

Infine per quanto riguarda il calcolo è continuata la collaborazione con il progetto GRID per il quale sono stati messi in opera i prototipi dei TIER1 e TIER2; sono inoltre stati simulati eventi per lo studio di ben precisati problemi fisici utilizzando il codice ALIROOT sviluppato in C++ dalla collaborazione.

**b. Ioni relativistici**

L'esperimento HADES ha eseguito la prima presa dati al GSI accumulando più di  $2 \cdot 10^8$  eventi nell'interazione C +C a 2 GeV per nucleone.

**c. Ioni di energia intermedia**

Proseguendo i suoi studi sul ruolo dell'isospin nella transizione di fase liquido vapore del nucleo SIS2 ha proseguito l'analisi delle reazioni misurate ai LNS e preparato la strumentazione per le misure al GSI.

FORWARD ha ottenuto importanti risultati sulla dinamica della reazione  $^{36}\text{Ar} + ^{98}\text{Mo}$  e sulla natura dinamica dell'emissione dal "neck" nella reazione Ni + Ni ad energie di 30 AMeV.

REVERSE ad LNS ha completato l'analisi delle misure reazioni  $^{124}\text{Sn}$  su Al e  $^{64}\text{Ni}$  e  $^{112}\text{Sn}$  su  $^{58}\text{Ni}$  e in particolare ha montato il rivelatore CHIMERA in configurazione completa.

Va notato che i ricercatori di FORWARD e REVERSE si riuniranno nel 2003 nell'unico esperimento ISOSPIN per meglio sfruttare le possibilità degli apparati CHIMERA e MEDEA ad LNS nello studio degli effetti di Isospin sulla equazione di stato della materia nucleare.

FIASCO ha studiato a varie energie di bombardamento le emissioni statistiche e dinamiche di particelle e frammenti complessi in funzione del parametro d'urto ed ha messo a punto una nuova elettronica digitale per futuri esperimenti.

Nel quadro del riordino degli esperimenti con ioni pesanti FIASCO entrerà nel 2003 a fare parte dell'esperimento NUCL-EX che studierà a LNL ed LNS gli aspetti dinamici e termodinamici della interazione di ioni pesanti ad energie basse ed intermedie.

### 3. STRUTTURA NUCLEARE e DINAMICA delle REAZIONI

#### a. Dinamica delle Reazioni

STREGA ha eseguito misure di reazioni nucleari fra ioni pesanti per la ricerca di segnali di transizione di fase liquido-gas nei nuclei a bassa energia e per investigare il meccanismo di smorzamento della risonanza di dipolo in nuclei altamente eccitati. Sono state effettuate inoltre misure di sezioni d'urto rilevanti per l'adroterapia e per la determinazione dei rischi di radiazione per gli astronauti.

COSTHIR ha compiuto misure di meccanismi di reazioni in interazioni C+ Cu ad energie di 200 e 300MeV utilizzando la tecnica del "Doppler Shift" delle transizioni  $\gamma$  e misure a LNL e LNS di emissione di nuclei leggeri in interazioni di C ed O; l'esperimento ha concluso l'analisi teorica degli spettri doppio differenziali dei frammenti di massa intermedia.

Questi due esperimenti terminano la loro attività nel 2002 e i ricercatori confluiranno nell'esperimento NUCL-EX di cui si è già detto.

EDEN ha svolto un'intensa attività a LNL con gli apparati RIPEN e  $8\pi$ LP studiando la dinamica di fissione nella regione dei superpesanti ed effetti di temperatura ed isospin sulla densità dei livelli nucleari; ha inoltre continuato l'attività al Ciclotrone dell'Università del Texas realizzando il rivelatore del piano focale del solenoide superconduttore Big Sol.

EXOTIC ha eseguito misure su nuclei emettitori di  $\alpha$  e p a LNL e nuclei esotici debolmente legati. Ha inoltre studiato il break up del  $^{17}\text{F}$  a ANL ed ha iniziato la costruzione del fascio di ioni  $^{17}\text{F}$  che terminerà nel 2003 a LNL.

TRASMARAD ha eseguito misure a LNS e a Louvain la Neuve e completato gli studi degli effetti di alone del  $^6\text{He}$  sul meccanismo di reazione.

#### b. Struttura Nucleare

La ricerca nel campo della spettroscopia nucleare è proseguita con gli spettrometri a  $4\pi$  per raggi  $\gamma$  EUROBALL e GASP; il primo al VIVITRON di Strasburgo, il secondo ai LNL. Entrambi gli esperimenti hanno ottenuto ottimi risultati riportati in molte pubblicazioni. Tra l'altro sono state studiate forme esotiche di nuclei in stati ad alto spin, nuclei ricchi di neutroni, nuclei esotici lungo la linea  $T_z=1/2$ . I due esperimenti si fonderanno in unico esperimento GAMMA nel 2003, in cui sarà concentrata tutta l'attività, con misure su nuclei stabili a LNL e nuclei radioattivi al GSI (Progetto RISING) e con lo sviluppo di un rivelatore  $\gamma$  a  $4\pi$  ad alta efficienza (progetto AGATA).

TRARE a Monaco ha continuato le misure su reazione di trasferimento di pochi nucleoni individuando stati del  $^{120}\text{Sn}$  omologhi del  $^{119}\text{In}$ ; MISSIVE ai LNL ha misurato la vita media dei livelli del  $^{104}\text{Pd}$  identificando lo stato a 2276 KeV come il primo stato a simmetria mista  $1^+$  nell'ambito del modello a bosoni interagenti.

**c. Strumentazione**

È stato completata la costruzione dello spettrometro PRISMA ai LNL con l'installazione del rivelatore di piano focale e della camera di scattering ruotante ed eseguito un test di tutto l'apparato con un fascio di ioni pesanti. È stata studiata la possibilità di accoppiare lo spettrometro con un insieme di rivelatori  $\gamma$  provenienti da EUROBALL.

Ai LNS lo spettrometro MAGNEX ha avanzato notevolmente la costruzione con l'acquisizione dei magneti e della loro alimentazione e con lo sviluppo dei rivelatori necessari. Lo spettrometro farà un primo test di tutto l'apparato alla fine del 2003 con sorgenti  $\alpha$ .

Nel campo della spettroscopia è iniziato l'R&D per lo sviluppo del rivelatore Europeo AGATA basato sull'analisi dei segnali in un rivelatore di Ge Iperpuro segmentato.

**4. ASTROFISICA NUCLEARE e RICERCHE INTERDISCIPLINARI****a. Ricerche interdisciplinari**

L'esperimento ATHENA al CERN, che studia la spettroscopia dell'anti-idrogeno, ha ottenuto un risultato di assoluta rilevanza mondiale pubblicando su Nature la prova sperimentale della formazione di più di  $5 \cdot 10^5$  atomi di anti-idrogeno freddi. Ciò è stato possibile grazie alla realizzazione di trappole per positroni e antiprotoni costruite con il contributo determinante dei ricercatori italiani.

nTOF al CERN ha ottenuto le prime misure di sezioni d'urto di cattura e di fissione di neutroni rilevanti per lo studio del ADS (Accelerator Driver System) dimostrando la piena operatività ed affidabilità della "facility".

**b. Astrofisica Nucleare**

L'esperimento underground LUNA2 ha realizzato ai LNGS il bersaglio gassoso ed il calorimetro per l'acceleratore da 400KeV e completato la misura con bersaglio solido della reazione  $^{14}\text{N}(\text{p},\gamma)^{15}\text{O}$ .

La collaborazione ha studiato a Bochum il problema della schermatura degli elettroni osservando un importante effetto sui metalli in contrasto con il caso degli isolanti e dei semiconduttori. Non si conosce la ragione del fenomeno.

ERNA, impegnato nella misura della reazione di cattura  $^{12}\text{C}(\alpha, \gamma)^{16}\text{O}$ , ha completato il sistema di purificazione del fascio e la messa a punto del bersaglio gassoso ed inizierà le misure della sezione d'urto del processo nel 2003.

ASFIN2 ha misurato le sezioni d'urto  $^{6}\text{Li} (^{3}\text{He}, p)^{4}\text{He}$  a Bochum e  $^{6}\text{Li}(d, \alpha)^{3}\text{He}$  ai LNS da cui saranno estratte, con il metodo del cavallo di Troia, le sezioni d'urto delle reazioni  $^{3}\text{He}(d, p)\alpha$  e  $^{6}\text{Li}(p, ^3\text{He})^4\text{He}$ .

### CONCLUSIONI

Nel complesso sono stati realizzati gran parte degli obiettivi previsti con una distribuzione delle risorse motivata dagli interessi di Fisica contenuti nel piano triennale.

La prevalenza di risorse impegnate nelle ricerche sugli ioni ultrarelativistici mostra il forte impegno nella costruzione dell'esperimento ALICE per LHC. Va notata, in questo contesto, l'approvazione definitiva del progetto per il tempo di volo (TOF), che ha anche ottenuto la copertura totale per le spese riguardanti la costruzione. Questo apparato, assieme ai già rilevanti impegni su altri rivelatori di ALICE, rende assolutamente primario il ruolo dell'Italia nell'esperimento.

Le ricerche con sonde elettromagnetiche hanno dato brillanti risultati sulla Fisica dello spin dei nucleoni e sulle risonanze del nucleone.

Per quanto riguarda la Fisica Nucleare classica è in corso un riordino degli esperimenti suggerito anche dal Comitato Valutazione Interno; alcuni esperimenti chiudono perciò nell'anno.

Nel campo della struttura nucleare terminano EUROBALL e GASP che hanno avuto una cospicua produzione di pubblicazioni di grande rilievo. I due esperimenti si fondono per il 2003 in un unico esperimento GAMMA che permetterà di coordinare l'attività di misura con fasci di ioni stabili ai LNL e radioattivi al GSI e di porre le basi per la partecipazione alla costruzione del rivelatore europeo AGATA.

Nel campo dello studio della transizione di fase liquido-vapore della materia nucleare e dei meccanismi di reazioni chiudono gli esperimenti FORWARD e REVERSE per convergere in ISOSPIN che farà misure a LNS con i rivelatori CHIMERA e MEDEA. Terminano l'attività gli

esperimenti COSTHIR, STREGA e FIASCO; i ricercatori impegnati in queste misure entrano a fare parte dell'esperimento NUCL-EX che intende studiare fenomeni dinamici e termodinamici nelle reazioni di ioni pesanti ai LNL ed LNS.

Va infine notato, tra i diversi risultati, quello ottenuto dall'esperimento ATHENA che ha prodotto un numero rilevante di atomi di anti-idrogeno e l'entrata in produzione della "facility" nTOF con le prime misure di sezioni d'urto rilevanti per lo sviluppo degli ADS.

## APPENDICE

## DINAMICA DEI QUARK E DEGLI ADRONI

ESPERIMENTI	LABORATORI	FASCIO	SEZIONI	FTE
AIACE	TJNAF (USA)	e-, $\gamma$ 6 GeV	Ge, LNF	10,5
DEAR	LNF DAFNE	mesoni k	LNF	5,4
DIRAC	CERN PS	protoni 25 GeV	LNF, Ts	3,9
DUBTO	JINR (Dubna, Russia)	$\pi$ bassa energia	To	7,3
ELETTRONICO	TJNAF (USA)	e-, $\gamma$ 6 GeV	ISS, Ba	5,6
FINUDA	LNF DAFNE	mesoni k	To, Ba, LNF, Pv, Ts	23
GDHN	MAMI (Mainz, Germany), ELSA (Bonn, Germany)	$\gamma$ polarizzati	Pv	4,4
GRAAL	ESRF (Grenoble, France), NSLS (Brookhaven, USA)	$\gamma$ polarizzati	Rm2, Ge, ISS, LNF, LNS	14,7
HERMES	DESY (Hamburg, Germany)	e+ e- polarizzati	LNF, ISS, Ba, Fe	24
ALTRO				0,7
<b>TOTALE</b>				<b>99,5</b>

## TRANSIZIONI DI FASE NELLA MATERIA NUCLEARE

ESPERIMENTI	LABORATORI	FASCIO	SEZIONI	FTE
ALICE	CERN LHC	ioni ultrarelativistici	Ca, Al, Ba, Bo, Ct, LNL, Pd, Rm, Sa, To, Ts	111,85
FIASCO	LNS	ioni energia intermedia	Fi	9,6
FORWARD	LNS	ioni energia intermedia	LNS, Mi	6,5
HADES2	GSI (Germany)	ioni relativistici	LNS, Mi	4,2
IPER	CERN SPS	ioni ultrarelativistici	To, Ca	11,3
NA57	CERN SPS	ioni ultrarelativistici	Ba, Ct, Pd, Rm1, Sa	7,4
REVERSE	LNS	ioni energia intermedia	Ct, Bo, LNS, Me, Mi, Na	20,6
SIS2	LNS, GSI (Germany)	ioni relativistici	LNS, Ct	3
ALTRO				2
<b>TOTALE</b>				<b>176,5</b>

## STRUTTURA NUCLEARE E DINAMICA DELLE REAZIONI

ESPERIMENTI	LABORATORI	FASCIO	SEZIONI	FTE
COSTHIR	National Accelerator Centre (Faure, South Africa)	ioni energia intermedia	Mi	4
EDEN	LNL, Texas University TAMU	ioni bassa energia	LNL, Ba, Fi, Na, Pd	10
EUROBALL	VIVITRON (Strasbourg, France)	ioni bassa energia	Mi, Fi, Ge, LNL, Na, Pd, Pg	28,2
EXOTIC	LNL, Munich(Germany), RIKEN (Japan), ANL (USA), GANIL (France)	ioni bassa energia	Na, Mi, Pd	8,1
GASP	LNL	ioni bassa energia	Pd, Fi, LNL	11,7
MAGNEX	LNS, IPN Orsay (France)	ioni bassa energia	LNS, Ct	13,4
MISSIVE	LNL	ioni bassa energia	Fi	3,5
PRISMA2	LNL	ioni bassa energia	LNL, Na, Pd, To	13,6
STREGA	LNL, LNS	ioni bassa energia	LNL, Bo, Fi, LNS, Mi, Na, Ts	9,7
TRARE	LMU e TUM Garching (Muenchen, Germany)	p polarizzati e non	Mi	2,8
TRASMARAD	LNS, Louvain la Neuve (Belgium)	ioni energia intermedia	Ct, LNS	5,3
<b>TOTALE</b>				<b>110,3</b>

## ASTROFISICA NUCLEARE E RICERCHE INTERDISCIPLINARI

ESPERIMENTI	LABORATORI	FASCIO	SEZIONI	FTE
ASFIN2	LNS, Bochum (Germany)	ioni leggeri bassa energia	LNS	7,6
ATHENA	AD CERN	anti protoni, neutroni	Ge, Pi, Pv	14,3
ERNA	Bochum (Germany)	ioni leggeri bassa energia	Na	4
LUNA2	LNGS	ioni leggeri bassa energia	Ge, LNGS, Mi, Na, Pd, To	11,5
NTOF	CERN Neutron Time Of Flight facility	neutroni	Ba, Bo, LNL, Ts	9,7
<b>TOTALE</b>				<b>47,1</b>
<b>TOTALE GEN.</b>				<b>433,3</b>

FISICA TEORICA  
Relazioni di attività 2002

Nel 2002 la Commissione Scientifica Nazionale IV<sup>^</sup> ha coordinato le ricerche di circa 890 fisici teorici, corrispondenti a circa 650 ricercatori effettivi a pieno tempo, in qualità di dipendenti (circa 105), incaricati (circa 280) e associati di ricerca, distribuiti nelle unità operative e nei gruppi collegati.

Il finanziamento assestato per le ricerche di fisica teorica è stato di 3.668.327 Euro, così suddivisi:

- |                               |           |
|-------------------------------|-----------|
| • Dotazione ordinaria         | 1.816.000 |
| • Iniziative specifiche       | 1.846.327 |
| • Fondo scambi internazionali | 6.000     |

La cifra riguardante le dotazioni contiene le spese per il calcolo; la cifra globale assegnata al capitolo inviti di ricercatori stranieri è stata di 381 K€.

A fronte delle entrate sopra elencate va considerato un avanzo a fine anno di 259.794 pari al 7 % delle entrate. Tale dato è assolutamente fisiologico e appare inferiore a quello del 2001 e fortemente ridotto rispetto agli anni precedenti.

Per quanto riguarda le uscite, globalmente sui capitoli 102061 (inviti) e 212010 (attrezzature) si sono spesi rispettivamente 357 K€ e 797 K€, sulle missioni estere 1.404 K€ e su quelle interne 528 K€. Le cifre corrispondenti riferite al 2001 sono state di 341 K€, 677 K€, 1.324 K€ e 475 K€. Dal confronto appare chiaramente la tendenza alla normalizzazione della gestione economica.

La spesa per il grosso calcolo ai Consorzi è stata azzerata. Si ha invece una spesa di manutenzione di 23 K€ nettamente inferiore a quella dell'anno precedente (63 ML).

#### **Dotazione ordinaria**

Ha coperto, come negli anni precedenti, le spese di base e ha anche finanziato, in parte, missioni e partecipazioni a scuole o conferenze. Comprende la maggior parte della spesa riguardante le attrezzature per il calcolo.

#### **Fondo Iniziative Specifiche**

Ha finanziato viaggi ed inviti nell'ambito di progetti di ricerca con un programma comune. Il numero di ricercatori equivalenti afferenti a 60 iniziative specifiche è stato dell'ordine delle 560 unità equivalenti, ripartiti per il 38,5% in iniziative di Teoria dei Campi, il 21,5% in ricerche di Fenomenologia, il 14,5% in ricerche di Fisica Adro-nucleare, 12% in Metodi Matematici e il restante 13,5% in Fisica Astro-particellare. A questa suddivisione corrisponde rispettivamente un

finanziamento del 36%, 24%, 16%, 11% e 13% del totale relativo alle Iniziative. Si noti che circa 50 ricercatori equivalenti a pieno tempo svolgono la loro attività di ricerca a livello individuale con spese piuttosto ridotte, ma con produttività sicuramente apprezzabile.

### **CONSUNTIVO SCIENTIFICO**

Le linee di ricerca, coordinate dalla Commissione IV<sup>4</sup>, anche nel corso del 2002 sono proseguite lungo le linee tradizionali della fisica nucleare e sub-nucleare. Naturalmente alcune vertono anche sui metodi e sulle tecniche matematiche in uso. La produttività totale del gruppo, corretta per le collaborazioni estere circa il 23%, ammonta a 1.400 unità di *impact parameter* (IP) corrispondente a una produttività specifica media di circa 2. Il confronto con gli anni precedenti mostra stabilità della produzione.

Nel seguito elencheremo i principali temi di ricerca raggruppandoli per comodità di esposizione secondo le cinque tematiche. Tuttavia a volte le differenze non sono così nette e sono soggette a progressiva evoluzione.

In generale il consuntivo mostra che le linee programmatiche e gli obiettivi posti a preventivo sono stati realizzati; d'altra parte, com'era da attendersi, i campi di attività non si discostano da quelli degli anni precedenti, sia come tipo di risultati che come distribuzione nelle varie sedi.

### **TEORIA DEI CAMPI**

Le attività del settore, cui partecipano circa 217 ricercatori, sono raggruppate, per la maggior parte, in 19 Iniziative Specifiche. La produttività totale del settore è stata di 435 IP, quella specifica: 1.9. Si possono suddividere in tre grandi filoni di ricerca:

- teorie di campo (teorie di gauge, e di gravità, modelli integrabili) studiati con metodi analitici,
- studio delle teorie di stringa e oggetti estesi, delle loro simmetrie e dei modi di eccitazione; relazioni fra teorie di stringa e teorie di campo
- applicazioni alla meccanica statistica dei sistemi critici e ai sistemi complessi (vetri di spin, reti neurali).

Tra i risultati di maggior risonanza in questo settore citiamo:

Marco Billo, Igor Pesando.

BOUNDARY STATES FOR GS SUPERSTRINGS IN AN HPP WAVE BACKGROUND.

Phys.Lett.B536:121,2002

Alberto Santambrogio, Daniela Zanon.

EXACT ANOMALOUS DIMENSIONS OF N=4 YANG-MILLS OPERATORS WITH LARGE R  
CHARGE.

Phys.Lett.B545:425,2002

E due lavori ancora al livello di preprint:

PERTURBATIVE COMPUTATION OF GLUEBALL SUPERPOTENTIALS.

di R. Dijkgraaf et al.

hep-th/0211017

OPEN STRINGS ON PLANE WAVES AND THEIR YANG-MILLS DUALS.

Di D. Berenstein et al.

hep-th/0203249

#### **SETTORE F - FENOMENOLOGIA DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI**

I progetti di ricerca in questo campo vedono coinvolti circa 120 ricercatori italiani su 17 Iniziative Specifiche. La produttività totale del settore è stata di 320 IP, quella specifica: 2.38.

Le linee base di ricerca non sono cambiate rispetto al 2001, si riassumono di seguito le attività principali nei diversi settori.

- Rottura spontanea della simmetria elettro-debole e verifiche di precisione del modello standard: calcolo di processi con 4 fermioni nello stato finale rilevanti per LEPII.
- Fisica oltre il modello standard: aspetti non-perturbativi delle teorie supersimmetriche; modelli di rottura della supersimmetria e possibili segnali agli acceleratori; implicazioni di possibili simmetrie di sapore nelle teorie unificate; possibili conferme della teoria della stringa (extra dimensioni) alla scala del TeV.
- QCD perturbativa: produzione di quark pesanti ai collider adronici; reazioni inclusive; correzioni ai calcoli perturbativi.
- Fisica adronica: calcolo di elementi di matrice e spettri adronici con tecniche di reticolo e metodi analitici; applicazioni delle lagrangiane chirali, in particolare alla fisica di DAΦNE; decadimenti rari del B e violazione di CP, nel modello standard e oltre; produzione diffrattiva; sezioni d'urto elastica e totale, in connessione con i dati di Hera e del Tevatron.

Tra i risultati di maggior risonanza in questo settore citiamo:

J.A. Bagger, F. Feruglio, F. Zwirner  
GENERALIZED SYMMETRY BREAKING ON ORBIFOLDS  
Phys. Rev. Lettera 88, 2002

F. Feruglio, Al. Strumia, Francesco Vissani.  
NEUTRINO OSCILLATIONS AND SIGNALS IN BETA AND 0NU2BETA EXPERIMENTS.  
Nucl.Phys.B637:345,2002

#### **FISICA ADRO-NUCLEARE**

Prosegue molto attivamente la ricerca nell'ambito della fisica adro-nucleare con interessanti sviluppi verso la fisica degli ioni ultrarelativistici, la fisica alle "energie intermedie" e l'astrofisica. In quest'ambito sono impegnati circa 82 ricercatori organizzati in 10 Iniziative Specifiche. La produttività totale del settore è stata di 160 IP, quella specifica: 1.9.

Si possono notare cinque linee portanti:

- Fisica nucleare e adronica ad energie intermedie; interazioni elettro-deboli e adroniche nei nuclei (anche alla luce della QCD e dei modelli chirali), sistemi a pochi nucleoni.
- Strutturistica nucleare con particolare riferimento alle condizioni estreme di spin, isospin ed energia di eccitazione.
- Fisica degli ioni pesanti alle energie intermedie; fenomeni caotici e critici in collisioni tra ioni pesanti, modelli di materia neutronica.
- Fisica degli ioni pesanti ultrarelativistici; plasma quark-gluone e ripristino della simmetria assiale.
- Applicazioni delle tecniche analitiche e numeriche delle fisica dei sistemi a molti corpi a macromolecole e micro-aggregati.

Molte ricerche vengono svolte in stretto collegamento con le attività sperimentali presso i Laboratori Nazionali di Legnaro e del Sud.

Tra i risultati di maggior risonanza in questo settore citiamo:

V. Barone, A. Drago, P.G. Ratcliffe  
TRANSVERSE POLARISATION OF QUARKS IN HADRONS  
PHYS REP 359 (1-2): 2002-9

### **METODI MATEMATICI**

Il quarto filone di ricerca riguarda le applicazioni di particolari metodi matematici alla soluzione di problemi di interesse fisico in vari settori. Queste ricerche coinvolgono circa 68 ricercatori organizzati in 10 Iniziative Specifiche. La produttività totale del settore è stata di 70 IP, quella specifica: 1.

Si possono notare cinque linee principali:

- lo studio di equazioni differenziali non lineari con applicazioni allo studio dei sistemi dinamici;
- la trattazione dei sistemi vincolati, le applicazioni della geometria non commutativa, le osservabili di "loop" della gravità quantistica e la struttura delle teorie di gravità in 2+1 dimensioni;
- il caos quantistico, i fenomeni dell'ergodicità a livello quantistico, l'effetto tunnel risonante e non lineare, i sistemi di matrici casuali e sistemi su reticolati quasi periodici;
- le applicazioni della teoria dei gruppi quantici, le algebre di Hopf, gli spazi quantistici omogenei e le statistiche quantistiche;
- i fondamenti della meccanica quantistica considerando in particolare le teorie con variabili nascoste e il ruolo delle fasi geometriche.

### **ASTROFISICA PARTICELLARE E ONDE GRAVITAZIONALI**

I progetti di ricerca in questo campo vedono coinvolti circa 76 ricercatori italiani su 4 Iniziative Specifiche. La produttività totale del settore è stata di 145 IP, quella specifica: 1.9.

Le ricerche sono organizzate su due filoni di ricerca principali:

- astrofisica particellare: candidati per la materia oscura; masse e oscillazioni di neutrini (sia fenomenologia che modellistica); origine dei raggi cosmici di alta energia; modelli per la generazione dell'asimmetria materia-antimateria; aspetti delle teorie di campo a temperatura finita; modelli inflazionari anche in collegamento col problema della costante cosmologica;

- sorgenti di onde gravitazionali di origine stellare e cosmologica.

Tra i risultati di maggior risonanza in questo settore citiamo:

G.L. Fogli, E. Lisi, A. Marrone , D. Montanino, A. Palazzo.

GETTING THE MOST FROM THE STATISTICAL ANALYSIS OF SOLAR NEUTRINO OSCILLATIONS.

Phys.Rev.D66:053010,2002

Anche durante il 2002 sono stati organizzati convegni sulle varie tematiche e scuole a livello avanzato, alcune in collaborazione con l'ICTP di Trieste.

Le ricerche risultano ben inserite sia nell'ambito universitario italiano che in un ampio contesto scientifico internazionale, con frequenti contatti col gruppo teorico del CERN e con università straniere. Il gruppo IV contribuisce pertanto in modo determinante a tenere alto il prestigio di cui gode l'INFN in ambito nazionale ed internazionale.

Va infine ricordata che sono diventati completamente operativi ulteriori sistemi APEmille di grandi dimensioni portando la potenza di calcolo globalmente disponibile a circa 1 TeraFlops.

#### **ATTIVITÀ DIDATTICA E FORMATIVA**

Nell'ambito dell'attività scientifica teorica si sono inserite nell'anno 214 tesi di laurea e 63 tesi di dottorato. Sono inoltre stati associati alle ricerche del gruppo 126 dottorandi distribuiti sui tre cicli dal XV al XVII e 147 borsisti post dottorali.