

## A1 Titolo dell'attività di ricerca

Fisica Teorica delle Particelle Elementari con Applicazioni alle Astroparticelle ed alla Fisica degli Acceleratori

## A2 Responsabile

*(aggiungere eventuale referente del Dipartimento se il Responsabile non è un afferente ad esso)*

Responsabile Prof. Gennaro Miele

## A3 Personale Dipartimento di Fisica (Professori e Ricercatori)

Prof. Ordinari: G. Miele.

Prof. Associati: P. Santorelli

Ricercatori universitari: L. Rosa, O. Pisanti

## A4 Collaborazioni con altri enti

INFN; IFIC Valencia; EPFL Lausanne - CERN; CNRS Annecy, JINR (Russia), Univ. Tubinga (Germania), Univ. Tomsk (Russia), Centro de Estudio Cientifico (CECS) Valdivia Chile; Universidad Federico Santamaria, Vina del Mar, Chile; Université Libre de Bruxelles; Universiteit Gent, Bruxelles; Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ); Università La Sapienza di Roma; CMCC-Universidade Federal do ABC, Santo André, S.P., Brazil

## A5 Personale strutturato ricercatore o tecnologo altri enti convenzionati

I<sup>0</sup> Ric. INFN – G. Mangano

## A6 Altro personale di ricerca (Assegnisti, Borsisti)

Assegnisti: S. Morisi (UNINA)

## A7 Dottorandi di Ricerca

M. Chianese

M. Manfredonia

## B1 Breve descrizione della linea di ricerca

*(max 1000 caratteri)*

Lo studio della Fisica Astroparticellare consente di ottenere informazioni sulle interazioni fondamentali a partire da osservazioni cosmologiche ed astrofisiche, che più di recente stanno fornendo una grande mole di dati caratterizzati in generale da un buon livello di precisione. Queste informazioni rappresentano una fonte complementare ed indipendente ai dati raccolti dagli acceleratori. Un esempio di come le astroparticelle abbiano contribuito alla comprensione delle interazioni fondamentali ci è suggerito dal meccanismo di oscillazione dei neutrini invocato per la prima volta al fine di spiegare il deficit di neutrini solari e successivamente l'anomalia dei neutrini atmosferici.

In ambito astroparticellare il nostro gruppo si è concentrato principalmente su:

1. Nucleosintesi Primordiale e anisotropia della radiazione cosmica di fondo (CMB), che rappresentano un potente test sia per la fisica fondamentale che per i

modelli cosmologici.

2. Fisica dei neutrini, rilevante in cosmologia per il ruolo giocato dai neutrini di background ed in astrofisica nello studio dei meccanismi di produzione e oscillazione dei neutrini emessi dalle stelle, dalle supernovae e dagli AGN.

3. Dark Matter (DM): Cosmologia e astrofisica forniscono chiare evidenze dell'esistenza della DM. Un modo indiretto di osservarla è attraverso lo studio delle particelle secondarie prodotte dalla sua annichilazione o decadimento.

Per quanto riguarda la fisica agli acceleratori, il gruppo si è principalmente dedicato alla cosiddetta Fisica degli eventi rari o di precisione, e in particolare modo allo studio dei decadimenti di adroni pesanti al fine di mettere in rilievo, attraverso il confronto con il dato sperimentale, eventuali anomalie che potrebbero rappresentare segnali di nuova Fisica (Beyond the Electroweak Standard Model).

Ulteriori temi di ricerca hanno riguardato effetti non perturbativi in teoria quantistica dei campi. Questi possono manifestarsi a scale molto diverse fra loro: l'effetto Casimir in QED, il problema della costante cosmologica, il confinamento dei quark all'interno dei nucleoni, la formazione di condensati in QCD, le dimensioni di una stella di quark etc..

- Studio degli effetti di un vuoto non banale della QED a livello cosmologico. Dopo l'esperimento ALADIN, che ha permesso di dimostrare la fattibilità di una modulazione dell'energia Casimir, è stato di recente proposto l'esperimento ARCHIMEDES (finanziato dall'INFN) con cui si intende misurare l'interazione tra le fluttuazioni di vuoto della QED e il campo gravitazionale.

- Implicazioni dell'esistenza delle "copie di Gribov" in QCD. L'eliminazione delle copie porta ad una sostanziale modifica, a bassa energia, della struttura del propagatore sia dei gluoni che dei quark. Le simulazioni su reticolo hanno fornito ottimi accordi con i dati sperimentali.

## **B2 Descrizione attività svolta nel triennio 2014-2016**

*(max 2000 caratteri)*

### Fisica Astroparticellare

1) Riguardo la Nucleosintesi primordiale (BBN) si sono studiati i limiti imposti alla fisica del neutrino (asimmetria neutrino-antineutrino) determinati dalla richiesta che i valori osservati per le abbondanze primordiali dei nuclidi leggeri fossero compatibili con la frazione barionica ottenuta dalla CMB. Si è inoltre analizzata la rilevanza del processo  $d(p,\gamma)^3\text{He}$  sulle predizioni della BBN, ottenendo indicazioni utili sulla fisica della particolare reazione nucleare e sulla presente incompatibilità tra calcoli teorici e misure sperimentali.

2) La fisica del fondo cosmico di neutrini è stata analizzata nel caso di presenza di gradi di libertà sterili, attraverso la soluzione delle equazioni cinetiche, sia in

regime di momento medio che tenendo conto della distribuzione in momento. Lo studio ha indicato l'esistenza di regioni dello spazio dei parametri nelle quali le asimmetrie neutrino-antineutrino ed il contenuto di energia di tale componente della radiazione possono assumere valori estremamente peculiari e non facilmente prevedibili da considerazioni più naive.

Si sono analizzati gli scenari di neutrini sterili fortemente autointeragenti. Questo al fine di ridurre la produzione di tali neutrini nel primo universo attraverso le oscillazioni attivo-sterile. In questi scenari tuttavia non sembra che i valori dei parametri di oscillazioni che spiegano le anomalie short-baseline, siano compatibili con le osservazioni cosmologiche.

Sono stati analizzati anche gli scenari di low-reheating nei quali il calcolo della componente neutrinica del fondo cosmico va valutata numericamente dalle equazioni cinetiche. Le ripercussioni sulle predizioni della BBN forniscono un limite sulla minima temperatura di reheating possibile.

Infine, considerando ambienti astrofisici estremi nei quali risolvere l'equazione del trasporto per la matrice densità dei tre neutrini attivi sono stati studiati gli effetti sui moti collettivi dei neutrini della presenza di inhomogeneità spaziali. Tali disomogeneità rendono instabili i comportamenti collettivi nello spazio dei sapori noti come flavour pendulum behaviour".

3) Si è studiato un modello di DM nel quale il flusso di neutrini di alta energia (PeV neutrinos) osservato dall'esperimento IceCube è determinato da una componente astrofisica alla quale si sovrappone una di tipo top-down dovuta al decadimento di particelle di DM della scala del PeV. Stesso tipo di eccesso lo si osserva ad energie più basse (ordine 100 TeV) per il quale sono state condotte analisi simili.

#### Fisica degli acceleratori

E' stato ricavato un limite superiore alla scala energetica entro la quale la presenza di Fisica oltre il Modello Standard delle interazioni elettrodeboli deve mostrare la sua presenza. Ciò è stato ricavato assumendo uno schema generale SUSY-GUT con struttura che richiami SU(5) nel limite di massima naturalezza dei parametri. In questo caso si ottiene come limite energetico superiore nello spazio dei modelli circa 20 TeV. Tale valore dunque rappresenta nello spazio dei modelli la condizione più sfavorevole che potrebbe presentarsi date le assunzioni precedenti. Tale osservazione di fatto chiarisce come la ricerca di nuova fisica al LHC potrebbe essere infruttuosa e ciononostante la struttura SUSY-GUT non esclusa, quindi dando rilevanza alla costruzione di una nuova generazione di acceleratori con energia di CM dell'ordine dei 100 TeV.

Sono stati considerati i Barioni  $\Lambda_c$  e  $\Lambda_b$  (osservabili sperimentalmente al LHC) e studiati i loro decadimenti semileptonici non-leptonici e rari per mettere in evidenza eventuali effetti di nuova fisica, in particolare quelli connessi al contributo di nuove particelle nel caso dei processi rari, e di violazione di Universalità leptonica già osservata, al livello di 3 sigma, sperimentalmente nei decadimenti dei mesoni B. Si sono inoltre studiati gli effetti di violazione di CP nel settore del quark charm in connessione a contributi di interazione di stato finale e/o effetti di nuova fisica.

- Effetti non perturbativi in teoria quantistica dei campi

Tra gli aspetti più importanti della fisica moderna c'è l'inconciliabilità dell'esistenza di un'energia legata alle fluttuazioni del vuoto in teoria dei campi quantizzati e la relatività generale. Negli ultimi anni è stato condotto uno studio accurato della possibilità di misurare l'influenza di tali fluttuazioni su un campo gravitazionale. Il risultato di questo studio è stata la proposta dell'esperimento ARCHIMEDS finanziato dall'INFN nel 2014. Durante questi anni si è studiata l'energia Casimir di una "multicavità" a pareti molto sottili. L'accoppiamento di queste cavità, infatti, può portare ad un forte accrescimento dell'energia di vuoto rendendo la modulazione di essa rivelabile agli apparati sperimentali. Questo è il primo passo verso la progettazione e costruzione della cavità superconduttiva che rappresenta il cuore dell'esperimento.

Nelle teorie di gauge un problema fondamentale da risolvere, allo scopo di sviluppare calcoli perturbativi di grandezze fisiche, è l'eliminazione dei gradi di libertà extra legati all'invarianza di gauge. La procedura di gauge fixing di Faddeev-Popov è una procedura che consente di svolgere calcoli perturbativi intorno al vuoto banale:  $A_\mu=0$ . Gribov ha dimostrato che nel caso di teorie di gauge non abeliane non è possibile fissare una gauge senza ambiguità a causa della esistenza delle cosiddette copie di Gribov. In particolare si sono studiate le conseguenze dell'esistenza di queste copie sull'energia Casimir del MIT Bag model. Si è, inoltre, mostrato che l'eliminazione di queste copie può portare a fenomeni di confinamento attraverso uno studio accurato del "Loop di Polyakov" in un modello di gauge con gruppo di simmetria SU(2).

### **B3 Descrizione attività programmata nel triennio 2017-2019**

*(max 2000 caratteri)*

L'attività di Fisica Astroparticellare del prossimo triennio vedrà un aggiornamento del programma PArthENoPE relativamente alle rate nucleari che sono state di recente misurate ed all'utilizzo di diverse routine numeriche di più facile fruizione. Allo stesso tempo si continuerà lo studio dei fenomeni collettivi delle oscillazione di neutrino in presenza di disomogeneità con applicazione agli ambienti astrofisici estremi.

Si intende continuare lo studio dei processi di decadimento debole di mesoni e barioni pesanti al fine di testare, in tutti i processi che coinvolgono leptoni nello stato finale, effetti di violazione della Universalità Leptonica. Saranno anche studiati decadimenti non-leptonici dei mesoni *charmati* ed relativi effetti di violazione di CP. Si intendono anche studiare, per testare l'accoppiamento della particella di Higgs ai quark leggeri, processi di decadimento dell'higgs in quarkonia e leptoni.

Il gruppo intende inoltre continuare lo studio delle possibili implicazioni delle misure di IceCube sulla ricerca indiretta di DM, guardando alle distribuzioni angolari degli eventi di neutrino e ad una loro correlazione con le distribuzioni

attese nei profili di DM.

Si considereranno inoltre effetti legati agli aspetti quantistici della gravita' sulle regole di quantizzazione nello spazio delle fasi e delle configurazioni, adottando gli strumenti matematici della geometria non commutativa.

Relativamente agli effetti non perturbativi in teoria quantistica dei campi, nel prossimo triennio sar  necessario completare le simulazioni del progetto ARCHIMEDES in modo da poter avviare la costruzione della cavita' superconduttiva che   alla base dell'esperimento. Sar  necessario, quindi, generalizzare i calcoli dell'energia Casimir in una cavita' multistrato al caso di lamine molto sottili, nonch  la generalizzazione necessaria per trattare il caso di "plasma-sheet" che risulta particolarmente importante allo scopo di utilizzare superconduttori ad alta temperatura: non BCS. Accanto allo studio teorico connesso al su citato problema sar  necessario scrivere i programmi adatti alle simulazioni.

Sul versante Gribov si intende studiare approfonditamente, nell'ambito del "Refined Gribov Zwanziger" model le connessioni tra i vari criteri di confinamento: Wilson loop, Polyakov loop, rappresentazione di Kallen-Lehemann etc.. Contemporaneamente si vuole applicare questo modello a varie situazioni cosmologiche. A tal fine   necessario estendere la teoria al caso di temperatura finita. In questo modo si pensa di poter ottenere: limiti sulle dimensione di stelle a quark, con conseguenti vincoli derivanti dall'esistenza di equazioni costitutive. Si intende, inoltre, studiare gli eventuali legami tra il modello RGZ e quelle teorie basate su geometria non commutativa in cui lo stesso tipo di propagatore viene ipotizzato.

### **C1 Pubblicazioni scientifiche nel triennio 2014-2015**

*(indicare il numero complessivo nel triennio e elencare le pi  significative (max 10))*

N. complessivo di lavori nel triennio : **26**

1. "Bounds on very low reheating scenarios after Planck", P.F. de Salas, M. Lattanzi, G. Mangano, G. Miele, S. Pastor, O. Pisanti. **Phys.Rev. D92 (2015) 12, 123534**
2. "Decaying Leptophilic Dark Matter at IceCube", Sofiane M. Boucenna, Marco Chianese, Gianpiero Mangano, Gennaro Miele, Stefano Morisi, Ofelia Pisanti, Edoardo Vitagliano. **JCAP 1512 (2015) 12, 055**
3. "Semileptonic decay  $\Lambda_b \rightarrow \Lambda_c + \tau^- + \nu\tau^-$  in the covariant confined quark model", Thomas Gutsche, Mikhail A. Ivanov, J rgen G. Körner, Valery E. Lyubovitskij, Pietro Santorelli, Nurgul Habyl. **Phys.Rev. D91 (2015) 7, 074001**
4. "Effect of the Gribov horizon on the Polyakov loop and vice versa", F.E. Canfora, D. Dudal, I.F. Justo, P. Pais, L. Rosa, D. Vercauteren. **Eur.Phys.J. C75 (2015) 7, 326**.
5. "Chances for SUSY-GUT in the LHC Epoch", Zurab Berezhiani, Marco Chianese, Gennaro Miele, Stefano Morisi. **JHEP 1508 (2015) 083**
6. "Self-induced flavor instabilities of a dense neutrino stream in a two-

dimensional model", Alessandro Mirizzi, Gianpiero Mangano, Ninetta Saviano. **Phys.Rev. D92 (2015) 2, 021702**

7. "Low energy IceCube data and a possible Dark Matter related excess". Marco Chianese, Gennaro Miele, Stefano Morisi, Edoardo Vitagliano, **Phys.Lett. B757 (2016) 251-256**
8. "Optimal uncertainty relations in a modified Heisenberg algebra", Kais Abdelkhalek, Wissam Chemissany, Leander Fiedler, Gianpiero Mangano, René Schwonnek, **Phys.Rev. D94 (2016) no.12, 123505**
9. "Dark Matter interpretation of low energy IceCube MESE excess" M. Chianese, G. Miele, S. Morisi **JCAP 1701 (2017) no.01, 007**
10. "A neutrino mass-mixing sum rule from SO(10) and neutrinoless double beta decay ", F. Buccella, M. Chianese, G. Mangano, G. Miele, S. Morisi, P. Santorelli **JHEP 1704 (2017) 004**

## C2 Presentazioni a Conferenze internazionali e nazionali

*(solo se lo speaker è tra il personale elencato nel punto A3)*

Alternative Gravity and Alternative Matter Workshop, Heraklion, Crete, 20-23 maggio 2015

QCD@Work 2014 - International Workshop on Quantum Chromodynamics: Theory and Experiment, dal 16 al 19 Giugno 2014, Giovinazzo, Bari, Italia

Neutrino Oscillation Workshop (NOW 2014) : Conca Specchiulla, Otranto, Lecce, Italy, September 7-14, 2014

## C3 Presentazioni di brevetti internazionali e nazionali

## D1 Progetti di ricerca attivi

*(Progetti di Enti di ricerca, Progetti Europei, Progetti MIUR, PON, POR, ...)*

Iniziativa Specifica INFN TASP

Iniziativa Specifica INFN QFTHEP

Progetto Prin (2014-2017) FISICA ASTROPARTICELLARE TEORICA

Legge regionale 5/2002 - Annualità 2007 - *La fisica delle astroparticelle come strumento di investigazione dell'universo e delle interazioni fondamentali*

Progetto Europeo GENOVATE - Transforming Organisational Culture for Gender Equality in Research and Innovation (2013-2106)