.uniroma2.it)



**Alice Aldi** è un Dottore di Ricerca in Fisica, titolo conseguito presso il Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata". Svolge un'attività di ricerca nel campo della Fisica Teorica delle Alte Energie nell'ambito della Teoria delle Stringhe. Collabora attivamente con il gruppo di ricerca in Teoria delle Stringhe. È attivamente impegnata nella diffusione della cultura scientifica sia in ambito accademico che non accademico.

**Giordano Amicucci** è un Tecnico, di area tecnico-scientifica ed elaborazione dati, del Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata". Cura gli aspetti informatici di progetti di orientamento, formazione insegnanti e terza missione. Dal 2016, è uno dei curatori della Newsletter del Dipartimento di Fisica.



**Laura Calconi** è un Funzionario amministrativo del Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata". Ricopre inoltre l'incarico di Coordinamento delle attività Erasmus della Macroarea di Scienze Matematiche Fisiche e Naturali del medesimo Ateneo.

**Liù M. Catena** è il Segretario Amministrativo del Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata". Cura, dal 2016, la Newsletter del Dipartimento. Progetta eventi didattici, scientifici ed editoriali. Ha pubblicato diversi libri con la Springer, la Mondadori Università e la Anicia.

ISBN: 9788867095414

Prima edizione: dicembre 2020

© 2020 - Editoriale Anicia S.r.l.

Via S. Francesco a Ripa n. 67

00153 Roma - Tel. (+39) 065898028 / 065882654

Sede legale: Via di Trigoria n. 45

00128 Roma

www.edizionianicia.it - info@anicia.it / editoria@anicia.it

*I diritti di traduzione, di riproduzione, di memorizzazione elettronica, di adattamento totale o parziale, con qualsiasi mezzo (compresi i microfilm e le copie fotostatiche) sono riservati per tutti i Paesi. Ogni permesso deve essere dato per iscritto dall'Editore.*

*Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633.*



## SALUTI DEL DIRETTORE

"Non si presta mai attenzione a ciò che è stato fatto; si vede soltanto ciò che resta da fare."

(Marie Sklodowska Curie)

Le attività didattiche, di ricerca e di terza missione del dipartimento di Fisica dell'Università degli studi di Roma "Tor Vergata", raccolte in questo volume, evidenziano un ambiente dinamico, innovativo, internazionale e interdisciplinare che quotidianamente accetta sfide e si dedica alla piena comprensione della gran varietà di fenomeni naturali che la natura porge, con lo sguardo sempre rivolto alla scoperta.





## Indice

<b>SEGUI IL DIPARTIMENTO</b>	<b>9</b>
<b>EVENTI</b>	<b>11</b>
<b>STAMPA E MEDIA</b>	<b>19</b>
<b>RICERCA</b>	<b>23</b>
<b>NEWS</b>	<b>25</b>
<b>PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW</b>	<b>31</b>
<b>PREMI E RICONOSCIMENTI</b>	<b>101</b>
<b>TESI DI DOTTORATO</b>	<b>105</b>
<i>Fisica</i>	<b>106</b>
<i>Astronomy, Astrophysics and Space Science</i>	<b>115</b>
<i>HPC-LEAP - European Joint Doctorates</i>	<b>117</b>
<b>DIDATTICA</b>	<b>119</b>
<b>NEWS</b>	<b>121</b>
<b>TESI MAGISTRALI</b>	<b>123</b>
<i>Fisica</i>	<b>124</b>
<i>Scienza e Tecnologia dei Materiali</i>	<b>132</b>
<i>Astromundus - Erasmus Mundus         Joint Masters Degree         programme in Astronomy and Astrophysics</i>	<b>133</b>
<i>Double Degree TH-Wildau</i>	<b>134</b>
<b>TERZA MISSIONE</b>	<b>137</b>
<i>PERSONALE</i>	<b>143</b>







## SEGUI IL DIPARTIMENTO

In questa sezione sono riportati gli eventi organizzati presso il Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata". Vengono anche riproposte le occasioni di carattere mediatico che hanno visto protagonisti membri del Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata".





## EVENTI

### PAPAP 2019



[www.newsletter-fisica-tor-vergata.it](http://www.newsletter-fisica-tor-vergata.it)



L'Associazione Italiana Studenti di Fisica (AISF) organizza dal 3 al 6 Dicembre 2019 la terza edizione del Particle and Astroparticle Physics Autumn Programme (PAPAP). L'iniziativa guida 40 studenti, provenienti sia da Ate- nei italiani che internazionali, alla scoperta e all'approfondimento delle frontiere della ricer- ca scientifica condotta in diversi istituti di Ro- ma e L'Aquila, rivolgendo particolare attenzio- ne ai campi della Fisica Nucleare e delle Astroparticelle, ma anche alla Cosmologia e alla Fisica delle Alte Energie. Nella mattina del 4 Dicembre, l'evento ha luogo presso il Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata" e vede come rela- tori i Proff. Anna Di Ciaccio, Annalisa D'Angelo, Roberta Sparvo- li e Nicola Vittorio.

## TRANSITO DI MERCURIO A TOR VERGATA



[www.newsletter-fisica-tor-vergata.it](http://www.newsletter-fisica-tor-vergata.it)

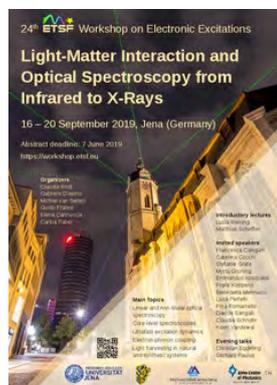


Il giorno 11 Novembre 2019, presso l'Aula Magna "P. Gismondi" della Macroarea di Scienze dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata", ha luogo l'evento "Transito di Mercurio a Tor Vergata", organizzato in collaborazione tra l'Università di Roma "Tor Vergata" e l'INAF. Si tratta di un evento per le scuole che rientra nelle attività di Light in Astronomy 2019 (la settimana di Apertura INAF sul territorio), nelle attività IAU per l'Astronomy Day in Schools e che fa parte degli eventi di lancio delle Olimpiadi Italiane di Astronomia nel Lazio. Partecipano all'evento i Proff. Francesco Berrilli e Luigi Mancini del Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata".

## 24TH ETSF WORKSHOP ON ELECTRONIC EXCITATIONS



[www.newsletter-fisica-tor-vergata.it](http://www.newsletter-fisica-tor-vergata.it)



Dal 16 al 20 settembre 2019 si tiene a Jena, in Germania, la 24° edizione del workshop del network ETSF (European Theoretical Spectroscopy Facility). Durante il workshop vengono discussi i recenti progressi ed i possibili sviluppi futuri della teoria elettronica a principi primi e della spettroscopia teorica e sperimentale, con un occhio di riguardo per Light-matter interaction and optical spectroscopy from Infrared to x-rays. Il tema, interazione tra luce e materia, viene trattato nelle sue diverse declinazioni, dalla spettroscopia dei livelli di core alle eccitazioni collettive a bassa energia, discutendo inoltre materiali sottoposti a condizioni estreme e sistemi portati fuori dall'equilibrio perché soggetti a forti impulsi laser. Vengono inoltre discusse le sfide legate all'uso di nanostrutture ed altri sistemi complessi per la generazione di energia e la cattura della luce. Nella migliore tradizione dei workshop ETSF, grande spazio

## EVENTI

è dedicato a scambi scientifici informali (tavole rotonde, coffee breaks, eventi sociali, etc...). I relatori sono scelti nel rispetto di equilibrio tra uomini e donne, privilegiando giovani ed emergenti scienziati/e che hanno appena avviato un loro proprio gruppo di ricerca. Una partecipazione attiva di giovani ricercatori è incoraggiata con un gran numero di interventi per contributi orali ed una sessione poster molto animata. Tra gli organizzatori del convegno è presente la Dr.ssa Elena Cannuccia del Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata".

## LUNA50



[www.newsletter-fisica-tor-vergata.it](http://www.newsletter-fisica-tor-vergata.it)



Il giorno 16 luglio 2019 si tiene, presso l'Aula Magna "Gismondi" dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata", l'evento Luna 50. La giornata, a carattere divulgativo ed aperta al pubblico, ricorda, a 50 anni di distanza l'inizio della storica missione Apollo 11, il primo allunaggio. Durante

la giornata ci saranno brevi talk su argomenti che riguardano la Luna, saranno presentati video ed effettuate osservazioni al telescopio. Responsabili Scientifici dell'evento sono il Prof. Francesco Berrilli e i Dr. Dario Del Moro e Luca Giovannelli, del Dipartimento di Fisica.

## 10TH YOUNG RESEARCH MEETING



[www.newsletter-fisica-tor-vergata.it](http://www.newsletter-fisica-tor-vergata.it)



Dal 18 al 21 giugno 2019 si tiene, presso l'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata", il decimo Young Research Meeting. La conferenza è organizzata da giovani ricercatori e dottorandi e mira a promuovere la collaborazione e lo scambio di idee tra giovani fisici italiani e stranieri che lavorano su diversi argomenti di ricerca. Proseguendo con la formula vincente delle precedenti edizioni, l'incontro presenterà diversi eventi speciali, come colloqui su invito, una sessione di poster, una tavola rotonda sulla connessione tra

Fisica e Industria. La Dr.ssa Marina Migliaccio e il Dr. Luca Giovannelli del Dipartimento di Fisica sono tra gli organizzatori dell'evento.

## ASI/COSMOS MEETING ON "LAMBDA $\Lambda$ CDM"



[www.newsletter-fisica-tor-vergata.it](http://www.newsletter-fisica-tor-vergata.it)



Il 28 e 29 maggio 2019 si tiene, presso l'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata", il quinto meeting tematico del progetto ASI/COSMOS su "Lambda $\Lambda$ CDM". Il seminario si concentra sullo stato attuale del modello di concordanza alla luce del set di dati più recente. Il focus è sia sulla teoria sia sull'analisi dei dati, ed è un'occasione per discutere le varie tensioni e anomalie del modello. Il meeting è organizzato dal Prof. Nicola Vittorio del Dipartimento di Fisica dell'Università dagli

Studi di Roma "Tor Vergata", Responsabile Scientifico del progetto ASI/COSMOS.

## 3RD ADVANCED SCHOOL ON EXOPLANETARY SCIENCE



[www.newsletter-fisica-tor-vergata.it](http://www.newsletter-fisica-tor-vergata.it)



Dal 27 al 31 maggio 2019 si tiene a Vietri sul Mare (Salerno) la terza Advanced School on Exoplanetary Science basata su Demographics of Exoplanetary Systems. La scuola ha lo scopo di fornire un quadro completo e all'avanguardia di vari aspetti rilevanti nel campo della ricerca sugli esopianeti.

Gli argomenti delle lezioni della 3a edizione della scuola sono incentrati sulla demografia dei pianeti extrasolari e sullo svelamento della formazione e dell'evoluzione dei pianeti. Il Dr. Luigi Mancini del Dipartimento di Fisica dell'Università dagli Studi di Roma "Tor Vergata" è tra i promotori dell'evento.

## LE PROSPETTIVE DELLO SPAZIO



[www.newsletter-fisica-tor-vergata.it](http://www.newsletter-fisica-tor-vergata.it)



Il 25 maggio 2019 si tiene, presso l'Aula Grassano del Dipartimento di Fisica l'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata", il convegno Le Prospettive dello Spazio. Dal fantastico di ieri alla ricerca di oggi verso la tecnologia di domani. La giornata di studio, organizzata in collaborazione con la Sezione INFN di Tor Vergata, intende promuovere ed analizzare la crescente sovrapposizione e la sinergia tra il mondo della ricerca, della tecnologia e del fantastico.

L'evento è organizzato dal Dr. Marco Casolino del Dipartimento di Fisica.

## FISICA DEL QUARK TOP CON L'ESPERIMENTO ATLAS



[www.newsletter-fisica-tor-vergata.it](http://www.newsletter-fisica-tor-vergata.it)



Dal 21 al 23 Maggio 2019 si tiene a Villa Mondragone il Workshop annuale della Fisica del Quark Top con l'esperimento ATLAS al Large Hadron Collider. L'evento, organizzato dal Prof. Cerrito e dal gruppo ATLAS del Dipartimento di Fisica dell'Uni-

versità dagli Studi di Roma "Tor Vergata" e della Sezione INFN di Roma Tor Vergata, ha coinvolto 86 delegati internazionali impegnati durante un fitto programma di lavori, con 47 presentazioni in diretta streaming, 5 tutorials ed una sessione di posters per dottorandi e giovani ricercatori.

## ORIENTAMENTO ALLA SCIENZA: IL PIANO LAUREE SCIENTIFICHE PER SCUOLE E UNIVERSITÀ


 Newsletter del Dipartimento di Fisica
 Marzo/Aprile/Maggio 2019

[www.newsletter-fisica-tor-vergata.it](http://www.newsletter-fisica-tor-vergata.it)



Piano Lauree Scientifiche

Il 16 maggio 2019 si tiene, presso il Roma Convention Center "La Nuvola" e all'interno del Forum PA 2019, il workshop Orientamento alla Scienza: il Piano Lauree Scientifiche per Scuole e Università. L'obiettivo del seminario è la presentazione degli interventi promossi dalle Università con il supporto del MIUR per orientare gli studenti verso le discipline scientifiche, rafforzare le loro competenze scientifiche a partire dalla Scuola secondaria superiore e incentivare la collaborazione tra i docenti di Scuole e Università. Particolare spazio viene dato al "Piano Lauree Scientifiche" (PLS), nato nel 2004, e divenuto un riferimento importante anche per la progettazione di nuove metodologie di orientamento all'Università. A partire dal 2017, coerentemente con il tema della sostenibilità, le attività si sono arricchite con iniziative per la riduzione degli abbandoni e per incentivare l'iscrizione delle studentesse alle lauree scientifiche. Il Prof. Nicola Vittorio del Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata" partecipa al workshop in qualità di Coordinatore del Comitato Tecnico Scientifico.

## GIORNATA MONDIALE DELLA METEOROLOGIA 2019


 Newsletter del Dipartimento di Fisica
 Gennaio/Febbraio 2019

[www.newsletter-fisica-tor-vergata.it](http://www.newsletter-fisica-tor-vergata.it)



Sabato 23 Marzo si tiene, presso Sapienza Università di Roma, l'evento celebrativo della Giornata Mondiale della Meteorologia. Tale celebrazione ricorre ogni anno nell'anniversario della fondazione, avvenuta nel 1950, dell'Organizzazione Meteorologica Mondiale (OMM). Il tema assegnato dall'OMM per la giornata di quest'anno è The Sun, the Earth

## EVENTI

and the Weather. Il Prof. Francesco Berrilli del Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata" partecipa all'evento con un intervento dal titolo Il Sole: variabilità solare e relazioni sole-terra.

## SEEDSCIENCE



[www.newsletter-fisica-tor-vergata.it](http://www.newsletter-fisica-tor-vergata.it)



### SeedScience

Nelle giornate del 13 e 14 marzo 2019 si tengono due incontri del progetto SeedScience a cura del Dott. Michele Raggio e della Prof.ssa Anna Sgarlata del Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata". Il progetto in questione, che vedrà anche la partecipazione straordinaria di Piero Angela, nasce con lo scopo di formare insegnanti di scienze dai 18 ai 30 anni in due paesi dell'Africa Subsahariana: Ghana e Kenya. Alcuni di questi insegnanti sono stati selezionati come science seeders per formare a loro volta insegnanti locali, in modo da ottenere un effetto a cascata e creare una rete di collaborazione gestita dall'Università di "Tor Vergata". I science seeders selezionati partecipano al meeting in questione.

## FAMELAB 2019



[www.newsletter-fisica-tor-vergata.it](http://www.newsletter-fisica-tor-vergata.it)



Il 26 febbraio, presso il Centro Congressi e Rappresentanza Villa Mondragone dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata", si svolgono le selezioni locali di FameLab 2019, il primo talent internazionale di comunicazione scientifica per giovani ricercatori e studenti universitari under 40. I partecipanti sono chiamati a raccontare con chiarezza, esattezza e carisma, in soli 3 minuti e senza l'aiuto di grafici, proiezioni o video, il proprio oggetto di studio o argomento scientifico che li appassiona. Come in un talent show verranno giudicati da una giuria di esperti provenienti

## EVENTI

dal mondo della scienza e della comunicazione. Il Comitato Organizzatore dell'iniziativa comprende la Prof.ssa Carla Andreani, e la Prof.ssa Anna Di Ciaccio del Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata".

## STAGE INVERNALE A TOR VERGATA



[www.newsletter-fisica-tor-vergata.it](http://www.newsletter-fisica-tor-vergata.it)



Si è concluso il 15 febbraio 2019 lo Stage Invernale a Tor Vergata, XVIII incontro. Per l'occasione, oltre sessanta studenti hanno avuto l'opportunità di vivere una settimana da ricercatori, seguendo sei diversi moduli tematici organizzati presso l'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata". Lo Stage a Tor Vergata, sostenuto dal PLS-Piano Lauree Scientifiche, rappresenta un esperimento straordinario nel panorama didattico e accademico italiano. Il direttore del progetto è il Prof. Nicola Vittorio del Dipartimento di Fisica.

## CMB AND LARGE-SCALE STRUCTURE OF THE UNIVERSE



[www.newsletter-fisica-tor-vergata.it](http://www.newsletter-fisica-tor-vergata.it)



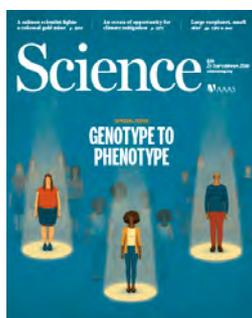
Il 21 e 22 gennaio, a Villa Mondragone, sede di rappresentanza dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata", si tiene il workshop "CMB and Large-Scale Structure of the Universe" organizzato in occasione del 65° compleanno del Prof. Nicola Vittorio del Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata". Per l'evento si riuniscono gli amici e i massimi esperti della Cosmologia, a livello internazionale, con i quali il Prof. Vittorio ha collaborato nel corso della sua carriera.



## SCIENCE MAGAZINE



[www.newsletter-fisica-tor-vergata.it](http://www.newsletter-fisica-tor-vergata.it)



Il Dr. Luigi Mancini del Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata", ha rilasciato diverse interviste relative ad un articolo pubblicato sulla rivista Scienze Magazine, al quale ha contribuito come co-autore. L'articolo tratta della scoperta di GJ 3512b, un pianeta gigante simile a Giove che orbita intorno a una piccola stella con una massa pari a un decimo di quella del Sole.

## IL DOLOMITI



[www.newsletter-fisica-tor-vergata.it](http://www.newsletter-fisica-tor-vergata.it)

### **D** il Dolomiti

Il Prof. Francesco Berrilli del Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Roma Tor Vergata è stato intervistato da Il Dolomiti, il nuovo giornale online di Trento e Trentino Alto Adige, per commentare il discusso articolo apparso su Nature, a firma del team della Prof.ssa Valentina Zarkova, in cui si ipotizza che la ridotta attività solare potrebbe portare ad una prossima piccola era glaciale.

## SCOPERTE DUE SORELLE DELLA TERRA NON LONTANE DAL SOLE



[www.newsletter-fisica-tor-vergata.it](http://www.newsletter-fisica-tor-vergata.it)

*la Repubblica del 19/06/2019*



La Terra ha due nuove sorelle. Sono due pianeti potenzialmente abitabili non lontani dal Sistema Solare, a poco più di 12 anni luce, nella costellazione dell'Ariete, in orbi-

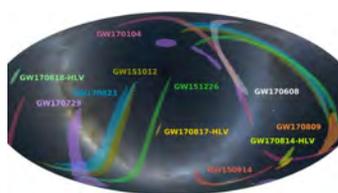
ta attorno alla stella Teegarden. Se i pianeti ospitassero forme di vita evolute, i loro abitanti potrebbero vedere la Terra transitare sul disco del Sole. La scoperta è illustrata nello studio del consorzio Carmenes, pubblicato sulla rivista *Astronomy & Astrophysics* e coordinato dall'Università tedesca di Gottinga. Tra gli autori della ricerca c'è anche il Dr. Luigi Mancini del Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata" e dell'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF).

## ONDE GRAVITAZIONALI: LIGO E VIRGO TORNANO ALL'ASCOLTO DELL'UNIVERSO



[www.newsletter-fisica-tor-vergata.it](http://www.newsletter-fisica-tor-vergata.it)

*Publicato su Ansa - Le Scienze - Futuro24*



Il 1° aprile, alle ore 17:00 italiane, Virgo e LIGO, gli interferometri che hanno portato alla scoperta delle onde gravitazionali e alla nascita dell'astronomia multimessaggera, iniziano la loro nuova stagione di presa dati (O3), che durerà un intero anno. Durante O3 LIGO e Virgo prenderanno dati in continuo 24 ore su 24, 7 giorni su 7, per un intero anno: durante questo periodo i tre rivelatori opereranno congiuntamente come un osservatorio globale, il più sensibile di sempre. Gli scienziati hanno anche migliorato i loro sistemi di analisi dati offline e online, sviluppando procedure di rilascio degli Open Public Alerts per informare in tempi ancora più rapidi la comunità scientifica di un potenziale evento. La Prof.ssa Viviana Fafone del Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata" è responsabile dell'INFN per la collaborazione Virgo.

## LA SCIENZA IN CLASSE



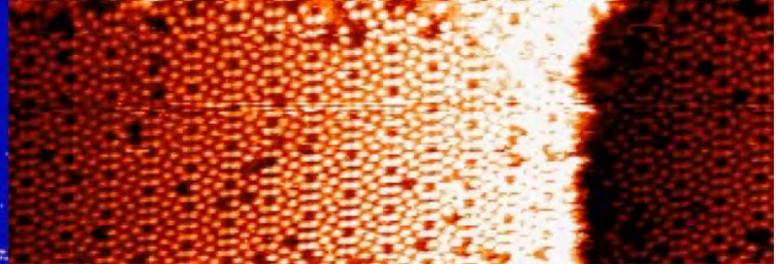
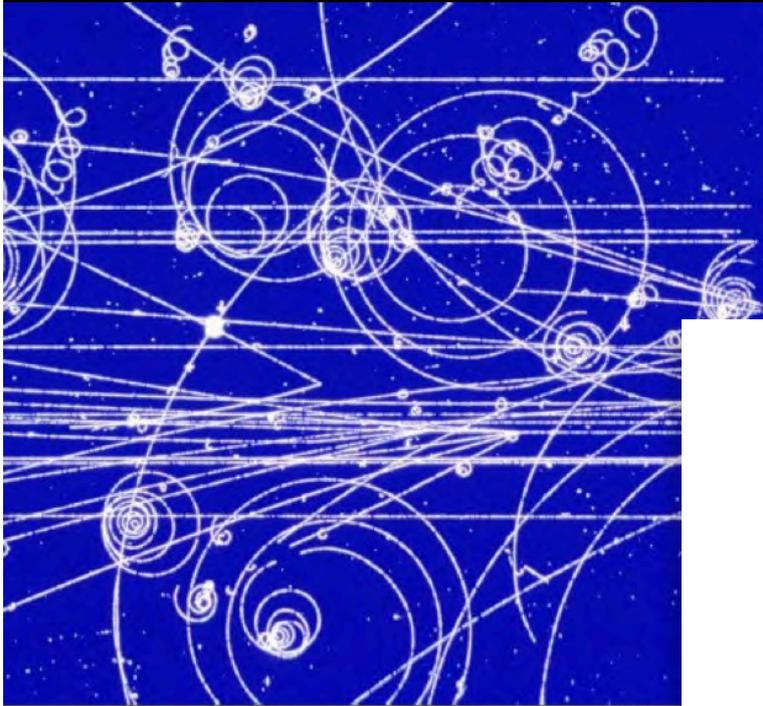
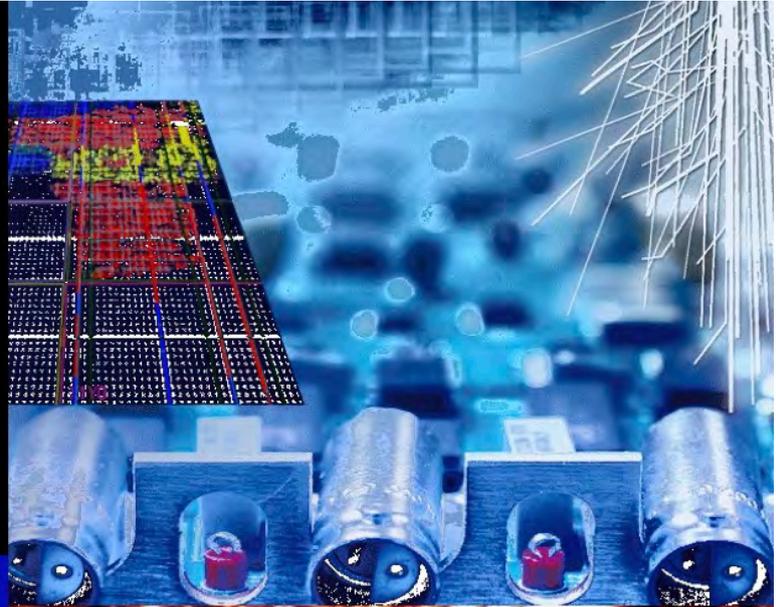
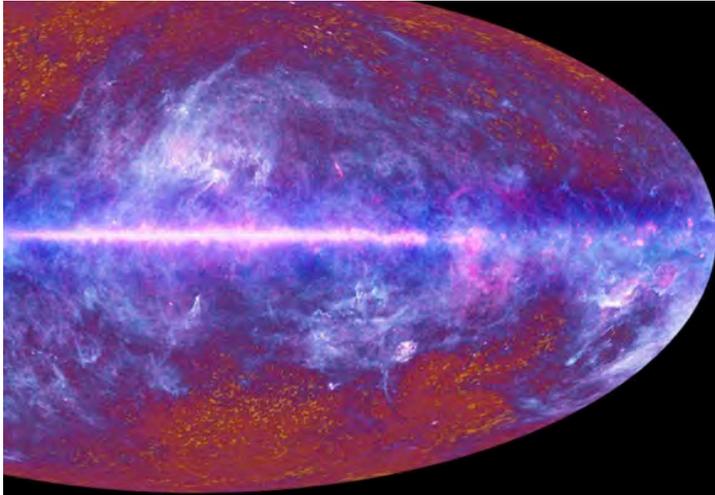
[www.newsletter-fisica-tor-vergata.it](http://www.newsletter-fisica-tor-vergata.it)

*Publicato su "la Repubblica" del 10 aprile 2019*



L'Associazione ScienzImpresa del Dipartimento di Fisica è protagonista di un articolo pubblicato su "la Repubblica" del 10 aprile 2019, dove si racconta l'attività dell'associazione all'interno delle scuole.



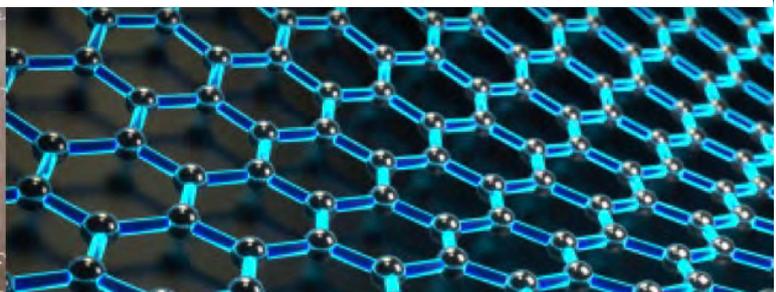
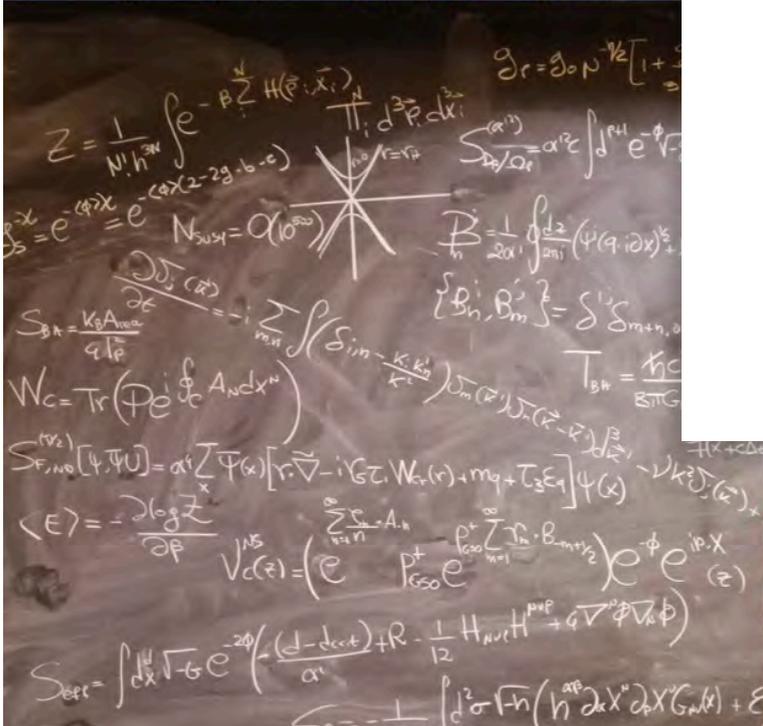


# RICERCA

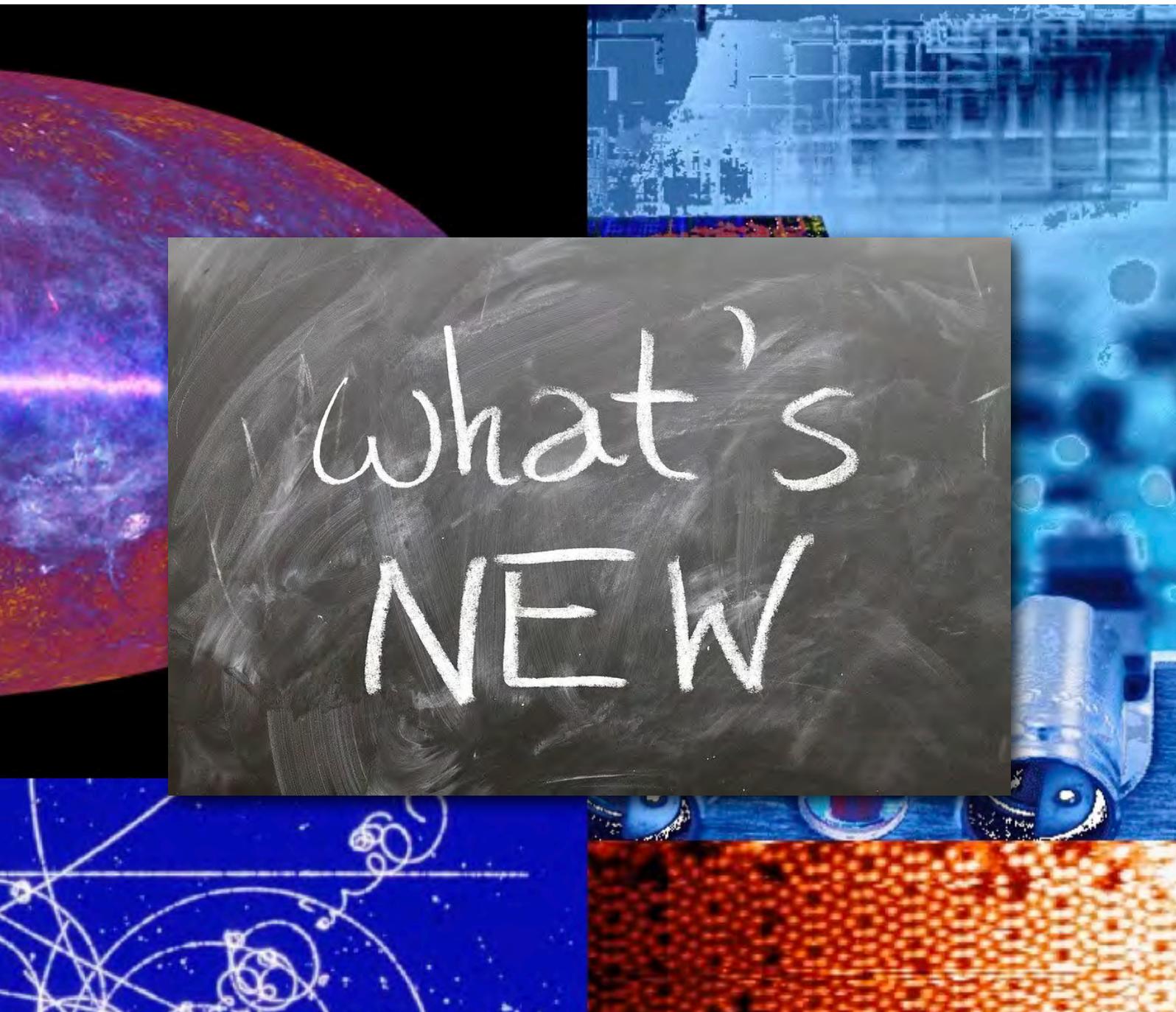
“Nella vita non c’è nulla da temere, solo da capire (quale sia la migliore approssimazione del reale).”

(Margherita Hack)

In questa sezione sono raccolte le attività di ricerca caratterizzanti il Dipartimento di Fisica dell’Università di Roma “Tor Vergata”.







## NEWS

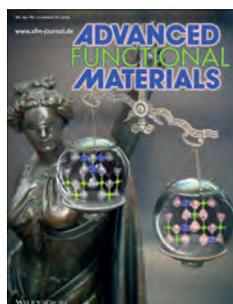
## ADVANCED FUNCTIONAL MATERIALS



Newsletter del  
Dipartimento di Fisica

Ottobre/Novembre/Dicembre  
2019

[www.newsletter-fisica-tor-vergata.it](http://www.newsletter-fisica-tor-vergata.it)



Nell'ambito della collaborazione relativa al progetto europeo H2020 – BeforeHand a cui partecipa il Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata", il gruppo diretto dal Prof. F. Arciprete ha pubblicato l'articolo: "Interplay between Structural and

Thermoelectric Properties in Epitaxial  $Sb_{2+x}Te_3$  Alloys" sulla prestigiosa rivista *Advanced Functional Materials*. In questo articolo è stata dimostrata la possibilità di modulare il carattere 2-dimensionale o 3-dimensionale del materiale a cambiamento di fase  $Sb_{2+x}Te_3$  mediante lo strain-engineering e il controllo accurato della crescita epitassiale. Questo articolo ha ricevuto il premio dell'Associazione Italiana di Termoelettricità (AIT) 2018 per il migliore articolo scientifico di argomento termoelettrico.

## CEPROVI - PRIN 2017



[www.newsletter-fisica-tor-vergata.it](http://www.newsletter-fisica-tor-vergata.it)



Il gruppo di Biofisica del Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata" è vincitore, insieme ad altri enti italiani, del PRIN 2017 Integrative tools for defining the molecular basis of the diseases: Computational and Experimental Protein Variant Interpretation-CeProVI. Obiettivo principale del progetto è quello di colmare il divario tra i dati termodinamici e le informazioni relative alle malattie sulle varianti proteiche.

## MINI-EUSO RAGGIUNGE LA STAZIONE SPAZIALE INTERNAZIONALE



[www.newsletter-fisica-tor-vergata.it](http://www.newsletter-fisica-tor-vergata.it)



Il 22 agosto 2019 è stato lanciato il veicolo spaziale Soyuz MS-14 dal cosmodromo di Baikonur con a bordo Mini-EUSO (Multiwavelength Imaging New Instrument for the Extreme Universe Space Observatory), un telescopio per raggi UV sviluppato da una collaborazione internazionale guidata dal Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata". Il progetto proviene da un accordo fra l'Agenzia Spaziale Italiana ASI, ente finanziatore, e l'Agenzia Spaziale Russa Roscosmos. Il MAECI – nell'ambito dei progetti di grande rile-

vanza tra Italia e Giappone – contribuisce al progetto. La Soyuz ha raggiunto la Stazione Spaziale Internazionale (ISS) il 27 agosto 2019. Nelle settimane successive l'astronauta Luca Parmitano e i suoi colleghi russi attiveranno il telescopio. L'esperimento è coordinato dal Dr. Marco Casolino, primo ricercatore presso la sezione INFN di Roma "Tor Vergata" e docente presso il Dipartimento.

## NANOFILI DI SILICIO PER POTENZIALI APPLICAZIONI IN DISPOSITIVI OTTICI, ELETTRONICI ED OPTOELETTRONICI



[www.newsletter-fisica-tor-vergata.it](http://www.newsletter-fisica-tor-vergata.it)



Sulla rivista Physica Status Solidi b, da cui la figura a lato scelta come retro-copertina, è stato pubblicato un articolo sul progetto di ricerca bilaterale Italia-Quebec cofinanziato dal MAECI per gli anni 2017-2019 dal titolo Nanofili di silicio per potenziali applicazioni in dispositivi ottici, elettronici ed optoelettronici. Nell'articolo si studiano gli effetti di trattamenti termici a temperature tra gli 800°C e i 1200°C in diversi ambienti gassosi su nanofili di silicio (SiNW) ultrasottili (diametro 2-3 nm) incorporati all'interno di un nanofilo di ossido di silicio. A seguito dell'instabilità capillare sviluppata nei SiNW, questi si modificano in nanocristalli di silicio (SiNC) di diverse forme e dimensioni. La Prof.ssa Paola Castrucci del Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata" è tra gli autori.

## MARIX



[www.newsletter-fisica-tor-vergata.it](http://www.newsletter-fisica-tor-vergata.it)



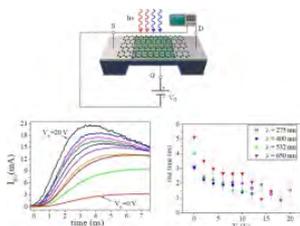
La Prof.ssa Silvia Morante e il Dr. Francesco Stellato del Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata" prendono parte all'importante progetto MariX (Multi-disciplinary Advanced Research Infrastructure for the generation

and application of X-rays). Il progetto è il frutto di circa un anno di attività di un gruppo di fisici e ricercatori dell'INFN (Sezione di Milano e Laboratorio LASA) e dell'Università degli Studi di Milano, coadiuvati da ricercatori del Politecnico di Milano e di altre Università e Istituzioni italiane ed europee. L'infrastruttura MariX è stata pensata per essere un elemento centrale di competenze ed attrattività per il distretto dell'innovazione MIND e le sue caratteristiche uniche potranno essere sfruttate in svariati campi dalle scienze della vita, da quelle dei materiali innovativi, dalla fisica al patrimonio culturale e naturale, aprendo possibilità non altrimenti accessibili con le sorgenti di raggi X attuali.

## REALIZZAZIONE DI UN FET (FIELD EFFECT TRANSISTOR) CON UN SINGOLO STRATO DI GRAFENE



[www.newsletter-fisica-tor-vergata.it](http://www.newsletter-fisica-tor-vergata.it)



Sulla rivista Carbon è stato pubblicato un articolo, dal titolo Transport properties in aggregates of Nb nanowires templated by carbon nanotube films, sulla realizzazione, attraverso un singolo strato atomico di grafene messo su silicio, di un FET (Field Effect Transistor) con prestazioni con-

frontabili a quelle degli stessi dispositivi attualmente in commercio e con una risposta temporale limitata al nanosecondo. Il lavoro è frutto di una collaborazione del Gruppo di Ricerca guidato dal Prof. Maurizio De Crescenzi del Dipartimento di Fisica, del CNR ISM di Frascati (per le misure laser a femtosecondi), del FBK di Trento (che ha fornito il substrato digitizzato) e di un gruppo dell'Università di Minsk (per aver sintetizzato il layer di grafene).

## ACOUSTIC DIAGNOSTICS (AUDIO)



[www.newsletter-fisica-tor-vergata.it](http://www.newsletter-fisica-tor-vergata.it)



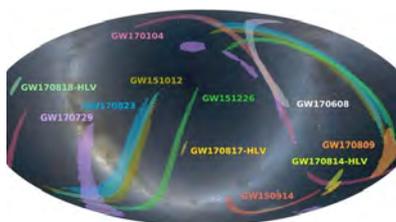
Mercoledì 17 Aprile si tiene il lancio sulla Stazione Spaziale Internazionale dell'esperimento Acoustic Diagnostics. L'esperimento, finanziato e gestito da ASI e che garantisce l'acces-

so alla ISS grazie ad uno specifico accordo di cooperazione con ESA (realizzato in collaborazione con ALTEC, Campus Biomedico, Sapienza Università di Roma, INAIL e CNR), permette di valutare in modo obiettivo e sensibile la funzione uditiva degli astronauti prima, durante e dopo la loro permanenza di lungo termine in assenza di gravità a bordo della SSI, utilizzando tecniche avanzate di misura ed analisi delle emissioni otoacustiche (OAE). Tra gli astronauti coinvolti ci saranno Luca Parmitano (ESA) e Andrew Morgan (NASA), che effettueranno, a bordo della SSI, da tre a sei test DPOAE, oltre a numerosi test audiologici prima e dopo la missione. Il Dr. Arturo Moleti del Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata" è il responsabile dell'esperimento.

## VIRGO E LIGO



[www.newsletter-fisica-tor-vergata.it](http://www.newsletter-fisica-tor-vergata.it)

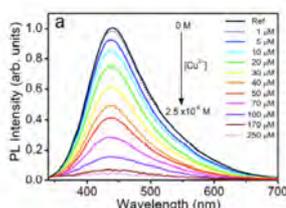


Gli interferometri LIGO e Virgo hanno rilevato undici onde gravitazionali, previste dalla teoria della relatività generale di Albert Einstein. Ora, grazie anche all'importante contributo di scienziati italiani, è stato pubblicato online il primo catalogo che raccoglie tutti i dati scientifici e i parametri relativi delle scoperte. «Dall'approfondita analisi del complesso dei dati raccolti nel corso dei primi due periodi di osservazione sono emersi altri quattro eventi, rispetto a quelli precedentemente annunciati», ha commentato la Prof.ssa Viviana Fafone del Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata" e responsabile dell'INFN per la collaborazione Virgo.

## GRAFION



[www.newsletter-fisica-tor-vergata.it](http://www.newsletter-fisica-tor-vergata.it)



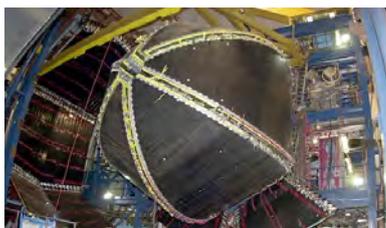
I quantum dots di graphene ossido (GOQDs) in soluzione liquida presentano luminescenza e assorbimento ottico che risultano sensibili alla presenza di ioni di alcuni metalli pesanti danno-

si per la salute. Questa interessante proprietà può essere sfruttata per importanti applicazioni nel campo della sensoristica per l'ambiente e la salute. Il progetto GRAFION, recentemente finanziato dalla Regione Lazio, si propone di verificare e ottimizzare l'effetto sensore introducendo e confinando i GOQDs in matrici solide trasparenti e semipermeabili. L'obiettivo finale è quello di ottenere un elemento sensibile solido, compatto e versatile da inserire direttamente in ambienti acquosi o semi-acquosi per indagini sulle acque e su materiali agroalimentari e alimenti. Il progetto è altamente interdisciplinare e vede coinvolti i seguenti docenti dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata": la Prof. Olivia Pulci, PI per il Dipartimento di Fisica, la Prof. Marilena Carbone, PI per il Dipartimento di Scienze e Tecnologie Chimiche, i Proff. Roberto Pizzoferrato e Paolo Proposito (Coordinator) per il Dipartimento di Ingegneria Industriale.

## CLAS



[www.newsletter-fisica-tor-vergata.it](http://www.newsletter-fisica-tor-vergata.it)



L'esperimento CLAS all'acceleratore CE-BAF del Jefferson Laboratory, negli Stati Uniti, pubblica sulla rivista Nature una ricerca sul comportamento dei quark, i costituenti ultimi della materia, che potrebbe svelare un mistero che dura da 35 anni. Il

risultato è stato ottenuto anche grazie al contributo dei ricercatori del Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata", tra i quali figura la Prof.ssa Annalisa D'Angelo. «Il risultato ottenuto da CLAS ci dice che la struttura interna dei protoni e dei neutroni si modifica quando queste particelle si aggregano formando coppie correlate» commenta Raffaella De Vita, ricercatrice della Sezione di Genova dell'INFN e portavoce della Collaborazione CLAS.



## PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

In questa sezione trovano spazio gli estratti di articoli scientifici, pubblicati nell'anno solare 2019, sottomessi dalla comunità scientifica del Dipartimento di Fisica e della sezione INFN Roma Tor Vergata.

# PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**AIELLI  
GIULIO**

AUTORI:

M. TANABASHI, K. HAGIWARA, K. HIKASA, K. NAKAMURA, Y. SUMINO, F. TAKAHASHI, J. TANAKA, K. AGASHE, G. AIELLI, ET AL.

RIVISTA:

PHYSICAL REVIEW D

AMBITO DI RICERCA:

FISICA DELLE  
INTERAZIONI  
FONDAMENTALI



Dipartimento di Fisica

## REVIEW OF PARTICLE PHYSICS

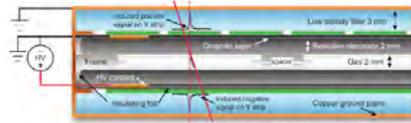


Figure 35.17: Schematic cross section of a generic single gap RPC.

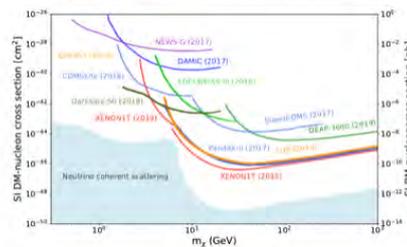


Figure 27.1: Upper limits on the SI DM-nucleon cross section as a function of DM mass.

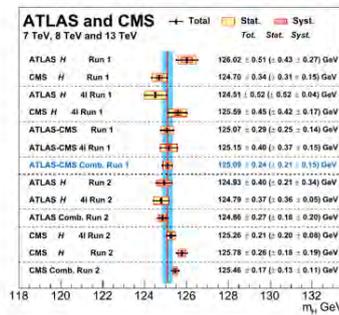


Figure 11.4: Summary of the CMS and ATLAS mass measurements in the  $\gamma\gamma$  and  $ZZ$  channels in Run 1 and Run 2.

Particle Data Group (PDG) è una collaborazione internazionale che fornisce un riepilogo completo della fisica delle particelle e delle aree correlate della cosmologia: la Review of Particle Physics. La Review of Particle Physics viene aggiornata ogni anno e pubblicata ogni due anni in una rivista HEP. Comprende una raccolta e una valutazione delle misurazioni delle proprietà di particelle elementari conosciute e riassume le ricerche di nuove particelle ipotetiche. L'edizione 2019, comprende 41.371 misurazioni da 11.322 articoli apparsi per la prima volta nelle edizioni precedenti. 120 articoli di revisione individuali discutono argomenti come bosoni di Higgs, supersimmetria, nucleosintesi del Big Bang, probabilità, statistica, acceleratori e rivelatori, che comprende una voce RPC curata da G. Aielli.

## PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**ANDREANI  
CARLA**

AUTORI:

G. FESTA, T.  
CHRISTIANSEN, V.  
TURINA, M. BORLA, J.  
KELLEHER, L.  
ARCIDIACONO, L.  
CARTECHINI, R. C.  
PONTERIO, C.  
SCATIGNO, R. SENESI,  
C. ANDREANI

RIVISTA:

SCIENTIFIC REPORTS

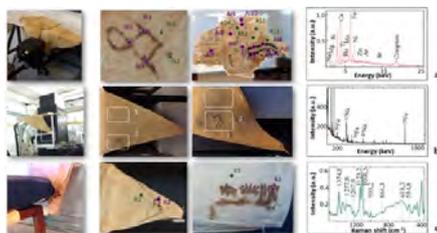
AMBITO DI RICERCA:

TECNICHE NUCLEARI  
APPLICATE AI BENI  
CULTURALI



## Dipartimento di Fisica

### EGYPTIAN METALLIC INKS ON TEXTILES FROM THE 15TH CENTURY BCE UNRAVELLED BY NON-INVASIVE TECHNIQUES AND CHEMOMETRIC ANALYSIS



Uno studio internazionale, coordinato dal gruppo di spettroscopia di neutroni del Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata", ha dimostrato l'utilizzo di inchiostri a base di ferro nell'Antico Egitto, fornendo così nuove informazioni e prospettive riguardo alla genesi degli inchiostri nelle antiche culture mediterranee. Lo studio condotto su 19 tessuti dipinti, utilizzando tecniche non invasive, ha permesso di identificare la composizione chimica dell'inchiostro nero utilizzato su lino antico egiziano. I tessuti oggetto dello studio fanno parte del corredo funerario della tomba egizia dell'architetto Kha e della moglie Merit, datata XV secolo a.C., una delle più importanti scoperte archeologiche in Egitto condotta, nel 1906, nei pressi del villaggio di Deir el-Medina (Luxor) da Ernesto Schiaparelli (1856-1928), allora direttore del Museo Egizio. Il corredo funerario, ad eccezione di pochi oggetti, fu trasportato a Torino e rappresenta un unicum in egittologia: si tratta, infatti, del corredo funerario non regale più ampio e completo mai ritrovato. Sebbene finora un grande sforzo di ricerca sia stato dedicato allo studio dei pigmenti e dei coloranti usati nell'antico Egitto per decorare le pareti e gli arredi delle sepolture, o per scrivere su papiro, poca attenzione è stata prestata alla natura e alla tecnologia degli inchiostri usati sui rituali e tessuti di uso quotidiano, che potrebbero aver favorito il trasferimento della tecnologia dell'inchiostro metallico su supporti di papiro e pergamino. La ricerca dimostra che per produrre un liquido di scrittura nero/marrone non solo sono stati utilizzati i sali di ferro, probabilmente in combinazione con i tannini (ancora da accertare), ma è stata aggiunta anche l'ocra, ottenendo coloranti neri simili a quelli che venivano impiegati dalle popolazioni Navajo all'inizio del XX secolo. I risultati di questo studio suggeriscono che gli antichi egizi usavano un tipo di miscela simile già 3.400 anni fa, con largo anticipo rispetto all'introduzione, nel III secolo dopo Cristo, e storicamente attestata dagli scritti di Filone di Bisanzio, dell'inchiostro nero a base di ferro denominato ferrogallico.

PUBBLICAZIONI:  
UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

ARCIPRETE  
FABRIZIO

AUTORI:

S. CECCHI, D.  
DRAGONI, D. KRIEGNER,  
E. TISBI, E. ZALLO, F.  
ARCIPRETE, V. HOLÝ, M.  
BERNASCONI, R.  
CALARCO

RIVISTA:

ADVANCED  
FUNCTIONAL  
MATERIALS

AMBITO DI RICERCA:

FISICA DELLA MATERIA



Dipartimento di Fisica

## INTERPLAY BETWEEN STRUCTURAL AND THERMOELECTRIC PROPERTIES IN EPITAXIAL $Sb_{2+x}Te_3$ ALLOYS

**FULL PAPER**  
Interplay between Structural and Thermoelectric Properties in Epitaxial  $Sb_{2+x}Te_3$  Alloys

Stefano Cecchi,<sup>1</sup> Daniele Dragoni,<sup>1</sup> Dominik Kriegner,<sup>1</sup> Elna Tisbi,<sup>1</sup> Eugenio Zallo,<sup>1</sup> Fabrizio Arciprete,<sup>1</sup> Václav Holý,<sup>2</sup> Marco Bernardoni,<sup>3</sup> and Raffaella Calarco<sup>1</sup>

**1. Introduction**

In recent years strain engineering in perovskite superlattices (SLs) has opened a new paradigm for the design of phase change memory applications. This is possible in  $Sb_2Te_3/CaTe$  heterostructures owing to the peculiar behavior of  $Sb_2Te_3$  in between covalently bonded and weakly bonded materials. In the present study, the structural and thermoelectric (TE) properties of epitaxial  $Sb_{2+x}Te_3$  films are shown, as they represent an intriguing system to expand the horizon of strain engineering in such SLs. Samples with composition between  $Sb_2Te_3$  and  $Sb_4Te_5$  are prepared by molecular beam epitaxy. A combination of X-ray diffraction and Raman spectroscopy, together with detailed simulations, allows correlating the structural characteristics of the alloys. A consistent evaluation of the structural disorder characterizing the material is shown as well as the presence of both  $Sb_2$  and  $Sb_4$  units is detected. A strong link exists among structural and TE properties, the latter being significantly altered by phase change. SLs with higher composition of the TE performance may be achieved by accurately engineering the atomic disorder. The possibility to tune the strain in epitaxial  $Sb_{2+x}Te_3$  alloys is corroborated.

Since the discovery of graphene [1] 2D materials and related van der Waals (vdW) heterostructures have opened a new playground in both basic and applied materials research. Structural disordered heterostructures in atomic and molecular electronics as well as superconductors [2] With respect to heterostructures prepared by molecular beam epitaxy (MBE) growth, both general for device processing and compatibility with the microelectronics technology.

Antimony telluride ( $Sb_2Te_3$ ) is a layered chalcogenide material formed by crystal layers (QLs) bonded to each other by vdW forces. It has been studied for topological insulating (TI) surface states [3] and used as building block in phase change memory (PCM) and ferroelectric (FE) superlattices (SLs) structures [4]. A strong interaction between structure and properties has been shown for  $Sb_2Te_3$  grown by molecular beam epitaxy (MBE) on both Ga(111) and graphene [5]. Very recently our group demonstrated an intriguing deviation from such a purely 2D material behavior [6] related to epitaxial  $Sb_2Te_3/CaTe$  SLs and  $CuTe$  bilayers. Specifically, an unexpected tunable difference of order parameter between the components  $Sb_2$  and  $Sb_4$  is observed, allowing also to realize strain engineering in such readily crystalline systems. This is of high interest since strain engineering in chalcogenide SLs has been proposed for improved switching performance [7]. Recently, the influence of strain on the TE characteristics of  $Sb_2Te_3$  has been investigated following a strain of intercalation [8]. The alloy phase epitaxially grown on silicon substrate. Several extremely efficient barrier phonon modes in the heterostructure  $Sb_2Te_3/Si(111)$  and  $Sb_2Te_3/double layer (DL)$  are inserted between  $Sb_2Te_3$  QDs forming natural, specific, impurities-free, ordered atomic layers. Detailed study of the interplay between the structural and TE properties in such systems and used in ref. [9]. The tuning of the 2D character of  $Sb_2Te_3$  by strain controlling the stress of SLs is the central aim. To strengthen the coupling they provide an additional tool to tune the functionality of Chalcogenide SLs. Here we show the evolution of TE properties as a function of composition

DOI: 10.1002/adfm.201801384

Dalla scoperta del grafene, i materiali e le eterostrutture di van der Waals (vdW) sono diventati uno dei campi di maggiore interesse nella scienza dei materiali. Il tellururo di antimonio ( $Sb_2Te_3$ ) è un materiale calcogenuro bidimensionale (2D) formato da blocchi di cinque strati atomici (quintuple layers – QL) con legami di tipo covalente al loro interno ma legati tra loro da deboli forze di vdW. Lo  $Sb_2Te_3$  è molto studiato per le sue proprietà quale isolamento topologico e in quanto elemento

costitutivo nelle memorie a cambiamento di fase (PCM) e nelle strutture termoelettriche (TE). In questo lavoro abbiamo studiato leghe  $Sb_{2+x}Te_3$  cresciute mediante epitassia da fasci molecolari (MBE). Esistono diverse fasi lamellari del tellururo di antimonio nella serie omologa  $(Sb_2Te_3)_m(Sb_2)_n$  nelle quali i doppi strati di  $Sb_2$  si inseriscono tra i QL di  $Sb_2Te_3$  formando sequenze di impilamento ordinate. Mediante l'utilizzo della diffrazione di raggi X, della spettroscopia Raman e simulazioni basate sulla teoria del funzionale densità, abbiamo potuto comprendere le caratteristiche strutturali di queste leghe. Il disordine che caratterizza il materiale è stato pienamente caratterizzato e si è rilevata la presenza di strati sia  $Sb_2$  sia  $Sb_4$ . In particolare si è osservato un forte legame tra le proprietà strutturali e quelle TE. La tecnica di crescita MBE permettendo di controllare con accuratezza l'eccesso di Sb nel materiale, che tende a rafforzare l'accoppiamento nel reticolo, rende possibile la regolazione fine del carattere 2D della lega. Si realizza in questo modo una vera e propria ingegneria della deformazione del reticolo, che fornisce uno strumento aggiuntivo per adattare e manipolare finemente le proprietà termoelettriche e, in generale, le funzionalità del materiale.

## PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**BALBI  
AMEDEO**

AUTORI:

A. M. WISŁOCKA, A. B.  
KOVACEVIC', A. BALBI

RIVISTA:

ASTRONOMY &  
ASTROPHYSICS

AMBITO DI RICERCA:

ESOPIANETI E  
ASTROBIOLOGIA



Dipartimento di Fisica

## COMPARATIVE ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF SGR A\* AND NEARBY ACTIVE GALACTIC NUCLEI ON THE MASS LOSS OF KNOWN EXOPLANETS

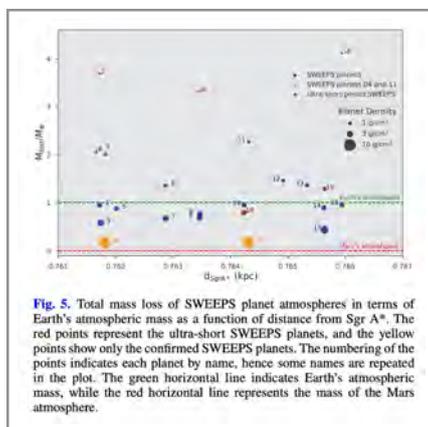


Fig. 5. Total mass loss of SWEEPS planet atmospheres in terms of Earth's atmospheric mass as a function of distance from Sgr A\*. The red points represent the ultra-short SWEEPS planets, and the yellow points show only the confirmed SWEEPS planets. The numbering of the points indicates each planet by name, hence some names are repeated in the plot. The green horizontal line indicates Earth's atmospheric mass, while the red horizontal line represents the mass of the Mars atmosphere.

Gli esopianeti in orbita attorno a stelle del nucleo galattico risentono della presenza del buco nero supermassiccio centrale. In particolare, alcuni studi recenti (Balbi e Tombesi 2017; Forbes & Loeb 2018; Chen et al. 2018) hanno mostrato che le radiazioni ionizzanti emesse dal buco nero durante la sua fase di rapido accrescimento iniziale possono provocare la perdita di una frazione sostanziale di atmosfera negli

esopianeti di tipo terrestre che si trovano entro un raggio di poche migliaia di anni-luce dal centro galattico. Questo può influenzare la potenziale abitabilità degli esopianeti. Nello studio qui presentato, si estendono questi risultati esaminando, per la prima volta, il possibile effetto della fase attiva del buco nero al centro della galassia su 54 esopianeti noti: di questi, 16 sono pianeti di tipo "gioviano caldo" residenti nel nucleo galattico, e 38 sono pianeti rocciosi, di cui 5 nella zona abitabile della loro stella. Si è inoltre esaminato l'effetto cumulativo sulle atmosfere di questi esopianeti dovuto alla presenza di nuclei attivi in circa 100 000 galassie vicine. Lo studio ha dimostrato che i pianeti più vicini al centro galattico possono aver perso un'atmosfera pari a molte volte quella terrestre, durante la fase di attività del buco nero centrale, mentre quelli che si trovano a una distanza dal centro comparabile a quella del Sole non hanno subito alcun effetto. Si è anche trovato che l'effetto cumulativo dei nuclei attivi in altre galassie, su un arco temporale di circa 50 milioni di anni, può aver causato una perdita di atmosfera comparabile a quella attuale di Marte.

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**BASSAN  
MASSIMO**

AUTORI:

M. BASSAN, M. DE  
LAURENTIS, R. DE ROSA,  
L. DI FIORE, L. ERRICO, F.  
GARUFI, A. GRADO, Y.  
MINENKOV, G.  
PUCACCO E M. VISCO

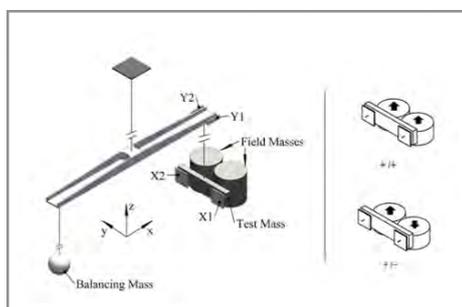
RIVISTA:

INTERNATIONAL  
JOURNAL OF MODERN  
PHYSICS D

AMBITO DI RICERCA:

STUDIO DELLA  
GRAVITÀ SU SCALA DI  
LABORATORIO

## LIQUID ACTUATED GRAVITY EXPERIMENTS



Presentiamo qui un nuovo esperimento, iniziato nel 2019 con finanziamento INFN (commissione scientifica V). L'esperimento, chiamato LAG (Liquid Actuated Gravity), si inserisce nell'ampio panorama di test volti a verificare la validità della legge di Newton di Gravitazione Universale,

che descrive la della forza di attrazione tra due corpi, ed in particolare della sua dipendenza dal quadrato della distanza. Questi esperimenti vengono tipicamente svolti variando periodicamente la distanza tra una Massa di Test (TM) e una Massa Sorgente (FM – Field Mass): la peculiarità del nostro esperimento consiste nell'usare un liquido come attuatore: la FM è un contenitore che viene riempito e svuotato di un liquido, mediante un sistema di pompaggio molto lontano dalla TM. Questo permette di ottenere una forza gravitazionale periodica senza movimento di parti meccaniche (eccettuato il fluido) che possa perturbare la TM in maniera incontrollata. La TM è sospesa ad un doppio pendolo di torsione, sensibile a debolissime forze ( $< nN/\sqrt{Hz}$ ) e coppie ( $\sim fNm /\sqrt{Hz}$ ). Questo apparato, in via di completamento, consentirà di migliorare l'attuale limite alle possibili deviazioni dalla legge  $1/r^2$  nel range di distanza tra 2 mm e 4 cm. Deviazioni dalla legge  $1/r^2$ , sono previste da alcune teorie di gravità, nel caso esistano ulteriori ( $n>3$ ) dimensioni spaziali nascoste. Lo stesso apparato, con minime modifiche, potrà anche essere utilizzato in futuro per verifiche del Principio di Equivalenza, postulato alla base della Relatività Generale. Queste ed altre ricadute scientifiche dell'esperimento sono discusse nella pubblicazione in oggetto.

Nell'immagine: Un diagramma schematico dell'apparato LAG: due contenitori cilindrici vengono riempiti periodicamente con un liquido, ed esercitano una forza oscillante sulla massa di Test sospesa ad un doppio pendolo di tensione.

# PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**BELLI  
PIERLUIGI**

AUTORI:

**R. BERNABEI, P. BELLI, F.  
CAPPELLA, V.  
CARACCIOLLO, R.  
CERULLI, C.J. DAI, A.  
D'ANGELO, A. DI  
MARCO, H.L. HE, A.  
INCICCHITTI, X.H. MA, V.  
MERLO, F.  
MONTECCHIA, X.D.  
SHENG, Z.P. YE**

RIVISTA:

**NUCLEAR PHYSICS AND  
ATOMIC ENERGY**

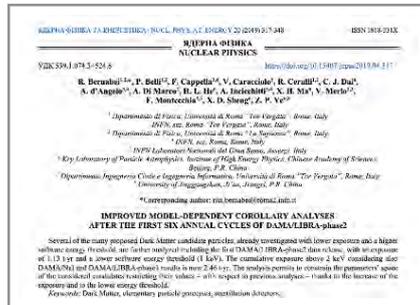
AMBITO DI RICERCA:

**INVESTIGAZIONE  
SULLA NATURA DELLE  
PARTICELLE DI MATERIA  
OSCURA  
DELL'UNIVERSO CON  
ESPERIMENTO IN  
LABORATORI  
SOTTERRANEI**



Dipartimento di Fisica

## IMPROVED MODEL-DEPENDENT COROLLARY ANALYSES AFTER THE FIRST SIX ANNUAL CYCLES OF DAMA/LIBRA-PHASE2



Lo studio della Materia Oscura nell'Universo è uno degli argomenti più intriganti della Fisica contemporanea, sia dal punto di vista teorico che sperimentale. Un grande numero di osservazioni cosmologiche e astrofisiche ci indirizzano verso la descrizione dell'Universo come composto principalmente da Materia

Oscura ed Energia Oscura. La materia di cui noi siamo fatti, che ci circonda e che costituisce le stelle, è soltanto una piccola percentuale del budget totale dell'Universo, non più del 4%. Si ha quindi evidenza che la Materia Oscura sia costituita di particelle relitte dal Big Bang, singolarità iniziale da cui ha avuto origine il nostro Universo. Poiché queste particelle non sono previste nel Modello Standard delle particelle elementari, si ha bisogno di nuova Fisica per poterle descrivere. Per rivelarle direttamente si deve ricorrere ad esperimenti in siti sotterranei, quali l'esperimento DAMA/LIBRA la cui massa bersaglio è di circa 250 kg di Ioduro di Sodio drogato al Tallio – NaI(Tl) – ed utilizzare l'identificazione del segnale di Materia Oscura tramite la modulazione annuale del numero di conteggi misurati. L'esperimento DAMA/LIBRA e il suo predecessore DAMA/NaI hanno riportato un segnale di modulazione annuale con le caratteristiche attese per la presenza di particelle di Materia Oscura, su molti cicli annuali. Scopo dell'articolo qui riportato è stato quello di studiare vari candidati e scenari proposti per la Materia Oscura alla luce dei nuovi risultati di DAMA/LIBRA con una soglia energetica più bassa (la cosiddetta fase2). In particolare, l'analisi permette di evidenziare lo spazio dei parametri per i candidati di Materia Oscura considerati, restringendone i valori – rispetto ad analisi precedenti – grazie all'aumento dell'esposizione e alla minore soglia energetica.

# PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**BENZI  
ROBERTO**

AUTORI:

**A. PLUMMER, R. BENZI,  
D. R. NELSON, F.  
TOSCHI**

RIVISTA:

**PROCEEDINGS OF THE  
NATIONAL ACADEMIC  
SCIENCE**

AMBITO DI RICERCA:

**GENETICA DELLA  
POPOLAZIONI,  
TURBOLENZA,  
MECCANICA  
STATISTICA**



## Dipartimento di Fisica

# FIXATION PROBABILITIES IN WEAKLY COMPRESSIBLE FLUID FLOWS

### Fixation probabilities in weakly compressible fluid flows

Alberto Plummer<sup>1</sup>, Roberto Benzi<sup>2</sup>, David R. Nelson<sup>3</sup> and Federico Toschi<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Department of Physics, Harvard University, Cambridge, MA 02138; <sup>2</sup>Department of Physics, University of Rome Tor Vergata, 00133 Rome, Italy; <sup>3</sup>Department of Physics, University of California, San Diego, La Jolla, CA 92037; <sup>4</sup>Department of Physics, University of Turin, I.N.F.N. Sezione di Torino, 10125 Turin, Italy

**Abstract.** We study the fixation probabilities of a mutant population in a weakly compressible fluid flow. The fixation probability is shown to be significantly different from the value expected in a well-mixed system. We show that the fixation probability is significantly higher in the presence of upwelling and downwelling flows, and that the fixation probability is significantly lower in the presence of strong vertical mixing. Our results suggest that the effect of vertical velocities must be included in models of genetic evolution.

**Keywords:** fixation probabilities, turbulent flows, stochastic processes, population genetics

It is well known that fluid compressibility has a significant impact on the dynamics of a system, particularly at the subsonic and supersonic regimes. In this paper, we study the fixation probability of a mutant population in a weakly compressible fluid flow. The fixation probability is shown to be significantly different from the value expected in a well-mixed system. We show that the fixation probability is significantly higher in the presence of upwelling and downwelling flows, and that the fixation probability is significantly lower in the presence of strong vertical mixing. Our results suggest that the effect of vertical velocities must be included in models of genetic evolution.

arXiv:1205.4012v1 [physics.flu-dyn] 20 Dec 2012

I batteri che costituiscono fitoplancton marino hanno una importanza fondamentale nella catena alimentare in mare e nella produzione di ossigeno per tutta l'atmosfera. La diversità biologica del fitoplancton marino dipende da numerosi elementi e in particolare dalla dinamica di trasporto delle correnti. In molti casi, e in particolare modo vicino alla costa, si possono sviluppare correnti verticali ascensionali (upwelling) o discensionali (downwelling) su scale temporali simili a quelle caratteristiche di riproduzione di mol-

te specie di batteri. In entrambi i casi, la popolazione batterica reagisce cambiando le proprie capacità di galleggiamento in modo da rimanere vicina alla superficie. Questo implica che la dinamica Darwiniana ha luogo in molti casi in ambienti in cui i singoli batteri tendono a risentire di un flusso di trasporto compressibile che produce una espansione della popolazione nelle zone di upwelling e una contrazione nelle zone di downwelling. Questo lavoro per la prima volta discute come la competizione fra due popolazioni di batteri può subire anche notevoli cambiamenti a causa dei fenomeni di upwelling e downwelling. Ad esempio una popolazione inizialmente piccola che viene trasportata dai fondali marini verso l'alto durante un upwelling, acquisisce un vantaggio selettivo non trascurabile rispetto a quello dell'ambiente superficiale circostante. Questo è vero anche quando avviene una mutazione della popolazione batterica in prossimità delle zone di upwelling. Una conseguenza di quanto detto è che le zone di upwelling (specialmente quelle vicino alle coste) sono cruciali nel garantire e preservare la biodiversità del fitoplancton. Viceversa, gli effetti di upwelling e downwelling tendono a ridurre il vantaggio selettivo di una popolazione uniformemente diffusa in mare, contribuendo alla biodiversità naturale. Per questo studio, le popolazioni sono state simulate a livello di singolo individuo con algoritmi statistici già sviluppati per spiegare l'evoluzione genetica osservata in esperimenti di laboratorio.

## PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**BERNABEI  
RITA**

AUTORI:

A. ADDAZI, R. BERNABEI

RIVISTA:

MODERN PHYSICS  
LETTERS A

AMBITO DI RICERCA:

ASPETTI SPERIMENTALI E  
FENOMENOLOGICI IN  
TEMATICHE AI  
LABORATORI  
SOTTERRANEI  
NELL'AMBITO  
DELL'ATTIVITÀ DAMA



Dipartimento di Fisica

## NON-COMMUTATIVE QUANTUM GRAVITY PHENOMENOLOGY IN UNDERGROUND EXPERIMENTS



Abbiamo recentemente aperto la strada per costruire un ponte dagli esperimenti di fisica nei laboratori sotterranei alla gravità quantistica, attraverso la ricerca di transizioni esotiche in nuclei o atomi, indotte da spazio-tempo non commutativo che viola il principio di esclusione di Pauli (PEP). Il PEP è diretta conseguenza del teorema della statistica di spin nel Modello Standard della fisica delle particelle (MS); tale teore-

ma è valido in base ai presupposti di: spazio-tempo, causalità, località e Lorentz invarianza. L'osservazione di una transizione, che violi la PEP (PEPV), avrebbe la potenzialità di cambiare le nostre concezioni di spazio e tempo. Nel nostro lavoro, mostriamo come il modello standard su spazio-tempo non-commutativo con simmetria di Poincaré deformata, noto come " $\theta$ -Poincaré", predice una generalizzazione della "regola d'oro" di Fermi a transizioni esotiche violanti il Principio di Pauli. Tali violazioni dipendono dalle scale energetiche e dalla direzione angolare delle emissioni allo stato finale. E' quindi mostrato che, assumendo il Principio di Equivalenza della gravità,  $\theta$ -Poincaré può essere già escluso fino alla scala energetica di Planck da alcuni esperimenti, e in particolare da DAMA/LIBRA. Rilassando l'ipotesi di Principio di Equivalenza, le fasi di violazione della PEP possono filtrare su vari canali di osservazione in modo "non democratico"; d'altra parte, le dipendenze angolari PEPV possono sopprimere o aumentare la velocità di transizione. Ciò motiva fortemente nuove osservazioni da esperimenti sotterranei, utilizzando materiali e tecniche diversi.

## PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**BERRILLI  
FRANCESCO**

AUTORI:

S. M. JEFFERIES; B.  
FLECK; N. MURPHY; F.  
BERRILLI

RIVISTA:

THE ASTROPHYSICAL  
JOURNAL LETTERS

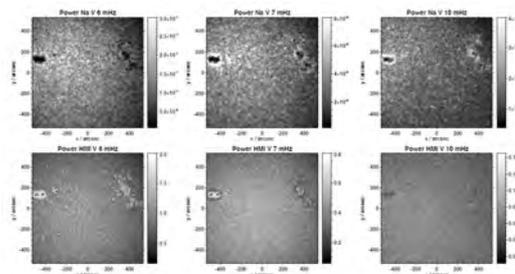
AMBITO DI RICERCA:

FISICA SOLARE



Dipartimento di Fisica

## OBSERVED LOCAL DISPERSION RELATIONS FOR MAGNETO-ACOUSTIC-GRAVITY WAVES IN THE SUN'S ATMOSPHERE: MAPPING THE ACOUSTIC CUT-OFF FREQUENCY



Guardando il cielo, lontani dalle città e in una notte serena, possiamo vedere migliaia di stelle. La loro luce, che possiamo studiare con telescopi a Terra o nello spazio, proviene dalle fotosfere e dalle regioni atmosferiche stellari più esterne, come cromosfera e corona.

Ebbene, non sono ancora totalmente compresi i meccanismi fisici alla base delle perdite radiative delle atmosfere di quelle stelle, come il nostro Sole, che possiedono una zona convettiva immediatamente al di sotto della loro fotosfera. Uno dei meccanismi in esame per spiegare l'irraggiamento della cromosfera e della corona è il riscaldamento meccanico mediante onde di pressione generate dai moti del plasma indotti dalla convezione turbolenta. In pratica, alcune regioni del plasma fotosferico agiscono come pistoni che comprimono l'atmosfera sovrastante producendo onde di pressione e shock che possono depositare l'energia cinetica di origine convettiva negli strati atmosferici più alti. Non tutte le frequenze tuttavia possono propagarsi nello stesso modo nell'atmosfera fortemente stratificata, magnetizzata e disomogenea che circonda le stelle. In particolare le onde con frequenze al di sotto della frequenza di taglio acustico (Lamb 1909) sono evanescenti, cioè non si propagano, mentre le onde con frequenze al di sopra della frequenza di taglio possono propagarsi liberamente. Nel nostro lavoro misuriamo la frequenza di taglio per vincolare alcuni parametri fondamentali dell'atmosfera del sole. In particolare, quei parametri da cui dipende la frequenza di taglio come la temperatura effettiva ed il peso molecolare medio della fotosfera. Nel lavoro abbiamo usato dati spettrali acquisiti a bordo di satelliti (SDO) e durante la campagna MOTH alla stazione Amundsen–Scott South Pole dell'estate antartica 2017.

## PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**BIANCHI  
MASSIMO**

AUTORI:

A. ADDAZI, M. BIANCHI,  
G. VENEZIANO

RIVISTA:

JOURNAL OF HIGH  
ENERGY PHYSICS

AMBITO DI RICERCA:

TEORIE DI STRINGA E  
GRAVITÀ QUANTISTICA



Dipartimento di Fisica

## SOFT GRAVITATIONAL RADIATION FROM ULTRA-RELATIVISTIC COLLISIONS AT SUB- AND SUB-SUB-LEADING ORDER

$$\frac{d^2 E_2^{GW}}{d\Omega} = 16\pi G_N \frac{\tilde{r}^2 \omega^2}{4\pi^2} \left[ 1 + \frac{s}{t} - \frac{s}{u} + \frac{u}{t} \left( \frac{s}{t} - \frac{t}{s} \right) \log\left(-\frac{u}{s}\right) - \frac{t}{u} \left( \frac{s}{u} + \frac{u}{s} \right) \log\left(-\frac{t}{s}\right) \right]$$

La rivelazione diretta di onde gravitazionali

in processi di altissima energia, quali le collisioni di buchi neri, ha aperto nuove prospettive nella ricerca di correzioni alla Relatività Generale. Usando il comportamento universale del gravitone a basse energie, Weinberg ha derivato un limite di frequenza zero (ZFL) per il flusso di radiazione gravitazionale emessa in urti di molte particelle. Nel presente lavoro, tale limite viene esteso al primo ed al secondo ordine nella frequenza del gravitone. Nel caso di collisioni elastiche binarie, la correzione al primo ordine al flusso risulta essere assente mentre la correzione al secondo ordine assume una semplice espressione generale che comporta effetti piccoli ma in principio misurabili nella rivelazione di onde gravitazionali. Per un processo a livello di albero il risultato è finito ed in accordo con le aspettative. Tuttavia nel limite iconale, corrispondente a piccoli angoli di deflessione, al processo elastico contribuiscono infiniti diagrammi. L'espressione al secondo ordine derivata a livello albero produce divergenze infrarosse derivanti dalla fase infinita dell'ampiezza di dispersione gravitazionale in quattro dimensioni. Dopo aver discusso come eliminare tali divergenze, viene indicata una procedura per trovare in maniera consistente le correzioni osservabili al comportamento universale del gravitone. In particolare, si trova un ottimo accordo con i risultati ottenuti indipendentemente tramite l'approccio iconale alla diffusione di altissima energia a grande parametro d'impatto.

## PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**BIFERALE  
LUCA**

AUTORI:

L. BIFERALE, F.  
BONACCORSO, M.  
BUZZICOTTI, P. CLARK DI  
LEONI, K. GUSTAVSSON

RIVISTA:

JOURNAL OF  
NONLINEAR SCIENCE

AMBITO DI RICERCA:

INTELLIGENZA  
ARTIFICIALE,  
OTTIMIZZAZIONE,  
FLUIDODINAMICA



Dipartimento di Fisica

## ZERMELO'S PROBLEM: OPTIMAL POINT-TO-POINT NAVIGATION IN 2D TURBULENT FLOWS USING REINFORCEMENT LEARNING

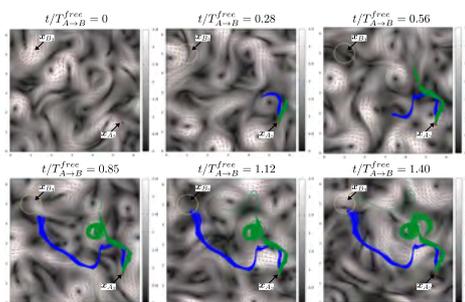


Figura. I sei pannelli contengono sei istanti temporali diversi presi durante l'evoluzione del flusso e di dieci traiettorie di navigazione ottenute al variare della condizione iniziale, seguendo la soluzione del RL (in blu) oppure una navigazione basale (in verde) con rotta sempre in direzione del punto di arrivo.

La ricerca di una traiettoria che minimizza il tempo di navigazione tra due punti in un fluido è nota come problema di Zermelo. Investigando la possibilità di utilizzare metodi di Intelligenza Artificiale (IA) come il "Reinforcement Learning" (RL) per la soluzione di questo problema, abbiamo visto come questi algoritmi so-

no capaci di convergere a delle soluzioni quasi-ottimali e robuste al variare delle condizioni iniziali, ovviando alla caoticità intrinseca del problema. In particolare abbiamo considerato il caso in cui una nave in un mare turbolento, voglia minimizzare il tempo di arrivo, avendo a disposizione la sola possibilità di cambiare rotta ma dovendo mantenere una velocità di crociera costante e molto minore della velocità della corrente da cui viene trasportata. Abbiamo studiato sia il caso in cui il flusso turbolento fosse stazionario nel tempo sia il caso più realistico in cui lo stato del mare sia in continua evoluzione. Il primo caso ci ha permesso di confrontare le traiettorie trovate dal RL con la soluzione analitica di Zermelo che assicura l'ottimalità della traiettoria. Nel secondo caso invece abbiamo potuto confermare l'estendibilità dei metodi RL a problemi realistici di interesse pratico. Tra i risultati evidenziati è particolarmente interessante vedere come le tecniche di RL siano in grado di trovare soluzioni "intelligenti" in grado di sfruttare a proprio vantaggio le proprietà apparentemente avverse dell'ambiente circostante offrendo soluzioni non programmabili a-priori. Il nostro lavoro apre una strada in questa direzione promettendo in futuro lo sviluppo di algoritmi volti ad affrontare sfide di navigazione sempre più complesse, in ambienti 3d e legate a problemi di assimilazione dati in sistemi geofisici.

## PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**BONO  
GIUSEPPE**

AUTORI:

G. BONO, ET AL.

RIVISTA:

THE ASTROPHYSICAL  
JOURNAL

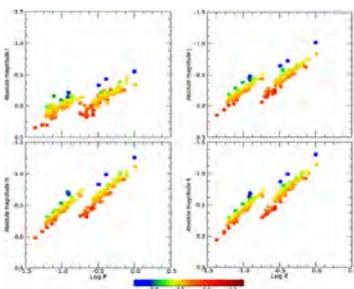
AMBITO DI RICERCA:

ASTROFISICA STELLARE



## Dipartimento di Fisica

### ON A NEW METHOD TO ESTIMATE THE DISTANCE, REDDENING, AND METALLICITY OF RR LYRAE STARS USING OPTICAL/NEAR-INFRARED (B, V, I, J, H, K) MEAN MAGNITUDES: $\Omega$ CENTAURI AS A FIRST TEST CASE



Lo studio delle stelle variabili ha giocato un ruolo determinante in Astrofisica perché la loro identificazione e caratterizzazione ha fornito una base quantitativa solida per la scala delle distanze cosmiche e per la determinazione della costante di Hubble. Gli studi di Leavitt (1908), Hubble (1925) e Baade (1956) hanno evidenziato che la magnitudine

media ed il periodo di oscillazione delle Cefeidi obbediscono ad una relazione lineare che viene definita relazione Periodo Luminosità (PL). Le relazioni PL sono soggette a due possibili sorgenti di errori sistematici. Le Cefeidi classiche sono stelle giovani ( $t < 250$  Myr) e vengono identificate solo in galassie a spirale o irregolari mentre le supernovae di tipo Ia vengono osservate anche in galassie ellittiche. Le relazioni PL non sono universali ma dipendono dalla composizione chimica delle variabili utilizzate. Per migliorare la scala delle distanze cosmiche abbiamo suggerito di utilizzare le variabili RR Lyrae che sono traccianti di popolazioni stellari antiche ( $t \sim 10$  Gyr) e quindi presenti in tutti i sistemi stellari. Abbiamo anche sviluppato un nuovo algoritmo che sulla base di misure sia ottiche che infrarosse è in grado di rimuovere la degenerazione tra metallicità ed arrossamento (Bono et al. 2019). Abbiamo applicato il nuovo algoritmo ad un campione di RR Lyrae appartenenti all'ammasso globulare omega Centauri ed abbiamo stimato il loro arrossamento, metallicità e distanza individuali. I risultati ottenuti sono in ottimo accordo con i dati disponibili in letteratura ed hanno una precisione dell'ordine di qualche percento. A breve il satellite Gaia ci consentirà di verificare l'accuratezza delle misure effettuate.

Nell'immagine: Relazioni Periodo-Luminosità (PL) delle RR Lyrae di omega Centauri nelle bande ottiche (I, in alto a sinistra) e del vicino infrarosso (J,H,K). Sull'asse delle ascisse è graficato il logaritmo del periodo di oscillazione, mentre su quello delle ordinate la magnitudine assoluta. Le variabili sono state evidenziate utilizzando un codice in colore che va dal blu (molto povere di metalli) al rosso (ricche di metalli).

## PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**CAMARRI  
PAOLO**

AUTORI:

**P. CAMARRI, R.  
CARDARELLI, R.  
SANTONICO ET AL.  
(COLLABORAZIONE  
ARGO-YBJ)**

RIVISTA:

**NUCLEAR  
INSTRUMENTS AND  
METHODS IN PHYSICS  
RESEARCH A**

AMBITO DI RICERCA:

**FISICA SPERIMENTALE  
DELLE INTERAZIONI  
FONDAMENTALI,  
FISICA DEI RAGGI  
COSMICI, RIVELATORI DI  
PARTICELLE  
ELEMENTARI**



Dipartimento di Fisica

## INTRINSIC LINEARITY OF BAKELITE RESISTIVE PLATE CHAMBERS OPERATED IN STREAMER MODE



La “camera a elettrodi piani resistivi” (nota anche con l’acronimo RPC) è un rivelatore di particelle inventato da Rinaldo Santonico (storico docente del Dipartimento di Fisica) e Roberto Cardarelli (Primo Ricercatore presso la sezione di Roma Tor Vergata dell’INFN) agli inizi degli anni ’80 del XX secolo. Nelle sue evoluzioni più recenti, questo rivelatore è in grado di osservare il passaggio di particelle elementari elettricamente cariche con una sensibilità temporale di un milionesimo di

secondo o minore. È utilizzato nei più grandi esperimenti al Large Hadron Collider del CERN di Ginevra, ed è stato utilizzato anche in esperimenti di fisica dei raggi cosmici. L’esperimento ARGO-YBJ, realizzato da una collaborazione scientifica tra Italia e Cina, si è svolto tra il 2007 e il 2013 a Yangbajing, sull’altopiano del Tibet, a 4300 m di altezza. Ha permesso di ricostruire la struttura di “sciame atmosferico”, cioè sciame di particelle prodotti nell’atmosfera da raggi cosmici primari provenienti dallo spazio esterno e di svolgere studi di fisica delle caratteristiche dei raggi cosmici primari e delle sorgenti astronomiche di questi raggi cosmici, in particolare di sorgenti di radiazione gamma (resti di supernova nella nostra galassia, nuclei galattici attivi di altre galassie, ecc.). Per la ricostruzione di sciame atmosferico prodotti da raggi cosmici di altissima energia è stato necessario sfruttare una proprietà di “linearità” del rivelatore RPC: in un ampio intervallo di flusso di particelle cariche incidenti nello sciame atmosferico si osserva un segnale indotto su elettrodi metallici accoppiati al rivelatore di ampiezza proporzionale al flusso di particelle. Questa proprietà è stata misurata con precisione in test preliminari eseguiti presso i Laboratori Nazionali di Frascati dell’INFN, e i risultati sono descritti in dettaglio in questo articolo. Ciò ha permesso di estendere l’intervallo di energia dei raggi cosmici primari studiabili dall’esperimento ARGO-YBJ, che per questa ragione è stato il primo esperimento al mondo in grado di studiare i raggi cosmici su un intervallo di energia di ampiezza mai raggiunta prima. All’esperimento ha partecipato anche personale del Dipartimento di Fisica dell’Università di Roma “Tor Vergata”, svolgendo un ruolo cruciale nell’installazione dell’apparato sperimentale e nel monitoraggio delle prestazioni dell’apparato sperimentale durante tutti gli anni di funzionamento dell’esperimento.

## PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**CARACCIOLIO  
VINCENZO**

AUTORI:

**P. BELLI, R. BERNABEI,  
R.S. BOIKO, F. CAPPELLA,  
V. CARACCIOLIO, R.  
CERULLI, F.A. DANEVICH,  
A. DI MARCO, A.  
INCICCHITTI, B.N.  
KROPIVYANSKY, ET AL.**

RIVISTA:

**THE EUROPEAN  
PHYSICAL JOURNAL A**

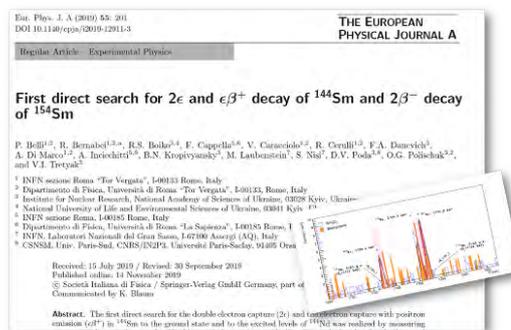
AMBITO DI RICERCA:

**DECADIMENTI NUCLEARI  
RARI E RELATIVA  
RICERCA DI NUOVA  
FISICA CONDOTTA  
PRESSO LABORATORI  
SOTTERRANEI DALLA  
COLLABORAZIONE  
SPERIMENTALE DAMA-  
KYIV**



Dipartimento di Fisica

## FIRST DIRECT SEARCH FOR $2\epsilon$ AND $\epsilon\beta^+$ DECAY OF $^{144}\text{Sm}$ AND $2\beta^-$ DECAY OF $^{154}\text{Sm}$



Il lavoro si concentra sulla ricerca di decadimenti estremamente difficili da osservare e, quindi, studiare. Essi si collocano nell'ambito dello sviluppo di moderni modelli nucleari. Inoltre, tale linea di ricerca può consentire di scandagliare alcuni fenomeni fisici oltre le attuali conoscenze.

L'intento, infatti, è di progredire nella comprensione di alcune leggi fondamentali dell'universo ed eventualmente scoprirne di nuove. In particolare, si è studiato per la prima volta una serie di modi di decadimento degli isotopi di  $^{144}\text{Sm}$  e  $^{154}\text{Sm}$  utilizzando un campione di samario metallico opportunamente impoverito dalla presenza in tracce di isotopi radioattivi e un rivelatore al germanio di alta radio-purezza. L'indagine si è concentrata nello studio di decadimenti doppio beta in tali isotopi. La ricerca ha consentito di spingere in avanti i limiti della conoscenza su tali processi. In particolare, si è studiato anche un fenomeno basato su un modello di particella elementare sviluppato dal fisico Italiano Majorana negli anni trenta. Tale particella è chiamata appunto neutrino di Majorana. Il modello è interessante perché una sua conferma può gettare nuova luce nello studio dell'evoluzione dell'universo e nella comprensione delle interazioni fondamentali tra particelle.

## PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**CASOLINO  
MARCO**

AUTORI:

F. CAPEL, A. BELOV, G.  
CAMBIÈ, M. CASOLINO,  
C. FORNARO, P. KLIMOV,  
L. MARCELLI, L. W.  
PIOTROWSKI, S.  
TURRIZIANI

RIVISTA:

J. OF ASTRONOMICAL  
TELESCOPES,  
K. INSTRUMENTS, AND  
SYSTEMS

AMBITO DI RICERCA:

ASTROFISICA SPAZIALE



Dipartimento di Fisica

## MINI-EUSO DATA ACQUISITION AND CONTROL SOFTWARE



Mini-EUSO (Multiwavelength Imaging New Instrument for the Extreme Universe Space Observatory), è un telescopio che osserva la Terra dal modulo russo Zvezda della ISS. È stato lanciato il 22 agosto 2019 con il veicolo spaziale Soyuz MS14 dal cosmodromo di Baikonur. È parte degli esperimenti

che l'ASI ha selezionato per la missione ESA BEYOND che Luca Parmitano ha effettuato sulla Stazione Spaziale ed è il primo che l'ASI fa volare nel segmento russo della Stazione Spaziale, grazie ad un accordo bilaterale ad hoc fra l'Agenzia Spaziale Italiana (ASI), ente finanziatore del progetto, e l'Agenzia Spaziale Russa (Roscosmos). Il contratto tra l'ASI e il Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata" – prime contractor della missione – si è concluso a giugno con la consegna – tra l'altro – dei primi dati e prime misure delle emissioni terrestri notturne in banda ultravioletta. L'apparato osserva la Terra registrando le emissioni ultraviolette di origine cosmica, atmosferica e terrestre. Il telescopio è in grado di effettuare osservazioni su diverse scale temporali, da qualche microsecondo in su, e di poter correlare i dati nell'ultravioletto con quelli provenienti da due telecamere supplementari, sensibili nelle bande del visibile e del vicino infrarosso. Lo strumento è stato acceso per la prima volta il 7 ottobre 2019 e acquisisce dati in accensioni periodiche: parte dei dati vengono trasmessi a terra via telemetria, mentre la maggior parte è spedita a terra periodicamente con dischi a stato solido. Le acquisizioni proseguiranno per un periodo di tre anni. L'articolo descrive l'apparato e il funzionamento della sua elettronica e acquisizione dati.

## PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**CASTRUCCI  
PAOLA**

AUTORI:

M. AGATI, P. CASTRUCCI,  
R. DOLBEC, M.A. EL  
KHAKANI, S. BONINELLI

RIVISTA:

PHYSICA STATUS  
SOLIDI B

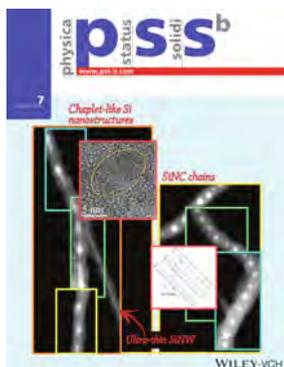
AMBITO DI RICERCA:

FISICA DELLA MATERIA  
SPERIMENTALE



Dipartimento di Fisica

## FORMATION OF HYBRID SILICON NANOSTRUCTURES VIA CAPILLARY INSTABILITY TRIGGERED IN INDUCTIVELY-COUPLED-PLASMA TORCH SYNTHESIZED ULTRA-THIN SILICON NANOWIRES



Una nuova frontiera della nanotecnologia è lo studio dei nanomateriali ibridi ottenuti dalla combinazione opportuna di nanostrutture (NS) zero-, uni- e bi-dimensionali. Poichè le proprietà ottiche ed elettroniche alla nanoscala dipendono dalla forma e dimensione delle NS, le NS ibride (NSH) offrono funzionalità inedite che sfruttano gli eventuali meccanismi sinergici tra i singoli costituenti. La fabbricazione delle NSH attraverso un processo di

riduzione delle dimensioni a partire da materiali massivi è spesso costosa e laboriosa, mentre la crescita ed auto-organizzazione delle NSH rappresentano una valida e possibile alternativa, anche se a volte meno controllabile. In questo scenario, abbiamo studiato la formazione di una variegata famiglia di NSH di silicio ( $Si$ ) incorporato in un guscio filiforme di ossido di silicio ( $SiO_x$ ) ottenute attraverso due passi successivi: 1) la sintesi di nanofili di  $Si$  ( $SiNW$ ) con la tecnica della torcia a plasma e 2) il loro riscaldamento termico post-sintesi in presenza di gas. Sofisticata tecniche basate sulla microscopia elettronica in trasmissione hanno permesso di analizzare immagini a risoluzione atomica di tali NSH, distinguendo il loro core di  $Si$  dall'involucro di  $SiO_x$ . Tale analisi ha evidenziato che, a temperature,  $T$  1200°C, i  $SiNW$  con diametro  $< 7$  nm si trasformano per la maggior parte in NS sferiche di  $Si$  mentre a  $T$  più basse la morfologia e la dimensione del core di  $Si$  dipende anche dal gas in cui avviene il riscaldamento. Abbiamo interpretato gli effetti osservati come dovuti a instabilità capillare indotta termicamente. Questo studio apre alla prospettiva di controllare in-situ la formazione di NS di  $Si$  incapsulate in gusci filiformi di  $SiO_x$  e, quindi, le loro proprietà optoelettroniche assenti nel  $Si$  massivo.

## PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**CERRITO  
LUCIO**

AUTORI:

L. CERRITO ET AL. (ATLAS  
COLLABORATION)

RIVISTA:

EUROPEAN PHYSICAL  
JOURNAL C

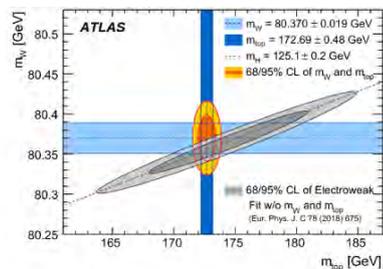
AMBITO DI RICERCA:

FISICA DELLE  
PARTICELLE  
ELEMENTARI



## Dipartimento di Fisica

### MEASUREMENT OF THE TOP QUARK MASS IN THE $t\bar{t} \rightarrow$ LEPTON+JETS CHANNEL FROM $\sqrt{s}=8$ TEV ATLAS DATA AND COMBINATION WITH PREVIOUS RESULTS



Comparison of indirect determinations and direct measurements of the top quark and  $W$  boson masses. The direct ATLAS measurements of  $m_W$  and  $m_{top}$  are shown as the horizontal and vertical bands, respectively. Their 68% and 95% confidence-level (CL) contours are compared with the corresponding results from the electroweak fit.

La massa di una particella elementare rappresenta l'energia conservata dalla particella stessa e ne caratterizza l'identità, ma il motivo per cui diversi tipi di particelle elementari hanno valori diversi di massa, anche enormemente diversi, rimane un mistero. A seguito della scoperta del bosone di Higgs, oggi sappiamo

che la massa delle particelle che formano la materia ha una corrispondenza con l'intensità dell'interazione tra queste particelle ed il campo di Higgs; particelle pesanti interagiscono fortemente mentre particelle leggere interagiscono debolmente con il campo di Higgs. Inoltre, fluttuazioni quantistiche che coinvolgono le particelle pesanti hanno ripercussioni sulla massa stessa del bosone di Higgs. Il quark denominato top è la particella elementare più pesante conosciuta; con una massa pari a circa 173 volte quella di un protone eguaglia quasi la massa complessiva del nucleo di un atomo d'oro. Perché il top è così pesante, e che conseguenze ha la sua fortissima interazione con il campo di Higgs? Per rispondere a queste domande, il comportamento del quark top viene studiato e confrontato con i calcoli teorici, e a tale scopo è necessario misurare la massa del top con estrema precisione. Questo lavoro riguarda l'analisi dei dati di produzione del quark top nelle collisioni protone-protone raccolti nel 2012 con l'esperimento ATLAS al Large Hadron Collider del CERN. Lo studio utilizza tecniche statistiche avanzate per derivare una misura accurata della massa del top e combinarla statisticamente con le misure precedenti. Il risultato è tra i più precisi mai ottenuti ed indica che la massa del top è pari a 172,69 Giga electronvolts con un'incertezza dello 0.27%, o  $\pm 0,48$  Giga electronvolts.

## PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**CERULLI  
RICCARDO**

AUTORI:

P. BELLI, R. BERNABEI,  
R.S. BOIKO, F. CAPPELLA,  
V. CARACCILO, R.  
CERULLI, F.A. DANEVICH,  
M.L. DI VACRI, A.  
INCICCHITTI, B.N.  
KROPIVYANSKY, M.  
LAUBENSTEIN, S. NISI,  
D.V. PODA, O.G.  
POLISCHUK, V.I. TRETYAK

RIVISTA:

NUCLEAR PHYSICS A

AMBITO DI RICERCA:

DOPPIO  
DECADIMENTO BETA,  
PROCESSI NUCLEARI  
RARI, TECNICHE  
SPERIMENTALI DI  
BASSO FONDO IN  
SITO SOTTERRANEO  
NELL'AMBITO DEL  
PROGETTO DAMA



Dipartimento di Fisica

## FIRST SEARCH FOR $2e$ AND $e\beta^+$ PROCESSES IN $^{168}\text{Yb}$



Il doppio decadimento beta è un processo nucleare raro che vede la trasformazione di due neutroni (o protoni) di un nucleo in due protoni (o neutroni) e l'emissione di due elettroni (o positroni) e di due anti-neutrini (o neutrini). Il doppio decadimento beta con emissione di due neutrini è stato osservato per vari isotopi con tempi di decadimento  $10^{19} - 10^{24}$  anni. Attualmente molti sforzi sono dedicati allo studio del doppio decadimento beta senza emissione di neutrini, possibile solo se il neutrino

è una particella con una massa non nulla e se la legge di conservazione del numero leptonico di sapore è violata. In tal caso il neutrino sarebbe una particella di Majorana, descritta dalla teoria dal noto fisico, e si farebbe strada nuova fisica oltre l'attuale Modello Standard delle particelle. Il modo di decadimento studiato in questo lavoro è detto di doppia cattura elettronica ( $2e$ ) e prevede la cattura di due elettroni dalla shell atomica del nucleo e la trasformazione di due protoni in neutroni con l'emissione di due neutrini. È stata esaminata anche la cattura elettronica singola con emissione di un positrone ed un neutrino ( $e\beta^+$ ). Questo lavoro descrive la prima ricerca del decadimento  $2e$  dell'isotopo Itterbio-168, realizzata ai Laboratori sotterranei del Gran Sasso, che potrebbe giovare di un effetto di risonanza che ne aumenterebbe di molto la probabilità del decadimento. In particolare, si è effettuata una misura con 371 g di ossido di Itterbio purificato con tecniche radiochimiche molto avanzate e inserito in uno spettrometro  $\gamma$  di alta sensibilità. Non è stato osservato nessun evento da tale decadimento e sono stati quindi posti limiti inferiori sul tempo di vita media dei vari modi di decadimento fino a  $10^{18}$  anni. Misure ancora più sensibili sono previste in futuro.

# PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**CESARINI  
ELISABETTA**

AUTORI:

**E. CESARINI ET AL.  
(VIRGO  
COLLABORATION &  
LIGO COLLABORATION)**

RIVISTA:

**THE ASTROPHYSICAL  
JOURNAL LETTERS**

AMBITO DI RICERCA:

**ONDE  
GRAVITAZIONALI,  
ASTROFISICA,  
BINARIE  
DI BUCHI NERI**



## Dipartimento di Fisica

# BINARY BLACK HOLE POPULATION PROPERTIES INFERRED FROM THE FIRST AND SECOND OBSERVING RUNS OF ADVANCED LIGO AND ADVANCED VIRGO

Sono presentati i risultati sulle distribuzioni di massa, spin e spostamento verso il rosso delle dieci fusioni binarie di buchi neri rilevate nel primo e nel secondo run osservativo di Advanced LIGO e Advanced Virgo. Man mano che il catalogo BBH cresce nelle future sessioni di osservazione, ci aspettiamo che le incertezze nei parametri del modello di popolazione si ridurranno, fornendo potenzialmente informazioni sulla formazione di buchi neri tramite supernove, interazioni binarie di stelle massicce, dinamiche degli ammassi stellari e la storia della formazione del nero buchi nel tempo cosmico.



## PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**CIANCHI  
ALESSANDRO**

AUTORI:

V. SHPAKOV, M. P.  
ANANIA, M.  
BELLAVEGLIA, A.  
BIAGIONI, F. BISESTO, F.  
CARDELLI, M. CESARINI,  
E. CHIADRONI, A.  
CIANCHI, ET AL.

RIVISTA:

PHYSICAL REVIEW  
LETTERS

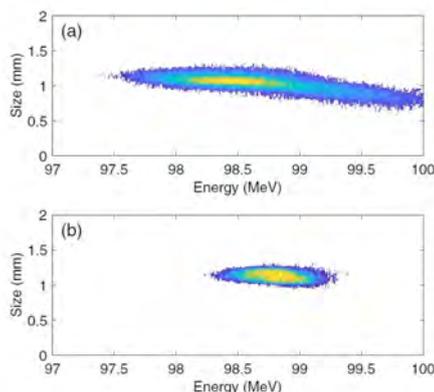
AMBITO DI RICERCA:

FISICA DEGLI  
ACCELERATORI DI  
PARTICELLE



Dipartimento di Fisica

## LONGITUDINAL PHASE-SPACE MANIPULATION WITH BEAM-DRIVEN PLASMA WAKEFIELDS



Lo sviluppo di acceleratori compatti ed economici che forniscano fasci ad alta luminosità per applicazioni industriali, mediche e di ricerca è uno dei più importanti compiti nel campo della fisica degli acceleratori di particelle. Gli acceleratori al plasma rappresentano una grande speranza in questo senso. Tali macchine oggi producono fasci di

particelle con uno spettro di energie troppo largo per le applicazioni che si propongono di pilotare. In questo articolo viene presentato un nuovo approccio che permette di manipolare lo spazio delle fasi longitudinale di un fascio di particelle con un dispositivo anch'esso al plasma. L'onda di plasma generata da un fascio chiamato "driver" viene usata per ridurre la dispersione di energia di un fascio che lo segue, detto "witness". Nell'articolo è data la dimostrazione sperimentale di questo effetto, mostrando la grande versatilità della soluzione proposta. Infatti lo strumento può essere accordato alle particolari esigenze cambiando la densità di plasma o quella del fascio di elettroni (in questo caso focalizzandolo più o meno). È facile prevedere che l'uso concomitante di uno stadio di accelerazione al plasma e uno di compensazione della dispersione in energia come quello qui presentato, possano in futuro pilotare una sorgente di radiazione, come un Free Electron Laser (FEL), un dispositivo che permette di indagare la materia fino al livello atomico e con risoluzioni temporali che consentono di vedere avvenire le reazioni chimiche e biologiche.

## PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**CIMINI  
GIULIO**

AUTORI:

G. CIMINI, T. SQUARTINI,  
F. SARACCO, D.  
GARLASCHELLI, A.  
GABRIELLI, G.  
CALDARELLI

RIVISTA:

NATURE REVIEWS  
PHYSICS

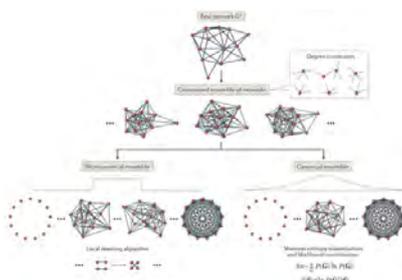
AMBITO DI RICERCA:

FISICA STATISTICA  
DELLE RETI COMPLESSE



Dipartimento di Fisica

## THE STATISTICAL PHYSICS OF REAL-WORLD NETWORKS



Negli ultimi 15 anni, la fisica statistica è stata applicata con successo nella modellizzazione di reti complesse. Dal punto di vista teorico, questo approccio ha svelato una varietà di fenomeni fisici, come l'insorgenza di statistiche miste Fermi-Bose e la non equivalenza degli ensemble

statistici, che si osservano in reti eterogenee ma non in sistemi omogenei. Allo stesso tempo, grazie alla profonda connessione tra il principio di massima entropia e la teoria dell'informazione, l'approccio di fisica statistica ha portato alla definizione di modelli nulli di rete che riproducono alcune caratteristiche osservate empiricamente ma che sono altrimenti massimamente random. Questo lavoro di rassegna tratta l'approccio della fisica statistica e i modelli nulli per le reti complesse, concentrandosi in particolare sui modelli analitici che riproducono le caratteristiche locali della rete. Viene mostrato come questi modelli sono stati utilizzati sia per rilevare caratteristiche statisticamente significativi nelle reti empiriche, sia per ricostruire la struttura della rete in caso di informazioni incomplete. Inoltre, vengono recensiti i modelli statistici che riproducono caratteristiche di reti più complesse (semi-locali) utilizzando metodi di Markov chain Monte Carlo, nonché modelli generalizzati di strutture a rete, come reti "multiplex", reti interagenti e complessi simpliciali.

# PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**CIRILLO  
MATTEO**

AUTORI:

**O. S. DEWEY, R. J.  
HEADRICK, L. W. TAYLOR,  
M. PASQUALI, G.  
PRESTOPINO, G.  
VERONA RINATI, M.  
LUCCI, M. CIRILLO**

RIVISTA:

**APPLIED PHYSICS  
LETTERS**

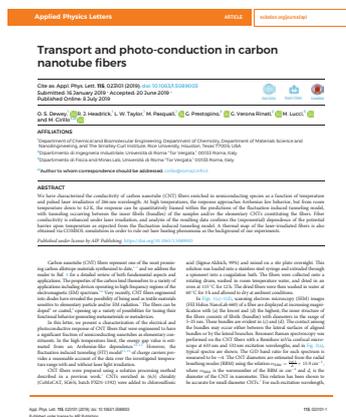
AMBITO DI RICERCA:

**FISICA DELLA MATERIA**



## Dipartimento di Fisica

# TRANSPORT AND PHOTO-CONDUCTION IN CARBON NANOTUBE FIBERS



Le proprietà di trasporto elettrico e fotoconduzione di fibre realizzate con nanotubi di carbonio a parete singola (Single Wall Carbon Nanotubes, SWCNT) sono un argomento di notevole interesse per la struttura della materia e la scienza dei materiali. I SWCNT sono dei tubi di pochi nanometri di diametro (in media 0.76 nanometri nel nostro caso) realizzati da un "foglio" costituito da un singolo strato di atomi di carbonio (grafene). Il lavoro presentato per la rassegna Dipartimentale è sta-

to reso possibile dalla collaborazione con il gruppo di ricerca del Professor Matteo Pasquali che dirige, alla RICE University di Houston (Texas, USA), le attività scientifiche del laboratorio creato da Richard Errett Smalley (Premio Nobel per la Chimica nel 1996 per la scoperta del fullerene, assieme a H. W. Kroto e R. F. Curl jr). In questo laboratorio sono state prodotte e caratterizzate strutturalmente le fibre utilizzate per gli esperimenti, originate da nanotubi di natura semiconduttiva. Le proprietà di trasporto e fotoconduzione sono state valutate mediante misure di caratteristiche corrente-tensione, variando la temperatura in un intervallo tra i 4K e 350K ed illuminando le fibre, in modo intermittente, con un laser di lunghezza d'onda di 266nm. Al lavoro ha contribuito il gruppo del Prof. Gianluca Verona Rinati del Dipartimento di Ingegneria Industriale del nostro Ateneo. L'intervallo di banda stimato (energy-gap) in condizioni di bassa corrente e bassa temperatura è di circa 1.1 eV, mentre ad alte temperature è di circa 12.6 meV. La variazione di conducibilità osservata sotto irraggiamento laser rende le fibre promettenti come possibili rivelatori uni-dimensionali (1D) di radiazione e/o particelle, con possibilità di estensioni anche a rivelatori 2D o 3D.

## PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**D'ANGELO  
ANNALISA**

AUTORI:

CLAS COLLABORATION -  
B. SCHMOOKLER, A.  
D'ANGELO ET AL.

RIVISTA:

NATURE

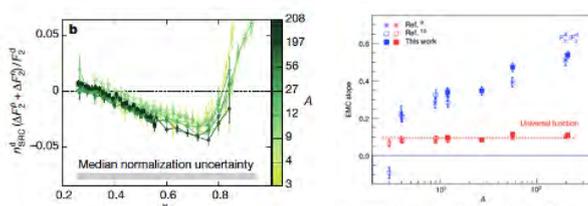
AMBITO DI RICERCA:

FISICA NUCLEARE



## Dipartimento di Fisica

### MODIFIED STRUCTURE FUNCTIONS OF PROTONS AND NUCLEONS IN CORRELATED PAIRS



I nuclei sono composti da protoni e neutroni (detti nucleoni), a loro volta composti da quark e gluoni. Ma come viene modificata la struttura interna di

un nucleone quando si trova legato all'interno di un nucleo? 35 anni fa la collaborazione EMC (European Muon Collaboration) che aveva osservato che la sezione d'urto di diffusione profondamente anelastica da nuclei atomici era diversa da quella ottenuta sullo stesso numero di protoni e neutroni liberi. Ciò è sorprendente perché l'energia di legame per nucleone è trascurabile rispetto all'energia trasferita nel processo profondamente anelastico. L'effetto, che prese il nome di "effetto EMC", implica che la distribuzione di impulso dei quark all'interno dei nucleoni legati è diversa da quella all'interno dei nucleoni liberi e costituisce uno dei problemi irrisolti della fisica nucleare. La collaborazione CLAS ha investigato la possibilità che la spiegazione risieda nella modifica della distribuzione di impulso dei costituenti interni dei nucleoni legati quando fluttuano in un stretto contatto di coppia con un altro nucleone (short-range correlations SRC). Effettuando misure di elevata precisione sia della diffusione profondamente anelastica sia della diffusione quasi-elastica su nuclei di deuterio e su nuclei a numero di nucleoni crescente dall'Al al Pb ha correlato l'effetto EMC all'abbondanza delle correlazioni a corto range tra nucleoni dimostrando che esiste una modifica "universale" della struttura interna dei nucleoni dovuta alle SRC tra le coppie protone-neutrone nei nuclei. La forma di questa curva universale è riportata in Figura. Poiché i neutroni liberi non esistono in natura, la funzione di distorsione universale riportata in Figura consentirà anche di ricavare la struttura interna dei neutroni liberi a partire dalle misure su quelli legati.

Nell'immagine: (Sinistra) Curva universale di variazione della struttura interna dei nucleoni nei nuclei in funzione della frazione di impulso portata dai quark nel nucleone. La tonalità di colore è riferita ai nuclei rappresentati sulla scala. (Destra) Dipendenza dal numero di nucleoni A dell'effetto EMC (simboli blu) e della curva universale riportata a sinistra (simboli rossi).

## PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**D'ANTONIO  
SABRINA**

AUTORI:

S. D'ANTONIO, C.  
PALOMBA, S. FRASCA,  
G. INTINI, I. LA ROSA, P.  
LEACI, S.  
MASTROGIOVANNI, A.  
MILLER, F. MUCIACCIA,  
O. J. PICCINNI, AND A.  
SINGHAL

RIVISTA:

PHYSICAL REVIEW D

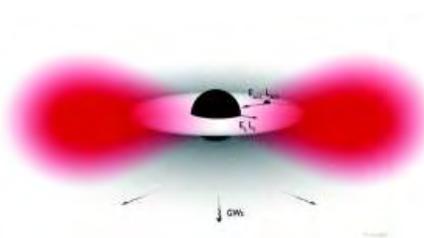
AMBITO DI RICERCA:

STUDIO DELLA  
RADIAZIONE  
GRAVITAZIONALE  
EMESSA DA STELLE DI  
NEUTRONI E SISTEMI DI  
NUVOLE DI  
PARTICELLE BOSONICHE  
INTORNO A  
BUCHI NERI RUOTANTI



Dipartimento di Fisica

## A SEMI-COHERENT ANALYSIS METHOD TO SEARCH FOR CONTINUOUS GRAVITATIONAL WAVES EMITTED BY ULTRA-LIGHT BOSON CLOUDS AROUND SPIN- NING BLACK HOLES



Rappresentazione di una nuvola bosonica intorno ad un buco nero ruotante.  
[Credits: Ana Sousa]

Il lavoro presenta un metodo per effettuare una ricerca su tutto il cielo di segnali gravitazionali continui, ossia presenti per lunghi periodi temporali, emessi da nuvole di particelle bosoniche ultra-leggere che, secondo recenti previsioni teoriche, si sviluppano intorno ai buchi neri ruotanti. Que-

sti segnali sono potenzialmente rivelabili dall'attuale rete interferometrica costituita dai due rivelatori di onde gravitazionali LIGO (uno nello stato di Washington ed uno in Louisiana) e Virgo (vicino Pisa). Nel lavoro si descrivono le caratteristiche di emissione del segnale gravitazionale atteso da questo eccezionale sistema "buco nero ruotante-nuvola bosonica". In particolare, si mostra come la frequenza, l'ampiezza e la durata del segnale siano legate alle caratteristiche fisiche della sorgente: massa del buco nero e spin, massa della particella, distanza del sistema dall'osservatorio. Si analizzano inoltre le proprietà di quei sistemi che possono generare un segnale rivelabile dagli interferometri sulla base della stima della loro sensibilità durante il periodo di presa dati O2 (da novembre 2016 ad agosto 2017). L'esistenza di questi eccezionali oggetti, se confermati, consentirebbe di sondare il mondo delle particelle e della materia oscura attraverso il canale gravitazionale.

## PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**DE CRESCENZI  
MAURIZIO**

AUTORI:

**M. GALBIATI, N. MOTTA,  
M. DE CRESCENZI, L.  
CAMILLI**

RIVISTA:

**APPLIED PHYSICS  
REVIEWS**

AMBITO DI RICERCA:

**FISICA DELLA MATERIA**



## Dipartimento di Fisica

### GROUP-IV 2D MATERIALS BEYOND GRAPHENE ON NONMETAL SUBSTRATES: CHALLENGES, RECENT PRO- GRESS, AND FUTURE PERSPECTIVES



L'isolamento del grafene - un singolo strato di atomi di carbonio legati in un reticolo esagonale - ha attratto enorme attenzione sia nel mondo accademico che industriale grazie alla sua eccezionali proprietà. In particolare, grazie alla sua grande mobilità del portatore di carica elettrica e spessore monoatomico, il grafene è stato proposto come opzione praticabile che potrebbe spingere le prestazioni dell'attuale tecnologia dell'informazione oltre i suoi confini tradizionali.

Tuttavia, la mancanza di un intervallo di energia proibita (energy band-gap) è un problema significativo che ha finora ostacolato la sua integrazione in dispositivi logici digitali. Infatti, i transistor ad effetto di campo (FET) con un canale a base di grafene mostrano scarse capacità di commutazione o un basso rapporto di corrente on-off, che a sua volta dà luogo a un enorme consumo di energia. In questo scenario, materiali del gruppo IV, simili al grafene (chiamati anche X-eni), come silicene, germanene e stanene, sono stati recentemente proposti come potenziali alternative. Pertanto, la crescita di X-eni su substrati non metallici e inerti è di fondamentale importanza al fine di (i) ottenere maggiori informazioni sui loro proprietà elettroniche intrinseche e (ii) ne facilitano la realizzazione di dispositivi elettronici nanostrutturati. In questo lavoro si riporta lo stato dell'arte dei recenti progressi nella deposizione di Silicio [M. De Crescenzi, I. Berbezier, M. Scarselli, P. Castrucci, M. Abbarchi, A. Ronda, F. Jardali, J. Park, H. Vach, ACS Nano 10, 11163 (2016)], Germanio e Stagno su substrati non metallici, con particolare attenzione ai risultati sperimentali più convincenti supportati da caratterizzazione strutturale su scala atomica del foglio 2D cresciuto in epitassia con il substrato.

# PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**DE DIVITIIS  
GIULIA MARIA**

AUTORI:

**G M. DE DIVITIIS, J., P.  
FRITZSCH, JOCHEN  
HEITGER, C. C. KÖSTER,  
S. KUBERSKI, A.  
VLADIKAS**

RIVISTA:

**EUROPEAN PHYSICAL  
JOURNAL**

AMBITO DI RICERCA:

**TEORIA DEI CAMPI, QCD  
SU RETICOLO,  
RINORMALIZZAZIONE**



## Dipartimento di Fisica

# NON-PERTURBATIVE DETERMINATION OF IMPROVEMENT COEFFICIENTS $B_M$ AND $B_A - B_P$ AND NORMALISATION FACTOR $Z_M Z_P / Z_A$ WITH $N_F = 3$ WILSON FERMIONS



Le interazioni forti possono essere studiate con metodi perturbativi solo alle alte energie, mentre alle scale di energie tipiche delle masse degli adroni è necessario utilizzare simulazioni numeriche di Monte Carlo. La QCD (cromo dinamica quantistica) viene definita su uno spazio tempo discretizzato, il reticolo, che costituisce lo strumento per gestire ed eliminare il problema delle divergenze nei calcoli. Gli artefatti reticolari dovuti ad una particolare discretizzazione possono essere ridotti per raggiungere più rapidamente il limite del continuo della teoria. L'azione di partenza e gli operatori interpolanti vengono in questo senso migliorati introducendo nuovi termini pesati per opportuni coefficienti. Lo scopo dell'articolo è la determinazione di alcuni tra i coefficienti del programma di miglioramento della discretizzazione dei fermioni di Wilson.

## PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**DE GASPERIS  
GIANCARLO**

AUTORI:

A. MANGILLI, J.  
AUMONT, J. PH.  
BERNARD, A. BUZZELLI,  
G. DE GASPERIS, G. ET  
AL.

RIVISTA:

**ASTRONOMY &  
ASTROPHYSICS**

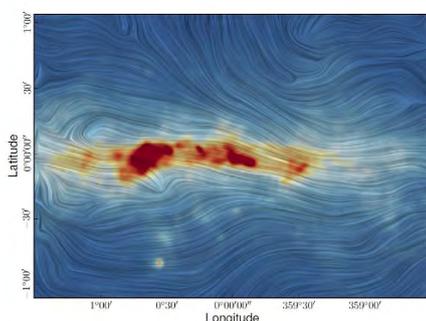
AMBITO DI RICERCA:

**ASTROFISICA**



Dipartimento di Fisica

## THE GEOMETRY OF THE MAGNETIC FIELD IN THE CENTRAL MOLECULAR ZONE MEASURED BY PILOT



L'esperimento PILOT è progettato per osservare nell'infrarosso lontano a 240 micron, un dominio spettrale in cui la radiazione dal cielo è completamente bloccata dall'atmosfera terrestre. Per raggiungere questo obiettivo il telescopio viene portato nella stratosfera a 40 km da un pallone. Nell'infrarosso lontano l'emissione

del cielo è dominata dalla radiazione termica di minuscole particelle di polvere che sono intimamente mescolate con il gas interstellare. PILOT è progettato per misurare la polarizzazione di questa radiazione prodotta da particelle di polvere allungate e parzialmente allineate con il campo magnetico interstellare. Questa misura ci consente di osservare la geometria del campo magnetico che modella le strutture filamentose nello spazio e si ritiene svolga un ruolo importante nella formazione stellare. Durante il secondo volo di PILOT, avvenuto da Alice Springs, in Australia, le osservazioni si sono concentrate su regioni del cielo visibili solo dall'emisfero australe. Tra questi, il centro della Galassia è un obiettivo importante perché la zona molecolare centrale che circonda il centro della Galassia è la regione più densa e più luminosa del mezzo interstellare. È la prima volta che questa regione viene osservata in polarizzazione nell'infrarosso lontano, vicino al picco di emissione di polvere, con una risoluzione angolare così buona (2 minuti d'arco). La direzione di polarizzazione osservata è coerente con quella vista a diversa frequenza dal satellite Planck, e con un campo magnetico sostanzialmente allineato al piano della nostra galassia. Le misurazioni forniranno la migliore visione della struttura del campo magnetico nella zona molecolare centrale. Questo può aiutare a capire il tasso di formazione stellare estremamente alto di questa regione.

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

DE SANCTIS  
UMBERTO

AUTORI:

U. DE SANCTIS ET AL.  
(ATLAS  
COLLABORATION)

RIVISTA:

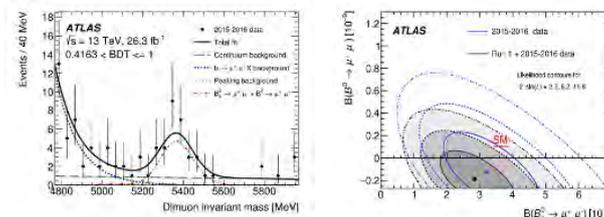
JOURNAL OF HIGH  
ENERGY PHYSICS

AMBITO DI RICERCA:

FISICA DELLE  
PARTICELLE  
ELEMENTARI



STUDY OF THE RARE DECAYS OF  $B^0_s$  AND  $B^0$  MESONS INTO MUON PAIRS USING DATA COLLECTED DURING 2015 AND 2016 WITH THE ATLAS DETECTOR



Lo studio dei decadimenti ultra-rari dei mesoni  $B^0$  e  $B^0_s$  in due muoni costituisce uno dei test principali delle previsioni del Modello Standard (SM) della

fisica delle particelle e uno dei canali più puliti per la ricerca di nuovi fenomeni non ancora previsti da tale modello. Questi decadimenti sono infatti predetti con grande precisione e hanno infatti una probabilità di decadimento dell'ordine di  $10^{-9} - 10^{-10}$ : ogni deviazione significativa da queste predizioni sarebbe quindi un segnale inequivocabile della presenza di Nuova Fisica oltre lo SM. Questo risultato è stato ottenuto analizzando i dati raccolti dall'esperimento ATLAS sia durante il Run1 (ad un'energia nel centro di massa  $\sqrt{s} = 7$  e  $8$  TeV) che nel periodo 2015-2016 del Run2 (ad un'energia nel centro di massa  $\sqrt{s} = 13$  TeV) del Large Hadron Collider (LHC) al CERN di Ginevra per un totale di 51.3 fb $^{-1}$ . L'analisi consiste nella ricostruzione esplicita del decadimento dei mesoni  $B^0$  e  $B^0_s$  in due muoni attraverso un fit in massa invariante dei due muoni  $m_{\mu\mu}$  per estrarre i due tassi di decadimento (BR). Quattro regioni in  $m_{\mu\mu}$  corrispondenti a diversi valori del rapporto segnale/fondo (S/B) sono state individuate e un fit è stato eseguito per estrarre i due tassi di decadimento simultaneamente. In Fig.1 a sinistra è possibile vedere la distribuzione di  $m_{\mu\mu}$  nella regione con S/B maggiore. In Fig.1 a destra sono mostrati i valori misurati dei due BR assieme alla predizione dello SM (in rosso). Il valore misurato di  $BR(B_s \rightarrow \mu\mu) = (2.8^{+0.8}_{-0.7}) \times 10^{-9}$  (corrispondente a un'evidenza statistica del decadimento di  $4.6\sigma$ ) mentre per il decadimento  $B^0 \rightarrow \mu\mu$  è stato posto un limite superiore sul  $BR(B^0 \rightarrow \mu\mu)$  di  $2.1 \times 10^{-9}$ . Entrambi i risultati sono compatibili con le predizioni dello SM ad un livello di compatibilità statistica di  $2.4\sigma$ .

## PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**DEL MORO  
DARIO**

AUTORI:

S.V. VEETIL, C.  
CESARONI, F. BERRILI, F.  
RODRIGUEZ, L. SPOGLI,  
D. DEL MORO, ET AL.

RIVISTA:

JOURNAL OF SPACE  
WEATHER AND SPACE  
CLIMATE

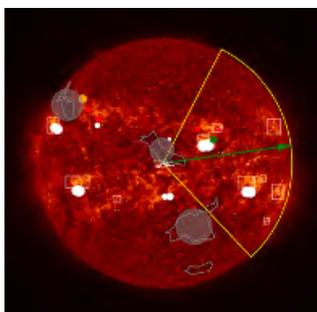
AMBITO DI RICERCA:

FISICA SPAZIALE,  
RELAZIONI SOLE-TERRA



Dipartimento di Fisica

## THE IONOSPHERE PREDICTION SERVICE PROTOTYPE FOR GNSS USERS



Condizioni ionosferiche anomale dovute ad effetti di attività solare possono degradare la funzionalità del sistema globale di navigazione satellitare (GNSS). Con la crescente dipendenza dal GNSS per molte applicazioni della vita moderna, le previsioni dello stato della ionosfera possono contribuire alla comprensione e alla mitigazione dell'impatto di questi effetti sulla

nostra società basata sulla tecnologia. In questo contesto, è stato lanciato il progetto Ionosphere Prediction Service (IPS) per disegnare e sviluppare una piattaforma prototipo per tradurre la previsione degli effetti ionosferici in un servizio personalizzato per comunità di utenti GNSS specifiche. Per raggiungere questo obiettivo generale, quattro diversi gruppi di prodotti che si occupano di attività solare, attività ionosferica, prestazioni del ricevitore GNSS e prestazioni del servizio hanno realizzato una catena di servizi, disponibile tramite una piattaforma web. Questo lavoro fornisce una panoramica del progetto IPS descrivendone l'architettura complessiva, i prodotti e la piattaforma.

Nell'immagine: Immagine del sole in UV ottenuta dal satellite SDO, con sovrapposti indicatori per vari eventi di attività solare (ombra grigia: buchi coronali, box e cerchi bianchi: regioni attive, cerchi rossi: brillamenti, cerchi arancio: espulsioni di filamenti) e una stima della sorgente (cerchio verde) direzione (vettore verde) e dimensione angolare (settore giallo) di una espulsione di massa coronale diretta verso la Terra.

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

DI CIACCIO  
ANNA

AUTORI:

A. DI CIACCIO ET AL  
(ATLAS  
COLLABORATION)

RIVISTA:

PHYSICAL REVIEW  
LETTERS

AMBITO DI RICERCA:

FISICA DELLE  
PARTICELLE  
ELEMENTARI



## COMBINATION OF SEARCHES FOR INVISIBLE HIGGS BOSON DECAYS WITH THE ATLAS EXPERIMENT

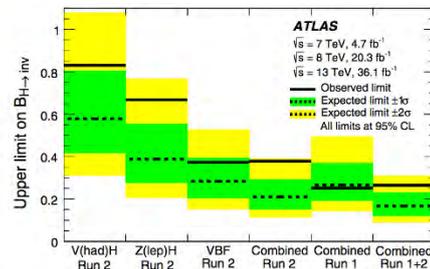


FIG. 2. The observed and expected upper limits on  $B_{H \rightarrow \text{inv}}$  at 95% C.L. from direct searches for invisible decays of the 125 GeV Higgs boson and their statistical combinations in Run 1 and 2.

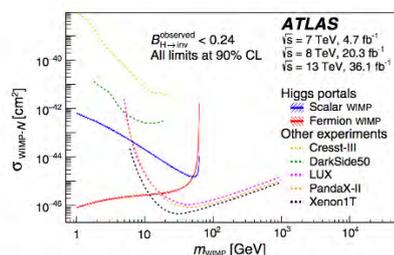


FIG. 3. Comparison of the upper limits at 90% C.L. from direct detection experiments [58–62] on the spin-independent WIMP-nucleon scattering cross section to the observed exclusion limits from this analysis, assuming Higgs portal scenarios where the 125 GeV Higgs boson decays to a pair of DM particles [33,63]. The regions above the limit contours are excluded in the range shown in the plot.

Eventuali particelle di materia oscura, se esistenti e se sufficientemente leggere, possono essere rivelate nei decadimenti del Bosone di Higgs (H). Questo lavoro presenta una combinazione statistica di ricerche dei decadimenti della particella H in decadimenti invisibili (ovvero in particelle neutre che non interagiscono nel rivelatore) in cui il Bosone di Higgs viene prodotto secondo il Modello Standard nei processi di fusione bosone vettoriale,  $Z(\ell\ell)H$  e  $W/Z$  (adroni)  $H$ , processi che sono stati studiati con il rivelatore ATLAS al collisore LHC del CERN di Ginevra usando  $36.1 \text{ fb}^{-1}$  di collisioni protone-protone prodotte ad un'energia del centro di massa di

13 TeV, in combinazione con i risultati a 7 e 8 TeV. Tale processo non è stato osservato per cui è stato posto un limite di esclusione al decadimento dell' Higgs in particelle invisibili di 0,26 al 95% di livello di confidenza.

PUBBLICAZIONI:  
UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

DI SCIASCIO  
GIUSEPPE

AUTORI:

B. BARTOLI, P.  
BERNARDINI, X. J. BI, G.  
DI SCIASCIO ET AL.

RIVISTA:

THE ASTROPHYSICAL  
JOURNAL

AMBITO DI RICERCA:

ASTRONOMIA  
GAMMA



Dipartimento di Fisica

## SEARCH FOR GAMMA-RAY EMISSION FROM THE SUN DURING SOLAR MINIMUM WITH THE ARGO-YBJ EXPERIMENT

The Astrophysical Journal, 872:145 (9pp), 2019 February 20

<https://doi.org/10.3847/1538-4357/ab0608>

Search for Gamma-Ray Emission from the Sun during Solar Minimum with the ARGO-YBJ Experiment

B. Bartoli<sup>1,2</sup>, P. Bernardini<sup>1,4</sup>, X. J. Bi<sup>5,6</sup>, S. Catalani<sup>1,2</sup>, S. Z. Chen<sup>7</sup>, T. L. Chen<sup>8</sup>, S. W. Cui<sup>9</sup>, B. Z. Dai<sup>10</sup>, A. D'Amico<sup>11</sup>, Danzhenjia<sup>12</sup>, L. De Miri<sup>13</sup>, B. D'Emilio Piaroli<sup>14</sup>, T. Di Girolamo<sup>15</sup>, G. Di Sciacio<sup>16</sup>, C. F. Feng<sup>17</sup>, Zhaoyong Feng<sup>18</sup>, Zhongyong Feng<sup>19</sup>, W. Guo<sup>20</sup>, Q. H. Guo<sup>21</sup>, Y. Q. Guo<sup>22</sup>, H. H. He<sup>23</sup>, Haijun He<sup>24</sup>, Hongbo He<sup>25</sup>, M. Inceoglu<sup>26</sup>, R. Jappi<sup>27</sup>, H. Y. Jia<sup>28</sup>, Labicini<sup>29</sup>, H. J. Li<sup>30</sup>, Z. Li<sup>31</sup>, C. Liu<sup>32</sup>, J. Liu<sup>33</sup>, M. Y. Liu<sup>34</sup>, H. Lu<sup>35</sup>, L. Lu<sup>36</sup>, X. H. Ma<sup>37</sup>, X. H. Ma<sup>38</sup>, G. Marcellini<sup>39</sup>, S. M. Marzi<sup>40</sup>, G. Maricini<sup>41</sup>, S. Matsuura<sup>42</sup>, P. Mezzanani<sup>43</sup>, C. C. Ni<sup>44</sup>, L. Perrotti<sup>45</sup>, P. Piantoni<sup>46</sup>, P. Salati<sup>47</sup>, R. Santonicci<sup>48</sup>, P. R. Shen<sup>49</sup>, X. D. Shen<sup>50</sup>, F. Shi<sup>51</sup>, A. Suda<sup>52</sup>, Y. H. Tan<sup>53</sup>, P. Valliani<sup>54</sup>, S. Vemuri<sup>55</sup>, C. Vignati<sup>56</sup>, H. Wang<sup>57</sup>, C. Y. Wu<sup>58</sup>, H. R. Wu<sup>59</sup>, Q. Y. Yang<sup>60</sup>, X. C. Yang<sup>61</sup>, Z. G. Yao<sup>62</sup>, A. F. Yuan<sup>63</sup>, M. Zhu<sup>64</sup>, H. M. Zhang<sup>65</sup>, T. Zhang<sup>66</sup>, X. Y. Zhang<sup>67</sup>, Y. Zhang<sup>68</sup>, J. Zhao<sup>69</sup>, Zhousheng<sup>70</sup>, Zhousheng<sup>71</sup>, X. N. Zhou<sup>72</sup>, F. R. Zhu<sup>73</sup>, and Q. Q. Zhu<sup>74</sup> (The ARGO-YBJ Collaboration)

<sup>1</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Napoli "Napoli 1", Complesso Universitario di Monte Sant'Angelo, via Cintia, I-80126 Napoli, Italy  
<sup>2</sup> Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione di Napoli, Complesso Universitario di Monte Sant'Angelo, via Cintia, I-80126 Napoli, Italy  
<sup>3</sup> Dipartimento Matematica e Fisica "Enrico De Giorgi", Università del Salento, via per Amantea, I-73100 Lecce, Italy  
<sup>4</sup> Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione di Lecce, via per Amantea, I-73100 Lecce, Italy  
<sup>5</sup> Key Laboratory of Particle Astrophysics, Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, P. O. Box 918, 305049 Beijing, People's Republic of China  
<sup>6</sup> School of Physical Sciences, University of Chinese Academy of Sciences, 100049 Beijing, People's Republic of China  
<sup>7</sup> Tsinghua University, 100084 Beijing, People's Republic of China  
<sup>8</sup> Institute of Space and Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, P. O. Box 918, 305049 Beijing, People's Republic of China  
<sup>9</sup> Institute of Space and Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, P. O. Box 918, 305049 Beijing, People's Republic of China  
<sup>10</sup> Institute of Space and Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, P. O. Box 918, 305049 Beijing, People's Republic of China  
<sup>11</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>12</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>13</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>14</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>15</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>16</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>17</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>18</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>19</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>20</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>21</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>22</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>23</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>24</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>25</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>26</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>27</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>28</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>29</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>30</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>31</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>32</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>33</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>34</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>35</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>36</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>37</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>38</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>39</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>40</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>41</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>42</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>43</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>44</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>45</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>46</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>47</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>48</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>49</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>50</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>51</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>52</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>53</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>54</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>55</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>56</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>57</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>58</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>59</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>60</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>61</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>62</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>63</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>64</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>65</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>66</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>67</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>68</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>69</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>70</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>71</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>72</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>73</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy  
<sup>74</sup> Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata", via della Ricerca Scientifica 1, I-00133 Roma, Italy

**Abstract**  
The hadronic interaction of cosmic rays with solar atmosphere can produce high energy gamma-rays. The gamma-ray luminosity is correlated both with the flux of primary cosmic rays and the intensity of the solar magnetic field. The gamma-rays below 200 GeV have been observed by *Fermi* without any evident energy cutoff. The high-energy gamma-ray flux above 100 GeV has been detected only during solar minimum. The only available data in the TeV range come from the HAWC observations, however, outside the solar minimum. The ARGO-YBJ data set has been used to search for sub-TeV/TeV gamma-rays from the Sun during the solar minimum from 2008 to 2010, the same time period covered by the *Fermi* data. A suitable model containing the Sun shadow, solar disk emission, and inverse-Compton emission has been developed, and the chi-square minimization method was used to quantitatively estimate the disk gamma-ray signal. The result shows that no significant gamma-ray signal is detected and upper limits to the gamma-ray flux at 0.3–7 TeV are set at the 95% confidence level. In the low energy range these limits are consistent with the extrapolation of the *Fermi*-LAT measurements taken during solar minimum and are compatible with a softening of the gamma-ray spectrum below 1 TeV. They also provide an experimental upper bound to any solar disk emission at TeV energies. Models of dark matter annihilation via long-lived mediators predicting gamma-ray fluxes  $>10^{-7} \text{ GeV cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  below 1 TeV are ruled out by the ARGO-YBJ limits.

**Key words:** antiparticle physics – cosmic rays – gamma rays general – Sun general

L'interazione adronica dei raggi cosmici con l'atmosfera solare può produrre raggi gamma di alta energia la cui luminosità è correlata sia con il flusso dei raggi cosmici primari che con l'intensità del campo magnetico solare. I raggi gamma di energia inferiore a 200 GeV sono stati osservati dal satellite *Fermi* senza alcun evidente cutoff di energia e solo durante il minimo di attività solare. Gli unici dati disponibili nella regione energetica del TeV provengono dalle osservazioni HAWC

fatte, tuttavia, al di fuori del minimo solare. I dati dell'esperimento ARGO-YBJ sono stati utilizzati per cercare i raggi gamma sub-TeV/TeV dal Sole durante il minimo solare dal 2008 al 2010, lo stesso periodo di tempo coperto dai dati di *Fermi*. È stato sviluppato un modello dettagliato descrittore l'ombra del sole, l'emissione del disco solare e l'emissione di Compton inverso, ed è stato utilizzato il metodo di minimizzazione del chi-quadrato per stimare quantitativamente il segnale dei raggi gamma dal disco. Il risultato mostra l'assenza di un segnale di raggi gamma significativo e i limiti superiori al flusso di raggi gamma nell'intervallo 0,3–7 TeV sono calcolati al livello di confidenza del 95%. Nella zona di bassa energia questi limiti sono coerenti con l'estrapolazione delle misurazioni *Fermi*-LAT effettuate durante il minimo solare e sono compatibili con un ammorbidimento ('softening') dello spettro dei raggi gamma di energia inferiore a 1 TeV. Forniscono anche un limite superiore a qualsiasi emissione del disco solare alle energie del TeV. I limiti posti dall'esperimento ARGO-YBJ escludono modelli di annichilazione della materia oscura tramite mediatori a lunga vita media con flussi attesi di raggi gamma  $> 10^{-7} \text{ GeV cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  sotto ad 1 TeV.

## PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**FAFONE  
VIVIANA**

AUTORI:

V. FAFONE ET AL. (LIGO  
SCIENTIFIC  
COLLABORATION AND  
VIRGO  
COLLABORATION)

RIVISTA:

PHYSICAL REVIEW X

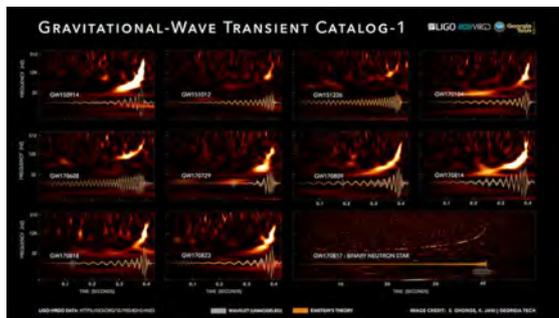
AMBITO DI RICERCA:

STUDIO DELLA  
RADIAZIONE  
GRAVITAZIONALE  
EMESSA DA STELLE DI  
NEUTRONI E BUCHI  
NERI



Dipartimento di Fisica

## GWTC-1: A GRAVITATIONAL-WAVE TRANSIENT CATALOG OF COMPACT BINARY MERGERS OBSERVED BY LIGO AND VIRGO DURING THE FIRST AND SECOND OBSERVING RUNS



Il lavoro presenta il catalogo degli 11 segnali di onde gravitazionali rilevati dagli interferometri LIGO (uno nello stato di Washington e uno in Louisiana) e Virgo (vicino Pisa, presso lo European Gravitational Observatory) nei primi due

periodi di osservazione: O1, da settembre 2015 a gennaio 2016, e O2, da novembre 2016 ad agosto 2017. Il catalogo, detto GWTC-1, descrive le proprietà di questi segnali e riporta una serie di possibili eventi candidati caratterizzati da una minore significatività statistica. Le 11 rilevazioni significative nel catalogo sono associate a fusioni tra oggetti straordinariamente densi: dieci provengono da coppie di buchi neri massicci e una da due stelle di neutroni. Grazie ai miglioramenti apportati ai tre interferometri, è stato possibile osservare un volume di universo fino ad una distanza di circa 300 milioni di anni luce per sistemi binari di stelle di neutroni e di circa 9 miliardi di anni luce per sistemi binari di buchi neri. Ciascuno degli eventi è stato analizzato in dettaglio per determinare le proprietà della sorgente. Sono stati utilizzati modelli teorici e numerici di relatività generale all'avanguardia che forniscono le forme d'onda emesse e consentono di determinare le masse, gli spin, la posizione e l'orientamento del sistema binario, nonché le deformazioni mareali delle due stelle di neutroni. Molti altri lavori hanno accompagnato questo primo catalogo, con studi di possibili implicazioni astrofisiche (riguardanti, ad esempio, le popolazioni stellari e la frequenza di questi eventi nell'universo), di cosmologia, di astrofisica nucleare e con test di relatività generale in regime di campo gravitazionale forte.

## PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**FANFONI  
MASSIMO**

AUTORI:

M. TOMELLINI, M.  
FANFONI

RIVISTA:

JOURNAL OF  
NON-CRYSTALLINE  
SOLIDS

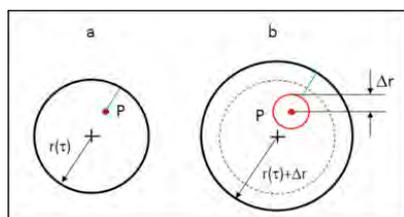
AMBITO DI RICERCA:

NUCLEAZIONE E  
CRESCITA



Dipartimento di Fisica

## COMMENT ON "THE IRRELEVANCE OF PHANTOM NUCLEI IN CRYSTALLIZATION KINETICS: AN INTE- GRAL EQUATION APPROACH"



Si tratta del commento ad un articolo scritto da Fernando C. Pérez-Cárdenas (J. Non-Cryst. Solids: X 1 (2019) 100002). Un processo di nucleazione e crescita viene modellato generando, in siti casuali di un volume inizialmente vuoto,

dei punti (nuclei) dai quali si sviluppano delle sfere il cui raggio cresce secondo una legge deterministica,  $r(t)$ . Le sfere riempiono il volume e rappresentano la nuova fase (si può pensare, ad esempio, ad un processo di cristallizzazione da una fase amorfa). La probabilità che un nuovo nucleo si generi nello spazio già trasformato è non nulla. Tuttavia, essendo la legge di crescita uguale per tutti i nuclei, le superfici delle sfere che crescono dai nuclei nati nella fase trasformata (volume riempito), non possono superare la superficie in crescita della fase già trasformata. In altre parole, essi non danno alcun contributo alla formazione della nuova fase. Questi centri vennero chiamati da Avrami "phantom". Avrami determinò la cinetica della trasformazione del volume dalla fase vuota (amorfa) a quella piena (cristallina). Il suo approccio basato sulla teoria degli insiemi necessita del contributo dei phantom, ovvero di entità non reali. Cárdenas sostiene che la soluzione di Avrami è solo una buona approssimazione della soluzione esatta e propone una soluzione senza l'uso dei "phantom". M. Tomellini (Dip. di Scienze e Tecnologie Chimiche) ed io abbiamo dimostrato che l'approccio di Cárdenas è errato. È il caso di sottolineare che il modello in discussione, noto anche con l'acronimo KJMA (Kolmogorov- Johnson-Mehl-Avrami), negli anni '90 del secolo scorso era noto, di fatto, solo tra i metallurgisti ma dal 2000 in poi ha attratto un sempre maggior numero di studiosi soprattutto tra i fisici (sperimentali e teorici) e tra i matematici.

# PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**FILABOZZI  
ALESSANDRA**

AUTORI:

**M. CATTI, O. FABELO, A.  
FILABOZZI, A.  
PIETROPAOLO, A.  
SANTUCCI, S. TOSTI**

RIVISTA:

**JOURNAL OF ALLOYS  
AND COMPOUNDS**

AMBITO DI RICERCA:

**FISICA APPLICATA**



## Dipartimento di Fisica

# KINETICS OF DEUTERATION OF THE $\text{Pd}_{0.772}\text{Ag}_{0.228}$ ALLOY WITH $\alpha/\beta$ PHASE TRANSITION BY IN-SITU NEUTRON DIFFRACTION



Kinetics of deuteration of the  $\text{Pd}_{0.772}\text{Ag}_{0.228}$  alloy with  $\alpha/\beta$  phase transition by in-situ neutron diffraction

Michela Catti<sup>1,\*</sup>, Oscar Fabelo<sup>2</sup>, Alessandra Filabozzi<sup>1</sup>, Antonino Pietropaolo<sup>3</sup>,  
Alessandra Santucci<sup>1</sup>, Saverio Tosti<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Fisica, Università di Roma Tor Vergata, Via della Ricerca Scientifica, Km 1, 00133 Roma, Italy

<sup>2</sup> Universidad de Sevilla, Facultad de Ciencias, Departamento de Física, 41013 Sevilla, Spain

<sup>3</sup> Dipartimento di Fisica, Università di Roma Tor Vergata, Via della Ricerca Scientifica, Km 1, 00133 Roma, Italy

\*Corresponding author. E-mail: m.catti@uniroma2.it

© 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

0925-8388/\$ - see front matter © 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

Le proprietà di assorbimento dell'idrogeno da parte del Palladio sono di estrema importanza per la tecnologia dell'idrogeno come vettore energetico da fonti rinnovabili, in particolare per le fasi di produzione, stoccaggio e separazione. Però dopo molti cicli di assorbimento e desorbimento si verificano infragilimenti meccanici delle membrane di Pd. La causa è la variazione di volume determinata da transizioni di fase alfa/beta nella lega. Una soluzione è legare il Pd con altri metalli e attualmente il miglio-

re sembra essere la lega  $\text{Pd}_{0.772}\text{Ag}_{0.228}$ . Abbiamo studiato la struttura della lega a diverse temperature e pressioni, per determinare in situ l'evoluzione della struttura, il contenuto di idrogeno, il diagramma di fase e la cinetica del processo, utilizzando una sonda microscopica, la diffrazione neutronica. E' emersa l'esistenza di una sequenza di stati metastabili intermedi nel processo verso l'equilibrio, evidenziando la natura della miscibilità delle fasi alfa/beta. Si è così chiarito un punto in sospeso nello studio degli idruri delle leghe  $\text{Pd}_{1-x}\text{Ag}_x$ , di grande importanza per il loro uso come membrane permeabili all'idrogeno.

PUBBLICAZIONI:  
UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

FREZZOTTI  
ROBERTO

AUTORI:

S. CAPITANI, P.  
DIMOPOULOS, R.  
FREZZOTTI, M.  
GAROFALO, B.  
KOSTRZEWA, F. PITTLER,  
G.C. ROSSI, C. URBACH

RIVISTA:

PHYSICAL REVIEW  
LETTERS

AMBITO DI RICERCA:

FISICA TEORICA DELLE  
INTERAZIONI  
FONDAMENTALI,  
PARTICELLE  
ELEMENTARI



Dipartimento di Fisica

DYNAMICAL GENERATION OF ELEMENTARY FER-  
MION MASS: FIRST LATTICE EVIDENCE

PHYSICAL REVIEW LETTERS 123, 061802 (2019)

Dynamical Generation of Elementary Fermion Mass: First Lattice Evidence

S. Capitani,<sup>1</sup> P. Dimopoulos,<sup>1,2</sup> R. Frezzotti,<sup>1,3</sup> M. Garofalo,<sup>4</sup> B. Kostrewa,<sup>5</sup> F. Pittler,<sup>6</sup>

G.C. Rossi,<sup>7</sup> and C. Urbach<sup>8</sup>

<sup>1</sup>Grande E. Fermi, Inst. F. Theor. Fis., MS-500 Univ. St. J. ANAF Foundation and INFN, Genova

<sup>2</sup>Center for Cosmology and Particle Physics, Harvard University, Cambridge, MA 02138, USA

<sup>3</sup>Dipartimento di Fisica, Università di Roma Tor Vergata, Via della Ricerca Scientifica, 00131 Roma, Italy

<sup>4</sup>INFN, Sezione di Roma Tor Vergata, Via della Ricerca Scientifica, 00131 Roma, Italy

<sup>5</sup>Faculty of Physics, Institute of Physics, University of Wrocław, 50-204 Wrocław, Poland

<sup>6</sup>INFN, Sezione di Roma Tor Vergata, Via della Ricerca Scientifica, 00131 Roma, Italy

<sup>7</sup>INFN, Sezione di Roma Tor Vergata, Via della Ricerca Scientifica, 00131 Roma, Italy

<sup>8</sup>INFN, Sezione di Roma Tor Vergata, Via della Ricerca Scientifica, 00131 Roma, Italy

Received 8 November 2018; revised manuscript received 28 May 2019; published 9 August 2019

Using lattice simulations we demonstrate from first principles the existence of a nonperturbative mechanism for elementary fermion mass generation in models with gauge fields, fermions, and scalars in an exact renormalizable gauge theory. We show that in the Nambu-Goldstone phase a fermion mass term localized to the Yukawa operator is dynamically generated. Its origin is the formation of a fermion condensate which breaks the EW symmetry and dynamically generates a fermion mass term. This mechanism is the first lattice evidence for the dynamical generation of fermion mass in a renormalizable gauge theory.

DOI: 10.1103/PhysRevLett.123.061802

Introduction.—In spite of its impressive phenomenological success, the standard model (SM) of particle physics is believed to represent only an effective low energy theory, as it neither accounts for dark matter and quantum aspects of gravity nor provides enough  $C, P$  violation for baryogenesis. Fermion and electroweak (EW) boson masses are described in terms of a well-established symmetry breaking pattern [1], but the SM is by construction unable to shed light on the problems of EW scale numbers [2] and fermion mass hierarchy [3]. There have been numerous attempts to build theories energetically viable models where the EW scale is stable under quantum corrections, either because the SM or enjoys an approximate symmetry larger than in the SM or because EW and Higgs mass scales are related in a fixed way in a dimensional deconstructed case. Examples of the first kind are the many models based on supersymmetry (SUSY) [4–6], which borrow the problem of explaining SUSY breaking, are generally disfavored owing to the experimental exclusion of SUSY particles with mass up to a few TeV [6]. Approaches of the second kind assume the existence of one or more sectors that split strongly around or above the EW scale, and of new fermionic particles. The original technicolor idea [7] could account for the EW boson masses, but attempts to understand heavy fermion masses on extended technicolor (ETC) models [8,9] face severe problems to comply with experimental constraints on flavor changing neutral currents, even a subsequently developed walking ETC models [10–14]. Other ways to comply with experimental constraints and provide address the fermion hierarchy problems are represented by the partially composite Higgs models [15,16], and by models with extra dimensions [17–19]. At variance with previous attempts, a novel intrinsically nonperturbative (NP) mechanism for elementary fermion mass generation was proposed in Ref. [20]. This mechanism is expected to be at work in non-Abelian gauge models where (in accord) (i) chiral transformations acting on fermions and scalars do not break the exact symmetry, but do break some assumptions (ii) purely fermionic chiral fermions undergo an explicit breaking at the UV scale. When two parameters are “naturally” fixed to be in a minimum fermion chiral breaking, in the effective Lagrangian [21]—governing functional of proper renormalized Yukawa term occurs, but operators of NP origin that violate fermion chiral symmetry, among which a fermion mass term, should appear. If the scalar potential is such that the theory flows to an Nambu-Goldstone (NG) phase, then introducing EW interactions, the same mechanism also yields massive  $W, Z$  bosons and a composite Higgs boson in the  $W, Z, \mathcal{P}, \mathcal{P}^c$  channel [21]. In this Letter we employ lattice simulations (lacking analytical methods) to provide evidence from first principles for the occurrence of the NP mass generation mechanism in Ref. [20] within the simplest  $d = 4$  model where it could take place. Mass generation in a toy model.—The Lagrangian of the “toy” toy renormalizable model of interest here [21] reads

0031-9007/19/123(6)/061802-6

061802-1 Published by the American Physical Society

Il Modello Standard (MS) delle interazioni elettrodeboli e forti oggi considerato una descrizione effettiva di bassa energia di una qualche teoria pi fondamentale, poich non include la gravit n spiega fenomeni fisici quali la materia oscura o la bariogenesi. Inoltre il MS, pur descrivendo le masse delle particelle elementari, nulla pu dire su problemi fondamentali quali l'origine della scala di massa elettrodebole o le gerarchie di massa dei fermioni elementari, dal top ai neutrini. In questo lavoro, usando simulazioni Monte Carlo

di una opportuna teoria quantistico-relativistica su reticolo, si dimostra da principi primi l'esistenza di un meccanismo non-perturbativo capace di generare dinamicamente le masse delle particelle elementari. La teoria studiata un modello con campi di gauge non-Abeliani, fermioni e scalari in cui : a) una simmetria esatta (estensibile a quella per forze elettrodeboli) proibisce masse fermioniche incontrollate (divergenti a potenza con il cutoff ultravioletto); b) le simmetrie chirali puramente fermioniche sono rotte dalla regolarizzazione ultravioletta e massimamente recuperate nel limite “critico” di interesse (naturalzza). Nella fase in cui la simmetria esatta realizzata alla Nambu-Goldstone si evidenzia un termine di massa dei fermioni elementari generato dinamicamente e non legato ad operatori di tipo Yukawa (come nel meccanismo di Higgs del MS). In presenza di interazioni di gauge elettrodeboli questo meccanismo atteso generare masse anche per i bosoni deboli W e Z. In teorie di questo tipo il problema della naturalzza della scala elettrodebole risolto “in radice”, mentre i valori delle masse osservate per i quark di terza generazione (top, bottom) e per i bosoni W, Z suggeriscono: a) l'esistenza di nuovi fermioni elementari soggetti (oltrech alle forze gi note) ad una nuova interazione di “gauge” fondamentale, che diviene forte alla scala di energia di alcuni TeV; b) la calcolabilit del rapporto tra scala elettrodebole e la scala di energia (5-10 TeV) di una “nuova fisica” sperimentalmente accessibile.

## PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**FUCITO  
FRANCESCO**

AUTORI:

**M. BILLO, F. FUCITO, G.  
KORCHEMSKY, A. LERDA,  
J.F. MORALES**

RIVISTA:

**JOURNAL OF HIGH  
ENERGY PHYSICS**

AMBITO DI RICERCA:

**FISICA TEORICA,  
EFFETTI NON  
PERTURBATIVI IN  
TEORIE DI CAMPO  
SUPERSIMMETRICHE**



Dipartimento di Fisica

## TWO-POINT CORRELATORS IN NON-CONFORMAL $N = 2$ GAUGE THEORIES



Le leggi della natura nell'ambito del campo delle alte energie, sono descritte da teorie di campo che riescono a calcolare con precisione molti dei fenomeni osservabili negli esperimenti che usano acceleratori di particelle. La descrizione matematica di tali teorie e' pero' assai complessa ed i calcoli che si possono eseguire devono ricorrere a delle assunzioni che semplificano la teoria. L'assunzione piu' popolare e' quella di immaginare la costante di accoppiamento,  $g$ , (che descrivono le interazioni tra le particelle) della teoria come piccola. In questo caso si puo' usare la teoria delle perturbazioni che consiste nel risolvere la teoria in mancanza di interazioni e poi aggiungere dei piccoli contributi, di ordine  $g$ ,  $g^2$ ,  $g^3$ , ecc. che forniscono piccole correzioni alla soluzione esatta trovata precedentemente. Nel caso di teorie di campo questo metodo e' stato introdotto da Feynman e si chiama, appunto, calcolo dei diagrammi di Feynman. Nelle teorie di gauge tipo la cromodinamica quantistica questi calcoli dopo l'ordine  $g$  sono pero' assai complessi. In questo lavoro di elabora un metodo di calcolo alternativo ai diagrammi di Feynman usando il cosiddetto modello matriciale.

# PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**LUCCI  
MASSIMILIANO**

AUTORI:

**S. MACIS, C. ARAMO, C.  
BONAVOLONTÀ, G.  
CIBINI, A. D'ELIA, I.  
DAVOLI, M. DE LUCIA, M.  
LUCCI ET AL.**

RIVISTA:

**JOURNAL OF VACUUM  
SCIENCE &  
TECHNOLOGY A**

AMBITO DI RICERCA:

**STRUTTURA DELLA  
MATERIA**



## Dipartimento di Fisica

# MOO<sub>3</sub> FILMS GROWN ON POLYCRYSTALLINE CU: MORPHOLOGICAL, STRUCTURAL, AND ELECTRONIC PROPERTIES

MoO<sub>3</sub> films grown on polycrystalline Cu: Morphological, structural, and electronic properties

Saverio Macis,<sup>1,2</sup> Carlo Aramo,<sup>3</sup> Corrado Bonavolontà,<sup>4</sup> Gaetano Cibini,<sup>5</sup> Alessandro D'Elia,<sup>6</sup> I. Davoli,<sup>7</sup> M. De Lucia,<sup>8</sup> Massimo Valentini,<sup>9</sup> Paolo De Padova,<sup>10</sup> and Massimo Lucci<sup>11</sup>

<sup>1</sup>INFN Center for Quantum Materials, University of Rome Tor Vergata, Via della Ricerca Scientifica 1, 00133 Rome, Italy  
<sup>2</sup>INFN Center for Quantum Materials, University of Rome Tor Vergata, Via della Ricerca Scientifica 1, 00133 Rome, Italy  
<sup>3</sup>Department of Physics, University of Rome Tor Vergata, Via della Ricerca Scientifica 1, 00133 Rome, Italy  
<sup>4</sup>Department of Physics, University of Rome Tor Vergata, Via della Ricerca Scientifica 1, 00133 Rome, Italy  
<sup>5</sup>Department of Physics, University of Rome Tor Vergata, Via della Ricerca Scientifica 1, 00133 Rome, Italy  
<sup>6</sup>Department of Physics, University of Rome Tor Vergata, Via della Ricerca Scientifica 1, 00133 Rome, Italy  
<sup>7</sup>INFN Center for Quantum Materials, University of Rome Tor Vergata, Via della Ricerca Scientifica 1, 00133 Rome, Italy  
<sup>8</sup>INFN Center for Quantum Materials, University of Rome Tor Vergata, Via della Ricerca Scientifica 1, 00133 Rome, Italy  
<sup>9</sup>INFN Center for Quantum Materials, University of Rome Tor Vergata, Via della Ricerca Scientifica 1, 00133 Rome, Italy  
<sup>10</sup>INFN Center for Quantum Materials, University of Rome Tor Vergata, Via della Ricerca Scientifica 1, 00133 Rome, Italy  
<sup>11</sup>INFN Center for Quantum Materials, University of Rome Tor Vergata, Via della Ricerca Scientifica 1, 00133 Rome, Italy

(Received 29 October 2016; accepted 18 January 2017; published 1 February 2017)

In this work, the authors investigated MoO<sub>3</sub> films with thickness between 30 nm and 1 μm grown at room temperature by using laser deposition on polycrystalline Cu substrates. Atomic force microscopy, scanning electron microscopy, and scanning tunneling microscopy revealed the presence of a homogeneous MoO<sub>3</sub> film with a "granular" morphology. X-ray diffraction spectroscopy showed a preferential orientation of the MoO<sub>3</sub> film along the (001) direction. The film thickness and surface roughness were measured by atomic force microscopy and scanning tunneling microscopy, respectively. The Auger electron spectroscopy and X-ray photoelectron spectroscopy revealed the presence of a pure MoO<sub>3</sub> film. The electrical conductivity and Seebeck coefficient were measured as a function of the substrate MoO<sub>3</sub> film thickness between 30 and 300 nm exhibiting a variable behavior. Whereas the Auger electron spectroscopy revealed a nonstoichiometric MoO<sub>3-x</sub> film, the scanning tunneling spectroscopy showed a nonstoichiometric MoO<sub>3-x</sub> film.

**1. INTRODUCTION**  
In the last few years, MoO<sub>3</sub> has attracted considerable attention for its wide range of applications. It is a layered material with a high degree of anisotropy in its physical properties, such as a semi-transparent material, optical transparency, and high temperature superconductivity.<sup>1</sup> MoO<sub>3</sub> is also a promising material for the development of thin film devices. The electrical conductivity of MoO<sub>3</sub> films is a function of the thickness of the film, which is a result of the grain structure and morphology of the film.<sup>2</sup> The study of the morphological, structural, and electronic properties of MoO<sub>3</sub> films is of great importance for the development of thin film devices. In this work, we investigate the morphological, structural, and electronic properties of MoO<sub>3</sub> films grown on polycrystalline Cu substrates. We study the effect of the substrate MoO<sub>3</sub> film thickness on the morphological, structural, and electronic properties of the MoO<sub>3</sub> film. We use atomic force microscopy, scanning electron microscopy, scanning tunneling microscopy, X-ray diffraction spectroscopy, Auger electron spectroscopy, and X-ray photoelectron spectroscopy to study the properties of the MoO<sub>3</sub> film. We also measure the electrical conductivity and Seebeck coefficient as a function of the substrate MoO<sub>3</sub> film thickness. The results show that the MoO<sub>3</sub> film has a granular morphology and a preferential orientation along the (001) direction. The electrical conductivity and Seebeck coefficient show a variable behavior as a function of the substrate MoO<sub>3</sub> film thickness. The results suggest that the MoO<sub>3</sub> film is a nonstoichiometric MoO<sub>3-x</sub> film.

© 2017 American Vacuum Society. This article is copyrighted as indicated in the article. Reuse of AIP content is subject to the terms at: <http://scitation.org/termsconditions>. Download to IP: 130.237.165.40, On: Tue, 14 Feb 2017 11:52:12

In questo lavoro, abbiamo studiato le proprietà strutturali ed elettroniche di un film di MoO<sub>3</sub> con spessore compreso tra 30 nm e 1 μm cresciuto a temperatura ambiente mediante deposizione in fase solida su substrati di rame policristallino. Sul campione sono state effettuate delle microscopie di diverso tipo: a forza atomica, microscopia elettronica a scansione e microscopia a tunneling che hanno rivelato la presenza di un film MoO<sub>3</sub> omogeneo con una morfologia a grani,

mentre la spettroscopia Raman ha evidenziato un carattere amorfo del film. La spettroscopia elettronica Auger, la spettroscopia di assorbimento dei raggi X e la spettroscopia elettronica secondaria hanno mostrato una stechiometria pura di MoO<sub>3</sub> ed una funzione di lavoro  $\Phi = 6,5$  eV, 1,8 eV superiore a quella del substrato di rame. Le misure di nanoindentazione hanno mostrato, invece, che le proprietà meccaniche, in termini di durezza e rigidità con spessore del film di MoO<sub>3</sub> depositato così basso, non variano molto rispetto a quelle del rame. Per studiare le proprietà di trasporto elettrico è stata misurata la resistenza trasversale in funzione della temperatura per diversi film MoO<sub>3</sub>, con lo spessore compreso tra 60 e 750 nm e confrontato con quello del substrato di rame. Per raffreddare il campione nell'intervallo di temperatura da 300K fino a 20 K è stato usato un criostato ad elio liquido. Le misure mostrano che i film con spessore maggiore di 500 nm hanno comportamento semiconduttivo, mentre per spessori minore 300 nm è stato riscontrato un comportamento metallico, con una conduttività simile a quella del rame. Il film di MoO<sub>3</sub> ottenuto ha mostrato interessanti proprietà sia morfologiche che elettroniche, in particolare risulta interessante come copertura interna delle cavità risonanti a radio frequenza.

## PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**MANCINI  
LUIGI**

AUTORI:

M. ZECHMEISTER, S.  
DREIZLER, I. RIBAS, A.  
REINERS, J. A.  
CABALLERO, F. F. BAUER,  
V. J. S. BÉJAR, L.  
GONZÁLEZ-CUESTA, E.  
HERRERO, L. MANCINI ET  
AL.

RIVISTA:

ASTRONOMY &  
ASTROPHYSICS

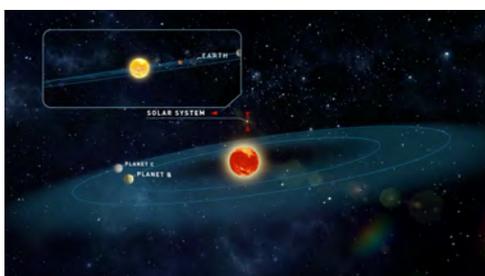
AMBITO DI RICERCA:

ASTROFISICA E  
ESOPIANETI



Dipartimento di Fisica

## TWO TEMPERATE EARTH-MASS PLANET CANDIDATES AROUND TEEGARDEN'S STAR



L. Mancini ha partecipato a uno studio effettuato dal consorzio CARMENES, che ha rivelato due nuovi esopianeti in orbita attorno alla stella Teegarden, a una distanza di appena 12,5 anni luce. Questi due pianeti hanno una massa

simile a quella della Terra e una temperatura sufficientemente temperata da permettere la presenza di acqua liquida sulla loro superficie; sono stati rivelati utilizzando la tecnica Doppler, che consiste nel monitorare frequentemente la luce emessa dalla loro stella genitrice e misurarne la variazione della sua velocità radiale, cioè della componente della sua velocità rivolta verso l'osservatore sulla Terra. Un pianeta che ruota intorno a una stella induce su quest'ultima una variazione periodica del suo moto, che provoca un debole effetto Doppler sulla luce della stella, che può essere misurata con una precisione fino a circa 1 m/s. La Stella Teegarden è stata osservata per circa 3 anni per misurare la sua velocità radiale con estrema precisione con lo spettrografo ad altissima risoluzione CARMENES. Oltre 200 misure Doppler sono state necessarie per rivelare la presenza dei due esopianeti. In particolare, il pianeta b ha una massa simile a quella della Terra, orbita attorno alla stella ogni 4,9 giorni a circa il 2,5% della distanza Terra-Sole. Il pianeta c è anch'esso simile alla Terra in termini di massa, completa la sua orbita in 11,4 giorni e si trova al 4,5% della distanza Terra-Sole. Poiché la Stella di Teegarden irradia molta meno energia del nostro Sole, le temperature su questi pianeti dovrebbero essere miti e in teoria potrebbero trattenere acqua liquida sulle loro superfici, specialmente il pianeta c, che è più esterno.

# PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**MARRA  
ROSSANA**

AUTORI:

E. CARLEN, R. ESPOSITO,  
J. LEBOWITZ, R. MARRA,  
C. MOUHOT

RIVISTA:

ACTA APPLICANDAE  
MATHEMATICAE

AMBITO DI RICERCA:

TEORIA CINETICA



## Dipartimento di Fisica

### UNIQUENESS OF THE NON-EQUILIBRIUM STEADY STATE FOR A 1D BGK MODEL IN KINETIC THEORY



Uno dei principali problemi aperti nell'ambito della meccanica Statistica del non equilibrio è la costruzione e caratterizzazione di stati stazionari fuori dall'equilibrio. In questo articolo si propone un modello di teoria cinetica di un gas in contatto con più reservoirs a differenti temperature (esempio semplice: un gas fra due pareti poste a differenti temperature) e si prova l'esistenza di uno stato stazionario di non equilibrio omogeneo.

## PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**MAZZOTTA  
PASQUALE  
E  
BOURDIN  
HERVÉ**

AUTORI:

A. KOZMANYAN, H.  
BOURDIN, P. MAZZOTTA,  
E. RASIA, M. SERENO

RIVISTA:

ASTRONOMY &  
ASTROPHYSICS

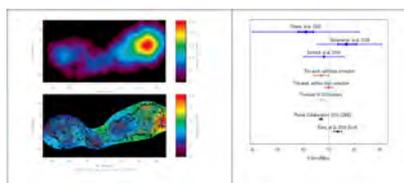
AMBITO DI RICERCA:

ASTROFISICA E  
COSMOLOGIA



Dipartimento di Fisica

## DERIVING THE HUBBLE CONSTANT USING PLANCK AND XMM-NEWTON OBSERVATIONS OF GALAXY CLUSTERS



L'espansione dell'Universo è causata in parte dall'inerzia della spinta prodotta dal Big bang e in parte da una forza repulsiva, ancora ignota, chiamata energia oscura. La velocità di espansione è data dalla

costante di Hubble,  $H$ , parametro fondamentale per caratterizzare il modello Cosmologico dell'Universo. Ottenere una misura precisa ed accurata di  $H$  rappresenta una delle sfide più importanti della cosmologia moderna. Di recente misure precise di  $H$  hanno mostrato un'apparente discrepanza tra il valore della costante di Hubble calcolato all'alba temporale dell'Universo e al presente. Se da un lato questo potrebbe semplicemente indicare la presenza di errori sistematici nelle misure, dall'altro potrebbe rivelare nuovi processi fisici. Lo sviluppo di metodi alternativi consente di comprendere meglio la problematica. In questo panorama la possibilità di determinare il valore di  $H$  utilizzando osservazioni di ammassi di galassie nella banda a raggi X e nelle microonde attraverso l'effetto Sunyaev Zel'dovich (SZ) è nota da tempo. Fino ad ora, tuttavia, le misure sono state poco precise (causa la bassa qualità dei dati osservativi) e inaccurate (causa errorea parametrizzazione di alcuni aspetti fisici degli ammassi). L'avvento di Planck ci consente di mappare l'ampiezza dell'effetto SZ, con una precisione senza precedenti consentendo di eseguire un confronto dettagliato con le equivalenti misurazioni a raggi X. Da queste, abbiamo sviluppato un nuovo approccio che combina le informazioni sulla fisica degli ammassi ottenute da simulazioni idrodinamiche con le incertezze sulle misure. Applicando il nostro metodo a un campione di 61 ammassi di galassie abbiamo migliorato sensibilmente sia la precisione che l'accuratezza della misura ottenendo un valore di  $H$  al presente di  $67 \pm 3$  km/s/Mpc.

Nelle immagini: a sinistra) Immagine del Super ammasso di galassie di Shapley. *Pannello superiore* Emissione elettromagnetica nella banda delle microonde prodotta per effetto Sunyaev Zel'dovich. *Pannello inferiore* Mappa di temperatura e isocontorni dell'emissione elettromagnetica nella banda a raggi X; a destra) Confronto del risultato del nostro lavoro (in rosso) con le misurazioni precedenti che hanno fatto uso degli ammassi di galassie (in blu) e con le misurazioni più precise attualmente disponibili (in nero).

## PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**MERLO  
VITTORIO**

AUTORI:

P. BELLI, R. BERNABEI, A.  
BUSSOLOTTI, F.  
CAPPELLA, V.  
CARACCILO, R.  
CERULLI, C.J. DAI, A.  
D'ANGELO, A. DI  
MARCO, N. FERRARI, H.L.  
HE, A. INCICCHITTI, X.H.  
MA, A. MATTEI, V.  
MERLO, F.  
MONTECCHIA, X.D.  
SHENG, Z.P. YE

RIVISTA:

ARACNE EDITRICE

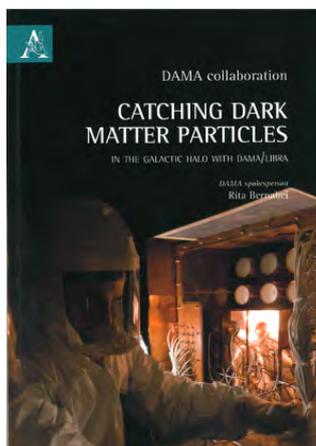
AMBITO DI RICERCA:

INVESTIGAZIONE  
SULLA NATURA DELLE  
PARTICELLE DI MATERIA  
OSCURA  
DELL'UNIVERSO CON  
ESPERIMENTI IN  
LABORATORI  
SOTTERRANEI



Dipartimento di Fisica

## CATCHING DARK MATTER PARTICLES IN THE GALACTIC HALO WITH DAMA/LIBRA



Nel libro viene offerta una panoramica su una tematica di ricerca particolarmente attuale, come l'identificazione di possibili candidati di particelle di materia oscura (Dark Matter, DM) nell'Universo; l'evidenza della DM, che costituisce una frazione rilevante della massa dell'Universo, è ormai confermata da una serie di osservazioni di carattere astrofisico e cosmologico. Nel dettaglio, dopo un'introduzione generale vengono descritte tutte le fasi di progettazione e realizzazione di vari esperimenti effettuati dalla

collaborazione DAMA in un arco temporale di circa 20 anni con una pletera di diversi rivelatori e realizzazioni sperimentali. La caratteristica comune di questi esperimenti è la possibilità unica, offerta dalla particolarità dei Laboratori sotterranei del Gran Sasso (LNGS), di effettuare misure a bassissimo rumore; in questo modo si raggiungono le condizioni necessarie per l'osservazione e identificazione del segnale cercato. L'evidenza sperimentale mostra, con un alto grado di affidabilità statistica, la presenza di un segnale modulato collegato con il moto relativo della Terra nell'alone galattico con periodicità di 1 anno solare e con tutte le caratteristiche attese per interazioni di particelle DM; queste costituiscono le vestigia delle fasi iniziali dell'Universo, e sfuggono alla classificazione suggerita dall'attuale Modello Standard delle particelle elementari. Per permettere l'identificazione di queste particelle e dei loro meccanismi di interazione, vengono proposti vari schemi interpretativi sia di tipo model-dependent che di tipo model-independent.

## PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**MINICOZZI  
VELIA**

AUTORI:

**A. VITALE,  
V. MINICOZZI**

RIVISTA:

**JOURNAL OF CHEMICAL  
INFORMATION AND  
MODELING**

AMBITO DI RICERCA:

**BIOFISICA**



## Dipartimento di Fisica

### MONITORING INSULIN-AGGREGATED STRUCTURES IN THE PRESENCE OF EPIGALLOCATECHIN-3-GALLATE AND MELATONIN BY MOLECULAR DYNAMICS SIMULATIONS

JCIM JOURNAL OF CHEMICAL INFORMATION AND MODELING

#### Monitoring Insulin-Aggregated Structures in the Presence of Epigallocatechin-3-gallate and Melatonin by Molecular Dynamics Simulations

Antonio Vitale<sup>1</sup> and Velia Minicozzi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Physics and INFN, University of Rome Tor Vergata, Via della Ricerca Scientifica 1, 00133 Rome, Italy

Supporting Information

**ABSTRACT:** In the present work we illustrate the results of classical molecular dynamics simulations of model systems composed of six insulin molecules in water in the presence and in the absence of either epigallocatechin-3-gallate or melatonin molecules. For each model system, we performed three independent simulations (replicas) to study the aggregate formation dynamics and insulin interaction with epigallocatechin-3-gallate and melatonin. We find that melatonin is less stable than insulin with respect to epigallocatechin-3-gallate, which interacts more stably with insulin molecules and mainly with insulin's chain B hydrophobic residues. We observe that the shape of the insulin-aggregated structures in the three model systems is different and depends on whether epigallocatechin-3-gallate is present or not. Simulations show that in the absence of epigallocatechin-3-gallate, insulin molecules tend to form linear aggregates, while in the presence of epigallocatechin-3-gallate, aggregates display a globular shape, less prone to form fibril structures.



#### INTRODUCTION

Protein aggregation is still one of the more challenging topics in structural biology research. It has been found that a particular type of aggregated structure, amyloid fibrils, is the main feature of neurodegenerative diseases and of many systemic diseases.<sup>1–3</sup> Insulin has often been used as a model system<sup>4–6</sup> to study the mechanisms of amyloid fibril formation, its mechanism being a typical nucleation-dependent polymer-

ization, aromatic stacking, and hydrogen bonding are the guiding forces for the disaggregation of preformed amyloid fibrils.<sup>7</sup>

Melatonin is a hormone produced in animals by the pineal gland that is also found in plants where it works as defense against oxidative stress.<sup>8</sup> Melatonin regulates the circadian (sleep/wake) cycle, reproductive function, bone metabolism, and turnover via cell receptor-mediated mechanisms. Moreover, it has been suggested that melatonin may have

La caratteristica principale delle malattie neurodegenerative e di molte malattie sistemiche è la formazione di aggregati proteici, noti come fibrille amiloidi, che depositandosi compromettono il funzionamento degli organi. A tutt'oggi una delle sfide principali della biofisica strutturale è comprendere i meccanismi di aggregazione delle proteine allo scopo di sintetizzare farmaci

che possano bloccare l'aggregazione o eliminare gli aggregati. Per studiare tali meccanismi vengono sovente utilizzate delle piccole proteine "modello" ben note e semplici da trattare sperimentalmente. Una di queste è l'insulina, che è stata altresì trovata sotto forma di deposito fibrillare nei pazienti diabetici, lì dove viene iniettata come farmaco. Con la nostra ricerca abbiamo investigato la capacità di due molecole di prevenire la formazione di fibrille amiloidi di insulina. Le due molecole sono un flavonoide che si trova nel tè verde, l'epigallocatechina-3-gallato (EGCG), e un ormone presente negli animali e nelle piante, la melatonina. La tecnica che abbiamo utilizzato è la Dinamica Molecolare (MD) computerizzata che ci ha consentito di studiare a livello atomico l'interazione tra l'insulina e le due molecole considerate. Le simulazioni MD richiedono ingente tempo di calcolo, che abbiamo ottenuto sui computer del CINECA vincendo una selezione. I nostri risultati, in accordo con quelli sperimentali avuti in collaborazione con altri gruppi di ricerca, hanno mostrato che mentre l'EGCG in grado di prevenire la formazione delle fibrille, la melatonina non ha effetti significativi sulla formazione degli aggregati. La conoscenza dettagliata che abbiamo raggiunto con i calcoli impossibile da ottenere sperimentalmente, ed è di fondamentale importanza nella ricerca di potenziali farmaci.



## PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**MORANTE  
SILVIA**

AUTORI:

F. STELLATO, R.  
CHIARALUCÉ, V.  
CONSALVI, E. DE  
SANTIS, G. LA PENNA,  
O. PROUX, G. ROSSI, S.  
MORANTE

RIVISTA:

**METALLOMICS**

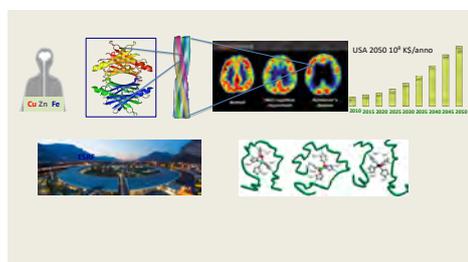
AMBITO DI RICERCA:

**BIOFISICA**



Dipartimento di Fisica

## DEALING WITH CU REDUCTION IN X-RAY ABSORPTION SPECTROSCOPY EXPERIMENTS



Circa un terzo delle 20000 proteine umane sono metallo-proteine. Metalli di transizione, come Zn, Cu e Fe, sono capaci di stabilizzare la struttura di proteine, in particolare delle cosiddette Proteine Intrinsecamente Disordinate. I metalli sono inoltre necessari al corretto funzionamento

del cervello e sono in grado di passare la barriera emato-encefalica. Poiché la loro forma ionizzata può risultare estremamente tossica, la loro concentrazione deve essere accuratamente regolata. I metalli giocano un ruolo rilevante anche nei processi di aggregazione delle proteine cosiddette “misfolded”, responsabili dell’insorgere di molte malattie neurodegenerative. Ogni approccio molecolare teso a stabilire il ruolo dei metalli in queste patologie deve innanzitutto affrontare il problema di determinare la struttura atomica dei complessi proteina-metallo che si formano. La cristallografia non è utilizzabile a questo scopo perché il sistema deve essere necessariamente studiato in soluzione. L’unica tecnica in grado di fornire questa informazione è la Spettroscopia di Assorbimento ai raggi X (XAS). I sistemi biologici in studio sono però molto “delicati” e soggetti a severe modifiche strutturali se la dose di radiazione incidente supera una certa soglia. Nel lavoro qui presentato abbiamo dimostrato nel caso paradigmatico del peptide Abeta, responsabile della formazione di placche neurodegenerative nell’Alzheimer, in complesso con il Cu, che la dose necessaria a ottenere spettri XAS sufficientemente risolti non è tale da danneggiare apprezzabilmente il campione. Il risultato è di fondamentale importanza metodologica perché valida la XAS quale un affidabile probe strutturale per lo studio di metallo-proteine in condizioni fisiologiche.

## PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**MORONE  
MARIA CRISTINA**

AUTORI:

M.C. MORONE ET  
AL(FOOT  
COLLABORATION)

RIVISTA:

RADIATION  
APPLICATIONS

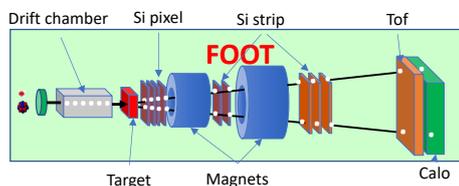
AMBITO DI RICERCA:

FISICA APPLICATA ALLA  
MEDICINA



Dipartimento di Fisica

## THE FOOT EXPERIMENT: FRAGMENTATION MEASUREMENTS IN PARTICLE THERAPY



La radioterapia con particelle cariche è una efficace tecnica per il trattamento di tumori profondi e radioresistenti caratterizzata da un grande rilascio di dose nella zona del picco di Bragg (corrispondente alla zona tumorale) e da un piccolo rilascio nei tessuti sani superficiali e circostanti. Ioni, come ad esempio il Carbonio, hanno inoltre una efficienza biologica nell'inattivazione delle cellule tumorali più elevata rispetto ai fotoni normalmente utilizzati in radioterapia. La misura della sezione d'urto di frammenti prodotti nelle interazioni nucleari tra il fascio di particelle cariche con i tessuti del paziente è cruciale per migliorare i piani di trattamento. FOOT è un esperimento cui partecipano ricercatori di varie nazioni, il cui scopo è lo studio della componente di dose rilasciata nei tessuti dai frammenti prodotti nelle interazioni nucleari. Verrà in particolare studiata la frammentazione del  $^{12}\text{C}$  e  $^{16}\text{O}$  indotta da fasci di protoni nel range energetico tipico dell'adroterapia, cioè 150-400MeV. La misura verrà effettuata in cinematica inversa, facendo collidere fasci terapeutici di  $^{12}\text{C}$  e  $^{16}\text{O}$  su bersagli di grafite e di idrocarburi per ricavare la sezione d'urto sull'idrogeno. Il rivelatore è in via di costruzione ed è composto da una camera a drift per la misura della direzione delle particelle del fascio prima dell'arrivo al target, da uno spettrometro magnetico basato su rivelatori a pixel e strip di silicio per la misura del momento delle particelle, da un calorimetro per la misura dell'energia e infine da un piano di scintillatori che misurerà il tempo di volo e quindi la velocità dei frammenti. Combinando tutte queste informazioni, sarà possibile identificare i frammenti e misurare le sezioni d'urto doppiamente differenziali di frammentazione con la precisione richiesta per i fini terapeutici.

## PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**NARICI  
LIVIO**

AUTORI:

C. ZEITLIN, L. NARICI, R.  
R. RIOS, A. RIZZO, N.  
STOFFLE, D. M. HASSLER,  
B. EHRESMANN, R. F.  
WIMMER-  
SCHWEINGRUBER, J.  
GUO, N. A.  
SCHWADRON, H. E.  
SPENCE

RIVISTA:

SPACE WEATHER

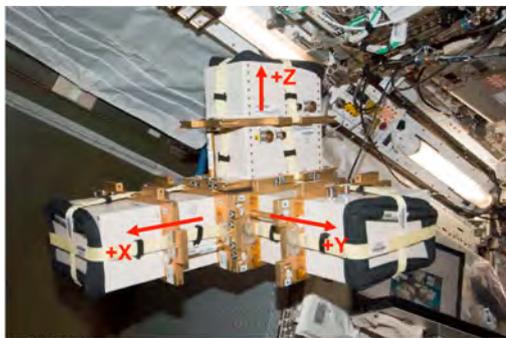
AMBITO DI RICERCA:

RADIAZIONI SPAZIALI  
PER L'ESPLORAZIONE  
UMANA



Dipartimento di Fisica

## COMPARISONS OF HIGH-LINEAR ENERGY TRANSFER SPECTRA ON THE ISS AND IN DEEP SPACE



Durante le missioni di esplorazione spaziale, equipaggio e strumenti vengono esposti ad un alto livello di radiazioni: raggi cosmici galattici, particelle provenienti dall'attività del sole, e radiazione secondaria dovuta all'interazione della radiazione esterna con le schermature della navicella. Nella

Stazione Spaziale Internazionale (ISS) in orbita terrestre la situazione è mitigata dalla protezione del campo geomagnetico terrestre, che dipende dalla latitudine ed è massima all'equatore. La minimizzazione degli effetti della radiazione sull'essere umano è uno dei principali problemi per le future missioni. Ad oggi, solo gli astronauti dell'Apollo si sono avventurati al di fuori del campo magnetico terrestre, ma le future missioni nello spazio profondo (Luna, Marte, oltre) non avranno questa protezione. Questo lavoro dimostra come l'ambiente di radiazione nella ISS, ad alte latitudini, sia molto simile a quello nello spazio profondo permettendo in tal modo di considerare la ISS come un ottimo analogo di una navicella, ad esempio in viaggio verso Marte o su Marte, dal punto di vista delle radiazioni. Ciò consente di condurre nella ISS esperimenti e tests relativi alla radiazione presente nello spazio profondo, con evidenti vantaggi. Il lavoro si basa sui confronti degli spettri di particelle cariche misurati da ALTEA (sviluppata nel Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma Tor Vergata, operante nella ISS), da CRaTER (in orbita lunare) e da MSL-RAD (in viaggio per Marte, e sulla superficie di Marte). Tali spettri sono tutti praticamente uguali in forma, e, ad esempio, le misure della radiazione nella ISS (ad alta latitudine) e sulla superficie di Marte non rivelano differenze significative.

## PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**PALUMMO  
MAURIZIA**

AUTORI:

Q. ZHANG, S-G.  
HUANG, J DENG, Z. XU,  
G. GIORGI, M.  
PALUMMO, M. CHAKER,  
D. MA

RIVISTA:

**ADVANCED  
FUNCTIONAL  
MATERIALS**

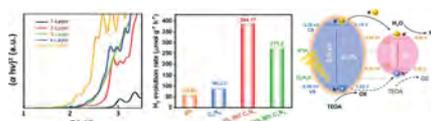
AMBITO DI RICERCA:

**FISICA DELLA MATERIA  
CONDENSATA,  
SCIENZA DEI  
MATERIALI**



## Dipartimento di Fisica

### ICE-ASSISTED SYNTHESIS OF BLACK PHOSPHORUS NANOSHEETS AS A METAL-FREE PHOTOCATALYST: 2D/2D HETEROSTRUCTURE FOR BROADBAND H<sub>2</sub> EVOLUTION



Dopo il Nobel per la Fisica assegnato nel 2010 a Novoselov e Gaim x la scoperta del grafene, l'interesse verso nuove famiglie di materiali bidimensionali (2D) di tipo Van der Waals, è enormemente cresciuto. Oltre ad essere interes-

santi dal punto di vista fondamentale nella fisica della materia e nella scienza dei materiali poiché, grazie alla ridotta dimensionalità, permettono la chiara osservazione di molti fenomeni quantistici, essi sono molto promettenti per essere usati in dispositivi opto-elettronici di nuova generazione per la produzione di energia rinnovabile a basso costo quali celle fotovoltaiche e/o fotocatalitiche. Fra di essi il fosforo nero è un semiconduttore con gap energetica che aumenta riducendo lo spessore del materiale e con un forte assorbimento ottico nella regione di massima emissione dello spettro solare attorno a 1.4 eV. Grazie a queste e altre proprietà come l'elevata mobilità elettronica molti lavori recenti hanno dimostrato che esso è molto promettente come fotocatalizzatore quando usato su scala nanometrica. Nel lavoro apparso su Advanced Functional Materials nel 2019, grazie a una collaborazione internazionale fra sperimentali e teorici e a una nuova tecnica di esfoliazione del fosforo nero assistita da ghiaccio, è stata prodotta e studiata una cella fotocatalitica basata su un' interfaccia di nitruro di carbonio grafítico bidimensionale (g - C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) con fosforo nero sempre bidimensionale, alternativa quindi alle tecnologie più diffuse basate spesso su materiali tossici, poco stabili e a base di metalli preziosi. In particolare, grazie anche a calcoli quantistici di struttura elettronica e ottica eseguiti da M.Palumbo (Dip. Fisica di Tor Vergata), si è dimostrato come usando uno spessore di circa 6 strati atomici di fosforo nero si riescono a ottenere efficienze molto buone nella produzione di idrogeno grazie a un ottimo assorbimento della luce solare e ad una migliore separazione di carica all'interfaccia fra i due nanomateriali.

Nell'immagine: gli spettri teorici di assorbimento del fosforo nero dal monostrato a sei strati atomici (sx). Al centro è riportata l'efficienza sperimentale della cella usando solo g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> o fosforo nero (BP) o l'eterogiunzione con due diverse concentrazioni di BP. A destra è riportato lo schema proposto del processo di separazione dell'acqua per la produzione di idrogeno per lunghezze d'onda maggiori di 420 nm.

## PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**PERFETTO  
ENRICO**

AUTORI:

E. PERFETTO, D.  
SANGALLI, M.  
PALUMMO, A. MARINI,  
G. STEFANUCCI

RIVISTA:

JOURNAL OF  
CHEMICAL THEORY AND  
COMPUTATION

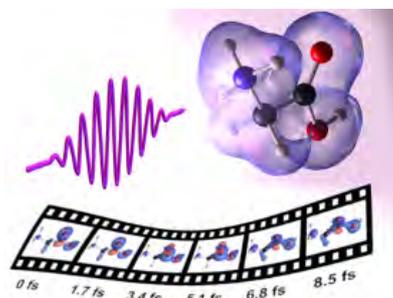
AMBITO DI RICERCA:

PROCESSI  
ULTRAVELOCI NELLE  
MOLECOLE  
ORGANICHE



Dipartimento di Fisica

## FIRST-PRINCIPLES NONEQUILIBRIUM GREEN'S FUNCTION APPROACH TO ULTRAFAST CHARGE MIGRATION IN GLYCINE



In questo lavoro abbiamo studiato dal punto di vista teorico il fenomeno di migrazione di carica nella glicina, innescato da un impulso laser ionizzante all'atto secondo. L'approccio utilizzato è quello delle funzioni di Green di non equilibrio, da noi recentemente sviluppato. Abbiamo dapprima verificato l'accuratezza dell'approccio

considerando la dinamica elettronica indotta dalla rimozione manuale di un elettrone da un dato orbitale, confrontando i risultati ottenuti con quelli disponibili in letteratura. L'accordo trovato è molto soddisfacente. Successivamente abbiamo simulato un vero e proprio esperimento di fotomissione indotta da un impulso nell'estremo ultravioletto, e calcolato la successiva dinamica elettronica tenendo conto degli effetti di correlazione. Facciamo notare che il nostro approccio è l'unico esistente in grado di tener conto simultaneamente di entrambi questi elementi, cioè l'azione di un laser ionizzante e l'interazione tra gli elettroni (oltre gli effetti di "campo medio"). Questo ci ha permesso di identificare separatamente effetti di polarizzazione e correlazione, e quindi di distinguere i modi normali di oscillazione di carica in base a queste due caratteristiche. In particolare abbiamo mostrato che la correlazione elettronica rinormalizza in modo importante le frequenze dei modi normali elettronici, ridistribuisce tra loro il peso spettrale, e dà anche origine a nuove strutture spettrali.

## PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**PIERSANTI  
MIRKO**

AUTORI:

M. PIERSANTI, P. DE  
MICHELIS, D. DEL MORO,  
R. TOZZI, M.  
PEZZOPANE, G.  
CONSOLINI, M. F.  
MARCUCCI, M.  
LAURENZA, S. DI  
MATTEO, A. PIGNALBERI,  
V. QUATTROCIOCCI, P.  
DIEGO

RIVISTA:

**ANNALES  
GEOPHYSICAE**

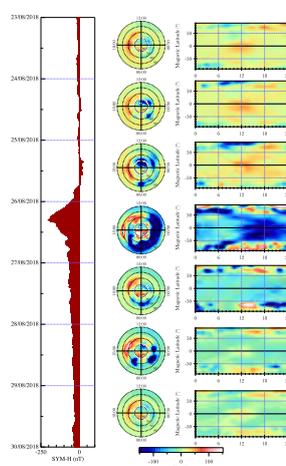
AMBITO DI RICERCA:

**FISICA DELLE  
INTERAZIONI, SOLE E  
DELLO SPAZIO  
CIRCUMTERRESTRE**



Dipartimento di Fisica

## FROM THE SUN TO EARTH: EFFECTS OF THE 25 AUGUST 2018 GEOMAGNETIC STORM



Il 25 Agosto 2018, un getto di massa coronale (CME) espulso dal Sole il 20 Agosto ha colpito la Terra generando una intensa tempesta geomagnetica. Questo lavoro ha analizzato dettagliatamente tutti gli effetti che il CME ha provocato nell'ambiente circumterrestre usando sia dati da satellite (tra cui il nuovo satellite italo-cinese CSES-01) sia dati di osservatori a terra. Lo studio della propagazione del CME nello spazio interplanetario e della sua interazione con il sistema magnetosfera (cavità che contiene il campo magnetico di un pianeta)-ionosfe-

ra (parte più alta dell'atmosfera di un pianeta) terrestre ha mostrato per la prima volta una connessione diretta tra il punto di 'impatto della perturbazione solare stessa e le caratteristiche delle aurore polari (in termini di correnti elettriche circolanti in ionosfera). Inoltre, grazie all'utilizzo di un modello di campo magnetosferico sono stati identificati correttamente i principali sistemi di correnti circolanti nello spazio circumterrestre (a distanze inferiori ai 10 raggi terrestri) che si sono attivati durante le diverse fasi della tempesta. Infine, ma non per importanza, sono stati analizzati tutti gli effetti di "Space Weather" associati alla tempesta del 25 Agosto in termini di valutazione delle correnti elettriche indotte (GIC) nel terreno al variare della latitudine geografica e di identificazione di possibili perdite di segnali nei satelliti GPS. E' stato appurato come, nonostante la forte perturbazione solare, non ci siano stati danni nei satelliti GPS. Al contrario le GIC sono risultate potenzialmente pericolose per le reti elettriche nazionali soprattutto ad alta latitudine (maggiore di 60°), dove hanno provocato dei parziali black-out.

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**PRADISI  
GIANFRANCO**

AUTORI:

**A. DI MARCO, G. DE  
GASPERIS, G. PRADISI, P.  
CABELLA**

RIVISTA:

PHYSICAL REVIEW D

AMBITO DI RICERCA:

**FISICA TEORICA,  
COSMOLOGIA**



ENERGY DENSITY, TEMPERATURE AND ENTROPY DYNAMICS IN PERTURBATIVE REHEATING

ENERGY DENSITY, TEMPERATURE, AND ENTROPY DYNAMICS ... PHYS. REV. D 100, 123512 (2019)

$$\rho_{\text{eff}}(t_{\text{reh}}) = \frac{30}{8} \left( \frac{M_{\text{pl}}}{M_{\text{re}}} \right)^2 M_{\text{re}}^4 M_{\text{pl}}^{-2} \quad (86)$$

corresponding to a temperature

$$T_{\text{reh}} = \left[ \frac{30}{8} \left( \frac{M_{\text{pl}}}{M_{\text{re}}} \right)^2 \left( \frac{M_{\text{pl}}}{M_{\text{re}}} \right)^2 \right]^{1/4} M_{\text{re}}^{1/2} \sqrt{3} M_{\text{pl}} \quad (87)$$

The most important datum is, however, the reheating scale, to the limit  $t_{\text{reh}}/t_{\text{pl}} \ll 1$  we find

$$\rho_{\text{eff}}(t_{\text{reh}}) = \frac{30}{8} \left( \frac{M_{\text{pl}}}{M_{\text{re}}} \right)^2 M_{\text{re}}^4 \quad (88)$$

that generalizes the result of Eq. (87) corresponding to the case  $w = 1$ . The reheating temperature results as

$$T_{\text{reh}} = \left( \frac{30}{8} \left( \frac{M_{\text{pl}}}{M_{\text{re}}} \right)^2 \right)^{1/4} M_{\text{re}}^{1/2} \sqrt{3} M_{\text{pl}} \quad (89)$$

Both the rate of the energy densities

$$\frac{\dot{\rho}_{\text{eff}}(t_{\text{reh}})}{\rho_{\text{eff}}(t_{\text{reh}})} = \frac{M_{\text{pl}}^2}{M_{\text{re}}^2} \quad (90)$$

and the rate of the temperature scales

$$\frac{\dot{T}_{\text{reh}}}{T_{\text{reh}}} = \frac{M_{\text{pl}}^2}{M_{\text{re}}^2} \quad (91)$$

can be given again in terms of

$$\rho(t) = \frac{8 - 3w}{32\pi^2} \left( \frac{M_{\text{pl}}}{M_{\text{re}}} \right)^2 \quad (92)$$

that acquires a  $w$  dependence with respect to the one in Eq. (12). In Fig. 4 we show the behavior of the temperature scale as a function of the EoS parameter  $w$ .

It should be noticed that the rates can be obtained by those of Eqs. (89) and (90) in Sec. III by substituting the equation of state with the more general particle  $\rho(t)$ . The behavior of the temperature and of the entropy density can be formally given by Eqs. (53)–(55), with the proviso that, now, we have  $\alpha = \alpha(t)$  and therefore also the coefficients  $\Gamma_1$  and  $\alpha_1$  depend on  $t$ . In particular, they can use as increasing functions of the EoS parameter  $w$ . Moreover, by combining the general definition of Eq. (60) with the general cosmological scaling of Eq. (74), the (formal) horizon-entropy evolution can be found to be

$$\frac{S_{\text{hor}}(t)}{M_{\text{pl}}^2 V_{\text{hor}}(t)} = \frac{4\pi}{3} \left( \frac{M_{\text{pl}}}{M_{\text{re}}} \right)^2 \left[ 1 - \left( \frac{t}{t_{\text{reh}}} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (93)$$

FIG. 4. Evolution of the maximum temperature scale (red) and the reheating temperature (black) as a function of the equation of state of the radiation condition. In the considered range, by particular, as the EoS becomes larger and larger, the rates grow smaller and smaller.

The dominant scaling behavior is given by  $\sim t^{-1/3}$  that means

$$S_{\text{hor}}(t) \sim \begin{cases} t^{1/3}, & w = -1/3 \\ t^{1/3}, & w = 1/3. \end{cases} \quad (94)$$

See Figs. 5 and 6 for a complete numerical result. It is interesting to observe that the value of the horizon entropy at the epoch  $t_{\text{reh}}$ ,

$$\frac{S_{\text{hor}}(t_{\text{reh}})}{M_{\text{pl}}^2 V_{\text{hor}}(t_{\text{reh}})} = \frac{4\pi}{3} \left( \frac{M_{\text{pl}}}{M_{\text{re}}} \right)^2 \left( \frac{M_{\text{pl}}}{M_{\text{re}}} \right)^2 \quad (95)$$

FIG. 5. Numerical horizon entropy for some different values of the equation-of-state parameter. The green dashed curve corresponds to the case  $w = -1/3$ , the orange solid curve to  $w = 0$  while the blue dashed curve to  $w = 1/3$ .

La precisione dei dati sperimentali ha aperto una nuova e rivoluzionaria era in Cosmologia, vincolando in modo severo le speculazioni teoriche sui modelli relativi all’Universo Primordiale. Piattezza ed Omogeneità dell’Universo osservato suggeriscono con forza l’esistenza di un periodo di Inflazione Cosmica, una espansione esponenziale durante i primi istanti di evoluzione dell’Universo. Si ipotizza che l’inflatone, il campo scalare elementare che guida l’inflazione, al termine della fase di “slow-roll”, possa decadere e

trasferire tutta la sua energia a particelle relativistiche, dando luogo ad un riscaldamento (Reheating) dell’Universo e all’inizio dell’evoluzione dominata dalla radiazione (“Big-Bang evolution”). Comprendere a fondo la fase di Reheating è di fondamentale importanza per legare l’Universo primordiale alla Cosmologia Standard ed allo SM di Fisica delle Particelle. Essa dipende fortemente dal modello di inflazione. È possibile tuttavia darne una descrizione efficace in termini di un fluido perfetto. In questo lavoro, abbiamo studiato gli effetti sul Reheating della natura del fluido legato all’inflatone. Di solito, si assume un fluido con potenziale quadratico intorno al vuoto, in cui il parametro  $w$  dell’Equazione di Stato sia nullo. Tuttavia, un  $w$  diverso da zero consente di tener conto degli effetti di una fase di Reheating complessa e del fatto che il fluido muti la sua natura nel tempo. Abbiamo quindi studiato l’andamento con  $w$  di alcune quantità rilevanti della fase di Reheating (fig. 4, 5, pag. 9), quali la Temperatura massima, la Temperatura di Reheating (che caratterizza la transizione alla fase dominata dalla radiazione) e l’entropia di orizzonte normalizzata, che dipendono in modo diverso dal parametro dell’equazione di stato. Il rapporto tra Temperatura massima e Temperatura di Reheating decresce con  $w$ , mentre l’entropia cresce quasi-linearmente nel tempo per  $w$  positivo e più che quadraticamente per  $w$  vicino a  $-1/3$ .

## PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**PUCACCO  
GIUSEPPE**

AUTORI:

G. PUCACCO

RIVISTA:

CELESTIAL MECHANICS  
AND DYNAMICAL  
ASTRONOMY

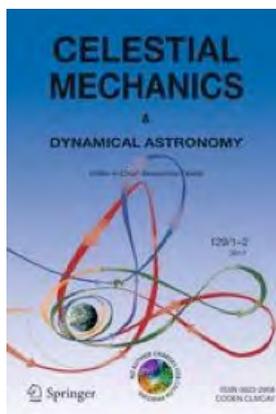
AMBITO DI RICERCA:

MECCANICA CELESTE



Dipartimento di Fisica

### STRUCTURE OF THE CENTER MANIFOLD OF THE L1,L2 COLLINEAR LIBRATION POINTS IN THE RESTRICTED THREE-BODY PROBLEM



La dinamica attorno ai punti d'equilibrio collineari del problema dei tre corpi è estremamente interessante sia per i suoi aspetti formali che per le applicazioni spaziali. Questi equilibri sono infatti debolmente instabili e quindi, con manovre di controllo "economiche", è possibile collocare nelle loro vicinanze dei satelliti che possono operare in condizioni ottimali per varie missioni osservative. In questo lavoro, ho studiato le proprietà dell'insieme delle principali orbite periodiche di tali sistemi: tali so-

luzioni infatti, sebbene linearmente instabili, costituiscono le più semplici approssimazioni delle orbite utilizzate in pratica. Per effettuare questo studio si deve trovare un modo costruttivo per eliminare la componente localmente instabile di ogni traiettoria; si proietta quindi la dinamica sulla cosiddetta "varietà centrale", cioè sul sottinsieme costituito da punti di fase da cui originano solo moti stabili (periodici o quasi-periodici). Dal punto di vista Hamiltoniano, il sistema dinamico così ottenuto è dato da due oscillatori armonici con frequenze quasi uguali (quindi vicino alla "risonanza 1:1") perturbato da una serie di potenze nelle coordinate dell'intorno di ognuno dei punti collineari. Esso viene analizzato con il metodo perturbativo basato sulla costruzione di una forma normale tramite la "trasformata di Lie" che permette di ottenere allo stesso tempo il passaggio alla varietà centrale e l'Hamiltoniana risonante in forma normale. Lo studio di questo sistema fornisce soluzioni analitiche approssimate per le orbite periodiche, con una predizione realistica dell'ampiezza critica alla quale biforcano le orbite "halo" che hanno proprietà particolarmente adatte alle missioni spaziali, specie per il sistema Terra-Sole. Questi risultati sono ottenuti esplicitamente per qualunque valore del rapporto di massa fra i primari, nell'intervallo da zero (limite di Hill) fino a  $\frac{1}{2}$  (masse uguali). Il metodo può essere esteso a perturbazioni di concreto interesse quali la pressione di radiazione solare, l'eccentricità del moto dei primari, le componenti di multipolo dei loro potenziali gravitazionali, etc.

## PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**PULCI  
OLIVIA**

AUTORI:

P. GORI, I. KUPCHAK, F.  
BECHSTEDT, D.  
GRASSANO, O. PULCI

RIVISTA:

PHYSICAL REVIEW B

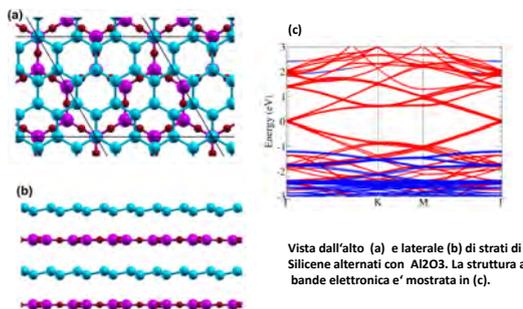
AMBITO DI RICERCA:

FISICA TEORICA DELLA  
MATERIA



Dipartimento di Fisica

## HONEYCOMB SILICON ON ALUMINA: MASSLESS DI- RAC FERMIONS IN SILICENE ON SUBSTRATE



Nel reame dei materiali bidimensionali, il silicene siede tra quelli più promettenti, grazie alla sua potenzialmente facile integrazione nella già ben sviluppata elettronica dei dispositivi semiconduttori basati sul silicio. Nonostante molte delle sue interessanti proprietà derivino dalla somiglianza con il

grafene (ad es proprietà elettroniche ed ottiche), altre sue caratteristiche sono peculiari e collegate alla sua struttura geometrica, che vede atomi di Si contigui non planari. L'ibridizzazione mista  $sp^2$  e  $sp^3$  che caratterizza il silicene lo rende molto più reattivo del grafene, offrendo la possibilità di utilizzarlo come sensore. Inoltre la sua non planarità permette l'utilizzo di campi elettrici che trasformano il silicene da isolante topologico a isolante normale. Purtroppo, la corrugazione del silicene rende la sua realizzazione particolarmente complicata, in quanto la sua interazione con il substrato ha conseguenze sulle sue particolari proprietà: la forte interazione con il substrato induce una gap elettronica distruggendo il cono di Dirac. Nel nostro articolo abbiamo predetto la stabilità di un singolo strato atomico di silicene su un singolo strato di ossido di alluminio (zaffiro). Abbiamo dimostrato che la struttura esagonale del silicene continua ad essere tale anche a seguito della interazione con il substrato. Di conseguenza, le bande elettroniche mostrano coni imperturbati con fermioni di Dirac a massa nulla. L'eterostruttura conserva il carattere di isolante topologico del silicene isolato. Le proprietà ottiche del silicene su zaffiro mantengono il caratteristico limite universale nell'infrarosso pari a  $\pi\alpha$ , con  $\alpha$  costante di struttura fine. L'assorbanza risulta quindi quantizzata con valori  $N\pi\alpha$ , dove N è il numero di strati di silicene.

# PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**ROCCHI  
ALESSIO**

AUTORI:

**P. ABBOTT,  
A. ROCCHI, ET AL.**

RIVISTA:

**PHYSICAL REVIEW D**

AMBITO DI RICERCA:

**ONDE  
GRAVITAZIONALI,  
INTERAZIONI  
FONDAMENTALI,  
ASTROFISICA**



**Dipartimento di Fisica**

## TESTS OF GENERAL RELATIVITY WITH THE BINARY BLACK HOLE SIGNALS FROM THE LIGO-VIRGO CATALOG GWTC-1



La rilevazione delle onde gravitazionali da parte di Advanced LIGO e Advanced Virgo ha offerto un'opportunità per testare la teoria della Relatività Generale di Einstein in un regime inaccessibile alle osservazioni astronomiche tradizionali e alle misure di laboratorio. L'articolo presenta quattro diversi test della coerenza dei dati sperimentali con le forme d'onda previste dalla relatività generale per sistemi binari di buchi neri. Un test sottrae dai dati sperimentali

la forma d'onda più adatta a descrivere il segnale osservato e verifica la consistenza del residuo con il rumore del rilevatore. Il secondo test verifica la coerenza tra le parti a bassa e alta frequenza dei segnali osservati. Il terzo test verifica che le deviazioni fenomenologiche introdotte nel modello teorico della forma d'onda (compresi i coefficienti post-Newtoniani) siano coerenti con zero. Il quarto test, infine, vincola le possibili modifiche alla modalità di propagazione delle onde gravitazionali a causa di una relazione di dispersione modificata, compresa quella in cui viene contemplato il caso di un gravitone massivo. Vengono presentati i risultati sia per singoli eventi che i risultati ottenuti combinando insieme gli eventi più significativi dei primi due periodi di osservazione di Advanced LIGO e Advanced Virgo, raccolti nel catalogo GWTC-1. Non si trova alcuna incoerenza dei dati raccolti con le previsioni della Relatività Generale e vengono migliorati (da 1,1 a 2,5 volte) i limiti precedentemente presentati. In particolare, è stato posto un vincolo superiore alla massa del gravitone, che deve essere minore di  $4,7 \times 10^{-23} eV/c^2$ , migliorando di un fattore di 1,6 i risultati pubblicati in precedenza.

## PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**SALAMON  
ANDREA**

AUTORI:

E. CORTINA GIL, A.  
SALAMON, ET AL. [NA62  
COLLABORATION]

RIVISTA:

PHYSICS LETTERS B

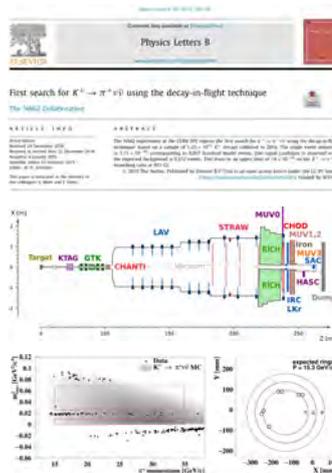
AMBITO DI RICERCA:

FISICA DELLE  
INTERAZIONI  
FONDAMENTALI



Dipartimento di Fisica

## FIRST SEARCH FOR THE $K^+ \rightarrow \pi^+ + \bar{\nu}$ DECAY USING THE DECAY-IN-FLIGHT TECHNIQUE



NA62 e' un esperimento all'SPS del CERN dedicato allo studio dei decadimenti rari dei mesoni K. Scopo principale dell'esperimento e' la misura del decadimento ultra-raro  $K^+ \rightarrow \pi^+ + \bar{\nu}$  con una precisione del 10%. Nel Modello Standard le transizioni tra quark di carica elettrica diversa sono mediate da correnti cariche, mentre le transizioni tra quark della stessa carica (Flavour Changing Neutral Currents) sono proibite al "tree level" e permesse agli ordini superiori. Il decadimento  $K^+ \rightarrow \pi^+ + \bar{\nu}$  è altamente soppresso, ben noto dal punto di vista teorico e

presenta significativi scostamenti dalle previsioni del Modello Standard in numerosi modelli di Nuova Fisica. Il Branching Ratio di questo decadimento nel Modello Standard e':  $BR(K^+ \rightarrow \pi^+ + \bar{\nu}) = (8.4 \text{ pm } 1.0) \times 10^{-11}$ . Per effettuare la misura viene usato un fascio di adroni positivi (7% di  $K^+$ ) a 75 GeV/c derivato dal fascio dell'SPS. Il rivelatore dell'esperimento NA62 si compone di: un contatore Cherenkov differenziale KTAG (identificazione dei  $K^+$ ), un tracciatore al silicio GTK (misura dell'impulso del  $K^+$ ), un rivelatore di tracce cariche CHANTI (veto delle interazioni anelastiche nel GTK), uno spettrometro STRAW (misura dell'impulso delle particelle cariche), un rivelatore Cherenkov RICH (identificazione dei  $\pi^+$ ), un odoscopio CHOD (identificazione delle tracce cariche e timing), un sistema di calorimetri elettromagnetici LAV, LKR, IRC, SAC (veto per fotoni a grande, medio e piccolo angolo), un sistema di calorimetri adronici MUV1 e MUV2 (identificazione dei  $\pi^+$ ) e un rivelatore di muoni MUV3 (identificazione dei muoni). In questo articolo viene presentato l'esperimento NA62 per la misura del Branching Ratio del decadimento  $K^+ \rightarrow \pi^+ + \bar{\nu}$  con la tecnica del decadimento in volo e viene riportato il risultato dell'analisi dei dati raccolti dall'esperimento nel 2016 corrispondenti al 2% della statistica accumulata nel periodo 2016-2018.

## PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**SALVATO  
MATTEO**

AUTORI:

M. SCAGLIOTTI, M.  
SALVATO, M. DE  
CRESCENZI, N. G.  
KOVALCHUK, I. V.  
KOMISSAROV, S. L.  
PRISCHEPA, D. CATONE,  
L. DI MARIO, M.  
BOSCARDIN, M.  
CRIVELLARI, P.  
CASTRUCCI

RIVISTA:

CARBON

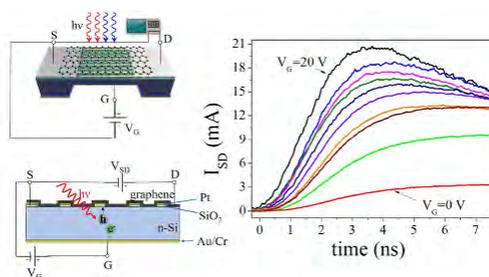
AMBITO DI RICERCA:

FISICA DELLA MATERIA  
CONDENSATA



Dipartimento di Fisica

## FEMTOSECOND LIGHT PULSE RESPONSE OF PHOTO-DETECTORS BASED ON GRAPHENE/N-SI HETEROJUNCTIONS



Schemi in 3D e 2D della giunzione grafene/n-Si con i tre contatti. Il grafico a destra mostra la fotocorrente generata in seguito all'assorbimento di un impulso luminoso della durata di 40 femtosecondi al variare della tensione tra gli elettrodi G e S.

Con la scoperta dei nano materiali l'interesse della Fisica della Materia si è focalizzato verso la possibilità di realizzare dispositivi elettronici ibridi in cui la tecnologia al silicio viene integrata con i nuovi materiali nano strutturati in modo da ot-

tenere dispositivi a maggior rendimento. In questo lavoro uno strato di grafene (singolo strato di atomi di carbonio) è stato depositato su un substrato di Si drogato n in modo da poter studiare le proprietà optoelettroniche della giunzione grafene/n-Si ottenuta. I substrati, appositamente progettati per l'esperimento, sono dotati di tre elettrodi in modo da consentire il funzionamento in regime fotovoltaico e fotoconduttivo della giunzione. Grazie alla sua elevata trasparenza ottica (circa 98%) e a una mobilità elettronica superiore a qualunque altro materiale ( $105 \text{ cm}^2/V \cdot s$ ), il grafene ha svolto il ruolo unico di finestra trasparente e conduttiva. Attraverso il grafene, la radiazione incidente penetra nella giunzione grafene/n-Si generando fotocariche che vengono raccolte dallo strato di grafene e trasmesse all'apparato di misura con una efficienza superiore ai dispositivi attualmente in commercio. In particolare, grazie alla ottima qualità della giunzione e alla particolare configurazione degli elettrodi, è stato misurato un tempo di risposta all'impulso di luce incidente dell'ordine di qualche nanosecondo, un risultato più che significativo per un dispositivo sperimentale. Il lavoro è il frutto di una collaborazione del Dipartimento di Fisica dell'Università di Tor Vergata con la Belarusian State University, l'Istituto ISM-CNR di Roma e la Fondazione Bruno Kessler.

## PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**SALVIO  
ALBERTO**

AUTORI:

A. SALVIO

RIVISTA:

PHYSICAL REVIEW D

AMBITO DI RICERCA:

FISICA DELLE  
PARTICELLE E  
COSMOLOGIA



Dipartimento di Fisica

## CRITICAL HIGGS INFLATION IN A VIABLE MOTIVATED MODEL



In questo articolo ho dimostrato come il bosone di Higgs, scoperto nel 2012 all'LHC del CERN (vicino Ginevra), possa spiegare la fase inflazionaria dell'universo primordiale. Questa fase è caratterizzata da un aumento esponenziale del volume dell'universo. La novità essenziale del lavoro è stata quella di spiegare insieme all'inflazione vari altri fenomeni che il cosiddetto modello standard non è in grado di descrivere: l'oscillazione dei neutrini, la materia oscura, l'asimmetria materia-antimateria e il fatto che l'interazione forte non viola (al contrario dell'interazione debole) la simmetria CP: quest'ultima simmetria è definita come l'azione combinata della coniugazione di carica (vale a dire lo scambio fra particelle e antiparticelle) e la parità (cioè lo scambio fra il nostro mondo e la sua immagine speculare). Il modello proposto può quindi essere considerato un completamento del modello standard, almeno fino ad energie inferiori a quella di Planck (alla quale viene richiesta una teoria della gravità quantistica). L'inclusione degli effetti quantistici della gravità rappresenta un interessante sviluppo per studi futuri.

## PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**SANTOVETTI  
EMANUELE**

AUTORI:

A. SANTOVETTI ET AL.  
(COLLABORAZIONE  
LHCb)

RIVISTA:

PHYSICAL REVIEW  
LETTERS

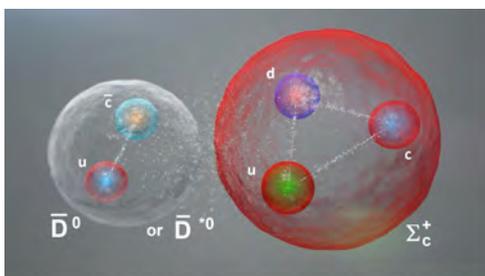
AMBITO DI RICERCA:

FISICA DELLE  
INTERAZIONI  
FONDAMENTALI



Dipartimento di Fisica

## OBSERVATION OF A NARROW PENTAQUARK STATE, $P_c(4312)^+$ , AND OF THE TWO-PEAK STRUCTURE OF THE $P_c(4450)^+$



La collaborazione LHCb ha annunciato la scoperta di una nuova particella pentaquark. La particella, denominata  $P_c(4312)^+$ , decade in un protone e in una particella  $J/\psi$  (composta da un quark charm e un quark anticharm). Quest'ultima

osservazione ha una significatività statistica di 7,3 deviazioni standard, sufficiente per dichiararne la scoperta. Nel modello a quark convenzionale, le particelle composite possono essere mesoni formati da coppie quark-antiquark o barioni formati da tre quark. Le particelle non classificate in questo schema sono note come adroni esotici. Quando Murray Gell-Mann e George Zweig proposero il modello a quark nei loro articoli del 1964, menzionarono la possibilità di adroni esotici come i pentaquark, ma ci vollero 50 anni per dimostrare la loro esistenza sperimentalmente. Nel luglio 2015, la collaborazione LHCb aveva già visto delle particelle pentaquark  $P_c(4450)^+$  e  $P_c(4380)^+$ . Queste sono state confermate in modo definitivo e la nuova particella si presenta come un compagno più leggero di queste strutture pentaquark. La sua esistenza getta nuova luce nella natura dell'intera famiglia. L'analisi ha anche messo in luce una struttura più complessa della risonanza  $P_c(4450)^+$  costituita da due picchi stretti e sovrapposti. Altri dati sperimentali e ulteriori studi teorici sono necessari per comprendere appieno la struttura interna degli stati osservati. Il gruppo LHCb di Roma Tor Vergata è attivo sin dalla nascita dell'esperimento e contribuisce in modo fondamentale al rivelatore di muoni, particelle in cui decadono i pentaquark osservati.

# PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**SAVELLI  
RAFFAELE**

AUTORI:

**J. BENA, J. BLÅBÄCK, R.  
SAVELLI, G. ZOCCARATO**

RIVISTA:

**JOURNAL OF HIGH  
ENERGY PHYSICS**

AMBITO DI RICERCA:

**FISICA TEORICA DELLE  
INTERAZIONI  
FONDAMENTALI**



Dipartimento di Fisica

## THE TWO FACES OF T-BRANES



Published for SISSA by SPRINGER  
RECEIVED: June 6, 2019  
REVISED: September 2, 2019  
ACCEPTED: September 16, 2019  
PUBLISHED: October 11, 2019

### The two faces of T-branes

Ioif Bena,<sup>a</sup> Johan Blåbäck,<sup>b</sup> Raffaele Savelli<sup>c</sup> and Gianluca Zoccarato<sup>d</sup>

<sup>a</sup>Institut de Physique Théorique, Université Paris-Saclay, CEA, CNRS,  
Orme des Merisiers, F-91191 Gif sur Yvette, France  
<sup>b</sup>Dipartimento di Fisica, Università di Roma “Tor Vergata” & INFN – Sezione di Roma2,  
Via della Ricerca Scientifica 1, 00131 Roma, Italy  
<sup>c</sup>Department of Physics and Astronomy, University of Pennsylvania,  
393 South 33rd St, Philadelphia, PA 19104, U.S.A.  
E-mail: ioif.bena@ipht.fr, johan.blaaback@roma2.infn.it,  
raffaele.savelli@roma2.infn.it, g.zoccarato@upenn.edu

**ABSTRACT:** We establish a brane-brane duality connecting T-branes to collections of ordinary D-branes. T-branes are intrinsically non-Abelian brane configurations with worldvolume flux, whereas their duals consist of Abelian brane systems that encode the T-brane data in their curvature. We argue that the new Abelian picture provides a reliable description of T-branes when their non-Abelian fields have large expectation values in string units. To confirm this duality, we match the energy density and all the electromagnetic couplings on both sides. A key step in this derivation is a non-trivial factorization of the symmetrized trace non-Abelian Dirac-Born-Infeld action when evaluated on solutions of the  $\alpha'$ -corrected Hitchin system.

**KEYWORDS:** D-branes, String Duality

ARXIV: [1905.03267](https://arxiv.org/abs/1905.03267)

OPEN ACCESS, © The Authors.  
Article funded by SCOAP<sup>3</sup>.  
[https://doi.org/10.1007/JHEP10\(2019\)150](https://doi.org/10.1007/JHEP10(2019)150)

JHEP10(2019)150

Questo articolo si colloca nell’ambito della Teoria delle Stringhe e si occupa di investigare la natura di particolari configurazioni di energia minima, scoperte di recente, e chiamate “T-brane”. Questi vuoti sono stati oggetto di intenso studio negli ultimi anni, sia a livello fondamentale (a causa delle loro caratteristiche esotiche rispetto a configurazioni ordinarie, conosciute con il nome di D-brane), sia a livello applicativo (grazie al loro importante ruolo nella costruzione di modelli d’interesse per la fenomenologia della teoria). L’idea è stata quella di indagare

la possibile esistenza di una descrizione alternativa delle T-brane che sia valida nel regime di parametri in cui quella tradizionale, basata sui cosiddetti sistemi di Hitchin, non risulta affidabile a causa della presenza di correzioni quantistiche fuori controllo. Siamo stati in grado di fornire evidenze dirette e quantitative dell’esistenza di tale formulazione “duale”: in particolare, abbiamo verificato che le principali quantità cinematiche, come la densità di energia e le cariche elettromagnetiche indotte dalle sorgenti, fossero identiche nelle due descrizioni. Inoltre, sebbene la formulazione tradizionale coinvolga fisica non-Abeliana, quella duale, al contrario, utilizza solo sorgenti Abeliane, e codifica l’informazione intrinseca di T-brana nella curvatura delle sorgenti Abeliane. Oltre a fornire ulteriori preziosi dettagli sulla fisica “esotica” di queste ancora misteriose T-brane, tale ricerca apre la strada ad interessanti sviluppi di indagine nell’ambito delle loro applicazioni in fenomenologia di stringa, in particolare sul loro possibile impiego nella costruzione di vuoti di de Sitter.

# PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**SBRAGGLIA  
MAURO**

AUTORI:

**R. BENZI, T. DIVOUX, C.  
BARENTIN, S.  
MANNEVILLE, M.  
SBRAGGLIA, F. TOSCHI**

RIVISTA:

**PHYSICAL REVIEW  
LETTERS**

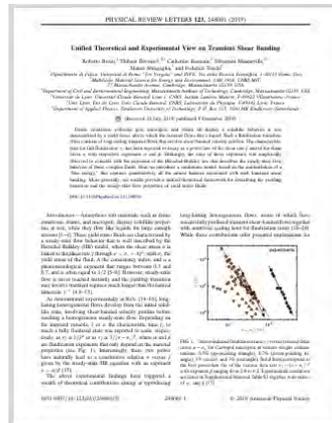
AMBITO DI RICERCA:

**MECCANICA  
STATISTICA**



## Dipartimento di Fisica

# UNIFIED THEORETICAL AND EXPERIMENTAL VIEW ON TRANSIENT SHEAR BANDING



In questo articolo studiamo la dinamica temporale di materiali soffici vetrosi, come ad esempio emulsioni dense, gel colloidali e schiume. Questi materiali sono di enorme importanza per una ampia serie di applicazioni industriali e sono anche molto interessanti dal punto di vista della loro fisica e della loro dinamica fuori dall'equilibrio. Da un punto di vista reologico, infatti, i materiali soffici vetrosi sono dei fluidi complessi che rispondono alle sollecitazioni meccaniche come dei solidi (comportamento elastico), esibendo uno stress di "soglia" oltre il quale riescono a fluire con una viscosità finita (comportamento fluido). Mentre la reologia stazionaria è ben compresa e caratterizzata, la dinamica transiente alla base del processo di fluidizzazione lo è meno. In questo articolo viene proposto un modello continuo che cattura gli aspetti salienti della dinamica temporale del processo di fluidizzazione di materiali soffici vetrosi. Le prime osservazioni sperimentali di questi aspetti dinamici risalgono a circa 10 anni fa, e hanno suscitato enorme interesse nella comunità di meccanica statistica dei sistemi disordinati fuori dall'equilibrio. Il modello qui proposto fornisce per la prima volta un chiaro legame tra il processo di fluidizzazione e la reologia complessa dei materiali soffici vetrosi.

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**SCARSELLI  
MANUELA**

AUTORI:

I. KUPCHAK, F. FABBRI,  
M. DE CRESCENZI, M.  
SCARSELLI, M. SALVATO,  
T. DELISE, I. BERBEZIER,  
O. PULCI, P. CASTRUCCI

RIVISTA:

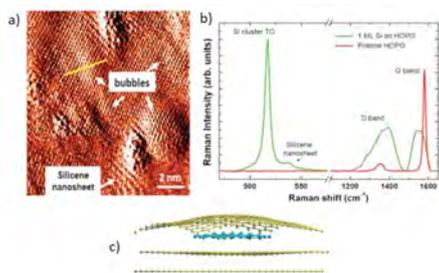
NANOSCALE

AMBITO DI RICERCA:

FISICA DELLA  
SUPERFICI



## SCANNING TUNNELING MICROSCOPY AND RAMAN EVIDENCE OF SILICENE NANOSHEETS INTERCALATED INTO GRAPHITE SURFACES AT ROOM TEMPERATURE



a) immagine STM dell'HOPG dopo la deposizione del silicio; b) spettro Raman dell'HOPG prima e dopo la deposizione di silicio; c) disposizione degli atomi di silicio e di carbonio ottenuti da calcoli ab initio.

I materiali bidimensionali (2D) sono oggetto di intensa ricerca negli ultimi decenni poiché possiedono proprietà strutturali ed elettroniche che possono essere applicati nella realizzazione di dispositivi elettronici di dimensione nanometrica ( $10^{-9}$  m). Il materiale più conosciuto è il grafene, ma si studiano anche il nitruro di boro e i dical-

cogenuri. Il materiale bidimensionale che si ottiene a partire dal silicio detto silicene è oggetto di crescente interesse per le applicazioni nella nanoelettronica. Il silicene si può ottenere mediante deposizione controllata di atomi di silicio su varie superfici. Tra queste la grafite pirolitica altamente orientata (HOPG) è un substrato inerte che ha una struttura di superficie molto adatta per la crescita del silicene. Studi recenti dimostrano che quando atomi di Si vengono depositati su HOPG a temperatura ambiente essi formano: 1) nano-fogli di silicene 2D e 2) piccole strutture tridimensionali. In questo articolo dimostriamo mediante esperimenti di microscopia a scansione ad effetto tunnel (STM) e spettroscopia Raman, che si forma una terza configurazione in forma di nanofogli di Si 2D intercalati sotto lo strato superiore degli atomi di carbonio dell'HOPG. L'intercalazione del Si avviene in corrispondenza dei bordi dei piani dell'HOPG e stacca lo strato di grafite più esterno inducendo un forte sforzo di trazione concentrato principalmente sui bordi dei nanofogli di silicene. Gli esperimenti sono in ottimo accordo con calcoli teorici della struttura e del comportamento energetico dei nanofogli di silicene. Il risultato ottenuto aggiunge un altro tassello al dibattito in corso sulla formazione, esistenza e stabilità del silicene su substrati inerti.

## PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**SENESI  
ROBERTO**

AUTORI:

G. FESTA, C. ANDREANI,  
M. BALDONI, V.  
CIPOLLARI, C. MARTINEZ-  
LABARGA, F. MARTINI,  
O. RICKARDS, M.F.  
ROLFO, L. SARTI, N.  
VOLANTE, R. SENESI ET  
AL.

RIVISTA:

SCIENCE ADVANCES

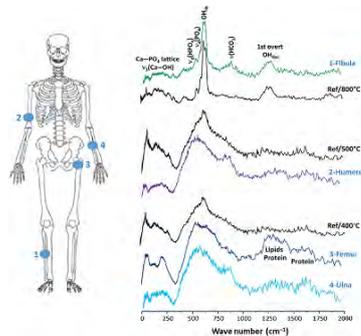
AMBITO DI RICERCA:

TECNICHE NUCLEARI  
APPLICATE AI BENI  
CULTURALI



Dipartimento di Fisica

## FIRST ANALYSIS OF ANCIENT BURNED HUMAN SKELETAL REMAINS PROBED BY NEUTRON AND OPTICAL VIBRATIONAL SPECTROSCOPY



Molti siti archeologici e contesti in ambito forense contengono resti ossei combusti. Lo studio sperimentale con tecniche di neutroni e di luce coordinato dal gruppo di spettroscopia di neutroni del Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata", ha permesso di ottenere nuove tipologie di informazione sui processi di combustione nei reperti ossei, le pratiche funerarie, di sepoltura e di cottura dei cibi di civiltà passate.

A seguito dell'aumento di temperatura le ossa riscaldate subiscono cambiamenti micro e macroscopici e, con la perdita della componente organica, si restringono e le loro dimensioni cambiano. Spesso le tecniche ad oggi disponibili non permettono l'identificazione e l'attribuzione sia dell'età che sesso degli individui associati ai resti ossei. Questa indagine ha dimostrato l'efficacia dell'utilizzo della spettroscopia vibrazionale di neutroni per l'identificazione delle temperature di combustione alle quali sono stati soggetti i resti ossei. I risultati ottenuti sui reperti sono stati confrontati con gli spettri vibrazionali ottenuti da ossa umane moderne soggette a combustione in condizioni controllate per l'identificazione delle specifiche condizioni di riscaldamento. Attraverso l'indagine sperimentale sono state identificate le pratiche funerarie adottate in passato: ad esempio le parti di uno scheletro di età romana rinvenuto in una necropoli nei pressi di Roma sono infatti risultate combuste a temperature tra i 600 C e gli 800 C. Questa evidenza è stata interpretata come la pratica funeraria di *bustum sepulcrum* per la quale il defunto veniva cremato direttamente in fossa, fornendo indicazioni innovative agli archeologi e antropologi sugli usi delle civiltà antiche.

## PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**SGARLATA  
ANNA**

AUTORI:

L. PERSICHETTI, L. DI  
GASPARE, F. FILIPPO  
FABBRI, A. A.,  
SCAPARRO, ANDREA  
NOTARGIACOMO, A.  
SGARLATA, M. FANFONI,  
V. M., C. COLETTI,  
MONICA DE SETA

RIVISTA:

CARBON

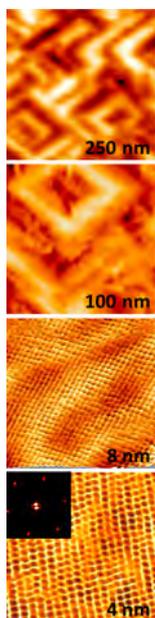
AMBITO DI RICERCA:

FISICA DELLE  
SUPERFICI,  
MICROSCOPIA A  
SCANSIONE TUNNEL,  
SEMICONDUTTORI,  
SCIENZA DEI  
MATERIALI



Dipartimento di Fisica

## ABRUPT CHANGES IN THE GRAPHENE ON GE(001) SYSTEM AT THE ONSET OF SURFACE MELTING



In questo lavoro il nostro gruppo di ricerca ha studiato la crescita di grafene su una superficie di Ge(001) con lo scopo di identificare nuovi materiali utili alla produzione di nuovi, più efficienti dispositivi, compatibili con la tecnologia attuale a base di silicio. Tra questi nuovi materiali uno dei candidati più promettenti è il grafene per il quale manca ancora una tecnica di crescita, in assenza di contaminazioni metalliche, direttamente sulla superficie del semiconduttore, evitando così complicati processi di trasferimento. Nel lavoro pubblicato sulla rivista Carbon nel 2019 abbiamo individuato le migliori condizioni sperimentali per depositare strati di grafene di buona qualità direttamente sulla superficie di un semiconduttore quale il Germanio tramite Chemical Vapor Deposition. Presso il laboratorio VTSTM di Fisica abbiamo realizzato un'accurata caratterizzazione con

microscopia a scansione Tunnel STM a risoluzione atomica dimostrando che lo strato di grafene cresce nel momento in cui la superficie di Germanio presenta delle strutture ordinate tridimensionali (Facets) superficiali. Tali strutture si formano solo quando la temperatura raggiunge un valore molto vicino al punto di fusione del Germanio (930°C) e per un tempo di deposizione pari a 60 minuti. In queste condizioni si crea una discontinuità nel modo di crescita: gli atomi di Ge raggiungono una mobilità tale da inter-diffondere attraverso gli strati superficiali e favorire una crescita strato per strato di grafene privo di difetti. In figura è riportata una sequenza delle immagini acquisite a Tor Vergata che mostrano, su scale diverse, la morfologia del campione dalle facets fino alla struttura atomica dalla caratteristica simmetria esagonale il cui lato misura circa  $1.4\text{\AA}$  (nell'insero la 2D FFT).

# PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**SPARVOLI  
ROBERTA**

AUTORI:

P. PICOZZA, R. BATTISTON, G. AMBROSI, S. BARTOCCI, L. BASARA, W.J. BURGER, D. CAMPANA, L. CARFORA, M. CASOLINO, R. SPARVOLI ET AL.

RIVISTA:

ASTROPHYSICAL  
JOURNAL SUPPLEMENT  
SERIES

AMBITO DI RICERCA:

FISICA DELLE  
ASTROPARTICELLE,  
FISICA SOLARE, FISICA  
DELLA MAGNETOSFERA

## Università di Roma Dipartimento di Fisica

### SCIENTIFIC GOALS AND IN-ORBIT PERFORMANCE OF THE HIGH-ENERGY PARTICLE DETECTOR ON BOARD THE CSES



Il satellite CSES (China Seismo-Electromagnetic Satellite) ha lo scopo di monitorare le perturbazioni elettromagnetiche, di particelle e del plasma nella iono-magnetosfera e nelle fasce di radiazione di Van Allen interne, che possono essere originate da sorgenti elettromagnetiche esterne e interne alla cavità geomagnetica, da raggi cosmici e da eventi solari. In particolare, l'obiettivo della missione spaziale è indagare i meccanismi di accoppiamento litosfera-atmosfera-ionosfera (inclusi gli effetti di fulmini, terremoti, vulcani ed emissioni elettromagnetiche artificiali) che inducono perturbazioni del lato superiore della ionosfera e del limite inferiore delle cinture di radiazione. A tal fine, il satellite contiene 9 rivelatori per la misura delle componenti del campo elettromagnetico, dei parametri del plasma, delle particelle energetiche e del flusso di raggi X presenti nella ionosfera. Il team italiano che partecipa alla missione CSES ha costruito uno di questi dispositivi, l'High-Energy Particle Detector (HEPD), per osservazioni ad alta precisione di elettroni, protoni e nuclei leggeri in orbita. Durante il suo viaggio attorno alla Terra, e grazie all'ampio set di rivelatori operati a bordo, CSES monitora completamente la ionosfera, fungendo da ottimo strumento per la meteorologia spaziale. Il satellite è stato lanciato il 2 febbraio 2018, ad un'altitudine di 500 km e con un'orbita quasi polare. La missione ha una durata prevista di 5 anni. L'articolo descrive la missione CSES con particolare attenzione all'apparato HEPD e alle sue prestazioni in volo.

## PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**STEFANUCCI  
GIANLUCA**

AUTORI:

E. PERFETTO, D.  
SANGALLI, A. MARINI,  
G. STEFANUCCI

RIVISTA:

PHYSICAL REVIEW  
MATERIALS

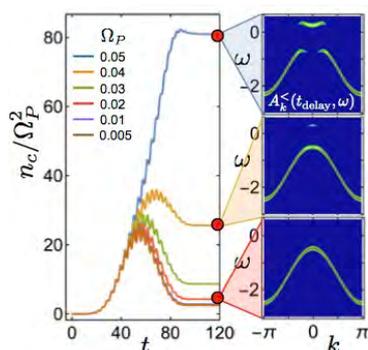
AMBITO DI RICERCA:

FISICA TEORICA DELLA  
MATERIA



Dipartimento di Fisica

## PUMP-DRIVEN NORMAL-TO-EXCITONIC INSULATOR TRANSITION: JOSEPHSON OSCILLATIONS AND SI- GNATURES OF BEC-BCS CROSSOVER IN TIME-RESOL- VED ARPES



In questo lavoro si mostra come un isolante o un semiconduttore possa essere convertito in un superfluido eccitonico utilizzando impulsi laser. La fase di superfluido eccitonico è caratterizzata da una densità finita di eccitoni (coppie legate elettrone-lacuna) e da una coerenza macroscopica della polarizzazione ad essi associata. Questa fase della materia si manifesta esclusivamente in

stati quantici altamente eccitati e può essere sfruttata per applicazioni in optoelettronica. Infatti la coerenza macroscopica da origine a oscillazioni monocromatiche della polarizzazione e quindi alla possibilità di generare luce coerente. Inoltre la frequenza di questa luce può essere variata cambiando l'intensità o la durata dell'impulso laser originario. In questo lavoro si mostra inoltre come le diverse frequenze della polarizzazione siano connesse a diversi spettri di fotoemissione e alla natura dello stato superfluido.

## PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**STELLATO  
FRANCESCO**

AUTORI:

G. BRÄNDÉN, G.  
HAMMARIN, R.  
HARIMOORTHY, A.  
JOHANSSON, D.  
ARNLUND, E.  
MALMERBERG, A. BARTY,  
S. TÅNGEFJORD, F.  
STELLATO, ET AL.

RIVISTA:

**NATURE  
COMMUNICATIONS**

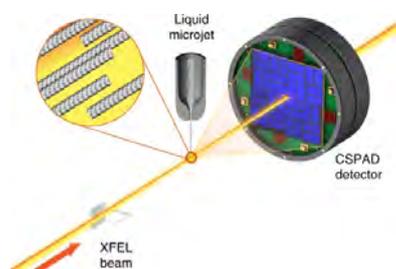
AMBITO DI RICERCA:

**FISICA DEI SISTEMI  
BIOLOGICI**



Dipartimento di Fisica

## COHERENT DIFFRACTIVE IMAGING OF MICROTUBULES USING AN X-RAY LASER



I laser a elettroni liberi sono sorgenti di radiazione in grado di emettere impulsi ultra-brevi – dell'ordine di pochi femtosecondi – e ultra-intensi (più di  $10^{12}$  fotoni/impulso) nella regione dei raggi X. Una delle principali applicazioni consiste nell'imaging ad alta risoluzione di campioni biologi-

ci quali complessi proteici, organelli cellulari, batteri e virus. Sfruttando la cortissima durata dell'impulso e la piccola lunghezza d'onda è infatti possibile ottenere immagini con risoluzione di pochi nanometri di campioni biologici nel loro stato nativo e prima che gli stessi vengano distrutti dall'intensa radiazione incidente. Nell'articolo qui presentato tale tecnica è applicata allo studio di complessi proteici noti come microtubuli, consistenti in strutture intracellulari costituite da proteine, note come tubuline, allineate a formare tubuli cavi con un diametro di circa 25 nm. Tali strutture sono importanti per la cellula in quanto ne costituiscono parte dello scheletro. Date le loro dimensioni, sono tuttavia troppo piccole per essere studiate con la microscopia ottica. In questo esperimento sono state quindi sospese in soluzione e introdotte, mediante una colonna di liquido di dimensioni micrometriche, sotto gli impulsi X prodotti dal laser a elettroni liberi LCLS presso i laboratori di Stanford. Combinando insieme migliaia di immagini è stato possibile ricostruire la struttura tridimensionale dei microtubuli con una risoluzione di 4 nm, che consente di individuare non solo le caratteristiche "macroscopiche" dei microtubuli, come il diametro interno ed esterno, ma di fornire dettagli sulla struttura interna. Conoscere la struttura dei microtubuli è di particolare rilevanza medica, in quanto gli stessi sono bersaglio di alcune classi di farmaci antitumorali.

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**TANTALO  
NAZARIO**

AUTORI:

M. DI CARLO, D. GIUSTI,  
V. LUBICZ, G.  
MARTINELLI, C.T.  
SACHRAJDA, F.  
SANFILIPPO, S. SIMULA,  
N. TANTALO

RIVISTA:

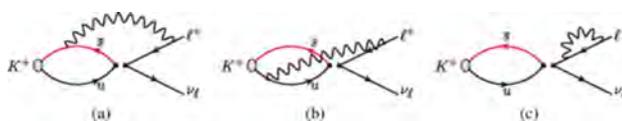
PHYSICAL REVIEW D

AMBITO DI RICERCA:

FISICA TEORICA DELLE  
PARTICELLE ELEMENTARI



## LIGHT-MESON LEPTONIC DECAY RATES IN LATTICE QCD+QED



Il Modello Standard delle interazioni fondamentali è la teoria che descrive quelli che ad oggi riteniamo

essere i costituenti fondamentali della natura e le loro interazioni non gravitazionali. Tale teoria ha ricevuto innumerevoli conferme sperimentali nel corso degli anni, culminate nella scoperta del bosone di Higgs. All'interno del Modello Standard non è però possibile spiegare fenomeni quali l'oscillazione dei neutrini, la presenza della materia oscura e la notevole asimmetria tra materia ed antimateria all'interno del nostro universo. Per queste ragioni la ricerca di nuova fisica rappresenta l'attività primaria dei fisici delle alte energie. Tale ricerca si svolge su due fronti. Il fronte della ricerca diretta vede impegnati i fisici sperimentali nell'esplorazione di scale di energia sempre più alte e i fisici teorici nell'analisi di teorie che possano spiegare la fenomenologia non prevista dal Modello Standard. Il fronte della ricerca indiretta vede impegnati i fisici sperimentali in misure sempre più accurate di fenomeni già noti e, al contempo, i fisici teorici in predizioni sempre più stringenti al fine di individuare deviazioni dal Modello Standard. È particolarmente difficile fare predizioni teoriche sulla fenomenologia degli "adroni", particelle che interagiscono molto fortemente e per le quali non è possibile usare tecniche di calcolo analitiche. Tali particelle possono però essere studiate mediante simulazioni numeriche. In questo lavoro, usando supercomputer tra i più potenti al mondo, abbiamo studiato mediante simulazioni numeriche i decadimenti dei mesoni "strani" K in leptoni tenendo opportunamente di conto sia gli effetti delle interazioni forti che quelli dell'elettromagnetismo. Questo ci ha portato ad ottenere il record di precisione teorica per questo importante fenomeno. Anche se i nostri risultati non hanno ancora evidenziato significative deviazioni dal Modello Standard, le tecniche usate in questo lavoro hanno aperto la strada a predizioni teoriche sempre più accurate e quindi a test sempre più stringenti della teoria delle interazioni fondamentali.

## PUBBLICAZIONI: UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

**TOMBESI  
FRANCESCO**

AUTORI:

R. SERAFINELLI,  
F. TOMBESI,  
F. VAGNETTI, E.  
PICONCELLI, M.  
GASPARI, FRANCESCO F.

RIVISTA:

ASTRONOMY &  
ASTROPHYSICS

AMBITO DI RICERCA:

ASTROFISICA  
EXTRAGALATTICA,  
NUCLEI GALATTICI  
ATTIVI, ASTRONOMIA A  
RAGGI X, BUCHI  
NERI, EVOLUZIONE  
GALATTICA



Dipartimento di Fisica

## MULTIPHASE QUASAR-DRIVEN OUTFLOWS IN PG 1114+445 I. ENTRAINED ULTRA-FAST OUTFLOWS



Osservazioni condotte con il satellite XMM-Newton dell'ESA del buco nero nel cuore della galassia attiva PG 1114+445 hanno consentito di mostrare come i venti ultraveloci (in inglese ultra-fast outflows) emessi dal disco di accrescimento, nella regione prossima al buco nero stesso, interagiscono con la materia interstellare della galassia ospite. Questo studio mostra come i venti del buco nero abbiano sulla galassia un impatto su una scala più grande, fornendo il collegamento mancante. Si conoscevano già due tipi di outflows negli spettri a raggi X emessi dai nuclei galattici attivi. I cosiddetti

outflows ultraveloci (ultra-fast outflow), fatti di gas altamente ionizzato, viaggiano a velocità che possono raggiungere il 40 per cento di quella della luce, e si osservano in prossimità del buco nero centrale. Gli outflows più lenti, chiamati anche “assorbitori tiepidi” (warm absorbers), viaggiano invece a velocità assai più basse, nell’ordine delle centinaia di km/s, e mostrano caratteristiche fisiche simili a quelle della materia interstellare circostante. In questo studio descriviamo un terzo tipo di venti che combina le caratteristiche dei due precedenti: la velocità di un ultra-fast outflow e le proprietà fisiche di un warm absorber. Riteniamo che si tratti della zona in il vento entra in contatto la materia interstellare e la trascina via come fosse uno spazzaneve, liberando queste zone dal gas e rallentando così l’accrescimento della materia attorno al buco nero. Questa scoperta è stato oggetto di comunicati stampa dell'ESA, INAF e dell'Università di Roma "Tor Vergata". L'immagine in allegato è una rappresentazione artistica del vento del quasar preparata dall'ESA.

PUBBLICAZIONI:  
UNA OVERVIEW

CONTRIBUTO  
SOTTOMESSO DA:

VITTORIO  
NICOLA

AUTORI:

F. TOSONE, B. S.  
HARIDASU, V. LUKOVIC,  
N. VITTORIO

RIVISTA:

PHYSICAL REVIEW D

AMBITO DI RICERCA:

COSMOLOGIA



Dipartimento di Fisica

## CONSTRAINTS ON FIELD FLOWS OF QUINTESSENCE DARK ENERGY

Constraints on field flows of quintessence dark energy

Federico Tosone<sup>1</sup>, Baharidasu S. Haridasu<sup>1</sup>, Vladimir V. Lukovic<sup>1</sup>, and Nicola Vittorio<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Dipartimento di Fisica, Università di Roma "Tor Vergata",  
Via della Ricerca Scientifica, 1, 00133 Roma, Italy

The quest for understanding the late-time accelerated expansion of the Universe [1, 2] leads to the nature of dark energy, one of the most engaging problems in modern cosmology. The identification of the energy density of a cosmological constant as the missing component became a paradigm of the standard model. Nevertheless, the value inferred from cosmic acceleration cannot be the ground-work on quantum field theory, being associated to superrenormalizable models from particle physics [3, 4]. One appealing alternative to the cosmological constant is that dark energy corresponds to the expectation value of the energy density of a scalar field evolving under a potential  $V(\phi)$ . The observed energy density is then a dynamical vacuum that eventually will approach a minimum, and it is the field component of the cosmological constant. More exotic scalar fields were proposed as driving components of the late-time expansion of the Universe such as k-essence [5, 6], phantom energy [7, 8], tachyons [9], ghost condensates [10, 11]. The comprehensive review about dark energy theories see [12–15]. Another possible solution to the problem is that gravity weakens on cosmological scales, resulting in cosmic acceleration [see [16] for a review on the distinction from

dark energy]. Indeed modified gravity (MG) theories, though might be indistinguishable from dark energy at the level of cosmic expansion alone, they have distinct features on the large-scale structure [17], which can be detected by various observational probes [18]. Given the current observational status, the parameter space of MG theories has been probed by the means of phenomenological approaches, with the standard model being favored by data, though there are indications for a dynamical evolution [19, 20]. Recently the broad scenario of MG was severely restricted down by the detection of the electromagnetic counterpart of a gravitational wave signal, because of the strong bounds on the speed of gravity [21–23]. In addition the clustering of galaxies on non-linear scales shows already strong evidence against deviations from general relativity [24]. The precise forthcoming data from surveys like DES and Euclid [25, 26] could be decisive in unravelling the nature of cosmic acceleration. In this respect, quintessence models are favored by recent observations, and several studies have concentrated on the nature of numerical approaches, appropriate solutions or parametrizations of the evolution of the field [27–30]. Because of various assumptions made in the analysis, such as those on the initial conditions of the field or on the parameter of the potential, we report these results as not the most general. However these assumptions are often needed to fix the time quintessence evolution [31] or to reduce the parameter space of the model and to explore it by the means of a Monte Carlo Markov Chain (MCMC) analysis. In the present study we improve the constraints by implementing a statistical framework for constraints on real cosmological models. While the risk of dynamical cosmological field depends mainly on the potential form [32] for an introduction to quintessence dynamics, we see

arXiv:1811.05434v2 [astro-ph.CO] 11 Feb 2019

<sup>1</sup> federico.tosone@uniroma2.it  
<sup>2</sup> baharidasu@uniroma2.it  
<sup>3</sup> vladimir.lukovic@uniroma2.it  
<sup>4</sup> nicola.vittorio@uniroma2.it  
<sup>5</sup> federico.tosone@uniroma2.it  
<sup>6</sup> baharidasu@uniroma2.it  
<sup>7</sup> vladimir.lukovic@uniroma2.it  
<sup>8</sup> nicola.vittorio@uniroma2.it

<sup>9</sup> federico.tosone@uniroma2.it  
<sup>10</sup> baharidasu@uniroma2.it  
<sup>11</sup> vladimir.lukovic@uniroma2.it  
<sup>12</sup> nicola.vittorio@uniroma2.it

<sup>13</sup> federico.tosone@uniroma2.it  
<sup>14</sup> baharidasu@uniroma2.it  
<sup>15</sup> vladimir.lukovic@uniroma2.it  
<sup>16</sup> nicola.vittorio@uniroma2.it

barioni, fotoni e neutrini - una quinta componente cosmologica, chiamata quintessenza. Nella sua forma più semplice, la quintessenza è un campo scalare che evolve per via di un potenziale. A differenza della Costante Cosmologica di Einstein, la media della densità di energia del campo non è costante nel tempo. Questo determina predizioni diverse per il tasso di espansione dell'universo a diversi redshift. Così modelli diversi di quintessenza possono essere testati e vincolati utilizzando una serie di dati osservativi: le Supernovae Ia, i cronometri cosmici, le oscillazioni acustiche dei barioni, le anisotropie in temperatura e polarizzazione della radiazione cosmica di fondo. La novità della nostra analisi sta nell'implementazione di un metodo che consente di risolvere l'esatta evoluzione del campo di quintessenza in potenziali motivati fisicamente. Per la prima volta siamo stati in grado di fornire dei limiti alle condizioni iniziali del campo, così come ai parametri che definiscono il potenziale. Dal confronto con le osservazioni, troviamo che i dati attualmente disponibili non consentono ancora di discriminare tra modelli di quintessenza, che peraltro risultano statisticamente consistenti con il modello cosmologico standard con Costante Cosmologica.

La scoperta, premiata nel 2011 con il Premio Nobel, che l'universo è oggi in una fase di espansione accelerata risale a più di vent'anni fa e ha rimesso al centro delle riflessioni teoriche la necessità di modificare le equazioni di campo della Relatività Generale. Vista la difficoltà di conciliare l'ampiezza del termine di Costante Cosmologica necessaria per spiegare le osservazioni con quanto predetto dal modello standard delle particelle elementari, si è pensato di considerare - oltre a materia fredda,





## PREMI E RICONOSCIMENTI

## COMMISSIONE AMBIENTE E GRANDI CALAMITÀ NATURALI



Newsletter del

Dipartimento di Fisica

Ottobre/Novembre/Dicembre  
2019

[www.newsletter-fisica-tor-vergata.it](http://www.newsletter-fisica-tor-vergata.it)



ACCADEMIA NAZIONALE DEI LINCEI

Consiglio di Presidenza dell'Accademia Nazionale dei Lincei, presieduta dal Prof. Giorgio Parisi, ha nominato il Prof. Francesco Berrilli, del Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata", com-

ponente della "Commissione Ambiente e Grandi Calamità naturali" dell'Accademia in qualità di esperto di Fisica Solare e Space Weather.

## CARBOACCIAIO



[www.newsletter-fisica-tor-vergata.it](http://www.newsletter-fisica-tor-vergata.it)



Il progetto di ricerca CarboAcciaio, condotto dai Proff. Manuela Scarselli, Mattia Scagliotti, Paola Castrucci, Matteo Salvato e Maurizio De Crescenzi del Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata", ha superato con successo la fase eliminatória regionale Start Cup Lazio 2019

ed è stato selezionato per partecipare alla competizione nazionale che si è svolta successivamente a Catania. Il progetto ha ricevuto un premio speciale dalla Regione Lazio che è stato consegnato alla Dr.ssa Manuela Scarselli, presentatrice del progetto. Inoltre, la Regione Lazio si fa carico di curare tutti gli aspetti organizzativi e tecnici volti alla costituzione di una Start-Up.

## 2019 O'CEALLAIGH MEDAL



[www.newsletter-fisica-tor-vergata.it](http://www.newsletter-fisica-tor-vergata.it)



Il 25 Luglio 2019 al Prof. Piergiorgio Picozza, Professore Emerito del Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata", in occasione del 36esimo ICRC (International Cosmic Ray Conference), viene conferita la 2019 O'Ceallaigh Medal da parte della Commissione di Astroparticelle della IUPAP per il suo importante contributo nella Fisica dei Raggi Cosmici.

## PRACE AWARDS @ EUROHPC SUMMIT WEEK 2019

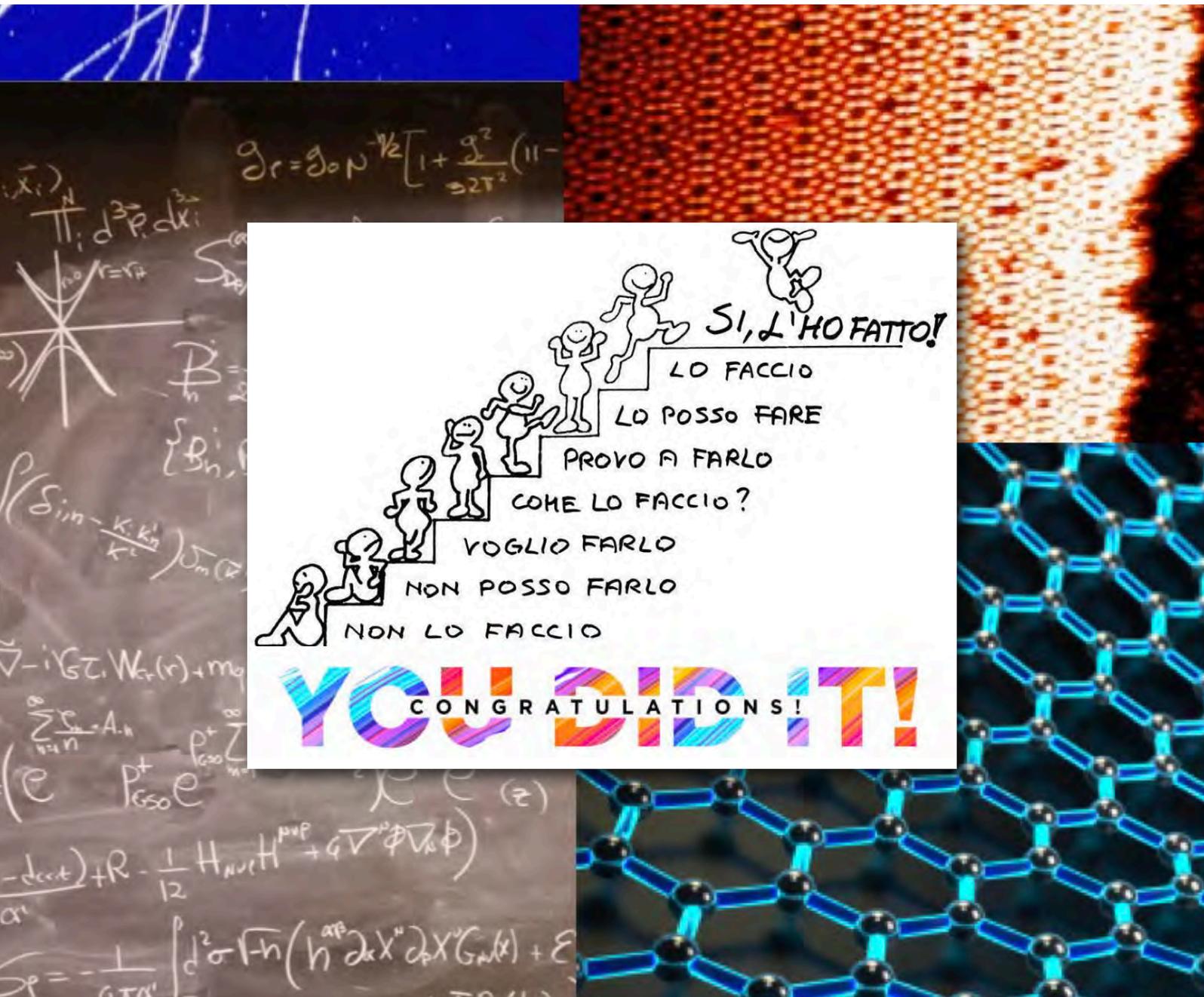


[www.newsletter-fisica-tor-vergata.it](http://www.newsletter-fisica-tor-vergata.it)



Il Dr. Michele Buzzicotti del Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata" riceve il premio per la miglior presentazione scientifica allo EuroHPC Summit Week 2019, sostenuto dalla joint undertaking EuroHPC, organizzato da PRACE, EXDCI-2 ed ETP4HPC e ospitata dal centro per il supercalcolo PSNC di Poznań, in Polonia. Titolo della presentazione "Energy cascade in rotating turbulent flows".





SI, L'HO FATTO!

LO FACCIÒ

LO POSSO FARE

PROVO A FARLO

COME LO FACCIÒ?

VOGLIO FARLO

NON POSSO FARLO

NON LO FACCIÒ

**YOU DID IT!**  
CONGRATULATIONS!

## TESI DOTTORATO

*Fisica*

*Astronomy, Astrophysics and Space Science*

*HPC-LEAP -European Joint Doctorates*



## RESEARCH AND DEVELOPMENT ON TRIGGER DEVICES APPLIED IN HIGH ENERGY PHYSICS

Research and Development on trigger devices  
applied in high energy physics experiment  
Supervisor: Roberto Cardarelli  
Co-Supervisor: Giulio Aielli

Alessandro Caltabiano

Università degli studi di Roma Tor Vergata  
PhD in Physics

In esperimenti di fisica delle alte energie, lo sviluppo di dispositivi ausiliari ai rivelatori di particelle è di fondamentale importanza nella buona riuscita dell'esperimento stesso. In particolare i dispositivi di "trigger" hanno il ruolo di selezionare gli even-

ti di interesse da quelli che rappresentano solo rumore di fondo (background noise). In particolare lo sviluppo di complessi dispositivi di trigger ha assunto un ruolo fondamentale per i grandi esperimenti, come ATLAS o CMS, a causa della mole di dati che un rivelatore di grandi dimensioni può estrarre e lo spazio limitato con cui questi dati possono essere salvati. La capacità di selezionare i dati prodotti da un rivelatore di grandi dimensioni, mentre i dati stessi vengono trasmessi dal rivelatore al sistema di storage e con lo scopo di estrarre eventi su un vasto range di energie (dal MeV al GeV) è una sfida aperta, di cruciale importanza per apparati molto grandi e con portata di svariati Gbit/s, come DUNE (Deep Neutrino Underground Experiment) che esegue ricerche su fenomeni di Astrofisica, fisica del neutrino e decadimento del protone. In questo lavoro di tesi è stato affrontato il problema di formalizzare matematicamente, sulla base della ben nota teoria dell'informazione di Shannon, il concetto di riconoscimento, elaborando una teoria matematica astratta introducendo il concetto di selettività di una sorgente statisticamente ignota all'osservatore. Con opportune verifiche analitiche e computazionali è stata trovata una forte analogia con il dispositivo WRM (Weighting Resistive Matrix), dispositivo interamente passivo atto a correlare dati contenenti tracce di eventi fisici con un bassissimo rapporto segnale rumore ( $>0.5$ ). È stato infine analizzata una possibile applicazione di tale dispositivo su Proto-DUNE (esperimento prototipo di DUNE al CERN) integrato nel sistema di DAQ esistente con l'aiuto di un pre-processamento ed FPGA usato come dispositivo digitale di supporto.

## FROM MOLECULES TO AGGREGATES A SYNERGIC EXPERIMENTAL AND COMPUTATIONAL APPROACH

From molecules to aggregates  
A synergic experimental and computational approach



Emiliano De Santis

*Department of Physics, University of Rome Tor Vergata*  
*INFN - Roma Tor Vergata*



*Coordinator:*  
*Prof. Roberto Besti*

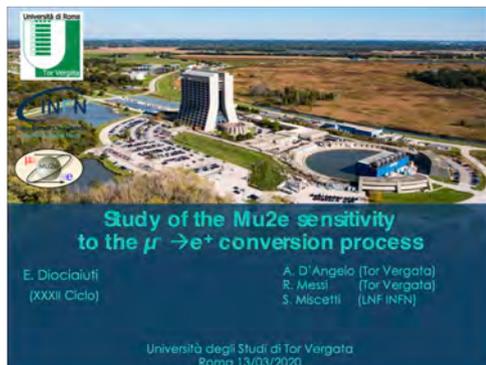
*Supervisors:*  
*Prof. Silvia Morante*  
*Dr. Francesco Stellato*

Il problema del misfolding proteico è di fondamentale importanza per la biologia e la medicina in quanto è alla base di una vasta classe di patologie denominate amiloidosi. Questo gruppo di patologie è caratterizzato dal misfolding di

alcune alcune proteine che diventando insolubili si accumulano in aggregati di forma fibrillare. È interessante notare che sebbene le proteine coinvolte nelle diverse patologie di questo gruppo non presentino omologie nella loro sequenza né nella loro struttura, tutte le fibrille amiloidi possiedono proprietà istochimiche e morfologiche simili. Il morbo di Alzheimer, a causa del suo enorme impatto nella società moderna, è una delle malattie più studiate di questo gruppo. Il cervello dei malati di Alzheimer presenta un accumulo di peptide beta-amiloide in quelle che vengono definite placche amiloidi. Ad oggi purtroppo non esiste ancora una cura definitiva per questa malattia; tra le strategie terapeutiche più promettenti vi è quella di tentare di bloccare i primi passi del misfolding del peptide amiloide tentando di ridurre la propensione a formare le placche. E' stato dimostrato che diversi effettori sono in grado di interagire con il peptide amiloide modificandone la tendenza nel formare aggregati. Il lavoro presentato in questa tesi consiste nell'uso sinergico di spettroscopia di assorbimento dei raggi X e di simulazioni di dinamica molecolare classica per studiare l'interazione del peptide amiloide con ioni metallici e piccoli peptidi di sintesi.



## STUDY OF THE Mu2e SENSITIVITY TO THE $\mu^- \rightarrow e^+$ CONVERSION PROCESS



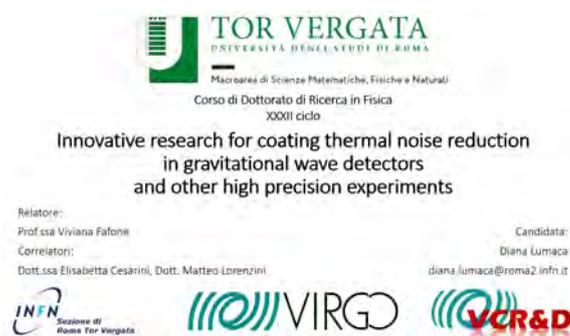
L'esperimento Mu2e, in fase di costruzione al Fermilab (Batavia, IL), si propone di cercare il processo di conversione di un muone in un elettrone, senza l'emissione annessa di neutrini, nel campo elettrico di un nucleo di alluminio. Si tratta di un esempio di processo che viola la conservazione del sapore

leptonico nel settore dei carichi. L'eventuale elettrone di conversione (CE), caratterizzato da un'energia molto simile alla massa a riposo del muone (104.97 MeV) viene rivelato attraverso un tracciatore a "straw-tubes" e un calorimetro elettromagnetico composto da cristalli di Ioduro di Cesio puro letti da Fotomoltiplicatori al Silicio. Parallelamente a questo processo, Mu2e ricerca anche la conversione di muone in positrone, processo di violazione del sapore e del numero leptonico nel settore dei carichi. L'energia che il positrone di conversione possiede è di 92.32 MeV. Oltre ad una conoscenza precisa del segnale del positrone, simulato anche aggiungendo l'effetto delle correzioni radiative, è necessario tenere sotto controllo i fondi; in particolare il fondo dovuto alla Cattura Radiativa del Muone in cui viene prodotto un fotone che può convertire virtualmente o nel materiale dei rivelatori producendo una coppia  $e^+e^-$ , che in caso di conversioni molto asimmetriche, posso avere gli  $e^+$  con energie molto vicine (punto finale dello spettro  $\sim 90$  MeV) a quelle aspettate per il segnale di positrone di conversione.

Scopo finale di questa tesi è stato dunque una prima simulazione del fondo di RMC e una conseguente valutazione della sensibilità alla scoperta del processo di conversione di muone in positrone. Si è stimato che l'esperimento Mu2e potrà migliorare l'attuale risultato sulla ricerca di tale evento di almeno tre ordini di grandezza.



## INNOVATIVE RESEARCH FOR COATING THERMAL NOISE IN GRAVITATIONAL WAVE DETECTORS AND OTHER HIGH PRECISION EXPERIMENTS



Il rumore termico del rivestimento riflettente degli specchi è un problema comune a tutti gli esperimenti di alta precisione che utilizzano la luce e questi specchi come masse test per misurare variazioni di posizione con estrema precisione. L'esem-

pio cardine è rappresentato dagli interferometri per la ricerca delle onde gravitazionali, che richiedono una precisione di 10-18 m nella posizione degli specchi. Le perdite meccaniche di questi rivestimenti influiscono direttamente sul suddetto rumore e possono dipendere dai materiali stessi utilizzati, dalla tipologia di deposizione e dai trattamenti cui si sottopongono a seguito della deposizione. Per valutarle, è necessaria una misura differenziale, prima e dopo la deposizione: la conoscenza e la stabilità nel tempo delle proprietà meccaniche ed elastiche del substrato su cui il rivestimento viene depositato sono quindi fondamentali. Da ciò, la necessità di mantenere i substrati studiati ( $SiO_2$  amorfo, utile a temperatura ambiente, e  $Si$  e  $Al_2O_3$  cristallini, per la criogenia) stabili rispetto al loro naturale comportamento dissipativo. In entrambi i casi, è stato sviluppato un modello capace di predire il valore dell'angolo di perdita; nel primo caso, inoltre, si è realizzato un setup per la lucidatura del bordo dei substrati, in grado di eliminare una componente spuria delle perdite e sigillare la loro condizione dissipativa nel tempo, che ha dato ottimi risultati ed è ora parte di una procedura di riferimento nel campo. Considerando i rivestimenti stessi, sono stati studiati: sia nuovi materiali, come lo  $ZnS$  che è stato caratterizzato morfologicamente, otticamente e strutturalmente; che nuove tipologie di deposizione, come la nano-stratificazione, in grado di permettere trattamenti termici dei rivestimenti a temperature più elevate, senza imbattersi nel problema della cristallizzazione.

DEPOSITION AND CHARACTERIZATION OF THIN  
 $MoO_3$  ON Cu FOR TECHNOLOGICAL APPLICATION


La superficie di un materiale è spesso caratterizzata da proprietà profondamente diverse dalle proprietà del materiale al suo interno. Infatti uno dei settori più importanti nella scienza dei materiali è lo studio delle proprietà fisiche e

chimiche di ricoprimenti sottili (thin films), che permettono di modificare alcune caratteristiche del materiale che vanno a ricoprire. Il lavoro svolto durante la tesi di dottorato si è focalizzato sulla crescita e caratterizzazione di un film sottile di triossido di molibdeno ( $MoO_3$ ) su un substrato di rame. La tesi si è inserita all'interno del progetto NUCLEAAR dell'INFN, che ha come obiettivo quello di migliorare le performances delle cavità acceleranti comunemente utilizzate negli acceleratori di particelle. Le cavità acceleranti sono comunemente costruite in rame, ma hanno dei limiti dovuti alle proprietà di superficie di questo materiale. Principalmente la bassa resistenza meccanica della superficie e la facilità con cui gli elettroni fuoriescono da essa. Andando a utilizzare un ricoprimento di  $MoO_3$  all'interno delle cavità acceleranti possiamo migliorare durezza e ridurre l'emissione di elettroni, mantenendo l'ottima conducibilità termica ed elettrica del rame. La prima parte del lavoro di tesi è stato lo studio e l'ottimizzazione del ricoprimento su piccoli substrati di rame. Nella seconda parte mi sono occupato di trattamenti termici volti a migliorare la struttura cristallina del film. Infine la terza parte, svolta in collaborazione con l'università di Osaka, è stata lo studio del danneggiamento del film quando sottoposto ad elevatissimi campi elettrici.



## SILICON DRIFT DETECTORS FOR HIGH PRECISION KAONIC ATOMS EXPERIMENTS



Ho svolto la mia attività di dottorato nell'ambito della collaborazione internazionale SIDDHARTA, la quale ha l'obiettivo di effettuare misure di alta precisione di raggi X emessi in transizioni sul livello fondamentale in atomi kaonici leggeri ai fini di investigare la Cromo Dinamica Quantistica (QCD) a basse energie nel campo della stranezza.

Durante il percorso di dottorato mi sono occupato di caratterizzare accuratamente la nuova tecnologia di rivelatori a Silicio sviluppata appositamente per effettuare misure spettroscopiche in atomi kaonici leggeri con elevata precisione. Tale studio mi ha permesso di sperimentare per la prima volta tali dispositivi nell'esperimento E-57, svoltosi presso il complesso J-PARC (centro di ricerca RIKEN, Giappone) per la misura della transizione  $L\alpha$  nel Litio Kaonico, ottenendone così la misura più precisa al mondo. Successivamente, a completamento del lavoro, ho effettuato l'ottimizzazione di tali rivelatori a Silicio specificatamente per la misura della transizione  $K\alpha$  del Deuterio Kaonico che si svolgerà presso il collisore di particelle DAΦNE dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare - Laboratori Nazionali di Frascati. Tale attività, che si basa sullo studio approfondito in funzione della tensione di lavoro e della temperatura dei dispositivi, ha portato alla determinazione di parametri fondamentali dei rivelatori, quali limiti di stabilità, linearità, risoluzione energetica e risoluzione temporale. Ho infine collaborato all'installazione del setup sperimentale su DAΦNE, dove è attualmente in fase di presa dati.



## AB-INITIO STUDY OF EXCITED STATE PROPERTIES OF 2D HONEYCOMB GRAPHENE-LIKE NITRIDES



Lo scopo della mia tesi di dottorato è lo studio delle proprietà di stato eccitato dei nitruri bidimensionali (2D), BN, AlN, GaN, InN e TiN. Partendo dai nitruri 3D già in uso in tantissime applicazioni tecnologiche, come LED, diodi laser e celle fotovoltaiche, si possono modificare le loro proprietà mediante la nano-

strutturazione di questi materiali in singoli strati 2D, loro eterostrutture o leghe. Il mio lavoro è volto alla determinazione delle proprietà elettroniche e ottiche di interesse tecnologico dei nitruri 2D attraverso approcci teorici ab-initio (DFT e MBPT) che consentono di calcolare e prevedere le proprietà di un sistema prima che vengano eseguiti gli esperimenti. I risultati ottenuti mostrano che questi materiali 2D presentano una grande differenza nel parametro reticolare e nel valore dell'energia della gap. Con l'aumentare del numero atomico del catione si assiste a una variazione del gap elettronico dall' UV al visibile. Il GaN e l'InN presentano una gap diretta mentre il BN e l'AlN gap indiretta. L'unica eccezione è il TiN che a livello DFT presenta gap nulla. Una comprensione teorica delle proprietà ottiche dei nitruri 2D potrebbe aiutare e focalizzare l'attività sperimentale su questi sistemi. A tal fine abbiamo calcolato le caratteristiche eccitoniche dei nitruri 2D sia risolvendo la complessa e computazionalmente impegnativa equazione di Bethe Salpeter sia utilizzando un semplice modello analitico per lo studio delle caratteristiche eccitoniche in sistemi 2D. Entrambi i metodi hanno rivelato forti effetti eccitonici, dovuti alla compresenza di bassa dimensionalità, effetti di confinamento quantico e riduzione dello schermo. La loro presenza fa dei nitruri 2D promettenti candidati per la realizzazione di nanodispositivi optoelettronici.

## CALORIMETERS CHARACTERIZATION FOR THE PADME EXPERIMENT



Tra i tasselli mancanti della fisica contemporanea, l'osservazione di fenomeni cosmologici non spiegabili nell'ambito della teoria gravitazionale (es. lensing gravitazionale) costituisce un elemento di spicco.

Uno dei modi con cui è possi-

bile spiegare tali fenomeni consiste nell'introdurre un nuovo tipo di materia (materia oscura) che interagisce almeno gravitazionalmente con la materia ordinaria. Molti esperimenti sono stati dedicati alla ricerca della materia oscura, non producendo tuttavia prove condivise della sua esistenza. Nell'ultimo decennio, si è cercato di spiegare la difficoltà con cui la materia oscura viene rivelata tramite le teorie dei settori oscuri. In questo contesto, la materia oscura vivrebbe in un mondo separato da quello in cui vive la materia ordinaria, e questi due mondi sarebbero messi in comunicazione attraverso dei portali, mediatori di una quinta, nuova, interazione. La teoria più semplice introduce l'esistenza del cosiddetto fotone oscuro, inteso come mediatore della quinta interazione. L'esperimento PADME presso i Laboratori Nazionali di Frascati si propone di cercare il fotone oscuro attraverso l'annichilazione tra un fascio di positroni e gli elettroni di un bersaglio in diamante. La reazione di annichilazione produrrebbe un fotone oscuro, non rivelabile, e un fotone standard, che deve essere rivelato dal calorimetro elettromagnetico dell'esperimento per chiudere la cinematica del processo. Un secondo calorimetro, più piccolo e veloce, viene utilizzato per la rivelazione degli eventi di fondo. Durante i tre anni del mio dottorato ho partecipato alle attività che sono state necessarie per la caratterizzazione e la messa a punto dei due calorimetri, testando e calibrando le singole unità che li compongono.



## STRAIN-ENGINEERING THE Bi INCORPORATION AND OPTICAL PROPERTIES OF THE GaAsBi ALLOYS



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI ROMA "TOR VERGATA"

DOTTORATO DI RICERCA IN FISICA  
XXXI CICLO

*Strain-engineering the Bi incorporation  
and the optical properties of the GaAsBi alloys*

ELISA TISBI

TUTOR:  
Prof. Fabrizio Arciprete  
Dr. Ernesto PlacidiCOORDINATORE:  
Prof. Roberto Benzi

La lega GaAsBi presenta attrattive caratteristiche che la rendono adatta per diverse applicazioni (optoelettronica e spintronica). L'effettivo utilizzo del GaAsBi tuttavia è ancora limitato a causa della difficoltà nel crescere un materiale di qualità con proprietà controllabili. È noto in letteratura che aumentando il

contenuto di Bi nel GaAsBi si ottiene uno spostamento dell'emissione di energia verso l'IR (1.3 $\mu$ m - 1.55 $\mu$ m importante banda delle telecomunicazioni), ma al contempo si introducono difetti che fanno crollare la qualità del segnale. Nel lavoro di tesi è stata adottata una strategia innovativa basata sull'ingegnerizzazione della deformazione reticolare (strain-engineering) del GaAsBi al fine di migliorare l'incorporazione di Bi. Introducendo strati intermedi di InGaAs tra il film di GaAsBi e il substrato di GaAs la deformazione subita dal GaAsBi passa da compressiva a tensile. I campioni sono stati realizzati con l'Epitassia da Fasci Molecolari, tecnica che meglio si presta per la crescita di tale lega, e presentano concentrazioni di Bi da 0.8% a 7.5%. I parametri di crescita scelti sono stati ottimizzati per la crescita del GaAsBi su GaAs (il film cresce compresso) e utilizzati con successo per crescere GaAsBi su InGaAs (il film cresce tensile). Dall'analisi condotta è emersa una drastica dipendenza della Fotoluminescenza(PL) dalla deformazione reticolare: a parità di concentrazione di Bi, la deformazione tensile da origine ad un maggiore spostamento dell'emissione di energia verso l'IR rispetto a quello indotto dalla deformazione compressiva. L'emissione inoltre per i campioni con deformazione reticolare tensile presenta un incremento di intensità. Il risultato ottenuto aggiunge un nuovo parametro, la deformazione reticolare, per il controllo delle proprietà ottiche della lega GaAsBi.

## ASTROPHYSICS WITH THE SUNYAEV-ZEL'DOVICH EFFECT IN CLUSTERS OF GALAXIES



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA



TOR VERGATA  
UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI ROMA

PhD Program in Astronomy Astrophysics and Space Science

Astrophysics with the Sunyaev–Zel’dovich  
effect in clusters of galaxies

Student: Anna Silvia Baldi

Tutors: H. Bourdin, P. Mazzotta, M. De Petris

Rome, 16 January 2020

◀ ▶ ↻ 🔍 📄 📖 📑 🏠

Gli ammassi di galassie sono sistemi unici nell’universo. Essendo le più grandi strutture gravitazionalmente legate e virializzate, essi si piazzano “nei crocevia tra l’astrofisica e la cosmologia”. Gli ammassi ospitano tre componenti principali: galassie, plasma e materia oscura non barionica. L’effetto

Sunyaev-Zel’dovich, che trae origine dallo scattering tra i fotoni del fondo cosmico a microonde e gli elettroni liberi nel plasma intra-cluster ionizzato, è una delle sonde più preziose per lo studio delle proprietà degli ammassi. Tra queste proprietà, la massa è quella più importante, poiché essa gioca un ruolo fondamentale negli studi cosmologici basati sugli ammassi. La misurazione diretta dell’effetto Sunyaev-Zel’dovich consente di studiare la pressione termica e la velocità proiettata del plasma intra-cluster lungo la linea di vista dell’osservatore. La presente Tesi è dedicata allo studio delle suddette quantità, che sono entrambe fondamentali per ottenere stime accurate della massa degli ammassi di galassie. Nello specifico, il lavoro svolto è consistito in: (i) sviluppo e validazione di un algoritmo di imaging per la produzione di mappe della componente cosiddetta termica dell’effetto Sunyaev-Zel’dovich; (ii) applicazione della componente cinetica dell’effetto Sunyaev-Zel’dovich per lo studio della rotazione degli ammassi. A tale scopo, sono stati utilizzati sia i dati in banda millimetrica da osservazioni di ammassi reali condotte con il satellite Planck, sia dati sintetici da simulazioni idrodinamiche di ammassi. Entrambi questi studi hanno condotto a risultati interessanti, che contribuiscono a gettare nuova luce su problemi ampiamente trattati, ma tuttora aperti, sugli ammassi di galassie.

## OBSERVATION AND CHARACTERIZATION OF THE SOLAR TURBULENT CONVECTION



**SAPIENZA**  
UNIVERSITÀ DI ROMA



PhD in Astronomy, Astrophysics and Space Science

PhD Final Discussion, 16th January 2020

### Observation and characterization of the solar turbulent convection

Giorgio Viavattene

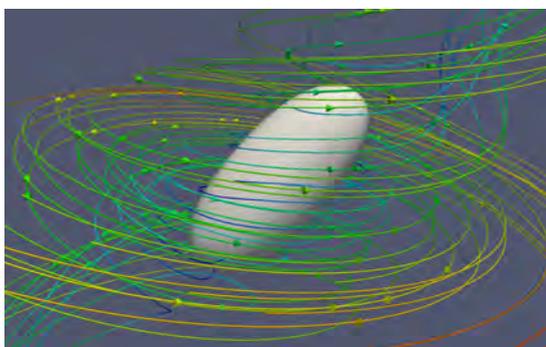


Tutor: Dario Del Moro  
Co-tutors: Giuseppe Consolini  
Luca Giovannelli  
Coordinator: Paolo de Bernardis  
Deputy Coordinator: Nicola Vittorio

I processi fisici coinvolti convezione solare e nella sua interazione con i campi magnetici sono ancora oggi poco chiari. L'osservazione e lo studio di questi fenomeni richiede l'utilizzo di telescopi solari di grande diametro dotati di strumenti ba-

sati su interferometri di Fabry-Perot (FP) capaci di misurare la polarizzazione della luce solare in diverse lunghezze d'onda. Questi dati vengono analizzati con i codici di inversione spettropolarimetrici, i quali restituiscono i parametri fisici dell'atmosfera solare. Questa tesi di dottorato affronta sia l'analisi dei dati per lo studio delle proprietà della convezione sia lo sviluppo della strumentazione necessaria per l'osservazione in alta risoluzione di questi fenomeni. Il dataset acquisito con lo strumento IBIS, installato al telescopio DST, di una regione della fotosfera solare è stato analizzato sia utilizzando il metodo del Center-of-Gravity che le tecniche di inversione spettropolarimetriche, mostrando che il secondo metodo tende a sovrastimare i campi magnetici deboli. Lo stesso dataset è stato utilizzato per investigare l'esistenza delle simmetrie previste dalla relazione di fluttuazione di Gallavotti-Cohen nel caso di sistemi in uno stato stazionario fuori dall'equilibrio, come è il caso della convezione solare a livello fotosferico. La parte di strumentazione è articolata su tre progetti: sviluppo di un prototipo innovativo di controller digitale per interferometri FP; ottimizzazione di un disegno ottico per uno strumento spettropolarimetrico basato su FP di grande diametro e specchi parabolici fuori asse per telescopi solari di classe 4 m; sviluppo del disegno ottico del TSST (Tor vergata Synoptic Solar Telescope), strumento basato su filtri magneto-ottici dedicato allo Space Weather.

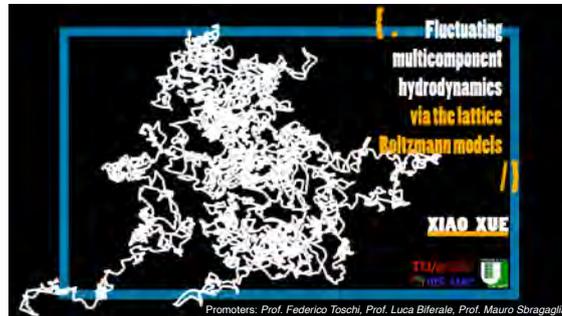
## MULTISCALE LATTICE BOLTZMANN SIMULATIONS OF DROPLET DYNAMICS IN TIME-DEPENDENT AND TURBULENT FLOWS



Analizzare le proprietà e in particolare la dinamica delle sospensioni di goccioline, come ad esempio le gocce d'acqua nelle nuvole e nella nebbia o le emulsioni prodotte industrialmente, come creme e paste, muove non poco interesse. Il focus di questo progetto di ricerca di dottorato è sulle sospensioni di goccioline stabili, ovvero il comportamento di due fluidi immiscibili, con la fase dispersa che rappresenta la goccia e la fase continua la sospensione. Le sospensioni di goccioline nei liquidi sono chiamate sistemi multicomponenti, essendo questi costituiti da due componenti fluidi, ovvero la gocciolina e la sua sospensione. Un problema particolarmente interessante che riguarda le goccioline è la miscelazione di due fluidi immiscibili, creata dalla rottura delle goccioline, che coinvolge scale multiple e dinamiche di flusso turbolento. Le più grandi strutture caratteristiche nei flussi turbolenti sono chiamate vortici. Nella turbolenza tridimensionale l'energia del flusso dei vortici più grandi viene trasmessa alle più piccole scale di flusso turbolento tramite un meccanismo a cascata, la cascata di Richardson. Le goccioline hanno tipicamente le dimensioni di scala molto piccole e possono ancora essere soggette a grandi velocità di taglio e /o sollecitazioni a causa della cascata di Richardson. Gli obiettivi principali di questa tesi sono stati lo studio della dinamica delle goccioline, la rottura flussi laminari confinati dipendenti dal tempo e lo sviluppo di un algoritmo ibrido DNS-LBM, partendo dal noto metodo "lattice Boltzmann" (LB), per studiare la deformazione e la rottura delle goccioline sub-Kolmogorov in flussi turbolenti isotropi omogenei.

Analizzare le proprietà e in particolare la dinamica delle sospensioni di goccioline, come ad esempio le gocce d'acqua nelle nuvole e nella nebbia o le emulsioni prodotte industrialmente, come creme e paste, muove non poco interesse. Il focus di questo progetto di ricerca di dottorato è sulle sospensioni di goccioline stabili, ovvero il comportamento di due fluidi immiscibili, con la fase dispersa che rappresenta la goccia e la fase continua la sospensione. Le sospensioni di goccioline nei liquidi sono chiamate sistemi multicomponenti, essendo questi costituiti da due componenti fluidi, ovvero la gocciolina e la sua sospensione. Un problema particolarmente interessante che riguarda le goccioline è la miscelazione di due fluidi immiscibili, creata dalla rottura delle goccioline, che coinvolge scale multiple e dinamiche di flusso turbolento. Le più grandi strutture caratteristiche nei flussi turbolenti sono chiamate vortici. Nella turbolenza tridimensionale l'energia del flusso dei vortici più grandi viene trasmessa alle più piccole scale di flusso turbolento tramite un meccanismo a cascata, la cascata di Richardson. Le goccioline hanno tipicamente le dimensioni di scala molto piccole e possono ancora essere soggette a grandi velocità di taglio e /o sollecitazioni a causa della cascata di Richardson. Gli obiettivi principali di questa tesi sono stati lo studio della dinamica delle goccioline, la rottura flussi laminari confinati dipendenti dal tempo e lo sviluppo di un algoritmo ibrido DNS-LBM, partendo dal noto metodo "lattice Boltzmann" (LB), per studiare la deformazione e la rottura delle goccioline sub-Kolmogorov in flussi turbolenti isotropi omogenei.

## FLUCTUATING MULTICOMPONENT HYDRODYNAMICS VIA THE LATTICE BOLTZMANN MODELS



Lo scopo del mio lavoro di tesi è stato quello di esplorare e verificare l'applicabilità dei metodi "lattice Boltzmann" (LB) nel microscopico. Il metodo prevede che ci sia interazione tra il sistema particella-fluido e le fluttuazioni termiche

all'interno di un fluido multicomponente. Il metodo LB è solitamente utilizzato nei metodi di indagine a livello mesoscopico, difatti applicarlo a livello microscopico trovandone nuove applicazioni è una sfida ancora aperta. Il nostro interesse è stato mosso da delle incongruenze riscontrate tra i risultati sperimentali ed le simulazioni numeriche riguardanti lo studio di nanoparticelle Browniane all'interfaccia tra l'aria e l'acqua. Le ricerche sperimentali mostrano che le nanoparticelle risentiranno di una maggiore resistenza viscosa quando la particella è più esposta all'aria. Le simulazioni di dinamica molecolare invece portano a conclusioni opposte. La chiave per comprendere questo fenomeno sta in una migliore comprensione dei fenomeni che avvengono nell'interfaccia aria-acqua. Il nostro modello numerico ci consente di concentrarci sull'analisi degli effetti della fluttuazione dell'interfaccia per la particella Browniana. A tal fine, abbiamo separato il nostro lavoro in due parti principali. In primo luogo, abbiamo convalidato il nostro modello con problemi di flusso interfacciale. In secondo luogo, dovevamo assicurarci che il nostro modello fosse sufficientemente accurato da recuperare il moto Browniano della particella nel fluido multicomponente. Oltre all'importanza pratica delle nostre scoperte per i dispositivi di ingegneria nanofluidica, il nostro studio esplora anche una nuova applicazione di LB nel contesto dei fenomeni nanofluidici.



## DIDATTICA

In questa sezione trovano spazio alcune notizie riguardanti il mondo della didattica del Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata". A seguire un excursus su alcune tesi magistrali discusse presso il Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata".





## NEWS

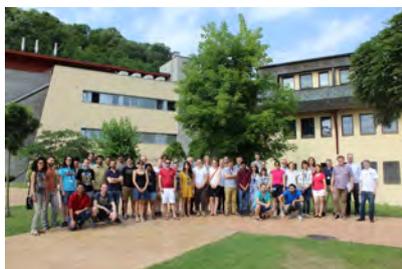
## ASTROMUNDUS RETREAT 2019



Newsletter del  
Dipartimento di Fisica

Luglio/Agosto/Settembre  
2019

[www.newsletter-fisica-tor-vergata.it](http://www.newsletter-fisica-tor-vergata.it)



Dal 1 al 4 luglio 2019 si tiene l'AstroMundus Retreat 2019, ultimo raduno del programma. Quest'anno l'evento viene ospitato dal Petnica Science Center, vicino a Valjevo, in Serbia, e organizzato dall'Università di Belgrado. Gli stu-

deni dell'ottava edizione presentano i loro progetti di tesi all'AstroMundus Consortium. Al retreat hanno partecipato anche alcuni ex-studenti di AstroMundus, (Edizioni 1, 3, 4 e 7) che per l'occasione discutono le loro esperienze dopo il Master Degree. Ospite speciale è il Prof. Andrew Bunker (Università di Oxford), che partecipa come membro del Comitato consultivo scientifico esterno del programma. Responsabile Scientifico per il Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata" è il Prof. Giuseppe Bono. In rappresentanza del Dipartimento di Fisica sono

presenti il Prof. Amedeo Balbi, il Prof. Francesco Berrilli (Rappresentante di "Tor Vergata" nel Board Astromundus) e la Dr.ssa Laura Calconi (Responsabile Coordinamento delle attività ERASMUS).

## CERIMONIA PREMIO STANEV



[www.newsletter-fisica-tor-vergata.it](http://www.newsletter-fisica-tor-vergata.it)



Il giorno venerdì 7 giugno 2019, alle ore 14,20, si svolge presso l'Aula Magna Pietro Gismondi della Macroarea di Scienze la premiazione relativa alla I edizione (2018) del Premio Yassen Stanislavov Stanev. Il premio in oggetto, destinato alla migliore tesi di Laurea Magistrale conseguita in Italia nell'anno solare 2017 su argomenti di Fisica Teorica, è stato istituito al fine di onorare la memoria del Dott. Yas-

sen Stanislavov Stanev, eminente scienziato e didatta prematuramente scomparso il 9 giugno 2017. Il premio è finanziato congiuntamente dall'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata" (attraverso il contributo della Fondazione "Rita e Sebastiano Raeli"), dal Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "Tor Vergata" e dalla Sezione di Roma "Tor Vergata" dell'Istituto Nazionale Fisica Nucleare.

## PERCORSI D'ECCELLENZA



[www.newsletter-fisica-tor-vergata.it](http://www.newsletter-fisica-tor-vergata.it)

EXCELLENCE



I percorsi di eccellenza del Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata" per le Classi L-30 (Laurea in Scienze e Tecnologie Fisiche) e LM-17 (Laurea Magistrale in Fisica) offrono attività formative in aggiunta a quelle del corso di studio al quale è iscritto

lo studente. Esse sono costituite da approfondimenti disciplinari e interdisciplinari, attività seminariali e/o di tirocinio anche presso altri istituti di ricerca, Universitari ed Aziende ad alto profilo, secondo un programma che verrà personalizzato e concordato con ogni singolo studente. Lo studente che ha ottenuto l'accesso al percorso di eccellenza viene affidato



## TESI MAGISTRALI

*Fisica*

*Scienza e Tecnologia dei Materiali*

*Astromundus - Erasmus Mundus  
Joint Masters Degree programme  
in Astronomy and Astrophysics*

*Double Degree TH-Wildau*

## TESI MAGISTRALI

DOTTORE  
MAGISTRALE

ALESSANDRO  
ROCCO

DOTTORE  
MAGISTRALE

BUFALINI  
DAVIDE



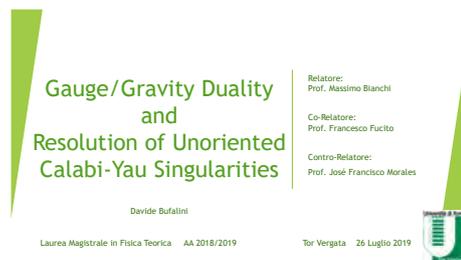
### DISTRIBUZIONI DI IMPULSO TRASVERSO DEI NUCLEONI IN $He_3$



Le distribuzioni di impulso trasverso (TMD) sono quantità che permettono di studiare in grande dettaglio la struttura degli adroni, hanno una interpretazione probabilistica e consentono di ottenere informazioni più dettagliate delle usuali distribuzioni di impulso, che danno solo la distribuzione di probabilità di avere un certo valore per l'impulso dei costituenti. Si è studiato il caso dei nuclei di  $He_3$ .



### GAUGE/GRAVITY DUALITY AND RESOLUTION OF UNORIENTED CALABI-YAU SINGULARITIES



Introdotta la Teoria delle Stringhe e le sue principali proprietà, vengono presentate per la prima volta idee originali legate ad aspetti di teorie di campo quantistiche in quattro dimensioni, ottenute con metodi di Teoria delle Stringhe. In particolare, si presenta un nuovo metodo di proiezione non-orientata delle cosiddette teorie di "Quiver", realizzate con Dp-Brane e piani di Orientifolds. Esso è consistente con la letteratura precedente ed inoltre fornisce nuovi metodi per selezionare modelli con possibili applicazioni fenomenologiche, richiedendo cancellazione di anomalie di gauge.

## TESI MAGISTRALI

DOTTORE  
MAGISTRALE

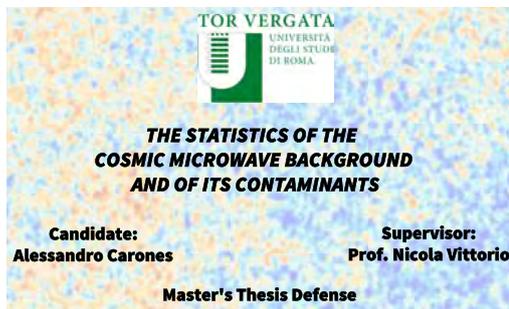
CARONES  
ALESSANDRO

DOTTORESSA  
MAGISTRALE

CIFALDI  
MARIA



### THE STATISTICS OF THE COSMIC MICROWAVE BACKGROUND AND OF ITS CONTAMINANTS



Nel mio lavoro di tesi ho adoperato due metodi, l'analisi della distribuzione dei massimi e i Funzionali di Minkowski, per studiare le proprietà statistiche delle mappe della Radiazione Cosmica di Fondo. Questi studi statistici hanno permesso di valutare l'efficacia di

diversi algoritmi sviluppati per separare l'emissione Galattica e il rumore strumentale dal segnale cosmologico. Ciò ci ha portato a concludere che tali metodi risultano efficienti nel ripulire le mappe di intensità, mentre quelle di polarizzazione risultano ancora altamente contaminate anche dopo il processamento.



### THE LSPE-SWIPE TEST CRYOSTAT



Il lavoro di tesi si è svolto nell'ambito dell'esperimento LSPE-SWIPE, collaborazione internazionale per la ricerca della componente B di polarizzazione della Radiazione Cosmica di fondo, fondamentale per dar prova dell'inflazione e della presenza di onde gravitazionali primordiali. L'argomento della tesi è stato la costruzione

ed il test di un criostato con camera sperimentale a 4K che impiega un refrigeratore a tubo pulsato a due stadi. Il criostato verrà usato per il test e la validazione preliminare di alcune componenti optomeccaniche di SWIPE, che è previsto lavorare in condizioni criogeniche.

## TESI MAGISTRALI

DOTTORE  
MAGISTRALE

DI RUSSO  
GIORGIO

DOTTORE  
MAGISTRALE

FIORENZA  
ENRICO



### PROBING STRING THEORY BOUND STATES WITH LIGHT STRING STATES



Lo scopo di questa tesi è stato quello di studiare i processi di diffusione che coinvolgono buchi neri ed onde gravitazionali. Per fare questo è necessario costruire degli stati legati molto massivi e di spin elevato che, nel contesto delle teorie di stringa, trovano

realizzazione. Nella Teoria delle Stringhe, oltre alle stringhe, altri oggetti di dimensione più alta noti come brane subentrano. Nel lavoro di tesi è stato mostrato come sia possibile mimare le caratteristiche di un buco nero con un orizzonte degli eventi di area non nulla, quindi con entropia di Bekenstein-Hawking non nulla, intersecando opportunamente delle brane. Tra i vari processi è stato studiato nel contesto delle collisioni ad alta energia in stringa eterotica la fusione di due buchi neri con la creazione di un terzo buco nero e l'emissione di un'onda gravitazionale.



### NON-PERTURBATIVE RENORMALIZATION OF QUARK BILINEAR OPERATORS IN LATTICE QCD WITH FOUR DYNAMICAL QUARK FLAVOR



Le interazioni fondamentali attualmente conosciute sono di quattro tipi: gravitazionale, debole, elettromagnetica e forte. La loro intensità dipende dalla distanza tra le particelle interagenti. L'interazione forte è descritta dalla Cromodinamica Quantistica (QCD), la cui simulazione numerica su reticolo (spazio-tempo discretizzato) è un ottimo metodo quantitativo di studio delle interazioni forti da principi primi. In questa tesi sono state calcolate nello schema RI'-MOM le costanti di rinormalizzazione dei bilineari fermionici in QCD su reticolo con quattro sapori fermionici dinamici.

## TESI MAGISTRALI

DOTTORE  
MAGISTRALE

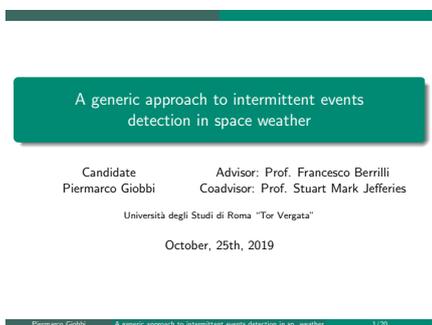
**GIOBBI  
PIERMARCO**

DOTTORE  
MAGISTRALE

**LA CESA  
SIMONE**



### A GENERIC APPROACH TO INTERMITTENT EVENTS DETECTED IN SPACE WEATHER



La tesi affronta un problema comune nel campo dell'astrofisica e dello space weather: il rilevamento di segnali intermittenti nascosti in un fondo rumoroso. Le usuali tecniche sono basate su algoritmi progettati e adattati al fenomeno che devono analizzare. Questo approccio risulta essere carente di una adeguata oggettività. La tesi presenta un

metodo differente e descrive una tecnica di rilevamento contenente un test statistico di ipotesi per identificare eventi intermittenti all'interno di una serie temporale. La tecnica viene applicata su segnali che simulano alcuni dei tipici fenomeni astrofisici e testata per determinare le limitazioni di rilevamento vs la quantità di rumore. Nello specifico la tecnica è stata applicata sui dati sperimentali acquisiti dal Sole ottenuti da un telescopio a terra per la rilevazione dei flare.



### SCATTERING AMPLITUDES FROM SPECTRAL DENSITIES



La teoria dello scattering è uno dei principali blocchi costituenti della teoria quantistica dei campi. I fisici vogliono descrivere e conoscere a fondo le leggi della natura e, in particolare, l'obiettivo del fisico delle particelle elementari è quello di investigare il mondo subatomico e le interazioni fondamentali. Gli strumenti più utili per estrarre informazioni quantitative per stabilire la correttezza delle predizioni sono gli esperimenti di collisione, o scattering. Lo scopo della teoria è comprendere in modo più corretto e profondo possibile cosa succede in un esperimento di collisione che coinvolge particelle subatomiche, quali sono le interazioni in gioco e i prodotti. In questa tesi è stato delineato un approccio differente alla teoria dello scattering, che è potenzialmente utilizzabile in simulazioni numeriche di reticolo.

## TESI MAGISTRALI

DOTTORE  
MAGISTRALE

LAURENTI  
MARCO

DOTTORE  
MAGISTRALE

NARDECCHIA  
ANDREA



### OPTICAL VARIABILITY OF ACTIVE GALACTIC NUCLEI FROM CATALINA SURVEYS DATA



La Catalina Real-Time Transients Survey (CRTS) ha osservato ripetutamente milioni di sorgenti, compresi i nuclei galattici attivi (AGN). In questo scenario ho presentato un'analisi di variabilità ottica, basata su un consistente catalogo di AGN estratti

dalla Catalina Surveys Data Release 2 (CSDR2), utilizzando la funzione di struttura (SF). La mia analisi suggerisce che gli errori fotometrici possano essere sottostimati. Si è discusso, infine, la dipendenza della variabilità ottica rispetto a diversi parametri caratteristici degli AGN.



### SULLA STABILITA' DELLO SPAZIO AdS



Lo spaziotempo Anti de Sitter (AdS) è una soluzione delle equazioni di Einstein con costante cosmologica negativa e ha la proprietà di avere un bordo, raggiungibile in un tempo finito dal centro. Nel caso di uno spaziotempo con buco nero è possibile

ottenere per proiezione sul bordo il tensore energia impulso di un fluido. Lo scopo di questa tesi è stato quello di esplorare questa corrispondenza fluido-gravità, studiando numericamente la formazione di un buco nero per cercare tracce di comportamenti tipici dei fluidi quali caos o turbolenza.

## TESI MAGISTRALI

DOTTORE  
MAGISTRALE

**PIRO  
LORENZO**

DOTTORESSA  
MAGISTRALE

**PROTO  
GIORGIA**



### ALGORITMI DI RICERCA DI SORGENTI PUNTIIFORMI IN FLUSSI CAOTICI

Algoritmi di ricerca di sorgenti puntiformi in flussi caotici

Tesi di Laurea Magistrale in Fisica

Candidato:  
Lorenzo Piro



Relatori:  
Prof. Luca Biferale  
Dr. Massimo Cencini

Macroarea di Scienze MM, FF, NN.  
31 Maggio 2019

Lo studio e la ricerca di strategie ottimali di navigazione in flussi turbolenti trovano diverse potenziali applicazioni che vanno dal monitoraggio ambientale alla localizzazione di fonti di esplosivi, droghe o inquinanti. In questo lavoro, a partire dallo studio del trasporto di sostanze passive in flussi caotici,

sono state analizzate e messe a confronto le prestazioni di tre diversi algoritmi di ricerca biomimetici, ispirati dal moto di "Cast and Surge", osservato sperimentalmente, dei maschi di falena attratti dal feromone rilasciato dalla femmina nell'atmosfera. Tali strategie differiscono tra loro per la quantità di informazioni che l'agente è in grado di ottenere ed elaborare dall'ambiente circostante, al fine di raggiungere nel minor tempo possibile la sorgente che rilascia una determinata sostanza all'interno di un flusso caotico.



### STUDY OF INNOVATIVE RESISTIVE PLATE CHAMBERS FOR THE ATLAS EXPERIMENTS UPGRADE

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA TOR VERGATA

Facoltà di Scienze MM, FF, NN.



Corso di laurea Magistrale in Fisica

Curriculum in Fisica Nucleare e Subnucleare

*Study of innovative Resistive Plate Chambers for the ATLAS experiment upgrade*

Relatore:  
Prof. Anna Di Ciaccio

Candidato:  
Dott.ssa Barbara Liberti

Candidato:  
Giorgio Proto

Dopo la scoperta del bosone di Higgs nel 2012 sono rimaste aperte molte domande nell'ambito della Fisica delle particelle. Gli esperimenti finalizzati alla ricerca della Fisica oltre il Modello Standard cercano di trovarvi risposte. A tal fine è in programma l'upgrade del Large Hadron Collider, che consiste in un aumento della luminosità del-

l'acceleratore per avere maggiore statistica e sensibilità ad eventi di Nuova Fisica. Il lavoro di tesi tratta l'upgrade di fase uno del sistema delle Resistive Plate Chambers (RPC), rivelatori a gas che compongono lo spettrometro a muoni dell'esperimento ATLAS, che consiste nell'installazione di detector RPC del tutto innovativi nella regione di transizione barrel-endcap, dove è prevista la maggior rate di trigger falsi (progetto BIS78). Nella fase due tali detector saranno installati in tutta la regione più interna dello spettrometro a muoni.

## TESI MAGISTRALI

DOTTORE  
MAGISTRALE

RAMPI  
EMILIANO

DOTTORE  
MAGISTRALE

REBUSTINI  
GIANMARIA



### THE INTEGRATED SACHS-WOLFE EFFECT THROUGH CROSS-CORRELATION WITH LARGE SCALE STRUCTURE FORECAST FOR THE FUTURE GALAY SURVEYS



The integrated Sachs-Wolfe effect through cross-correlation with the large scale structure: forecasts for future galaxy surveys

Relatore:  
Dr. Marina Migliaccio

Candidato:  
Emiliano Rampi

Grazie a survey di galassie di nuova generazione vi è speranza di migliorare la comprensione della componente oscura dell'universo. Ad esempio attraverso l'effetto Sachs-Wolfe integrato sarà possibile discernere tra diversi modelli cosmologici e teorie di energia oscura. In questa tesi daremo uno studio dettagliato del metodo di cross-correlazione tra le anisotropie in temperatura della CMB e la distribuzione di galassie, focalizzandoci sulla survey fotometrica di Euclid, valutando la possibilità di eseguire una tomografia in redshift e computando il rapporto segnale rumore in modo da massimizzarlo.



### STUDIO DELL'ELETTRONICA DI DRONT-END IN SiGe E OTTIMIZZAZIONE DI CONDIZIONI DI CRIOGENIA



Lo scopo della mia tesi è quello di trovare un'elettronica performante per soddisfare le attuali richieste in più campi della fisica come lo studio tempi di volo ad alta precisione, funzionamento a temperature estreme, Resistenza a radiazioni, riduzione rumore

termico, PC quantistici. Utilizzando l'elettronica criogenica (Temp.  $< -120^{\circ}\text{C}$ ) si è confrontato il comportamento di un amplificatore a BJT al silicio e uno ad HBT al SiGe (linearmente drogato), sfruttando un particolare circuito auto-polarizzante. Mentre il BJT in silicio non funziona bene, nell'HBT in SiGe migliorano il fattore di amplificazione e frequenza di transizione  $f_{\approx 1} \approx 1 \text{ THz}$ .

## TESI MAGISTRALI

DOTTORE  
MAGISTRALE

SCACCO  
VALERIO

DOTTORE  
MAGISTRALE

STUMPO  
MIRKO



### CONDUTTORI ESTENSIBILI A BASE DI POLIMERO-SWCNT



I nanotubi di carbonio (CNT) sono nanostrutture uniche nel loro genere, sia per le dimensioni geometriche che per le proprietà chimico-fisiche che li contraddistinguono. Negli ultimi anni l'utilizzo di tali conduttori trova applicazione

in ambito neurologico come dispositivi che presto saranno in grado di interfacciarsi ad una qualsiasi rete neuronale. Nel lavoro di tesi ho prodotto questo tipo di materiali compositi formati da CNT innestati su diversi tipi di polimero e caratterizzato le proprietà elettriche per verificare che il comportamento resistivo del nostro prodotto fosse il più possibile assimilabile a quello di un metallo. Tra i vari effetti ho studiato il comportamento del dispositivo sottoposto a differenze di potenziale periodiche di diversa frequenza, verificandone l'efficienza in termini di riproducibilità del segnale.



### UNTRAVELLING INFORMATION TRANSFER IN THE SOLAR WIND-MAGNETOSPHERE-IONOSPHERE SYSTEM



Il lavoro di tesi concerne la formulazione di un framework generale, model-free, per l'inferenza della correlazione dinamica e del trasferimento di informazione, con relativa applicazione nel contesto delle relazioni Sole-Terra. La mia analisi è focalizzata sulla risposta dell'attività geo-

magnetica, associata all'attività magnetosferica e ionosferica, alla forzante del vento solare che è fortemente variabile nel tempo. Quando l'attività solare è particolarmente violenta, nell'ambiente planetario si manifestano le cosiddette tempeste e sottotempeste geomagnetiche che rappresentano la chiave di lettura dei processi fisici all'interno dei quali è racchiusa la dinamica geomagnetica. L'approfondimento di queste dinamiche è utile a migliorare i modelli predittivi dell'attività magnetica terrestre che talvolta è tanto violenta da causare seri danni a tecnologie, strumenti e vita biologica.



## DINAMICHE PARALLELE NEI SISTEMI SI SPIN



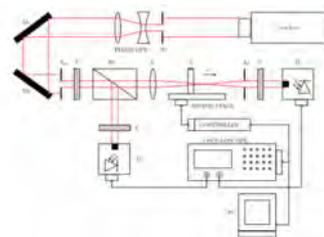
Macroarea di scienze matematiche, fisiche e naturali  
Corso di laurea in fisica  
Tesi di laurea magistrale

*Dinamiche parallele nei sistemi di spin*

Candidato: Matteo Veglianti  
Relatore: prof. Benedetto Scoppola

Un frammento di ferro può essere immaginato come formato da tantissime minuscole calamite (spin), orientate in modo casuale. In un modello semplificato (modello di Ising), si immagina che ciascuno spin possa avere solo due orientazioni: su e giù. Se avviciniamo un magnete al pezzo di ferro, gli spin si orientano tutti nella direzione del campo magnetico generato dal magnete,

per esempio tutti nella direzione su. Lo studio delle configurazioni di questi modelli di spin è stato oggetto del mio lavoro di tesi.

CARATTERIZZAZIONE MEDIANTE Z-SCAN DI NANOCRISTALLI DI  $\text{CsPbBr}_3$  COME MATERIALE INNOVATIVO PER L'INTEGRAZIONE ALL'INTERNO DI UN MODULATORE ELETTRICO-OTTICO

In questo lavoro di tesi è stato affrontato lo studio della risposta ottica nonlineare di nanocristalli di  $\text{CsPbBr}_3$ , sotto forma di dispersione colloidale in toluene, sintetizzati mediante una tecnica di ricristallizzazione della fase perovskite, effettuata a temperatura ambiente. Preliminarmente alla caratterizza-

zione nonlineare mediante Z-scan, è stata condotta un'analisi mediante Diffrazione ai Raggi X e spettroscopie d'Assorbimento e Fotoluminescenza. Dopo aver condotto le misure di assorbimento ottico nonlineare, si è potuto stimare una figura di merito per i nanocristalli di  $\text{CsPbBr}_3$ : tale parametro è importante per stabilire la qualità di un materiale attivo da integrare in dispositivi ottici o fotonici nonlineari. In fase finale si è condotto quindi uno studio preliminare sull'integrazione di tale materiale in dispositivo.

## TESI MAGISTRALI

DOTTORE  
MAGISTRALE

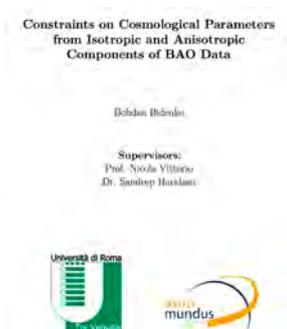
BIDENKO  
BOHDAN

DOTTORE  
MAGISTRALE

PIGA  
LORENZO



### CONSTRAINTS ON COSMOLOGICAL PARAMETERS FROM ISOTROPIC AND ANISOTROPIC COMPONENTS OF BAO DATA

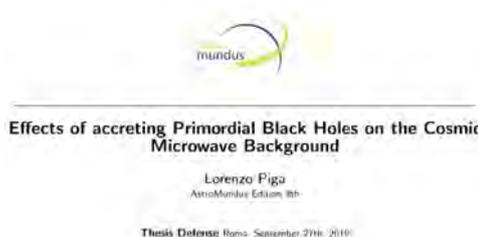


In questa tesi eseguiamo analisi per contrastare e confrontare i vincoli sui parametri cosmologici ottenuti dalle osservabili isotropiche (DV) e anisotropiche (FAP) dei dati Baryon Acoustic Oscillations (BAO). A questo scopo, modelliamo queste osservabili con parametri distinti come mFAP e mDV nell'analisi di verosimiglianza, tenendo conto della matrice di correlazione completa tra queste osservabili. In precedenti analisi di questo tipo,

questa correlazione è stata trascurata quando si confrontano i vincoli. Eseguiamo l'analisi per vincolare i parametri sagomando il modello standard della cosmologia, ovvero il CDM e le sue estensioni. In questo modo, siamo in grado di misurare con precisione la discordanza tra le diverse componenti dei dati BAO, la quale potrebbe fornire un metodo unico di selezione del modello, oltre ai criteri di informazione statistica e alle questioni di sistematica in diversi set di dati.



### EFFECTS OF ACCRETING PRIMORDIAL BLACK HOLE ON THE COSMIC MICROWAVE BACKGROUND



In questo lavoro di tesi è stato sviluppato un nuovo modello di accrescimento per Buchi Neri Primordiali, che si ipotizza possano formarsi nell'Universo Primordiale e che possano comporre la Materia Oscura. Tale modello di accrescimento

è basato sulla formazione di strutture di eiezione, come venti o jets. La combinazione di accrescimento ed eiezione potrebbe significare un aumento dell'energia immessa nella Radiazione Cosmica di Fondo. Osservando questa componente del Modello Cosmologico Standard, sarà quindi possibile dare una prima risposta all'esistenza di questi oggetti.

## TESI MAGISTRALI

DOTTORE  
MAGISTRALE

WANG  
WANG

DOTTORE  
MAGISTRALE

DUVEL  
CHRISTOPH



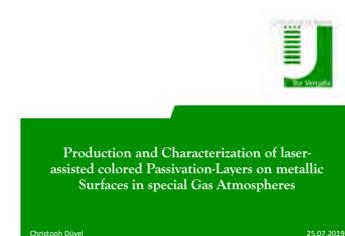
## DECAYING DARK MATTER MODEL CONSTRAINTS WITH FLEXKNOT REIONIZATION HISTORY



In questa tesi studiamo uno scenario cosmologico esteso, vale a dire il modello (i) di materia oscura fredda in decadimento (DCDM), utilizzando due diverse formulazioni. Come caso più semplice, testiamo gli effetti di un parametro aggiuntivo, il tasso di decadimento della particella di materia oscura, sugli spettri di potenza del fondo cosmico a microonde. Successivamente implementiamo un formalismo più sofisticato di decadimento frazionario della materia oscura, uno scenario in cui decade solo una frazione della materia oscura totale. A questo scopo implementiamo una modellazione più flessibile della storia della reionizzazione, attraverso la tecnica "FlexKnot" per la creazione della curva. In contrasto con i modelli precedenti (ad esempio TANH), utilizzati per testare i modelli DCDM, presentiamo i vantaggi nella scelta della modellazione corrente. Di conseguenza, implementiamo il modello FlexKnot nel codice Boltzman per eseguire la simulazione.



## PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF LASER-ASSISTED COLOURED PASSIVATION-LAYERS ON METALLIC SURFACES IN SPECIAL GAS ATMOSPHERES



Questa tesi si è occupata della produzione e analisi delle strutture cretesi su superfici metalliche dovute all'interazione con un laser, in diverse condizioni dell'atmosfera circostante. Per controllare l'atmosfera circostante è stata costruita una camera atmosferica, che consente di testare le influenze di questa sulla formazione delle strutture osservate. Oltre alle condizioni ambientali, sono stati utilizzate diverse superfici metalliche, che hanno portato alla formazione di diversi colori di ricottura e strati di ossido per parametri del laser simili. Le strutture risultanti sono state indagate e catalogate utilizzando diversi metodi ottici e non ottici.

## TESI MAGISTRALI

DOTTORESSA  
MAGISTRALE

KUBITZKY  
SASCHA

DOTTORESSA  
MAGISTRALE

RAMMELT  
LAURA



### TOWARDS ARTIFICIAL PHOTOSYNTHESIS: PEPTIDE-ENHANCED PHOTOCURRENT GENERATION IN SUPRAMOLECULAR BIO-INSPIRED NANOWIRE ON GOLD AND METAL OXIDE SEMICONDUCTOR SURFACES



“Towards Artificial Photosynthesis:  
Peptide-enhanced photocurrent generation in  
supramolecular bio-inspired nanowires on gold  
and metal oxide semiconductor surfaces”

Sascha Kubitzky  
UNIVERSITY of ROME TOR VERGATA  
DEPARTMENT of CHEMICAL SCIENCE and  
TECHNOLOGIES

Sono stati studiati due diversi sistemi di monostrati autoassemblanti per determinare la generazione e l'efficienza della fotocorrente a diverse lunghezze d'onda, tensioni di polarizzazione e valori di pH. Entrambi i sistemi contenevano una molecola di ancoraggio e un colorante per la conversione dei fotoni in corrente elettrica. Il secondo sistema è

stato modificato aggiungendo uno strato di spaziatura costituito da un peptide sensibile al pH e le due estremità erano alterate per legarsi rispettivamente alle molecole di ancoraggio e colorante. Entrambi i film erano in grado di generare fotocorrente all'illuminazione e sono stati indagati e caratterizzati da tecniche elettrochimiche e spettroscopiche.



### SOLUTION-BASED SELF-ASSEMBLED SILVER NANOWIRE MESHES AS STRETCHABLE TRANSPARENT CONDUCTING ELECTRODES FOR SOLAR CELL APPLICATIONS



L'implementazione dell'elettronica in tecnologie portatili e flessibili richiede un'evoluzione dei materiali da impiegare. Materiali comuni come ossidi metallici rigidi e fragili non sono appropriati per l'applicazione in conduttori e dispositivi flessibili. A tal proposito in questa tesi è stato condotto una ricerca su come fabbricare

nuovi nanofili d'argento e conduttori compositi PDMS che mirano all'integrazione in celle solari a base di perovskite. I conduttori sviluppati possiedono una bassa resistenza dello strato inferiore a  $10 \Omega / \text{sq}$ , una trasmissione del 57% e una buona prestazione elettrica dopo un forte allungamento del 35%.





## TERZA MISSIONE

Le attività di Terza Missione del Dipartimento di Fisica si concentrano soprattutto nell'area del Public Engagement con un'intensa attività di formazione rivolta agli insegnanti della scuola secondaria di I e II grado - ad esempio nell'ambito del Piano Lauree Scientifiche (PLS) - e di divulgazione scientifica





## TERZA MISSIONE

## ISOLA DELLA SOSTENIBILITÀ 2019

Università di Roma  
Tor Vergata  
Newsletter del  
Dipartimento di Fisica  
Ottobre/Novembre/Dicembre  
2019

[www.newsletter-fisica-tor-vergata.it](http://www.newsletter-fisica-tor-vergata.it)



Dal 4 al 7 Dicembre 2019 l'Associazione ScienzImpresa del Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata" partecipa all'evento Isola della Sostenibilità con un laboratorio/spettacolo dal titolo "I Falsi Miti sull'Inquinamento e i Cambiamenti Climatici" e un'area completamente dedicata all'esplorazione spaziale della nostra Agenzia Spaziale Italiana (ASI). Il programma prevede tantissime attività quali talk divulgativi, laboratori interattivi, mostre, spettacoli, show, realtà virtuale, simulatori e spazi espositivi per coinvolgere piccoli e adulti sul tema del Cambiamento Climatico.

interattivi, mostre, spettacoli, show, realtà virtuale, simulatori e spazi espositivi per coinvolgere piccoli e adulti sul tema del Cambiamento Climatico.

## STUDENT DOC FEST



[www.newsletter-fisica-tor-vergata.it](http://www.newsletter-fisica-tor-vergata.it)



La Prof.ssa Anna Di Ciaccio del Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata" ha partecipato, il giorno 18 Novembre 2019, allo Student Doc Fest presso il Cinema Delle Province a Roma. L'iniziativa è il primo festival del cinema documentario per studenti del triennio delle superiori. In questa edizione del festival vengono proiettati due film documentari sul CERN: "Il senso della bellezza" di Valerio Jalongo e "Almost nothing – CERN: La scoperta del futuro" di Anne De Manincor.

## MAKER FAIRE 2019



[www.newsletter-fisica-tor-vergata.it](http://www.newsletter-fisica-tor-vergata.it)



Dal 18 al 20 Ottobre 2019 l'Associazione ScienzImpresa del Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata" è presente al Maker Faire 2019 in una postazione interattiva in cui bambini e ragazzi potranno esplorare la fisica, la chimica e l'ecologia in modo divertente attraverso serie di attività, dimostrazioni e laboratori per scoprire i segreti del pianeta in cui viviamo.

## FRASCATI SCIENZA



[www.newsletter-fisica-tor-vergata.it](http://www.newsletter-fisica-tor-vergata.it)



La Prof.ssa Viviana Fafone del Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata" tiene due interventi all'in-

## TERZA MISSIONE

terno del programma di Frascati Scienza. Il giorno 25 Settembre 2019 partecipa alla conferenza, da lei stessa curata, "Messaggeri dello Spazio: La nuova Astronomia" incentrata sulle onde gravitazionali. Il giorno 27 settembre 2019, la Professoressa partecipa all'evento Donne Spaziali in cui si parla delle scienziate e ricercatrici che hanno determinato il successo di missioni come quella dell'Apollo 11 o di scoperte come la prima rappresentazione grafica di un buco nero.

## SCIENCE FEST



[www.newsletter-fisica-tor-vergata.it](http://www.newsletter-fisica-tor-vergata.it)



La Prof.ssa Viviana Fafone del Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata" partecipa, il giorno 17 Agosto 2019, allo Science Fest 2019 di San Pietroburgo tenendo la conferenza dal titolo "Tre segnali dallo spazio: luce, neutrini e onde gravitazionali".

## L'UOMO E IL COSMO NELLA STORIA. PARADIGMI, MITI, SIMBOLI



[www.newsletter-fisica-tor-vergata.it](http://www.newsletter-fisica-tor-vergata.it)



Dal 18 al 20 settembre 2019 si tiene, a Palermo, il convegno internazionale L'Uomo e il Cosmo nella storia. Paradigmi, miti, simboli. Il convegno, organizzato con la collaborazione dell'Università degli Studi di Palermo, della Fondazione Federico II, dell'ERSU – Ente Regionale per il diritto allo studio universitario di Palermo, del Museo internazionale delle marionette, si propone quale confronto fra studiosi di diverse aree disciplinari per analizzare, da prospettive diverse, la complessa trama di relazioni che lega la cosmologia scientifica e le concezioni "cosmiche" elaborate sia dalle culture antiche e folkloriche sia dalle società contemporanee. Il Prof. Nicola Vittorio del Dipartimento di Fisica dell'Università

degli Studi di Roma "Tor Vergata" interviene al convegno con un seminario dal titolo Certezze e incertezze della cosmologia moderna.

## SCIENZAPOP



[www.newsletter-fisica-tor-vergata.it](http://www.newsletter-fisica-tor-vergata.it)



Dal 12 al 15 giugno 2019 si svolge, presso la Scuola Manin-Di Donato, uno dei luoghi-simbolo dello storico quartiere multietnico di Roma, ScienzaPop, Festival della Scienza Popolare dell'Esquilino. L'evento è dedicato a temi che riguardano tutti e su cui tutti pensiamo di avere un'opinione: dall'ambiente al cibo,

dai vaccini all'informatica, dagli errori scientifici alle bufale. Al Festival interviene il Prof. Amedeo Balbi del Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata" con un seminario dal titolo La scienza è fatta di storie.



## PERSONALE

Alla data di pubblicazione della presente Rivista (fine 2020), il Dipartimento di Fisica è composto da: 16 Professori Ordinari, 1 Professore Emerito, 2 Professori Onorari, 4 Professori Turris Vergatae, 24 Professori Associati, 27 Ricercatori, 24 TAB, 10 Rappresentanti Studenti e Dottorandi nel Consiglio di Dipartimento.

**Professori Ordinari:**

Carla ANDREANI, FIS/03

Roberto BENZI, FIS/02

Francesco BERRILLI, FIS/06

Massimo BIANCHI, FIS/02

Luca BIFERALE, FIS/02

Giuseppe BONO, FIS/05

Lucio CERRITO, FIS/01

Matteo CIRILLO, FIS/03

Annalisa D'ANGELO, FIS/04

Maurizio DE CRESCENZI, FIS/03

Anna DI CIACCIO, FIS/01

Viviana FAFONE, FIS/01

Rossana MARRA, MAT/07

Pasquale MAZZOTTA, FIS/05

Silvia MORANTE, FIS/07

Nicola VITTORIO, FIS/05

Piergiorgio PICOZZA (Professore Emerito), FIS/01

Giancarlo ROSSI (Professore Onorario), FIS/02

Rinaldo SANTONICO (Professore Onorario), FIS/01

Roberto BUONANNO (Professore Turris Vergatae), FIS/05

Rita BERNABEI (Professore Turris Vergatae), FIS/04

Ivan DAVOLI (Professore Turris Vergatae), FIS/01

Emanuele PACE (Professore Turris Vergatae), FIS/04

**Professori Associati:**

Fabrizio ARCIPRETE, FIS/03

Amedeo BALBI, FIS/05

Massimo BASSAN, FIS/01

## PERSONALE

Paolo CAMARRI, FIS/01

Paola CASTRUCCI, FIS/03

Massimo FANFONI, FIS/03

Roberto FREZZOTTI, FIS/02

Claudio GOLETTI, FIS/03

Massimiliano LUCCI, FIS/03

Luigi MANCINI, FIS/05

Cristina MORONE, FIS/07

Livio NARICI, FIS/01

Maurizia PALUMMO, FIS/03

Gianfranco PRADISI, FIS/02

Olivia PULCI, FIS/03

Emanuele SANTOVETTI, FIS/01

Raffaele SAVELLI, FIS/02

Mauro SBRAGAGLIA, FIS/02

Roberto SENESI, FIS/07

Anna SGARLATA, FIS/03

Roberta SPARVOLI, FIS/01

Gianluca STEFANUCCI, FIS/03

Nazario TANTALO, FIS/02

Francesco TOMBESI, FIS/05

### **Ricercatori:**

Giulio AIELLI, FIS/01

Beatrice BONANNI, FIS/03

Hervé BOURDIN, RTDb), FIS/05

Michele BUZZICOTTI, RTDa), FIS/02

Luca CAMILLI, RTDb), FIS/03

Vincenzo CARACCIOLO, FIS/04

Alessandro CIANCHI, FIS/01

Giulio CIMINI, FIS/02

Giulia Maria DE DIVITIIS, FIS/02

## PERSONALE

Giancarlo DE GASPERIS, FIS/05  
Umberto DE SANCTIS, RTDb), FIS/01  
Dario DEL MORO, FIS/05  
Alessia FANTINI, FIS/04  
Alessandra FILABOZZI, FIS/01  
Saverio LOFFREDO RTDa), FIS/01  
Matteo LORENZINI, FIS/01  
Matteo MARTUCCI, FIS/04  
Vittorio MERLO, FIS/03  
Marina MIGLIACCIO RTDb), FIS/05  
Velia MINICOZZI, FIS/07  
Arturo MOLETI, FIS/01  
Enrico PERFETTO, RTDb), FIS/03  
Giuseppe PUCACCO, FIS/05  
Matteo SALVATO, FIS/03  
Alberto SALVIO RTDb), FIS/02  
Manuela Angela SCARSELLI, FIS/03  
Francesco STELLATO, RTDb), FIS/07

### **Personale Tecnico Amministrativo**

Liu Maria CATENA - *Segretario Amministrativo*  
Stefano BATTAGLIONE  
Laura CALCONI  
Lucia CORI  
Veronica DE ANGELIS  
Antonella LIJOI  
Maurizio MARZIALI  
Antonella TRAVERSI  
  
Giordano AMICUCCI  
Giovanni CASINI  
Arianna CECI

## PERSONALE

Roberto CELI  
Vincenzo CHIOSTRI  
Luigi DI STANTE  
Maurizio IANNILLI  
Renata KWATERA  
Roberto LULLI  
Daniele PECCHI  
Giuseppe POMPEI  
Enzo REALI  
Carlo ROSA  
Marco TRAVAGLINI  
Enrico TUSI  
Gianni VITALI

### **Rappresentanti degli Studenti e dei Dottorandi nel Consiglio di Dipartimento**

#### **Rappresentanti degli Studenti:**

Giuseppe AMMIRATI  
Andrea APRILE  
Chiara CALASCIBETTA  
Chiara CECCARELLI  
Pier Paolo PALMA  
Elena SIDORETTI  
Daniele SOCCODATO  
Luca TORLAI

#### **Rappresentanti dei Dottorandi:**

Alice ALDI  
Maurizio FIRROTTA

**Il Dipartimento di Fisica ospita inoltre la Sezione INFN di Roma**

Finito di stampare  
nel mese di dicembre 2020  
per i tipi dell'Editoriale Anicia S.r.l.

“Non si presta mai attenzione a ciò che è stato fatto; si vede soltanto ciò che resta da fare”.

(Marie Skłodowska Curie)

Le attività didattiche, di ricerca e di terza missione del dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Roma “Tor Vergata”, raccolte in questo volume, evidenziano un ambiente dinamico, innovativo, internazionale e interdisciplinare che quotidianamente accetta sfide e si dedica alla piena comprensione della gran varietà di fenomeni naturali che la natura porge, con lo sguardo sempre rivolto alla scoperta.

