

della matrice di mixing fra i neutrini o lo studio di eventuali violazioni di PC, richiederanno ancora molti anni di studio, la disponibilità di nuove e più intense sorgenti di neutrini e la progettazione di esperimenti più avanzati. La C.S. II<sup>o</sup> segue da vicino l'evoluzione dei nuovi progetti. L'esperimento HARP è inteso raccogliere dati importanti per la definizione delle nuove sorgenti di neutrini. I fisici INFN partecipano attivamente ai gruppi di studio per la definizione del programma scientifico e per la progettazione dei nuovi esperimenti.

Non vanno inoltre dimenticate le iniziative in corso nel campo dei decadimenti doppio  $\beta$  con e senza neutrini e nel campo delle misure dirette della massa del neutrino (progetti CUORE, MI-BETA, MANU2), in vista di futuri esperimenti più ambiziosi, fondamentali per l'avanzamento della fisica dei neutrini.

È da notare che il 2000 ha confermato la tendenza alla crescita del numero di interessanti proposte di esperimento sottoposte all'esame della C.S. II<sup>o</sup>, accompagnata da una corrispondente crescita delle richieste di finanziamento.

## BILANCIO CONSUNTIVO 2000

I fondi disponibili durante tutto il 2000, per un totale di 39,07 miliardi di lire sono stati ripartiti, come illustrato nella tabella.

(in miliardi di lire)	
grandi esperimenti ai LNGS	13,68
processi rari a bassa energia	3,41
studio della radiazione cosmica in superficie e nello spazio	12,87
fisica del neutrino ed acceleratori e reattori	3,30
ricerca di onde gravitazionali	2,00
fisica generale	0,60
fondi di dotazione	3,21
<b>totale</b>	<b>39,07</b>
fondo indiviso	0
<b>totale</b>	<b>39,07</b>

Risulta evidente l'impegno dell'INFN per la sperimentazione presso i LNGS, a cui si riferiscono le prime due linee di ricerca ed una piccola parte della terza. Risulta anche evidente l'impegno negli studi sulla radiazione cosmica, ed in particolare il crescente investimento negli esperimenti effettuati nello spazio.

## **GRANDI ESPERIMENTI NEL LABORATORIO SOTTERRANEO DEL GRAN SASSO**

I programmi scientifici degli esperimenti che si svolgono presso i LNGS potrebbero tradizionalmente essere distinti in due linee diverse: "fisica delle interazioni fondamentali e delle particelle elementari" e "astrofisica". In realtà i due aspetti sono sempre più connessi, sì che lo stesso esperimento, studiando lo stesso processo, può dare risposte che riguardano entrambi. Le ricerche sulla "materia oscura" nell'universo hanno certamente interesse astrofisico, ma riguardano anche la scoperta di nuove particelle elementari o di proprietà fondamentali di particelle note; le misure del flusso dei neutrini solari permettono di verificare la descrizione delle reazioni termonucleari e dei meccanismi di trasporto di energia nel sole, ma anche di cercare con grande sensibilità le oscillazioni tra neutrini.

### **GNO**

L'esperimento è dedicato alla misura del flusso di neutrini solari tramite un rivelatore contenente 30 tonnellate di Ga sotto forma di soluzione di  $\text{GaCl}_3$ . Questa viene analizzata radiochimicamente per rivelare la presenza dei nuclei di  $^{71}\text{Ge}$  prodotti dai neutrini solari (dell'ordine di uno al giorno). Non è stato possibile l'ulteriore aumento della massa del bersaglio date le difficoltà di reperimento del gallio sul mercato mondiale.

I risultati conseguiti nel 2000 sono stati: il completamento della catena elettronica (fast digitizer ed altra modulistica) e del sistema di acquisizione dati, ora esteso fino ad accogliere 16 contatori. L'impegno maggiore ha riguardato la raccolta dati e la loro analisi, svolte ininterrottamente per tutto il 2000. Sono state eseguite 13 estrazioni per la misura del tasso di interazione di neutrini solari ed alcuni "blank" per il controllo del buon funzionamento dell'apparato.

I dati, relativi alle estrazioni del 1999 e dell'inizio 2000 (si ricorda che il tempo di misura dopo ogni estrazione è di almeno sei mesi) sono stati presentati per la prima volta alla Conferenza internazionale "Neutrino 2000" tenutasi in Canada e pubblicati in Physics Letters B 490 (2000) 16,26.

Per operare GNO30 e per il lavoro di R&D l'esperimento è stato finanziato con l'assegnazione di 735 milioni di lire.

### **BOREXINO**

È un rivelatore per misurare in tempo reale le interazioni dei neutrini solari con una soglia energetica sufficientemente bassa da rivelare il flusso dalla sorgente  $^{7}\text{Be}$ , misura fondamentale per l'interpretazione dei risultati attuali. La sfera centrale del rivelatore è costituita da scintillatore liquido e fornirà una massa fiduciale di 100-240 tonnellate, secondo il tipo dell'interazione di neutrino considerata; i segnali saranno rivelati da fotomoltiplicatori a basso rumore.

Nel corso del 2000 è stato completato lo studio della sigillatura dei fotomoltiplicatori, utilizzando l'apparato TLTT ((Two liquid test tank) ed in base ai

risultati raggiunti si è iniziata la produzione della sigillatura per i PMT di Borexino (300 al mese).

È stata completata l'area di stoccaggio dello scintillatore. È stata rimessa in funzione la "counting test facility" CTF, provvedendo ad una nuova sigillatura dei PMT per l'acqua deionizzata, con un nuovo Inner Vessel per il contenimento dello scintillatore e uno più esterno come barriera per il Radon. La CTF sarà utilizzata per lo studio della radioattività dello scintillatore.

Si è installato il sistema di elettronica e di acquisizione in sala C; è stato quasi completato il sistema di Liquid Handling; è stata stesa la maggior parte dei cavi; si sono installati gli impianti di distillazione e di "water extraction"; si sono installati i sistemi di controllo dell'area della sfera d'acciaio e la camera pulita all'ingresso del grande serbatoio, con il tunnel di raccordo con la sfera.

L'esperimento è stato finanziato mediante l'assegnazione di 4.448 milioni di lire.

#### **MACRO**

L'esperimento ha un programma di fisica che comprende lo studio dei raggi cosmici tramite la loro componente muonica, la ricerca dei monopoli di Dirac e di particelle esotiche nella radiazione cosmica, la rivelazione di neutrini emessi nell'esplosione di supernovae.

Bisogna ricordare la grande risonanza che hanno avuto di recente i risultati sui neutrini atmosferici, che indicano, con buona probabilità, un'oscillazione dei  $\nu_\mu$  con grande angolo di mixing e  $\Delta m^2 \sim 3 \times 10^{-3}$  eV<sup>2</sup>. La raccolta dei dati è proseguita per tutto il 2000, concludendosi a Natale.

L'analisi ha prodotto notevoli miglioramenti nei limiti sul flusso dei monopoli magnetici e sulla ricerca di particelle rare, ormai pubblicati. Sono stati ottenuti nuovi risultati nello studio delle oscillazioni di neutrini con eventi "muoni dal basso", aumentando la statistica e migliorando lo studio degli effetti sistematici.

E' stata completata l'analisi degli eventi di bassa energia per approfondire la coerenza interna di tutti i risultati ottenuti sulle oscillazioni di neutrino.

Sono proseguiti gli studi e le simulazioni relativi alle coincidenze fra i raggi cosmici rivelati in MACRO e quelli rivelati in EAS-TOP.

L'esperimento è stato finanziato con l'assegnazione di 1.065 milioni di lire.

#### **LVD**

L'esperimento è principalmente dedicato all'osservazione di neutrini provenienti da collassi stellari; l'elevata massa di scintillatore liquido, garantisce la sensibilità necessaria per rivelare in modo chiaro eventi nella nostra galassia e nelle nubi di Magellano.

La raccolta dati è proseguita per tutto il 2000, completando la terza torre

nell'estate 2000 ed includendola nella acquisizione verso fine anno. Prosegue la collaborazione con la collaborazione SNEWS (SuperNova Early Warning System), che comprende gli esperimenti AMANDA, LVD, MACRO, SNO, SuperKamiokande.

L'esperimento LVD è stato finanziato con l'assegnazione di 720 milioni di lire.

## OPERA

La proposta OPERA riguarda uno degli esperimenti chiave del programma su lunga base CNGS, volto a completare e verificare il quadro relativo al fenomeno delle oscillazioni neutriniche e al problema della massa del neutrino. L'esperimento intende sfruttare le emulsioni nucleari per rivelare in maniera non ambigua il decadimento dei  $\tau$  prodotti nelle interazioni  $\nu_{\tau}CC$ . È prevista la costruzione di un sistema multiplo di bersagli piombo/emulsione, seguiti da spettrometri magnetici per la rivelazione dei muoni.

Sono stati effettuate prove relative alla preparazione dei mattoni Pb/emulsione ed alla costruzione dei tracciatori elettronici. Sono state studiate camere RPC. È stato progettato ed è stato realizzato un prototipo di magnete dipolare.

Per gli studi e le prove previste in OPERA-TEST, sono stati assegnati 690 milioni di lire.

## ICARUS

Il progetto mira a costruire nei LNGS un rivelatore ad Ar liquido di diverse migliaia di tonnellate, in grado di fornire una risoluzione spaziale di pochi mm. La combinazione di una grande massa sensibile e di un'eccellente granularità è la condizione per effettuare con elevata sensibilità la ricerca del decadimento del protone, delle oscillazioni di neutrini con fasci dal CERN e delle interazioni di neutrini di origine atmosferica e astrofisica.

Nel 2000 sono proseguiti le prove tecniche al Gran Sasso con il prototipo da 10 m<sup>3</sup> (purezza dell'argon, sistemi di ricircolo, prestazioni dell'impianto criogenico, funzionalità del sistema di tensionamento fili, studio del rumore). È stato effettuato a Pavia l'assemblaggio del primo semimodulo del modulo da 600 T.

Il progetto è stato finanziato mediante l'assegnazione di 4.901 milioni di lire. Per gli studi e le prove relative alla proposta ICANOE, ora superata, sono stati assegnati ulteriori 556 milioni di lire.

## MONOLITH

Si tratta di un progetto di seconda generazione per lo studio dei neutrini atmosferici presso i LNGS. L'apparato prevede un calorimetro tracciante magnetizzato di grande massa (34 Kt), per lo studio del fenomeno delle oscillazioni dei neutrini.

Durante il 2000 è stata messa a punto una dettagliata proposta sperimentale e sono state eseguite numerose prove per la definizione del calorimetro.

Il progetto è stato finanziato nell'ambito del programma MONOLITH-RD con l'assegnazione di 453 milioni di lire.

### **NU-TEST**

Si tratta di un progetto per l'ottimizzazione di un calorimetro tracciante isotropo per studi di oscillazioni di neutrini atmosferici e da fascio CNGS. Il calorimetro a campionamento, di Fe e scintillatore, è letto da fibre ottiche e dispositivi multipixel.

Nel corso del 2000 è stato sviluppato un prototipo di rivelatore tracciante basato sulla tecnica delle bacchette di scintillatore plastico e sono state effettuate prove su fascio con buoni risultati.

Il progetto è stato finanziato con l'assegnazione di 62 milioni di lire.

## **PROCESSI RARI DI BASSA ENERGIA**

Proprietà fondamentali dei neutrini vengono studiate sia con esperimenti presso gli acceleratori o i reattori, sia con tecniche completamente diverse. La misura della massa può essere infatti effettuata attraverso una precisa determinazione dello spettro di decadimento  $\beta$ ; la ricerca del decadimento doppio  $\beta$  senza neutrini è possibile mediante l'uso di calorimetri operanti a basse temperature con ottima risoluzione energetica. I gruppi italiani hanno condotto un lavoro pionieristico nello sviluppo di queste tecniche e sono in grado ora di sfruttarle in esperimenti di grande interesse per la verifica del modello standard delle interazioni elettrodeboli.

### **MIBETA**

L'esperimento effettua la ricerca di decadimenti doppio  $\beta$  e la ricerca di materia oscura. MIBETA consiste nella realizzazione di microrivelatori costituiti da assorbitori di masse pari a frazioni di milligrammo collegati termicamente con termistori NTD (Neutron Transmutation Doped), realizzati in collaborazione con l'Università di California e con chips di silicio impiantati con fosforo, realizzati in collaborazione con l'IRST di Trento.

È stata realizzata una serie di dieci bolometri di perrenato d'argento ed è stata effettuata una prima misura di 1000 ore per la determinazione della massa dell'antineutrino elettronico; è in corso l'analisi dei dati. Sono stati ulteriormente perfezionati i termistori di silicio impiantato con fosforo.

L'esperimento è stato finanziato con l'assegnazione di 606 milioni di lire.

## CUORE

L'esperimento criogenico CUORE usa calorimetri cristallini per misurare il decadimento doppio  $\beta$  del  $^{130}\text{Te}$  e per ricercare decadimenti doppio  $\beta$  senza emissione di neutrini.

Le misure sono in corso nella sala A con una matrice di venti cristalli di tellurite da 340 grammi di massa ciascuno. Nel 2000 si è ottenuto, per il decadimento doppio beta senza neutrini, il risultato più stringente al mondo dopo quello ottenuto con il germanio. L'attuale limite per il decadimento a due neutrini è di circa  $5 \times 10^{20}$  anni, già vicino a quello ottenuto con metodi geochimici. Si è ottenuto ed è in corso di pubblicazione un limite sulle interazioni vettoriali delle WIMPS confrontabile con quello di Heidelberg-Mosca, HMDM, Edelweiss e CRESST.

Continua il lavoro di ricerca e sviluppo sulle matrici di cristalli di tellurite da 760 grammi; si è ridotto il fondo superficiale di più di un ordine di grandezza, per quanto riguarda i picchi alfa, e di circa 5 volte per quanto riguarda il continuo. La prima matrice di 20 cristalli è stata smontata per effettuare un rimontaggio più compatto e per una accurata pulizia delle superfici. Seguirà la realizzazione di una nuova matrice di 16 cristalli da 760 grammi.

L'esperimento è stato finanziato con l'assegnazione di 703 milioni di lire.

## MANU2

MANU2, ha realizzato un microcalorimetro a Re superconduttore operante a 100 mK. L'esperimento si propone come *primo obiettivo* il controllo di fattibilità di un prototipo di microcalorimetro, con risoluzione energetica paragonabile a quella degli spettrometri magnetici di Maintz e Troitsk, cioè  $<5$  eV, che costituisca il rivelatore di un esperimento competitivo di misura cinematica della massa del neutrino. La massa del renio del rivelatore dovrà essere la massima possibile, compatibile con i requisiti di risoluzione energetica e del rate di eventi accettabili rispetto al livello di pile-up. Secondo stime preliminari sembra essere ragionevole un massa di renio di 800 microgrammi.

Nel corso del 2000 è stata messa a punto la tecnologia per la produzione di sensori termici a transizione di fase superconduttiva: Transition Edge Sensors (TES); è stata effettuata la miniaturizzazione dei sensori TES con la microlitografia; sono state effettuate prove su prototipi di rivelatori Renio/TES; è stato definito il progetto di realizzazione di una elettronica a SQUID veloce ed è in corso l'acquisizione dei componenti;

Si prevede di poter effettuare prove di microcalorimetri ad alta risoluzione entro i primi sei mesi del 2001.

L'esperimento è stato finanziato con l'assegnazione di 423 milioni di lire.

## DAMA

L'esperimento, effettuato nei LNGS, si propone l'osservazione di particelle costituenti la cosiddetta materia oscura dell'universo. Due apparati diversi sono in

funzione per misurare l'interazione di queste particelle, rivelando il rinculo dei nuclei bersaglio mediante la scintillazione in cristalli ultra puri di NaI(Tl) ed in Xe liquido. L'apparato NaI(Tl) attualmente in misura corrisponde a 115 kg di cristalli.

Nel corso del 2000 è proseguita l'attività di sviluppo di cristalli ultrapuri, in vista dell'aumento della massa a 250 Kg. L'elettronica dai preamplificatori al calcolatore è stata migliorata; sono stati installati dei nuovi DAQ, è stato introdotto un nuovo calcolatore. Nell'autunno 2000 è iniziata la presa dati relativa al sesto ciclo annuale.

L'analisi dei precedenti cicli, dall'1 al 4, è stata completata e conferma la modulazione annuale precedentemente resa pubblica. Sono state effettuate ulteriori analisi secondo diverse modalità; sono stati discussi vari modelli di interazione WIMP-materia.

L'esperimento è stato finanziato con l'assegnazione di 1.681 milioni di lire.

#### **DBA**

L'esperimento intende studiare il decadimento  $\beta\beta$  del  $^{100}\text{Mo}$  mediante una TPC a LAr.

È stata completata la schermatura per la riduzione del fondo dei neutroni. L'apparato è stato in presa dati fino alla fine dell'anno e si prevede il suo smontaggio nel corso del 2001.

L'esperimento è stato finanziato con l'assegnazione di 50 milioni di lire.

### **STUDIO DELLA RADIAZIONE COSMICA IN SUPERFICIE E NELLO SPAZIO**

Lo studio della radiazione cosmica copre un ampio spettro di obiettivi scientifici: la misura della proprietà dei raggi cosmici (flussi, spettri energetici, composizione) per chiarire il problema ancora aperto dei meccanismi che li originano, l'astronomia  $\gamma$  di alta energia, la misura dell'antimateria primaria nel cosmo, le proprietà delle interazioni fondamentali ad energie non accessibili con gli acceleratori, ma di cui è dotata una frazione dei raggi cosmici.

#### **EAS-TOP**

L'esperimento era situato a Campo Imperatore a circa 2.000 m di altitudine, quasi sulla verticale delle sale sperimentali dei LNGS. Esso ha misurato sciami estesi mediante una combinazione di tecniche sperimentali con un apparato che campiona su una superficie totale di circa  $10^5 \text{ m}^2$ : moduli di contatori a scintillazione rivelanti le componenti dello sciame nel loro insieme, moduli contenenti anche assorbitori e camere a tubi a streamer limitato selezionanti gli adroni ed i muoni; sono stati usati anche rivelatori di luce Cerenkov. Importanti risultati sono stati ottenuti

relativamente ai raggi cosmici, intorno alla zona di energia dove cambia l'indice spettrale ("ginocchio"); grande interesse hanno suscitato gli eventi raccolti in coincidenza con l'esperimento MACRO nei LNGS, dove arrivano i  $\mu$  di più alta energia ( $>1.5$  TeV).

La raccolta dati è stata completata nel maggio 2000 e lo smontaggio dell'apparato è avvenuto nel successivo luglio. Le attività di analisi sono proseguiti. Sono stati ottenuti nuovi risultati riguardanti le correlazioni con MACRO, la composizione primaria, l'astronomia gamma, la sezione d'urto p-N, lo studio di effetti atmosferici.

L'esperimento è stato finanziato con l'assegnazione di 738 milioni di lire.

## **CLUE2**

L'esperimento CLUE2 è rivolto allo studio della astronomia  $\gamma$  ad altissima energia, tramite un'originale tecnica per la rivelazione nell'ultravioletto della radiazione Cerenkov in aria. L'osservazione nell'ultravioletto permette di estendere il tempo utile di osservazione rispetto ad una operazione nel visibile. Il sito prescelto si trova presso l'osservatorio dell'Istituto de Astrofisica de Canarias. Attualmente sono installati 8 telescopi.

Durante il 2000 sono stati effettuate delle prove per lo studio della eventuale sostituzione delle camere TMAE con una nuova tecnica basata su dei fotorivelatori a RbTe.

Sono stati effettuati due periodi di presa dati in settembre e dicembre 2000. I risultati sono stati incoraggianti. È proseguito il lavoro di analisi dei dati presi fino al maggio 2000.

L'esperimento è stato finanziato con l'assegnazione di 397 milioni di lire.

## **ARGO-YBJ**

Si tratta di un esperimento, svolto in collaborazione con istituzioni cinesi, per lo studio della radiazione cosmica in alta quota (4200 m) presso il sito di Yangbajing (YBJ).

Si vogliono osservare radiazioni neutre e cariche nell'intervallo di energia fra 100 GeV e 20 TeV. Le tematiche sono principalmente quelle della gamma astronomia, alla ricerca di sorgenti, di GRB, etc.

Le attività nel 2000 sono state concentrate nel completamento del progetto e nello sviluppo di varie parti dell'elettronica di trigger e di acquisizione dati. Sono state costruite 200 camere RPC e ne sono state installate circa 50 nel sito di YBJ. È stato completato il sistema di circolazione gas e le camere sono state messe in funzione verso fine anno.

L'esperimento è stato finanziato con l'assegnazione di 1.789 milioni di lire.

**AUGER**

Nel 2000, il programma AUGER-RD ha riguardato gli studi preparatori per il progetto internazionale Auger, un osservatorio per lo studio dei raggi cosmici di più alta energia, composto da due giganteschi rivelatori interessanti un'area di 3000 Km<sup>2</sup> ciascuno. Il programma italiano di R&D riguarda lo sviluppo del telescopio rivelatore di luce di fluorescenza.

E' stata effettuata la costruzione ed il test del telescopio a fluorescenza dell'Engineering Array. Sono stati messi a punto i sistemi di specchi e la relativa struttura di sostegno. E' stata studiata la qualità degli specchi ed il sistema allineamento. Sono state approntati sia il sistema di filtri ottici con relativo supporto disposto sul diaframma che la struttura meccanica della camera con sostegno regolabile. È stato effettuato un test preliminare dell'intera catena dal PMT al readout. Si è provveduto alla spedizione di un primo telescopio in Argentina. Più in generale e per tutto l'esperimento in Argentina: sono quasi pronti il "Central Building" e l'edificio che dovrà ospitare i primi 6 telescopi per luce di fluorescenza. Gli altri rivelatori (40 Cherenkov ad acqua) per l'Engineering Array sono quasi pronti e se ne è iniziata l'installazione.

L'esperimento è stato finanziato con l'assegnazione di 2.706 milioni di lire.

**MAGIC**

L'esperimento, condotto da una vasta collaborazione internazionale, sarà installato a La Palma e si propone lo studio della radiazione gamma, al disotto dei 100 GeV, mediante l'uso di un "imaging Cherenkov telescope" di 17 m di diametro. L'esperimento è previsto entrare in funzione durante il 2001. Nell'ambito del programma MAGIC-RD, il progetto è stato finanziato con l'assegnazione di 492 milioni di lire.

**SLIM**

E' un esperimento a grande altezza (Chacaltaya) utilizzante la tecnica delle plastiche CR39 per un miglioramento del limite sul flusso di monopoli magnetici di bassa massa. È stato prodotto il CR39 ed è stato installato un totale di 188 m<sup>2</sup> di rivelatore. Un ritardo nel finanziamento canadese ha causato lo slittamento dell'installazione di ulteriori 100 m<sup>2</sup> di CR39.

L'esperimento è stato finanziato con l'assegnazione di 244 milioni di lire.

Una delle tecniche per la rivelazione di neutrini astrofisici di alta energia consiste nella misura della luce Cerenkov emessa in acqua dai  $\mu$  generati dall'interazione dei neutrini, potendo disporre così di rivelatori di enorme superficie, richiesta dalla rarità degli eventi, e a basso costo. La comunità internazionale intende installare a circa 4000 m di profondità nel mare una serie di PMT per rivelare gli eventi dovuti a neutrini da sorgenti puntiformi, da sorgenti diffuse (AGN), da annichilazione di neutralini e a neutrini atmosferici. Per arrivare alla stesura della

proposta di esperimento, saranno necessari alcuni anni e fasi intermedie di produzione di prototipi.

Diversi gruppi hanno iniziato nel 1998, in collaborazione con istituti specializzati in ricerche marine, esplorazioni sistematiche per l'individuazione di siti in profondità nel Mare Mediterraneo ed hanno proposto un piano di R&D (NEMO-RD) per completare queste ricerche e contestualmente studiare l'ottimizzazione di un rivelatore da un km<sup>3</sup> e sviluppare prototipi di elettronica. La Commissione ha finanziato questi studi per un importo di 189 milioni di lire. Nel corso del 2000 sono proseguiti i contatti con la collaborazione ANTARES, in vista di una partecipazione italiana a tale progetto.

L'osservazione della radiazione cosmica primaria in maniera diretta e non attraverso gli sciami generati nella sua interazione nell'atmosfera, richiede l'invio di rivelatori oltre gli strati densi dell'atmosfera.

### **PAMELA/WIZARD**

L'attività della collaborazione WIZARD consiste nella preparazione di un esperimento di lunga durata (PAMELA) con un rivelatore completo e un magnete permanente per la rivelazione di  $p$  ed  $e^+$  primari da effettuarsi nel 2002. Questa iniziativa, che si avvale di istituti ed agenzie spaziali russe di provata esperienza ed affidabilità, permette a ricercatori INFN di essere protagonisti di ricerche di fisica fondamentale nello spazio, nella linea di un programma scientifico delineato già da molti anni.

L'attività nel 2000 ha riguardato lo sviluppo del "modello di qualifica" dello strumento. Sono state effettuate prove e calibrazioni al CERN; sono stati effettuati studi di sollecitazione termica, vibrazionale ed elettromagnetica. E' stata completata la costruzione di camere pulite presso la sezione di Roma 2. Sono state effettuate prove di irradiazione di componenti elettronici per lo studio delle tolleranze alla radiazione nello spazio.

L'esperimento è stato finanziato mediante l'assegnazione di 1.971 milioni di lire.

### **AMS2**

Questa iniziativa spaziale collocherà un rivelatore di grande accettanza per la ricerca di antinuclei, di materia oscura e di  $\gamma$  sulla stazione spaziale ALPHA della NASA nel 2003. Gruppi italiani partecipano a questa grande collaborazione internazionale con importanti o totali responsabilità nel sistema di tracciamento, nel sistema per la misura del tempo di volo e nella trasmissione e analisi dati. Il volo precursore sullo Shuttle Discovery (AMS) ha avuto pieno successo ed ha fornito risultati di fisica molto interessanti e parzialmente inaspettati.

Nel corso del 2000, dopo una serie di prove, è iniziata la produzione di massa dei rivelatori al silicio ed è iniziato l'assemblaggio del rivelatore. Sono stati prodotti i prototipi definitivi dei contatori plasticci per la misura del TOF. È stato costruito un prototipo di dimensioni finali del calorimetro elettromagnetico, sono state effettuate prove dell'influenza dei campi magnetici sui fototubi, sono stati realizzati prototipi

dell'elettronica di "front-end" e di lettura. È stato completato il progetto del rivelatore RICH. E' iniziata la preparazione del "centro dati". È stata completata la produzione del cavo superconduttore per il magnete.

Il progetto è stato finanziato nell'ambito del programma AMS2-RD mediante l'assegnazione di 3.645 milioni di lire.

### **AGILE**

L'esperimento sarà collocato nel 2002 su un satellite in orbita equatoriale e rivelerà fotoni nell'intervallo di energia da 30 MeV a 50 GeV mediante un tracciatore di silicio.

L'attività del 2000 ha compreso il completamento dei disegni architetturali del tracciatore e del sistema di acquisizione dati-trigger, la modifica del layout del circuito ASIC di frontend del tracciatore e la realizzazione dei relativi prototipi. E' stata effettuata una prova su fascio dei prototipi finali del rivelatore. È stato preparato il fascio di fotoni per la calibrazione finale di AGILE con fotoni. Sono iniziate le verifiche su fascio delle parti di trigger e di lettura del tracciatore.

L'esperimento è stato finanziato mediante l'assegnazione di 436 milioni di lire.

### **GLAST**

Il progetto è da considerarsi di seconda generazione rispetto ad AGILE ed è il più ambizioso esperimento per lo studio della astrofisica dei raggi gamma. E' previsto essere esso lanciato dalla NASA nel 2005. L'esperimento porterà in orbita 82 m<sup>2</sup> di rivelatori al silicio, per un totale di 1 milione di canali. Nell'ambito del programma GLAST-RD il progetto è stato finanziato mediante l'assegnazione di 456 milioni di lire.

---

## **FISICA DEL NEUTRINO AD ACCELERATORI E REATTORI**

---

Molti gruppi italiani hanno svolto un ruolo di primo piano negli ultimi decenni nella fisica del neutrino con esperimenti sulle correnti neutre, le oscillazioni, le funzioni di struttura, che hanno costituito la base per la costruzione e la verifica della teoria elettrodebole. Tuttavia alcune proprietà fondamentali dei neutrini come la massa, il momento magnetico, la mescolanza di stati diversi attendono nuove e più sensibili misure e sono di grande interesse per poter eventualmente estendere il modello standard delle interazioni elettrodeboli.

### **CHORUS, NOMAD, CHOOZ**

Al CERN sono terminati due esperimenti per la ricerca  $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$  a cui partecipano gruppi italiani. CHORUS, con un apparato misto elettronico-emulsioni nucleari, mira all'individuazione visiva del  $\tau$  prodotto nelle interazioni dei  $\nu_\tau$ , delle

quali vengono misurate con precisione la direzione e l'energia delle particelle prodotte. NOMAD, con un apparato composto da camere a deriva, TRD e calorimetro e.m. all'interno di un intenso campo magnetico, mira ad identificare con criteri cinematici le interazioni dei  $\nu_T$ , grazie all'eccellente risoluzione e potere di identificazione delle particelle. CHORUS e NOMAD stanno completando l'analisi dei dati. L'esperimento CHOOZ, una ricerca su lunga base (1 Km) di possibili oscillazioni  $\bar{\nu}_e \rightarrow \nu_x$  dei neutrini generati dai reattori della omonima centrale, ha completato l'analisi dei dati e sta preparando le pubblicazioni finali.

Il completamento delle attività relative a questi esperimenti è stato finanziato mediante l'assegnazione di: CHORUS 1.019 milioni di lire, NOMAD 555 milioni, CHOOZ 35 milioni.

## MUNU

Il rivelatore dell'esperimento MUNU, una TPC da  $1 \text{ m}^3$ , immersa in  $10 \text{ m}^3$  di scintillatore liquido funzionante da anti-Compton, è installato in una sala del complesso nucleare di Bugey, dove continua la raccolta dei dati dei quali è iniziata la analisi fisica. La misura dell' interazione  $\nu e e^- \rightarrow \nu e e^-$ , con una soglia di circa 800 keV, permette una accurata misura di questa sezione d'urto a così bassa energia. E' stato raggiunto un limite di  $2.6 \cdot 10^{-10}$  magnetoni di Bohr sul momento magnetico del neutrino. Il fondo sopra i 300 keV è stato compreso e ridotto di un ulteriore fattore 100 (10.000 rispetto all'inizio della presa dati) sostituendo il catodo della camera.

L'esperimento è stato finanziato mediante l'assegnazione di 125 milioni di lire.

## HARP

L'esperimento riguarda misure che sono molto importanti per la realizzazione dei progetti di "neutrino-factories" e che sono interessanti anche per quel che riguarda i modelli di flusso dei neutrini atmosferici. Sono infatti ancora presenti notevoli incertezze nelle sezioni d'urto di produzione di pioni da parte di protoni di energia di qualche GeV.

Verranno misurate in maniera precisa, al PS del CERN nel corso del 2001, le sezioni d'urto di produzione di adroni secondari, su tutto l'angolo solido e nell'intervallo di impulso fra 2 e 15 GeV/c. L'apparato è in una avanzata fase di preparazione.

L'esperimento è stato finanziato mediante l'assegnazione di 1.381 milioni di lire.

## RICERCA DI ONDE GRAVITAZIONALI

---

Nella ricerca sperimentale delle onde gravitazionali la fisica italiana ha una tradizione antica e gode oggi di una posizione di avanguardia, che, di fronte al crescere di nuove importanti iniziative anche in altri paesi, potrà essere conservata con un adeguato sostegno finanziario e organizzativo.

Ricordiamo in quest'ambito l'esperimento VIRGO, progetto speciale dell'INFN, una collaborazione italo-francese per la costruzione di un rivelatore di onde gravitazionali con interferometria laser.

### **ROG**

L'antenna risonante ultra-criogenica "Nautilus" dell'esperimento ROG, installata nei LNF, opera attualmente ad una temperatura di 100 mK con un duty cycle intorno all'80%; l'altra antenna, "Explorer", costruita dallo stesso gruppo, è installata al CERN. "Explorer" è stata in presa dati per parte del 2000 con un nuovo trasduttore e dc SQUID e con l'obiettivo di raggiungere una temperatura di rumore minore di 10 mK.

È stata effettuata una analisi dati sistematica in coincidenza con gli altri rivelatori IGEC (la rete di rivelatori di onde gravitazionali) e con i rivelatori di gamma-bursts.

L'esperimento è stato finanziato mediante l'assegnazione di 921 milioni di lire.

### **AURIGA**

L'altra antenna ultracriogenica AURIGA, allestita presso i Laboratori Nazionali di Legnaro, prende normalmente dati in modo stabile alla temperatura di ~ 200 mK, con un duty cycle ~ 70%.

Nel corso del 2000 il normale run è stato interrotto, dopo quattro anni di funzionamento, per procedere ad una estesa revisione dell'apparato e la riparazione di un guasto sopravvenuto nel criostato. È stato anche portato avanti il lavoro riguardante lo sviluppo di trasduttori e il miglioramento dell'analisi dei dati.

L'esperimento è stato finanziato mediante l'assegnazione di 742 milioni di lire.

### **LISA**

Questo progetto riguarda la rivelazione di onde gravitazionali di bassa frequenza (fra 0.1 mHz e 0.1 Hz) mediante un interferometro spaziale basato su tre satelliti che orbitano in formazione triangolare di  $5 \cdot 10^6$  Km di lato. Nell'ambito del programma LISA-RD, il progetto è stato finanziato mediante l'assegnazione di 48 milioni di lire.

### **VIRGO-R&D**

Le attività di R&D di VIRGO hanno riguardato nel 2000: LDSW (ricerca di materiali a basso rumore termico per le sospensioni dell'ultimo stadio di VIRGO; LFF (Facility per la caratterizzazione del rumore termico fuori risonanza a bassa frequenza); UVVV (monitoraggio del vuoto interno a Virgo). Tali studi sono stati portati avanti sostanzialmente in accordo con quanto pianificato.

Il programma è stato finanziato mediante l'assegnazione di 289 milioni di lire.

## **FISICA GENERALE**

Vi sono ricerche che riguardano aspetti fondamentali delle teorie fisiche, e non sono quindi classificabili negli argomenti specifici delineati in precedenza. In questo ambito sono in corso studi di fattibilità e verifiche dell'elettrodinamica quantistica (QED) e della meccanica quantistica. Questi esperimenti usano talora tecniche, che non sono impiegate in altri esperimenti dell'INFN e che sono state sviluppate in altri enti di ricerca. Il tipo di ricerche rientra certamente nelle competenze dell'INFN per il suo carattere fondamentale.

### **PVLAS**

L'esperimento, che ha iniziato le misure presso i Laboratori Nazionali di Legnaro, è volto ad evidenziare effetti di polarizzazione del vuoto sulla radiazione elettromagnetica (generata da un laser) indotti da un campo magnetico (generato da uno speciale magnete superconduttore trasferito dal CERN e messo a punto a Legnaro). Questo effetto è previsto dalla QED, è stato studiato quantitativamente dal punto di vista teorico, ma non ancora misurato. Nella sua preparazione si sono risolti problemi tecnologici importanti di ottica, meccanica e criogenia.

Nel corso del 2000 è stata completata la costruzione dell'apparato e sono state effettuate prove di aggancio della cavità risonante con il magnete superconduttore in rotazione. Sono poi stati effettuati dei runs di collaudo con magnete energizzato ed in rotazione e sono stati effettuati alcuni runs di presa dati.

L'esperimento è stato finanziato mediante l'assegnazione di 437 milioni di lire.

### **MQC**

L'esperimento è stato proposto per verificare, con un insieme di SQUIDs, l'esistenza di uno stato coerente macroscopico. Lo SQUID sorgente sarà preparato in modo da avere oscillazioni della corrente superconduttrice, che danno luogo a due stati quantici del flusso magnetico. Gli SQUIDs analizzatori dovrebbero misurare in maniera non invasiva la sovrapposizione dei due stati. Una misura di tal genere verificherebbe la validità dei presupposti a livello macroscopico della meccanica quantistica. Nell'esperimento sono state affrontate notevoli sfide tecnologiche. Nel corso del 2000 sono stati raggiunti gli obiettivi del programma: è stata misurata la sensibilità dello SQUID switch a 20 mK, sono stati disegnati nuovi chips integrati e sono stati provati a 4.2K e a 20mK. È stato messo a punto il laser trigger, sono state realizzate misure non invasive dello SQUID rf, sono state eseguite misure di dissipazione con differenti tipi di filtraggio.

L'esperimento è stato finanziato mediante una assegnazione di 122 milioni di lire.

**LAGO2**

L'esperimento si propone un controllo di grande precisione della legge di gravità per distanze geofisiche. La misura consiste nel misurare variazioni della gravità indotte, in un tunnel sotto un lago, da variazione del livello dell'acqua. Viene usato un gravimetro superconduttore, il più sensibile gravimetro esistente.

Durante il 2000 è stata eseguita la verifica della legge di Newton con precisione dello 0.1% per distanze delle diecine di metri. I risultati sono in corso di pubblicazione.

L'esperimento è stato finanziato mediante una assegnazione di 22 milioni di lire.

**ESUH**

È un esperimento che si propone di determinare il valore assoluto di  $e/h$  con precisione di una parte su  $10^8$ . Vengono usate giunzioni Josephson irradiate con radiazione di frequenza  $f$  e vengono misurati i "gradini di Shapiro"  $V_n = n hf/2e$  nella curve I-V. Si confrontano i gradini ottenuti in due giunzioni similmente irradiate.

Nel corso del 2000 sono state studiate tutte le giunzioni disponibili, senza reperirne di adeguate alla produzione dei gradini di Shapiro con frequenze irradianti fra 10 e 20 GHz. È iniziata allora una collaborazione con l'IESS (Istituto di Elettronica dello Stato Solido CNR Roma) per il disegno e la produzione di nuovi chips contenenti giunzioni; queste saranno preparate dalla IESS e saranno pronte all'inizio del 2001.

L'esperimento è stato finanziato mediante una assegnazione di 15 milioni di lire.

**FONDI DI DOTAZIONE**

Esperimenti della complessità di quelli sopra delineati richiedono strumentazione completamente dedicata. Le assegnazioni su fondi di dotazione sono rivolte invece ad un rinnovo e sviluppo di attrezzature di uso generale, che vengono utilizzate da più gruppi per misure e lavorazioni soprattutto in sede. Si noti che le esigenze di strumentazione di base (specialmente elettronica e informatica) tendono costantemente ad aumentare, in relazione alle nuove possibilità offerte dalla tecnologia. I fondi di dotazione comprendono anche quella parte degli strumenti di calcolo distribuito non specificamente dedicata ai singoli esperimenti. I fondi di dotazione servono inoltre a coprire le spese per pubblicazioni e contatti con la comunità scientifica internazionale (partecipazioni a conferenze, inviti per seminari e altro), non strettamente collegati con lo svolgimento di singoli esperimenti.

Il finanziamento dei fondi di dotazione è stato di 3.209 milioni di lire.