

**Piano Triennale 2011-13**

**Istituto Nazionale di Fisica Nucleare**



## SOMMARIO

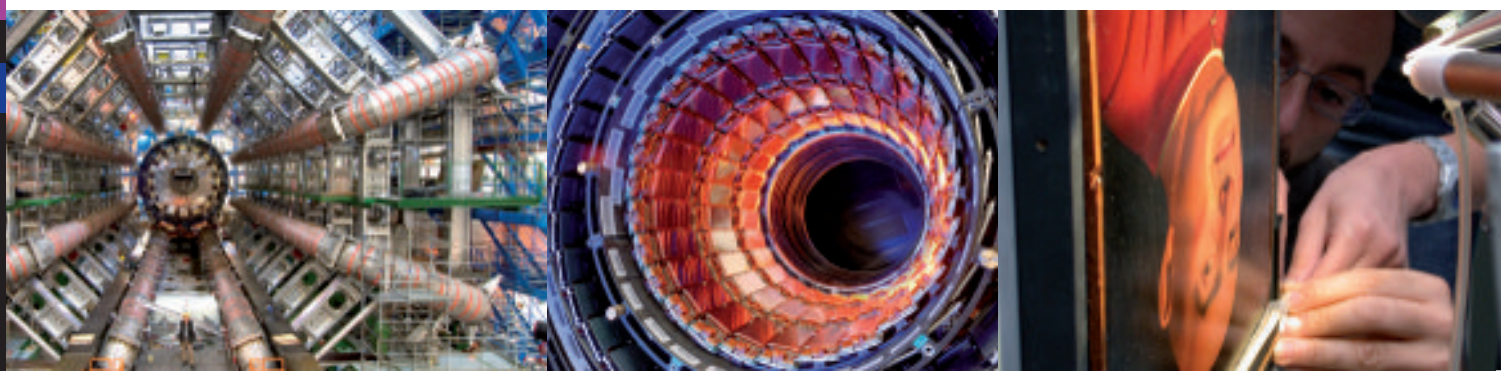
## CAPITOLO I Introduzione

## CAPITOLO II L'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare: stato e prospettive

<b>2.1 L'ISTITUTO</b>	pag. 6
LA MISSIONE E LE ORIGINI	pag. 6
LA STRUTTURA E L'ORGANIZZAZIONE	pag. 6
<b>2.2 LE ATTIVITÀ DI RICERCA</b>	pag. 8
LE LINEE SCIENTIFICHE	pag. 8
I PRINCIPALI FILONI DI RICERCA	pag. 15
I LUOGHI DELLA RICERCA	pag. 16
I PRINCIPALI RISULTATI SCIENTIFICI CONSEGUITI NEL 2010	pag. 20
LA VALUTAZIONE INTERNA	pag. 25
<b>2.3 L'IMPATTO SOCIO-ECONOMICO E IL TRASFERIMENTO TECNOLOGICO</b>	pag. 26
LE INIZIATIVE DI TRASFERIMENTO TECNOLOGICO	pag. 26
IL CONTO TERZI	pag. 27
GLI SPIN-OFF	pag. 27
I BREVETTI E LA PROPRIETÀ INTELLETTUALE	pag. 27
<b>2.4 LA FORMAZIONE</b>	pag. 28
LE ATTIVITÀ DI FORMAZIONE E DI INFORMAZIONE	pag. 28
LA FORMAZIONE E LE AZIONI DI SOSTEGNO DEI GIOVANI	pag. 28
IL RUOLO DELL'INFN NELL'UNIVERSITÀ	pag. 29
LE ATTIVITÀ DI COMUNICAZIONE E DI DIVULGAZIONE SCIENTIFICA	pag. 30
<b>2.5 GLI OBIETTIVI DEL TRIENNIO</b>	pag. 30
PROGETTI DI RILIEVO SCIENTIFICO:	pag. 30
L'EVOLUZIONE E LE SFIDE.	pag. 30
<b>2.6 LE RISORSE FINANZIARIE E IL PROFILO DI SPESA NEL TRIENNIO</b>	pag. 43
IL PROFILO TRIENNALE DELLE RISORSE DISPONIBILI E DELLA SPESA 2011-2013	pag. 45
IL PIANO DI RIAMMODERNAMENTO GESTIONALE	pag. 48
<b>2.7 IL QUADRO DELLE COLLABORAZIONI INTERNAZIONALI</b>	pag. 49
<b>2.8 LA PARTECIPAZIONE ALLA COSTRUZIONE DELLA EUROPEAN RESEARCH AREA</b>	pag. 52
<b>2.9 GLI ACCORDI E LE CONVENZIONI NAZIONALI</b>	pag. 54
<b>2.10 LE INFRASTRUTTURE DI RICERCA EUROPEE</b>	pag. 59
<b>2.11 LE PARTECIPAZIONI SOCIETARIE</b>	pag. 61
<b>2.12 LE RISORSE UMANE</b>	pag. 65
IL PERSONALE DIPENDENTE	pag. 65
LE PARI OPPORTUNITÀ	pag. 70
IL PERSONALE ASSOCIATO	pag. 71
<b>2.13 I "PROGETTI BANDIERA"</b>	pag. 72

## CAPITOLO III Piano programmatico di attività scientifica

<b>3.1 L'INFN E LA SUA MISSIONE SCIENTIFICA</b>	pag. 74
<b>3.2 LA FISICA SUBNUCLEARE</b>	pag. 76
<b>3.3 LA FISICA ASTROPARTICELLARE</b>	pag. 81
<b>3.4 LA FISICA NUCLEARE</b>	pag. 86
<b>3.5 LA FISICA TEORICA</b>	pag. 91
<b>3.6 LE RICERCHE TECNOLOGICHE E INTERDISCIPLINARI</b>	pag. 95
<b>3.7 IL CALCOLO E LE RETI</b>	pag. 98
<b>3.8 I PROGETTI STRATEGICI E I PROGETTI SPECIALI</b>	pag. 100
PROGETTO STRATEGICO INFN-MED	pag. 101
PROGETTO STRATEGICO INFN-ENERGIA	pag. 104
PROGETTO STRATEGICO NTA	pag. 106
PROGETTO SPECIALE APE	pag. 108
PROGETTO SPECIALE SPARC e PROGETTO SPARX	pag. 112
PROGETTO SPECIALE SPES	pag. 113
PROGETTO SPECIALE INFN-GRID	pag. 120
PROGETTO SPECIALE SUPERB-TDR	pag. 124
PROGETTO SPECIALE ELN (ELOISATRON)	pag. 126
<b>3.9 I PROGETTI EUROPEI</b>	pag. 127
<b>3.10 I PROGETTI CONGIUNTI CON ALTRI ENTI NAZIONALI E REGIONALI</b>	pag. 131
IL LABORATORIO LABEC	pag. 131
LA FONDAZIONE CNAO	pag. 133
IL GALILEO GALILEI INSTITUTE FOR THEORETICAL PHYSICS (GGI) DI ARCETRI (FIRENZE)	pag. 135
IL CENTRO ENRICO FERMI PER IL PROGETTO EEE	pag. 136





LA FONDAZIONE ETTORE MAJORANA (FEMCCS)	pag. 136
LA FONDAZIONE BRUNO KESSLER (FBK)	pag. 137
IL CONSORTIUM GARR	pag. 137
<b>3.11 I PROGETTI FIRB, PRIN</b>	pag. 138
<b>3.12 I PROGETTI REGIONALI E I PROGETTI LOCALI</b>	pag. 139
<b>CAPITOLO IV I Laboratori Nazionali, il CNAF e le infrastrutture di ricerca</b>	
<b>4.1 I LABORATORI NAZIONALI: LNF, LNGS, LNL, LNS</b>	pag. 142
I LABORATORI NAZIONALI DI FRASCATI (LNF)	pag. 142
LABORATORI NAZIONALI DEL GRAN SASSO (LNGS)	pag. 145
I LABORATORI NAZIONALI DI LEGNARO	pag. 152
I LABORATORI NAZIONALI DEL SUD (LNS)	pag. 157
<b>4.2 IL CNAF</b>	pag. 162
<b>4.3 LE NUOVE INFRASTRUTTURE DI RICERCA: SUPERB, KM3NET, GRID</b>	pag. 165
IL PROGETTO SUPERB	pag. 165
L'INFRASTRUTTURA KM3NeT	pag. 167
GRID	pag. 170
<b>4.4 PROFILI FINANZIARI DELLE NUOVE INFRASTRUTTURE DI RICERCA</b>	pag. 171
SUPERB	pag. 171
KM3NET	pag. 173
GRID	pag. 174
<b>CAPITOLO V Cooperazione e accordi con enti ed organismi nazionali ed internazionali</b>	
<b>5.1 LE COLLABORAZIONI E GLI ACCORDI NAZIONALI</b>	pag. 176
<b>5.2 LA PARTECIPAZIONE A CONSORZI, A SOCIETÀ, A FONDAZIONI</b>	pag. 181
<b>5.3 LE COLLABORAZIONI E GLI ACCORDI INTERNAZIONALI</b>	pag. 185
<b>CAPITOLO VI Rapporti e convenzioni con le Università</b>	
	pag. 188
<b>CAPITOLO VII Piano di sviluppo delle risorse umane e finanziarie</b>	
<b>7.1 LE RISORSE DI PERSONALE DELL'ISTITUTO</b>	pag. 192
<b>7.2 LE RISORSE FINANZIARIE</b>	pag. 196
<b>7.3 IL CONTRIBUTO DEL PERSONALE ASSOCIATO</b>	pag. 206
<b>7.4 LA FORMAZIONE E LE AZIONI DI SOSTEGNO DEI GIOVANI</b>	pag. 206
<b>7.5 LE AZIONI POSITIVE PER LE PARI OPPORTUNITÀ</b>	pag. 207
<b>7.6 GLI SCAMBI INTERNAZIONALI DEL PERSONALE DI RICERCA</b>	pag. 211
<b>7.7 LE ATTIVITÀ DI FORMAZIONE E DI INFORMAZIONE DEL PERSONALE</b>	pag. 212
<b>CAPITOLO VIII Le attività di comunicazione e di divulgazione scientifica</b>	
<b>8.1 LA COMUNICAZIONE PER I MEDIA E LA COMUNITÀ</b>	pag. 215
<b>8.2 LA RIVISTA ASIMMETRIE</b>	pag. 216
<b>8.3 MOSTRE E MULTIMEDIA</b>	pag. 217
<b>8.4 LA COMUNICAZIONE E LA DIVULGAZIONE SCIENTIFICA PROMOSSA LOCALMENTE DALLE STRUTTURE</b>	pag. 219
<b>CAPITOLO IX Le attività di impatto socio-economico e di trasferimento tecnologico</b>	
<b>9.1 TRASFERIMENTO TECNOLOGICO</b>	pag. 220
<b>9.2 CONTO TERZI</b>	pag. 221
<b>9.3 SPIN-OFF</b>	pag. 221
<b>9.4 BREVETTI E PROPRIETÀ INTELLETTUALE</b>	pag. 222
<b>CAPITOLO X Piano di rimodernamento gestionale</b>	
<b>10.1 IL QUADRO NORMATIVO</b>	pag. 224
IL REGOLAMENTO GENERALE IN VIGORE E I REGOLAMENTI INTERNI	pag. 224
LE DISPOSIZIONI LEGISLATIVE GENERALI	pag. 225
<b>10.2 IL SISTEMA INFORMATIVO</b>	pag. 225
<b>CAPITOLO XI La valutazione interna</b>	
<b>11.1 PRODUTTIVITÀ SCIENTIFICA</b>	pag. 229
<b>11.2 UNA PROSPETTIVA EUROPEA PER LA VALUTAZIONE</b>	pag. 232
<b>11.3 CONFRONTO INTERNAZIONALE</b>	pag. 233

# Introduzione

## CAPITOLO

Il piano triennale 2011-2013 presenta il progetto di sviluppo delle attività dell'Ente nei prossimi tre anni a partire dal bilancio delle attività in corso. La lettura del secondo capitolo fornisce un quadro d'insieme completo e può rappresentare un compendio del piano stesso che nei capitoli successivi contiene gli approfondimenti.

Vi sono due discontinuità da segnalare rispetto al piano precedente derivanti dalla legislazione.

La prima riguarda la pianta organica e il suo sviluppo nei prossimi tre anni. La restrizione all'utilizzo del 20 per cento del budget di personale rimasto libero dal turn over dell'anno precedente modifica in modo sostanziale le prospettive del precedente piano triennale con conseguenze sulla capacità di assorbimento da parte dell'Istituto di professionalità consolidate negli anni e acquisite tramite contratti a tempo determinato.

Un utilizzo sempre più sinergico dei progetti della comunità europea con le attività istituzionali dell'Ente si rende necessario attraverso una crescita dell'attività di programmazione globale di tali progetti.

La seconda differenza deriva dall'accantonamento nel fondo di funzionamento degli Enti di ricerca di una quota, per il 2011 pari al tredici per cento, del bilancio da distribuire su base premiale e per lo sviluppo dei progetti bandiera avviati con il bilancio 2010.

Per quanto riguarda la parte premiale, l'Istituto, da sempre favorevole a finanziamenti basati sul merito, verrebbe messo in serie difficoltà ove tale quota non venisse assegnata in tempo utile per entrare a far parte del bilancio 2011.

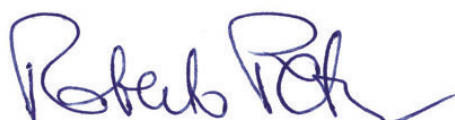
Una quota del bilancio degli Enti viene salvaguardata per consentire l'attuazione per ora di alcuni progetti bandiera, per l'INFN SuperB e la ricerca sul nucleare, coordinata dal CNR. Per entrambi, oltre a una descrizione del progetto e del suo dispiegamento negli anni, vengono sottolineate le azioni prioritarie da intraprendere nel 2011, soprattutto per SuperB. In questo caso infatti la finestra temporale per un impatto internazionale del progetto richiede un passo spedito, accompagnato da precisi accordi e dalla costituzione di una governance per poter trasformare le già molteplici manifestazioni di interesse a contribuire da parte di partner stranieri in collaborazioni sancite da accordi internazionali. I prossimi tre anni saranno cruciali e, se ben spesi, segneranno il ritorno dell'Italia a un'eccellenza mondiale nel settore delle alte energie, della competenza nei sistemi di accelerazione e nelle sorgenti di luce di sincrotrone.

I prossimi tre anni sono gravidi di potenziali scoperte: il Large Hadron Collider di Ginevra, i cui esperimenti principali sono a guida italiana, entra nella fase in cui sia la rivelazione che la mancata rivelazione del bosone di Higgs costituirà una scoperta fondamentale, nella quale i possibili segnali di nuove simmetrie permetteranno di far luce sul problema della materia oscura e sulla unificazione delle forze fondamentali. La SuperB, prevista funzionare nella seconda metà del decennio potrebbe fornire i tasselli mancanti ad un mosaico che l'LHC si appresta ad abbozzare. Il laboratorio del Gran Sasso, al termine della fase di sperimentazione con il fascio di neutrini spedito dal Cern alla fine del 2012 potrebbe sempre più caratterizzarsi come centro mondiale per la ricerca della materia oscura e per la rivelazione di effetti rari derivanti dall'esistenza di nuovi tipi di neutrini, detti di Majorana, con esperimenti con potenzialità di scoperta e non solo di limiti di apparizione. I laboratori di fisica nucleare svilupperanno il programma degli ioni radioattivi in una sinergia sempre maggiore ulteriormente rafforzata da un eventuale laboratorio congiunto per la produzione di isotopi radioattivi con finalità medicali. Il laboratorio di Frascati, oltre ad essere il laboratorio di riferimento per lo sviluppo del progetto SuperB, continuerà

la sperimentazione all'acceleratore Dafne dopo gli interventi di miglioramento della sua luminosità e svilupperà il progetto SparX, un Laser a Elettroni Liberi con enormi potenzialità applicative, e nuovi sistemi di accelerazione di particelle con fasci laser. I prossimi tre anni saranno decisivi anche per il progetto KM3net, un enorme rivelatore sottomarino al largo di Capo Passero in Sicilia dedicato all'astronomia con neutrini e sorgente di molte applicazioni interdisciplinari nel campo della geologia e dell'oceanografia.

L'adozione del nuovo statuto offre strumenti per una maggiore trasversalità della programmazione scientifica tramite l'aiuto del Consiglio Tecnico-Scientifico, per un maggior coordinamento e centralità amministrativa attraverso la figura del Direttore Generale e per un miglior collegamento con il MIUR attraverso la presenza nella Giunta Esecutiva di un membro designato dal Ministero. Presumibilmente già nel 2011 verranno avviate le discussioni per alcune modifiche strutturali dedicate ad una minore incidenza delle spese di funzionamento sul bilancio complessivo dell'Ente e per la creazione di un soggetto con statuto a carattere privatistico, fondazione o consorzio, con lo scopo di consolidare l'esperienza tecnologica dell'ente in una struttura capace di avere un rapporto più dinamico con il mondo produttivo attirandone le risorse.

Roberto Petronzio - Presidente INFN



# L'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare: stato e prospettive

## CAPITOLO

Per informazioni di carattere generale sull'Istituto si consulti il sito [web: http://www.infn.it/](http://www.infn.it/).

Il presente capitolo illustra lo stato e le prospettive dell'Istituto nel prossimo triennio e fornisce una sintesi di quanto è oggetto dei capitoli successivi, alla cui lettura si rinvia per maggiori dettagli.

### 2.1 L'ISTITUTO

#### LA MISSIONE E LE ORIGINI

L'INFN è l'ente pubblico nazionale di ricerca, vigilato dal Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca, dedicato allo studio dei costituenti fondamentali della materia e delle leggi che li governano e svolge attività di ricerca, teorica e sperimentale, nei campi della fisica subnucleare, nucleare e astroparticellare. Le attività di ricerca dell'INFN si svolgono tutte in un ambito di competizione internazionale e in stretta collaborazione con il mondo universitario italiano, sulla base di consolidati e pluridecennali rapporti. La ricerca fondamentale in questi settori richiede l'uso di tecnologie e strumenti di ricerca d'avanguardia che l'INFN sviluppa sia nei propri laboratori sia in collaborazione con il mondo dell'industria.

L'INFN venne istituito l'8 agosto 1951 da gruppi delle Università di Roma, Padova, Torino e Milano al fine di proseguire e sviluppare la tradizione scientifica iniziata negli anni '30 con le ricerche teoriche e sperimentali di fisica nucleare di Enrico Fermi e della sua scuola.

Nella seconda metà degli anni '50 l'INFN progettò e costruì il primo acceleratore italiano, l'elettrosincrotrone realizzato a Frascati dove nacque il primo Laboratorio Nazionale dell'Istituto. Nello stesso periodo iniziò la partecipazione dell'INFN alle attività di ricerca del CERN, il Centro europeo di ricerche nucleari di Ginevra, per la costruzione e l'utilizzo di macchine acceleratrici sempre più potenti. Oggi il contributo dei ricercatori dell'INFN è riconosciuto internazionalmente non solo nei vari laboratori europei, ma in numerosi centri di ricerca mondiali.

Nell'adempimento della sua missione, inoltre, l'Istituto:

- Collabora con le istituzioni di ricerca scientifica e tecnologica, italiane e straniere, contribuendo al processo di rafforzamento dell'area europea della ricerca.
- Opera con efficacia organizzativa nel rispetto della libertà di ricerca e della Carta europea dei Ricercatori.
- Promuove la formazione dei giovani nel campo della ricerca fondamentale e applicata.
- Cura la diffusione della cultura scientifica, innanzitutto tra i giovani.
- Persegue l'eccellenza scientifica sviluppando strumentazione avanzata, con il coinvolgimento dell'industria nazionale.
- Intensifica l'interazione delle attività di ricerca con quelle di trasferimento di conoscenza per rendere più competitive le imprese italiane a livello internazionale.
- Sviluppa l'applicazione delle tecniche nucleari e subnucleari alla medicina, ai beni culturali e all'ambiente.

#### LA STRUTTURA E L'ORGANIZZAZIONE

L'attività dell'INFN si basa su due tipi di strutture di ricerca complementari: le Sezioni e i Laboratori Nazionali (vedi figura 2.1).





Fig.2.1: Le strutture dell'INFN. In blu le Sezioni, in grigio i Gruppi collegati, in rosso i Laboratori nazionali, in verde il Centro Nazionale per Ricerca e Sviluppo nelle Tecnologie Informatiche e Telematiche.

I quattro Laboratori nazionali, con sede a Catania, Frascati, Legnaro e Gran Sasso, ospitano grandi apparecchiature e infrastrutture messe a disposizione della comunità scientifica nazionale e internazionale.

Le 20 Sezioni e gli 11 Gruppi collegati alle Sezioni o Laboratori hanno sede in altrettanti dipartimenti di fisica universitari e realizzano la stretta connessione tra l'Istituto e le Università.

Della struttura complessiva attuale fanno anche parte:

- Il consorzio EGO, European Gravitational Observatory, a Cascina (Pisa).
- Il CNAF, Centro Nazionale per la Ricerca e Sviluppo nelle Tecnologie Informatiche e Telematiche, a Bologna.
- L'Amministrazione centrale, a Frascati.
- La Presidenza, a Roma.

Il nuovo Statuto, previsto dal decreto legislativo 31 dicembre 2009 n.213 pubblicato su GU serie generale n.25 del 1-2-2010 riguardante il riordino degli EPR, è stato elaborato e deliberato dal Consiglio Direttivo integrato con 5 esperti nominati dal MIUR ed è in corso di approvazione formale da parte del Ministro dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca. L'organizzazione manageriale e scientifica è mostrata in figura 2.2b.

Per lo svolgimento dell'attività scientifica, l'Istituto si avvale di cinque Commissioni Scientifiche Nazionali (CSN), consultive del Consiglio direttivo. Esse coprono rispettivamente le seguenti linee scientifiche: fisica subnucleare (CSN1), fisica astro particellare (CSN2), fisica nucleare (CSN3), fisica teorica (CSN4), ricerche tecnologiche e interdisciplinari (CSN5).



Fig.2.2: L'organizzazione manageriale e scientifica dell'INFN a) secondo lo Statuto vigente; b) secondo il nuovo Statuto.

L'organizzazione manageriale e scientifica si è gradualmente affinata. La sua funzionalità è frutto anche di buone esperienze consolidate nel tempo, che ne hanno fissato dettagli operativi essenziali. Essa rappresenta un efficace equilibrio tra organizzazione centralizzata e decentrata, tra vertice e base, frutto dell'esperienza.

Di particolare rilievo è l'entrata in esercizio, nel 2009, del nuovo Sistema Informativo che costituisce uno strumento essenziale che consentirà sempre di più una gestione integrata, efficiente, trasparente e ottimizzata dei processi amministrativi dell'Istituto.

## 2.2 LE ATTIVITÀ DI RICERCA

### LE LINEE SCIENTIFICHE

La missione dell'INFN è il progresso nella conoscenza degli aspetti fondamentali dell'Universo, dalle proprietà dei suoi costituenti elementari (micro-cosmo) alle sue caratteristiche sulle scale dei tempi e delle lunghezze più grandi (macro-cosmo).

Il tema principale di ricerca dell'INFN – i costituenti elementari della materia e le loro interazioni – nasce, in senso moderno, alla fine dell'Ottocento, quando si affermò l'idea della materia fatta di atomi. Lo studio di fenomeni naturali (radioattività, raggi cosmici) portò, nella prima metà del Novecento, a svelare la struttura dell'atomo e dunque alla nascita della fisica del nucleo atomico.

La seconda metà del Novecento, corrispondente all'arco di vita dell'Istituto, ha visto il successivo incessante progresso – tuttora in atto – nella conoscenza dei costituenti fondamentali

della materia e dell'origine dell'Universo, basato sul costante sviluppo degli acceleratori e degli apparati rivelatori di particelle. Il corpo di conoscenze così prodotto ha portato alla sintesi teorica del Modello Standard, che inquadra i costituenti della materia e le loro interazioni in uno schema coerente, semplice ed elegante.

Il risultato più rilevante delle ricerche portate avanti dall'Ente in questi ultimi anni è stata una sempre più approfondita comprensione dell'unità di fondo dei fenomeni relativi alla fisica dei nuclei e dei costituenti subnucleari con quelli relativi all'evoluzione dell'Universo (cosmologia) e di strutture su scala cosmica (astrofisica).

In effetti lo studio dell'"infinitamente piccolo" si è sempre più collegato, negli ultimi anni, allo studio dell'"infinitamente grande", nel senso che tematiche tipiche delle ricerche INFN sulla struttura intima della materia e delle interazioni fondamentali possono contribuire a fornire risposte a domande quali l'origine e l'evoluzione dell'Universo, la natura e la composizione della *materia e energia oscura*, a noi ancora ignote, che ne costituiscono oltre il 95%, la separazione fra materia e antimateria nell'Universo. (vedi figure 2.3, 2.4 e 2.5).

La ricerca fondamentale, condotta sia attraverso la sperimentazione, sia attraverso metodologie teoriche, e le ricerche tecnologiche e interdisciplinari correlate, sono coordinate complessivamente da cinque commissioni scientifiche nazionali:

CSN1: Fisica subnucleare

CSN2: Fisica astroparticellare

CSN3: Fisica nucleare

CSN4: Fisica Teorica

CSN5: Ricerche tecnologiche e interdisciplinari

e trovano il loro completamento in un insieme di progetti strategici, progetti speciali, progetti inseriti nella programmazione europea, progetti nazionali e infine progetti regionali che sono indirizzati sia alle applicazioni verso il mondo sociale-produttivo-economico sia agli sviluppi di frontiera preparatori a future sperimentazioni per la ricerca fondamentale o comunque tesi a contribuire alla realizzazione di infrastrutture per lo "spazio europeo della ricerca".

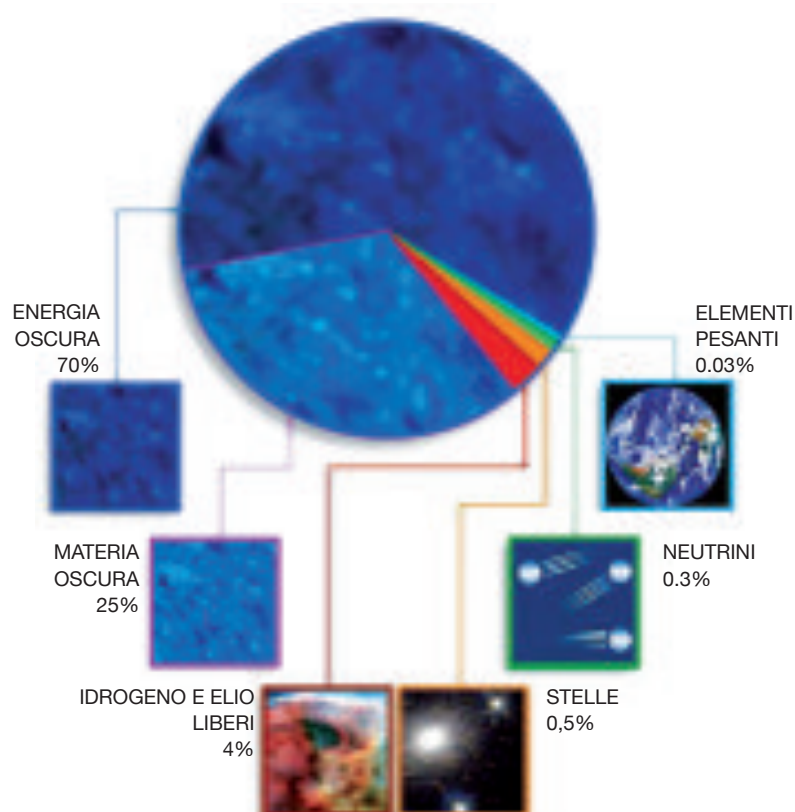
Descriviamo più in dettaglio i principali temi scientifici.

### I costituenti fondamentali e le loro interazioni

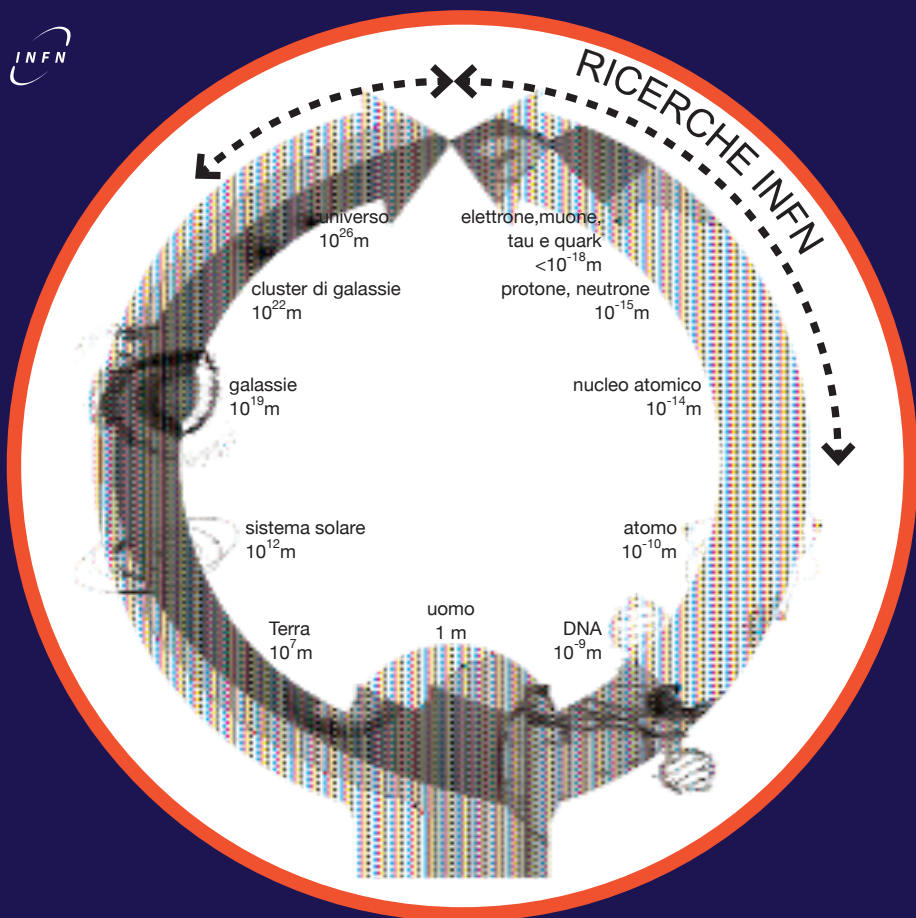
Le ricerche riguardanti tale tematica sono coordinate dalla Commissione Scientifica Nazionale 1 (CSN1).

I principali obiettivi delle attuali ricerche, sperimentali e teoriche, sulle interazioni fondamentali sono da una parte

Fig.2.3: La composizione dell'Universo







carica elettrica  
(unità  $1,6 \cdot 10^{-19}$   
Coulomb)

masse crescenti

+2/3



QUARK

-1/3



0



LEPTONI

-1



I II III

3 famiglie di particelle fondamentali,  
raggruppate in doppietti

Fig. 2.6: Le particelle fondamentali del "Modello Standard".

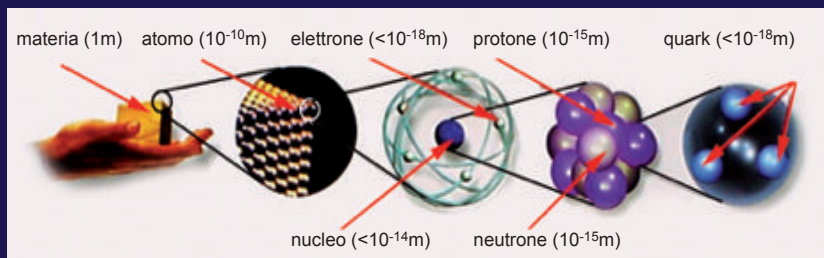
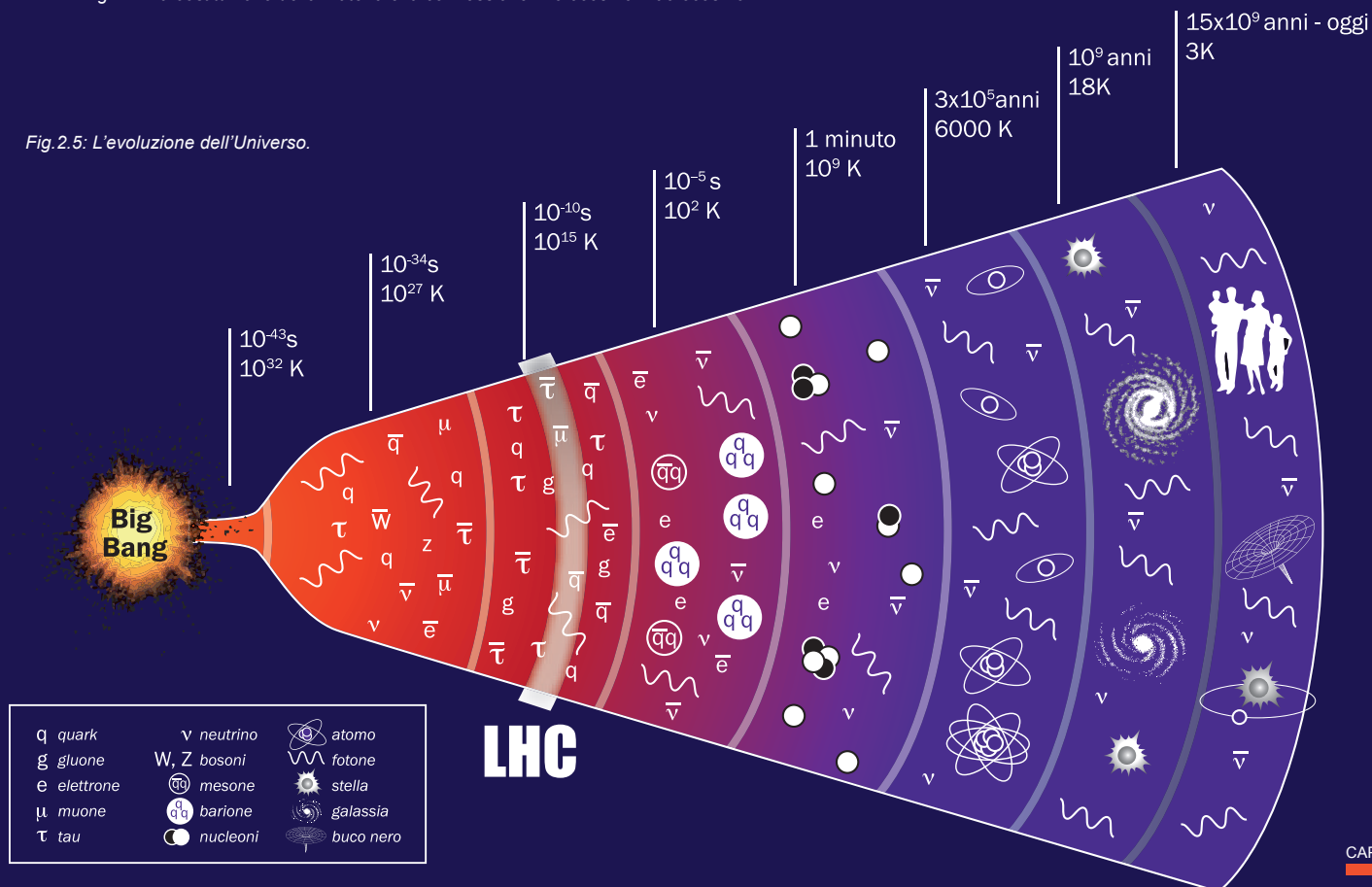


Fig. 2.4: La costituzione della materia e la connessione microcosmo-macrocosmo.

Fig. 2.5: L'evoluzione dell'Universo.



il completamento del Modello Standard, dall'altra la sua estensione e, infine, il suo inevitabile superamento. Particolare interesse rivestono gli esperimenti, sia alla frontiera dell'energia sia alla frontiera dell'intensità, capaci di offrire indicazioni di nuova fisica, ossia di fenomeni non spiegabili nel quadro attuale.

I costituenti elementari della materia si dividono in due classi (vedi figura 2.6):

- I *leptoni*, che hanno solo interazioni elettromagnetiche e deboli, queste ultime identificate, negli anni '30 da Enrico Fermi, come responsabili dei decadimenti dei nuclei;
- I *quark*, che sono sensibili anche alle interazioni forti, le forze che legano i protoni e i neutroni nei nuclei atomici.

Gli elementi delle due categorie sono classificati in tre generazioni, ciascuna costituita da una coppia, con massa progressivamente crescente. I quark più leggeri (i quark u e d) sono i costituenti dei protoni e dei neutroni, a loro volta costituenti dei nuclei atomici. I quark delle famiglie più pesanti (s, c, b, t) sono i costituenti di particelle instabili che, oltre a essere presenti nella radiazione cosmica secondaria, sono normalmente generate nelle collisioni ad alta energia prodotte con macchine acceleratrici.

Ciascuna delle tre generazioni di leptoni è costituita da un leptone carico e da uno neutro, detto neutrino. Un ruolo particolare è svolto dai neutrini, sensibili esclusivamente alle interazioni deboli. In corrispondenza ai tre leptoni carichi - l'elettrone, il muone e il tau - si conoscono tre tipi di neutrini. Molte evidenze sperimentali, alcune ottenute nei Laboratori Nazionali del Gran Sasso, fra le quali i risultati scientifici


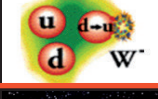
dell'esperimento OPERA che riceve neutrini generati da acceleratori al CERN, hanno definitivamente confermato l'esistenza del fenomeno delle oscillazioni tra neutrini, ovvero la trasformazione di un neutrino di un dato tipo in un neutrino di tipo diverso, con una probabilità che oscilla con la distanza percorsa. L'osservazione dell'oscillazione dei neutrini (fenomeno ipotizzato da Bruno Pontecorvo negli anni '60), implica che questi abbiano una massa diversa da zero. La loro massa è così piccola da renderne difficile la misura diretta. Dato che il Modello Standard prevede che i neutrini siano rigorosamente di massa nulla, ne deriva che le oscillazioni neutriniche sono un'evidenza cruciale di nuova fisica al di là del Modello Standard. Insieme all'esistenza della materia oscura di origine non barionica, tali oscillazioni costituiscono l'evidenza sperimentale più forte che abbiamo che vi siano nuove particelle e interazioni al di là di quelle presenti nel MS.

Lo studio approfondito del fenomeno delle oscillazioni di neutrino è uno dei grandi temi della ricerca contemporanea. Esso è effettuato mediante neutrini provenienti da sorgenti di natura molto diversa: i reattori nucleari, i fasci d'alta energia prodotti alle macchine acceleratrici, le reazioni di fusione all'interno del Sole, le collisioni dei raggi cosmici nell'atmosfera. La questione della massa del neutrino riveste un particolare interesse cosmologico, dovuto alla massiccia presenza di queste particelle nell'Universo attuale, residuo del Big-Bang iniziale. Questi neutrini fossili non sono mai stati osservati direttamente, ma possiamo stimare che, possedendo una massa, essi renderebbero conto, seppure solo in piccola parte, della cosiddetta materia oscura dell'Universo.

Fig.2.7: Le interazioni fondamentali e i loro mediatori.

### Le interazioni fondamentali

Le interazioni tra le particelle che costituiscono la materia, ad esempio la loro reciproca attrazione e repulsione, sono regolate da 4 interazioni fondamentali. Nel Modello Standard le interazioni fondamentali si manifestano attraverso lo scambio di speciali particelle, chiamate bosoni mediatori.

		Carica vs  e-	Massa (GeV/c <sup>2</sup> )	mediatore della forza
	forza forte	0	0	g gluone
	forza elettromagnetica	0	0	γ fotone
	forza debole	+1, 0, -1	91.188 (Z) 80.40 (W+, W-)	bosone W <sup>+</sup> W <sup>-</sup> Z
	forza gravitazionale	0	0	gravitone (?)

L'interazione elettromagnetica tiene gli elettroni legati al nucleo dell'atomo ed è responsabile dei fenomeni elettrici e magnetici. Avviene attraverso lo scambio di bosoni detti fotoni.

L'interazione debole è responsabile di alcuni decadimenti radioattivi ed è coinvolta nei processi di combustione che fanno brillare le stelle, compreso il Sole. Avviene attraverso lo scambio di bosoni detti W e Z.

L'interazione nucleare forte tiene insieme i quark all'interno di protoni e neutroni, e i protoni e i neutroni stessi all'interno del nucleo. Avviene attraverso lo scambio di bosoni detti gluoni.

L'interazione gravitazionale fa ruotare i pianeti attorno al Sole e ci tiene "legati" a terra. Tutti gli oggetti e le particelle con massa interagiscono attraverso la forza gravitazionale. Si pensa che avvenga attraverso lo scambio di bosoni detti gravitoni, ma questi non sono ancora stati osservati.

Tale materia è di natura per ora ignota, ma la sua presenza è rivelata attraverso i suoi effetti gravitazionali.

Studi recenti hanno individuato anche l'esistenza di un'energia oscura dell'Universo. In definitiva la materia a noi nota dovrebbe costituire non più del 5% della massa-energia totale presente oggi nell'Universo (vedi figura 2.3).

Il mondo microscopico è popolato, oltre che da quark e leptoni (che sono fermioni), dai quanti d'energia caratteristici dei diversi tipi d'interazione (che sono bosoni): il fotone per le interazioni elettromagnetiche, i bosoni Z0 e W per le interazioni deboli, i gluoni per le interazioni forti. A questi vanno aggiunti i gravitoni per le forze gravitazionali, sebbene la gravità non sia ad oggi integrata nel Modello Standard (vedi figura 2.7). Analoga ai quanti associati alle interazioni è la particella denominata bosone di Higgs, responsabile, secondo il Modello Standard, del cruciale meccanismo di generazione della massa delle particelle fondamentali. Il valore della massa del bosone di Higgs non è prevedibile, ma potrebbe essere poco superiore a 100 volte la massa del protone, secondo le indicazioni risultanti dagli esperimenti attuali.

La consistenza della teoria ne richiede l'estensione a teorie che prevedono l'esistenza di nuovi fenomeni alla scala d'energia pari a circa 1000 volte la massa del protone. Il modello al momento più popolare, il *Minimal Supersymmetric Standard Model*, prevede che, per ciascuna particella conosciuta, esista una corrispondente particella con proprietà simili, ma con momento angolare intrinseco, lo spin, differente di mezza unità. In tali teorie lo spettro di particelle di Higgs è più ricco che nel Modello Standard. La ricerca dei bosoni di Higgs e

delle nuove particelle previste dalle teorie supersimmetriche – in breve, le particelle supersimmetriche – sono tra gli obiettivi primari del settore di ricerca fondamentale che va sotto il nome di fisica subnucleare. La sperimentazione avviata nel novembre 2009 per un periodo programmato di oltre 10 anni presso il *Large Hadron Collider* (LHC) al CERN (vedi figura 2.8), con il contributo fondamentale dell'INFN e dell'Italia, fornirà risposte cruciali sull'esistenza del o dei bosoni di Higgs, sull'evoluzione dell'Universo e sulla natura dell'energia-materia oscura e su eventuali segnali di *fisica oltre il Modello Standard* (supersimmetria, ecc.)

Tema di paragonabile rilievo è lo studio della simmetria materia-antimateria, tecnicamente indicata con la sigla CP (*Charge-Parity*). Tale simmetria era data per scontata all'inizio della moderna fisica delle particelle, ma esperimenti di grande rilievo concettuale hanno invece mostrato l'esistenza di una piccola asimmetria nel comportamento delle particelle che noi classifichiamo come materia (elettroni, protoni, neutroni, ecc.) rispetto a quello delle corrispondenti particelle classificate come antimateria (positroni, antiprotoni, antineutroni, ecc.). Il Modello Standard permette una violazione della simmetria CP. Esperimenti recenti hanno esteso la conoscenza di tale violazione. La sperimentazione alle attuali e future intense sorgenti di mesoni K e B renderà disponibili ulteriori cruciali informazioni.

Collegata alla violazione della simmetria CP è la fondamentale questione legata all'osservazione che l'Universo visibile sembra essere costituito esclusivamente di materia e non, come ci si potrebbe aspettare dalla teoria del Big Bang, di isole di materia e isole di antimateria. In realtà la violazione di CP è condizione necessaria ma non sufficiente per sviluppare un'asimmetria materia-antimateria a partire da una situazione simmetrica; occorrerebbe infatti tener conto anche della violazione del numero barionico, della violazione della simmetria di sola C e della grande velocità di espansione dell'Universo che impedisce il ripristino delle distribuzioni di equilibrio barioni-antibarioni.

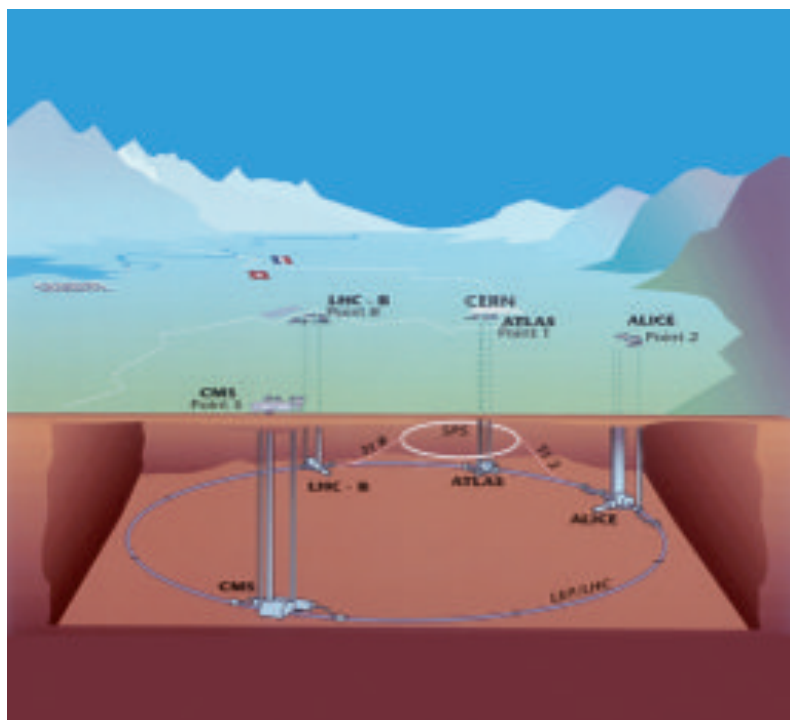
Anche su questo punto, la sperimentazione futura fornirà importanti risposte chiarificatrici.

### **Le particelle e la radiazione nel cosmo**

Le ricerche riguardanti tale tematica sono coordinate dalla Commissione Scientifica Nazionale 2 (CSN2).

Un metodo complementare alla ricerca di nuove particelle con le macchine acceleratrici è quello di ricercare ad esempio la particella supersimmetrica più leggera (il neutralino) nella radiazione cosmica. Secondo le teorie attuali, il neutralino

Fig. 2.8: L'anello di 27 km del Large Hadron Collider (LHC) al CERN di Ginevra



potrebbe essere stabile, su tempi cosmologici, ed essere quindi presente nell'Universo attuale come residuo delle fasi iniziali del Big Bang (insieme ai neutrini fossili) e contribuire anch'esso alla materia oscura.

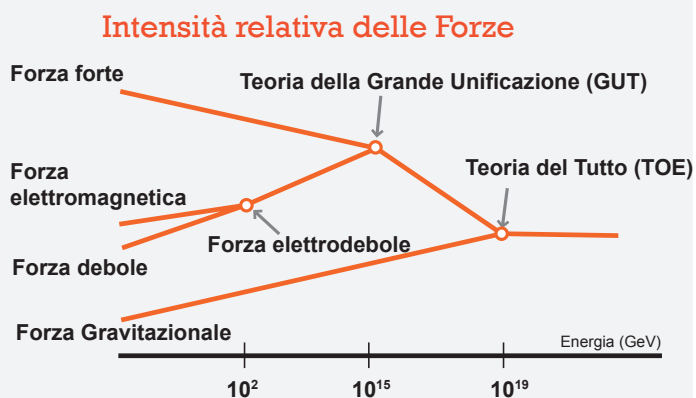
Gli esperimenti dedicati a questa ricerca sono basati sull'osservazione di eventi rari o segnali deboli e richiedono condizioni particolari, come quelle che si possono ottenere nelle sale sperimentali sotterranee dei Laboratori del Gran Sasso, al riparo dal disturbo dei raggi cosmici, oppure nello spazio potendo misurare con estrema precisione il fondo dovuto alla radiazione cosmica primaria.

Nel Modello Standard, ivi compresa la sua estensione supersimmetrica, le interazioni elettrodeboli e forti sono indipendenti tra loro. Esistono teorie che prevedono una completa unificazione delle forze: le Teorie della Grande Unificazione. La verifica diretta di queste teorie richiederebbe lo studio di fenomeni a energie di gran lunga superiori a quelle disponibili, o anche solo ipotizzabili, con le macchine acceleratrici. Queste energie, tuttavia, corrispondono a quelle prevalenti nei primi istanti di vita dell'Universo, secondo la teoria del Big Bang.

Un possibile metodo di verifica delle teorie di Grande Unificazione consiste nella ricerca dei residui di queste interazioni nella radiazione cosmica (le particelle fossili). Un altro metodo consiste nel cercare l'effetto in decadimenti rari della materia, quali il decadimento del nucleone, cui si è già accennato, o il decadimento nucleare doppio-beta senza emissione di neutrini. L'unificazione della gravità con le altre forze è a tutt'oggi uno dei maggiori problemi aperti: da estrapolazioni dalle basse energie ciò dovrebbe succedere ad una scala di energia di  $10^{19}$  GeV o ad una scala delle distanze di  $10^{-35}$  m (vedi figura 2.9).

La ricerca di fenomeni rari collegati alle Teorie di Grande Unificazione è stata, storicamente, la ragione dello sviluppo dei laboratori sotterranei, in particolare dei Laboratori del Gran Sasso, che costituiscono il più grande complesso di

Fig. 2.9: L'“Unificazione” delle forze.



questo tipo oggi esistente al mondo. L'impiego di apparati rivelatori di particelle nell'ambiente sotterraneo ha poi esteso il campo delle ricerche al settore astrofisico, con lo studio dei neutrini solari e dei neutrini da collasso gravitazionale. Di grande attualità e crescente sviluppo è la ricerca della materia oscura (*Dark Matter*) che trova ancora nei LNGS un'opportunità all'avanguardia. Una volta consolidata, la fisica astroparticellare ha poi trovato nuovi sbocchi in ambienti con caratteristiche complementari a quello sotterraneo, come lo spazio, dove la radiazione cosmica primaria è direttamente accessibile, i laboratori d'alta quota, per la astronomia di raggi gamma di alta energia o i laboratori sottomarini per l'astronomia con neutrini di alta energia.

Infine, un settore di ricerca anch'esso collocato al confine tra lo studio delle interazioni fondamentali e l'astrofisica, nel quale i fisici italiani hanno svolto e svolgono un ruolo d'avanguardia, è quello della rivelazione delle onde gravitazionali sia mediante antenne criogeniche a barra risonante, già ampiamente sviluppate, sia con lo sviluppo dei grandi rivelatori interferometrici, ora pienamente in funzione, tra cui spiccano l'italo-francese VIRGO (vedi figura 2.10) a Cascina (Pisa), e gli statunitensi LIGO, in Louisiana e a Seattle.

### I sistemi nucleari

Le ricerche riguardanti tale tematica sono coordinate dalla Commissione Scientifica Nazionale 3 (CSN3).

Le ricerche in fisica nucleare oggi riguardano la struttura e la dinamica di sistemi composti, alla luce della teoria delle interazioni fondamentali. In quest'ottica, le tematiche tradizionali della fisica nucleare sono spesso estese a prospettive più vaste, che includono temi di fisica subnucleare. Esempi di estensioni di questo tipo sono lo studio delle funzioni di struttura dei nucleoni, le ricerche sulla spettroscopia degli iperoni o la ricerca di nuovi stati in cui può esistere la materia nucleare.

Le ricerche tradizionali della fisica nucleare hanno portato alla formulazione di modelli che descrivono con successo le proprietà dei nuclei atomici come sistemi legati di protoni e neutroni. Questi modelli sono sottoposti a verifiche sempre più stringenti, grazie allo sviluppo di tecniche sperimentali che consentono lo studio di nuclei in condizioni estreme, prossime ai limiti di stabilità: nuclei notevolmente deformati con valori elevati del momento angolare, oppure nuclei con valori estremi del rapporto tra protoni e neutroni. Questi temi sono affrontati in esperimenti che utilizzano fasci di ioni accelerati fino a energie comprese nell'intervallo tra la barriera coulombiana e 100 MeV/nucleone.





Fig. 2.10: L'Interferometro per onde gravitazionali Virgo, nella pianura di Cascina (PI)

La descrizione del nucleo in termini di nucleoni (i protoni o i neutroni) che interagiscono attraverso lo scambio di mesoni è un'approssimazione, valida alle basse energie, per riassumere gli effetti dei costituenti elementari (i quark e i gluoni) che compongono i nucleoni stessi. Con il progredire delle conoscenze sul comportamento dei costituenti subnucleari, sarà possibile spiegare i modelli nucleari a partire dalla teoria fondamentale delle interazioni forti, la *cromo-dinamica quantistica* (QCD).

A tal fine è interessante studiare, in collisioni a più alta energia, il modo in cui le distribuzioni dei costituenti elementari dei nucleoni sono alterate quando questi ultimi formano a loro volta la materia nucleare. Le ricerche in questo campo sono condotte con fasci incidenti di elettroni di alta energia, o di protoni o antiprotoni.

La teoria della QCD prevede che la materia nucleare, in condizioni estreme di densità e temperatura, subisca una transizione ad una fase denominata plasma di quark e gluoni, in cui i costituenti elementari non sono più confinati all'interno dei singoli nucleoni. Le prime indicazioni sperimentali di questa transizione di fase sono state ottenute nello studio delle collisioni tra nuclei di piombo. La collisione tra ioni a energie ultrarelativistiche è caratterizzata da densità di energie sufficientemente elevate da permettere una transizione dalla materia adronica ad uno stato de-confinato di quark e gluoni, la stessa che si presume abbia avuto luogo nell'Universo primordiale, nei primi dieci milionesimi di secondo dopo il Big Bang. Si presume che questa fase abbia avuto luogo nell'Universo primordiale, nei primi dieci milionesimi di secondo dopo il Big Bang, e che sia possibile ricrearla in laboratorio attraverso la collisione tra ioni pesanti a energie ultrarelativistiche. Le prime indicazioni sperimentali di questa transizione di fase sono state ottenute nello studio delle collisioni tra nuclei di piombo

all'SPS (CERN) e nuclei di oro a RHIC (BNL). Lo studio delle proprietà del quark-gluon plasma è l'ambizioso obiettivo scientifico dell'esperimento ALICE all'LHC del CERN.

#### **Le “questioni” della Fisica Teorica**

Le ricerche riguardanti tale tematica sono coordinate dalla Commissione Scientifica Nazionale 4 (CSN4).

Le principali questioni fondamentali che sono oggetto della ricerca con metodologie teoriche riguardano:

- L'origine della massa delle particelle fondamentali;
- L'individuazione della natura e delle proprietà della materia oscura;
- La “fisica del sapore” e la violazione delle simmetrie discrete;
- La spiegazione dell'asimmetria materia-antimateria nell'Universo;
- L'unificazione delle forze fondamentali, inclusa la gravità;
- Lo studio della natura fondamentale dello spazio-tempo e i problemi connessi alla quantizzazione della gravità;
- La fisica adronica e nucleare, inclusi i processi all'epoca del Big-bang e la successiva evoluzione dell'Universo.

Tali studi teorici si avvalgono e si avvarranno sempre di più dei risultati sperimentali attesi all'LHC, dai molti esperimenti di fisica astroparticellare e dalle “fabbriche” per la produzione di mesoni B fra cui quella rappresentata dalla nuova macchina acceleratrice SuperB in Italia.

Le attività teoriche, svolte da circa 1000 scienziati provenienti da tutte le sezioni dell'INFN e dai quattro laboratori nazionali e articolate secondo “iniziative specifiche” che aggregano ricercatori di varie strutture per comuni finalità scientifiche, sono tutte sviluppate in stretta collaborazione col mondo accademico e comprendono i seguenti settori:

- a) Stringhe e teoria dei campi



- b) Fenomenologia delle particelle
- c) Fisica adronica e nucleare
- d) Metodi matematici
- e) Astroparticelle e cosmologia
- f) Teoria dei campi e meccanica statistica

La ricerca teorica in ambito INFN svolge un ruolo di grande rilievo internazionale, come dimostrano il grandissimo numero di citazioni, l'intensa attività di presentazioni alle più importanti conferenze internazionali, l'imponente produzione scientifica su riviste internazionali con referee (oltre 1200 lavori all'anno), la stretta collaborazione con ricercatori di tutto il mondo, lo scambio di studiosi sia a livello di giovani sia a livello di senior, grazie anche a una serie di convenzioni tra l'INFN e ITEP, JINR e IGEP (Russia), MEC (Spagna), MIT (USA).

La partecipazione dei giovani in formazione è dimostrato dall'elevato numero di tesi di laurea universitarie (circa 300/anno), sia di primo che di secondo livello, e di tesi di dottorato (circa 70/anno).

Di particolare significato e rilievo è l'attività dell'Istituto Galileo Galilei (GGI) di Arcetri, di cui l'INFN è ente promotore e sostenitore finanziariamente. Il GGI ospita di solito tre workshop all'anno, di durata variabile tra 8 e 12 settimane, oltre a scuole per giovani post-doc e incontri su temi di interesse per la fisica teorica.

Di grande impulso per la ricerca teorica italiana e internazionale nel campo delle interazioni forti è stato lo sviluppo da parte dell'INFN di macchine di calcolo parallelo attraverso il progetto APE (*The Array Processor Experiment*).

**Le ricerche tecnologiche e interdisciplinari**

Le ricerche riguardanti tale tematica sono coordinate dalla Commissione Scientifica Nazionale 5 (CSN5).

L'INFN pone particolare attenzione, ai fini dello svolgimento della sua missione scientifica e del suo impatto socio-economico, agli sviluppi nel campo della fisica degli acceleratori (vedi figura 2.11), dei rivelatori di radiazione, dell'elettronica, dell'informatica e della fisica interdisciplinare, e in tali attività collabora intensamente con ricercatori e tecnologi di differente estrazione culturale e di differenti afferenze (CNR, INAF, INGV, INFN, ASI).

Nella ricerca e sviluppo per i futuri acceleratori l'Istituto gioca un ruolo di eccellenza e si pone come solido riferimento culturale e realizzativo per l'intera comunità nazionale e internazionale; i campi di R&D (*Research and Development*) ovvero R&S (Ricerca e Sviluppo) riguardano gli acceleratori

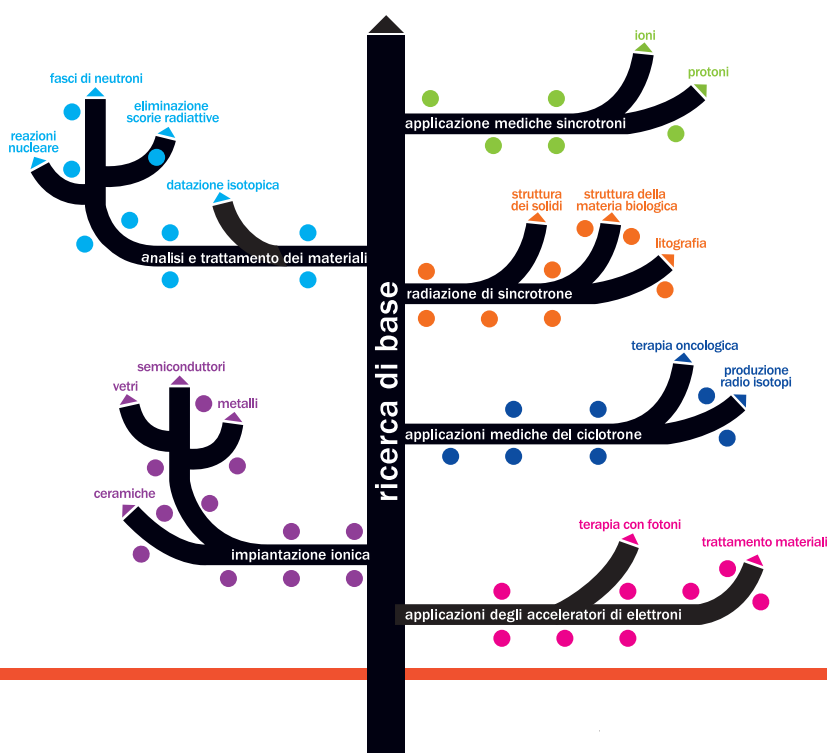
di elettroni ad alta energia e intensità per la fisica del sapore (SuperB), gli acceleratori lineari di altissima energia ed intensità nell'ambito del progetto ILC (*International Linear Collider*) e del progetto CLIC (*Compact Linear Collider*), gli acceleratori di protoni per la produzione di fasci radioattivi, gli acceleratori di protoni e ioni per le applicazioni in adroterapia, gli acceleratori per la produzione di radiazione elettromagnetica di altissima energia ed altamente coerente (X-FEL) con i progetti SPARC e SPARX, il progetto ESS (*European Spallation Source*) in costruzione a Lund, la test facility per il sistema di Iniezione a Atomi Neutri per il progetto ITER (*International Thermonuclear Experimental Reactor*).

La capacità dell'Istituto di costruire acceleratori (X-FEL, ESS, SparX, ITER) utilizzabili da altre comunità scientifiche (scienze e ingegneria dei materiali, biologia, chimica, energetica, medicina) costituisce una risorsa di grande valore per l'intera comunità nazionale e internazionale.

Di grande impatto sono le applicazioni interdisciplinari delle tecniche sviluppate dall'INFN nel campo dell'imaging medico, della terapia del tumore con adroni, dello sviluppo di piani di trattamento in radioterapia con fasci di protoni e ioni, della dosimetria e per lo studio della evoluzione cellulare, della modellistica neurologica.

I rapporti con l'industria, con le organizzazioni ed istituzioni operanti nel settore della sanità e della salute, nel settore dei beni culturali e dell'ambiente, pongono sempre di più l'Istituto al centro dell'attenzione del Paese quale fattore essenziale di innovazione e sviluppo.

Fig. 2.11: Ricadute tecnologiche dello sviluppo degli acceleratori di particelle.



## I PRINCIPALI FILONI DI RICERCA

In tabella 2.1 sono elencati i principali esperimenti e i principali laboratori e luoghi di ricerca dove si svolgono le attività.

La tabella evidenzia il ruolo fondamentale dei Laboratori nazionali ed il contesto internazionale nel quale si svolgono le attività.

Principali linee e filoni scientifici	Principali esperimenti e attività	Principali laboratori e luoghi di ricerca
<b>Fisica subnucleare</b>		
Sperimentazione ad alta energia - LHC	ATLAS, CMS, LHC-b, LHC-f, TOTEM, UA9	CERN
LEP ( <i>Large Electron Positron collider</i> )	ALEPH, DELPHI, L3, OPAL	CERN
Studio della simmetria materia-antimateria	KLOE, NA62, MEG, PMU2E, BABAR, BESIII	LNF, CERN, PSI-Zurigo, SLAC, BEPC-Beijing
Fisica adronica	COMPASS, CDF, ZEUS, HERA-B, J-FNAL, E-831	CERN, FERMILAB, DESY-Amburgo
Nuova frontiera dell'alta intensità	P-SUPERB, P-ILC	
Fisica astroparticellare		
Fisica dei neutrini	OPERA, ICARUS, BOREXINO, K2K	LNGS, Giappone
Ricerca di fenomeni rari	CUORE, GERDA, DAMA, WARP, XENON	LNGS
Radiazione cosmica in superficie e nelle profondità marine	ARGO, AUGER, ANTARES, MAGIC, NEMO	Yangbajing (Cina), Malargue (Argentina), Tolone (Francia), LNS, La Palma (Canarie/Spagna)
Radiazione cosmica nello spazio	PAMELA, AMS, FERMI, JemEUSO	Spazio
Ricerca sulle onde gravitazionali	VIRGO, LISA pathfinder, ROG, AURIGA	EGO-Cascina + Spazio
Ricerche in Fisica generale fondamentale	MAGIA, MICRA, MIR, PVLAS, ...	
<b>Fisica nucleare</b>		
Struttura e dinamica degli adroni	MAMBO-JLAB12-PAX-PANDA, KAONNIS	JLab, LNF, GSI, Bonn
Transizioni di fase della materia adronica	ALICE, EXOCHIM, FRAG	CERN, LNS, GSI
Struttura e reazioni nucleari	NUCL-EX, EXOTIC, GAMMA, PRISMA, LNS-STREAM, SPEME	LNL, LNS, GSI, GANIL
Astrofisica nucleare e ricerca interdisciplinare	ERNA, LUNA, ASFIN, NTOF, AEGIS	LNGS, LNS, CERN
<b>Fisica teorica</b>		
Stringhe e teoria dei campi		
Fenomenologia delle particelle		
Fisica adronica e nucleare		
Metodi matematici		
Astroparticelle e cosmologia		
Teoria dei campi e meccanica statistica		
<b>Ricerche tecnologiche e interdisciplinari</b>		
Interdisciplinare	Dosimetria, piani di trattamento con adroni, radiobiologia, tecniche avanzate di imaging (PET, RMN ad Alto Campo, X monocromatici), beni culturali, geofisica	LNL, LNS, LNF, LNGS, GSI, ISS, CNAO
Rivelatori	Rivelatori silicio ad integrazione verticale e di grande area, SiPM, rivelatori diamante, rivelatori di vertice per esperimenti alta energia e alta luminosità, rivelatori a nanotubi di carbonio.	LNL, LNS, LNF, LNGS, CERN, FBK, POLI MI, POLI TO
Elettronica	Elettronica di readout veloce, link seriali alta velocità	LNL, LNS, LNF, LNGS, POLI MI, POLI TO, FBK, POLI BA
Acceleratori	Acceleratori per adroterapia, FEL, accelerazione in plasmi alta densità, sorgenti di ioni ed elettroni ad alta brillantezza, acceleratori alla frontiera dell'energia e della luminosità, sorgente compton	LNL, LNS, LNF, GSI, CERN, GANIL, SLAC, BNL, RIKEN

Tab. 2.1: Principali filoni scientifici e luoghi di ricerca

Accanto ai filoni scientifici di competenza delle commissioni scientifiche nazionali, vanno menzionati i progetti strategici nei settori dell'Energia, della Medicina e delle Nuove Tecniche di Accelerazione ed i progetti speciali che dimostrano il crescente impegno dell'Ente nell'utilizzo e nel trasferimento delle conoscenze e delle tecnologie acquisite in campi trasversali a forte impatto socio-economico, quali la Medicina, i Beni Culturali e l'Ambiente, l'Energia.

### I LUOGHI DELLA RICERCA

L'attività di ricerca si svolge in Italia presso le Sezioni, i Gruppi collegati, i Laboratori nazionali e all'estero presso i più importanti laboratori stranieri o internazionali sedi di attività di ricerca analoghe.

### Le Sezioni e i Gruppi collegati

Le attività sperimentali nelle Sezioni e nei Gruppi collegati, tutte svolte in stretta collaborazione con il personale universitario associato all'INFN, normalmente riguardano la preparazione e la conduzione degli esperimenti presso i laboratori, nazionali o esteri, con particolare riguardo all'analisi e all'interpretazione dei dati sperimentali raccolti. Le Sezioni possono essere sede di esperimenti, normalmente basati su apparati di piccola mole, con un'importante eccezione: il caso dell'interferometro gravitazionale italo-francese VIRGO, inaugurato nell'estate 2003, a Cascina presso Pisa. Nel 2000 l'INFN e il CNRS francese hanno costituito il consorzio EGO – *European Gravitational Observatory* – con sede a Cascina, quale struttura per ospitare VIRGO e future attività nel campo della gravitazione. Le Sezioni e i Gruppi collegati, inoltre, svolgono sempre di più da qualche anno l'importante funzione di raccordo fra l'INFN e il territorio – tipicamente università, imprese ed enti pubblici o privati nelle corrispondenti regioni –, sia per quanto riguarda la ricerca fondamentale sia per quanto riguarda il trasferimento di conoscenze e di tecnologie nonché la diffusione della cultura scientifica. Le collaborazioni fra tutte le strutture si esplicano, anche attraverso i rispettivi servizi tecnici e amministrativi, nella cooperazione nell'ambito degli esperimenti comuni nonché nello scambio di esperienze tecniche e scientifiche e di gestione delle numerose tematiche generali quali l'igiene e la sicurezza sul lavoro, la formazione e le pari opportunità.

A titolo di esempio viene mostrata in figura 2.12 la partecipazione (evidenziata in rosso) delle strutture INFN alla sperimentazione all'LHC nei quattro maggiori esperimenti.

### I Laboratori Nazionali

I 4 laboratori nazionali LNL, LNGS, LNF, LNS rappresentano un'ossatura fondamentale per tutte le iniziative dell'INFN



Fig.2.12: In rosso, partecipazione delle strutture INFN alla sperimentazione a LHC in ATLAS, CMS, ALICE E LHCb.

ed in particolare ospitano infrastrutture e *facilities* messe a disposizione della comunità internazionale, come risulta anche dalla tabella 2.2.

I *Laboratori Nazionali di Frascati*, sin dalla loro istituzione nel 1959, sono dedicati principalmente alla fisica subnucleare, studiata in particolar modo mediante anelli d'annichilazione elettrone-positrone. AdA, la prima macchina al mondo di questo tipo, è stata concepita e sviluppata proprio a Frascati. Ad essa succedette ADONE, che per molti anni ha rappresentato la frontiera dell'energia per quel tipo di macchine, consentendo di ottenere le prime indicazioni dell'esistenza della carica di colore dei quark. ADONE è stata anche per diverso tempo l'unica sorgente di luce di sincrotrone in Italia. Il funzionamento di ADONE è terminato nel 1993. Nel 1997, al suo posto, è entrato in funzione l'anello d'annichilazione elettrone-positrone DAFNE, intensa sorgente di coppie di mesoni K, con energia totale di 1 GeV. Gli apparati sperimentali KLOE, FINUDA e DEAR/SIDDHARTA vi hanno studiato fino al 2010 rispettivamente la violazione della simmetria materia-antimateria, gli ipernuclei e gli atomi mesici. Dal 2000 al 2007 DAFNE ha operato a una luminosità senza precedenti alla sua energia di collisione. Negli anni 2008-2009 nei LNF, è stata sviluppata una tecnologia innovativa, denominata "schema di collisioni crab-waist", che ha dimostrato la possibilità di un aumento in luminosità di un fattore 4-5 ed è attualmente oggetto di studio anche per il progetto in corso del nuovo acceleratore SuperB. Dal 2011 riprenderà l'attività dell'esperimento KLOE che profitterà delle nuove prestazioni raggiunte dall'acceleratore. La macchina è anche un'interessante sorgente di luce di sincrotrone, in particolare nell'infrarosso. La divisione acceleratori del laboratorio è impegnata in due progetti internazionali di sviluppo di nuovi collisori lineari elettrone-positrone: l'ILC, l'International Linear Collider, e CLIC al CERN di Ginevra. In tale ambito di ricerche si situa il progetto SPARC, finanziato dal MIUR, che costituisce anche un importante passo verso lo sviluppo di tecniche innovative per la produzione di radiazione X, mediante *Free Electron Laser* (FEL). In connessione con SPARC, il progetto PLASMON-X fornirà una facility laser ad alta potenza per lo sviluppo di una tecnica innovativa per l'accelerazione ad alto gradiente in plasmilaser e produzione di raggi X monocromatici. Recentemente è stata approvata la costruzione del laboratorio FLAME (*Frascati Laser for Acceleration and Multidisciplinary Experiments*) vicino all'iniettore di SPARC. Il Laboratorio ospita anche NAUTILUS, un rivelatore ultracriogenico di onde gravitazionali. Una consistente frazione dei ricercatori del laboratorio conduce esperimenti in altri laboratori, in Italia e all'estero.

### La partecipazione degli utenti italiani e stranieri alle attività nei laboratori nazionali.

2009	A	B	B/A
LNF	439	190	43%
LNL	904	270	30%
LNGS	883	544	62%
LNS	365	117	32%
2008	A	B	B/A
LNF	570	225	39%
LNL	804	270	34%
LNGS	867	552	64%
LNS	240	102	43%
2007	A	B	B/A
LNF	561	219	39%
LNL	809	242	30%
LNGS	846	497	59%
LNS	198	82	41%

Tab. 2.2: Utenti totali (A) e stranieri (B) delle infrastrutture ai Laboratori Nazionali dell'INFN.

I *Laboratori Nazionali di Legnaro*, presso Padova, furono istituiti nel 1968 per lo studio della struttura e della dinamica dei nuclei atomici. Essi sono dotati di un acceleratore Tandem e, dal 1994, di un acceleratore lineare di ioni, ALPI, basato su tecnologie superconduttive. Tali acceleratori attraggono una vasta comunità nazionale ed europea di ricercatori che vi conducono studi sulle collisioni fra ioni. Nel corso dell'ultimo decennio, i Laboratori hanno registrato importanti sviluppi tecnologici, ad esempio nella costruzione di cavità superconduttive, nella radiobiologia, nella scienza dei materiali. Da alcuni anni il laboratorio, in collaborazione con altre istituzioni italiane e straniere, è impegnato nello sviluppo di tecniche di produzione di fasci intensi di protoni, mirati non solo alla realizzazione di una futura infrastruttura per esperimenti di fisica nucleare, ma anche d'applicazioni in altri campi. Tali sviluppi hanno portato all'approvazione, da parte dell'Istituto nel 2003, del progetto SPES, un acceleratore di protoni ad alta intensità, con energia di 40 MeV. Da citare ancora è IFMIF (*International Fusion Materials Irradiation Facility*), il progetto di una macchina per lo studio degli effetti dell'irraggiamento neutronico sui materiali di un reattore a fusione. Il laboratorio di Legnaro, assieme a quelli di Frascati e del Sud, partecipa alla realizzazione del progetto CNAO, Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica a Pavia. Il Laboratorio è anche sede per la preparazione d'esperimenti di fisica subnucleare e nucleare, condotti da gruppi INFN presso altri centri. Inoltre, esso ospita AURIGA, un rivelatore ultracriogenico di onde gravitazionali, che opera in coincidenza con analoghi rivelatori.

I *Laboratori Nazionali del Sud*, istituiti a Catania nel 1975,

sono dedicati alla fisica nucleare con fasci di ioni leggeri e pesanti. Essi sono dotati di un acceleratore Tandem e di un Ciclotrone superconduttore, in funzione dal 1994, in grado di accelerare ioni pesanti sino a energie di 100 MeV per nucleone. Il funzionamento del Ciclotrone è stato potenziato con la recente entrata in funzione di una sorgente di ioni, SERSE, con caratteristiche avanzate. L'attività sperimentale è rivolta allo studio delle collisioni tra ioni pesanti e si avvale di strumentazione d'avanguardia a livello internazionale, come quella costruita per gli esperimenti OUVERTURE e CHIMERA. È notevole la presenza di ricercatori stranieri. Nel 2002, il primo centro italiano di protonterapia per la cura dei tumori oculari, CATANA, basato sull'uso del fascio di protoni da 60 MeV del ciclotrone superconduttore, ha iniziato con successo il trattamento di pazienti, in collaborazione con i medici dell'Università di Catania. L'esperienza di CATANA costituisce la base per la futura costruzione di un centro dedicato, promosso dalla Regione Sicilia, e per la collaborazione dei laboratori alla costruzione del CNAO di Pavia. I laboratori hanno anche dato vita a un'importante attività applicativa delle tecniche nucleari ai Beni Culturali. Infine, da alcuni anni, i laboratori sono impegnati nel progetto NEMO, in vista della possibile realizzazione dell'osservatorio sottomarino europeo di neutrino-astronomia d'alta energia, nel sito a sud-est di Capo Passero. Il progetto NEMO è d'interesse anche per altre discipline e vede in particolare la partecipazione dell'INGV.

I *Laboratori Nazionali del Gran Sasso* (L'Aquila), costituiti da tre grandi sale sotterranee accessibili dall'omonimo tunnel autostradale, sono operativi dal 1988. L'assorbimento della radiazione cosmica dovuto alla spessa copertura di roccia, le grandi dimensioni e le notevoli infrastrutture di base ne fanno il più importante laboratorio al mondo per la rivelazione di segnali deboli o rari, d'interesse per la fisica astroparticellare, subnucleare e nucleare. Il tema scientifico di maggior rilievo nel futuro del laboratorio, frequentato da molte centinaia di ricercatori da tutto il mondo, è lo studio delle proprietà dei neutrini d'origine naturale o artificiale, in tutti i suoi aspetti: fisici, astrofisici e cosmologici. In tale ambito spicca il progetto CNGS (*CERN Neutrinos to Gran Sasso*), il cui primo fascio di neutrini muonici è arrivato nell'agosto 2006 ai Laboratori Nazionali del Gran Sasso dove gli esperimenti OPERA e ICARUS rivelano i neutrini in arrivo. OPERA ha rivelato in modo diretto nel 2010 il primo evento di oscillazione di un neutrino mu in un neutrino tau. Altri temi d'elevato interesse riguardano lo studio di processi rari di trasformazione di particelle e la ricerca diretta di materia oscura tramite gli esperimenti, CUORE, GERDA, DAMA, WARP, XENON. Nel 2010 è entrato in funzione ICARUS, un innovativo rivelatore

da 600 tonnellate di Argon liquido, tecnologia sviluppata da gruppi italiani. Un esperimento leader a livello mondiale nel settore delle oscillazioni di neutrino elettronico è BOREXINO che studia in tempo reale il flusso di neutrini solari. La sensibilità raggiunta dallo strumento è tale che nel 2010 ha pubblicato la prima chiara evidenza di neutrini provenienti dall'interno della Terra, i geoneutrini, prodotti da fenomeni naturali all'interno del nostro pianeta. È notevole anche l'interesse d'altre discipline per l'infrastruttura sotterranea.

### I principali centri di attività all'estero

La naturale e sistematica tendenza verso la concentrazione delle ricerche di fisica subnucleare e nucleare presso grandi centri internazionali, dotati di acceleratori di energia e intensità dei fasci di particelle sempre più elevate, ha gradualmente intensificato l'attività dei ricercatori italiani all'estero, a fronte della quale va considerata la notevole presenza di ricercatori stranieri nei Laboratori nazionali. Ambedue gli aspetti sono inquadrati nell'ambito di iniziative multilaterali di collaborazione scientifica tra enti di ricerca di Paesi diversi.

Il CERN, l'Organizzazione europea di fisica subnucleare e nucleare di Ginevra, fondato nel 1954, è oggi il più importante laboratorio al mondo di fisica delle particelle con acceleratori. L'Italia è tra i suoi maggiori Paesi membri e la partecipazione dei gruppi italiani è interamente coordinata dall'INFN. Nel novembre 2009 LHC è entrato in funzione con successo, dapprima con energia dei fasci di protoni pari a 450 GeV (miliardi di elettronvolt) e poi entro meno di un mese a 1180 GeV, risultando così già ora il più potente acceleratore mai costruito. All'inizio del 2010 l'energia dei fasci è stata innalzata a 3500 GeV (3.5 TeV) e presumibilmente entro il triennio all'energia di progetto pari a 7000 GeV (7 TeV) per un totale di energia nel sistema del centro di massa pari a 14 TeV. Gli esperimenti ALICE, ATLAS, CMS, LHCb si sono dimostrati fin da subito perfettamente pronti ed in grado di sfruttare l'enorme potenzialità scientifica di LHC. Proseguendo nella tendenza già manifestata nelle ricerche a LEP, il progetto LHC del CERN ha assunto caratteri marcatamente mondiali, in particolare per la forte presenza e il contributo di risorse di Stati Uniti e Giappone. Di gran rilievo è anche il progetto CNGS, il cui fascio di neutrini illumina le sale sotterranee dei Laboratori del Gran Sasso. Infine, in una prospettiva di lungo termine, il CERN è impegnato nello sviluppo di una tecnica innovativa per la realizzazione di CLIC, il Compact Linear Collider di fasci d'elettroni e positroni d'altissima energia.

Il laboratorio DESY (*Deutsches Elektronen-Synchrotron*) presso Amburgo, che a fine dicembre 2009 ha celebrato il 50-esimo anniversario dalla sua fondazione, è tra i



maggiori centri mondiali dotati di acceleratori di particelle. Il collisore positrone-protone HERA, a cui l'INFN ha contribuito con la costruzione di magneti superconduttori realizzati dall'industria italiana, dopo anni di funzionamento ha terminato il funzionamento a metà 2007. L'Istituto è stato impegnato su HERA in una rilevante partecipazione a esperimenti di fisica subnucleare e nucleare. Nel 2001, DESY ha terminato la progettazione di TESLA, un collisore lineare elettrone-positrone d'energia fino a 1 TeV, preparatore del futuro collisore internazionale ILC. Nello stesso tempo, lo sviluppo della tecnologia di TESLA, frutto del lavoro di una collaborazione internazionale, con il decisivo contributo dell'INFN, ha portato a quello di una nuova tecnica FEL (*Free*

*Electron Laser*), per la produzione di fasci di luce coerente caratterizzati da estrema brillantezza e definizione temporale, in preparazione della futura sorgente XFEL di raggi X ad alta brillantezza.

Il FERMILAB (*Fermi National Accelerator Laboratory*) presso Chicago, il più importante laboratorio statunitense, è sede del TEVATRON, il collisore protone-antiprotone di 2 TeV. La collaborazione CDF, con un'importante partecipazione italiana, ha colto nel 1994 un successo di rilevanza mondiale con la scoperta del quark top, la particella necessaria per completare la terza generazione di quark e leptoni. Il TEVATRON ha costituito la frontiera dell'energia della fisica

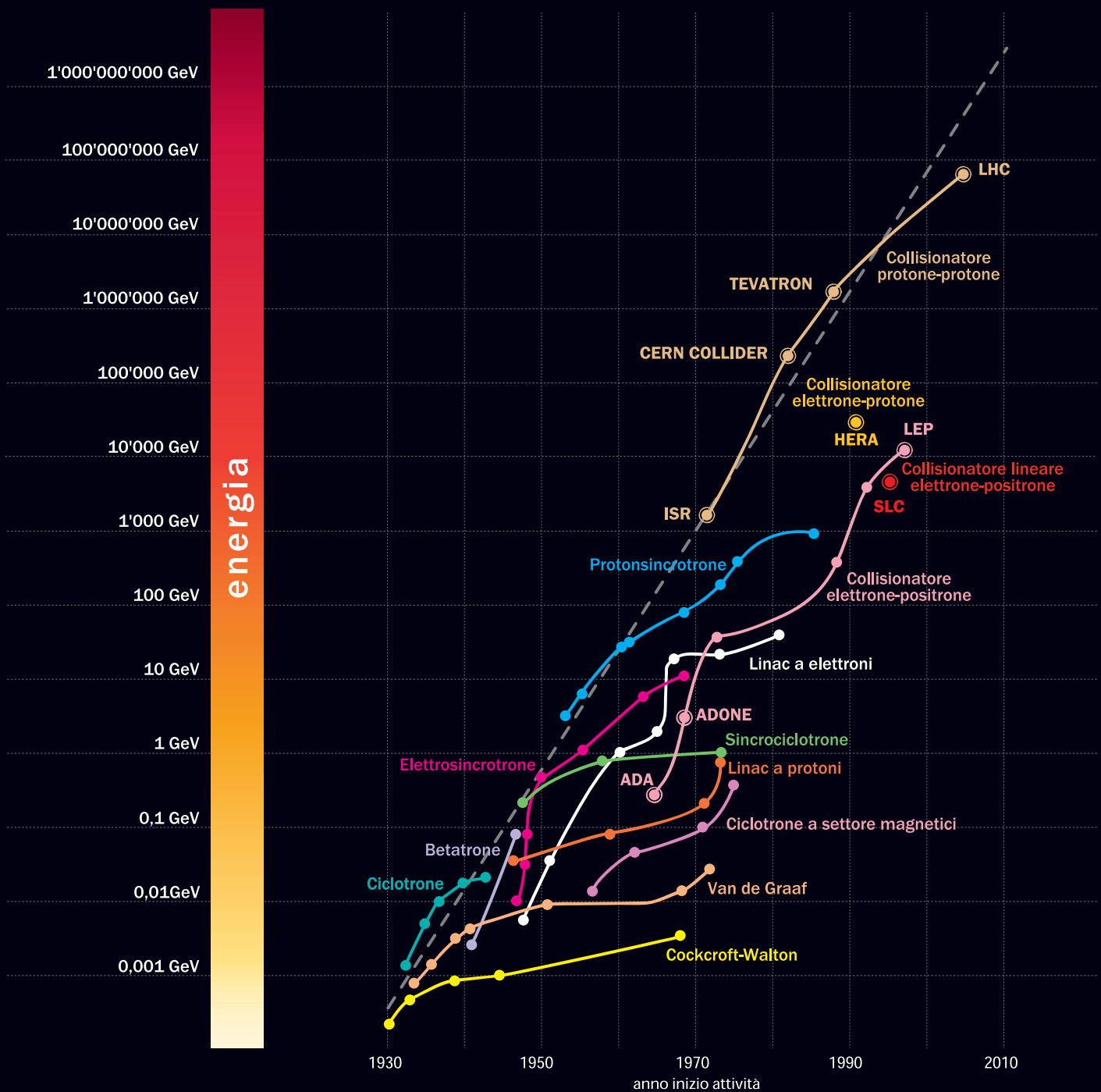


Fig. 2.13: Evoluzione della frontiera dell'energia per gli acceleratori di particelle.

subnucleare fino all'entrata in funzione di LHC, come si vede dal "diagramma di Livingstone" (figura 2.13).

Presso il laboratorio SLAC (*Stanford Linear Accelerator Centre*) in California il collisore elettrone-positrone PEP 2, copiosa sorgente di mesoni B ha terminato l'attività nel 2007 dopo anni di fruttuoso funzionamento; presso PEP2 l'esperimento BABAR ha svolto un ruolo di primo piano per lo studio della violazione della simmetria materia-antimateria nei decadimenti dei mesoni B<sup>0</sup>, osservata per la prima volta nel 2001 proprio dall'esperimento BABAR.

Il laboratorio ARGO (*Astrophysical Radiation Ground-based Observatory*) a YangBaJing in Tibet a 4300 m sul livello del mare, completato nel 2006, è frutto di una collaborazione internazionale Italia-Cina per lo studio della radiazione cosmica, in particolare raggi gamma, di altissima energia.

L'osservatorio AUGER (*Pierre Auger Cosmic Ray Observatory*) nella provincia di Mendoza in Argentina, vede coinvolto l'INFN negli studi sulle particelle cariche di altissima energia di origine cosmica.

Il Laboratorio TJNAF (*Thomas Jefferson National Accelerator Facility*) in Virginia vede l'INFN impegnato in diversi esperimenti dedicati allo studio delle collisioni su nuclei di elettroni e fotoni di alta energia.

Laboratorio ESRF (*European Synchrotron Radiation Facility*) a Grenoble è dotato di un fascio sviluppato dall'INFN dove sono studiate reazioni fotone-nucleo di alta energia.

## I PRINCIPALI RISULTATI SCIENTIFICI CONSEGUITI NEL 2010

I risultati scientifici più significativi ("highlight") conseguiti nell'ultimo anno del trascorso triennio riguardano molti settori di attività dell'Istituto. Si sintetizzano nel seguito, distinti per linee scientifiche, progetti e attività nei laboratori nazionali

### Fisica subnucleare

- Le prime analisi condotte dagli esperimenti che operano a LHC, a coronamento di una impresa ventennale: certamente l'highlight più straordinario del 2010.
- Il risultato sui limiti alla massa del bosone di Higgs ottenuto da CDF al Tevatron.
- Il risultato ottenuto da MEG che indica la possibilità dell'esistenza del decadimento di un muone in un elettrone e un fotone, che sarebbe un segnale di fisica al di là del Modello Standard.
- L'osservazione di nuovi fenomeni ("jet quenching") nelle collisioni ioni-ioni ad LHC che indicano manifestazioni

diverse della fisica adronica ad alte densità di materia ("quark-gluon plasma"), come nei primi istanti della vita dell'Universo.

### Fisica astro particellare

- BOREXINO, presso i Laboratori del Gran Sasso, ha misurato con precisione il flusso di neutrini provenienti dall'interno della Terra, aprendo una nuova tecnica sperimentale per studiare la composizione del nostro pianeta.
- OPERA, presso i Laboratori del Gran Sasso, ha presentato il primo evento al mondo corrispondente all'oscillazione di un neutrino mu in un neutrino tau.
- ICARUS, presso i Laboratori del Gran Sasso, ha rivelato le prime interazioni di neutrino con il dettaglio caratteristico di una camera a deriva in Argon Liquido.
- FERMI ha pubblicato una misura del flusso di elettroni e positroni nello spazio da pochi GeV di energia fino al TeV.
- Sono iniziati i lavori per la realizzazione del potenziamento dell' interferometro VIRGO a Cascina (Advanced Virgo), che prevede di raggiungere nel 2014 la sensibilità per la rivelazione delle onde gravitazionali da terra.

### Fisica nucleare

- Prima evidenza dell'effetto di nuclei alone negli isotopi ricchi di neutroni del Be basato sul confronto di misure realizzate ai LNS e al CERN ISOLDE.
- Risultati sulla molteplicità delle particelle cariche, sulle distribuzioni di impulso trasverso e sul rapporto di produzione protoni-antiprotoni per le collisione p-p alle energie nel centro di massa di 0.9, 2.36 e 7 TeV e sul flusso ellittico e la soppressione della produzione di particelle cariche ad alto impulso trasverso nelle collisioni centrali di nuclei di piombo all'energia di massa di 2.76 TeV nel sistema nucleone-nucleone ottenuti con il rivelatore ALICE.
- Prime misure di spettroscopia gamma con il rivelatore AGATA ai LNL accoppiato allo spettrometro PRISMA e ad altri rivelatori di particelle cariche.
- Misura di atomi kaonici di <sup>4</sup>He a LNF, di rilievo perché risolvono un problema aperto dovuto a precedenti risultati discordanti; inoltre, essi confermano chiaramente le predizioni della teoria esistente.

### Fisica teorica

- Intenso ed importante lavoro teorico in preparazione ai dati di LHC, in particolare algoritmi generali per calcoli NLO di jets di QCD a LHC
- Studio teorico dei risultati di PAMELA e FERMI sui positroni sia dal punto di vista di eventuale rivelazione indiretta di materia oscura sia per quanto riguarda la caratterizzazione di incertezze astrofisiche

- Studio di diversi scenari di inflazione cosmologica e dei loro possibili test dall'osservazione della radiazione di fondo cosmica del satellite Planck.
- Interpretazione di segnali di violazione di CP nei decadimenti del mesone B in termini di nuova fisica alla scala elettrodebole.

#### **Ricerche tecnologiche e interdisciplinari**

- XDXL, un esperimento per lo sviluppo di rivelatori al silicio di grande superficie (7x7 cm), ha ottenuto una risoluzione in energia che oggi rappresenta il migliore risultato a livello internazionale per rivelatori di queste dimensioni. Tali rivelatori presentano grande interesse anche nell'ambito delle attività legate ai futuri reattori per la produzione di energia nucleare.
- SOIPD ha realizzato un primo prototipo di rivelatore a pixel di silicio su substrato isolante in tecnologia CMOS. Tale rivelatore con pixel analogici e digitali è stato completamente caratterizzato. È stato così possibile per la prima volta studiare l'effetto di "back gating" che ha finora rappresentato la principale limitazione nell'utilizzo di questi materiali come rivelatori di particelle.
- SALAF ha sviluppato un prototipo di nuove cavità RF acceleranti in banda X ad onda stazionaria a 11.424 GHz in rame e molibdeno. È stato messo in evidenza un comportamento peggiore dal punto di vista della tensione di scarica per il molibdeno rispetto al rame, aprendo così una nuova strada per questo tipo di cavità verso la frontiera dei 100 MV/m. Alla luce di questi innovativi risultati anche il CERN ha deciso di seguire questa soluzione per le cavità di CLIC.
- L'esperimento PRIMA+ ha ottenuto prima immagine tomografica di un fantoccio, utilizzando il dispositivo di pCT.

#### **Attività nei Laboratori nazionali**

##### **A LNF**

- Sono stati completati il Laboratorio LIFE (Laboratorio Interdisciplinare Fotonici Elettronici) e il montaggio del LASER di potenza "FLAME" (*Frascati Laser for Acceleration and Multidisciplinary Experiment*);
- Nell'ambito del progetto SparC, nel 2010 sono stati ottenuti rilevanti risultati essendo stato realizzato con successo il primo esperimento di "seeding" in Europa su FEL, e essendo stata verificata per la prima volta la fattibilità di uno schema basato su "seeding, e cascade" con generazione di armoniche. In tale configurazione è stato ottenuto un segnale coerente in terza armonica a circa 67 nm con un fascio di elettroni a circa 150 MeV. Questi risultati si aggiungono quelli ottenuti nel 2009 quando è stato raggiunto il regime di auto amplificazione

coerente nel visibile, è stato osservato un significativo segnale di radiazione in terza armonica nel vicino UV, ed è stato osservato il regime di "velocity bunching" nella dinamica dei fasci di elettroni nel Linac.

- Sono state completate le linee di trasmissione della luce dal LASER alla camera d'interazione ed è stato messo in funzione il LASER limitandosi però, per il momento, a bassa potenza, un decimo di quella nominale. La sperimentazione è cominciata nel 2010 limitandosi ad esperimenti con la luce laser in gas rarefatti. Si sono fatte le prime accelerazioni di elettroni con la tecnica dell'auto iniezione delle onde di plasma.
- L'antenna gravitazionale "NAUTILUS" ha continuato l'osservazione del cosmo misurando il fondo di onde gravitazionali in collaborazione con le antenne gravitazionali negli altri laboratori nel mondo. L'antenna ha funzionato correttamente per 12 mesi.
- La Divisione Acceleratori e la Divisione Tecnica hanno attivamente partecipato al completamento del protosincrotrone del CNAO a Pavia e sono coinvolti nella fase di messa a punto e funzionamento dell'acceleratore.

##### **A LNGS**

- Il progetto CNGS è iniziato nel 2006 ed è operativo con regolarità dal 2008; esso consiste di un fascio artificiale di neutrini, tutti di tipo muonico, prodotto dall'acceleratore di protoni SPS del CERN e indirizzato verso i LNGS attraverso la crosta terrestre per una distanza di 732 km.
- L'esperimento OPERA che utilizza il fascio CNGS ha continuato a raccogliere dati e ha registrato 4246 eventi da interazioni di neutrino che si aggiungono ai circa 3700 del 2009 e ai 1700 del 2008. Nel maggio del 2010 OPERA ha pubblicato la prima evidenza al mondo di rivelazione diretta dell'oscillazione  $\nu_{\mu} \rightarrow \nu_{\tau}$  mostrando un evento in cui la particella  $\tau$  prodotta nella interazione di corrente carica del  $\nu_{\tau}$  decade in un adrone carico e la cinematica dell'evento è compatibile con il decadimento  $\tau \rightarrow \rho (\pi - \pi^0) \nu_{\tau}$ . L'evento scoperto è statisticamente in accordo con quanto era atteso nel campione di eventi finora analizzato, così come lo sono i 36 eventi con produzione di una particella dotata di "charm" finora identificati, che evidenziano l'alta efficienza dell'esperimento nella rivelazione di tracce a vita media corta e quindi la sua abilità nel centrare l'obiettivo di fornire l'evidenza sperimentale diretta dell'oscillazione di neutrini.
- L'altro esperimento dedicato al CNGS è ICARUS un innovativo apparato che consiste di circa 600 tonnellate di Argon liquefatto, alla temperatura di  $-186^{\circ}\text{C}$ . in grado di funzionare come uno straordinario rivelatore di particelle, permettendo una ricostruzione in 3D di

qualunque interazione o spostamento di particelle cariche all'interno del suo volume. ICARUS, è entrato in funzione in maggio 2010 registrando spettacolari eventi di interazione di neutrini del fascio CNGS. L'estrema radiopurezza del rivelatore BOREXINO (un vero record mondiale) ha consentito nel corso del 2010 di pubblicare l'importante risultato della prima misura di neutrini provenienti dall'interno della Terra (geoneutrini) con un'alta significanza statistica. Il loro studio ci consentirà di capire l'origine del calore prodotto dal nostro pianeta, la sua composizione e la sua origine e i meccanismi di trasporto alla base dei fenomeni vulcanici e dei movimenti tettonici. È stata inoltre pubblicata una misura dei neutrini solari del  $^8\text{B}$  con una soglia di 3 Mev che si aggiunge alle precedenti misure del flusso di neutrino dal  $^7\text{Be}$ . È quindi la prima volta che nello stesso esperimento si misura la probabilità di oscillazione dei neutrini sia nella regione dominata dall'effetto materia che nella zona di transizione verso le oscillazioni nel vuoto.

- L'esperimento GERDA nel corso del 2010 ha completato la costruzione del rivelatore con il riempimento dello schermo attivo dei muoni con acqua ultrapura ed è iniziato il run tecnico con germani non arricchiti che consente la valutazione di tutte le sorgenti di fondo per la ricerca del doppio decadimento beta senza neutrini
- Nel corso del 2010 sono stati consegnati nel laboratorio ulteriori 4 tonnellate di piombo antico romano a bassa radioattività, proveniente da una nave affondata al largo della Sardegna, che sarà utilizzato per la schermatura dell'apparato CUORE.
- Sono stati pubblicati i risultati, indipendenti da modelli, ottenuti in due ulteriori cicli annuali da DAMA/LIBRA circa la presenza di particelle di Materia Oscura nell'alone galattico. Un nuovo miglioramento di tale apparato è in completamento al fine di abbassare ulteriormente la soglia energetica software dell'esperimento.
- Il rivelatore di XENON 100 litri è entrato in funzione ed ha raccolto dati per vari mesi, la cui analisi è in corso. Undici giorni di dati presi a fine 2009 sono stati analizzati e pubblicati dimostrando le straordinarie prestazioni del rivelatore dal punto di vista del fondo radioattivo.
- L'esperimento ERMES che studia radionuclidi cosmogenici e primordiali in matrici solide e fluide all'interno dei LNGS nel corso del 2010 ha proseguito le analisi e gli studi sui campioni di acqua prelevati nei vari siti del laboratorio sotterraneo allo scopo di indagare ulteriormente sulle variazioni anomale della concentrazione di attività di uranio in acqua, osservate nel corso del 2009 e associabili con i processi geodinamici dell'evento sismico aquilano.

#### A LNL

- È iniziata la sperimentazione con il nuovo rivelatore gamma ad alta risoluzione, il cosiddetto Dimostratore di AGATA. Questo rivelatore, realizzato da un consorzio di numerosi laboratori europei e con capacità di "tracking" di raggi gamma, ha caratteristiche di efficienza, localizzazione dell'interazione e capacità risolutiva di gran lunga superiori a quelle degli apparati di precedente generazione.
- È stata completata la messa a punto dello spettrometro a tempo di volo "RFD". L'apparato, atto alla selezione degli ioni prodotti in reazioni di fusione-evaporazione, è stato sviluppato e finanziato dall'Istituto di Fisica Nucleare di Cracovia in collaborazione con i LNL. Le misure effettuate hanno avuto come obiettivo lo studio della vita media degli stati eccitati di nuclei speculari prossimi alla "drip line" di protone.
- Nell'ambito del progetto Fazia sono stati condotti con successo i test dei primi prototipi di rivelatori al silicio "*neutron doped*" in grado di fornire una discriminazione in massa degli ioni sulla base della forma dei segnali. Tale progetto, parte della "*preparatory phase*" di Spiral2, ha come obiettivo studi di termodinamica nucleare in reazioni con fasci esotici.
- Per il progetto SPES sono state definite le caratteristiche del Ciclotrone ed ne è stata completata la procedura di acquisto. È in corso la procedura per la realizzazione dell'edificio che dovrà contenere la macchina, mentre è stato installato il Front-End della facility ISOL completo di bersaglio, sorgente a ionizzazione superficiale, estrattore e prima parte di trasferimento del fascio a 30 keV.
- Nell'ambito della fisica degli acceleratori si è completata l'installazione della nuova sorgente ECR dell'iniettore PIAVE. Tale apparato, attualmente operativo, permette di incrementare l'intensità dei fasci del complesso Piave-Alpi di almeno un ordine di grandezza rispetto alla precedente sorgente.
- Si è proceduto con l'incremento in potenza delle cavità di basso beta di Alpi e si sono aggiunte quattro ulteriori cavità acceleranti al sistema.
- Nell'ambito del progetto IFMIF, il cui accordo è stato recentemente approvato dall'INFN, è stato realizzato il prototipo del RFQ del progetto IFMIF ed è stata completata la lavorazione al CERN dei sei moduli del RFQ del progetto alta intensità per la realizzazione di una sorgente di irraggiamento di neutroni unica in Italia.
- È stato definitivamente approvato il programma NBTF, che prevede la realizzazione di un complesso accelerante per lo studio e l'ottimizzazione di un fascio di deutoni da iniettare nel reattore del progetto internazionale ITER per

la fusione. Il complesso vede come attore principale il consorzio RFX, cui partecipa l'INFN e che si avvale delle competenze presenti nel laboratorio.

#### A LNS

I due acceleratori, operativi ormai da diversi anni, rappresentano le infrastrutture intorno alle quali si svolge gran parte delle attività sperimentali dei LNS nel campo della fisica nucleare di base e negli ambiti applicativi e multidisciplinari collegati. L'acceleratore Tandem SMP13 è in grado di produrre fasci di ioni ad energie che vanno dai pochi MeV fino ad alcune centinaia di MeV, con le caratteristiche di elevata risoluzione energetica e affidabile stabilità che sono tipiche degli acceleratori elettrostatici. Il Ciclotrone Superconduttore è uno dei pochissimi acceleratori europei oggi in grado di fornire fasci ionici ad energie di diverse decine di MeV/nucleone, le cosiddette energie di Fermi che coprono una regione energetica di particolare interesse per quanto riguarda il comportamento della materia nucleare. Insieme alla gran varietà di fasci di elementi presenti in natura (fasci stabili) le due macchine possono anche produrre fasci di elementi radioattivi, altamente instabili e quindi non presenti in natura. Nel corso del triennio 2008-2010 i due acceleratori dei LNS hanno fornito fasci all'utenza per un totale di circa 15.150 ore, di cui 7.450 ore di fasci accelerati dal Ciclotrone e 7.700 ore di fascio accelerato dal Tandem. I fasci sono stati consegnati agli utenti per esperimenti di fisica nucleare fondamentale ed applicata (beni culturali, fisica dei materiali, radiobiologia, ecc.), secondo le indicazioni del Comitato Scientifico dei LNS, e ad enti esterni in base a convenzioni e contratti di ricerca stipulati con tale enti.

Di grande impatto sociale è l'utilizzo del fascio di protoni del CS per la terapia del melanoma oculare (progetto CATANA) nell'ambito della Convenzione stipulata tra l'INFN e l'Azienda Policlinico dell'Università di Catania. Oggi il sistema è ampiamente collaudato ed è funzionante a regime, permettendo ai LNS di rappresentare il primo, e a tutt'oggi unico, centro italiano nel quale i fasci ionici vengono utilizzati a scopi terapeutici. Nello scorso triennio sono stati sottoposti alla terapia 70 pazienti, portando il numero totale di casi trattati dall'inizio dell'attività intorno a 211.

#### Al CNAF

Il 2010 ha rappresentato il primo lungo periodo di funzionamento a regime degli impianti completati nel corso dell'anno precedente. I lavori infrastrutturali hanno portato la potenza elettrica gestibile in sala a 5 MWatt e la potenza frigorifera a 2 MWatt, con una capacità di generazione continua di 4.8 MWatt. L'esperienza acquisita nel 2010 ha confermato che è stato raggiunto l'obiettivo chiave

del progetto, ovvero la completa ridondanza di tutte le componenti dell'infrastruttura, al fine di garantire la massima affidabilità e disponibilità dei servizi, anche in caso di guasti. Anche il sistema completo di supervisione e controllo ha funzionato come previsto permettendo la gestione automatica dell'impianto.

Il CNAF ha continuato ad essere il punto di riferimento per l'operatività dell'infrastruttura Grid di produzione dell'INFN, Italiana (IGI) ed Europea all'interno dei progetti EGEE III e WLCG. Per questi il CNAF ha continuato a supportare il Regional Operation Centre della Federazione Italiana che è anche uno dei Grid Operation Centre che operano l'infrastruttura europea di EGEE III e di LCG.

Nel corso del 2010 è stato ulteriormente consolidato il sistema di raccolta e visualizzazione dei dati di accounting per computing e storage forniti dai siti italiani per la WLCG. Nel 2010 il CNAF/R&S ha continuato la sua attività nel settore del calcolo distribuito e la sua partecipazione a progetti nazionali, europei e internazionali di Grid (INFN-GRID, EGEE-III, ETICS II OGF EU, WLCG...). In particolare sono stati avviati due nuovi progetti europei (EMI e EGI/Inspire) con l'obiettivo rispettivamente di garantire la manutenibilità, l'interoperabilità e lo sviluppo del middleware utilizzato in Europa e di curare gli aspetti operativi dell'infrastruttura GRID europea ora funzionante a pieno regime per gli esperimenti al LHC.

#### Calcolo e reti

Per sopperire alle necessità di calcolo della fisica teorica in varie linee di ricerca, che riguardano interazioni fondamentali, astrofisica teorica, meccanica statistica, fluidodinamica turbolenta, sorgenti di onde gravitazionali, ecc., e che richiedono oggi la disponibilità di risorse di calcolo dell'ordine di alcuni Teraflops, è stato realizzato nel 2010 un nuovo cluster per il calcolo parallelo, basato sull'impiego di processori commodity interconnessi attraverso una rete di comunicazione a bassa latenza (Infiniband).

#### Progetti strategici

##### INFN-MED:

Nel 2010 le realizzazioni di maggiore importanza sono state il Technical Design Report della sorgente di ioni MISHA e l'avvio della procedura di trasferimento tecnologico dello strumento eco-scintigrafico ECORAD.

##### INFN-E:

Per quanto riguarda la Fisica del reattore, in particolare il contributo dell'INFN a ITER, nel 2010 è stato completato il progetto della sorgente di ioni negativi che dovrà essere montata ai LNL e lo studio della dinamica del fascio di ioni; nell'ambito del contributo a IFMIF, nel 2010 sono state



realizzate due cavità di test in rame ed è stato messo a punto il loro piano di produzione. I campi elettrici sono stati testati per la conformità con le specifiche di progetto su un prototipo di alluminio a dimensioni reali.

#### INFN-NTA:

- Sono continuati gli studi sui Damping Ring, che i relativi test su DAFNE hanno portato ad una esperienza riconosciuta in tutto il mondo.
- I magneti dipolari superconduttivi curvi, ritenuti improponibili fino al progetto e sperimentazione lanciato in NTA, sono ora una soluzione di riferimento: il prototipo messo a punto da DISCORAP (con la collaborazione di Ansaldo) nel 2011 sarà sottoposto a test risolutivi per poter proporre la loro realizzazione su scala industriale.
- Nel 2010, presso i LNF, sono state ottenute le prime accelerazioni mediante interazione laser-plasma. L'attività del complesso Flame (laser di alta potenza) – SPARC (iniettore a RF di alta brillantezza) entrerà nei prossimi tre anni nella piena fase sperimentale. L'utilizzazione di questa strumentazione integrata, iniettore RF-laser (di assoluto interesse internazionale), consentirà di produrre altissimi gradienti di accelerazione, e ci si attende che possa aprire la strada ad una nuova era nell'accelerazione di particelle elementari.
- Lo sviluppo del progetto SuperB sta procedendo speditamente, a conferma del fatto che esso rappresenta un'attività di importanza strategica per l'INFN e per la sua collocazione in campo internazionale.

#### Progetti speciali

##### APE:

È stato finalizzato lo sviluppo della nuova generazione di apeNET denominata apeNET+; l'INFN si propone di realizzare, una piattaforma parallela scalabile al PetaFlops, basata su meccanica commerciale e processori commodities Intel, accelerata attraverso GPU (*Graphic Processing Unit*) di ultima generazione ed interconnessa dal network apeNET+.

##### SPARC/SPARX:

Nel 2010 sono stati ottenuti rilevanti risultati avendo realizzato con successo il primo esperimento di "seeding" in Europa su FEL, e essendo stata verificata per la prima volta la fattibilità di uno schema basato su "seeding, e cascade" con generazione di armoniche. In tale configurazione è stato ottenuto un segnale coerente in terza armonica a circa 67 nm con un fascio di elettroni a circa 150 MeV. Questi risultati si aggiungono quelli ottenuti nel 2009 quando è stato raggiunto il regime di auto amplificazione coerente nel visibile, è stato osservato un significativo segnale di radiazione in terza

armonica nel vicino UV, ed è stato osservato il regime di "velocity bunching" nella dinamica dei fasci di elettroni nel Linac.

##### SPES:

- è stata completata la gara e firmato il contratto per l'acquisizione del ciclotrone.
- è entrato in funzione, presso i Laboratori Nazionali di Legnaro, il sistema di Front-End ISOL e si sono iniziati i test di caratterizzazione del sistema bersaglio-sorgente.
- si sono sviluppate le tecniche di produzione dei carburi e in particolare del carburo di Uranio.
- è stata progettata la linea di trasferimento e selezione ad alta risoluzione dei fasci instabili.
- è stato organizzato un secondo workshop, a carattere internazionale (LNL, 15-19 Novembre 2010) sulla fisica con i fasci di SPES.

##### GRID:

- è stata creata la nuova organizzazione legale EGI.eu (*European Grid Initiative*) di cui sono stakeholders tutte le NGI (*National Grid Infrastructures*) europee.
- si è concluso con successo il progetto EGEE III (36 MEuro) dove l'Italia è stato il partner maggiore dopo il CERN, che ha continuato il processo di consolidamento ed espansione dell'e-infrastruttura di produzione europea fino ad includere più di 300 centri di calcolo con più di 120.000 processori e 50 Petabyte di storage.
- Le *National Grid Initiatives* hanno dato il via a maggio 2010 al nuovo progetto Europeo EGI InSPIRE (32 MEuro), coordinato da EGI.eu, che continuerà a sostenere l'evoluzione della Grid europea nei prossimi anni.
- è stata consolidata l'infrastruttura GRID dell'INFN (Tier1, Tier2, Tier3) sia per garantire il calcolo a LHC (WLCG-*World-wide LHC Computing GRID*) che l'analisi dei dati degli esperimenti in corso come Babar a SLAC, CDF al Fermilab. Nel 2010 sono iniziate le attività di analisi dei dati raccolti dagli esperimenti a LHC che hanno dimostrato la grande stabilità robustezza e le notevoli prestazioni dell'infrastruttura grid di WLCG basata su EGI e IGI.

##### SuperB-TDR:

- è iniziata l'attività per la preparazione del *Technical Design Report (TDR)*.
- è stato costituito un *Project OFFICE* con l'incarico di preparare il TDR.
- sono stati preparati i documenti intermedi su fisica, rivelatore ed acceleratore prima della pubblicazione del TDR.
- sono stati firmati Memorandum di intesa con il Canada, la Francia, la Russia e gli Stati Uniti, con l'impegno di

partecipare congiuntamente alla attività di R&D per il completamento del TDR.

#### *ELN:*

È da segnalare l'attività di disseminazione e diffusione della cultura scientifica attraverso l'utilizzo di un rivelatore MRPC (*Multigap Resistive Plate Chamber*) - sviluppato nell'ambito dell'esperimento ALICE - con il quale è stata ottenuta una risoluzione temporale di soli 20 ps: un record mondiale.

#### **Progetti europei**

È stato recentemente approvato il progetto AIDA per R&D sui rivelatori per le nuove macchine acceleratrici, in particolare per il previsto upgrade in luminosità di LHC.

#### **Progetti congiunti con altri Enti**

##### *Laboratorio LABEC di Sesto Fiorentino (Firenze) :*

Nell'ultimo anno, uno sviluppo molto importante al LABEC ha riguardato l'uso dell'AMS (*Accelerator Mass Spectrometry*) in problemi ambientali, in particolare la misura della concentrazione di  $^{14}\text{C}$  nel particolato atmosferico. Di recente all'interno del LABEC si sono sviluppate anche strumentazioni portatili altamente competitive per la diagnostica dei Beni Culturali, per venire incontro all'esigenza che spesso si presenta di analizzare opere inamovibili, ad esempio gli affreschi.

##### *Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica (CNAO):*

Con l'inizio del 2010 è stata avviata la fase di accumulazione ed accelerazione dei fasci nel sincrotrone ed a seguire la loro estrazione e trasporto su almeno una delle tre linee di trasporto che permettono di guidare le particelle nelle sale di trattamento dove i pazienti attenderanno per essere irraggiati. Nell'ottobre del 2010 un primo fascio di protoni è stato accelerato fino all'energia minima di estrazione, 60 MeV, e successivamente fino a quella massima di progetto, 250 MeV. A seguire, i fasci sono stati estratti dal sincrotrone e il 26 ottobre il primo fascio di  $\text{H}^+$  veniva trasportato e misurato nella prima delle tre sale di trattamento.

##### *Galileo Galilei Institute for Theoretical Physics (GGI) :*

È continuata l'attività di organizzazione di workshop avanzati di fisica teorica (tipicamente tre ogni anno) soprattutto nel settore della fisica delle particelle.

##### *Centro Enrico Fermi per il progetto EEE (Extreme Energy Events):*

È in corso con il coinvolgimento di cento Scuole l'estensione della ricerca di coincidenze, attese e non, di grandi sciami cosmici non solo tra questi siti, ma anche tra loro e siti

lontani, in sinergia con analoghe stazioni installate in Cina, Russia, USA e Australia.

##### *Fondazione Ettore Majorana e Centro di Cultura Scientifica (FEMCCS) di Erice:*

È proseguita, tra le numerose iniziative scientifiche, l'intensa attività delle 123 scuole post-universitarie avanzate, la più antica delle quali è quella di Fisica Subnucleare.

##### *Fondazione Bruno Kessler (FBK) :*

Un esempio significativo dei risultati della collaborazione con l'INFN, sono i fotomoltiplicatori di silicio (SiPm); questi interessantissimi sensori stanno conoscendo, a solo tre anni dall'inizio dello sviluppo, un successo internazionale. L'avvio di uno spin-off da cui l'INFN trarrà proventi sotto forma di royalty ha avuto luogo nel corso del 2010 .

##### *Consortium GARR:*

Anche nel 2010 i servizi relativi ad una efficiente connessione telematica tra le proprie sedi (laboratori e sezioni) e da e verso i laboratori internazionali, fra cui il CERN, sono stati assicurati dal Consortium GARR di cui l'INFN è socio fondatore.

#### **LA VALUTAZIONE INTERNA**

Fin dal 1997 l'Istituto ha affidato la valutazione complessiva delle proprie attività al giudizio di un Comitato di Valutazione Internazionale (CVI), che redige un rapporto annuale sulla ricerca dell'INFN e fornisce raccomandazioni atte a migliorarne la *performance* globale. Il comitato è composto da sette esperti internazionali, inclusi un membro proveniente dal mondo dell'economia e uno dal mondo industriale.

All'incontro annuale di più giorni del CVI con il management dell'Istituto prende parte anche il Coordinatore dei Gruppi di Lavoro sulla Valutazione (GLV), istituiti nel 2000, che hanno il compito di istruire il processo di autovalutazione secondo i criteri raccomandati dal Ministero attraverso il Comitato di Indirizzo per la Valutazione della Ricerca (CIVR).

Nonostante alcuni parametri utilizzati nella VTR non siano stati in grado di cogliere in pieno le caratteristiche di internazionalizzazione delle ricerche dell'INFN, la forza e la dimensione delle stesse hanno trovato riscontro in altri indicatori, facendo sì che l'Ente si sia collocato al primo posto tra gli EPR dell'Area 02 – Fisica.

Secondo le intenzioni, il CIVR avrebbe dovuto evolvere in una struttura più articolata che prendesse in carico i successivi esercizi di valutazione. Tale struttura, col profilo

di Agenzia (ANVUR, Agenzia Nazionale per la Valutazione dell'Università e della Ricerca), istituita con L. 24 novembre 2006 n. 286, accorperà in sé le funzioni del CNVSR (che valuta le università) e il CIVR (che valuta la ricerca). Il regolamento sulla struttura e il funzionamento dell'ANVUR è stato approvato dal Consiglio dei Ministri il 24 luglio 2009.

L'attività dei Gruppi di Valutazione (GLV) si è quindi concentrata sulla selezione dei prodotti per una futura valutazione nazionale e sulla preparazione della relazione annuale al Comitato di Valutazione Internazionale (CVI) che come di consueto stila il Rapporto di Valutazione dell'Ente.

La pre-selezione delle pubblicazioni, che costituiscono il nucleo della produttività scientifica dell'Ente, è stata effettuata nell'ipotesi che il prossimo esercizio copra un arco temporale assai maggiore del primo (probabilmente 5 anni). Per questo indicatore è stato rilevato un andamento costante rispetto agli anni passati e in alcuni settori anche una crescita, per quanto riguarda le pubblicazioni su riviste internazionali. Al CVI sono stati anche riassunti i principali risultati in campo scientifico e sull'impatto socio-economico ed interdisciplinare, con particolare attenzione agli elementi nuovi emersi nel corso dell'anno.

La valutazione complessiva dell'Istituto si attesta su livelli di eccellenza sia dal punto di vista della produttività scientifica e della continuità dell'impatto delle ricerche sia per quanto riguarda il livello di internazionalizzazione (collaborazioni, *leadership*, ecc.). L'INFN si confronta bene con le altre nazioni europee più avanzate, a conferma del ruolo di primaria importanza nel panorama internazionale.

Dopo la Valutazione Triennale della Ricerca (VTR 2001-2003), il 2010 segna un passo molto atteso verso un esercizio ministeriale più complesso ed esigente, che copre il quinquennio 2004-2008 (Valutazione Quinquennale della Ricerca, VQR). L'INFN, tramite gli strumenti di valutazione interna sopra elencati, sta procedendo alla preparazione del materiale richiesto. Va ricordato in questo contesto che alcuni parametri presenti nelle Linee Guida per la VQR si adattano difficilmente alla natura delle ricerche condotte dall'INFN e al suo modus operandi: si auspica una parziale revisione delle richieste stesse, in modo da produrre una reale valutazione oggettiva dell'Ente.

Come membro dell'European Science Foundation (ESF), l'Istituto è anche impegnato in prima linea nello studio dei processi di standardizzazione delle procedure di valutazione, da riguardare nel contesto dello Spazio Europeo della Ricerca (ERA).

## 2.3 L'IMPATTO SOCIO-ECONOMICO E IL TRASFERIMENTO TECNOLOGICO

### LE INIZIATIVE DI TRASFERIMENTO TECNOLOGICO

L'Istituto sta portando a termine la ridefinizione del quadro regolamentare interno sulla materia della proprietà intellettuale e del trasferimento tecnologico. Nel corso del 2010 il gruppo di lavoro composto da rappresentanti delle varie anime dell'Istituto (direttori di sezione, responsabili di esperimenti e progetti speciali, universitari associati alle attività dell'Istituto), e che ha definito nel corso dell'anno appena trascorso proposte regolamentari al riguardo, si è consolidato in un Comitato per il Trasferimento Tecnologico con il compito di promuovere e coordinare tutte le iniziative necessarie alla realizzazione degli obiettivi definiti sulla materia dal vigente Regolamento Generale dell'INFN, nonché dai più specifici Regolamenti di settore.

È da sottolineare che la ricerca dell'Istituto è contraddistinta da aspetti e presupposti che favoriscono il processo di trasferimento di conoscenza e tecnologia verso discipline differenti e verso il mondo produttivo:

- Il livello di complessità delle attività sperimentali è tale che la gran parte degli apparati e delle tecnologie sono sviluppati dagli stessi ricercatori, superando i limiti del *know-how* pre-esistente. Ciò si applica ai sensori e rivelatori, ma anche alla microelettronica, alle tecniche di accelerazione di particelle, all'engineering di sistemi complessi e al software. In termini generali, per perseguire i propri fini scientifici, i ricercatori sviluppano strumenti e metodi innovativi ed originali.
- Gli esperimenti sono imprese internazionali, sviluppate in grandi collaborazioni. Di conseguenza, i ricercatori hanno una naturale attitudine allo sviluppo ed all'impiego di tecnologie con caratteristiche di novità e di unicità e naturalmente al "lavoro di squadra", su base competitiva ma collaborativa e dove l'individualità viene valorizzata.
- Gli esperimenti richiedono impegni internazionali, investimenti considerevoli e, sovente, produzioni quantitativamente e qualitativamente significative a livello industriale. Ciò implica, da parte delle aziende fornitrici, innovazione di prodotti o servizi e una interazione frequente e costruttiva con i ricercatori.

Su questa base, si sta definendo e implementando una strategia di trasferimento di tecnologia e conoscenza secondo un modello in cui Istituto e imprese o altre istituzioni conducono azioni di ricerca collaborativa volte all'innovazione di prodotto tramite consorzi, Laboratori congiunti di sviluppo, attività in conto terzi ed eventualmente aziende di nuova creazione (*spin-off company*).

Ciò è coerente anche con la valorizzazione del fisico come

figura professionale in grado di inserirsi nel mondo produttivo e nella società grazie alla sua formazione scientifica di base, alle sue competenze specifiche e alla sua capacità di porre e risolvere problemi negli svariati settori applicativi (ad es. medicina, sanità, beni culturali, ambiente, energia).

Le azioni alla base del processo possono essere schematizzate come segue:

1. Definizione della normativa inerente le attività svolte in conto terzi, la valorizzazione e gestione della Proprietà Intellettuale (pregressa e risultante), i meccanismi di incentivazione al personale e di partecipazione ai progetti collaborativi, la creazione e partecipazione dell'Istituto e dei suoi dipendenti e collaboratori ad aziende *spin-off*;
2. Attività ricognitiva e formativa presso ogni struttura dell'Istituto, per di organizzare e strutturare il l'offerta collaborativa di strutture e tecnologie e per promuovere le azioni di trasferimento di tecnologia e conoscenza;
3. Attività implementativa, con enfasi sulla ricerca collaborativa che origini dalla proprietà intellettuale, dalle infrastrutture ed attrezzature dell'Istituto;
4. Analisi e partecipazione ai programmi comunitari, nazionali e regionali di sostegno all'innovazione;
5. Implementazione di schemi per promuovere lo scambio di personale tra Istituto e imprese;
6. Analisi dell'impatto sul mondo produttivo via modelli macro-economici;
7. Analisi dell'impatto sulla società analizzando la mobilità e professionalità del capitale umano formato all'interno dell'Istituto;
8. Sinergia con le attività della comunità internazionale, ad oggi coordinate dal Technology Transfer Network dei paesi membri del CERN;
9. Adozione di una metrica per la valutazione dell'efficienza ed efficacia del processo.

#### **IL CONTO TERZI**

È all'approvazione dei competenti Uffici ministeriali il Regolamento per la ripartizione dei compensi derivanti dalle attività in favore di terzi, come previsto dall'art. 19 del CCNL 2002-2005, relativo al personale del comparto degli enti pubblici di ricerca. L'INFN era già dotato di un Regolamento per la prestazione di attività e servizi a favore di terzi, pubblicato nella GU n. 124 del 30/5/2006, questo rinviava al testo ora in corso di approvazione la definizione dei criteri per la ripartizione e l'assegnazione al fondo di incentivazione del personale di una quota dei corrispettivi derivanti da tali attività. In tale testo è stato proposto di assegnare al predetto fondo una percentuale degli utili, dedotti tutti gli oneri diretti

e indiretti, e di prevedere alcune limitazioni sull'impegno di tempo massimo che ciascun dipendente può investire in questo genere di attività, che si svolgono comunque durante l'orario di lavoro.

#### **GLI SPIN-OFF**

Nell'ambito delle finalità istituzionali volte alla promozione del trasferimento delle conoscenze e delle tecnologie acquisite, l'Istituto si è dotato di un regolamento che disciplini gli spin-off, ovvero la costituzione di società di capitali (imprese), aventi come scopo sociale la produzione di beni o la fornitura di servizi derivanti in tutto o in parte dall'utilizzazione in contesti innovativi dei risultati ottenuti nell'ambito delle ricerche dell'INFN.

Con il regolamento approvato dal Consiglio Direttivo dell'Istituto a settembre 2010 e approvato con provvedimento del 26 gennaio 2011 dal Ministero, si è disciplinata la procedura autorizzativa che deve essere seguita dal personale, sia dipendente che associato, interessato a promuovere la costituzione di realtà imprenditoriali per la produzione di beni o la fornitura di servizi derivanti in tutto o in parte dall'utilizzazione in contesti innovativi dei risultati ottenuti nell'ambito delle ricerche dell'INFN. Sono state previste differenti forme di collaborazione che l'INFN può prestare alla costituenda società: dal mero conferimento in licenza di conoscenze, con le cautele necessarie a evitare pregiudizi o conflitti d'interesse con le attività istituzionali dell'Ente, fino alla eventuale partecipazione al capitale sociale in qualità di socio. Questo accordo con il Decreto Legislativo 27 luglio 1999, n. 297, contenente il "Riordino della disciplina e snellimento delle procedure per il sostegno della ricerca scientifica e tecnologica, per la diffusione delle tecnologie, per la mobilità dei ricercatori" nonché dal suo regolamento attuativo, contenuto nel D.MIUR 8 agosto 2000 n. 593 recante "Modalità procedurali per la concessione delle agevolazioni previste dal decreto legislativo 27 luglio 1999, n. 297".

#### **I BREVETTI E LA PROPRIETÀ INTELLETTUALE**

A completamento del processo di revisione della disciplina interna in materia si sta procedendo ad un riesame del Regolamento per la valorizzazione, lo sviluppo e l'applicazione delle conoscenze dell'INFN (pubblicato nella GU n. 45 del 24/2/2004) sia per adeguarlo alla sopravvenuta disciplina interna e statutale, sia per renderlo meglio rispondente ai sempre differenti e mutevoli contesti sociali ed imprenditoriali cui l'INFN è chiamato a confrontarsi.

Con l'auspicio di incrementare il numero di brevetti senza svilirne la qualità e le potenzialità commerciali, particolare attenzione viene prestata ai processi di brevettazione delle

conoscenze sviluppate all'interno delle attività istituzionali dell'Ente. L'INFN è infatti attualmente titolare di 7 brevetti, di cui 4 in comproprietà con altri Enti pubblici o privati stranieri. Tutti i brevetti trovano tutela in Italia, uno anche in Francia, uno in Europa, tre godono di una protezione attraverso un brevetto internazionale, detto PCT (*Patent Cooperation Treaty*). Lo sfruttamento economico dei brevetti attraverso licenze commerciali produce annualmente un utile netto di 25.000 Euro all'anno.

A questo ambito può inoltre essere ricondotta l'attivazione di assegni di ricerca destinati alla valorizzazione in ambito produttivo delle conoscenze, delle metodologie e delle tecnologie legate alle attività di ricerca dell'INFN.

Si tratta di assegni di ricerca da svolgersi presso i laboratori e i centri di ricerca di industrie ad elevata capacità e innovazione tecnologica; hanno durata annuale eventualmente prorogabile di un ulteriore anno, d'intesa con l'industria che sostiene la metà dei costi relativi alla seconda annualità, e i settori interessati sono quelli delle tecnologie informatiche (ICT), della sensoristica, dell'elettronica, meccanica e impianti e dell'analisi e qualifica dei materiali.

L'iniziativa, che coniuga trasferimento tecnologico e placement, ha incontrato un notevole interesse da parte del mondo industriale. Sono 116 infatti le industrie, di differenti settori e regioni, che hanno risposto alla call dell'Istituto e tra queste figurano vere e proprie eccellenze italiane (Ferrari, Ducati Corse, IBA, Ansaldo Nucleare, Telespazio, Alenia Aeronautica, Centro Ricerche FIAT, OCEM, Magneti Marelli, Ansaldo Sistemi Industriali, etc.), a testimonianza delle capacità di innovazione tecnologica, nonché formativa, dell'Istituto.

## 2.4 LA FORMAZIONE

### LE ATTIVITA' DI FORMAZIONE E DI INFORMAZIONE

A oltre dieci anni dal lancio del primo Piano Formativo Nazionale, la formazione nell'Ente ha fatto molta strada sia dal punto di vista qualitativo che quantitativo (statistiche ed analisi sono disponibili sul sito della formazione [www.ac.infn.it/personale/formazione](http://www.ac.infn.it/personale/formazione)).

Come avviene già da alcuni anni, l'offerta formativa INFN si articola in diverse aree:

- a) Formazione di base tecnico-gestionale,
- b) Formazione scientifica e tecnologica,
- c) Formazione in materia di igiene e sicurezza.

Un' importante novità proposta dalla Commissione Nazionale

Formazione (CNF) dell'Istituto nel corso del 2009 riguarda la formazione di giovani ricercatori e tecnologi non dipendenti.

Al riguardo, la CNF riflette sull'importanza di formare i giovani ricercatori e tecnologi titolari di contratti di associazione che, non essendo dipendenti dell'Ente, non possono usufruire delle risorse a disposizione della formazione e propone alla Giunta Esecutiva di mettere una cifra in Bilancio dedicata alla formazione di queste categorie. La cifra di riferimento potrebbe variare tra 200 e 500 kE.

A questa tipologia di personale, fino ad oggi, è consentita la fruibilità delle iniziative formative INFN in qualità di uditori e senza ulteriore aggravio della spesa formativa.

L'Istituto pone particolare attenzione alla formazione dei giovani attraverso le proprie ricerche, sia durante gli studi universitari per il conseguimento della laurea magistrale, sia dopo la laurea con il dottorato e i master universitari, e infine con un vasto programma annuale di borse di studio, di formazione e assegni di ricerca scientifica o tecnologica. Sono stati anche istituiti assegni di ricerca dedicati alla valorizzazione, in ambito produttivo, delle metodologie e delle tecnologie legate alle attività di ricerca dell'INFN, a supporto dell'impegno sul versante del trasferimento tecnologico e di conoscenze verso il mondo sociale ed economico.

### LA FORMAZIONE E LE AZIONI DI SOSTEGNO DEI GIOVANI

L'Istituto è particolarmente attento alla formazione e alle azioni di sostegno dei giovani.

Nel 2010 sono state bandite:

- 20 borse di formazione tecnica per giovani diplomati;
- 6 borse di formazione e studio per attività amministrativo-gestionali per diplomati;
- 6 borse di formazione nel settore dell'energia nucleare;
- 21 borse di studio per laureandi;
- 20 borse di studio per neolaureati;
- 1 borsa di studio sul tema della comunicazione esterna e della divulgazione scientifica
- 8 borse di studio per tecnologi (laureati) nei settori meccanico, impiantistico, materiali;
- 24 borse di studio (per laureati) nei settori informatico, elettronico, strumentale e acceleratori;
- 15 borse di studio per cittadini stranieri (fisici teorici);
- 20 borse di studio per cittadini stranieri (fisici sperimentali);
- 6 borse di studio per attività amministrativo-gestionali per laureati;
- 42 posizioni di Associate (*associated member of the*



*personnel*) presso il CERN nell'ambito degli esperimenti a LHC;

- 63 assegni di ricerca scientifica o tecnologica;

Inoltre sono stati banditi i seguenti premi:

- Premio Nazionale "Francesco Resmini" per dottorati di ricerca con una tesi nel campo della fisica degli acceleratori e delle nuove tecnologie
- Premio Nazionale "Sergio Fubini" per dottorati di ricerca con una tesi nel campo della fisica teorica
- Premio Nazionale "Claudio Villi" per dottorati di ricerca con una tesi nel campo della fisica nucleare
- Premio Nazionale "Bruno Rossi" per dottorati di ricerca con una tesi nel campo della fisica astroparticellare
- Premio Nazionale "Marcello Conversi" per dottorati di ricerca con una tesi nel campo della fisica subnucleare.

Il ruolo e il coinvolgimento nelle Università costituiscono, fin dalle origini, la base fondante dell'Istituto.

#### IL RUOLO DELL'INFN NELL'UNIVERSITÀ

L'INFN ha interesse e vocazione a seguire, assieme all'Università, il percorso formativo verso la ricerca e l'innovazione tecnologica nel proprio campo di interesse, in particolare tramite il Dottorato di Ricerca per cui l'Ente finanzia direttamente una quarantina di borse per ciascun ciclo, nelle Università dove hanno sede le proprie strutture.

Complessivamente, sono associati alle attività dell'INFN oltre 1200 laureandi magistrali, dottorandi, specializzandi, borsisti e assegnisti di ricerca, che perfezionano col lavoro di tesi e di ricerca presso l'Ente la propria formazione professionale. Di essi oltre 500 sono dottorandi e circa 300 sono giovani ricercatori in formazione, in possesso di dottorato di ricerca, vincitori di contratti biennali (assegni di ricerca) dei quali una ottantina a totale carico dell'INFN e i restanti in cofinanziamento con le singole Università.

Un confronto con le informazioni disponibili nella banca dati del Ministero dell'Università e della Ricerca (MIUR) è mostrato in Tabella 2.3, prendendo l'intera Area (02) di Fisica come riferimento.

Il database MIUR è mancante di questo dato per l'anno 2009, ma verifiche a campionamento in grandi Atenei come Padova, Pisa e Roma confermano questa percentuale.

Le strutture dell'INFN – nelle Sezioni, nei Laboratori Nazionali e presso i più grandi centri di ricerca mondiali – offrono concrete opportunità a laureandi e dottorandi di inserirsi nell'ambito delle attività di eccellenza scientifica dell'Ente. I giovani sono coinvolti direttamente nei gruppi di ricerca, acquisendo competenze sulle tecniche e le metodologie di indagine che potranno essere utili anche al di fuori della ricerca accademica, nei più diversi settori dell'industria avanzata. Ricercatori e tecnologi dell'INFN contribuiscono direttamente al processo formativo degli studenti, seguendoli nella preparazione delle tesi di laurea (triennale e magistrale) e di dottorato, e tenendo insegnamenti universitari in cui portano la loro diretta esperienza di ricerca.

L'ultima rilevazione dell'apporto fornito alle attività didattiche universitarie, relativa all'anno 2006, ha fornito i dati riportati nella tabella 2.4 (sono indicati il numero di corsi svolti nei vari livelli di formazione e delle tesi seguite, da parte di personale INFN).

Reciprocamente, l'INFN trae beneficio da questa sua implicazione nell'alta formazione universitaria. L'attività di ricerca richiede capacità professionali altamente qualificate, risorsa non meno importante di quelle finanziarie, e le Università costituiscono la sede ideale cui attingere per assicurare la qualità e la continuità dell'attività di ricerca.

L'interesse al potenziamento delle attività, didattiche e di ricerca, delle Università è testimoniato dall'impegno dell'Istituto nell'assunzione di ricercatori universitari a tempo indeterminato. Nell'anno 2010 l'Istituto ha sottoscritto quattro convenzioni per l'assunzione a tempo indeterminato di altrettanti giovani ricercatori nei settori Scientifico Disciplinari di attività INFN, a dimostrazione ulteriore della profonda interazione, simbiosi come detto, tra l'Istituto e le Università.

L'INFN è presente anche nei corsi di *Master* (di primo e secondo livello), e ha attivato nel corso degli ultimi anni, assieme alle Università, numerosi corsi orientati a fornire agli studenti un'istruzione caratterizzata da un elevato potenziale applicativo, ad esempio: *Tecniche nucleari per l'Industria, l'Ambiente e i Beni culturali* (Università di Tor Vergata e La Sapienza), *Trattamenti di superficie applicati a Tecnologie Industriali* (LNL), *Complessità e sue applicazioni interdisciplinari* (Università di Pavia),

	Laurea Magistralis				Ph. D			
	2009	2008	2007	<04-06>	2009	2008	2007	<04-06>
<b>INFN</b>	302	368	333	332	139	163	153	180
<b>MIUR</b>	785	849	854	990	n/a	351	342	388

Tab. 2.3: Laureati magistrali e dottorati che hanno svolto attività in ambito INFN, rispetto ai dati totali MIUR.

**Tab. 2.4: Supporto alla didattica da parte del personale INFN.**

Corsi di Laurea	139
Corsi di Dottorato	40
Corsi di Master	13
Scuole di Specializzazione	10
Tirocini di Formazione	60
Tesi di Laurea	200
Tesi di Dottorato	56

*Progettazione Microelettronica* (Università di Padova), *Information Technology* (LNF), *Basi fisiche e tecnologiche dell'adroterapia e della radioterapia di precisione* (Università di Tor Vergata), *Scienze e Tecnologie degli impianti nucleari* (Università di Genova e Ansaldo Nucleare).

Per la formazione dei giovani sono altrettanto essenziali le numerose iniziative e attività con le scuole (vedi ad es. il progetto *EEE- Extreme Energy Events*), di comunicazione e di diffusione della cultura scientifica attraverso mostre, eventi, seminari, organizzate sia a livello centrale sia a livello dei laboratori nazionali e delle singole strutture.

#### **LE ATTIVITÀ DI COMUNICAZIONE E DI DIVULGAZIONE SCIENTIFICA**

L'Ufficio Comunicazione gestisce diverse attività di comunicazione, trasmissione della cultura scientifica e divulgazione, in forme diverse e integrate.

Nei rapporti con i media, in particolare, l'INFN è diventato un importante fonte di informazione e un punto di riferimento per i giornalisti scientifici italiani e le agenzie di stampa: un'opportunità di diffusione di conoscenza nel contesto della fisica fondamentale sempre più conosciuta anche dal grande pubblico.

Sul fronte della divulgazione e della comunicazione museale, va segnalata la riproposizione alla Città della Scienza a Napoli della mostra *Astri e Particelle* dopo il successo della "prima" a Roma. Nel corso del 2010, inoltre, sono state allestite altre due nuove mostre a Torino ("*L'invisibile meraviglia*") e a Genova ("*L'Universo non è più quello di una volta*"). Mostre che hanno già ricevuto richieste per nuovi allestimenti per il 2011.

Le monografie su temi di fisica fondamentale e di frontiera, offerte al pubblico tramite la rivista *Asimmetrie* e distribuite tra gli altri a tutti i licei italiani, rappresentano una rara opportunità di dialogo con il pubblico scolastico – e non solo – e una ricca risorsa di aggiornamento per gli insegnanti. La peculiarità di *Asimmetrie* è che ogni numero approfondisce un argomento e diventa una monografia, integrata tuttavia,

in un racconto di più ampio respiro. La pubblicazione occasionale di inserti allegati offre ai lettori l'opportunità di approfondire argomenti di ricerca avanzata.

In sintesi l'Ufficio comunicazione svolge un'attività molto intensa di "esposizione" dell'Istituto attraverso:

- la comunicazione da e verso i media;
- la comunicazione istituzionale;
- la comunicazione intranazionale.
- la rivista *Asimmetrie*;
- mostre e multimedia;
- eventi di divulgazione.

L'attività di comunicazione e di divulgazione scientifica viene svolta anche localmente, nelle strutture dell'Istituto (Sezioni, Gruppi collegati e Laboratori nazionali), spesso in collaborazione con le Università, le scuole, e gli enti territoriali, ed è rivolta agli studenti, agli insegnanti e al pubblico non esperto. Tali attività includono seminari, incontri, visite guidate presso le strutture e i laboratori, in Italia e all'estero.

#### **2.5 GLI OBIETTIVI DEL TRIENNIO**

##### **PROGETTI DI RILIEVO SCIENTIFICO:**

##### **L'EVOLUZIONE E LE SFIDE.**

Premesso che i principali progetti ed esperimenti di rilievo scientifico coordinati dalle CSN ed organizzati in filoni scientifici – come sono stati già elencati dettagliatamente nella tabella 2.1 – sono caratterizzati da scale temporali differenziate e dinamiche, vale la pena concentrare l'attenzione su due i parametri significativi che evidenziano il sostegno finanziario alle attività ed il coinvolgimento dei ricercatori e tecnologi alle stesse:

- a) Budget effettivo a consuntivo in migliaia di Euro (anni 2000-2010, preventivi di spesa 2011 e risorse necessarie per gli anni 2012, 2013).
- b) Personale ricercatore e tecnologo coinvolto in termini di FTE (Full Time Equivalent), sia con posizioni a tempo indeterminato, sia con contratti a tempo determinato ex art.23 (consuntivo 2000-2010 e previsione 2011-2013).

L'analisi viene presentata nei grafici seguenti (figura 2.14), distinti per linea scientifica, ovvero per commissione scientifica nazionale. Nella figura e nella successiva tabella 2.5 vengono evidenziati i principali filoni scientifici ed i relativi costi/anno.

Alle risorse elencate in tabella 2.15 vanno aggiunti finanziamenti dell'ordine dell'8% per spese generali dei gruppi di ricerca.

I grafici e la tabella consentono di svolgere alcune considerazioni generali:

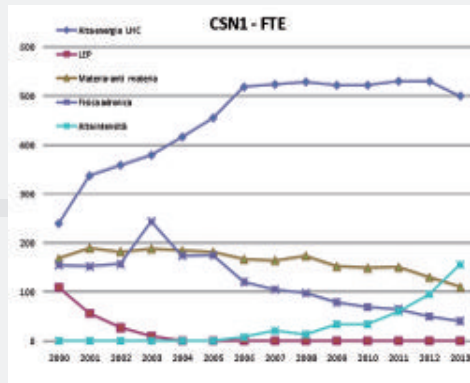
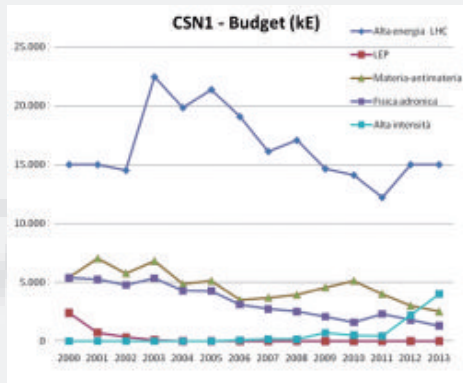
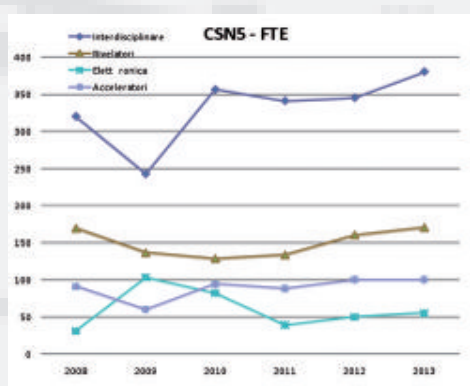
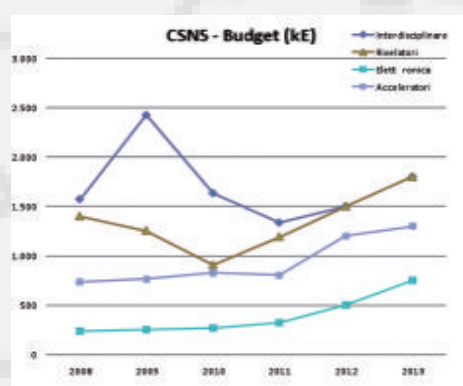
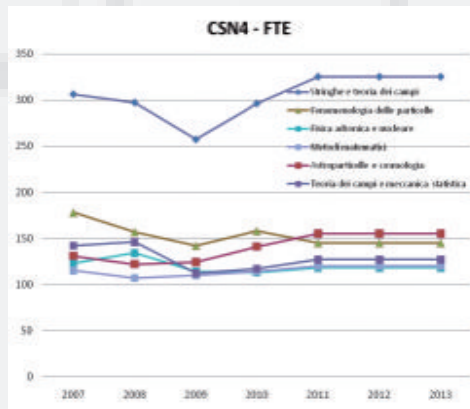
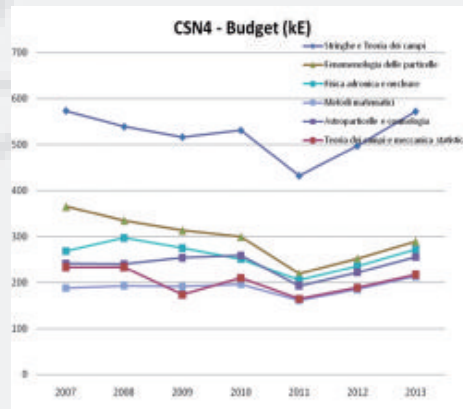
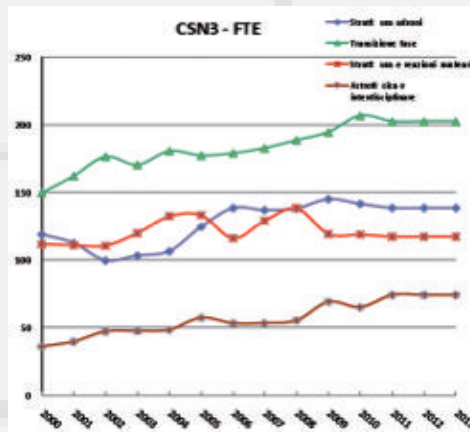
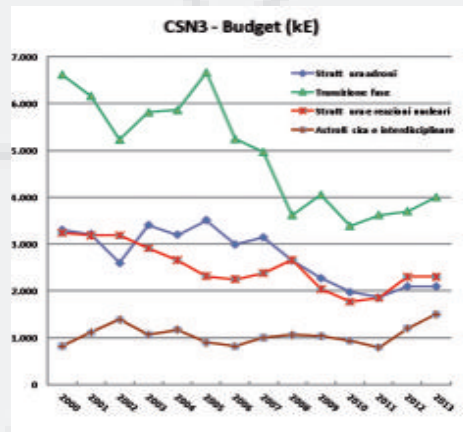
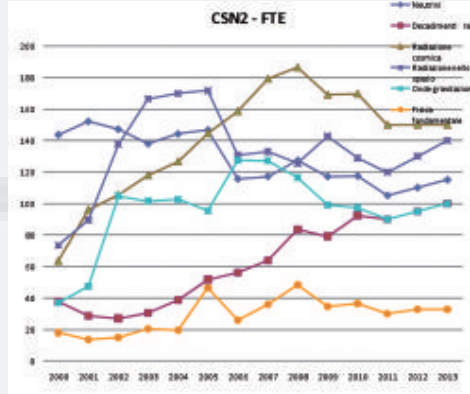
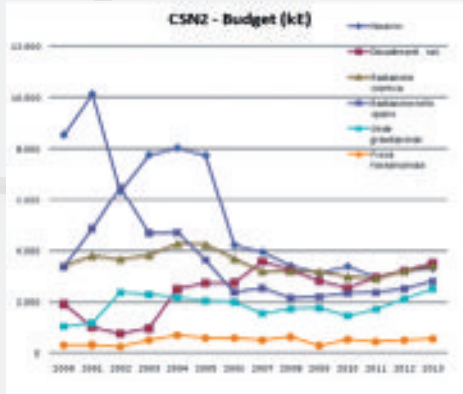


Fig 2.14: Evoluzione dei principali filoni scientifici in termini di budget e di personale (Full Time Equivalent) ricercatore e tecnologo a tempo indeterminato e a tempo determinato.



• Pesante è la riduzione del budget per tutte le linee scientifiche nel corso degli anni, anche in considerazione dell'inflazione che ne ha ridotto il potere reale ed è in netto contrasto con l'aumento dell'interesse e del coinvolgimento del personale ricercatore e tecnologico che dimostra la vitalità e la capacità di attrazione delle attività scientifiche dell'Ente;

• L'attività di fisica all'LHC del CERN è predominante per la CSN1 e costituisce un settore significativo anche per la CSN3, dove è inclusa – insieme con altre attività - nel filone scientifico "Transizioni di fase";

• La ricerca dei decadimenti rari, ed in definitiva di segnali di "Nuova Fisica", ha assunto negli anni sempre maggior

Tab. 2.5: Principali filoni scientifici e costi/anno.

Principali linee e filoni scientifici	Prev. 2011		Prev. 2012		Prev. 2013	
	Fin. (k€)	FTE	Fin. (k€)	FTE	Fin. (k€)	FTE
<b>Fisica subnucleare</b>						
Sperimentazione ad alta energia - LHC	12.200	530	15.000	530	15.000	500
LEP (Large Electron Positron collider)	0	0	0	0	0	0
Studio della simmetria materia-antimateria	4.000	150	3.000	130	2.500	110
Fisica adronica	2.300	65	1.800	50	1.300	40
Nuova frontiera dell'alta intensità	420	60	2.200	95	4.000	155
	<b>18.920</b>		<b>22.000</b>		<b>22.800</b>	
<b>Fisica astroparticellare</b>						
Fisica dei neutrini	2.904	105	3.200	110	3.300	115
Ricerca di fenomeni rari	2.809	90	3.200	95	3.500	100
Radiazione cosmica in superficie e nelle profondità marine	2.703	150	3.200	150	3.400	150
Radiazione cosmica nello spazio	2.250	120	2.500	130	2.800	140
Ricerca sulle onde gravitazionali	1.292	90	2.100	95	2.500	100
Ricerche in Fisica generale fondamentale	345	30	500	33	550	33
	<b>12.303</b>		<b>14.700</b>		<b>16.050</b>	
<b>Fisica nucleare</b>						
Struttura e dinamica degli adroni	1.860	139	2.100	139	2.100	139
Transizioni di fase della materia adronica	3.621	202	3.700	202	4.000	202
Struttura e reazioni nucleari	1.848	117	2.300	117	2.300	117
Astrofisica nucleare e ricerca interdisciplinare	792	74	1.200	74	1.500	74
	<b>8.121</b>		<b>9.300</b>		<b>9.900</b>	
<b>Fisica teorica</b>						
Stringhe e teoria dei campi	433	325	497	325	572	325
Fenomenologia delle particelle	219	145	252	145	290	145
Fisica adronica e nucleare	205	118	236	118	271	118
Metodi matematici	161	120	185	120	213	120
Astroparticelle e cosmologia	193	155	222	155	255	155
Teoria dei campi e meccanica statistica	164	127	189	127	217	127
	<b>1.375</b>		<b>1.581</b>		<b>1.818</b>	
<b>Ricerche tecnologiche e interdisciplinari</b>						
Intedisciplinare	1.333	341	1.500	345	1.800	380
Rivelatori	1.190	133	1.500	160	1.800	170
Elettronica	323	39	500	50	750	55
Acceleratori	802	88	1.200	100	1.300	100
	<b>3.648</b>		<b>4.700</b>		<b>5.650</b>	

peso relativo per la CSN2, che nello studio della radiazione cosmica (nello spazio e sulla Terra) riscontra tradizionalmente il maggiore interesse e supporto, senza trascurare la solida tradizione nel campo della fisica dei neutrini;

- Le attività di fisica teorica sono sostanzialmente stabili, con predominanza del settore “stringhe e teoria dei campi” ma con un crescente interesse verso le “astroparticelle”;
- Stabili e ben consolidate sono le attività di CSN5, che dedica la maggior parte delle risorse umane e finanziarie al settore interdisciplinare, a testimonianza della forte propensione dell’Ente allo sviluppo di conoscenze in campi trasversali ed in collaborazione con l’Università e con altri Enti;

Il presente piano triennale ha le sue radici nella roadmap dell’INFN che si sviluppa su un arco temporale che va ben al di là di esso, alla quale apporta le evoluzioni successive.

La roadmap e la visione strategica dell’INFN traggono spunto dalle maggiori sfide che la fisica subnucleare (fisica delle particelle), la fisica delle astroparticelle e la fisica nucleare affronteranno nel prossimo decennio e si basa sulle eccellenze che l’Istituto ha raggiunto e ha consolidato negli anni.

Sono descritte ora, in sintesi, le sfide maggiori che l’Ente intende affrontare nel prossimo triennio, secondo una visione strategica che tuttavia va anche al di là del presente piano triennale.

#### **Le frontiere dell’alta energia e dell’alta intensità**

Per quanto riguarda la fisica delle particelle tra le sfide più significative c’è la comprensione del meccanismo di generazione delle masse di tutti i costituenti fondamentali.

La descrizione standard (Modello Standard) richiede l’esistenza di particelle fondamentali non ancora osservate. Un intero nuovo mondo di particelle fondamentali, i partner supersimmetrici delle particelle note, può popolare la nuova regione di energia esplorata dall’acceleratore LHC e fare chiarezza sul meccanismo di unificazione di tutte le interazioni e sulla generalizzazione del concetto di particella puntiforme a stringhe (corde) estese.

LHC produrrà fisica per ben più di un decennio a venire. Ci si aspetta innanzitutto (è l’obiettivo primario degli esperimenti ATLAS e CMS) la scoperta del bosone di Higgs, la verifica cioè di gran lunga più attesa del Modello Standard, la cui rivelazione costituirebbe un enorme passo in avanti verso la comprensione della struttura del microcosmo. Se il bosone non fosse osservato, sarebbe necessario rivisitare buona parte delle nostre attuali teorie. Inoltre, è cruciale riuscire ad osservare particelle di quella materia che le misure

astrofisiche sull’Universo ci indicano come abbondante, addirittura cinque volte maggiore di quella di cui sappiamo dare una spiegazione e della quale è fatto il mondo in cui viviamo: sono particelle che formano la cosiddetta Materia Oscura e che potrebbero essere osservate tra i prodotti delle collisioni con gli esperimenti ad LHC.

Infine, non minore per importanza, sarà il contributo degli esperimenti a LHC (esp. LHC-b ma non solo) alla comprensione del perché della assenza della antimateria, che all’inizio dei tempi esisteva in quantità uguale alla materia e successivamente è scomparsa.

L’INFN è coinvolto in tutti i temi di ricerca che saranno affrontati all’LHC e pertanto considera il completo sfruttamento del nuovo acceleratore come la priorità principale negli anni futuri.

D’altra parte l’esplorazione sistematica del mondo supersimmetrico o una profonda investigazione del meccanismo di generazione delle masse richiedono macchine acceleratrici, come quelle a fasci collidenti e+e- (elettrone-positrone) caratterizzate da bassi livelli di contaminazione di eventi di fondo e perciò adatte a misure di grande precisione.

Per tale motivo l’Istituto sostiene lo sforzo che è attualmente in corso a livello globale ovvero mondiale al fine di elaborare il progetto tecnico dell’*International Linear Collider Project* (ILC) o di progetti alternativi come CLIC indipendentemente dalla sua localizzazione geografica, con l’auspicio che le necessità finanziarie dell’LHC di seconda generazione e dell’ILC possano trovare risposta all’interno di una discussione globale a livello mondiale sulle risorse disponibili. L’innovazione di alta tecnologia è indispensabile per il successo dell’impresa.

Oltre alla frontiera dell’energia l’alta intensità di macchine a “bassa energia” può contribuire a rivelare effetti legati alla propagazione, nell’ambito spazio-temporale consentito dalla relazione di indeterminazione, di particelle pesanti che le macchine ad alta energia sono in grado di produrre, rivelandone dunque indirettamente la loro esistenza.

Ciò è cruciale per scoprire “Nuova Fisica”. Gli esperimenti MEG a PSI (*Paul Scherrer Institute*) in Svizzera, NA62 al CERN e KLOE a LNF hanno tutte le potenzialità per contribuire alle scoperte.

La rivelazione di eventi rari ed in particolare delle correnti neutre che cambiano il “sapore”, può portare ad informazioni complementari a quelle provenienti dagli acceleratori di alta energia.



L'INFN sostiene attività in questo campo incoraggiando il progetto di nuove *flavour factories* ("fabbriche" di particelle di "sapore" definito).

I Laboratori Nazionali dell'Istituto potranno svolgere un ruolo di primo piano, in particolare i LNF dove furono costruiti i primi anelli di accumulazione e<sup>+</sup>e<sup>-</sup>.

In particolare uno straordinario sviluppo di fisica degli acceleratori occorso a Frascati a cura del team di fisici e ingegneri del laboratorio ha prodotto un metodo ingegnoso di focalizzazione dei pacchetti di elettroni, detto crab waist che è già stato in grado di aumentare di tre volte la capacità dell'acceleratore DAFNE di produrre collisioni per unità di tempo, come è stato verificato in particolare dall'esperimento KLOE. Questa idea brillante ha portato al disegno concettuale di un acceleratore che rappresenta il successore delle "fabbriche di B" che hanno segnato la fisica delle particelle nel decennio scorso (PEPII negli USA e KEKB in Giappone). Il progetto SuperB recentemente avviato dal MIUR, supera di un fattore 100 le loro prestazioni, e costituisce un elemento di primato per la fisica delle particelle italiana.

Esso sfrutta il nuovo schema di interazione di fasci in grado di conciliare alte luminosità con correnti limitate. Le inciderà in maniera rilevante sia sull'evoluzione dei finanziamenti sia sulla struttura e sull'organizzazione delle collaborazioni sperimentali.

La sfida tecnologica di una tale macchina, può trarre vantaggio dalle sinergie con le nuove tecnologie sviluppate per l'ILC, in particolare per lo sviluppo di *damping rings*, elementi essenziali di tutti i collisionatori futuri lineari e<sup>+</sup>e<sup>-</sup>.

Da quanto esposto resta in ogni caso chiaro che le due frontiere (energia e intensità) rimarranno il campo di ricerca della fisica subnucleare a breve, medio e lungo termine.

#### **L'enigma della materia oscura e la frontiera dei nuovi rivelatori, la fisica del neutrino, lo studio dei decadimenti rari**

Il contenuto di particelle delle prime fasi dell'Universo, all'epoca in cui le condizioni di alta temperatura possono o potranno essere riprodotte dagli acceleratori di alta energia presenti o futuri, è probabilmente all'origine della materia oscura la cui evidenza è sostenuta dalla misura dei parametri di evoluzione dell'Universo.

La ricerca della materia oscura è uno dei principali anelli di congiunzione tra la fisica delle particelle e la fisica astroparticellare. In questo campo, l'INFN è all'avanguardia con i nuovi rivelatori ad argon liquido così come in molti altri settori della fisica delle astroparticelle, grazie a esperimenti

dedicati all'osservazione delle oscillazioni (tra diversi "sapori") dei neutrini contenuti nel fascio proveniente dal CERN e diretto verso il laboratorio del Gran Sasso oppure di quelli provenienti dal Sole.

Il futuro della linea di ricerca che riguarda le oscillazioni di neutrini provenienti da acceleratori, il cui scopo primario è la determinazione della matrice di mescolamento dei neutrini, è attualmente programmato sia in Giappone sia al Fermilab in USA. Un ingrediente cruciale dei futuri esperimenti in questo settore e anche nella ricerca della stabilità della materia ordinaria, sono i futuri rivelatori basati su liquidi criogenici.

L'INFN ha effettuato un lavoro pionieristico in questo campo e considera le collaborazioni con i progetti esistenti di grande interesse e strettamente connessi allo sviluppo al Gran Sasso di prototipi di rivelatori criogenici di nuova generazione.

La natura del neutrino sarà anche investigata da un prossimo esperimento (GERDA) di grande massa dedicato alla rivelazione del decadimento doppio beta senza neutrini, anche qui grazie ad una leadership riconosciuta a livello internazionale in questo campo.

I Laboratori del Gran Sasso, attualmente sono i laboratori sotterranei migliori al mondo: oltre alle importanti ricerche nel settore della fisica del neutrino e delle sue oscillazioni, una forte attività nel settore della ricerca della materia oscura e dei decadimenti ultrarari sono probabilmente le direzioni lungo cui si svilupperanno le attività sperimentali di questa infrastruttura di ricerca, rispondendo in questo modo ad una specifica richiesta della comunità internazionale.

#### **Lo studio della radiazione cosmica**

I raggi cosmici sono stati scoperti più di un secolo fa, ma ancora molto si ignora sulla loro origine e composizione soprattutto ad altissime energie. A energie estremamente elevate sono necessari rivelatori di ampie dimensioni per avere un numero di eventi significativo. Inoltre un campo nuovo si è aperto lo scorso decennio con la scoperta di sorgenti localizzate di fotoni di energia dell'ordine del TeV e con la scoperta di inattesi fiotti di fotoni, associati a fenomeni di energia estremamente elevata: i cosiddetti *gamma ray bursts* la cui origine è ancora sostanzialmente sconosciuta. Nel settore spaziale, la messa in orbita di AMS permetterà di effettuare un progresso sostanziale nella ricerca delle componenti rare dei raggi cosmici. Lo studio dei raggi cosmici ad energie estreme rappresenta una consolidata linea di sviluppo dell' INFN, con esperimenti da effettuare sia a terra (AUGER) che nello spazio (JEM-EUSO).

### **La ricerca delle onde gravitazionali**

La rivelazione di onde gravitazionali è stata condotta negli ultimi dieci anni con rivelatori ad antenna risonante e, più recentemente, con VIRGO, l'interferometro da 3 chilometri localizzato a Cascina, il sito di EGO, l'osservatorio gravitazionale europeo.

La strategia attuale si basa su una collaborazione con l'interferometro USA LIGO e si propone nei prossimi pochi anni un significativo miglioramento della sensibilità di Virgo per segnali di bassa frequenza che lo renderanno unico nel mondo.

I buoni risultati ottenuti con VIRGO hanno portato l'INFN all'approvazione del progetto "Advanced VIRGO" in cui la collaborazione italo-francese farà un ulteriore, forse decisivo, passo verso la sensibilità necessaria per la rivelazione diretta delle onde gravitazionali. Dopo l'approvazione avvenuta nel 2009, è continuata nel 2010 la realizzazione del progetto che prevede di raggiungere nel 2014 la sensibilità per la rivelazione delle onde gravitazionali da terra.

Sono in studio nuovi concetti di antenne risonanti che nei prossimi cinque anni potranno portare ai livelli di sensibilità del futuro interferometro.

Le prospettive della ricerca delle onde gravitazionali dopo l'upgrade dell'interferometro di Cascina riguardano la realizzazione di un futuro grande laboratorio europeo ma, allo stesso tempo, vedono il settore spaziale protagonista con il progetto LISA.

### **Le sfide della fisica nucleare**

Un campo che lega l'astrofisica alla fisica nucleare è l'astrofisica nucleare, che studia reazioni nucleari rare di interesse per l'evoluzione stellare, spesso con apparati posizionati nell'ambiente schermato di un laboratorio sotterraneo.

L'INFN continuerà e sosterrà nel futuro le attività di astrofisica nucleare. In particolare bisognerà portare avanti l'upgrade di LUNA con un acceleratore di 3-4 MeV.

La fisica nucleare ha rafforzato i suoi legami anche con la fisica delle particelle attraverso misure accurate di verifica della cromodinamica quantistica, la teoria delle interazioni forti tra i quark.

Lo studio, mediante esperimenti di energia intermedia, delle interazioni nucleari ha chiarito molti aspetti legati al ruolo dei nucleoni e dei quark nei nuclei stessi.

L'INFN continuerà a investire negli sforzi dedicati a rivelare

all'LHC (esperimento ALICE) il plasma di quark e gluoni, ottenuto dallo "scioglimento" della materia nucleare sotto condizioni estreme di temperatura o di densità, quali presumibilmente dovettero verificarsi dopo il Big Bang.

Per la dinamica dei quark ci si aspetta l'estensione del programma di fisica da 6 a 12 GeV a JLAB e la preparazione del nuovo esperimento PANDA con un programma di fisica che si basa sull'uso di antiprotoni a FAIR. PANDA fornirà verifiche molto stringenti sull'interazione tra quark, gluoni e quark-gluoni (teoria QCD), sulla struttura interna del nucleone e sulle proprietà delle particelle nella materia nucleare.

Per lo studio della struttura e delle reazioni nucleari si è aperta un'era nuova con i fasci di nuclei radioattivi. Ci si focalizzerà sui nuclei sempre più lontani dalla valle di stabilità le cui proprietà sono determinanti per capire il cosmo, la vita delle stelle, la nucleosintesi e la produzione d'energia. Questo programma è fortemente legato ai miglioramenti previsti agli acceleratori esistenti ai LNL e LNS, al completamento della prima fase di AGATA e, a più lungo termine, al progetto SPES.

Le prospettive di ricerca in Fisica Nucleare sono senza dubbio molto attraenti anche per le loro sempre maggiori ricadute applicative in settori strategici come quello medico e dell'energia.

### **Le sfide dell'alta tecnologia e delle sue applicazioni**

Il progresso in fisica nucleare così come in altre branche di attività INFN spesso dipende da nuovi avanzamenti nelle tecnologie dei rivelatori e degli acceleratori. Questi rappresentano settori chiave del trasferimento tecnologico. La fisica degli acceleratori ha e manterrà negli anni prossimi un grande impatto sociale ed è fattore di impulso per lo sviluppo di macchine per la terapia del cancro basate su fasci di adroni e di laser a elettroni liberi con lunghezza d'onda nanometrica per studi di biologia o di indagine strutturale.

In una prospettiva temporale comunque proiettata anche oltre il triennio, verrà posta particolare attenzione allo studio e allo sviluppo di sistemi di rivelazione per i futuri esperimenti e dell'elettronica associata. Una linea di ricerca privilegiata sarà quella dei circuiti integrati tridimensionali. Grande rilievo nella prossima decade si darà anche allo sviluppo di tecniche di trasmissione dati digitale ad alta velocità, di sensori, convertitori e strumentazione metrologica di interesse per la fisica fondamentale, applicata e interdisciplinare, e alla moderazione del danno da radiazione attraverso lo studio di nuovi processi e di appropriate tecniche di progetto.

Nel campo della fisica degli acceleratori si svilupperanno, nel medio termine, le linee di ricerca relative all'incremento della luminosità, alle tecniche innovative per massimizzare l'emittanza dei fasci, al miglioramento dell'accettazione delle strutture acceleranti e alla realizzazione di tecniche di accelerazione a plasm. Grande attenzione sarà rivolta alla realizzazione di SuperB, con particolare riguardo ai sistemi di diagnostica di fascio, alle sorgenti ad alta brillantezza di elettroni e alla generazione di luce di sincrotrone. Gli studi sulla produzione di fasci di raggi X monocromatici, da una parte promettono un innovativo imaging biomedico in vivo, dall'altra fanno nascere studi teorici sulla possibilità di emissione di raggi X coerenti, mediante processo FEL (*Free Electron Laser*), sia in regime quantistico che classico. Grazie alla tecnica dell'*Inverse Compton Scattering* (ICS) nella prossima decade sarà possibile realizzare sorgenti di raggi X quasi monocromatiche realizzate facendo collidere un fascio di elettroni ultraveloce – con impulsi dell'ordine dei picosecondi e di alta brillantezza – con impulsi laser di alta energia, con la possibilità di selezionare le energie dei raggi X e la risoluzione temporale in maniera estremamente accurata. Nella diagnostica medica questa disponibilità di sorgenti (quasi) monocromatiche, (parzialmente) coerenti, e di piccole dimensioni spaziali (decine di micrometri) permetterà l'utilizzo di tecniche innovative non possibili con le sorgenti convenzionali. A energie molto più elevate, sorgenti ICS saranno usate come primo stadio per la produzione di positroni polarizzati per collider lineari. Sorgenti basate su ICS sono in costruzione o in fase di progetto in diversi laboratori. L'INFN, grazie al fascio di elettroni di SPARC e al laser del progetto PLASMONX, sta realizzando ai LNF una sorgente ICS di punta, con la quale saranno realizzati esperimenti di fisica interdisciplinare che la CSN5 intende sostenere nel prossimo triennio. Proseguirà nel medio termine l'attività di sviluppo di sistemi di accelerazione innovativi per applicazioni in campo medico anche in collaborazione con l'industria e/o con enti di ricerca di altri paesi europei.

L'applicazione della fisica fondamentale alla salute dell'uomo e all'ambiente sta diventando un'esigenza primaria e riconosciuta della ricerca moderna.

Nel campo dell'adroterapia, oltre alle già citate attività di fisica degli acceleratori, cresceranno gli studi di modellistica e radiobiologia, che hanno inoltre ricadute anche sull'attività umana nello spazio. Argomenti portanti saranno in questo campo gli studi di radiobiologia, le misure di sezioni d'urto di frammentazione nucleare e le simulazioni connesse che permetteranno, nel campo della radioterapia, la realizzazione di piani di trattamento più mirati. Saranno inoltre studiati sistemi innovativi di imaging del tipo *Proton Computed Tomography* e

*PET-Online*. Queste attività saranno realizzate in sinergia con i progetti strategici INFN-MED e NTA.

Nel campo della fisica ambientale è prevedibile un incremento di specifiche iniziative di ricerca attraverso la realizzazione nel prossimo triennio di un Laboratorio di Radioattività Ambientale ai LNGS per le analisi di radionuclidi cosmogenici, primordiali e antropici e le loro applicazioni nel campo della Fisica Terrestre e dell'Ambiente, e della non proliferazione nucleare. In particolare, saranno oggetto di studio la fluidodinamica terrestre (atmosfera e oceanica) mediante modelli di trasporto di radionuclidi, e la caratterizzazione di Xenon e Krypton come rilasci da *fall-out* radioattivi delle centrali nucleari e dei test nucleari sotterranei. Le attività saranno svolte in collaborazione con Istituti di Ricerca e Organizzazioni Internazionali quali l'IAEA (*International Atomic Energy Agency*) e l'ICTP (*International Centre for Theoretical Physics*). Sempre in tema di controlli ambientali, continuerà lo sviluppo delle metodologie di analisi con fasci ionici delle polveri fini in atmosfera, e saranno messe a punto le analisi con spettroscopia di massa con acceleratore per la determinazione dello  $^{129}\text{I}$ , tracciante di eventuali perdite di impianti nucleari. Continuerà infine l'attività interdisciplinare rivolta al mondo della conservazione dei beni culturali anche attraverso la ricerca e sviluppo di strumentazione portatile per analisi non distruttive.

Un cenno a parte merita l'attenzione e gli investimenti dell'INFN nel settore del computing, che è uno strumento essenziale per ogni scienza moderna per le nuove sfide rappresentate dal volume di dati prodotti all'LHC.

Per realizzare un tale ciclopico obiettivo, sono in sviluppo nuove tecnologie computazionali, sotto il nome generico di Grid tools. L'estensione di questi strumenti al di fuori della fisica delle particelle è stato un chiaro obiettivo della commissione europea attraverso il suo ripetuto sostegno alle attività di Grid nel sesto programma quadro. L'INFN è tra le nazioni pioniere nello sviluppo della Grid e il suo ruolo è stato pienamente riconosciuto dalla comunità Europea.

La sfida dell'Istituto nei prossimi anni è sostenere con successo lo sforzo computazionale dell'LHC e di estendere le tecnologie Grid a settori economicamente rilevanti.

A tal fine l'INFN è impegnato a svolgere un ruolo determinante nella costituzione e nella gestione dell'Italian Grid Infrastructure (IGI) che sarà parte integrante dell'*European Grid Infrastructure* (EGI).

### L'impegno per la Fisica Teorica

La fisica teorica continuerà a supportare l'attività sperimentale con la predizione di segnali di nuova fisica e l'interpretazione dei dati all'interno degli schemi teorici.

L'INFN continuerà a sostenere lo scambio di idee attraverso le attività dell'Istituto Galileo Galilei a Firenze, tramite un intenso programma di workshop tematici periodici ricchi anche di una larga partecipazione internazionale.

L'INFN continuerà a sostenere le attività di simulazioni numeriche di teorie di gauge insieme allo sviluppo di nuove architetture di computer per una nuova generazione di computer paralleli progettati appositamente all'interno dell'Istituto.

### **LE PROSPETTIVE DEI LABORATORI NAZIONALI**

La tabella 2.6 riassume la composizione del personale nel 2010 e le risorse finanziarie nell'ultimo triennio dei laboratori nazionali (esclusi gli esperimenti); sono inclusi i dati dei gruppi collegati di Cosenza (collegato a LNF) e de L'Aquila (collegato a LNGS).

Per il triennio 2011-2013 è essenziale mantenere almeno lo stesso livello di risorse per le attività in corso ed il funzionamento ordinario. Il coinvolgimento dei laboratori in nuove iniziative o progetti di particolare rilevanza (ad es. progetti bandiera) richiede risorse aggiuntive non elencate nelle tabelle ma per le quali si rimanda ai paragrafi relativi agli obiettivi del triennio, ai progetti premiali, ai progetti bandiera.

### Laboratori Nazionali di Frascati

Il futuro dei LNF è ricco di iniziative. C'è molto interesse per il potenziamento dell'acceleratore SPARC e del LASER FLAME. Si propone la costruzione di un FEL con energia di 700MeV capace di produrre luce laser di interesse per la comunità.

Si studia la possibilità di modificare l'acceleratore DAFNE per aumentarne la luminosità e l'energia. Numerosi ricercatori italiani e stranieri sono, infatti, interessati ad usare l'esperimento KLOE nell'intervallo di energia compreso tra 1 GeV e 2,4 GeV. L'interesse di questa sperimentazione, per la quale sono state scritte tre "Lettere d'Intenti", si basa sul fatto che la luminosità dell'acceleratore DAFNE modificato potrebbe essere mille volte più grande di quella usata finora a bassa energia. In questo modo si potrebbero fare misure fondamentali, con precisioni non ancora raggiunte e di estrema importanza, sia per la verifica del "Modello Standard" che per lo studio della nuova fisica, nel caso venisse scoperta ad LHC.

Portante nei prossimi anni sarà l'attività legata al progetto

### **Laboratorio nazionale: LNF**

FTE INFN staff + art.23,15 (anno 2010)	349
FTE Associati staff (anno 2010)	67
Assegnisti, borsisti, dottorandi (anno 2010)	65
Totale risorse finanziarie spese 2008-2010 (ME)	37
di cui spese per investimenti (inventario) 2008-2010 (ME)	5,5
di cui spese per funzionamento 2008-2010 (ME)	21,2

### **Laboratorio nazionale: LNGS**

FTE INFN staff + art.23,15 (anno 2010)	93
FTE Associati staff (anno 2010)	23
Assegnisti, borsisti, dottorandi (anno 2010)	62
Totale risorse finanziarie spese 2008-2010 (ME)	27
di cui spese per investimenti (inventario) 2008-2010 (ME)	2,5
di cui spese per funzionamento 2008-2010 (ME)	14,5

### **Laboratorio Nazionale: LNL**

FTE INFN staff + art.23,15 (anno 2010)	128
FTE Associati staff (anno 2010)	80
Assegnisti, borsisti, dottorandi, specializzandi (anno 2010)	55
Totale risorse finanziarie spese 2008-2010 (ME)	27,3
di cui spese per investimenti (inventario) 2008-2010 (ME)	3,3
di cui spese per funzionamento 2008-2010 (ME)	11,7

### **Laboratorio nazionale: LNS**

FTE INFN staff + art.23,15 (anno 2010)	121
FTE Associati staff (anno 2010)	36
Assegnisti, borsisti, dottorandi, specializzandi (anno 2010)	56
Totale risorse finanziarie spese 2008-2010 (ME)	28,2
di cui spese per investimenti (inventario) 2008-2010 (ME)	3,0
di cui spese per funzionamento 2008-2010 (ME)	20,3

Tab. 2.6: Composizione del personale presso i LN e investimenti nel triennio 2008-2010.

bandiera SuperB di recente approvazione permetterà ai LNF di rilanciare una leadership mondiale nel campo degli acceleratori di particelle.

### Laboratori Nazionali del Gran Sasso

Il panorama a lungo termine che copre il prossimo decennio è chiaramente più difficile da tracciare, anche perché alcune scelte discenderanno inevitabilmente dai risultati scientifici ottenuti dalla comunità, sia al Gran Sasso sia in altri laboratori, e dai risultati di LHC.

È anche da considerare che i LNGS, data la loro posizione all'interno di un parco nazionale, difficilmente si potranno espandere nell'attuale sito e quindi il volume dei futuri

esperimenti sarà necessariamente limitato dalla capacità delle sale esistenti. Questo aspetto è rilevante per alcuni programmi scientifici, quali lo studio delle violazioni di parità nel settore dei neutrini o la ricerca del decadimento del protone che potrebbero richiedere masse e volumi enormi, non realizzabili al Gran Sasso, a meno di realizzare nuovi scavi in zone non vincolate. La comunità scientifica internazionale sta delineando per i prossimi esperimenti sulla fisica delle oscillazioni dei neutrini vari scenari che dipendono in primo luogo dai risultati aspettati nei prossimi anni dagli esperimenti quali DOUBLECHOOZ, T2K, DAYA BAY ecc. sulla misura dell'angolo di mescolamento dei neutrini  $\theta_{13}$ . Anche con le attuali dimensioni, tuttavia, i LNGS potrebbero ancora avere un ruolo in alcuni di questi scenari nel caso della realizzazione di *Neutrino Factory* a distanza di 1500 km (Rutherford lab) o di Beta Beams a base CERN con ioni ad alto Q.

In questo momento il Gran Sasso possiede una leadership negli esperimenti con altissime prestazioni dal punto di vista del basso livello di radioattività. Si tratta di un vantaggio competitivo rispetto ad altri laboratori che andrà mantenuto e sfruttato, cercando di massimizzare il potenziale di scoperta nelle ricerche sul doppio decadimento beta e sulla materia oscura. Queste ricerche saranno quindi sicuramente le linee principali di sviluppo dell'attività scientifica del Laboratorio nel prossimo decennio.

È da sottolineare che gli esperimenti già approvati per il doppio beta coprono un lungo arco temporale e l'eventuale estensione di GERDA a una fase tre, in sinergia con altri analoghi esperimenti, e la realizzazione di CUORE II che possa utilizzare tellurio arricchito per un incremento ulteriore di sensibilità, danno al programma del Laboratorio in questo campo una prospettiva di lungo respiro.

Viceversa, per gli esperimenti di materia oscura, quelli attuali esprimeranno appieno le loro potenzialità prima della fine del presente Piano Triennale e quindi è importante iniziare a costruire esperimenti con massa intorno alla tonnellata che inizino a dare risultati prima della fine del decennio; in tale ambito la tecnica dello Xenon liquido è già matura abbastanza per consentire la realizzazione di un apparato da una tonnellata di massa utile per le misure. Per passare alla fase successiva con apparati di massa di decine di tonnellate, i fattori di merito nella scelta dei rivelatori per la materia oscura riguardano vari aspetti quali la capacità di reiezione del fondo e la sensibilità raggiungibile in rapporto anche al costo, la possibilità di avere più di una segnatura degli eventi da materia oscura quali la dipendenza dai nuclei utilizzati, la possibilità di misurare la modulazione annuale

del segnale, ed ove possibile la misura della direzionalità. Le misure di sezioni d'urto, di processi di fusione di interesse astrofisico, costituiranno inoltre una linea di ricerca unica nel panorama internazionale e di grande impatto scientifico. Inoltre, vanno incoraggiate le nuove proposte concernenti questioni aperte in fisica che potrebbero giovare dell'ambiente sotterraneo.

Misure legate alla sismicità del territorio e poste in correlazione con misure di radioattività in un ambiente di bassissimo fondo radioattivo allargheranno l'orizzonte scientifico del Laboratorio verso aspetti di grande impatto ambientale e sociale.

### **Laboratori Nazionali di Legnaro**

LNL, assieme ai Laboratori Nazionali del Sud (a Catania), va considerato come presidio nazionale delle conoscenze di base in Fisica Nucleare e delle competenze nel campo delle tecnologie nucleari. I Laboratori di Legnaro e Catania, in sinergia fra di loro, sono ricchezze per il paese ed al servizio del paese che val la pena di mantenere e di potenziare.

Va mantenuta la duplice missione dei LNL, per lo sviluppo delle conoscenze nella fisica e astrofisica nucleare di base assieme alle applicazioni delle tecnologie nucleari connesse, avendo presente che i due filoni sono inscindibili: la ricerca di base priva di applicazioni appare sterile, mentre un laboratorio di moderne tecnologie, avulse dall'apporto di nuove conoscenze, è destinato ad invecchiare rapidamente. Nel campo delle applicazioni di tecnologie nucleari, va rafforzata la collaborazione con gli enti territoriali e nazionali, ma va anche perseguito ogni sforzo per incrementare la cooperazione con le Aziende.

In questo quadro, Legnaro ha tre principali linee di sviluppo, corrispondenti ad altrettante diramazioni del progetto SPES: SPES-beta consiste nella riaccelerazione degli ioni esotici prodotti dal bersaglio di UCx nel complesso ALPI-PIAVE ad energie tra 5 e 10 MeV per impiegarli, mediante reazioni di trasferimento, nella formazione ed esplorazione di nuclei ricchi di neutroni in condizioni estreme.

SPES-gamma consiste nella realizzazione di un centro per la produzione e distribuzione di radio farmaci di tipo innovativo e sperimentale - oltretutto di tipo convenzionale - basato sulla seconda uscita del Ciclotrone da 70 MeV.

SPES-delta riguarda lo sviluppo di una infrastruttura di ricerca principalmente dedicata alla fisica dei neutroni, con applicazioni a temi dell'energia, delle proprietà dei materiali e della salute.

Riguardo alle piccole macchine, si punterà a farne un polo di eccellenza per la fisica interdisciplinare, con particolare attenzione agli aspetti applicativi e al mondo



dell'imprenditoria, in un'ottica anche di finanziamento o di cofinanziamento esterno.

Si provvederà inoltre a soddisfare gli impegni assunti nell'ambito del programma IFMIF e a fornire supporto adeguato al progetto NBTF in collaborazione con il consorzio RFX.

### **Laboratori Nazionali del Sud**

I LNS sono nati come laboratorio dedicato alla ricerca di base nel dominio della fisica nucleare e alle attività multidisciplinari e di ricerca tecnologica collegate. A tale scopo i LNS si sono dotati di due acceleratori di ioni pesanti, un acceleratore elettrostatico Tandem ed un ciclotrone basato su tecnologie superconduttive (CS). Nel tempo gli argomenti di ricerca affrontati nei LNS si sono estesi anche ad altri campi in cui l'INFN svolge la sua funzione istituzionale ed in particolare alla fisica astroparticellare con l'avvio del progetto di osservatorio sottomarino di neutrini cosmici denominato progetto KM3NET.

Nei LNS si svolgono molteplici attività di ricerca nucleare, astroparticellare e di applicazione di tecniche nucleari ad altri domini disciplinari, che vengono generalmente condotte nell'ambito di collaborazioni internazionali. Nell'arco di tempo di riferimento del presente Piano Triennale il programma di sviluppo dei LNS comprende, da un lato, l'ampliamento delle intensità e della varietà dei fasci ionici, stabili e radioattivi, producibili con gli acceleratori esistenti, obiettivo che necessita di impegni finanziari complessivamente contenuti. Dall'altro lato, di più ampio respiro e di maggiore impegno appare la realizzazione dell'osservatorio di neutrini cosmici, il cui avvio è comunque subordinato all'intervento finanziario di enti esterni all'INFN.

Nel corso del triennio considerato sono previsti ulteriori sviluppi riguardanti gli acceleratori ed i sistemi di produzione di fasci instabili. Essi riguardano alcune modifiche, peraltro già progettate ed in fase di realizzazione, riguardanti le due sorgenti ioniche ECR e la linea di iniezione del Ciclotrone, che permetteranno un incremento delle intensità dei fasci primari del CS ed una estensione della loro varietà. Questo determinerà una immediata ricaduta positiva anche sulle intensità dei fasci instabili di EXCYT e di FRIBs.

Inoltre è in fase di realizzazione e si prevede che verrà ultimata nei primi mesi del 2011, una serie di modifiche alla linea di estrazione del CS e alle linee di trasporto del fascio che permetteranno di ottenere un ulteriore incremento della trasmissione dei fasci FRIBs lungo le linee, valutabile in un fattore compreso tra 10 e 30. Queste modifiche renderanno

possibili esperimenti con fasci ancora più lontani dalla stabilità di quelli finora ottenuti.

È anche previsto lo sviluppo di nuovi fasci di EXCYT, oltre a quelli di  $^8\text{Li}$  e  $^9\text{Li}$  finora prodotti. La richiesta degli utenti dei LNS è orientata verso lo sviluppo di un fascio di  $^{16}\text{O}$ , particolarmente interessante soprattutto per esperimenti di astrofisica nucleare, disciplina in cui da tempo operano i ricercatori dei LNS con risultati apprezzati dalla comunità scientifica internazionale.

In ultimo, tra le possibilità di sviluppo di costo ed impegno contenuti, si colloca la possibilità, di utilizzare una sorgente di  $^{252}\text{Cf}$  per produrre, per fissione spontanea, una serie di frammenti che, opportunamente ionizzati ed accelerati, potrebbero costituire fasci di ioni instabili di massa intermedia. Si stanno attualmente valutando le intensità che si possono ottenere per le varie specie isotopiche, che dipendono ovviamente dalla attività della sorgente stessa, insieme alle implicazioni tecnologiche e di carattere radioprotezionistico. Nel caso che la facility risultasse realizzabile, verrà redatto un apposito rapporto tecnico l'eventuale avvio del progetto potrebbe aver luogo entro il triennio 2011-2013.

Al progetto strategico INFN-E va invece riferito il programma di misura di produzione di neutroni da bersaglio di Berillio bombardato con il fascio di protoni del CS, da completare entro il 2011, programma che è correlato alla progettazione di un generatore di neutroni sottocritico, nel quadro dei rapporti con l'Ansaldo Nucleare. In collaborazione con la ditta Ansaldo Nucleare, nell'ambito del progetto INFN-E sono stati progettati e sono nella fase di realizzazione test di dispositivi particolarmente efficienti ed economici per il monitoraggio remoto dei siti di stoccaggio delle scorie radioattive, basati su fibre ottiche sensibili al singolo fotone.

### **LE MILESTONE DEL PERIODO 2011-2013**

**Si riportano di seguito gli obiettivi scientifici specifici o "milestones" realizzabili nel triennio relativamente alle attività coordinate dalle commissioni scientifiche nazionali e quelle svolte presso i Laboratori nazionali (parzialmente già incluse nelle milestones delle CSN).**

#### **CSN1**

- Raccolta di una luminosità integrata a LHC (CERN) negli anni 2011 e 2012 che permetterà ai grandi esperimenti ATLAS e CMS di verificare la validità del Modello Standard attraverso la scoperta (o il suo contrario nel caso di assenza) del bosone di Higgs. Ricerca di particelle di Nuova Fisica

fino a scale di massa superiori al Teraelettrovolt.

- Analisi dei dati raccolti dall'esperimento LHCb al LHC per la misura della probabilità di decadimento di un mesone  $B_s$  in una coppia muone antimuone che costituisce un test molto importante per il Modello Standard.
- Completamento della costruzione di NA62 (CERN) negli anni 2011 e 2012 e inizio della presa dati nel 2013 per la misura del decadimento ultrararo  $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \nu$ .
- Costruzione nel 2012 con presa dati a partire dal 2013 di nuovi rivelatori dell'esperimento COMPASS (CERN) per una nuova campagna volta allo studio della funzione di struttura traversa dei partoni che dovrebbe gettare luce sul problema della costruzione dello spin del protone a partire da quello dei suoi costituenti.
- Raccolta di una grandissima statistica all'esperimento KLOE (LNF) che ha iniziato a prendere dati nel 2011 all'acceleratore Dafne che è stato modificato per aumentarne le capacità sulla base delle idee che permetteranno anche la costruzione della SuperB.
- Compimento del ciclo di misure dell'esperimento MEG (PSI) che ha la possibilità di trovare il decadimento muone in elettrone-fotone che costituirebbe la prova dell'esistenza di una fisica al di là del Modello Standard.
- Compimento del ciclo, venticinquennale, di misure dell'esperimento CDF (Fermilab) con la possibilità di trovare evidenza del bosone di Higgs in un appropriato intervallo di massa.
- Inizio della costruzione del rivelatore per l'acceleratore SuperB.

#### CSN2

- Lancio con uno Shuttle del grande spettrometro magnetico AMS-02 (Aprile 2011) ed inizio della presa dati sulla ISS dove opererà per un periodo di almeno 10 anni.
- Inizio delle misure (2011) dell'esperimento GERDA presso i Laboratori del Gran Sasso per la ricerca del decadimento doppio beta e la verifica della teoria del neutrino di Majorana
- Completamento (2011-2012) della presa dati dell'esperimento OPERA presso i Laboratori del Gran Sasso utilizzando il fascio di neutrini provenienti dal CERN per misurare il tasso di trasmutazione tra neutrino mu e neutrino tau.
- Lancio di LISA Pathfinder (2012), il dimostratore tecnologico dell'interferometro spaziale LISA per la ricerca delle onde gravitazionali.
- Costruzione (2011-2013) del rivelatore CUORE che migliorerà di un ordine di grandezza la sensibilità nella ricerca del decadimento doppio beta ed il test della teoria del neutrino di Majorana.
- Completamento (2011-2013) del rivelatore XENON 1T

presso i Laboratori del Gran Sasso, per lo studio della materia oscura con metodi diretti.

- Inizio della costruzione dell'osservatorio sottomarino di neutrini KM3NET che prevede la realizzazione di una grande matrice di rivelatori al largo della Sicilia meridionale.
- Advanced Virgo: emissione bandi gara (fine 2011), inizio costruzione/modifica infrastrutture (fine 2012), inizio installazione strumentazione (fine 2013).

#### CSN3

- Realizzazione dei nuovi rivelatori per apparato CLAS a JLAB(USA) e inizio della sperimentazione a 12 GeV per studiare la struttura del nucleone e la dinamica dei quark
- Analisi finale dei dati relativi a misure sugli isotopi kaonici realizzate al LNF per verificare i limiti a bassa energia del modello di *quantum chromodynamics*.
- Misure con ALICE a LHC finalizzate a trovare effetti nuovi che caratterizzano il *quark-gluon plasma*.
- Ampliamento delle strutture di calcolo basate sulla GRID per l'esperimento ALICE che richiede un'intensa attività d'analisi.
- Completamento della fase di misure di spettroscopia gamma a LNL con l'apparato AGATA costruito in collaborazione europea. Inizio della seconda campagna di misure con fasci radioattivi presso il laboratorio GSI
- Inizio di un'attività ai LNS con fasci radioattivi prodotti da frammentazione e utilizzando l'apparato CHIMERA ampliato con un nuovo sistema di rivelazione.
- Completamento di una serie di misure per la descrizione della nucleosintesi di Big Bang con l'apparato LUNA al LNGS e studio di fattibilità per una serie di nuove misure con un nuovo acceleratore per energie di qualche MeV.

#### CSN4

- Sviluppo di un approccio di ricerca sinergico nei riguardi delle tre maggiori problematiche teoriche connesse con la ricerca sperimentale particellare di questo decennio: meccanismo sottostante la rottura spontanea della simmetria che descrive le interazioni elettrodeboli (fisica all'LHC), spiegazione dei rapporti di massa e dei mescolamenti con violazione di CP tra i costituenti fondamentali della materia (quarks e leptoni) (in particolare fisica dei mesoni B da studiare alla macchina acceleratrice SuperB e nell'esperimento LHCb), nuove particelle elementari costituenti la materia oscura, ovvero più dell'80% della materia dell'Universo che non è fatta di protoni e neutroni (ricerca di materia oscura al laboratorio sotterraneo del Gran Sasso e negli esperimenti spaziali quali PAMELA, FERMI e AMS/02).
- La ricerca teorica sopraddetta sarà condotta in stretta collaborazione con le componenti sperimentali dell'Ente

operanti nell'ambito delle CSN1, CSN2 e CSN3. Al fine di favorire ancor più tale proficuo connubio teorico-sperimentale, verrà maggiormente enfatizzato il ruolo giocato dal *Galileo Galilei Institute* (GGI), dove nell'ottobre 2011 si terrà un workshop di fisica astroparticellare congiuntamente organizzato dalle CSN2 e CSN4.

- Si proseguirà (con il completamento di alcuni specifici progetti di ricerca teorica) il lavoro teorico necessario per sfruttare al meglio i risultati che arriveranno dalla macchina SuperB, tenendo in considerazione i complementari dati che nel frattempo giungeranno da LHC e Tevatron.
- Realizzazione di (e accesso a) un'infrastruttura di Supercomputer, con una potenza di almeno un Petaflop, per calcoli al reticolo necessari nella fisica del sapore (*flavor physics*) ed essenziali per discriminare segnali di nuova fisica nelle misure a SuperB e LHC (in particolare nell'esperimento Alice).
- Rafforzamento dell'internazionalizzazione delle attività della CSN4 con un aumento di periodi di collaborazione passati dai nostri ricercatori in istituzioni straniere nel quadro di accordi o programmi internazionali e, parallelamente, notevole enfasi ad inviti di maggiore durata rivolti a studiosi stranieri di alto livello.

#### CSN5

- Misure di frammentazione nucleare per adroterapia al GSI (dic 2011)
- Realizzazione Sorgente Thomson ai LNF (dic 2011)
- Prime immagini tomografiche con fasci di protoni ai LNS e a LLMUC (giugno e dicembre 2011)
- Rivelatori a Silicio ad integrazione verticale (dicembre 2011)
- Prime immagini con sorgente Thomson (giugno 2012)
- Prototipo di rivelatore a diamante sintetico a pixel (dicembre 2012)
- Primo prototipo di sistema di piani di trattamento con fasci di ioni carbonio (dicembre 2012)
- Convertitore per la produzione di fasci di neutroni ai LNL (dicembre 2012)
- Accelerazione di fasci di protoni in plasmi generati da impulsi laser ad alta potenza (dicembre 2012)
- Misure e modelli radiobiologici per l'interpretazione degli effetti di fasci di ioni con la materia vivente per applicazioni in adroterapia e per la radioprotezione nei viaggi umani spaziali (dicembre 2012)
- Sistemi di diagnostica per radiazione XFel (giugno 2012)
- Rivelatori a pixel in silicio e diamante sintetico per esperimenti a SuperB (giugno 2013)
- Sorgente ECR per adroterapia e per acceleratori alta intensità (dicembre 2013)
- Studio e lo sviluppo di una macchina dedicata

all'accelerazione di protoni e ioni per la realizzazione delle programmazioni nel campo dell'adroterapia a livello nazionale (piano oncologico nazionale), rapporti con le regioni (accordo regione Sicilia) e nel rispetto della programmazione europea. Attività sviluppata a LNS, LNF, LNL e sez. NA

#### LNF

- Completamento delle modifiche di DAΦNE per l'aumento di luminosità richiesta per l'esperimento KLOE.
- Installazione calorimetri e tracciatori per upgrade esperimento KLOE (fine 2012)
- Completamento presa dati dell'esperimento KLOE per raggiungere la luminosità di progetto (entro il 2013).
- Analisi finale dei dati relativi alle misure sugli atomi kaonici (He3, He4, H, D) per verificare i limiti a bassa energia del modello di Quantum Chromo Dynamics nel settore con stranezza (entro 2011).
- Studio di fattibilità per ulteriori misure di precisione di atomi kaonici e della fisica di bassa energia kaone-nucleo (entro 2013).
- Completamento realizzazione parti esperimento NA62 (entro 2012)
- Generazione di treni di impulsi con la tecnica Laser Comb per SPARC (entro 2011).
- Caratterizzazione della sorgente al THz, generazione di armoniche nella configurazione FEL Seeded per SPARC (entro 2011).
- Aumento dell'energia di SPARC con la nuova struttura in banda C, sperimentazione con SASE e Seeded FEL a piccole lunghezze d'onda, sperimentazione con la sorgente al THz (entro 2012).
- Eccitazione di onde di plasma con la tecnica laser COMB (entro il 2013)
- Realizzazione della Sorgente Thomson dalla collisione del laser FLAME con il fascio di elettroni di SPARC (dicembre 2011).
- Prime immagini con sorgente Thomson (giugno 2012).
- Accelerazione di fasci di protoni in plasmi generati da impulsi laser ad alta potenza di FLAME (dicembre 2012).
- Definizione operativa Progetto SparX (dicembre 2011)
- Avvio della fase preparatoria per la realizzazione del progetto SuperB.

#### LNGS

- Completamento della purificazione dello scintillatore liquido di Borexino, presa dati con fondo ancora più basso per misurare altre componenti di bassa energia dello spettro dei neutrini solari e incrementare la statistica della misura dei geoneutrini.

- Completamento della presa dati dell'esperimento ICARUS con il fascio CNGS e dimostrare le potenzialità del rivelatore per altre sorgenti di neutrini e verso apparati di centinaia di migliaia di tonnellate (2011).
- Completamento del run tecnico di WARP per la ricerca della materia oscura.
- Definizione di un programma di sviluppo per la ricerca di materia oscura con la tecnica dell'Argon liquido.
- Pubblicazione di nuovi dati a soglia più bassa e eventuale conferma del segnale di modulazione annuale dell'esperimento DAMA per la ricerca della materia oscura.
- Completamento della presa dati di XENON 100 per la ricerca della materia oscura.
- Completamento della prima fase della presa dati dell'esperimento CRESST per la ricerca della materia oscura e definitivo giudizio delle potenzialità della tecnica che accoppia rivelazione di fononi e luce di scintillazione.
- Continuazione del programma di R&D Lucifer verso un rivelatore di 1 t di isotopo per la ricerca del decadimento doppio beta senza neutrini.
- Completamento delle misure di LUNA delle sezioni d'urto nucleari di interesse astrofisico e inizio del programma con un acceleratore da 3.5 MV nella zona dell'interferometro del laboratorio sotterraneo.
- Prosecuzione degli studi di interesse geofisico all'interno del laboratorio sotterraneo.
- Studio approfondito da parte dell'esperimento GERDA del controverso segnale osservato presso i Laboratori del Gran Sasso da parte di un precedente esperimento sulla ricerca del decadimento doppio beta e verifica della teoria del neutrino di Majorana.
- Completamento (2011-2012) della presa dati dell'esperimento OPERA presso i Laboratori del Gran Sasso utilizzando il fascio di neutrini provenienti dal CERN e analisi dati per la conferma della trasmutazione tra neutrino  $\mu$  e neutrino  $\tau$ .
- Costruzione (2011-2013) del rivelatore CUORE che migliorerà di un ordine di grandezza la sensibilità nella ricerca del decadimento doppio beta ed il test della teoria del neutrino di Majorana.
- Completamento (2011-2013) del rivelatore XENON 1T presso i Laboratori del Gran Sasso, per lo studio della materia oscura con metodi diretti.

#### LNL

- Completamento della campagna di misure con AGATA agli acceleratori TANDEM-ALPI-PIAVE
- Completamento della fase Alpha del progetto SPES: edilizia ed impiantistica per il nuovo ciclotrone, installazione e commissioning del ciclotrone.

- Sviluppo della fase Beta di SPES, per la produzione di fasci di ioni radioattivi: adeguamento degli acceleratori esistenti e dell'impiantistica criogenica per le necessità del progetto, realizzazione del bersaglio di UCX e del *charge breeder* e progettazione definitiva delle altre componenti e della strumentazione sperimentale.
- Realizzazione di un centro per la produzione di radionuclidi di interesse medico e a carattere innovativo e sperimentale (LARAMED, fase gamma di SPES), basato sul nuovo ciclotrone.
- Sviluppo di una sorgente neutronica, basata sul nuovo ciclotrone, per la simulazione di reattori di IV generazione e per studi dell'effetto della radiazione neutronica su componentistica elettronica (fase delta di SPES).
- Completamento dell'acceleratore RFQ per il progetto IFMIF-EVEDA nell'ambito del Broader Approach, riguardante lo studio degli effetti di irraggiamento neutronico sui materiali dei futuri reattori a fusione nucleare.
- Completamento della campagna di misure della radioattività di rocce e suoli nella regione Toscana e nella regione Veneto, e possibile estensione al territorio nazionale.

#### LNS

- Inizio della costruzione dell'osservatorio sottomarino di neutrini KM3NET che prevede la realizzazione di una grande matrice di rivelatori a 3500 m di profondità, al largo dell'estrema punta meridionale della Sicilia.
- Completamento dello studio di fattibilità di una facility per fasci radioattivi alle energie di Fermi, utilizzando i frammenti prodotti da una sorgente naturale di  $^{252}\text{Cf}$  e accelerati dal Ciclotrone Superconduttore, ed eventuale stesura del TDR relativo.
- Sviluppo di un fascio post-accelerato di 150 e campagna di esperimenti di astrofisica nucleare e di struttura nucleare.
- Campagna di esperimenti con i fasci radioattivi prodotti per frammentazione e con il multirivelatore per particelle cariche CHIMERA.
- Campagna di esperimenti sulla struttura dei nuclei leggeri ricchi di neutroni, utilizzando l'accoppiamento dello spettrometro magnetico MAGNEX con il multirivelatore per neutroni EDEN dell'IPNO.
- Completamento dei due laboratori multidisciplinari sottomarini al largo della costa orientale e sud orientale siciliana e loro utilizzo in misure di interesse oceanografico e geofisico.
- Misure sistematiche di sezioni d'urto di frammentazione nucleare e simulazioni connesse finalizzate alla formulazione dei piani di trattamento di adroterapia.
- Progettazione della sorgente MISHA da dedicare all'adroterapia e costruzione di una sorgente ECR a 24 MHz che permetterà di estendere le potenzialità del

Ciclotrone Superconduttore dei LNS. Partecipazione al progetto europeo ESS, con la progettazione di una sorgente di protoni ad alta intensità.

- Potenziamento dei sistemi di analisi non distruttiva per la caratterizzazione di reperti di interesse storico ed artistico e sviluppo delle tecniche relative.
- Sviluppo di sistemi di monitoraggio di scorie radioattive ad alta efficienza e basso costo.

## 2.6 LE RISORSE FINANZIARIE E IL PROFILO DI SPESA NEL TRIENNIO

Dal 2002 il MIUR ha assunto un ruolo strategico centrale in tema di risorse finanziarie, non solo per l'INFN, ma per tutti gli enti di ricerca afferenti allo stesso Ministero. Tale ruolo viene svolto attraverso l'annuale ripartizione del fondo ordinario per le istituzioni di ricerca, iscritto nel bilancio del

Dicastero nell'ammontare complessivo che deriva dalle decisioni assunte dal Governo e dal Parlamento in sede di definizione della legge finanziaria annuale.

### Evoluzione finanziaria 1998-2009

Allo scopo di presentare un quadro significativo delle Entrate, sulle quali l'Istituto ha potuto contare, e delle conseguenti Spese, tramite le quali ha finanziato la propria attività di ricerca, è qui analizzata una serie storica di dati tratti dai Bilanci consuntivi dell'Istituto degli ultimi esercizi, rettificati con il sistema dei "prezzi costanti"; in sostanza, adottando un unico sistema di prezzi riferito all'anno 2009, con l'applicazione di coefficienti (Fonte: ISTAT), sono stati eliminati gli effetti delle variazioni del potere di acquisto della moneta per lo studio delle variazioni in volume. Vedi figure 2.15, 2.16, 2.17 e 2.18.

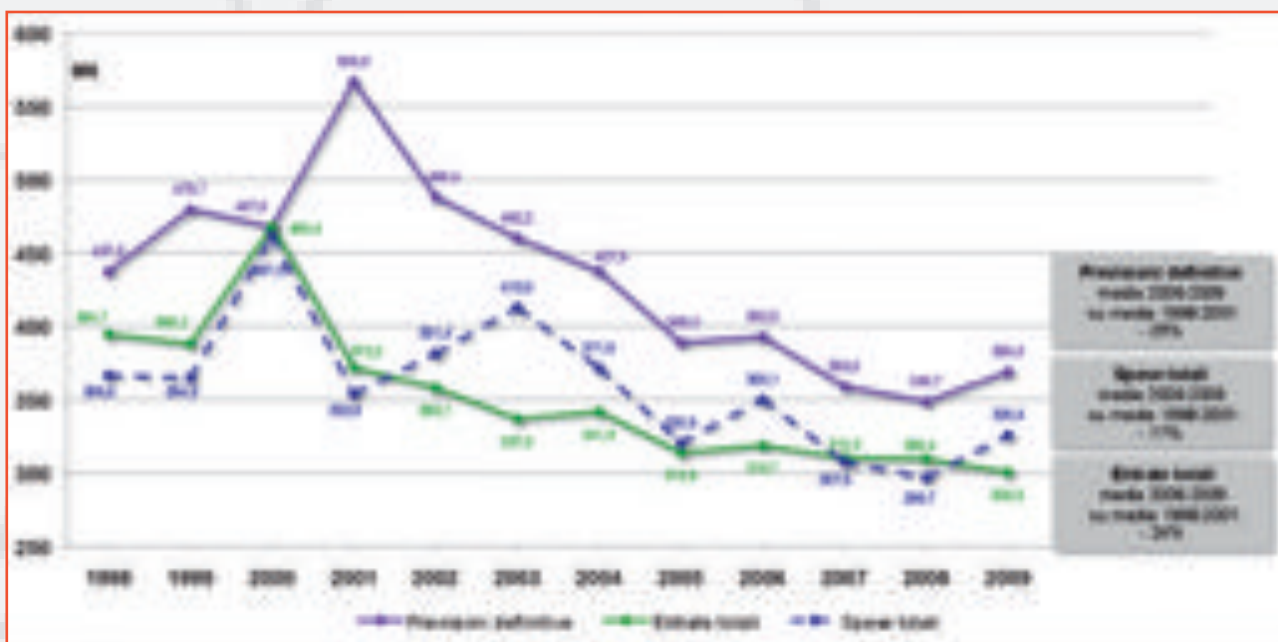


Fig 2.15: "La competenza": correlazione tra PREVISIONI, ENTRATE e SPESE TOTALI.

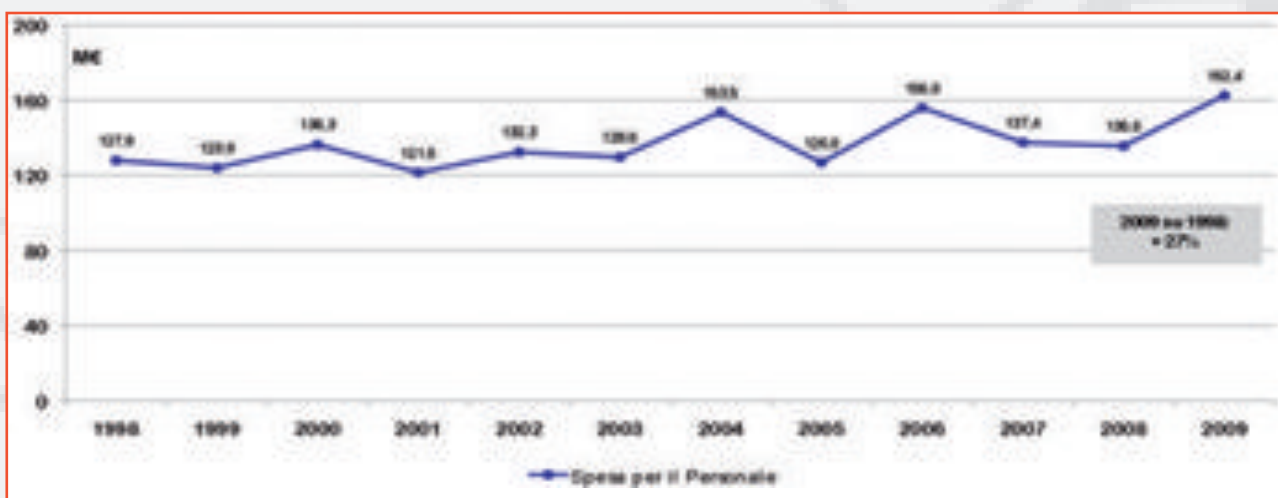


Fig 2.16: L'andamento della SPESA PER IL PERSONALE.





Fig 2.17: Numero di PERSONALE.

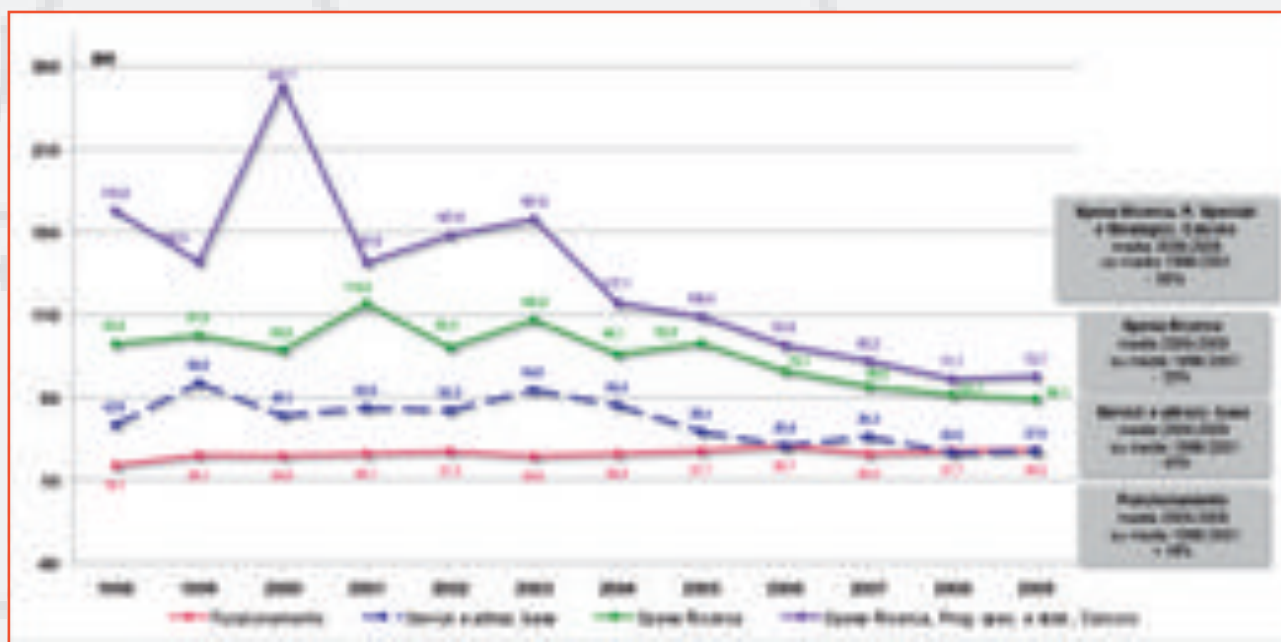


Fig 2.18: La correlazione fra Spese di RICERCA, FUNZIONAMENTO e SERVIZI/ATTREZZATURE.

## IL PROFILO TRIENNALE DELLE RISORSE DISPONIBILI E DELLA SPESA 2011-2013

Le previsioni di spesa per gli esercizi compresi nel bilancio triennale riflettono il diverso sistema di finanziamento adottato dal MIUR a partire dal 2011, a seguito del D.Lgs 31.12.2009 n. 213 (riordino degli Enti di ricerca), consistente in:

- stanziamento diretto, a valere sul Fondo ordinario per gli Enti e le Istituzioni di Ricerca, di:
  - una quota non inferiore al 7% del Fondo per il "finanziamento premiale di specifici programmi e progetti, anche congiunti, proposti dagli enti", e
  - una quota pari all'8% del Fondo per il "sostegno dei progetti bandiera inseriti nella programmazione nazionale della ricerca e per il finanziamento di progetti di ricerca ritenuti di particolare interesse nell'ambito delle scelte strategiche e/o degli indirizzi di ricerca impartiti dal MIUR";
- assegnazione strutturalmente ridotta per il 2011, di competenza dei singoli enti, pari all'87% di quella confermata per il 2010 che, per INFN, significa una riduzione di 35,6 milioni di euro (da 273,8 nel 2010 a 238,2 nel 2011).

Su tale base, le previsioni di entrata e di spesa nel triennio, di seguito presentate, utilizzano i seguenti criteri di riferimento.

### ENTRATE

Si assume una base minima di finanziamento del MIUR equivalente a quello previsto per il 2011 anche per i due esercizi successivi (come indicato, per il 2012, nella nota MIUR- Dipartimento Università, Alta Formazione Artistica, Musicale e Coreutica e Ricerca, prot. n. 1454, del 10 dicembre 2010); ad essa è aggiunta:

- un'assegnazione premiale ipotizzata nell'ordine del 10%, derivante dal raggiungimento di obiettivi specifici posti dal MIUR, e
- un'assegnazione vincolata per "progetti bandiera" interamente assorbita da corrispondenti spese, stimata in funzione dei prevedibili fabbisogni di investimento per i progetti approvati.

L'Istituto è, inoltre, attivo –sia a livello centrale, da parte delle Commissioni scientifiche e degli Organi di governo

dell'Ente, sia a livello locale, da parte delle singole strutture territoriali-- nella ricerca di "fondi esterni" finalizzati a specifiche finalità di ricerca, tali da integrare in quantità crescente il trasferimento dello Stato (es.: Unione Europea, Regioni, ASI, altri enti di ricerca, privati); tali fondi non sono inseriti nella previsione triennale sia per la difficoltà di quantificarli in misura ragionevolmente precisa sia perché sono obbligatoriamente destinati a finanziare specifici progetti di ricerca e conseguenti spese da essi dipendenti.

Si conferma, comunque, che ogni avanzo di Amministrazione generato dai singoli esercizi sarà interamente utilizzato nell'esercizio successivo.

### SPESE

I progetti di ricerca dell'Istituto si caratterizzano normalmente per una durata pluriennale che può facilmente raggiungere il decennio, nel corso della quale l'assorbimento di risorse finanziarie varia considerevolmente in funzione della specifica fase di sviluppo (es.: R&D, Ingegnerizzazione, Technical Design Report, Costruzione, Commissioning, Presa dati, Decommissioning).

È, dunque, indispensabile poter contare su un flusso ragionevolmente costante di risorse che, mediando le diverse fasi di avanzamento dei progetti, assicuri la copertura di un volume di spesa sostanzialmente corrispondente, seppure composto da tipologie assai diverse nel tempo.

A parte le spese per progetti finanziati specificamente dal MIUR, esposte per totale nella stessa misura delle entrate, senza dettaglio per specifica tipologia, si è assunto il mantenimento delle spese per Ricerca, Personale, Funzionamento e Attrezzature e Servizi ai livelli 2011.

Come evidenziato nella seguente tabella 2.17 che riassume gli aspetti salienti delle tipologie di spesa ai fini della previsione pluriennale, non si può, tuttavia, fare a meno di rilevare che:

- il trend storico delle principali tipologie di spesa presenta caratteristiche sostanzialmente diverse da quelle che sarà necessario imprimerle per il futuro, in considerazione della drastica riduzione di finanziamento pubblico applicata; e
- conseguentemente, potente si presenta la sfida di mantenere l'attuale livello di eccellenza nella ricerca con una siffatta contrazione.

<b>Tipologia di spesa</b>	<b>% sul totale 2009</b>	<b>Variazione 1998-2009 (valori costanti 2009)</b>	<b>Caratteristiche salienti ai fini della previsione pluriennale</b>
<b>Personale</b>	<b>55%</b>	<b>+20%</b> (+1,8% medio annuo)	I rinnovi dei CCNL e l'incremento del personale hanno generato il trend di crescita; l'applicazione della Legge 30.7.10, n. 122, con il relativo limite al rinnovo del turn-over ed il blocco dei CCNL dovrà determinare l'interruzione di questo trend. Nella sostituzione del turn-over si dovranno concentrare le nuove assunzioni su ricercatori e tecnologi.
<b>Funzionamento</b>	<b>10%</b>	<b>+48%</b> (+4,4% medio annuo)	Le dimensioni ormai raggiunte dall'Istituto, con l'attuale articolazione organizzativa, hanno alimentato una dimensione crescente di queste spese, che tendono a diventare fisse. Per il futuro si rende necessaria una significativa razionalizzazione delle strutture e semplificazione delle prassi di lavoro.
<b>Ricerca (senza personale)</b>	<b>25%</b>	<b>-58%</b> (-5,3% medio annuo)	La contrazione passata delle Entrate (-24% nel periodo 1998-2009, a "valori costanti" 2009) è stata, sostanzialmente, assorbita da minori spese per la ricerca e per Attrezzature e Servizi.
<b>Attrezzature e Servizi</b>	<b>10%</b>	<b>-36%</b> (-3,3% medio annuo)	Per il futuro si dovrà quanto meno recuperare maggiori livelli di efficienza, in tutti i settori, liberando risorse per la ricerca.

Tab. 2.7: Caratteristiche salienti delle tipologie di spesa ai fini della previsione pluriennale.

#### SPESA AMMINISTRATIVA

Con specifico riferimento alla spesa amministrativa sostenuta per la gestione dell'Ente, oltre alle generali "spese per il funzionamento" – quantificabili nell'ordine del 5% della spesa totale – si può far riferimento alla spesa necessaria per le retribuzioni del personale amministrativo; si fornisce, al proposito, la seguente sintesi:

	2011	2012	2013
<b>Spese per il funzionamento</b>	<b>13.360</b>	<b>13.500</b>	<b>13.550</b>
<b>Spesa per il personale amministrativo</b>	<b>12.762</b>	<b>12.748</b>	<b>12.797</b>
<b>Sistema informativo</b>	<b>754</b>	<b>600</b>	<b>400</b>

Tabella 2.8: spesa necessaria per le retribuzioni del personale amministrativo nel triennio 2011-2013.

In conclusione, in tabella 2.9, si riporta il profilo di spesa 2011 e le risorse disponibili previste per il 2012 e 2013.

**RISORSE FINANZIARIE DISPONIBILI 2011-2013**  
(in milioni di euro)

	2011	2012	2013
<b>ENTRATE:</b>			
Assegnazione ordinaria MIUR, incluso "premile"	262,00	265,00	268,00
Contributo assunzioni straordinarie ricercatori	1,61	1,61	1,61
Entrate diverse	3,66	3,66	3,66
<b>Totale Entrate</b>	<b>267,27</b>	<b>270,27</b>	<b>273,27</b>
<b>SPESE:</b>			
<b>ATTIVITÀ DI RICERCA:</b>			
Fisica delle particelle	19,30		
Fisica Astroparticellare	13,01		
Fisica Nucleare	9,91		
Fisica Teorica	2,48		
Ricerche Tecnologiche	3,96		
	48,66	48,66	48,66
Progetti strategici, speciali ed altre iniziative specifiche	7,75	7,75	7,75
<b>Totale Ricerca</b>	<b>56,41</b>	<b>56,41</b>	<b>56,41</b>
<b>FUNZIONAMENTO STRUTTURE:</b>			
LNF	8,00		
LNGS	6,42		
LNL	5,89		
LNS	5,63		
CNAF	1,08		
Sezioni e Gruppi Collegati	9,94		
Organi Direttivi e Strutture Centrali	1,00		
<b>Totale Funzionamento</b>	<b>37,96</b>	<b>37,96</b>	<b>37,96</b>
<b>FONDI CENTRALI E PARTECIP. A CONSORZI</b>			
(include Energia elettrica e Contributi a altri Enti di ricerca)	23,93	26,93	29,93
PERSONALE	146,89	146,89	146,89
FONDO DI RISERVA	2,08	2,08	2,08
<b>Totale Spese</b>	<b>267,27</b>	<b>270,27</b>	<b>273,27</b>
<b>ASSEGNAZIONI VINCOLATE MIUR</b>			
Progetti finanziati specificamente:	50	60	60
Super B			
Programma di Fusione			

Tab. 2.9: Profilo di spesa relativo al triennio 2011-2013.

## IL PIANO DI RIAMMODERNAMENTO GESTIONALE

### Il quadro normativo

L'Istituto è ente pubblico nazionale di ricerca, con autonomia organizzativa, finanziaria e contabile in conformità alla legge 168 del 1989.

L'adeguamento dell'INFN al rinnovato sistema della ricerca pubblica è avvenuto attraverso i provvedimenti normativi generali, senza che sia stata necessaria una specifica disposizione per il suo riassetto.

Com'è noto, la legge 137 del 2002 ha delegato il Governo a riordinare e aggregare gli enti pubblici di ricerca. In sua applicazione sono stati emanati decreti concernenti il CNR, l'ASI, l'ENEA e l'INAF. In particolare l'atto riguardante il CNR contiene, all'art. 22, comma 8, un elenco di norme che trovano applicazione verso tutti gli enti di ricerca vigilati dal MIUR, quindi anche presso l'INFN.

Gli ambiti, per i quali i principi normativi sono i medesimi, sono: la promozione a fini produttivi e di trasferimento tecnologico dei risultati della ricerca; la formazione dei ricercatori italiani; le attività di consulenza tecnico-scientifica alle PP.AA.; la fornitura di servizi a terzi; l'operare sulla base di piani triennali di attività, aggiornati per scorrimento annuale e comprendenti la determinazione del fabbisogno di personale; gli strumenti operativi (accordi e convenzioni); le partecipazioni anche in imprese; la costituzione di centri di ricerca internazionali; il commissionare attività di ricerca all'esterno; il dotarsi di propri regolamenti in coerenza con le procedure e le modalità di cui all'art. 8 della citata legge 168; le norme sul personale (ivi compresa la chiamata diretta del 3% dei ricercatori, riservata a soggetti di altissima qualificazione); la reciproca mobilità del personale dell'università e degli enti pubblici di ricerca; la trasmissione al MIUR dei preventivi e consuntivi annuali.

Il decreto legislativo n. 213 del 31 dicembre 2009, emanato dal Governo sulla base della legge delega del 27 settembre 2007 n. 165, avente per oggetto il riordino degli enti di ricerca vigilati dal MIUR, prevede per ciascun ente la formulazione di un nuovo statuto, da deliberare – da parte degli enti – entro sei mesi dalla data di entrata in vigore del decreto legislativo, che specifichi la missione e gli obiettivi di ricerca, tenuto conto del PNR (Programma Nazionale della Ricerca) e degli obiettivi strategici fissati dal Ministero e dall'Unione Europea, nonché dei fabbisogni e del modello strutturale di organizzazione e funzionamento previsti per il raggiungimento degli scopi istituzionali e il buon andamento delle attività. La formulazione e la deliberazione dello Statuto è attribuita, in prima applicazione, ai consigli di amministrazione (per l'INFN

al Consiglio Direttivo), integrati da cinque esperti nominati dal Ministro.

Il decreto contiene una norma specifica per l'INFN (art. 9.4) che dispone la riduzione del Consiglio Direttivo dei due componenti dell'ENEA e del CNR e che restano in vigore le vigenti disposizioni relative alla nomina degli organi statuari.

L'Istituto ha dato seguito a quanto previsto dal decreto di riforma adottando il nuovo Statuto, attualmente all'esame del Ministero, e costituendo appositi gruppi di lavoro per il riesame del Regolamento del Personale e di alcuni Disciplinari interni.

### Il regolamento generale in vigore e i regolamenti interni

Il Regolamento Generale dell'INFN, a valenza statutaria, attualmente vigente, è comunque quello pubblicato nella Gazzetta Ufficiale, serie generale, n. 48 del 27 febbraio 2001, suppl. ordinario.

L'atto individua i principi generali che disciplinano l'Istituto (natura giuridica, funzioni, personale, programmazione, fonti di finanziamento, bilancio, controlli interni) e dispone in ordine agli organi e alle strutture.

Di seguito al richiamato Regolamento Generale sono stati emanati i seguenti regolamenti di settore:

- Regolamento generale delle strutture
- Regolamento di amministrazione, finanza e contabilità
- Regolamento recante le norme sui concorsi per l'assunzione di personale a tempo indeterminato
- Regolamento per le associazioni alle attività scientifico-tecniche
- Regolamento del trattamento dei dati sensibili e giudiziari
- Regolamento per la valorizzazione, lo sviluppo e l'applicazione delle conoscenze dell'Istituto
- Regolamento per la prestazione di attività e servizi a favore di terzi
- Regolamento sul trattamento di missione del personale dipendente dell'INFN sul territorio nazionale
- Regolamento per i lavori, le forniture e i servizi in economia.
- Regolamento per l'Attività Negoziale
- Regolamento per il Patrimonio
- Regolamento sugli spin-off

Il nuovo Statuto dell'Istituto che sostituirà il Regolamento generale, prevede esplicitamente l'emanazione dei seguenti regolamenti e disciplinari:

- regolamento di amministrazione, finanza e contabilità
- regolamento del personale
- disciplinare in materia di elezioni, organizzazione e funzionamento interni



- disciplinare in materia di contratti e servizi e prestazioni d'opera e professionali
- disciplinare organizzativo dell'amministrazione centrale
- disciplinare organizzativo delle strutture
- disciplinare per le cariche elettive

### Le disposizioni legislative generali

La natura pubblica dell'Istituto, l'impiego di risorse umane e in generale il fatto di essere inseriti nella realtà giuridica del Paese, comportano l'obbligo di attenersi: ai principi sulla trasparenza e sui tempi certi dei procedimenti amministrativi (legge 241 del 1990); all'ordinamento del lavoro alle dipendenze delle amministrazioni pubbliche (decreto legislativo 165 del 2001); alla tutela dei dati personali (decreto legislativo 196 del 2003); alla cura della sicurezza dei luoghi di lavoro (decreto legislativo 81 del 2008); al controllo della Corte dei Conti (legge 20 del 1994); alle speciali regole in materia di lavori, servizi e forniture (decreto legislativo 163 del 2006); alle regole in materia di ottimizzazione della produttività del lavoro pubblico e di efficienza delle pubbliche amministrazioni (decreto legislativo 150 del 2009) nonché a tutte quelle altre disposizioni generali che riguardano i singoli settori interessati dalle attività dell'Ente.

### Il sistema informativo

Il nuovo sistema informativo è entrato in esercizio nel 2009. In linea con gli obiettivi del piano triennale 2010-2012, nel corso del 2010 il nuovo sistema informativo dell'Istituto ha ottenuto i seguenti risultati:

- Consolidamento della gestione amministrativa e contabile.
- Diffusione della conoscenza del sistema con uso diffuso di differenti strumenti formativi.
- Messa a punto del nuovo sistema di rilevazione presenze integrato con il sistema di gestione risorse umane e sua attivazione su cinque strutture.
- Evoluzione del Portale Utente e sua completa integrazione nella struttura informatica dell'INFN (autenticazione, autorizzazione, anagrafiche, ecc.)

Gli obiettivi che il Sistema informativo intende perseguire nel prossimo triennio possono essere così sintetizzati:

- Integrazione di tutte le componenti informative attualmente in esercizio nell'INFN, al fine di garantire un sistema moderno, integrato che possa migliorare l'efficienza nelle sue operazioni e la trasparenza verso il management e gli organi di controllo; in particolare la condivisione di anagrafiche centralizzate da parte di tutte le applicazioni che cooperano a gestire i dati amministrativi essenziali al corretto funzionamento dell'Istituto.

- Ottimizzazione dei processi amministrativi trasversali all'INFN ovvero che coinvolgono centro e periferia, redistribuzione delle attività sui processi medesimi, profittando delle nuove possibilità offerte dal sistema informativo, al fine di garantire una semplificazione delle procedure, una maggiore efficienza ma anche, e soprattutto, un controllo più semplice e una maggiore trasparenza.

- Disponibilità di dati rivolti al management dell'Istituto sia di tipo economico ma anche di tipo gestionale al fine di massimizzare la adeguatezza della azioni correttive minimizzando i tempi di risposta agli eventi.

Inoltre sarà necessario perseguire un adeguamento della infrastruttura tecnologica alla base del sistema stesso (piattaforma hardware e software).

L'evoluzione del sistema informativo verrà quindi realizzata in modo incrementale e per passi successivi, in modo tale da poter costantemente verificare il livello di miglioramento dell'organizzazione e l'efficienza raggiunta rispetto ai risultati attesi.

Gli elementi principali di sviluppo del sistema informativo nel prossimo triennio riguardano il miglioramento di processi di business, l'automazione dei flussi di lavoro, l'uso pervasivo della firma elettronica nei processi per i quali si rendono necessari specifici livelli autorizzativi e di sicurezza, quali ad esempio:

- Gestione appalti
- Gestione e Rendicontazione dei Progetti
- Budget e pianificazione
- Gestione delibere
- Richiesta di acquisto
- Emissione ordine
- Autorizzazione al pagamento

Si prevede inoltre di rendere disponibili modelli di dati e relativi strumenti che permettano una facile navigazione dello spazio disponibile nel sistema informativo INFN.

### 2.7 IL QUADRO DELLE COLLABORAZIONI INTERNAZIONALI

L'INFN, per la natura delle ricerche che promuove e coordina, tradizionalmente opera in un vasto contesto di collaborazioni internazionali. In particolare:

- collabora a esperimenti nei maggiori centri di ricerca europei

e mondiali;

- adotta convenzioni, a carattere scientifico e per la diffusione della cultura scientifica, con Istituzioni estere;
- finanzia l'ospitalità, presso le proprie Strutture, di ricercatori stranieri con appositi fondi (Fondo Affari Internazionali);
- finanzia programmi di borse di studio per lo scambio di ricercatori.

Più specificamente:

a) Merita certamente il massimo rilievo l'attività condotta dall'Istituto presso il CERN di Ginevra. L'Italia è tra i paesi fondatori del Laboratorio europeo e, per tramite dell'INFN, è tuttora uno dei membri più attivi. È significativo al riguardo che presso il Laboratorio operano gruppi di ricerca INFN, per complessivi circa 1000 ricercatori, impegnati in tutti gli esperimenti condotti con la macchina LHC (CMS, ATLAS, ALICE, LHCb, LHCf, TOTEM).

Ciò detto, l'Istituto è anche molto impegnato nelle attività sperimentali che si svolgono presso altri grandi Laboratori all'estero quali, per citarne alcuni: FERMILAB, SLAC, BNL, e TJNAF (Stati Uniti); PNPI, BINP e JINR (Federazione Russa); CIAE e IHEP (Cina); RIKEN e KEK (Giappone); BARC (India), DESY e GSI (Germania); ESRF (Francia), ecc.

Il 4 laboratori nazionali LNL, LNGS, LNF, LNS rappresentano un'ossatura fondamentale per tutte le iniziative dell'INFN ed in particolare ospitano infrastrutture e *facilities* messe a disposizione della comunità internazionale. E così, presso i Laboratori Nazionali di Frascati, sulla macchina DAFNE, citiamo gli esperimenti KLOE, FINUDA e DEAR. Presso i Laboratori Nazionali del Gran Sasso, particolare menzione va fatta per gli esperimenti BOREXINO, CUORE, ICARUS, LVD, DAMA e per il progetto CNCS (CERN *Neutrinos to Gran Sasso*). Ai Laboratori Nazionali di Legnaro le attività sperimentali utilizzano il complesso di acceleratori TANDEM e ALPI, mentre ai Laboratori Nazionali del Sud è in funzione il moderno Ciclotrone Superconduttore.

Tra le attività svolte in Italia si rammenta anche che a Cascina, nei pressi di Pisa, è in funzione l'antenna interferometrica VIRGO, che costituisce un rilevante progetto condotto in *joint-venture* con il CNRS-IN2P3 francese.

b) In tabella 2.10 si riporta un elenco delle Istituzioni scientifiche straniere, e relativi paesi, con le quali l'INFN ha concluso nel tempo accordi di collaborazione scientifica.

L'INFN inoltre:

- partecipa a programmi europei nei settori del calcolo scientifico e della fisica nucleare;

- insieme a numerose istituzioni di ricerca dei maggiori paesi europei è fondatore di ApPEC (Astroparticle Physics European Coordination);
- è socio fondatore del Consorzio italo-francese "European Gravitational Observatory" (EGO) (Cascina-Pisa);
- è socio della "European Science Foundation" (ESF) di Strasburgo;
- ha propri rappresentanti nel comitato di esperti NuPECC (*Nuclear Physics European Collaboration Committee*), nel comitato scientifico PESC (*Physical and Engineering Sciences*) di ESF (*European Science Foundation*), in ICFA (*International Committee Future Accelerators*) e in ECFA (*European Committee Future Accelerators*);
- è socio della *European Association for the Promotion of Science and Technology* (EUROSCIENCE) di Strasburgo;
- è azionista, insieme al CNR ed all'INFM, dell'*European Synchrotron Radiation Facility* (ESRF) di Grenoble.

c) L'Istituto, consapevole del suo ruolo nel contesto internazionale, ha da sempre promosso e favorito ogni iniziativa intesa a intensificare i rapporti scientifici con le istituzioni e i ricercatori stranieri, sia attraverso appositi programmi di ospitalità di stranieri in Italia, sia attraverso lo scambio di ricercatori sulla base di convenzioni e accordi specifici.

Il Fondo Affari Internazionali (Fondi FAI) è finanziato sugli appositi capitoli denominati "Spese soggiorno ospiti ricercatori" del Bilancio dell'Istituto.

Il Direttore può ospitare presso la propria sezione/laboratorio ricercatori ospiti stranieri per definiti periodi di tempo (minimo due settimane, massimo sei mesi) sulla base di un programma di ricerca definito. Ai ricercatori ospiti stranieri possono essere rimborsate, dietro presentazione dei relativi documenti, le spese di viaggio e soggiorno, purché esse non risultino già previste, nel quadro di accordi di cooperazione internazionale, a carico dell'istituzione di appartenenza.

In figura 2.19 si fornisce un quadro dei soggiorni FAI assegnati nel corso del 2010 a ricercatori ospiti stranieri distinti per nazionalità.

d) Sono attivi diversi programmi per l'assegnazione di borse per scambio di ricercatori, formalizzati in apposite convenzioni bilaterali con istituzioni straniere e Organizzazioni Internazionali (vedi figura 2.20).

1) Borse di studio a favore di giovani ricercatori italiani presso il MIT (Borse Bruno Rossi)

**Tab. 2.10: Accordi internazionali**

<b>Armenia</b>	State Committee of Science of the Ministry of Education and Science
<b>Argentina</b>	Comision Nacional de Energia Atomica (CNEA)
<b>Australia</b>	Melbourne University
<b>Belgio</b>	Ion Beam Applications (IBA) International Association for the promotion of cooperation with scientists from the New Independent States of the former Soviet Union (INTAS)
<b>Brasile</b>	Università Statale di Campinas Università di S. Paolo
<b>Bulgaria</b>	Institute of Nuclear Research and Nuclear Energy (INRNE)
<b>Canada</b>	Canada's National Laboratory for Particle and Nuclear Physics (TRIUMF)
<b>Rep. Ceca</b>	Czech Academy of Sciences
<b>Corea del Sud</b>	Research Institute of Basic Science (RIBS), Seoul
<b>Cina</b>	China Institute of Atomic Energy (CIAE), Beijing Chinese Academy of Sciences (CAS), Beijing Institute of High Energy Physics (IHEP), Beijing National Natural Science Foundation of China (NSFC) South East University of Nanjing (SEU), Nanchino
<b>Francia</b>	Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), Paris Institut National de Physique Nucl�aire et de Physique des Particules (IN2P3), Paris
<b>Germania</b>	Deutsches Elektronen Synchrotron (DESY), Amburgo Gesellschaft f�r Schwerionenforschung (GSI), Darmstadt Max-Planck Gesellschaft zur F�rderung der Wissenschaften, Monaco
<b>Giappone</b>	Institute of Physical and Chemical Research (RIKEN), Tokyo National Laboratory for High Energy Physics (KEK) Nagoya University, Nagoya Institute for Chemical Research (ICR), Kyoto University Japan Aerospace Exploitation Agency (JAXA) Japan Society for the Promotion of Science (JSPS)
<b>Grecia</b>	University of Athens University of Crete University of Ioannina University of Patras University of Thessaloniki National Center for Scientific Research (NCSR) "Demokritos" National Technical University of Athens Foundation of Research and Technology (FORTH)
<b>India</b>	Bhabha Atomic Research Center – BARC
<b>Israele</b>	Israel Commission for High Energy Physics (ICHEP)
<b>Polonia</b>	H. Niewodniczanski Institute of Nuclear Physics in Krakow (INPK), Cracovia
<b>Regno Unito</b>	Particle Physics and Astronomy Research Council (PPARC)
<b>Romania</b>	Institutul National de C&D Centru Fizica Inginerie Nucleara (IFIN-HH)
<b>Federazione Russa</b>	Russian Academy of Sciences (RAS) Petersburg Nuclear Physics Institute (PNPI) Lebedev Physical Institute Budker Institute for Nuclear Physics (BINP), Novosibirsk Novosibirsk State University, Novosibirsk Moscow State Engineering Physics Institute (MEPhI) Institute for Theoretical and Experimental Physics (ITEP), Moscow Joint Institute of Nuclear Research (JINR), Dubna Russian Research Center Kurchatov Institute (RRC KI), Moscow Moscow Institute of Steel and Alloys (MISIS) Skobel'syn Institute of Nuclear Physics, Moscow
<b>Rep. Slovacca</b>	Slovak Academy of Sciences
<b>Spagna</b>	Ministerio de Ciencia e Innovation, Madrid
<b>Stati Uniti d'America</b>	National Science Foundation (NSF) Fermi National Accelerator Laboratory (FERMILAB) Stanford Linear Accelerator Centre (SLAC) Brookhaven National Laboratory (BNL) Thomas Jefferson National Accelerator Facility (TJNAF) Massachusetts Institute of Technology (MIT) Argonne National Laboratory Laboratory of Elementary Particle Physics, Cornell University Brown University Indiana University University of California Los Angeles (UCLA)
<b>Svizzera</b>	European Organization for Nuclear Research (CERN), Ginevra Swiss Federal Institute of Technology (ETHZ), Zurigo Paul Scherrer Institute (PSI), Zurigo
<b>Ucraina</b>	National Academy of Sciences of Ukraine (NASU)

**Finalità:** conseguimento del PhD in Fisica presso il MIT;  
**Programma scientifico e regolamentazione corso PhD:** secondo normativa MIT ;  
**Selezione candidati:** effettuata da apposita Commissione paritetica INFN/MIT;  
**Supporto finanziario:** 1° e 2° anno INFN, 2° e 3° anno MIT, eventuale prolungamento congiunto.

2) Borse di studio a favore di giovani ricercatori italiani presso il MIT (Borse post-doc presso il MIT)

**Durata:** in corrispondenza con Anno Accademico MIT per 1 o 2 anni;  
**Finanziamento:** a carico INFN.

3) Borse di studio a favore di giovani ricercatori presso il CERN  
**Tipologie:** Senior Fellowship Programme - Junior Fellowship Programme;

**Durata:** un anno rinnovabile. In casi eccezionali possibile estensione per un terzo anno.

**Supporto finanziario:** a carico del CERN;

**Selezione candidati:** 1° livello Stati Membri - 2° livello CERN.

4) Borse di studio a favore di ricercatori cinesi (CAS)

**Numero e durata:** stabilito annualmente da parte di un apposito Comitato congiunto INFN/CAS.;

**Finanziamento:** a carico INFN;

**Sedi di destinazione:** sezioni e Laboratori INFN;

**Selezione candidati:** effettuata da parte della struttura INFN di destinazione su temi di ricerca.

5) Borse di studio a favore di ricercatori cinesi (CIAE)

**Numero e durata:** 5 borse di durata annuale;

**Finanziamento:** a carico INFN;

**Sedi di destinazione:** Laboratori Nazionali di Legnaro e Laboratori Nazionali del Sud;

**Selezione candidati:** effettuata da parte della sede di destinazione su temi di ricerca prestabiliti.

6) Borse di studio a favore di giovani italiani e statunitensi (*Summer Exchange Programme INFN/DOE/NSF*)

**Numero:** 20 borse per fisici italiani presso laboratori USA - 20 borse per fisici USA presso Strutture INFN;

**Finanziamento:** 10 a carico DOE - 10 a carico NSF - 20 a carico INFN;

**Destinatari:** laureandi in fisica, ingegneria, informatica;

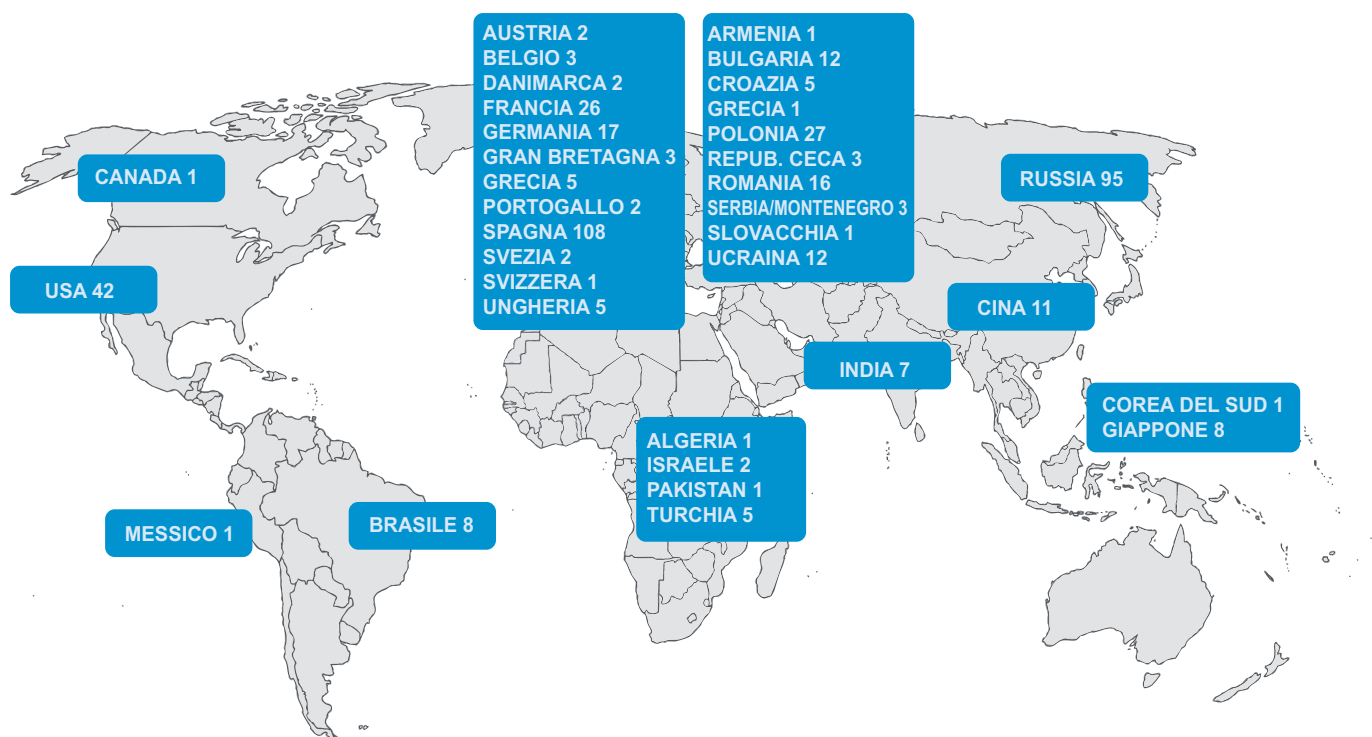
**Durata:** soggiorni di 10 settimane (periodo 1° giugno - 30 novembre);

**Selezione candidati:** effettuata da apposite Commissioni paritetiche INFN/DOE/NSF.

## 2.8 LA PARTECIPAZIONE ALLA COSTRUZIONE DELLA EUROPEAN RESEARCH AREA

L'INFN è membro di diverse organizzazioni europee e internazionali, e contribuisce alla definizione dei corrispondenti piani pluriennali di attività, per quanto attiene alla missione dell'Istituto, nel campo della fisica fondamentale, sia teorica che sperimentale.

Fig.2.19 : Ricercatori stranieri ospiti presso strutture INFN (FAI) nel 2009 per un totale di 447.



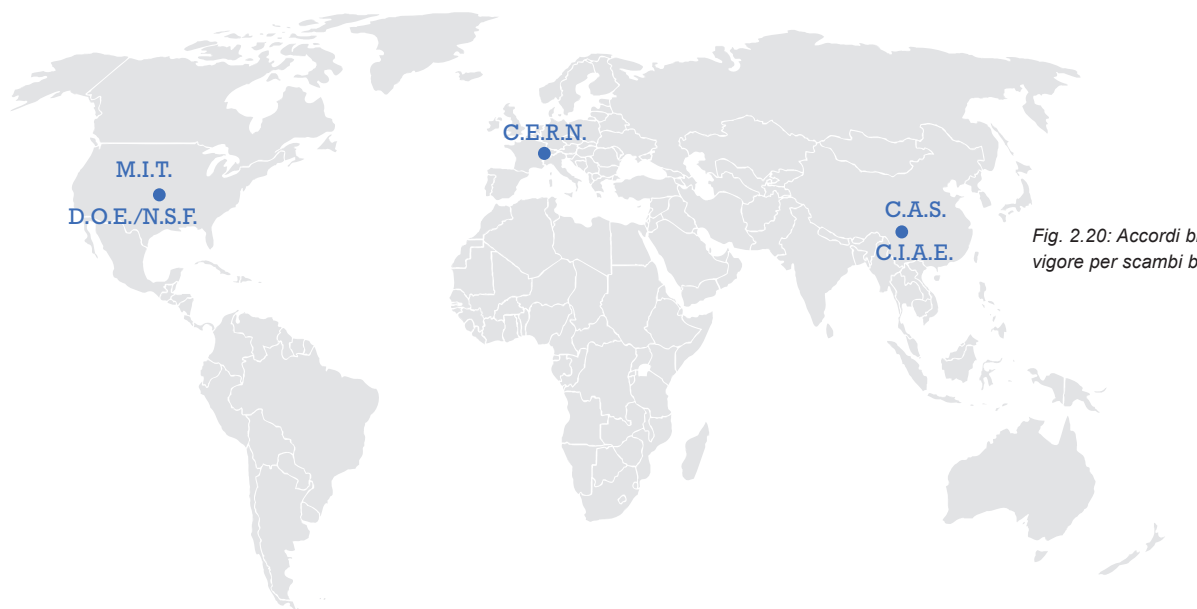


Fig. 2.20: Accordi bilaterali in vigore per scambi borsisti.

La *European Science Foundation* (ESF) è una di queste organizzazioni, ed è nata sulla spinta di diverse istituzioni e agenzie (ad oggi 80 in 30 nazioni) che si sono poste come fine la cooperazione e la collaborazione nella ricerca scientifica europea, considerando anche le esigenze degli erogatori delle risorse finanziarie (stakeholders). La ESF agisce in stretta collaborazione con altre istituzioni a livello europeo, come la Commissione Europea stessa, ALLEA (*ALL European Academies*) e EUROHORCs (*European Heads of Research Councils*), di cui l'INFN è pure membro, e anche con partner come NSF (*National Science Foundation*) e NIH (*National Institutes of Health*) negli Stati Uniti e con l'OECD (*Organization for Economic Cooperation and Development*).

L'INFN fa parte di ESF fin dalla sua istituzione nel 1974 (unica altra istituzione italiana insieme al CNR): è rappresentato in strutture interne dell'organizzazione come il *Physics and Engineering sciences Standing Committee* (PESC) e il *Nuclear Physics European Collaboration Committee* (NuPECC).

Da alcuni anni il ruolo di ESF si è focalizzato sulla creazione della *European Research Area* (ERA), che dovrà essere caratterizzata da una politica scientifica dinamica, da finanziamenti basati sulla qualità e sul merito, dalla mobilità dei ricercatori, degli studenti e delle risorse finanziarie e dalla realizzazione di infrastrutture di ricerca adeguate.

Una recente azione congiunta di ESF e di EUROHORCs ha portato alla pubblicazione di un importante documento "*EUROHORCs and ESF Vision on a Globally Competitive ERA and their Road Map for Actions*", che in dieci punti definisce il migliore cammino verso la costituzione della *European Research Area*, indicando le azioni corrispondenti e le responsabilità per il processo di trasformazione.

Per lo studio di una questione così complessa e per individuare i principali temi per le azioni future, ESF ha deciso di utilizzare le esperienze e le idee dei propri membri, attraverso l'istituzione di diversi Fori di discussione. I Fori della ESF sono infatti strumenti finalizzati allo scambio

delle esperienze nazionali e mirano all'identificazione di un insieme condiviso di pratiche, che possano anche essere trasferite in realtà diverse.

Nell'ambito delle analisi sulla mobilità dei ricercatori in Europa, l'INFN ha partecipato attivamente al Forum su "*Research Careers in Europe: Landscape and Horizons*", che è servito da piattaforma comune per lo sviluppo delle strategie da applicare a livello nazionale e sovranazionale. È stata un'occasione per confrontare con altre Organizzazioni, a fronte di norme europee, l'impegno dell'INFN nel sostenere lo sviluppo delle carriere: la nostra performance è risultata di alto livello e le nostre iniziative in accordo con gli orientamenti europei.

Dopo la pubblicazione del Report finale, il Forum proseguirà l'attività almeno fino al 2012, con una nuova iniziativa "*European Alliance on Research Careers Development*", per sviluppare una descrizione coerente della struttura della carriera in Europa e una tassonomia che includa sia la ricerca pubblica sia quella privata, allineandosi al punto 2 della "*Roadmap ESF-EUROHORCs*".

Un secondo Forum che si è concluso con la pubblicazione di un Report e nel quale l'INFN è stato fortemente coinvolto ha affrontato il problema della valutazione delle istituzioni di ricerca: "*Evaluation of Funding Schemes and Research Programmes*". La rilevanza di questo lavoro è stata fortemente apprezzata dal *Governing Council* di ESF, il quale ha approvato un nuovo Forum fino al 2012, che affronti in particolare il problema di misurare il grado di internazionalizzazione delle Istituzioni. L'INFN è alla guida di questa attività e il primo incontro a Stoccolma ha visto la partecipazione di oltre 30 Organizzazioni, insieme a rappresentanti della Commissione Europea e di istituzioni non appartenenti a ESF (come la NSF negli Stati Uniti). Questa iniziativa è allineata al punto 6 della "*Roadmap ESF-EUROHORCs*".

Entrambe le iniziative precedenti sono connesse ad uno dei filoni più importanti delle iniziative promosse da ESF, cioè



la costituzione di un *peer review* a livello europeo. L'INFN è stato tra i promotori della standardizzazione dei processi di *peer review*, includendo i temi del controllo di qualità della valutazione e della trasparenza delle procedure.

Il Forum corrispondente, che è operativo da più di due anni, sta avviandosi nel 2011 a concludere i lavori con la realizzazione di una "*Peer Review Guide for Practitioners*". Il rappresentante INFN è stato scelto dal Management ESF per presentare i risultati di questa attività (già esposti anche al *Governing Council* di ESF) alla *Science Policy Conference* che si è tenuta a Strasburgo nel novembre 2010, congiuntamente all'Assemblea Generale ESF. Anche in questo caso vi è un allineamento strategico, al punto 5 della "*Roadmap ESF-EUROHORCs*".

L'INFN è membro di ApPEC (*Astroparticle Physics European Coordination*), costituito da 19 istituzioni e agenzie europee, nato nel 2001 con lo scopo di promuovere e coordinare le iniziative di ricerca nel settore della Fisica Astroparticellare e sviluppare strategie di lungo termine. L'INFN è stato uno degli istituti fondatori, è rappresentato da due suoi membri nello *Steering Committee* e da quattro membri nel comitato incaricato di redigere la Roadmap Europea nel suddetto campo di ricerca. ApPEC coordina la sua attività con altri organismi internazionali, quali il CERN e l'OECD.

L'INFN è anche membro del FALC (*Funding Agencies for Large Colliders*); questo forum, formato dai responsabili delle agenzie di ricerca internazionali, esamina periodicamente lo stato della ricerca nel settore della fisica con acceleratori e discute delle eventuali proposte per nuove infrastrutture (quali per esempio l'International Linear Collider o la SuperB) o degli upgrade di grandi infrastrutture esistenti (quali l'LHC). Tali discussioni risultano molto importanti per un coordinamento strategico globale ed un ottimale utilizzo delle risorse disponibili. L'INFN è stato fra i promotori di quest'iniziativa ed il Presidente dell'Istituto ne è stato chair negli anni 2005-2008.

## 2.9 GLI ACCORDI E LE CONVENZIONI NAZIONALI

Fin dalla sua istituzione, l'INFN vive nelle Università, con cui ha un rapporto di collaborazione simbiotica, sia a livello delle strutture, del personale, dell'alta formazione, basato su apposite convenzioni.

Il sistema delle associazioni alle ricerche dell'Ente di personale di altri enti ed in particolare dell'Università costituisce uno dei motivi di successo e di reciproca sinergia.

L'Istituto da tempo intrattiene rapporti di collaborazione con i principali enti pubblici nazionali di ricerca (CNR, ENEA, ASI,

INGV, Sincrotrone Trieste e INAF). La collaborazione tra enti che svolgono attività di ricerca in settori affini o contigui, sia pur in parte, consente di ottimizzare l'utilizzo delle risorse strumentali e delle competenze del personale, e si inserisce all'interno di un quadro strategico di attività e di progetti volti al perseguimento di finalità di comune interesse nazionale.

A tale scopo sono state stipulate nel tempo apposite Convenzioni Quadro con i principali enti pubblici di ricerca nazionali, di cui si riportano qui alcuni degli esempi più significativi.

Vale la pena citare la collaborazione SPARX, realizzata congiuntamente al CNR e all'ENEA, finalizzata alla realizzazione di un laser ad elettroni liberi suscettibile di trovare applicazione in diversi settori quali la genetica, la biologia, o la collaborazione LANDIS con il CNR e relativa allo sviluppo di strumentazione portatile per indagini non distruttive al settore dei Beni Culturali.

Particolarmente importanti, per le risorse utilizzate e per il respiro internazionale, sono poi le collaborazioni attivate con l'ASI e relative agli esperimenti AMS, PAMELA, FERMI, grandi collaborazioni internazionali, rese possibili grazie anche all'apporto dell'Istituto e cui partecipano diversi enti di ricerca italiani, coordinati tra loro.

Con l'INGV sono attive collaborazioni finalizzate al monitoraggio sismico di alcune zone del territorio nazionale, in particolare presso i LNGS, e sono state attivate iniziative comuni che hanno condotto, nell'ambito dell'iniziativa denominata PEGASO, alla realizzazione di una infrastruttura suscettibile di utilizzo in ambito marino ad elevate profondità con pochi paragoni a livello mondiale.

L'Istituto è altresì capofila della collaborazione IGI (*Italian Grid Infrastructure*) – cui partecipano tra i vari il CNR, l'ENEA, l'INGV, l'INAF, la Sincrotrone Trieste, l'Università di Napoli Federico II e l'Università della Calabria, i Consorzi COMETA e COSMOLAB – finalizzata alla realizzazione di una infrastruttura di Grid nazionale che partecipi e assicuri il collegamento con l'infrastruttura Europea di Grid, settore nel quale l'INFN ha una riconosciuta eccellenza. L'apporto fornito all'iniziativa dall'Istituto, in termini di competenze e di risorse di calcolo, rappresenta un contributo fondamentale di cui potranno beneficiare utenti di diverse discipline scientifiche ulteriori rispetto a quelle degli enti partecipanti.

L'Istituto inoltre rivolge una particolare attenzione alla formazione scientifica e alla diffusione della cultura nei settori istituzionali e, in tale ambito, sostiene, anche finanziariamente, le attività svolte dalla Società Italiana di Fisica e dalla Società

Italiana di Relatività Generale e di Fisica della Gravitazione.

È anche grazie a rapporti di collaborazione che si svolgono attività di diffusione della cultura scientifica, quale la mostra "Astri e Particelle" - già ospitata presso il Palazzo delle Esposizioni a Roma e la Città della Scienza a Napoli e in via di sistemazione presso il Museo della Fisica e dell'Astrofisica a Teramo -, vista da oltre 180.000 visitatori e realizzata insieme ad ASI e INAF, e il progetto EEE, in collaborazione con il Centro Fermi, rivolto agli studenti delle scuole secondarie superiori dove riscuote un interesse crescente.

Il ricorso a forme di collaborazione costituisce – come già anticipato – una modalità di azione tramite la quale rendere disponibili all'esterno i risultati delle attività svolte. L'Istituto, infatti, nello svolgimento delle sue attività ha sviluppato conoscenze e competenze suscettibili di trovare utilizzo in ulteriori settori, quali:

- a) la Medicina;
- b) l'Energia;
- c) i Beni Culturali.

attivando al riguardo diverse collaborazioni che hanno condotto a importanti realizzazioni.

In particolare:

a) In ambito medico l'Istituto ha prestato un apporto fondamentale per la realizzazione del sincrotrone CNAO a Pavia per il trattamento di patologie oncologiche con fasci di particelle, recentemente sperimentato con successo, e, in collaborazione con l'Ospedale Galliera di Genova, di un biosuscettometro per la misurazione non invasiva del ferro nel corpo umano, risultato vincitore del concorso INVENTION patrocinato da "Il Sole 24 ore"; a Catania presso i LNS, è attivo, in collaborazione con l'Università di Catania e la locale Azienda Ospedaliera, il progetto CATANA per il trattamento con fasci di particelle di alcuni tumori oculari e, a Pavia una collaborazione con la SOGIN e la locale Università per la ricerca nel campo dei radio farmaci. I livelli di eccellenza raggiunti in ambito medico hanno condotto alla definizione di Accordi Quadro di Collaborazione con il Ministero della Salute, la Regione Sicilia e la Fondazione IRCCS Istituto Nazionale dei Tumori di Milano - basati sul riconoscimento dell'importanza delle applicazioni della fisica di base alla medicina e alla salute, da un lato, e alla disponibilità presso l'Istituto di conoscenze e competenze suscettibili di trovare applicazione al mondo della medicina, in particolare al campo dell'Imaging morfologico e della Radioterapia, dall'altro.

b) Nel settore dell'energia è attiva una Convenzione, del tipo "Quadro", con l'Ansaldo Nucleare e l'Istituto partecipa al Consorzio RFX per lo sviluppo dell'energia nucleare.

c) Nel settore dei Beni Culturali infine, oltre alla citata collaborazione con il CNR, è attivo il LABEC, in collaborazione con l'Università di Firenze, che ad oggi costituisce un punto di riferimento nell'applicazione delle tecnologie proprie della fisica delle particelle al settore dell'analisi, conservazione e restauro di Beni Culturali; l'Istituto inoltre è socio fondatore della Società COIRICH, per la realizzazione di una Infrastruttura distribuita per la ricerca multidisciplinare nel settore della conservazione e restauro dei Beni Culturali.

L'Istituto infine, Ente di Ricerca a carattere nazionale, è presente con le sue strutture di ricerca in numerose Regioni italiane e ha attivato collaborazioni con gli enti locali preposti. Quello regionale infatti, allo snodo tra locale e nazionale, costituisce l'ambito ideale per attivare iniziative concrete di crescita del territorio di concerto con le Regioni e gli altri enti locali, istituzionalmente preposti.

Alle citate collaborazioni SPARX, che vede il coinvolgimento anche della Regione Lazio, e nel settore medicale con la Regione Sicilia, si aggiungono altre collaborazioni attivate con la Regione Abruzzo, in tema di Alta Formazione, e con la Regione Piemonte, in tema di formazione alla ricerca, nonché con enti locali della Regione Veneto, in tema di diffusione della cultura scientifica; l'Istituto infine ha allestito e gestisce il Museo della Fisica e dell'Astrofisica in Teramo, in collaborazione con il locale Comune<sup>1</sup>.

Particolarmente importante, anche per le ricadute sul territorio, è poi la collaborazione con la Provincia Autonoma di Trento e con la Fondazione Bruno Kessler che ha prodotto le collaborazioni MEMS, in tema di microsistemi innovativi, e AURORA, in tema di supercalcolo, collaborazioni attivate in settori nei quali l'INFN riveste posizioni di assoluta eccellenza e alle quali presta un contributo insostituibile.

Diverse sono poi le collaborazioni finalizzate ad attività di trasferimento tecnologico, realizzate da consorzi ricerche a carattere regionale, cui l'Istituto partecipa.

Segue nella tabella 2.11 un elenco delle collaborazioni e degli accordi e delle convenzioni in atto.

**Tab. 2.11.1 – Convenzioni con le Università**

Università di Bari	Sezione
Università di Bologna	Sezione
Università di Bologna	CNAF
Università di Cagliari	Sezione
Università di Catania	Sezione
Università di Ferrara	Sezione
Università di Firenze	Sezione
Università di Genova	Sezione
Università di Lecce	Sezione
Università di Milano	Sezione
Università di Milano Bicocca	Sezione
Università di Napoli Federico II	Sezione
Università di Padova	Sezione
Università di Pavia	Sezione
Università di Perugia	Sezione
Università di Pisa	Sezione
Università di Roma La Sapienza	Sezione
Università di Roma Tor Vergata	Sezione
Università di Roma TRE	Sezione
Università di Torino	Sezione
Università di Trieste	Sezione
Università di Roma Tor Vergata	Laboratori Nazionali di Frascati
Università dell'Aquila	Laboratori Nazionali del Gran Sasso
Università di Padova	Laboratori Nazionali di Legnaro
Università di Catania	Laboratori Nazionali del Sud
Università di Brescia	Gruppo collegato a Sez. Pavia
Università di Cosenza	Gruppo collegato a Lab. Naz. Frascati
Università dell'Aquila	Gruppo collegato a Lab. Naz. Gran Sasso
Università di Messina	Gruppo collegato a Sez. Catania
Università di Parma	Gruppo collegato a Sez. Milano Bicocca
Università del Piemonte Orientale	Gruppo collegato a Sez. Torino
Università Salerno	Gruppo collegato a Sez. Napoli
Università di Siena	Gruppo collegato a Sez. Pisa
Università di Trento	Gruppo collegato a Sez. Padova
Università di Udine	Gruppo collegato a Sez. Trieste
Istituto Superiore di Sanità	Gruppo Collegato a Sez. Roma
Politecnico di Bari	Collaborazione Quadro (Sez. Bari)
Università di Bergamo	Collaborazione Quadro (Sez. Pavia)
Università di Camerino	Collaborazione Quadro (Sez. Perugia)
Politecnico di Milano	Collaborazione Quadro (Sez. Milano)
Università di Modena e Reggio Emilia	Collaborazione Quadro (Sez. Bologna)
Università di Roma La Sapienza (Dip.to Energetica)	Laboratori Nazionali di Frascati
Scuola Internazionale Superiore Studi Avanzati	Collaborazione Quadro
Scuola Normale Superiore Pisa	Collaborazione Quadro (Sez. Pisa)
Politecnico di Torino	Collaborazione Quadro (Sez. Torino)
Università di Urbino	Collaborazione Quadro (Sez. Firenze)
Seconda Università di Napoli	Collaborazione Quadro (Sez. Napoli)
Università di Napoli Parthenope	Collaborazione Quadro (Sez. Napoli)

**Tab. 2.11.2 - Convenzioni con Enti Pubblici di Ricerca**

Agenzia Spaziale Italiana	Collaborazione Quadro
Agenzia Spaziale Italiana	Progetto AMS
Agenzia Spaziale Italiana	Progetto LISA/PATHFINDER
ASI (Durata Progetto)	Progetto AMS
Consiglio Nazionale delle Ricerche	Collaborazione Quadro
CNR	Progetto LANDIS (LNS)
CNR-INFM	Progetto SPARC (LNF)
CNR, INGV, Un.tà Bologna, Ferrara e Modena e Reggio	Infrastruttura GRID/Cloud Regione Emilia Romagna DUCK
CNR, ENEA, Un.tà Tor Vergata, MIUR, Regione Lazio	Progetto SPARX
CNR, ENEA, INGV, INAF, Sincrotrone Trieste, Un.tà Federico II, Un.tà Calabria, COMETA, COSMOLAB, etc	Collaborazione IGI (Italian Grid Infrastructure)
CNR, ENEA, Un.tà Tor Vergata	Convenzione per costituzione Società Consortile
Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente	Collaborazione Quadro
Istituto Nazionale di Astrofisica	Collaborazione Quadro
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia	Collaborazione Quadro
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia	Stazione Interferometrica del Gran Sasso (LNGS)
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia	Gestione e utilizzo infrastruttura PEGASO
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia	Realizzazione di una stazione di monitoraggio geofisico e ambientale presso il test site sottomarino dei LNS
Sincrotrone Trieste	Collaborazione Quadro
Fondazione Ettore Majorana	Collaborazione
Fondazione CCR "Venaria Reale"	Collaborazione (TO)
Regione Piemonte	Progetto Neu-ART (TO)
ICRANET	Collaborazione Quadro (RM)
DAISY-Net	Collaborazione Quadro ICT (BA)
Centro Geotecnologie Università Siena	Collaborazione (FE)
Istituto Zooprofilattico delle Venezie	Collaborazione (LNL)

**Tab. 2.11.3 - Convenzioni con altri Enti**

Ansaldo Nucleare	Collaborazione Quadro
Fondazione CNAO	Collaborazione Quadro Adroterapia Oncologica
Fondazione CNAO	Accordo attuativo acceleratore CNAO
CERN, Fondazione CNAO	Conoscenze acceleratore CNAO
Fondazione CNAO, EBG Medaustrom	Collaborazione Adroterapia oncologica
Univ.tà Catania, Policlinico di Catania, CSFNMS	Protonterapia (Progetto CATANA) (LNS)
MSFCRS "Enrico Fermi"	Progetto EEE
Ospedale Galliera	Biosusciometro MID (GE)
CNR,ESA, ENEA, LAIT (Regione Lazio)	Progetto MEGALAB (LNF RM2)
Diversi Enti (Bando MSE)	PROGETTO SLIMPORT (PD)
CNAF, Consortium GARR	Memorandum Understanding DANTE
AIF-CNR-INFM, Un.tà Padova, Comune di Padova e la DGUSR per il Veneto	Mostra Sperimentando (PD-LNL)
SOGIN, Università Pavia	Radio farmaci
Società Italiana di Fisica	Collaborazione Quadro
Società Italiana Relatività Generale Fisica della Gravitazione	Collaborazione Quadro

**Tab. 2.11.4 – Convenzioni/Rapporti Enti Locali**

Provincia Autonoma di Trento/FBK	Collaborazione Quadro
Provincia Autonoma di Trento - FBK	Progetto MEMS2
Provincia Autonoma di Trento -FBK	Progetto AURORA
Regione Abruzzo	Alta Formazione (LNGS)
Comune di Teramo	Museo Fisica e Astrofisica
Regione Piemonte, CNR, INRIM, ENEA	Alta Formazione (TO)
Regione Toscana (Bando Regionale)	Progetto TEMART (FI-LABEC)
Regione Toscana (Bando Regionale)	Progetto ISAV (PI)
Regione Toscana (Bando Regionale)	Progetto Geologia e Radioattività Naturale (FE)
Regione Sicilia	Collaborazione settore medicale
Consorzio Area Ricerca Scientifica e Tecnologica di Trieste	Progetto SISTER (TS)

**Tab. 2.11.5 – Medicina**

Fondazione CNAO	Collaborazione Quadro Adroterapia Oncologica
Fondazione CNAO	Accordo attuativo acceleratore CNAO
CERN, Fondazione CNAO	Conoscenze acceleratore CNAO
Fondazione CNAO, EBG Medaustrom	Collaborazione Adroterapia oncologica
Univ.tà Catania, Policlinico di Catania, CSFNSM	Protonterapia (Progetto CATANA) (LNS)
Ospedale Galliera	Biosuscettometro MID (GE)
SOGIN, Università Pavia	Ricerca radio farmaci
Fondazione IRCCS Istituto Nazionale Tumori	Collaborazione Radioterapia, Adroterapia, Brachiterapia, Dosimetria Clinica
Regione Sicilia	Applicazioni di fisica particellare e nucleare alla medicina
Ministero Salute	Applicazioni di fisica particellare e nucleare alla medicina

**Tab. 2.11.6 – Beni culturali**

CNR	Progetto LANDIS (LNS)
Fondazione CCR "Venaria Reale"	Collaborazione (TO)
Regione Piemonte	Progetto Neu-ART (TO)
Regione Toscana (Bando Regionale)	Progetto TEMART (FI-LABEC)
CNR, Un.tà Tor Vergata, e di Milano Bicocca, Politecnico Milano e altri	Collaborazione SCarl COIRICH

**Tab. 2.11.7 – GRID - ICT**

CNR, ENEA, INGV, INAF, Sincrotrone Trieste, Un.tà Federico II, Un.tà Calabria, COMETA, COSMOLAB, etc	Collaborazione IGI (Italian Grid Infrastructure)
DAISY-Net	Collaborazione Quadro ICT (BA)
CNR,ESA, ENEA, LAIT (Regione Lazio)	Progetto MEGALAB (LNF RM2)
CNAF, Consortium GARR	Memorandum Understanding DANTE
CNR, INGV, Un.tà Bologna, Ferrara, Modena e Reggio Emilia e altri	Collaborazione Grid/Cloud Regione Emilia Romagna DUCK



**Tab. 2.11.8 – Formazione diffusione Cultura Scientifica**

Società Italiana di Fisica	Collaborazione Quadro
Società Italiana Relatività Generale Fisica della Gravitazione	Collaborazione Quadro
MSFCSR “Enrico Fermi”	Collaborazione
AIF-CNR-INFN, Un.tà Padova, Comune di Padova e la DGUSR per il Veneto	Mostra Sperimentando (PD-LNL)
Regione Abruzzo	Alta Formazione (LNGS)
Comune di Teramo	Museo Fisica e Astrofisica
Regione Piemonte, CNR, INRIM, ENEA	Alta Formazione (TO)

**2.10 LE INFRASTRUTTURE DI RICERCA EUROPEE**

L'Istituto partecipa attivamente alla costituzione delle infrastrutture europee per la ricerca, sia con proprie iniziative specifiche sia attraverso i programmi europei anche in coerenza con la propria *roadmap* e con la *roadmap* dell'*European Strategy Forum on Research Infrastructures* ESFRI.

L'INFN si è dotato, nel corso degli anni, di importanti attrezzature quali macchine acceleratrici di particelle presso i Laboratori nazionali, potenti sistemi di calcolo avanzato e distribuito di Grid computing nel Centro nazionale di calcolo CNAF (centro di primo livello, cosiddetto Tier1) e nei centri di secondo livello Tier2 presso alcune strutture, sistemi per il calcolo parallelo per la fisica teorica, servizi tecnici avanzati quali le officine meccaniche, i laboratori elettronici, ecc. Accanto ad esse l'Istituto è coinvolto nella realizzazione di infrastrutture di ricerca di valenza europea incluse nella *roadmap* dell'*European Strategy Forum on Research Infrastructures* (ESFRI). La *roadmap* di ESFRI, alla formazione della quale hanno contribuito esperti dell'INFN, è revisionata periodicamente. Accanto a ciò, la realizzazione della nuova macchina acceleratrice SuperB costituisce un poderoso sforzo realizzativo dell'Istituto verso nuove ed avanzate infrastrutture di ricerca.

Nell'ambito del programma CAPACITÀ (CAPACITIES) - Infrastrutture di Ricerca, l'INFN partecipa, e in molti casi coordina, diversi progetti che coinvolgono decine di istituti europei e centinaia di ricercatori, in molti dei cosiddetti “strumenti” del programma (tabella 2.12). Questi progetti vedono la partecipazione di molte sezioni e laboratori INFN.

In particolare lo strumento “*Design Studies*” è appunto dedicato allo studio di fattibilità di infrastrutture di interesse europeo e costituiscono la base per le revisioni della

Strumento	Numero progetti
Design studies	2
Preparatory phase	9
Attività integrate	5
e-infrastructures	11
Contributo UE per l'INFN	22 MEuro

Tab. 2.12: Progetti INFN nelle infrastrutture di ricerca

*roadmap* di ESFRI. In questo contesto l'INFN ha presentato 5 progetti legati alle nuove tecniche di accelerazione, alla fisica nucleare, particellare ed astroparticellare. Due di questi sono stati recentemente approvati, nei quali l'INFN ricopre ruoli primari coordinando importanti work packages:

- ET (*Einstein gravitational-wave Telescope*) si propone lo studio di rivelatori per onde gravitazionali di terza generazione, rivelatori con una sensibilità più di 100 volte migliore di quella degli attuali rivelatori;
- EURONU è dedicato allo studio di fattibilità di una *neutrino-factory* europea.

Lo strumento *Preparatory Phase* di nuove infrastrutture è, invece, una tipologia di finanziamento riservata alle infrastrutture già presenti nelle *roadmap* di ESFRI. Lo scopo è portare il progetto alla maturità legale, finanziaria e tecnica per essere realizzato. Nella prima call dedicata a 34 infrastrutture di tutte le discipline, l'INFN partecipa a 9 progetti, ed in un caso ne è anche coordinatore:

- KM3Net-PP è un progetto dedicato alla realizzazione di una facility sottomarina per la *neutrino astronomy* ed in generale per la fisica astro particellare. Questo progetto è coordinato dall'INFN (LNS) e coinvolge più di 20 istituti ed università europee;
- SLHC-PP è dedicato all'upgrade di LHC, è coordinato dal CERN e vede la partecipazione di decine di istituti europei;

l'INFN partecipa ad un importante *work package* del progetto;

- FAIR è dedicato alla costruzione della nuova facility FAIR (*Facility for Antiproton and Ion Research*) e coinvolge decine di istituti europei;
- SPIRAL2PP è dedicato alla facility SPIRAL2, è coordinato dal laboratorio francese GANIL (*Grand Accélérateur National d'Ions Lourds*), partecipano 25 istituzioni europee, l'INFN partecipa e/o coordina work packages rilevanti;
- ILC-HiGrade (*International Linear Collider and High Gradient Superconducting RF-Cavities*) è dedicato all'International Linear Collider ed in particolare allo studio ad alla ingegnerizzazione delle cavità RF superconduttrici ad alto gradiente. Il progetto è coordinato dal laboratorio tedesco DESY (*Deutsches Elektronen-Synchrotron*) e vi partecipano 6 istituzioni europee. L'INFN partecipa e coordina work packages rilevanti;
- PRE-XFEL è relativo alle attività preparatorie per l'implementazione dell' X-ray *Free Electron Laser* europeo. Il coordinamento è di DESY;
- ELI-PP (*Extreme Light Infrastructure*) sarà la prima infrastruttura dedicata allo studio dell'interazione laser-materia con intensità laser nel regime ad alta intensità ( $I > 10^{23}$  W/cm<sup>2</sup>). Il progetto è coordinato dal francese CNRS (*Centre National de la Recherche Scientifique*) e vi partecipano 15 istituti; l'INFN coordina la partecipazione italiana al progetto;
- TIARA coordinato dal CERN ha come scopo l'integrazione dell'R&D sulla fisica degli acceleratori integrando le infrastrutture nazionali in una singola infrastruttura europea;
- HiPER (*High Power laser Energy Research*) è una facility dedicata allo studio di fattibilità della *laser driven fusion* come fonte di energia. L'INFN partecipa se pur marginalmente, alla fase preparatoria del progetto.

Per quanto riguarda lo strumento Attività Integrate (*Integrated Activities*) per le infrastrutture di ricerca sono stati presentati diversi progetti nel campo della fisica particellare, nucleare, astroparticellare e sulle nuove tecniche di accelerazione. Molti di questi progetti mirano ad estendere, consolidare e migliorare i risultati ottenuti nei progetti del VI PQ, coinvolgono decine di istituzioni europee, comunità di migliaia di ricercatori ed hanno un budget totale di circa 10 milioni di euro. Recentemente sono stati approvati 5 grandi progetti:

- HadronPhysics2 è un progetto sulla fisica adronica ed è coordinato dall'INFN; ha come scopo lo studio della *strongly interacting matter* che include la struttura degli adroni, la QCD, ecc. Questa iniziativa integrata è iniziata con successo

nel VI programma quadro e coinvolge praticamente l'intera comunità europea che conduce attività di ricerca in questi campi. Il finanziamento totale è di circa 10 MEuro di cui 3 MEuro per l'INFN;

- EUCARD è un progetto sulle nuove tecniche di accelerazione ed è l'estensione e prosecuzione del progetto CARE finanziato nel VI PQ. EUCARD ha come scopo primario la creazione in Europa di laboratori con acceleratori contribuendo così alla costruzione della European Research Area nella scienza degli acceleratori. Il progetto ha un finanziamento per l'INFN di circa 1 MEuro;
- ELISA è un progetto dedicato al free electron laser ed alla luce di sincrotrone;
- ULICE è un progetto che sfrutta le tecniche nucleari e degli acceleratori per la cura dei tumori;
- AIDA è un progetto per R&D sui rivelatori per le nuove macchine acceleratrici, in particolare per il previsto upgrade in luminosità di LHC.

Nell'ambito dello strumento "*ICT based e-infrastructures*", l'INFN ha presentato ben 15 progetti molti dei quali sono stati approvati. Alcuni di questi progetti sono coordinati dall'INFN:

- EGEEIII e EMI sono progetti tesi a consolidare e a migliorare l'infrastruttura Grid europea ed il middleware;
- EELA-2, EuAsiaGrid, EuIndiaGrid e CHAIN intendono estendere l'infrastruttura e-Science all'America Latina e all'Asia;
- EGI (*European Grid Initiative*), OGF-EU e EGI-INSPIRE sono progetti il cui scopo è definire la struttura per la sostenibilità a lungo termine della Grid europea;
- e-NMR è un progetto il cui scopo è diffondere e unificare l'e-infrastruttura NMR per i sistemi biologici;
- EURETILE è un progetto coordinato dall'INFN nel settore delle "*Advanced Computing Architectures*" e degli "*Embedded Systems*" sulla base del know-how sviluppato negli anni nell' ambito del progetto APE.

Per quanto riguarda i programmi futuri, forte è l'interesse ed il coinvolgimento dell'INFN per le infrastrutture di ricerca. Molti progetti di successo per la fisica nucleare, particellare, astroparticellare e per le nuove tecniche di accelerazione sono nati all'interno di organismi europei quali ApPEC (*Astroparticle Physics European Coordination*), NuPECC (*Nuclear Physics European Collaboration Committee*) e ESGARD (*European Steering Group on Accelerator R&D*) e prevedono la creazione di vere e proprie reti di infrastrutture di ricerca di valenza europea. Molti tra questi progetti iniziati nell'ambito del VI PQ vedono la propria prosecuzione, estensione e consolidamento dei risultati nel VII PQ. La call

appena conclusa sulle iniziative integrate delle infrastrutture di ricerca è dedicata a progetti in aree di ricerca di interesse dell'INFN, in particolare alla fisica nucleare, alla fisica astroparticellare e a ricerca e sviluppo sui rivelatori innovativi. Le comunità dei ricercatori dell'Ente si sono organizzate per presentare nuovi progetti, alcuni di questi saranno coordinati dall'INFN. Questi progetti di respiro internazionale vedono il coinvolgimento di decine di istituzioni europee, comunità di migliaia di ricercatori ed hanno un budget totale di circa 10 milioni di euro.

Anche nel settore delle e-infrastrutture e dell'ICT l'INFN ha molti progetti in preparazione, soprattutto nel campo dell'estensione e dello sfruttamento del supercalcolo reso possibile dalle tecnologie di Grid computing.

L'infrastruttura Grid italiana e europea (IGI – *Italian Grid Infrastructure*, EGI – *European Grid Infrastructure*) e l'infrastruttura europea per l'astronomia neutrinica KM3Net vanno menzionati tra i maggiori coinvolgimenti dell'Istituto, anche nell'ambito dei progetti di ricerca del VII Programma Quadro dell'Unione Europea.

In particolare:

#### a) IGI

Il progetto INFN-GRID sta evolvendo verso la costituzione di una nuova organizzazione legale che assicuri la sostenibilità a lungo termine dell'e-Infrastruttura Grid Italiana (IGI). Questa gestirà e svilupperà la Grid italiana che permetterà un utilizzo più efficiente di tutte le risorse di calcolo e storage distribuite sul territorio nazionale e la loro integrazione a livello europeo ed internazionale, al servizio della comunità scientifica ed accademica italiana e dell'Area della Ricerca Europea (ERA). Attualmente l'INFN è capofila della *JRU Joint Research Unit* Italiana, a cui aderiscono tutti le maggiori organizzazioni di ricerca del Paese, in attesa della costituzione legale di IGI.

#### b) KM3Net

Oltre all'attuale grande sforzo impiegato su grandi "tappeti" di rivelatori a terra, ci si aspetta che nasca un nuovo settore, quello dell'astronomia neutrinica, basato su una grande massa d'acqua osservata da un imponente sistema di fotomoltiplicatori installati nelle profondità marine.

L'INFN si propone per la futura localizzazione di una infrastruttura europea della copertura in massa di un chilometro cubo di acqua marina in Sicilia, vicino a Capo Passero, completamente supportata dai Laboratori Nazionali del Sud.

La tecnologia coinvolta in questo progetto rappresenta un ponte verso le scienze geologiche che si possono così giovare di nuovi metodi per l'acquisizione in tempo reale di dati relativi alla stabilità della superficie del fondo marino.

A sostegno delle attività connesse alla realizzazione delle due infrastrutture IGI e KM3Net sono stati recentemente accordati dal MIUR, nell'ambito del decreto ministeriale riguardante la ripartizione del Fondo ordinario per gli enti e le istituzioni di ricerca per l'anno 2010, due finanziamenti straordinari all'INFN:

a) 2 milioni di Euro quale contributo per l'avvio del programma IGI al fine di realizzare una nuova organizzazione legale europea che coordini e realizzi le attività delle infrastrutture Grid nazionali nel settore del calcolo.

b) 1 milione di Euro quale assegnazione finalizzata alla realizzazione dell'infrastruttura di ricerca KM3Net, destinata ad ospitare un telescopio sottomarino per neutrini astrofisici e una rete di osservatori multidisciplinari per lo studio ed il monitoraggio degli ambienti marini profondi.

### 2.11 LE PARTECIPAZIONI SOCIETARIE

Alcune collaborazioni dell'Istituto si sono tradotte nella costituzione e nella partecipazione a organismi associativi, di cui segue l'elenco:

**Consorzio Catania Ricerche:** Consorzio al quale l'INFN aderisce dal giugno 1988; soci consorziati sono l'Università di Catania, il CNR, l'INFN, la Camera di Commercio, Industria, Artigianato di Catania, la SIFI s.p.a. e la A.A.T.

Al momento il Consorzio, al quale l'Istituto partecipa esclusivamente con servizi e competenze, è impegnato in diversi progetti: TestPEP FP7-SME-2008-2-243791 (2010-2013); SCOOP – *Italian Solar Concentration technologies for Photovoltaic systems* - Industria 2015 Bando Efficienza Energetica (2009-2011); LAST-POWER - *Large Area silicon carbide Substrates and heteroepitaxial GaN for POWER device applications* e nei prossimi tre anni si prevede di svolgere e portare a termine i programmi di ricerca approvati e presentare nuove proposte di progetti di ricerca su bandi nazionali, regionali, europei. In ogni caso sono stati già approvati diversi progetti per il triennio 2011-2013 e cioè: "B.R.I.D.G. – *Economies- Business Relays for Innovation and Development of Growing Economies* (2011-2012)"; Progetto TestPEP FP7-SME-2008-2-243791 (2010-2013); Progetto SCOOP – *Italian Solar Concentration technologies for Photovoltaic systems* - Industria 2015 Bando Efficienza Energetica (2009-2011); Progetto LAST-POWER - *Large*

*Area silicon carbide Substrates and heteroepitaxial GaN for POWER device applications*, ENIAC, *Sub-programme* (2010- 2012).

Sono state altresì presentate proposte di progetto su bandi PON e POR ancora in fase di valutazione.

L'ultimo bilancio, relativo all'anno 2009, si è chiuso con una perdita d'esercizio pari a €112.374.

Informazioni più precise sul Consorzio e sulla sua attività sono reperibili alla pagina [www.ccr.unict.it](http://www.ccr.unict.it).

**Consorzio Milano Ricerche:** Consorzio al quale l'INFN aderisce dal giugno 1988; soci consorziati sono il CNR, l'INFN, l'Università Cattolica del Sacro Cuore, l'Università di Milano, l'Università di Milano Bicocca e la Fondazione Museo Nazionale della Scienza e Tecnica "Leonardo da Vinci", oltre a undici soci industriali tra i quali l'IBM e la Pirelli.

Al momento il Consorzio è impegnato nel progetto SMELLER per monitoraggio emissione veicoli in tempo reale e sono in fase di avvio 2 progetti su energetica (settore smartGRID e controllo/ottimizzazione MicroGRID) Partecipa inoltre a diversi progetti nel settore ICT applicati a sicurezza e ambiente.

I Programmi di attività del Consorzio si concentreranno nell'effettuare ricerche sulle metodologie di trasferimento tecnologico, attività di promozione e sostegno di attività di ricerca in comune tra Università, EPR, Imprese e P.A. trasferimento di know-how verso piccole e medie imprese. Nel prossimo triennio l'attività del Consorzio si svolgerà tramite la partecipazione a progetti e bandi, nazionali ed internazionali sui settori che riguardano: ICT, Salute e Biotecnologie, Beni Culturali, tecnologia Aeronautica, Settore Agroalimentare.

L'ultimo bilancio, relativo all'anno 2010, si è chiuso con un piccolo utile d'esercizio pari a € 6.736.

Informazioni più precise sono reperibili alla pagina web [www.milanoricerche.it](http://www.milanoricerche.it).

**Consorzio Roma Ricerche:** Consorzio al quale l'INFN aderisce dal luglio 1989; soci consorziati sono le tre università romane, la LUISS, il CNR, l'ENEA, l'INFN, la Camera di Commercio di Roma, l'Unicredit, la Finmeccanica e la Tecnopolo s.p.a.

Il Consorzio è impegnato in attività di Trasferimento Tecnologico, e in particolare nelle attività previste dal P.O.R. 2007-2013; nei prossimi tre anni si prevede lo sviluppo di Poli per l'Innovazione Tecnologica alle Imprese Industriali nonché supporto alla creazione di laboratori di ricerca industriali pubblico/privati e la partecipazione ai Bandi di R&D e Trasferimento Tecnologico in ambito

Comunitario, nazionale e regionale.

L'obiettivo è quello di sostenere la competitività delle Imprese industriali, in particolare PMI, attraverso la realizzazione di progetti di Innovazione e Trasferimento Tecnologico e la creazione di un Polo per la Ricerca industriale e lo sviluppo tecnologico.

L'ultimo bilancio, relativo all'anno 2009, si è chiuso con una perdita d'esercizio pari a euro 8.472.

Informazioni più dettagliate sono reperibili alla pagina [www.romaricerche.it](http://www.romaricerche.it).

**Società Consortile Pisa Ricerche p.a.:** costituito in forma di consorzio in data 9 marzo 1987 e al quale l'INFN aderisce sin dalla sua costituzione; i soci sono università (Università di Pisa, Scuola Normale di Pisa e la Scuola Superiore S. Anna), enti pubblici di ricerca (INFN, CNR ed ENEA), enti territoriali (Regione Toscana, Provincia e Comune di Pisa, Comune di San Giuliano Terme) e aziende private, quali Finmeccanica, Piaggio, Avio e altre. La Società opera nel settore del trasferimento tecnologico e svolge attività di valutazione di tecnologie, individuazione di metodologie, realizzazione di prototipi e studi di fattibilità per l'industria. Partecipa a programmi di ricerca regionali, nazionale e comunitari e fornisce supporto a piccole medie aziende delle regioni del centro Italia tramite il programma Competitiveness Innovation Programme della Commissione Europea.

Nel prossimo triennio si prevede attività di ricerca applicata nei settori di competenza (quali informatica, ingegneria dell'informazione, microelettronica, ingegneria strutturale, fluidodinamica, energia e ambiente) e più in generale trasferimento tecnologico per le imprese con l'obiettivo di supportare le aziende locali e nazionali per la creazione di valore industriale avvalendosi delle competenze delle Università ed primari Enti di Ricerca.

Il Bilancio 2009 si è chiuso con un utile d'esercizio pari a € 22.283,00

Informazioni più precise sono reperibili all'indirizzo [www.cpr.it](http://www.cpr.it).

**Consorzio Criospazio Ricerche:** Consorzio di ricerca del quale l'INFN fa parte dal gennaio 1990; soci consorziati sono le Università di Trento e di Padova, l'INFN, la Camera di Commercio di Trento e la Fondazione Cassa di Risparmio di Trento e Rovereto.

Il Consorzio è attualmente impegnato nelle attività relative al Progetto LISA-Pathfinder; le attività in corso riguardano il test dell'hardware, il disegno delle operazioni, l'effettuazione delle stesse e lo sviluppo dell'analisi dati.

La durata del Consorzio è stata recentemente prorogata

sino al 31 dicembre 2013 per completare il Progetto LISA-Pathfinder, una missione dell'ESA di cui il direttore del Consorzio è il Principal Investigator. Il lancio della missione è previsto per la fine del 2013. La missione è il precursore tecnologico dell'osservatorio di onde gravitazionali LISA.

Obiettivo del Consorzio nel prossimo triennio è supportare il lavoro di ricerca dei soci, segnatamente il gruppo di Trento nel condurre la missione spaziale fino al lancio.

Il bilancio consuntivo 2010 si è chiuso con un utile netto pari a € 3.044.

**Fondazione CNAO:** alla quale l'Istituto partecipa, in qualità di partecipante istituzionale, dal febbraio 2004. Ne fanno parte, in qualità di Fondatori, il Policlinico Mangiagalli e Regina Elena di Milano, il Policlinico San Matteo di Pavia, l'Istituto Oncologico Europeo, l'Istituto Neurologico C. Besta, l'Istituto Nazionale per lo Studio e la Cura dei Tumori e la Fondazione TERA di Novara; altri Partecipanti istituzionali sono il Politecnico e l'Università di Milano, l'Università e il Comune di Pavia. Aderisce alla Fondazione, in qualità di Partecipante, anche la Fondazione CARIPLO.

La Fondazione ha il compito di realizzare e gestire il Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica e al momento è impegnata nella qualificazione fisico-radiobiologica dei fasci di adroni e, quanto all'INFN, nella messa a punto degli acceleratori e negli aspetti di radiobiologia. Poi l'attività si concentrerà sugli aspetti di ricerca radiobiologica e messa a punto della linea sperimentale. Nei prossimi tre anni il programma di attività consiste nella sperimentazione dei trattamenti di adroterapia, secondo i protocolli e le modalità definite e già approvate dal Ministero della Salute, a seguito del quale prenderà avvio la fase di gestione (trattamenti e ricerca) del CNAO. L'obiettivo è di chiudere la fase di sperimentazione fisico-radiobiologica-clinica entro i primi 18 mesi (con il trattamento di 230 pazienti) e successivamente iniziare i trattamenti di routine. Avviare, a partire dal 2012, la linea di ricerca con fasci di adroni nella sala sperimentale dedicata.

L'ultimo bilancio disponibile si è chiuso con un risultato d'esercizio pari a zero.

Notizie più precise sui partecipanti e sulle attività della Fondazione CNAO sono reperibili alla pagina web [www.cnao.it](http://www.cnao.it).

**Consorzio Ferrara Ricerche:** Consorzio del quale l'INFN fa parte dal marzo 2005 e al quale aderiscono, oltre all'INFN, l'Università di Ferrara tramite la Fondazione

Universitaria Nicolò Copernico, la Azienda Ospedaliera Univ.à "Sant'Anna", la Azienda Unità Sanitaria Locale di Ferrara la Provincia e il Comune di Ferrara, e imprese private (Hera S.p.A. e la Berco S.p.A.).

Il Consorzio è attualmente impegnato in numerosi progetti di ricerca in ambito nazionale, europeo ed internazionale che coinvolgono diversi ambiti scientifici, tra cui quello della salute (scienze mediche, farmaceutiche, biologiche, etc.) e quello delle scienze tecniche (fisica, ingegneria, architettura).

Per il prossimo triennio i programmi di attività prevedono ancora attività di supporto e promozione della ricerca, innovazione e trasferimento tecnologico, ponendosi come interlocutore privilegiato per Università, Centri di Ricerca, Enti Pubblici, Imprese Industriali, in Italia e all'estero, favorendo l'incontro tra i generatori di know how, le organizzazioni industriali ed il mondo del lavoro.

Nel prossimo triennio l'obiettivo è di consolidare e migliorare i risultati conseguiti nel triennio precedente sia in tema di partecipazione a progetti di ricerca, sia nell'organizzazione di eventi ad esse collegati.

Il bilancio 2009 si è chiuso con un utile d'esercizio pari a € 45.668,00.

Informazioni più precise sono reperibili alla pagina web [www.consorzioferrrararicerche.it](http://www.consorzioferrrararicerche.it).

**Consorzio COMETA:** Consorzio costituito nel febbraio 2005 in risposta all'avviso pubblico MIUR 1575/2004 (P.O.N. 2000-2006) e del quale l'INFN fa parte fin dalla sua costituzione. Soci del Consorzio sono le Università di Catania, Messina e Palermo, l'INFN, l'INAF, il CNR, l'INGV e il Consorzio S.C.I.R.E. È anch'esso uno dei partner della collaborazione IGI (*Italian Grid Infrastructure*).

Attualmente il Consorzio è coinvolto nelle attività di diffusione del paradigma della Grid sia a livello nazionale che internazionale, attraverso un'intensa attività di training. Ha, inoltre, partecipato ad un bando PON 2007/2013 ASSE I "Interventi a sostegno della ricerca industriale" con un progetto denominato PAPPICA che coinvolge più di 40 soggetti pubblici e privati e di cui si aspetta l'esito. È in corso l'attività di concertazione con altri Enti per la partecipazione al bando PON e R&C "Distretti tecnologici e relative reti" e "Laboratori pubblico-privati e relative reti", per la costituzione di distretti nel campo della bio-medicina, dei beni culturali e dell'industria tecnologica. Inoltre ha presentato diversi progetti nell'ambito della linea di intervento 4.1.1.1 del POR FESR Sicilia 2007-2013.

Per il prossimo triennio Il Consorzio porterà avanti le attività di ricerca legate a 4 progetti per cui ha ricevuto



finanziamenti dalla U.E. ed ad 1 progetto che rientra nelle azioni "Industria 2015". Tali progetti sono legati ad attività di ricerca nel campo della salute, dei beni culturali e dell'innovazione industriale della mobilità sostenibile.

L'obiettivo è di offrire sia al settore pubblico che a quello privato, oltre alle notevoli capacità di hardware anche supporto specifico alle applicazioni, agli utenti, nonché formazione specifica. I benefici attesi sono principalmente due: 1) Integrazione con il territorio siciliano partecipando ad attività capaci di valorizzare i servizi offerti dal Consorzio; 2) Incrementare le proprie competenze specifiche nel settore in cui opera.

Il bilancio relativo all'anno 2009 si è chiuso con una perdita d'esercizio pari a euro 925.374,95, dovuta sostanzialmente all'ammortamento d'esercizio e interamente coperta dal fondo riserva.

Notizie più dettagliate sul consorzio possono essere rintracciate alla pagina web: [www.consorzio-cometa.it](http://www.consorzio-cometa.it).

**Consorzio CYBERSAR:** denominazione esatta è "Consorzio Cybersar per il Supercalcolo, la modellistica computazionale e la gestione di grandi database". Costituisce la continuazione del Consorzio COSMOLAB, costituito in risposta all'Avviso MIUR 1574/2004 e del quale l'INFN fa parte fin dalla sua costituzione nel febbraio 2005, al pari del Consorzio COMETA. Ne fanno parte, oltre all'Istituto, le Università di Cagliari e Sassari, l'INAF, il CRS4, la TISCALI Italia srl e la NICE srl. È uno dei partner della collaborazione IGI nell'ambito del quale al momento svolge le sua attività.

Per il prossimo triennio è prevista la realizzazione di progetti di ricerca nell'ambito del supercalcolo, della modellistica computazionale e della gestione di grandi database, in particolare in ambito GRID (con la partecipazione all'iniziativa di Grid Italiana (IGI)), *Cloud Computing* e *Digital Library*.

L'obiettivo è di incrementare la partecipazione, come proponenti, partner tecnologici o fornitori di servizi, a progetti di ricerca finanziati su fondi pubblici (in particolare della EU e regionali). Collaborare con imprese (in particolare regionali) in progetti di innovazione tecnologica.

Il bilancio d'esercizio 2009 si è chiuso con una perdita d'esercizio pari a € 507,00 con l'inserimento delle imposte di competenza dell'esercizio.

Informazioni più precise sul consorzio e sulla sua attività sono reperibili alla pagina [www.cybersar.com](http://www.cybersar.com).

**Consorzio RFX:** Consorzio del quale l'INFN fa parte dal gennaio 2006; gli altri soci consorziati sono il CNR,

l'ENEA, l'Università di Padova e la Acciaierie Venete s.p.a.

Le attività del Consorzio si inquadrano nello studio sperimentale dei plasmi per la fusione termonucleare controllata, utilizzando la macchina RFX al massimo della sua potenzialità, e nella partecipazione al progetto internazionale ITER per la fusione realizzando a Padova la Test-Facility per l'iniezione di un fascio di atomi neutri, NBI, nel plasma della macchina. Attualmente il Consorzio è impegnato nella manutenzione della macchina RFX e della strumentazione relativa e in campagne sperimentali con la macchina; gestione gare per le infrastrutture, edifici e impianti per ITER il Consorzio sta procedendo alla realizzazione delle infrastrutture che ospiteranno la test facility. Nell'ambito delle attività del Consorzio l'INFN è particolarmente impegnato nello sviluppo di un prototipo della sorgente e nello studio della dinamica dei fasci della test facility.

Per il prossimo triennio si prevede di proseguire la collaborazione relativa alla partecipazione al programma europeo sulla fusione termonucleare controllata mediante il pieno utilizzo della macchina RFX e la partecipazione al progetto ITER, realizzando a Padova la TEST FACILITY per lo sviluppo dell'iniettore di neutri NBI e della sorgente di ioni relativa. L'obiettivo è di procedere alla sperimentazione alla macchina RFX al massimo delle sue potenzialità, al completamento delle infrastrutture per ospitare la test facility e all'approvvigionamento dei materiali e della strumentazione per il NBI.

L'ultimo bilancio d'esercizio, relativo all'anno 2009, si è chiuso con un disavanzo di esercizio pari a 653.444 euro. Informazioni più precise sono reperibili alla pagina web [www.igi.cnr.it](http://www.igi.cnr.it).

#### **CRDC Nuove Tecnologie per le Attività Produttive**

**S.C.ar.I.:** Società consortile della quale l'INFN fa parte dal maggio 2007; gli altri soci sono le Università di Napoli "Federico II", la Seconda Università di Napoli e la Parthenope, nonché l'Università di Salerno, l'Università del Sannio, il CNR e l'ENEA.

L'attività che la Società si propone di svolgere è di ricerca pre-competitiva ed applicata, trasferimento tecnologico e spin-off, formazione nei settori dell' elettronica, dell'energia e dei materiali.

Nel prossimo triennio si prevede di intraprendere iniziative idonee allo sviluppo di un centro regionale per l'innovazione di prodotto e di processo a beneficio principale, anche se non esclusivo, delle piccole e medie imprese.

Gli obiettivi sono il trasferimento tecnologico, i servizi e

la formazione nei settori dell'ingegneria industriale, con particolare riferimento all'innovazione di prodotto e di processo, in aree tecnologiche quali elettronica, energia e materiali.

Il bilancio 2009 registra un utile d'esercizio pari a € 3.155,00

**Consorzio per l'Incremento degli Studi e delle Ricerche dei Dipartimenti di Fisica dell'Università di Trieste:** Consorzio costituito dal Ministero e del quale fanno altresì parte l'Università di Trieste, la SISSA, l'ENEA, la Sincrotrone Trieste, il CNR, l'INAF, l'ICPT l'OGS, la Provincia e il Comune di Trieste e la Camera di Commercio di Trieste. È munito di personalità giuridica pubblica.

Il Consorzio sostiene iniziative di Enti di ricerca del territorio locale sulle ricerche in fisica. Sostiene finanziariamente il Collegio per la Fisica L. Fonda (borse di studio a favore di studenti iscritti alle Facoltà scientifiche dell'Università di Trieste). Convenzione con l'Area Science Park (borsa di dottorato di Ricerca in Nanotecnologie, in collaborazione con la Sincrotrone).

Nel prossimo triennio si prevede di continuare quanto iniziato negli anni precedenti, soprattutto rispondendo alle esigenze scientifiche degli Enti di ricerca del territorio locale sulle ricerche in fisica.

Il Consorzio è attualmente impegnato in due progetti (per le Nanotecnologie e sulla Criptografia quantistica) e nel Sexten Center for Astrophysics.

Il bilancio d'esercizio 2009 si è chiuso con un avanzo d'amministrazione pari a € 440.535,69.

**CoRICH-Italian Research Infrastructure for Cultural Heritage- S.C.ar.l.:** Società consortile costituita nel settembre 2010 e della quale fanno parte il Consiglio Nazionale delle Ricerche, l'Università di Roma Tor Vergata, il Politecnico di Milano, l'Università di Milano Bicocca e due Società private (KANSO srl e EFM srl).

La recente costituzione della Società non consente ad oggi indicazioni su di piani di attività: il Comitato tecnico scientifico sta predisponendo i piani di lavoro, coordinando le competenze dei partner anche in vista della partecipazione a bandi regionali, nazionali ed europei per analisi di materiali e strutture, datazioni, di manufatti di interesse storico, artistico, archeologico.

Obiettivo è realizzare una struttura distribuita di ricerca per la conservazione e analisi del patrimonio culturale; assicurare agli enti di tutela accesso alla strumentazione dei laboratori della struttura; intensificare lo scambio

di know-how; promuovere iniziative di diffusione e pubblicizzazione; in particolare, l'INFN sarà impegnato in attività relative ad analisi composizionali di manufatti artistici con tecniche nucleari, e in datazioni di reperti storici e archeologici col metodo del radiocarbonio, utilizzando la Spettrometria di Massa con Acceleratore.

L'INFN inoltre, insieme alla Fondazione CRUI, il CNR e l'ENEA, fa parte in qualità di socio promotore dell'Associazione Consortium GARR, ([www.garr.it](http://www.garr.it)), costituita con il compito di gestire e implementare la rete di telecomunicazioni a larga banda per la comunità scientifica e accademica italiana.

Partecipa inoltre all'Associazione "Festival della Scienza", organismo senza scopo di lucro finalizzato alla promozione, valorizzazione e divulgazione della cultura scientifica e tecnologica, con particolare attenzione alle risorse scientifiche e tecnologiche della Regione Liguria; ne fanno altresì parte l'Università di Genova, il CNR e altri enti, territoriali e non.

## 2.12 LE RISORSE UMANE

Per lo svolgimento dei propri compiti istituzionali l'INFN si avvale di personale dipendente e di personale associato alle attività dell'Istituto, in massima parte dipendente dalle Università, mediante associazione scientifica o tecnologica per collaborazione con coinvolgimenti non prevalenti e di incarico di ricerca o di collaborazione tecnica per collaborazioni con coinvolgimento preponderante. In tal modo si realizza quello stretto collegamento con l'Università che è caratteristica tradizionale dell'Istituto.

La figura 2.21 sintetizza la distribuzione del personale dipendente e associato, sia a tempo indeterminato, sia a tempo determinato.

### IL PERSONALE DIPENDENTE

Le posizioni di personale sono suddivise tra vari profili professionali: personale ricercatore e tecnologo (livelli I-III) e personale tecnico-amministrativo (livelli IV-IX).

Le distribuzioni del personale dipendente a tempo indeterminato e a tempo determinato e dei relativi costi in servizio al 31-12-2010 sono riassunte rispettivamente tabella 2.13a e in tabella 213b.

L'evoluzione temporale della dotazione organica e del personale dipendente in servizio è mostrata in figura

## DISTRIBUZIONE PERSONALE

### INFN

- 1 Dirigente
- 610 Ricercatori
- 230 Tecnologi
- 692 Tecnici
- 301 Amministrativi
- 197 Associati Borsisti, Assegnisti

### UNIVERSITÀ

- 843 Associazioni con incarico di ricerca
- 109 Associazioni con incarico di collaborazione tecnica
- 651 Associazioni scientifiche/tecnologiche/tecniche
- 1280 Laureandi, Dottorandi, Borsisti, Assegnisti

### ALTRI ENTI

- 158 Associazioni scientifiche/tecnologiche/tecniche

### SENIOR

- 217 Associazioni scientifiche/tecnologiche/tecniche

### ATTRIBUITI DAL PRESIDENTE

- 56 Incarichi di ricerca e associazioni scientifiche

### STRANIERI

- 41 Associazioni

### ALTRE ASSOCIAZIONI

- 23 Associazioni scientifiche/tecnologiche E.P. e contratti art. 19

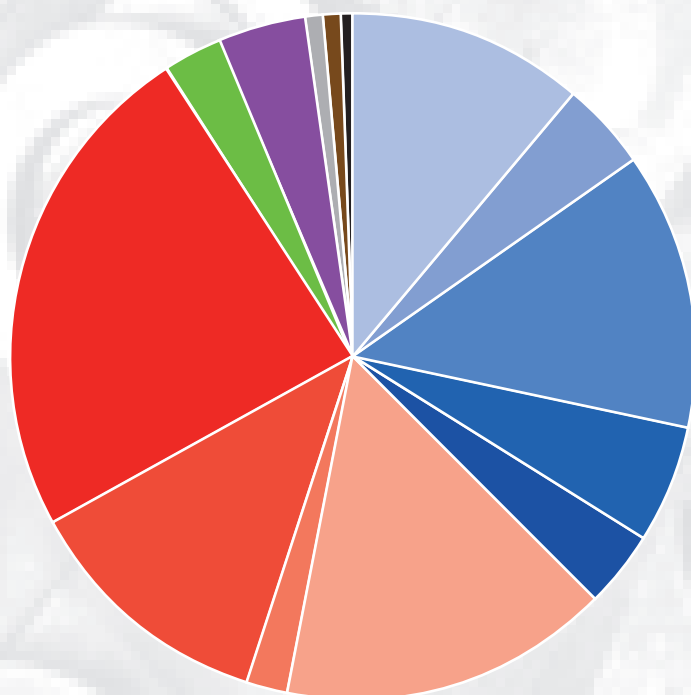


Fig. 2.21: Distribuzione del personale dipendente e associato dipendente e associato.

### Situazione al 31 dicembre 2010

Profilo	Dotazione organica	in servizio al 1-1-2010	assunti nel corso dell'anno	in corso di assunzione	passaggi di profilo ex art. 65 CCNL	cessati nel corso dell'anno		in servizio al 31-12-2010
						n.	costo (in migliaia di €)	
Dirigente I fascia	1	1				1	126.839,96	
Dirigente II fascia	1	1						1
Ricercatore	616	582	12	37	1	22	2.710.108,42	610
Tecnologo	247	209	29		-1	7	641.842,91	230
CTER	604	577	12			11	536.777,06	578
Operatore Tecnico	110	111				4	160.559,24	107
Auxiliario Tecnico	7	7						7
Funzionario di Amministrazione	68	61				3	146.280,68	58
Collaboratore di Amministrazione	243	233	5			2	85.947,16	236
Operatore di Amministrazione	9	7						7
	1.906	1.789	58	37	0	50	4.408.355,43	1.834

Tab. 2.13a: Distribuzione del personale dipendente a tempo indeterminato e dei costi relativi, al 31 dicembre 2010.

### Personale a Tempo Determinato

Profilo	Personale in servizio al 31 dicembre 2010		2011			2012			2013		
	n.	costo	Variazioni	in servizio al 31.12.2011	costo	Variazioni	in servizio al 31.12.2012	costo	Variazioni	in servizio al 31.12.2013	costo
			n.				n.				
Ricercatore	26	1.730.169,16	-9	16	767.688,16	-8	8	767.688,16	-8	8	767.688,16
Tecnologo	27	1.763.716,37	-8	29	1.382.372,70	-29	29	1.382.372,70	-29	29	1.382.372,70
CTER	37	1.449.115,11	-30	27	1.050.894,81	-27	27	1.050.894,81	-27	27	1.050.894,81
Operatore Tecnico	1	32.529,25		1	32.529,25		1	32.529,25		1	32.529,25
Auxiliario Tecnico		0,00			0,00			0,00			0,00
Funzionario di amministrazione		0,00			0,00			0,00			0,00
Collaboratore di amministrazione	1	35.185,38		1	35.185,38		1	35.185,38		1	35.185,38
Operatore di amministrazione		0,00		0	0,00		0	0,00		0	0,00
	102	4.512.614,37	-28	74,00	2.263.670,09	-74	74	2.263.670,09	-74	66	2.882.328,21

Tab. 2.13b: Distribuzione per profili del personale dipendente in servizio al 31-12-2010.

2.23. Si può notare che, a fronte di una riduzione della dotazione organica da 1906 a 1906 avvenuta nel 2005, l'Istituto ha completato le assunzioni a tempo indeterminato, coerentemente con il fabbisogno richiesto dalle proprie attività e compatibilmente con le restrizioni di legge sulle assunzioni, giungendo ora alla quasi saturazione della pianta organica. Si noti anche l'andamento correlato relativo al personale a tempo determinato.

- Progetti nel campo dell'Energia, tra cui una partecipazione alla costruzione di ITER e di IFMIF-EVEDA, e problematiche connesse allo sviluppo dei reattori di quarta generazione.

Tali progetti sono in parte finanziati con fondi dell'Unione Europea, delle Regioni o con interventi governativi straordinari in ottemperanza di accordi internazionali.

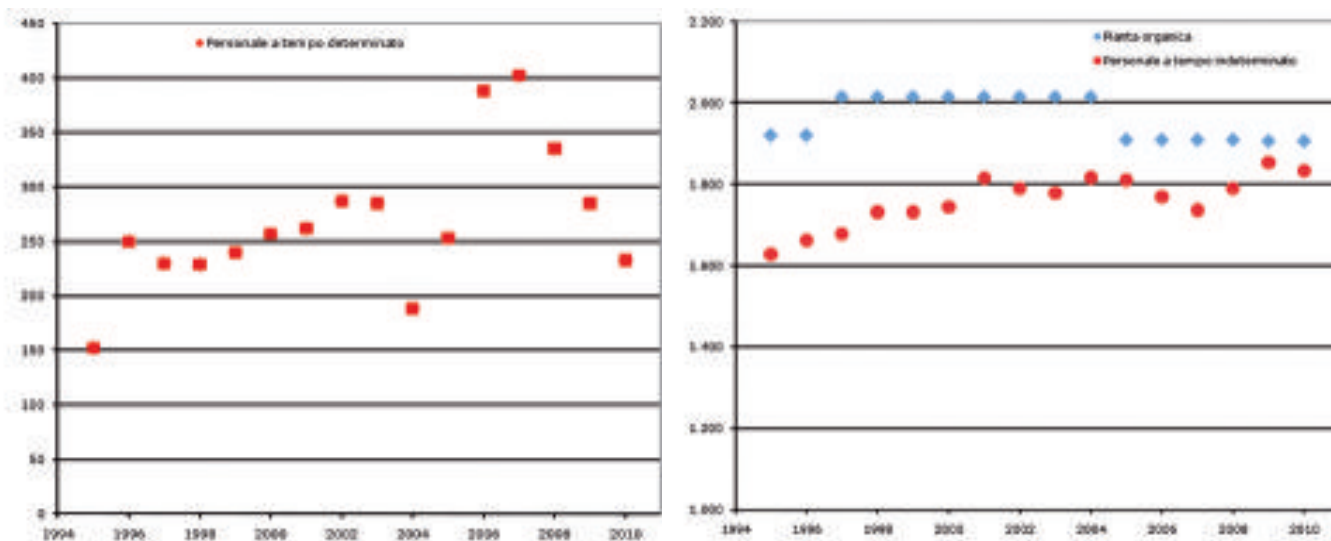


Fig. 2.23: Evoluzione temporale della pianta organica e del personale dipendente in servizio.

Il fabbisogno di personale è sostanzialmente determinato, sul piano operativo, dalla programmazione pluriennale delle imprese scientifiche a cui l'Ente partecipa a livello nazionale ed internazionale. Tali partecipazioni implicano, da un lato, la conduzione di esperimenti di grandi dimensioni presso laboratori internazionali (es. CERN) e nazionali (i quattro Laboratori Nazionali dell'Ente), e dall'altro, la realizzazione di avanzate infrastrutture tecnico-scientifiche presso i Laboratori Nazionali e in ambito europeo, coerentemente con il PNR ed in accordo con la programmazione messa in atto da ESFRI. Fra queste meritano una particolare citazione il progetto SPES presso i LNL, il progetto NEMO (LNS) e l'infrastruttura KM3net, a cui vanno aggiunti i progetti strategici e speciali di carattere applicativo e di trasferimento tecnologico, quali ad esempio:

- Lo sviluppo dell'infrastruttura GRID e l'istituzione di IGI (*Italian Grid Infrastructure*);
- Applicazioni mediche, tra cui la partecipazione alla fase preclinica di qualifica e caratterizzazione del fascio nonché alle attività di radiobiologia del Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica (CNAO)

Inoltre, con l'approvazione del progetto bandiera SuperB da parte del MIUR le attività ad esso connesso subiranno una forte accelerazione impegnando un congruo numero di personale dipendente a tempo determinato ed indeterminato.

La posizione di *leadership* e di eccellenza, che l'Istituto ricopre nello scenario internazionale, può essere seriamente compromessa in un futuro prossimo, se il quadro normativo non permetterà almeno il ripristino della sostituzione del turnover nel breve periodo ed una sia pure ragionevole aumento della Pianta Organica nel medio periodo.

La tabella 2.14 illustrano rispettivamente la programmazione delle assunzioni per gli anni 2011, 2012, 2013 e la situazione dei contratti a tempo determinato che gravano sul bilancio ordinario nel rispetto del limite fissato dalla Legge che è pari al 35% della spesa sostenuta per le stesse finalità nell'anno 2003.

Il numero di posizioni a tempo indeterminato, messe in gioco con la programmazione di cui sopra per ogni profilo e la loro temporizzazione, tiene conto di un rapporto ottimale fra le varie figure professionali necessarie allo svolgimento dei



項目	単位	科目名	履修年次	履修学期	履修人数	履修率
基礎	1	基礎Ⅰ	1	1		
	2	基礎Ⅱ	1	2		
応用	1	応用Ⅰ	2	1		
	2	応用Ⅱ	2	2		
専門	1	専門Ⅰ	3	1		
	2	専門Ⅱ	3	2		
総合	1	総合Ⅰ	4	1		
	2	総合Ⅱ	4	2		
自由	1	自由Ⅰ	1	1		
	2	自由Ⅱ	1	2		
選択	1	選択Ⅰ	2	1		
	2	選択Ⅱ	2	2		
必修	1	必修Ⅰ	3	1		
	2	必修Ⅱ	3	2		
卒業	1	卒業Ⅰ	4	1		
	2	卒業Ⅱ	4	2		
合計						

項目	単位	科目名	履修年次	履修学期	履修人数	履修率
基礎	1	基礎Ⅰ	1	1		
	2	基礎Ⅱ	1	2		
応用	1	応用Ⅰ	2	1		
	2	応用Ⅱ	2	2		
専門	1	専門Ⅰ	3	1		
	2	専門Ⅱ	3	2		
総合	1	総合Ⅰ	4	1		
	2	総合Ⅱ	4	2		
自由	1	自由Ⅰ	1	1		
	2	自由Ⅱ	1	2		
選択	1	選択Ⅰ	2	1		
	2	選択Ⅱ	2	2		
必修	1	必修Ⅰ	3	1		
	2	必修Ⅱ	3	2		
卒業	1	卒業Ⅰ	4	1		
	2	卒業Ⅱ	4	2		
合計						





programmi e progetti descritti nel presente documento.

Il piano di assunzioni sopra descritto:

- ha l'obiettivo di inserire da un lato giovani brillanti e, dall'altro, di ottimizzare la ripartizione delle risorse umane nel territorio (sezioni, Laboratori Nazionali e CNAF) e fra le varie linee scientifiche dell'Istituto.
- contiene l'impegno di procedere all'avviamento numerico di personale disabile per i posti che si rendano disponibili nella dotazione organica a seguito di cessazione di personale appartenente a profili per il cui accesso è richiesto il solo requisito della scuola dell'obbligo.
- prevede l'assunzione di personale disabile che risulti idoneo nelle selezioni pubbliche anche in misura superiore alla riserva riferibile a ciascuna procedura

Accanto alle posizioni a tempo indeterminato, e a complemento di esse, i contratti a termine costituiscono uno strumento essenziale di flessibilità che consente, da un lato, di fronteggiare nella maniera più efficace l'evoluzione temporale dei programmi e, dall'altro, di avvalersi di personale, anche straniero, di alta qualificazione scientifica e tecnica.

L'Istituto è altresì impegnato ad attivare le procedure concorsuali con cadenza biennale per il i livelli apicali di ciascun profilo e i passaggi a livello superiore nel profilo per il personale tecnico-amministrativo. Il numero di posti a concorso è evidenziato nelle tabelle 2.15. Il passaggio ai livelli I e II per i profili di Tecnologo e Ricercatore è attuabile con la riserva di posti al personale dipendente nei concorsi pubblici, secondo il dettato del D.Lvi150 del 2009.

Tuttavia il limite del 20% rispetto alle risorse finanziarie liberate-si per cessato servizio di dipendenti nell'anno precedente rispetto a quello di riferimento, introdotto dal D.Lvi 78/2010, riduce drasticamente l'assunzione di personale per ogni anno del triennio 2011-2013, di fatto non consentendo alcun avanzamento di carriera al personale Tecnologo e Ricercatore in servizio.

L'Istituto è impegnato, vista l'importanza e la criticità della materia, a trovare, nelle sedi istituzionali opportune, una

<b>Progressioni economiche nel livello apicale (*)</b>				
		2011	2012	2013
CTER	IV		158	
OP.TEC.	VI		54	
AUS.TEC.	VII		1	
FUNZ.AMM.	IV		7	
COLLA.AMM.	V		85	
OP.AMM.	VII		2	
			307	

(\*) Ai sensi dell'art. 9, c. 21 del DL 78/2010 hanno effetto esclusivamente giuridico

<b>Passaggi al livello superiore nel profilo</b>				
		2011	2012	2013
CTER	IV	140		34
CTER	V	50		7
OP.TEC.	VI	9		3
OP.TEC.	VII	3		
AUS.TEC.	VIII			
FUNZ.AMM.	IV	5		1
COLL.AMM.	V	14		43
COLL.AMM.	VI	10		1
		231		89

Tab. 2.15: Numero di posti a concorso per il triennio 2011-2013, per i livelli apicali e i passaggi a livello superiore per il personale tecnico-amministrativo."

soluzione che soddisfi le legittime aspettative del personale in servizio a tempo indeterminato tanto più oggi che le risorse finanziarie disponibili per i concorsi sono state drasticamente ridotte come sottolineato al punto precedente.

Nella situazione presente di gravi carenze dell'organico, l'Istituto ha ritenuto tuttavia prioritario, negli anni 2011, 2012, 2013, concentrare le risorse finanziarie disponibili per l'assunzione di nuovo personale, creando le condizioni per l'inserimento ,tra l'altro, di un congruo numero di personale dipendente con contratto a tempo determinato.

#### LE PARI OPPORTUNITÀ

Il Comitato per le pari opportunità (CPO) dell'INFN nasce nel 1999 con lo scopo di tutelare la dignità della persona e di migliorare l'efficienza attraverso la più efficace e sensibile

**TAB. 2.16 – Distribuzione del personale INFN a tempo indeterminato (luglio 2010)**

	totale	donne	%donne
ricercatori	584	124	<b>21,23</b>
tecnologi	232	32	<b>13,79</b>
tecnici	705	38	<b>5,39</b>
amministrativi	306	253	<b>82,68</b>
<b>totale INFN</b>	<b>1827</b>	<b>447</b>	<b>24,47</b>

<b>ASSOCIAZIONI</b>	<b>totale associazioni</b>
Scientifica Ricercatori/Professori università	<b>450</b>
Scientifica Professori a Contratto	<b>10</b>
Scientifica Dipendenti altri enti	<b>95</b>
Scientifica Istituti secondari	<b>42</b>
Scientifica Enti stranieri (FAI)	<b>1</b>
Scientifica Enti stranieri	<b>40</b>
Scientifica Consorzi Ricerca	<b>2</b>
Scientifica Laureandi Magistrali	<b>160</b>
Scientifica Borse INFN	<b>95</b>
Scientifica Dottorandi, Borse non INFN e Assegni	<b>957</b>
Scientifica Borse Private	<b>0</b>
Scientifica Specializ. Fis. Sanitaria	<b>7</b>
Scientifica Contratti a tempo det. 19	<b>7</b>
Scientifica Personale E.P.	<b>3</b>
Scientifica Senior	<b>189</b>
Scientifica Master	<b>5</b>
Scientifica attribuita dal Presidente	<b>41</b>
Tecnologica Contratti a tempo det. 19	<b>3</b>
Tecnologica Ricercatori/Professori università	<b>92</b>
Tecnologica Altri Enti (laurea o diploma univ.)	<b>15</b>
Tecnologica Laurea Magistrale	<b>13</b>
Tecnologica Borse INFN	<b>101</b>
Tecnologica Dottorandi, Borse non INFN e assegni	<b>138</b>
Tecnologica Consorzi ricerca	<b>4</b>
Tecnologica Personale E.P.	<b>10</b>
Borsisti INFN per Estero	<b>1</b>
Incarico di Ricerca scientifica	<b>813</b>
Incarico di Collaborazione Tecnica	<b>109</b>
Incarico di Ricerca attribuito dal Presidente	<b>15</b>
Incarico di Ricerca tecnologica	<b>30</b>
Associazione Tecnica	<b>99</b>
Associazione Tecnica Senior	<b>28</b>
<b>TOTALE</b>	<b>3575</b>

Tab. 2.17: Distribuzione del personale associato al 21-02-2011.

valorizzazione di tutte le risorse umane, in particolare per migliorare la qualità della vita negli ambienti di lavoro e valorizzare le capacità di tutte le persone, coinvolgendole nel processo di trasformazione del modello organizzativo dell'amministrazione.

Dalla tabella 2.16 si evidenzia una divaricazione nelle carriere delle donne e degli uomini sia per i ruoli di ricercatore e tecnologo che nel settore amministrativo. L'analisi di genere e generazionale dei dati del personale evidenzia un preoccupante invecchiamento del personale dell'Istituto. La frazione di persone sotto i 40 anni è passata dal 30% a fine 2003 al 16% a fine 2008.

Il CPO ha promosso fino ad oggi tre Piani Triennali di Azioni Positive e sta elaborando il quarto, relativo al triennio 2011-2013, che si concentra su tre linee direttrici, intorno alle quali integrare l'ottica della differenza di genere nell'organizzazione del lavoro e nella gestione del personale dell'INFN.

1. Promozione della presenza femminile nei livelli decisionali e statistiche di genere;
2. Sviluppo della cultura di genere: formazione e informazione;
3. Salute e benessere organizzativo;

Occorre citare che la legge 4 nov. 2010, n. 183 (Collegato lavoro), all'art. 21 – Misure atte a garantire pari opportunità, benessere di chi lavora e assenza di discriminazioni nelle amministrazioni pubbliche – istituisce il Comitato unico di garanzia per le pari opportunità, la valorizzazione del benessere di chi lavora e contro le discriminazioni (in sostituzione dei CPO e dei Comitati sul fenomeno del mobbing). L'Istituto è pronto a recepire i mutamenti normativi e a organizzarsi di conseguenza.

#### IL PERSONALE ASSOCIATO

Si riporta in tabella 2.28 il quadro completo delle associazioni aggiornato al 21 febbraio 2010.

Come risulta evidente anche dalla tabella precedente, la formazione scientifica e tecnologica è uno degli obiettivi istituzionali dell'Istituto, che prepara in modo approfondito e rigoroso, attraverso l'inserimento nelle proprie attività di ricerca, un bacino di giovani con la duplice funzione di:

- Attingere da esso, per una parte, i ricercatori di domani dell'INFN e dell'Università;

- Formare, per l'altra, un nucleo di professionisti in grado di inserirsi in molteplici campi del mondo delle attività industriali di alta tecnologia.

Uno strumento normativo ha consentito, ormai da diversi anni, di attivare assegni per la collaborazione all'attività di ricerca per giovani ricercatori in possesso del dottorato di ricerca. È prevista, infatti, ogni anno, la stipula previa apposita selezione di assegni di collaborazione biennali presso le strutture dell'INFN, e il cofinanziamento di analoghi contratti tramite apposite convenzioni con le Università. Inoltre, nel corso del 2010 l'Istituto ha attuato un'iniziativa, avviata nel 2009, in contatto con l'Industria nazionale in campi di intervento che riguardano sia l'attività industriale sia l'high-tech; a tale scopo sono stati banditi concorsi per assegni per la collaborazione ad attività di ricerca tecnologica dedicati alla valorizzazione, in ambito produttivo, delle metodologie e delle tecnologie legate alle attività di ricerca dell'Istituto.

Gli assegnisti possono essere associati alle attività dell'Ente. L'INFN cura anche un proprio programma annuale di borse di studio.

Partecipa alla vita dell'Istituto senza alcuna sostanziale differenza rispetto al personale dipendente:

- Il personale associato mediante incarico di ricerca, formato da professori e ricercatori universitari che svolgono in modo prevalente la loro attività di ricerca scientifica e tecnologica nell'ambito dei programmi dell'Istituto.
- I tecnici e gli amministrativi dipendenti dell'Università, che collaborano a tempo pieno con l'INFN e sono associati mediante incarico di collaborazione tecnica.

### 2.13 I "PROGETTI BANDIERA"

Il D.Lgs. n. 213/2009 di riordino degli enti prevede che una quota pari all' 8% del Fondo ordinario per gli enti di ricerca venga utilizzato per dare continuità al contributo finanziario dei "progetti bandiera" proposti dagli enti già avviati nel 2010.

L'Istituto partecipa direttamente a due "progetti bandiera":

a) "SuperB Factory", di cui l'INFN è responsabile, per la realizzazione di un acceleratore per elettroni e positroni ad alta luminosità. A tale progetto pluriennale

collaboreranno Enti e Università, nonché aziende ed imprese, con ricadute non solo per l'ampliamento delle conoscenze di base ma anche per applicazioni riguardanti gli acceleratori, la rivelazione di particelle, le tecniche avanzate di simulazione, ecc.

Recentemente il decreto ministeriale riguardante la ripartizione del Fondo ordinario per gli enti e le istituzioni di ricerca per l'anno 2010 ha accordato all'INFN un contributo straordinario di 19 milioni di Euro.

b) "L'ambito nucleare", di cui è capofila il CNR, per il rafforzamento del sistema energetico nazionale avente per obiettivo a lungo termine la realizzazione di nuovi tipi di reattori a neutroni veloci, con standard di sicurezza elevatissimi.

Più in dettaglio:

#### a) SuperB Factory

Il progetto bandiera SuperB riguarda la costruzione di un acceleratore fortemente innovativo ad altissima luminosità e basso consumo per le collisioni elettrone positrone. In sinergia con tale infrastruttura il progetto prevede l'utilizzazione della luce di sincrotrone ottenibile da questi fasci dalle proprietà uniche per l'analisi di materiali e di sistemi biologici. Tale attività viene svolta in collaborazione con l'Istituto Italiano di Tecnologia. Una descrizione dettagliata del progetto viene sviluppata nel cap 4. IL Miur ha approvato nel bilancio consolidato 2010 un finanziamento di 19 milioni di euro in sintonia con quanto richiesto dal progetto per il primo anno di attività. Nel seguito vengono elencate le attività prioritarie che verranno attivate nel corso del 2011, raccordandosi per il seguito con il piano generale di sviluppo descritto nel capitolo 4. Il progetto ha già riscosso un notevole interesse a livello internazionale come testimoniato agli MOU stipulati per la fase dello sviluppo del TDR previsto nella sua versione finale per la fine del 2011.

Per accrescere e consolidare l' interesse e l' impegno della comunità internazionale è di primaria importanza ufficializzare il piano di finanziamento almeno per i primi anni relativi alla costruzione con un documento programmatico condiviso dal Miur. Questo permetterà inoltre la programmazione degli importanti investimenti iniziali, soprattutto a carattere infrastrutturale.

La definizione del sito dell'infrastruttura in parallelo costituisce l'altra priorità massima, sia perché permette di

stilare un progetto definitivo sia perché fornisce un'identità dalla quale deriva sin dalla fase iniziale del progetto quella forza di attrazione di competenze e collaborazioni che lo caratterizzano. Il sito dei Laboratori nazionali di Frascati, benché capace di ospitare la macchina acceleratrice, costituirebbe una seria limitazione sullo sviluppo delle linee di luce applicative e quindi sulle corrispondenti ricadute.

Terzo elemento da sviluppare sin dall'inizio è la definizione della governance del progetto. Se si osserva quanto avviene in Europa, tutti i progetti di caratura internazionale (X-FEL, FAIR, ESS, ITER) hanno dato luogo a forme di strutture legalmente autonome sulle quali attirare i contributi degli altri stati europei e dalle quali far nascere infrastrutture europee di ricerca con statuto internazionale, ad esempio basate sul modello "ERIC" (*European Research Infrastructure Consortium*).

Quarto elemento sostanziale è la formazione del team di progetto: il bacino di competenze INFN, benché di eccellenza, non sarà sufficiente a coprire tutte le necessità e dovrà avvalersi di quelle competenze straniere che il progetto sta già attirando e che numerose agenzie di ricerca internazionali si sono dichiarate disposte a fornire. Parte dei fondi del progetto saranno quindi dedicati alla formazione di questo team internazionale.

I fondi spendibili nel 2011 saranno quindi relativi a spese di progettazione e di personale. L'avanzo di gestione sarà cumulato con le assegnazioni successive per il trasferimento delle componenti dell'acceleratore di Stanford (SLAC) che il DOE americano ha dichiarato essere disposto a concedere e alle gare per l'infrastruttura.

#### **b) L'ambito nucleare**

La partecipazione dell'INFN al progetto bandiera "L'ambito nucleare" in collaborazione con ENEA e con CNR (Ente capofila) consiste nella formazione in ambito nucleare.

L'INFN può giocare un ruolo importante nella formazione nel settore della Energia nucleare. L'esistenza di unità operative presso i dipartimenti di Fisica di tutte le principali Università italiane e la collaborazione di circa 3000 associati, in maggioranza universitari, permette all'Ente un ruolo di coordinamento e supporto tecnico anche in iniziative formative tipicamente universitarie, salvo ovviamente il consenso e la collaborazione delle Università convenzionate.

In questa ottica si colloca il progetto per l'istituzione di un

nuovo Dottorato interuniversitario sulla Energia nucleare per fissione e fusione appoggiato a una contemporanea Scuola Nazionale sul medesimo tema gestita da Università e Enti di ricerca interessati tramite apposita Convenzione.

Dottorato Interuniversitario non significa solo un migliore utilizzo delle risorse, ma anche la possibilità di reperire nuovi talenti in sedi che per ragioni culturali o geografiche non sarebbero in grado di attivare diplomi a questo livello.

La Scuola Nazionale permetterà poi di superare carenze in risorse sia umane che finanziarie purtroppo ora esistenti presso quasi tutte le sedi universitarie, consentendo agli studenti di accedere alle migliori docenze universitarie nazionali e internazionali, ma anche all'importante contributo di docenti ricercatori o di estrazione industriale, indispensabile per una completa formazione in questo settore .

La Scuola permetterà agli studenti del dottorato l'accesso a infrastrutture degli Enti di ricerca di notevole interesse quali reattori di ricerca, laboratori specializzati, acceleratori ecc in Italia e all'estero. Sarà comunque necessaria la disponibilità di una sede nazionale attrezzata per la didattica.

Il Dottorato potrebbe essere realizzato già a partire dal 2011/2012 e la Scuola dovrebbe operare in parallelo almeno nei primi uno/due anni.

Il costo della Scuola Nazionale è valutabile per un anno attorno ai 150000 euro, inclusivi di viaggi e trasferte per docenti e studenti dalle rispettive sedi e delle attrezzature didattiche per la sede centrale, che si suppone possa essere offerta da uno tra Enti e Università interessati. Il costo di una decina di borse di dottorato triennali si aggira in totale attorno a 600.000 euro.

È prevedibile e auspicabile il coinvolgimento di docenti stranieri di chiara fama, in particolare francesi, sia dal mondo della ricerca che dell'industria.

Il Dottorato, se svolto con opportune aperture culturali, può ottemperare alla duplice richiesta di alta formazione per l'industria e la ricerca e di preparazione di nuovi docenti, due esigenze molto sentite e urgenti specialmente se verrà prossimamente riattivata in Italia la produzione di energia da reattori nucleari.



# Piano programmatico di attività scientifica

## CAPITOLO

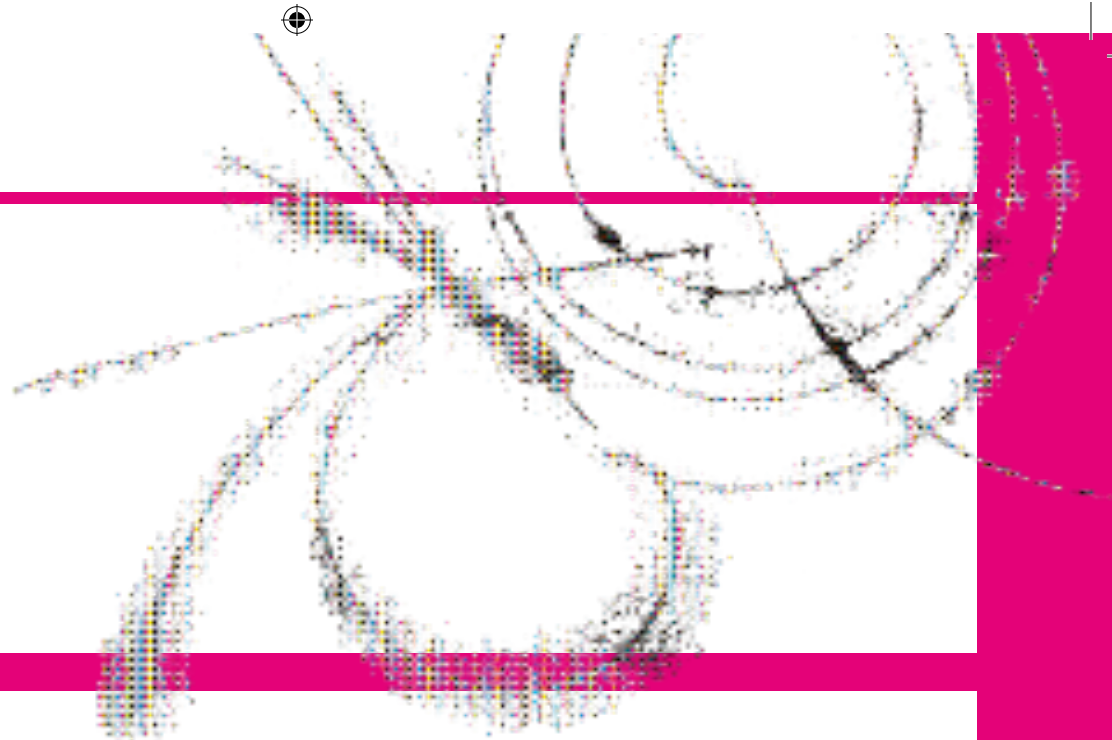
### 3.1 L'INFN E LA SUA MISSIONE SCIENTIFICA

La missione dell'INFN è il progresso nella conoscenza degli aspetti fondamentali dell'Universo, dalle proprietà dei suoi costituenti elementari (micro-cosmo) alle sue caratteristiche sulle scale dei tempi e delle lunghezze più grandi (macro-cosmo). Il risultato più rilevante delle ricerche portate avanti dall'Ente in questi ultimi anni è stata una sempre più approfondita comprensione dell'unità di fondo dei fenomeni relativi alla fisica dei nuclei e dei costituenti subnucleari con quelli relativi all'evoluzione dell'Universo (cosmologia) e di strutture su scala cosmica (astrofisica). Questo significativo progresso è stato indirizzato dalle risposte che la ricerca sperimentale e teorica dell'INFN ha saputo dare o sta cercando di dare ad alcune fondamentali questioni. Vediamone le principali.

1) Anche grazie all'intenso lavoro svolto dall'INFN alle macchine acceleratrici (in particolare al LEP del CERN e più recentemente al Tevatron del Fermilab), oggi abbiamo accurate verifiche sperimentali delle predizioni del Modello Standard delle interazioni fondamentali, teoria che si basa sulla presenza di una nuova simmetria in natura (la "simmetria elettrodebole") dalle cui proprietà (in particolare la cosiddetta "rottura della simmetria elettrodebole") dipendono le masse e interazioni di tutte le particelle elementari. Quale nuova fisica è legata all'origine della massa delle particelle elementari che compongono l'Universo? È questa connessa all'esistenza di una nuova particella elementare, il famoso bosone di Higgs? Quali altre interazioni e mattoni fondamentali della natura comporta questa nuova fisica? Alle più alte energie mai prima raggiunte, potremo vedere il passaggio dai protoni e neutroni ai quark liberi che li costituiscono? Questa è la "terra incognita" dove hanno cominciato ad avventurarsi gli esperimenti dell'INFN all'acceleratore LHC del CERN. È una terra su cui sono concentrati i maggiori sforzi teorici dell'Ente: a LHC troveremo un nuovo mondo di mattoni fondamentali, le nuove particelle delle teorie supersimmetriche, oppure vedremo aprirsi nuove dimensioni spazio-temporali al di là del mondo quadridimensionale trasmesso dai nostri sensi, come suggerito dalla fondamentale teoria delle stringhe?

2) Le particelle elementari della materia hanno masse molto diverse tra loro, si mescolano in modo più o meno intenso e nelle loro interazioni violano (anche se di pochissimo) una simmetria correlata alla presenza di materia e antimateria chiamata CP. Che cosa sta alla base di tutte queste proprietà fondamentali della materia? Pensiamo che la risposta a questo problema, chiamato problema del flavour, sia racchiusa ancora una volta nella nuova fisica oltre il Modello Standard, fisica che studieremo a LHC (frontiera dell'alta energia), ma anche in macchine dedicate allo studio del flavour in cui le energie sono più basse, ma l'intensità (cioè il numero) di particelle che collidono è altissimo (frontiera dell'alta intensità). In particolare il laboratorio nazionale di Frascati è un importante centro di studio della fisica del flavour e potrebbe accrescere la sua rilevanza mondiale nel campo come sede di una macchina ad alta "intensità" dedicata allo studio del quark chiamato beauty.

3) Il mattone fondamentale più misterioso: il neutrino. Curioso destino quello del neutrino, la particella più leggera e che interagisce meno di tutte, ma che racchiude in sé alcune delle domande più fondamentali sull'Universo in cui viviamo. Dal fenomeno di trasformazione di un tipo di neutrino in un altro tipo di neutrino ("oscillazione di neutrini"), sappiamo che i neutrini hanno una massa diversa da zero. Ora, il Modello Standard prevede che i neutrini siano di massa rigorosamente nulla. Quindi le oscillazioni dei neutrini sono un'inequivocabile testimonianza di nuova fisica al di là del Modello Standard. Ma quanto vale la loro massa? E il meccanismo che conferisce loro la massa è lo stesso (quello legato al bosone di Higgs) che dà massa a tutte le altre particelle oppure siamo in presenza di un nuovo meccanismo con nuove particelle? La fondamentale simmetria CP è violata nelle interazioni dei neutrini?



*Fig.3.1: Tracce di particelle prodotte nella collisione di antiprotoni con un atomo di neon (CERN 1983).*

In particolare, nel nostro laboratorio sotterraneo del Gran Sasso cerchiamo una risposta a queste domande guidati dalle predizioni di teorie legate a quella nuova fisica già investigata nelle frontiere dell'alta energia e alta intensità.

4) Una delle più profonde domande punta dritto alla nostra esistenza: se nell'Universo primordiale ad altissima temperatura doveva esserci una pari abbondanza di materia e antimateria, perché oggi non c'è più traccia di questa antimateria primordiale e perché la materia di cui siamo fatti non è scomparsa nell'annichilazione con l'antimateria pochi istanti dopo il Big Bang?

Più di quarant'anni fa il fisico russo Sacharov ci ha detto che la risposta a questi cruciali quesiti deve stare nella comprensione della violazione della simmetria CP. Nuovamente incontriamo tracce di nuova fisica al di là del Modello Standard perché per originare una asimmetria tra materia e antimateria partendo da una situazione simmetrica nelle loro rispettive abbondanze è necessario avere una più potente sorgente di violazione di CP rispetto a quella presente nel Modello Standard. Più di recente è stato osservato che proprio le nuove particelle responsabili della massa così piccola dei neutrini possono essere alla base della sopravvivenza della materia sull'antimateria.

Ecco che i nostri esperimenti sulla fisica relativa alla violazione di CP e sulla fisica del neutrino si accompagnano alle teorie di nuova fisica per una spiegazione dinamica dell'asimmetria cosmica materia-antimateria ("bariogenesi"). Ma l'antimateria potrebbe esistere in zone dell'Universo lontane da noi, ecco perché ne cerchiamo le tracce nei raggi cosmici con esperimenti nello spazio, ad esempio sulla Stazione Spaziale Internazionale.

5) Ma ancora la materia stessa continua a porci rilevanti domande: se i costituenti fondamentali della materia sono i quark, come si passa dai quark ai protoni e neutroni e come da questi si arriva ai nuclei degli atomi le cui complesse

proprietà influiscono sulla nostra vita quotidiana e che sono state alla base dei fenomeni fisici che 13 miliardi di anni fa seguirono il Big Bang e diedero origine alla prima sintesi di nuclei ("nucleosintesi")? I vari modelli teorici che cercano di rispondere a queste domande vengono vagliati in una vasta gamma di esperimenti, in particolare nei nostri due laboratori nazionali dedicati alla fisica nucleare, quello di Legnaro e quello del Sud. In questi laboratori si stanno concentrando notevoli sforzi per la produzione di nuclei non presenti in natura, i nuclei esotici, con i quali si avrà accesso ad una "terra incognita" della materia nucleare, ancora poco esplorata.

6) E, infine, vi è forse la domanda più difficile e che finora ha fornito alcune delle più sorprendenti risposte: di che cosa è fatto il nostro Universo? Ambiziosamente, noi abbiamo chiamato "mattoni fondamentali" dell'Universo quelle particelle elementari (quark, elettroni, neutrini) di cui pensavamo fosse fatta tutta la materia esistente. Ma non è così. Una messe di osservazioni indipendenti tra loro, a partire dal lontano 1933, ci confermano che, inaspettatamente, la materia costituita dai familiari atomi rappresenta solo una piccola frazione della materia presente nell'Universo, mentre più dell'80% di questa è fatta da particelle che non fanno parte del Modello Standard (la cosiddetta "materia oscura"). È ovvio che compito primario di un Ente come l'INFN è cercare di scoprire che cosa sia la materia oscura. Infatti da dieci anni almeno la cerchiamo in modo diretto nei suoi rarissimi urti con nuclei ordinari nel laboratorio del Gran Sasso, ma anche in modo indiretto con esperimenti spaziali o a terra attraverso i prodotti dell'annichilazione di materia ed antimateria oscura nella nostra galassia o nel centro del Sole (in particolare ricerche di antiparticelle e di fotoni di alta energia negli esperimenti spaziali o di gamma-astronomia sulla superficie terrestre o ricerca di neutrini in esperimenti sottomarini come quello in progettazione al largo delle coste siciliane). Alcuni di questi esperimenti hanno già evidenziato

degli effetti che potrebbero essere dovuti alla “materia oscura” e quindi stiamo guardando con grande interesse ai risultati che verranno da LHC. Infatti la materia oscura costituisce la più formidabile evidenza della presenza di nuova fisica, forse quella stessa fisica che LHC o le “macchine del flavour” ci riveleranno. Il candidato di materia oscura più “accreditato” al momento è proprio la più leggera di quelle nuove particelle supersimmetriche che potremo identificare a LHC.

7) Ma l'Universo non ha finito di sorprenderci con la materia oscura. Ancora più sconvolgente è stato scoprire che la materia (sia essa quella atomica o quella oscura) non rappresenta che circa un quarto di tutta l'energia presente nell'Universo. I restanti tre quarti sono chiamati “energia oscura”. L'origine di questa potrebbe essere legata a deviazioni dalla gravità descritta dalle teorie di Newton prima e di Einstein poi (relatività generale). Nuove teorie dello spazio-tempo vengono studiate dai teorici dell'Ente e intanto sperimentalmente cerchiamo di osservare per la prima volta una delle cruciali predizioni della relatività generale di Einstein, la presenza di onde gravitazionali. In particolare vicino a Pisa l'Ente ha partecipato alla costruzione e alle misure di un apparecchio, chiamato interferometro, atto a rivelare le minutissime conseguenze del passaggio di un'onda gravitazionale.

La realizzazione dei sofisticati esperimenti richiesti per esplorare le fondamentali questioni di cui sopra comporta lo sviluppo di tutte le tecniche e tecnologie necessarie a tali ricerche, il dar vita a nuovi strumenti di misura, oltre all'utilizzo delle tecnologie di punta già esistenti. Questo sforzo di ricerca tecnologica induce un “circolo virtuoso” nei rapporti dell'Ente con le nostre industrie tecnologicamente più avanzate e ha immediate ricadute applicative in settori cruciali per la nostra società (ad es. in campo medico, in quello energetico, in quello spaziale, in quello sottomarino).

La profondità e varietà delle questioni fondamentali sopra menzionate spingono l'Ente ad una vasta attività di ricerca che è tuttavia caratterizzata da un unificante denominatore comune: la ricerca di nuova fisica lungo le tre grandi frontiere dell'alta energia, dell'alta intensità e della fisica astroparticellare. Tre strade che si intersecano in continuazione (per fare un esempio, si pensi alla ricerca di particelle supersimmetriche condotta simultaneamente e sinergicamente a LHC, nella fisica del flavour e attraverso le ricerche dirette e indirette di materia oscura) e che si esplicitano nelle attività delle cinque commissioni scientifiche nazionali dell'Ente.

La ricerca fondamentale, condotta sia attraverso la sperimentazione, sia attraverso metodologie teoriche, e le ricerche tecnologiche e interdisciplinari correlate, coordinate complessivamente dalle 5 commissioni scientifiche nazionali, trovano il loro completamento in un insieme di progetti strategici, progetti speciali, progetti inseriti nella programmazione europea, progetti nazionali e infine progetti regionali che sono indirizzati sia alle applicazioni verso il mondo sociale-produttivo-economico sia agli sviluppi di frontiera preparatori a future sperimentazioni per la ricerca fondamentale o comunque tesi a contribuire alla realizzazione di infrastrutture per lo “spazio europeo della ricerca”.

Passiamo ora a considerare in qualche dettaglio le specifiche attività e prospettive.

### 3.2 LA FISICA SUBNUCLEARE

L'attività descritta in questo paragrafo è coordinata dalla **Commissione Scientifica Nazionale 1 (CSN1)**. La descrizione dettagliata delle attività della CSN1 è disponibile al sito web: <http://www.infn.it/csn1/>

#### MISSIONE

Per spingere la frontiera della conoscenza verso limiti sempre più ambiziosi, la sperimentazione in fisica subnucleare moderna utilizza due linee di ricerca complementari. Quella della frontiera dell'energia, esemplificata oggi dal *Large Hadron Collider* (LHC), il più potente acceleratore mai costruito, e quella dell'intensità, in cui si cerca di spingere il numero di collisioni tra i fasci circolanti nell'acceleratore a livelli sempre più alti. Questa linea, fino ad oggi rappresentata dalle “fabbriche per la produzione di mesoni B” (*B factories*) negli USA e in Giappone, potrebbe continuare con maggiore efficacia grazie a una idea sviluppata nell'ambito dell'INFN, la cui validità è stata sperimentata all'acceleratore DAFNE ai Laboratori Nazionali di Frascati dell'INFN.

**La fisica subnucleare richiede apparati di grande dimensione ed estrema complessità dove trovano applicazione le tecnologie più moderne nel campo dei rivelatori, dell'elettronica, dei sistemi di acquisizione dati e di calcolo. Le collaborazioni che partecipano alla costruzione di questi apparati sono composte da centinaia (nel caso di LHC, migliaia) di fisici provenienti da istituti e laboratori di tutto il mondo e rappresentano degli esempi molto importanti di vera cooperazione internazionale. Queste collaborazioni sono inoltre dei preziosi punti di accumulazione dove i migliori fisici di tutto il mondo possono entrare in contatto tra loro: i giovani possono così acquisire fondamentali esperienze**

nel lavoro di gruppo ad altissimi livelli. In questo contesto i gruppi INFN partecipano con contributi di eccellenza, spesso figurando nei livelli decisionali degli esperimenti, in tutte le fasi del lavoro, dallo sviluppo tecnologico tipico della fase di proposta, passando alle varie fasi di costruzione, sino all'analisi dei dati.

### COMPOSIZIONE

La partecipazione dei ricercatori dell'INFN agli esperimenti della Commissione 1 è folta. Si tratta di 1000 scienziati, che pesati per la loro percentuale di partecipazione costituiscono circa 730 FTE, provenienti da tutte le sezioni INFN e ovviamente dal laboratorio specializzato in questo tipo di ricerca (Frascati). Nella CSN1 sono rappresentate tutte le tipologie di ricercatori: i dipendenti dell'Ente, gli universitari associati alle ricerche, i borsisti e assegnisti e gli studenti che preparano la tesi di Dottorato. Inoltre molti tecnologi (informatici, elettronici, meccanici) fanno anche essi parte dei gruppi di ricerca. La tabella 3.1 fotografa la composizione della commissione nell'anno 2009 e fornisce un quadro complessivo dei finanziamenti erogati negli ultimi tre anni.

questi, ponendo limiti sperimentali sempre più stringenti sull'esistenza di nuovi fenomeni e raggiungendo in molti settori risultati di una precisione inattesa per un esperimento che operi ad una macchina adronica (protone- antiprotone). Un ruolo particolare hanno avuto poi quelli effettuati alla "fabbrica di B" a SLAC (BaBar), a quella di  $\phi$  a LNF (KLOE) e al fascio di mesoni K del CERN (NA48), che hanno sfidato la frontiera dell'intensità. Altri esperimenti hanno coperto settori altrettanto importanti. ZEUS alla macchina elettrone-protone di DESY ha studiato la struttura dei nucleoni, così come COMPASS al CERN. Ancora in presa dati è MEG al PSI di Zurigo, che cerca il decadimento di un muone in un elettrone e un fotone, un segno inequivocabile di una fisica al di là del Modello Standard.

Oggi e negli anni a venire è comunque il tempo di LHC: finalmente il grande acceleratore è entrato in funzione e gli esperimenti hanno iniziato a raccogliere i dati. La caccia al bosone di Higgs è iniziata e nel prossimo triennio, superati i risultati esistenti ottenuti al Tevatron (vedi figura 3.2), ci si aspetta di entrare nel vivo della ricerca.

## LINEA SCIENTIFICA: CSN1

FTE INFN staff + art.23,15 (anno 2010)	232
FTE Associati staff (anno 2010)	267
Assegnisti, borsisti, dottorandi (anno 2010)	231
Totale risorse finanziarie spese 2008-2010 (M€)	70,7
di cui spese per investimenti ((inventario, apparati) 2008-2010 (M€)	19,6

Tab. 3.1: Composizione, risorse finanziarie e investimenti per la CSN1.

### ESPERIMENTI

Gli esperimenti in carico alla CSN1 sono molti e diversi, e mirano a coprire i due filoni principali di ricerca descritti sopra. Un ruolo assolutamente preminente in questo momento è occupato dalla sperimentazione al *Large Hadron Collider* del CERN, che si indirizza alla frontiera dell'energia: questi esperimenti (ATLAS, CMS, LHC-b, TOTEM, LHC-f) prendono il testimone da CDF al Tevatron di Fermilab che ha esplorato questo campo fino ad ora.

Stanno nel frattempo terminando l'analisi dei dati raccolti gli esperimenti che hanno illuminato con i loro risultati l'ultimo decennio. Proprio CDF al Tevatron è stato tra

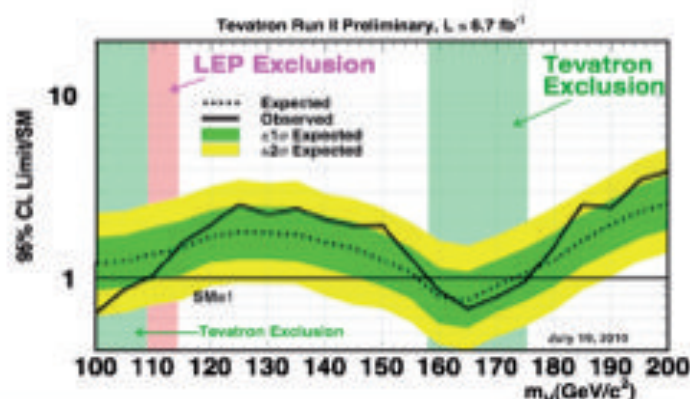


Fig. 3.2: Risultati del Tevatron sulla ricerca del bosone di Higgs. Nella regione di energia presa in considerazione si può escludere la piccola regione di massa intorno a 165 GeV.

La partecipazione italiana agli esperimenti di LHC è estremamente importante. Oltre 550 ricercatori e 100 tecnologi partecipano agli esperimenti supportati dalla CSN1, il 24% del totale, occupando spesso posizioni di rilievo e di grande responsabilità negli organi decisionali delle Collaborazioni. In riferimento al personale e al budget della CSN1, come detto, LHC costituisce l'impegno primario e assorbe la maggior parte delle risorse. La spesa globale sostenuta per questi esperimenti sino ad ora (su un periodo di più di 10 anni) raggiunge i 250 M€. Negli ultimi tre anni, per sostenere la fine delle costruzioni, la messa in opera e il funzionamento la commissione ha dedicato 2/3 del suo budget (quindi circa 50 M€) a LHC. Nella parte di investimenti questa quota



raggiunge e supera i 3/4 del bilancio a disposizione.

Questo grande impegno, umano e finanziario, si riflette nei contributi che i ricercatori italiani hanno dato alla costruzione dei giganteschi apparati di LHC. La realizzazione di questi colossi ha comportato una lunga fase di ricerca e sviluppo, realizzata spesso in collaborazione con industrie nazionali. L'eccellenza dei risultati raggiunti ha permesso ai gruppi italiani di acquisire posizioni di rilievo nella costruzione di gran parte degli apparati sperimentali e anche l'aggiudicazione di importanti commesse alle industrie stesse. Un esempio preclaro di quest'ultimo risultato è la realizzazione da parte di Ansaldo ASG sia del solenoide di CMS sia del magnete toroidale di ATLAS, rispettivamente il più potente e il più grande magnete superconduttore mai costruito. I ricercatori italiani hanno realizzato poi frazioni importanti dei tracciatori interni degli esperimenti (in particolare con tecnologie a silicio), dei calorimetri e dei tracciatori esterni per muoni, insieme alla corrispondente elettronica di lettura e di trigger. Il contributo costruttivo ai tre più grandi esperimenti LHC è descritto in modo grafico in figura 3.3, mentre in figura 3.4 sono mostrati alcuni dei primi risultati di fisica nel run di LHC del 2010.

L'acceleratore dopo una fase di commissioning iniziale è ora operativo alla energia nel centro di massa di 7 TeV e ha raggiunto una luminosità di picco di  $2 \times 10^{32} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$  come previsto dai piani operativi iniziali. Gli esperimenti hanno raccolto già una notevolissima quantità di eventi che hanno permesso non solo di verificarne il corretto funzionamento ma anche la produzione di interessanti risultati di fisica nell'ambito del Modello Standard.

La tecnologia di calcolo basata su Grid si è dimostrata funzionale. Gli esperimenti hanno ricostruito gli eventi raccolti in tempo reale e le analisi fisiche sin qui condotte hanno dimostrato le potenzialità del complesso sistema che permetterà le raffinate indagini che condurranno allo studio degli attesi nuovi fenomeni.

#### HIGHLIGHT del 2010

- **Le prime analisi condotte dagli esperimenti che operano a LHC, a coronamento di una impresa ventennale: certamente l'highlight più straordinario del 2010.**
- **Il risultato sui limiti alla massa del bosone di Higgs ottenuto da CDF al Tevatron.**
- **Il risultato ottenuto da MEG che indica la possibilità dell'esistenza del decadimento di un muone in un elettrone e un fotone, che sarebbe un segnale di fisica**

### ATLAS



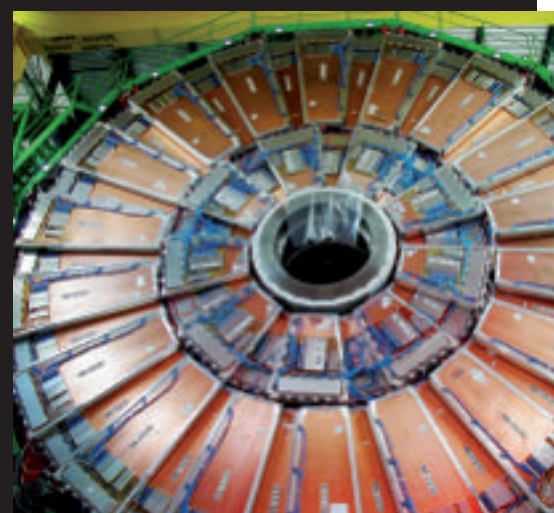
1. Toroide Ansaldo ASG Barrel 100%
2. Tracciamento interno 30%
3. Calorimetri 10%, elettronica 50%
4. Rivelatori muoni 30% Barrel
5. Trigger Muoni camere ed elettronica Barrel 1



### CMS



1. Sistema per muoni 50%
2. Tracciatore 30%
3. Calorimetro 40%
4. Magnete: tecnologia e avvolgimento cavo INFN & Ansaldo ASG 100%



### LHC-b



1. Sistema per muoni camere 50% elettronica 100%
2. Identificazione di particelle RICH 10%
3. Trigger Calorimetro 100%

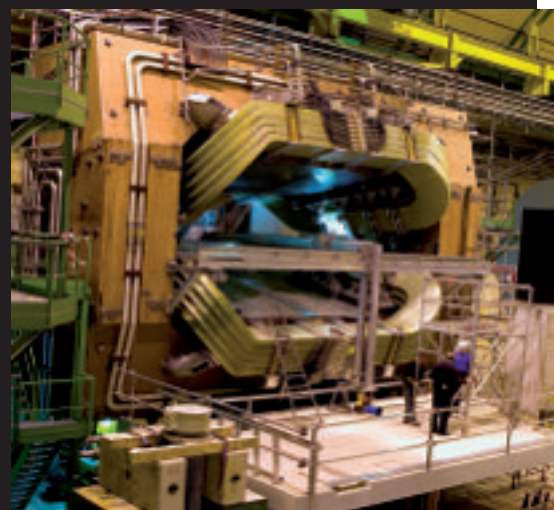


Fig. 3.3 : Sono indicati i rivelatori ai quali i ricercatori della CSN1 hanno dato i maggiori contributi per ciascuno dei tre esperimenti principali (nelle foto

al di là del Modello Standard.

- **L'osservazione di nuovi fenomeni ("jet quenching") nelle collisioni ioni-ioni ad LHC che indicano manifestazioni diverse della fisica adronica ad alte densità di materia ("quark-gluon plasma"), come nei primi istanti della vita dell'Universo.**



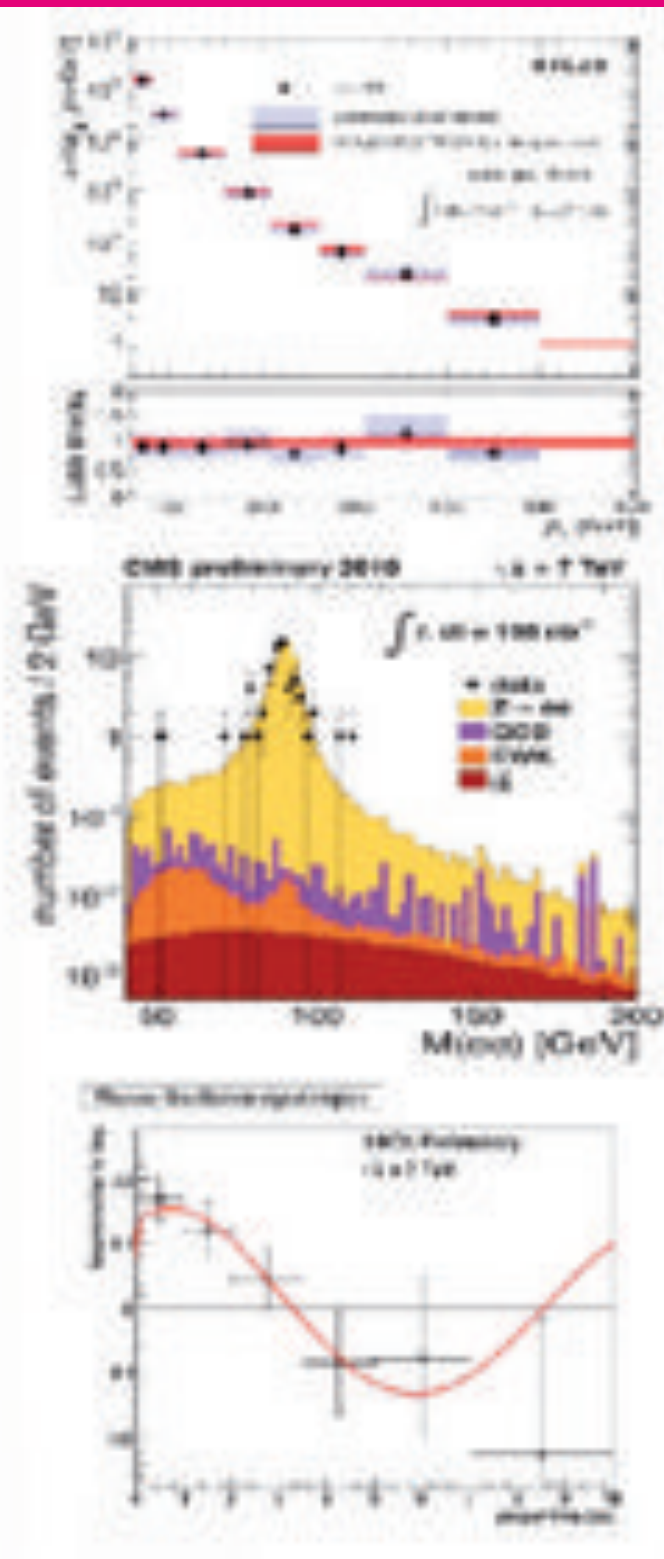


Fig. 3.4: Alcuni dei primi risultati di fisica nel run di LHC del 2010; sezione d'urto di jet in ATLAS;  $Z \rightarrow e+e-$  in CMS; oscillazione di  $B_s$  in LHCb.

### PROSPETTIVE E SCENARI

LHC produrrà fisica per ben più di un decennio a venire e questa è la certezza della CSN1 per il futuro. Ci si aspetta innanzitutto la scoperta del bosone di Higgs, la verifica cioè di gran lunga più attesa del Modello Standard, la cui rivelazione costituirebbe un enorme passo in avanti verso la comprensione della struttura del microcosmo. Se il bosone

non fosse osservato, sarebbe necessario rivisitare buona parte delle nostre attuali teorie.

Il secondo, ma non meno importante, obiettivo è di riuscire ad osservare particelle di quella materia che le misure astrofisiche sull'Universo ci indicano come abbondante, addirittura cinque volte maggiore di quella di cui sappiamo dare una spiegazione e della quale è fatto il mondo in cui viviamo. Sono particelle che formano quella che chiamiamo Materia Oscura, che non conosciamo e che speriamo siano osservabili tra i prodotti delle collisioni con gli esperimenti ad LHC.

E in particolare (ma non solo) da LHCb ci si aspetta poi un contributo fondamentale alla comprensione del perché della assenza della antimateria, che all'inizio dei tempi esisteva in quantità uguale alla materia e successivamente è scomparsa. Non è un fatto di poco conto, visto che noi dobbiamo la nostra stessa esistenza a questo fenomeno.

È come è stato per ogni acceleratore, che apre una nuova frontiera di energia, con i suoi esperimenti si spera di esplorare l'ignoto e rivelare le sorprese che esso potrebbe nascondere.

Oltre a questa robustissima base ci saranno tre esperimenti che, sfruttando la frontiera dell'intensità, cercheranno Nuova Fisica attraverso i sottili effetti che essa potrebbe indurre a energie più basse: MEG a PSI (*Paul Scherrer Institute*) in Svizzera, NA62 al CERN e KLOE a LNF.

Quest'ultimo esperimento continuerà con una seconda campagna di raccolta dati la sua esistenza grazie a uno straordinario sviluppo di fisica degli acceleratori occorso a Frascati a cura del team di fisici e ingegneri del laboratorio. Si è trovato un modo per aumentare di tre volte la capacità dell'acceleratore DAFNE di produrre collisioni (per unità di tempo) grazie a un metodo ingegnoso di focalizzazione dei pacchetti di elettroni, detto *crab waist* (vedi figura 3.5).

Questa idea brillante ha portato al disegno concettuale di un acceleratore che sarà il successore delle "fabbriche di B" che hanno segnato la fisica delle particelle nel decennio scorso (PEPII negli USA e KEKB in Giappone). Questo acceleratore, che supererà di un fattore 100 le loro prestazioni, dovrebbe essere realizzato nell'area dei Laboratori Nazionali di Frascati e costituire un elemento di primato per la fisica delle particelle italiana.

Questo progetto è stato recentemente approvato e ne è iniziato il finanziamento da parte del MIUR. Questa nuova iniziativa influenzerà certamente l'evoluzione delle risorse,

finanziarie e umane, della CSN1.

Le due frontiere (energia e intensità) rimarranno quindi il campo di ricerca della CSN1 a breve, medio e lungo termine. LHC ci promette infatti ben più di una decade di lavoro fruttuoso e nel prossimo decennio la ricerca in Italia sarà anche illuminata dall'esistenza della macchina regina della frontiera dell'intensità (SuperB). Se rimane chiaro che i risultati di fisica di LHC indicheranno i passi successivi di questa ricerca, risulta altresì evidente che le ricerche svolte alla Super-B in sinergia con la fisica di LHC costituiranno un cruciale volano di sviluppo per la nostra esplorazione e comprensione della nuova fisica al di là del Modello Standard.

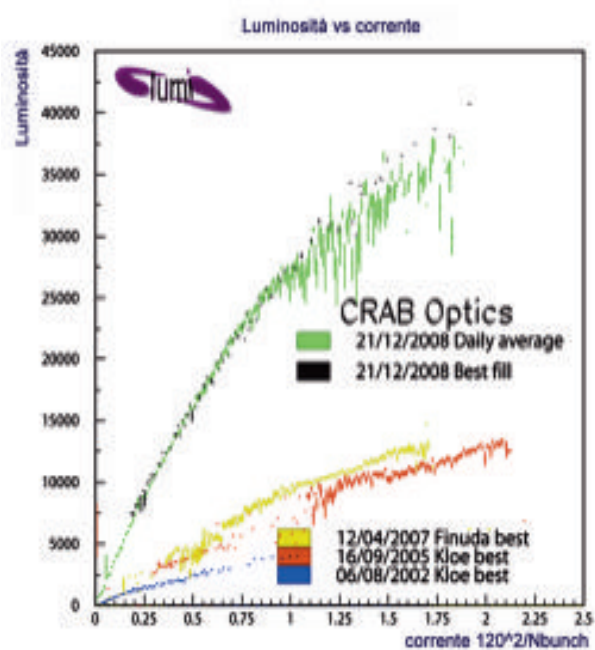


Fig. 3.5: Capacità di DAFNE di produrre collisioni elettrone-positrone per unità di tempo (luminosità) in diverse condizioni di funzionamento. I puntini neri (e verdi) sono il risultato dell'applicazione delle idee sviluppate a Frascati, in blu, giallo e rosso i precedenti risultati.

La conoscenza degli angoli di mescolamento tra i quark al livello del percento, lo studio di nuove manifestazioni di violazione di CP nei decadimenti del quark b, lo studio di processi rarissimi mai prima osservati sia nella fisica del b che del mesone tau ci permetteranno sia di comprendere meglio la natura della nuova fisica che cominceremo ad osservare a LHC sia, addirittura, di estendere il territorio della nuova fisica esplorata da LHC mostrandoci segnali relativi a nuove particelle oltre il TeV attraverso i loro effetti quantistici di tipo virtuale. Inutile dire che la pazienza è d'obbligo e che il futuro verrà disegnato da quanto scoperto a LHC. Per fare un esempio, le misure di precisione necessarie a capire la natura della eventuale Nuova Fisica svelata a LHC, potrebbero richiedere, oltre alla SuperB sulla linea dell'alta intensità, sul versante dell'alta energia la costruzione di un Linear Collider elettrone-positrone, per il quale un vigoroso

programma di ricerca e sviluppo è in corso da molti anni e la comunità è ben preparata.

Si tratterà dunque dal punto di vista del finanziamento di trovare risorse aggiuntive a quelle necessarie allo sfruttamento ottimale degli esperimenti a LHC che già ora assorbono buona parte del bilancio della Commissione e che nei prossimi tre anni vedranno il completamento dei rivelatori con quelle potenzialità mancanti alla partenza e vedranno anche la necessità di dispiegare tutta la potenza di calcolo necessaria per l'analisi dei dati.

Abbiamo di fronte tre anni di capitale importanza per la fisica delle particelle agli acceleratori. LHC coprirà l'intero range di possibilità di massa per il bosone di Higgs e quindi la sua scoperta è una delle attese. Una vasta porzione di spazio delle fasi per le particelle supersimmetriche verrà coperto e quindi è possibile ipotizzarne la scoperta. Grazie a LHCb nuovi limiti verranno esplorati nel campo della fisica del B in attesa che la SuperB prenda il testimone e spinga oltre la frontiera della conoscenza.

#### MILESTONE DEL PERIODO 2011-2013

- Raccolta di una luminosità integrata a LHC (CERN) negli anni 2011 e 2012 che permetterà ai grandi esperimenti ATLAS e CMS di verificare la validità del Modello Standard attraverso la scoperta (o il suo contrario nel caso di assenza) del bosone di Higgs. Ricerca di particelle di Nuova Fisica fino a scale di massa superiori al Teraelettrovolt.
- Analisi dei dati raccolti dall'esperimento LHCb al LHC per la misura della probabilità di decadimento di un mesone  $B_s$  in una coppia muone antimuone che costituisce un test molto importante per il Modello Standard.
- Completamento della costruzione di NA62 (CERN) negli anni 2011 e 2012 e inizio della presa dati nel 2013 per la misura del decadimento ultrararo  $K \rightarrow \pi \nu \nu$ .
- Costruzione nel 2012 con presa dati a partire dal 2013 di nuovi rivelatori dell'esperimento COMPASS (CERN) per una nuova campagna volta allo studio della funzione di struttura trasversa dei partoni che dovrebbe gettare luce sul problema della costruzione dello spin del protone a partire da quello dei suoi costituenti.
- Raccolta di una grandissima statistica all'esperimento KLOE (LNF) che ha iniziato a prendere dati nel 2011 all'acceleratore Dafne che è stato modificato per aumentarne le capacità sulla base delle idee che permetteranno anche la costruzione della SuperB.
- Compimento del ciclo di misure dell'esperimento MEG (PSI) che ha la possibilità di trovare il decadimento muone in elettrone-fotone che costituirebbe la prova

dell'esistenza di una fisica al di là del Modello Standard.

- **Compimento del ciclo, venticinquennale, di misure dell'esperimento CDF (Fermilab) con la possibilità di trovare evidenza del bosone di Higgs in un appropriato intervallo di massa.**
- **Inizio della costruzione del rivelatore per l'acceleratore SuperB.**

### 3.3 LA FISICA ASTROPARTICELLARE

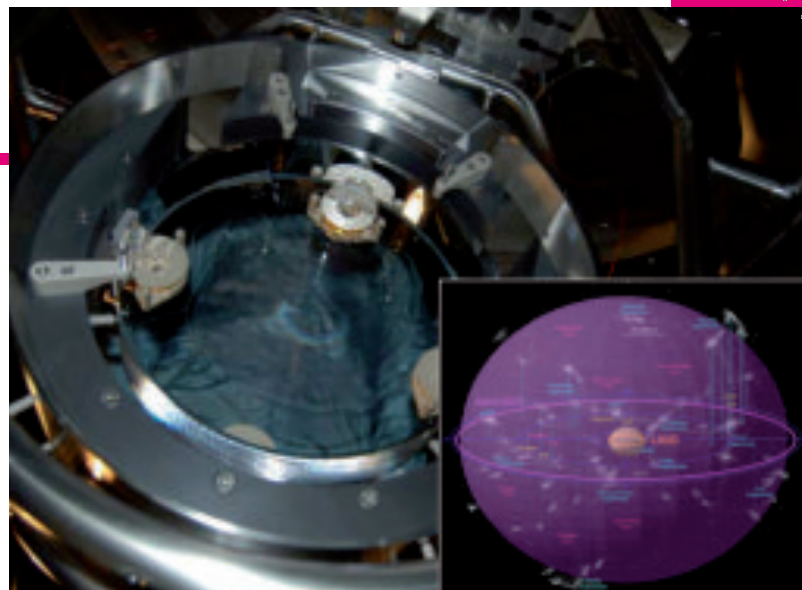
L'attività descritta in questo paragrafo è coordinata dalla **Commissione Scientifica Nazionale II (CSN2)**. La descrizione dettagliata delle attività della CSN2 è disponibile al sito web: <http://www.infn.it/csn2/>

#### INTRODUZIONE

La comprensione delle proprietà dei neutrini, la rivelazione diretta delle onde gravitazionali, l'identificazione dei costituenti della materia oscura e la spiegazione dell'assenza dell'antimateria nell'Universo costituiscono oggi alcuni tra gli obiettivi fondamentali alla frontiera della fisica fondamentale e corrispondono agli obiettivi scientifici della Commissione II dell'INFN (CSN2).

Lo studio dei messaggeri dell'Universo, le varie forme della radiazione cosmica, che vanno dalle particelle cariche e dai neutrini alla radiazione elettromagnetica e alle onde gravitazionali, rappresenta un settore che in questi anni vede un continuo, significativo progresso grazie ad un continuo flusso di nuovi risultati sperimentali. Proprio lo studio dei neutrini atmosferici ha portato alla scoperta del fenomeno delle oscillazioni tra i diversi tipi di neutrini, scoperta premiata con il Nobel nel 2002. Questo fenomeno è studiato ai Laboratori del Gran Sasso sia con i neutrini solari (esperimento BOREXINO) che con il fascio di neutrini provenienti dal CERN (progetto CNGS, esperimento OPERA ed esperimento ICARUS). Il 2010 ha portato a dei risultati di grande rilevanza in questo settore: la rivelazione da parte di BOREXINO dei neutrini provenienti dalle profondità della terra, i geoneutrini, la rivelazione del primo candidato di trasmutazione da neutrino mu a neutrino tau nell'esperimento OPERA e l'entrata in funzione dell'esperimento ICARUS con la rivelazione dei primi eventi di neutrino con un rivelatore di grandi dimensioni basato sull'argon liquido.

Nel 2009, studiando accuratamente la composizione dei raggi cosmici carichi nello spazio, prima che vengano assorbiti dalla nostra atmosfera, il satellite Pamela ha ottenuto indicazioni di nuovi fenomeni fisici che potrebbero confermare l'esistenza di una componente dominante della massa dell'Universo



*Fig. 3.6: La sensibilità di Virgo, in termini di volume della Galassia che viene osservata dall'interferometro, in funzione dei miglioramenti messi in atto nel 2009 o pianificati fino al 2014, quando il rivelatore raggiungerà una sensibilità 1000 volte maggiore di quella attuale.*

composta da particelle che non emettono luce, la cosiddetta materia oscura. Queste indicazioni si aggiungono ai risultati delle misure effettuate nel corso dell'ultimo decennio dall'esperimento DAMA nei Laboratori sotterranei del Gran Sasso. Si tratterebbe di un nuovo tipo di materia dalle 6 alle 8 volte più abbondante di quella di cui siamo composti. Questa linea di ricerca vede l'INFN alla frontiera della competizione internazionale: negli anni futuri, nuovi esperimenti dell'INFN a terra (XENON) e nello spazio (AMS) nonché le misure all'LHC daranno un contributo probabilmente decisivo alla comprensione di questo importantissimo problema della fisica contemporanea.

Nel settore dei raggi gamma, il satellite FERMI (precedentemente chiamato GLAST) ha terminato il suo secondo anno in orbita, producendo una messe di dati che ha rivoluzionato la nostra comprensione delle sorgenti di fotoni di alta energia. Assieme al telescopio Cherenkov MAGIC, Fermi ha dato un contributo determinante all'affermarsi dell'astronomia delle altissime energie, che utilizza raggi gamma di centinaia o migliaia di GeV di energia.

La rivelazione diretta delle onde gravitazionali, previste dalla relatività generale, è una delle grandi sfide della fisica sperimentale contemporanea: nel 2009 è iniziato il potenziamento dell'interferometro Virgo a Cascina, strumento che nel 2014 dovrebbe raggiungere la sensibilità necessaria per l'osservazione di onde gravitazionali da terra.

L'INFN ha una lunga tradizione nel settore disponendo in particolare dell'interferometro VIRGO, attualmente il più sensibile al mondo alle basse frequenze. Dopo l'approvazione avvenuta nel 2009, è continuata nel 2010 la realizzazione del progetto "Advanced VIRGO" che migliorerà di vari ordini di grandezza la sensibilità dell'interferometro (vedi figura 3.6).



I risultati ottenuti dalla comunità italiana nel settore astroparticellare rappresentano il risultato di un continuo sviluppo tecnologico e di una accurata pianificazione, in cui esperimenti esplorativi di prima generazione precedono i grandi esperimenti dotati di sensibilità molto maggiore ma che naturalmente richiedono maggiore impegno economico e maggiori garanzie di ritorno scientifico. Date le dimensioni e la complessità di tali esperimenti, essi sono svolti nell'ambito di collaborazioni internazionali, sia in ambito europeo che globale.

Molti esperimenti astroparticellari prevedono tempi di misura molto lunghi. Si tratta di veri e propri osservatori che ricercano fenomeni rari, che hanno origine al di fuori della Terra: neutrini dal Sole, particelle di origine cosmologica, esplosioni di supernovae, eventi rari nella radiazione cosmica ordinaria, impulsi di onde gravitazionali. In questi casi quindi la programmazione e l'effettuazione degli esperimenti procede in modi diversi da quelli tipici degli esperimenti agli acceleratori e richiede una grande flessibilità. Le misure di eventi molto rari implicano sensibilità non ottenibili in presenza del rumore di fondo causato nei rivelatori da eventi indotti dai raggi cosmici: i Laboratori Nazionali del Gran Sasso, che forniscono uno schermo adeguato ai raggi cosmici ordinari, sono la sede ideale per questi esperimenti di punta. L'elevato numero di fisici italiani e stranieri che operano nei LNGS dimostra il ruolo mondiale di questi laboratori nelle ricerche in corso.

La composizione del personale e le risorse finanziarie sono descritte in tabella 3.2.

## LINEA SCIENTIFICA: CSN2

FTE INFN staff + art.23,15 (anno 2009)	154
FTE Associati staff (anno 2009)	276
Assegnisti, borsisti, dottorandi (anno 2009)	239
Totale risorse finanziarie spese 2007-2009 (M€)	47,1
di cui spese per investimenti (inv., c.a.) 2007-2009 (M€)	13,8

Tab. 3.2: Composizione, risorse finanziarie e investimenti per la CSN2.

### ATTIVITÀ DI RICERCA

Le attività della CSN2 possono essere divise in 6 linee scientifiche: fisica del neutrino, ricerca di fenomeni rari, radiazione cosmica in superficie e sotto il mare, radiazione cosmica nello spazio, onde gravitazionali e fisica generale.

Nel seguito è presentato un breve sommario del consuntivo scientifico del 2010, con l'obiettivo di delineare lo stato delle linee di ricerca senza necessariamente elencare tutte le attività in corso.

### LINEA 1 : FISICA DEI NEUTRINI

Gli esperimenti sulla natura dei neutrini sono concentrati principalmente nel Laboratorio Nazionale del Gran Sasso.

Un esperimento leader a livello mondiale nel settore delle oscillazioni di neutrino elettronico è BOREXINO che studia in tempo reale il flusso di neutrini solari. La sensibilità raggiunta dallo strumento è tale che nel 2010 ha pubblicato la prima chiara evidenza di neutrini provenienti dal centro della terra, i geoneutrini, prodotti da fenomeni naturali all'interno del nostro pianeta. Questa scoperta apre delle nuove prospettive a cavallo fra la fisica nucleare e la geologia con interessantissimi risvolti applicativi, che vanno dal monitoraggio in remoto del funzionamento delle centrali nucleari al controllo dello smaltimento di rifiuti radioattivi.

Per meglio studiare le oscillazioni dei neutrini muonici è in funzione dal 2006 il fascio di neutrini dal CERN di Ginevra al Laboratorio del Gran Sasso (CNGS). Dopo avere percorso 732 km nella crosta terrestre, i neutrini vengono rivelati al Gran Sasso dove, nel 2010, è stato rivelato la prima conversione di un neutrino mu in un neutrino tau, un tipo di neutrino che non è presente al momento della produzione del fascio al CERN.

Gli esperimenti previsti al Gran Sasso per rivelare i neutrini provenienti dal CERN sono due: OPERA e ICARUS.



Fig. 3.7: Il rivelatore OPERA ai LNGS studia l'oscillazione del neutrino di tipo muonico (fascio CNGS prodotto al CERN) in neutrino di tipo tauonico (rivelazione ai LNGS) nei 732 km di percorso.

Nel 2010 OPERA (figura 3.7) ha continuato la presa dati, accumulando una statistica tale da rivelare il primo evento di oscillazione di un neutrino mu in un neutrino tau. Sempre nel 2010 è entrato in funzione ICARUS, un innovativo



Fig. 3.8: La Stazione Spaziale Internazionale, ora completata, ospiterà a partire dall'anno 2011 l'esperimento AMS.

rivelatore da 600 tonnellate di Argon liquido, tecnologia sviluppata da gruppi italiani, e che ha iniziato a prendere dati con il fascio CNGS rivelando le prime interazioni dei neutrini provenienti dal CERN.

#### **LINEA 2: RICERCA DI FENOMENI RARI**

Un altro metodo per la misura della massa del neutrino è collegato alla ricerca del doppio decadimento beta senza neutrini, premesso che il neutrino e l'antineutrino siano la stessa particella.

Nel Laboratorio del Gran Sasso è in corso la realizzazione dell'esperimento CUORE, un grande rivelatore di 1000 cristalli di tellurite con massa totale di 770 kg. È stato da poco inaugurato anche un altro esperimento, GERDA, che mira allo stesso obiettivo utilizzando cristalli di germanio. Entrambi gli esperimenti puntano alla misura del decadimento doppio beta, con una sensibilità per la massa del neutrino dell'ordine del centesimo di eV.

Il tema della materia oscura dell'Universo è uno dei più affascinanti della fisica e l'astrofisica, ma anche uno dei più difficili da studiare. Al Gran Sasso l'esperimento DAMA ha evidenziato una modulazione stagionale di segnali di bassissima energia indotti su un rivelatore ultrasensibile costituito da 100 kg di cristalli ultrapuri di ioduro di sodio. L'osservazione è in linea con quanto atteso dal moto della Terra intorno al Sole, trascinata con tutto il sistema solare attraverso il supposto mare di materia oscura presente nella nostra galassia. I risultati di DAMA hanno suscitato un acceso dibattito nella comunità scientifica internazionale. Nel 2010 è continuato lo sviluppo dell'apparato WARP, un esperimento di nuova generazione per la ricerca della materia oscura usando come rivelatore argon liquido e utilizzando tecniche sviluppate per l'esperimento ICARUS. Utilizzando quale mezzo di rivelazione un altro gas nobile,

l'esperimento XENON ha raggiunto interessanti risultati con 100 litri di xenon liquido e ora, messa a punto la tecnologia, ha in progetto la realizzazione di un rivelatore di 1 tonnellata.

#### **LINEA 3: RADIAZIONE COSMICA IN SUPERFICIE E NELLE PROFONDITÀ MARINE**

I raggi cosmici sono stati scoperti più di un secolo fa, ma ancora molto si ignora sulla loro origine e composizione soprattutto ad altissime energie. A energie estremamente elevate sono necessari rivelatori di ampie dimensioni per avere un numero di eventi significativo. Inoltre un campo nuovo si è aperto lo scorso decennio con la scoperta di sorgenti localizzate di fotoni di energia dell'ordine del TeV e con la scoperta di inattesi fiotti di fotoni, associati a fenomeni di energia estremamente elevata: i cosiddetti *gamma ray bursts* la cui origine è ancora sostanzialmente sconosciuta. L'INFN partecipa ai più importanti esperimenti in questo settore, spesso con ruoli importanti. Dall'esperimento ARGO, installato negli altipiani del Tibet e che utilizza la tecnologia italiana degli RPC (*Resistive Plate Counters*), al telescopio Cherenkov MAGIC alle Canarie, dedicato ai raggi gamma al di sopra di 50 GeV e che nel 2010 ha operato con due telescopi attivi, all'esperimento AUGER in Argentina, che coprendo più di 3000 km<sup>2</sup> è sensibile a raggi cosmici di energia estrema, in grado di attraversare la galassia senza essere deviati dal campo magnetico interstellare.

Anche nello studio della radiazione cosmica di alta energia i neutrini hanno un ruolo di particolare importanza: sono molto più penetranti dei raggi gamma e derivano principalmente da fenomeni adronici. Per essere rivelati richiedono la costruzione di apparati di grandi dimensioni come ANTARES operante al largo di Marsiglia. Nel 2010 è continuata l'attività di KM3NeT: un progetto europeo per arrivare al progetto di un rivelatore da almeno 1 Km cubo nel Mediterraneo



nell'ambito del quale è prevista l'installazione di prototipi di rivelatori a 3500 metri di profondità al largo di Capo Passero, in Sicilia. L'interesse di questo progetto si estende al settore della geofisica e della biologia marina, con importanti risvolti applicativi, data la rilevanza economica dell'ambiente marino per il nostro Paese.

#### **LINEA 4: LA RADIAZIONE COSMICA NELLO SPAZIO**

Lo studio dei raggi cosmici primari è ostacolato dall'atmosfera terrestre. Pertanto gli esperimenti per i raggi cosmici sono condotti nello spazio con palloni o satelliti, a parte che per le altissime energie ove sono richiesti apparati molto estesi. Questi esperimenti sono condotti in collaborazione con le agenzie spaziali, in particolare con l'Agenzia Spaziale Italiana (ASI).

L'apparato PAMELA, lanciato nel giugno 2006, ha continuato regolarmente la raccolta dati nel 2010. PAMELA è un piccolo ma sofisticato esperimento a leadership italiana, basato su un magnete permanente, e caratterizzato da un'alta risoluzione energetica. Nel 2009 PAMELA ha pubblicato una misura accurata del rapporto fra positroni ed elettroni fino ad una energia di circa 80 GeV, mostrando come la percentuale di positroni, rispetto agli elettroni, aumenti drasticamente alle basse energie, un'osservazione che ha destato notevole attenzione per le possibili implicazioni che potrebbero riguardare la natura della materia oscura.

Le stesse tematiche scientifiche saranno affrontate a partire dal 2011 da AMS, uno spettrometro magnetico caratterizzato da una grande accettazione angolare e che permetterà uno straordinario miglioramento in sensibilità nello studio di antimateria e materia oscura. AMS sarà installato sulla Stazione Spaziale Internazionale (figura 3.8) nel corso 2010, e prenderà dati per molti anni.

L'INFN partecipa con le collaborazioni AGILE, prevalentemente italiana, e GLAST (ora chiamato FERMI), a carattere internazionale, a due esperimenti su satelliti dedicati all'astronomia gamma. GLAST/FERMI è stato lanciato con successo a giugno del 2008 e da due anni raccoglie dati di grandissimo interesse. Il nome originario di GLAST è stato modificato in FERMI per sottolineare l'importanza dei contributi di Enrico Fermi per lo studio dei meccanismi di accelerazione dei raggi cosmici e l'impegno dei gruppi italiani nella costruzione di GLAST. I risultati di FERMI spaziano dalla scoperta di pulsar gamma (vedi figura 3.9), alle verifiche di precisione della relatività generale, allo studio di nuove classi di emittitori gamma, alle questioni legate all'accelerazione e alla composizione dei raggi cosmici.

L'attività spaziale dell'INFN ha raggiunto nel 2010 dei risultati scientifici di assoluta importanza, che hanno fornito all'Istituto visibilità e leadership internazionali. È confermata la rilevanza di questo settore nell'ambito delle attività della CSN2, settore su cui l'Istituto è impegnato dalla metà degli anni '90, nell'ambito di una forte collaborazione con l'ASI. Gli sviluppi realizzati nel settore della strumentazione nello spazio dall'INFN in collaborazione con l'industria nazionale sono sorgente di ricadute applicative e arricchimento tecnologico con importanti risvolti per la competitività del sistema industriale nazionale.

#### **LINEA 5: LA RICERCA SULLE ONDE GRAVITAZIONALI**

La rivelazione diretta delle onde gravitazionali è una delle grandi sfide della fisica sperimentale contemporanea. È opinione generale che la rivelazione delle onde gravitazionali da sorgenti cosmiche darà luogo alla nascita di una nuova astronomia. L'INFN ha oggi la maggiore copertura al mondo di possibili

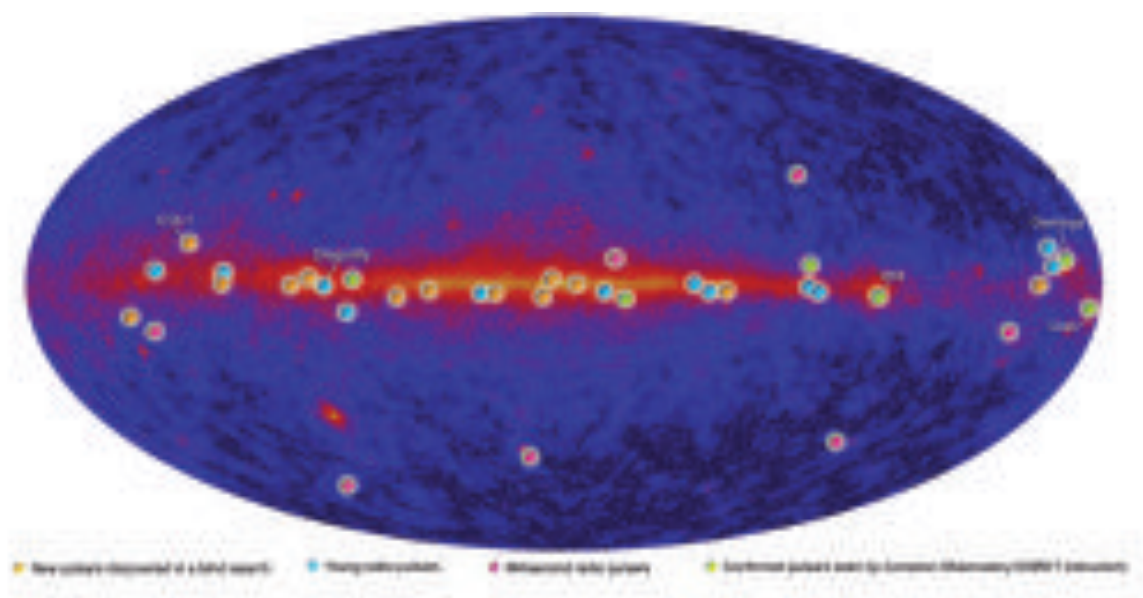


Fig. 3.9: Il cielo gamma di Fermi, con evidenziate le pulsar gamma scoperte da questo strumento.



Fig. 3.10: Vista aerea del YBJ, International Cosmic ray Observatory in Tibet, a 4300 metri di quota. Sulla destra, la sala dell'esperimento italo-cinese ARGO

segnali, avendo due barre risonanti e l'interferometro VIRGO. VIRGO, frutto di una collaborazione italo-francese, è un esperimento innovativo basato sulla rivelazione di spostamenti relativi di masse sospese distanti 3 km, dovuti al passaggio di onde gravitazionali ed osservati tramite sofisticate tecniche interferometriche di raggi laser. L'apparato ha due grandi tunnel ortogonali che ospitano i bracci di un interferometro di Michelson. Dopo anni di sviluppo, esso costituisce, con LIGO negli Stati Uniti, lo strumento più avanzato per la ricerca di onde su una banda di frequenza che spazia da qualche Hertz a migliaia di Hertz.

I buoni risultati ottenuti con VIRGO hanno portato l'INFN all'approvazione del progetto speciale "Advanced VIRGO" in cui la collaborazione italo-francese farà un ulteriore, forse decisivo, passo verso la sensibilità necessaria per la rivelazione diretta delle onde gravitazionali.

Il futuro della ricerca in questo settore vede allo studio nuovi progetti internazionali di terza generazione come il progetto denominato ET (*Einstein Telescope*). Nello spazio invece il progetto LISA a cui l'INFN partecipa nella parte di sviluppo tecnologico chiamata LISA Pathfinder, promette di spingere verso la fine del decennio la sensibilità degli interferometri ben al di sotto del limite di rivelazione.

#### **LINEA 6: RICERCHE IN FISICA GENERALE FONDAMENTALE**

Alcune attività della CSN2 sono relative ad esperimenti di fisica generale fondamentale. Ad esempio, l'esperimento MAGIA si propone di fare una misura precisa della costante di gravitazione usando atomi singoli, mentre l'esperimento MICRA si propone come obiettivo principalmente la misura della costante di gravitazione universale  $G$  a distanze molto

piccole mediante tecniche interferometriche basate su gas atomici quantistici. Tali misure sono importanti perché alcune teorie, come quella delle stringhe, prevedono deviazioni da quanto previsto dalla legge di Newton. La precisione straordinaria delle tecniche di misura necessaria per questo tipo di esperimenti li rende particolarmente adatti alla valorizzazione dei risultati di queste ricerche da parte del mondo produttivo. Ad esempio le tecniche sviluppate da MAGIA e da MICRA hanno ricadute sui metodi utilizzati negli orologi atomici e quindi nelle tecniche di telecomunicazione ad alta velocità. L'esperimento MIR, sulla verifica dell'effetto Casimir dinamico, richiede lo sviluppo di elettronica ultrasensibile e a bassissimo rumore utile anche in applicazioni di remote sensing. L'esperimento PVLAS, sulla verifica delle proprietà di birifrangenza del vuoto, spinge ai limiti la sensibilità dell'ellissometria di fasci di luce polarizzata, con potenziali applicazioni innovative nel settore delle analisi delle superfici.

#### **PROSPETTIVE DI MEDIO TERMINE**

Gli investimenti fatti dall'Istituto nei settori di ricerca della CNS2, hanno posizionato in modo ottimale l'Istituto a livello internazionale. Gli esempi più significativi sono probabilmente i Laboratori del Gran Sasso e VIRGO, ma anche nel settore spaziale sono stati raggiunti risultati di eccellenza.

Per esempio, le prospettive della ricerca delle onde gravitazionali dopo l'upgrade dell'interferometro di Cascina riguardano la realizzazione di un futuro grande laboratorio europeo ma, allo stesso tempo, vedono il settore spaziale protagonista con il progetto LISA.

I Laboratori del Gran Sasso, attualmente sono i laboratori sotterranei più importanti al mondo: oltre alle importanti ricerche

nel settore della fisica del neutrino e delle sue oscillazioni, una forte attività nel settore della ricerca della materia oscura e dei decadimenti ultrarari sono probabilmente le direzioni lungo cui si svilupperanno le attività sperimentali di questa infrastruttura di ricerca, rispondendo in questo modo ad una specifica richiesta della comunità internazionale.

Nel settore spaziale, la messa in orbita di AMS permetterà di effettuare un progresso sostanziale nella ricerca delle componenti rare dei raggi cosmici.

Lo studio dei raggi cosmici ad energie estreme rappresenta infine una consolidata linea di sviluppo dell' INFN, con esperimenti da effettuare sia a terra (AUGER) che nello spazio (JEM-EUSO).

#### **HIGHLIGHT del 2010**

- **BOREXINO, presso i Laboratori del Gran Sasso, ha misurato con precisione il flusso di neutrini provenienti dal centro della terra, aprendo una nuova tecnica sperimentale per studiare la composizione del nostro pianeta.**
- **OPERA, presso i Laboratori del Gran Sasso, ha presentato il primo evento al mondo corrispondente all'oscillazione di un neutrino mu in un neutrino tau.**
- **ICARUS, presso i Laboratori del Gran Sasso, ha rivelato le prime interazioni di neutrino con il dettaglio caratteristico di una camera a deriva in Argon Liquido**
- **Nello spazio, Fermi ha pubblicato una misura del flusso di elettroni e positroni da pochi GeV di energia fino al TeV**
- **Sono iniziati i lavori per la realizzazione del potenziamento dell'interferometro VIRGO a Cascina (Advanced Virgo), che prevede di raggiungere nel 2014 la sensibilità per la rivelazione delle onde gravitazionali da terra.**

#### **MILESTONE DEL PERIODO 2011-2013**

- **Lancio con uno Shuttle del grande spettrometro magnetico AMS-02 (Aprile 2011) ed inizio della presa dati sulla ISS dove opererà per un periodo di almeno 10 anni .**
- **Inizio delle misure (2011) dell' esperimento GERDA presso i Laboratori del Gran Sasso per la ricerca del decadimento doppio beta e la verifica della teoria del neutrino di Majorana .**
- **Completamento (2011-2012) della presa dati dell' esperimento OPERA presso i Laboratori del Gran Sasso utilizzando il fascio di neutrini provenienti dal CERN per misurare il tasso di trasmutazione tra neutrino mu e neutrino tau.**
- **Lancio di LISA Pathfinder (2012), il dimostratore tecnologico dell' interferometro spaziale LISA per la**

#### **ricerca delle onde gravitazionali**

- **Costruzione (2011-2013) del rivelatore CUORE che migliorerà di un ordine di grandezza la sensibilità nella ricerca del decadimento doppio beta ed il test della teoria del neutrino di Majorana.**
- **Completamento (2011-2013) del rivelatore XENON 1T presso i Laboratori del Gran Sasso, per lo studio della materia oscura con metodi diretti.**
- **Inizio della costruzione dell'osservatorio sottomarino di neutrini KM3NET che prevede la realizzazione di una grande matrice di rivelatori al largo della Sicilia meridionale.**
- **Advanced Virgo: emissione bandi gara (fine 2011), inizio costruzione/modifica infrastrutture (fine 2012), inizio installazione strumentazione (fine 2013).**

#### **RISORSE ADDIZIONALI (2011-2113)**

**Settore Spaziale:** provenienza ASI, mediamente 1,5 m€/anno (Pamela, Fermi, AMS, Lisa Pathfinder)

**KM3NET :** mediamente 2 M€/anno, provenienza MIUR (dal 2010) e EU (2010-2012)

**Progetti ERC :** mediamente 1,5 M€/anno (non nel bilancio della CSN2) . Junior RARENOISE, Senior LUCIFER

**Progetto AdV.** Mediamente 2 M€/anno (non nel bilancio della CSN2, ma nel bilancio dell' INFN), (2009-2011)

#### **INFRASTRUTTURE PER LA RICERCA (2011-2013)**

Potenziamento dei LNGS per ospitare la nuova generazione di rivelatori per lo studio della materia oscura

Potenziamento del sito di Capo Passero per lo sviluppo del rivelatore sottomarino KM3NET

Potenziamento delle infrastrutture di Calcolo (CNAF) per l'analisi delle grandi quantità di dati prodotte dagli esperimenti a terra e nello spazio della CNS2

#### **INIZIATIVE PER LA FORMAZIONE**

Ogni anno vengono realizzate in media 5 conferenze o scuole dedicate ai temi della CNS2 allo scopo di migliorare la conoscenza dei temi scientifici e tecnologici legati a queste ricerche. Tali attività sono sostenute con gli appositi fondi per la formazione messi a disposizione dall' INFN.

#### **3.4 LA FISICA NUCLEARE**

L'attività descritta in questo paragrafo è coordinata dalla **Commissione Scientifica Nazionale III (CSN3)**. La descrizione dettagliata delle attività della CSN3 è disponibile al sito web: <http://www.infn.it/csn3/>

#### **ATTIVITÀ DI RICERCA**

I progetti di Fisica Nucleare dell'INFN realizzati presso i

laboratori nazionali ed esteri (tra cui il CERN) vedono il forte coinvolgimento dei ricercatori italiani in ambito internazionale con ruoli di responsabilità e seguono orientamenti fortemente sostenuti dall'ESF (*European Science Foundation*) attraverso il NuPECC, comitato di programmazione europeo a cui l'INFN partecipa.

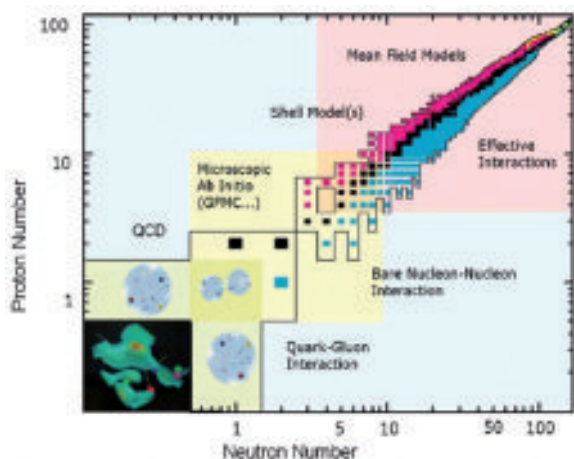


Fig. 3.11: La carta dei nuclei con indicati i diversi modelli e le loro regioni di applicazione, a partire dalla struttura del nucleone fino alla struttura dei nuclei più complessi.

L'obiettivo scientifico della Fisica Nucleare moderna è quello d'indagare l'origine, l'evoluzione, la struttura dei nuclei e dei loro costituenti (detti adroni) e le diverse fasi della materia nucleare. Questa missione rappresenta una sfida molto impegnativa e richiede la risposta a una serie di domande chiave relative alla genesi dell'Universo e alla nucleosintesi primordiale nonché alla comprensione del meccanismo di formazione degli elementi dalle esplosioni stellari.

Il tema unificante è quello di comprendere come oggetti complessi a molti corpi possano essere ricondotti a ingredienti semplici come i loro costituenti, le loro interazioni, le proprietà di simmetria e le leggi di conservazione. La descrizione di questi sistemi richiede modelli teorici diversi a seconda della scala considerata: il modello a quark per i costituenti del nucleo (nucleoni), i modelli a campo medio (shell e collettivi) con interazioni tra nucleoni microscopiche o efficaci per i nuclei (vedi fig. 3.11).

Seguendo la classificazione del NuPECC, la sperimentazione in fisica nucleare dell'INFN è organizzata in 4 linee:

- **struttura e dinamica degli adroni (protoni, neutroni e le particelle soggette alla forza nucleare forte, alla base della formazione dei nuclei);**
- **transizioni di fase della materia adronica;**
- **struttura e reazioni nucleari;**
- **astrofisica nucleare e ricerca interdisciplinare.**

In tutti questi settori i ricercatori INFN (oltre 520 ricercatori equivalenti la cui distribuzione tra le varie categorie professionali e l'ammontare dei fondi investiti per le attività scientifiche della CSN3 nell'ultimo triennio sono mostrati in tabella 3.3) sono fortemente coinvolti, con molte posizioni di leadership in ambito internazionale. Essi ottengono ottimi risultati di alto prestigio non solo nell'ambito della ricerca di base, ma anche per le ricadute di tipo applicativo molto rilevanti per la nostra società. L'attività svolta e l'alta qualità dei risultati collocano l'INFN al più alto livello nel campo della fisica nucleare tra gli istituti di ricerca in ambito internazionale e permettono, grazie allo stretto legame con l'Università, la formazione di studenti e di giovani ricercatori in un settore strategico per lo sviluppo del Paese.

La tabella 3.3 mostra la composizione, riferita al 2010, del personale che svolge le attività di fisica nucleare e le risorse finanziarie utilizzate nel triennio 2008-2010.

### LINEA SCIENTIFICA: CSN3

FTE INFN staff + art.23,15 (anno 2010)	150
FTE Associati staff (anno 2010)	194
Assegnisti, borsisti, dottorandi (anno 2010)	180
Totale risorse finanziarie spese 2008-2010 (M€)	35,2
di cui spese per investimenti (inv., c.a.) 2008-2010 (M€)	10,4

Tab. 3.3: Composizione, risorse finanziarie e investimenti per la CSN3.

### LA STRUTTURA E LA DINAMICA DEGLI ADRONI

La teoria che descrive i quark e le loro interazioni (detta Cromo Dinamica Quantistica, *Quantum Chromo Dynamics* o QCD) non è ancora in grado di spiegare in modo soddisfacente la struttura (osservazione: propongo di eliminare la parola interna) dei nucleoni. Ad esempio, rimane ancora da chiarire come i quark e i gluoni si combinino per generare le ben note proprietà del protone e del neutrone, quali massa, spin e momento angolare, e anche a produrre lo spettro delle risonanze barioniche.

Lo studio della struttura degli adroni con sonde elettromagnetiche, che hanno la capacità di entrare in profondità senza alterare sostanzialmente il sistema, viene condotto in Germania, a Bonn, con fotoni di energia fino a 3 GeV (esperimento MAMBO) e al laboratorio americano JLab, in Virginia, con fotoni ed elettroni di energia fino a 6 GeV (esperimento JLAB12). In particolare, sono in programma misure inclusive ed esclusive di alta precisione con fasci e bersagli polarizzati volte alla ricerca di risonanze



barioniche predette dalla teoria ma non ancora identificate e allo studio delle correlazioni spin-moto orbitale nel nucleone. Si tratta di ricerche di grande interesse in fisica adronica, che costituiscono la motivazione principale dell'innalzamento a 12 GeV dell'energia dei fasci del JLab.

Produrre in laboratorio adroni diversi dai nucleoni e farli interagire con i nuclei permette di comprendere le diverse proprietà dell'interazione forte in presenza di materia nucleare. Di particolare interesse sono i kaoni che contengono un quark con sapore stranezza (quark "strano") e che possono essere catturati o formando atomi kaonici in cui un kaone si muove su "orbitè" con raggi circa 1000 volte minori di quelle tipicamente elettroniche (esperimento SIDDARTHA) oppure formando i cosiddetti ipernuclei, dove un nucleone è sostituito da una particella più pesante che contiene un quark "strano" (esperimento FINUDA). La sperimentazione con kaoni presso LNF ha portato alla misura più precisa ora esistente del sistema protone-kaone (idrogeno kaonico) e del  $^4\text{He}$ , grazie agli alti valori di luminosità ottenuti per il collisionatore DAFNE e ad una maggiore precisione dei rivelatori. Nel caso dell' $^4\text{He}$  i nuovi dati concordano con la teoria e risolvono una controversia aperta da dati preesistenti tra di loro discordanti. Anche i risultati sugli ipernuclei, d'interesse per i modelli che descrivono l'interno delle stelle di neutroni, sono molto nuovi e molto selettivi e stanno avendo un impatto importante nel delineare il programma scientifico al laboratorio giapponese JPARC (*Japan Proton Accelerator Research Complex*).

La collaborazione PANDA sta preparando la sperimentazione relativa allo studio molto dettagliato della struttura (propongo di eliminare la parola interna) degli adroni e delle diverse fenomenologie prodotte dall'interazione forte utilizzando come sonda un fascio di antiprotoni (l'antiparticella del protone nel mondo speculare dell'antimateria) presso il laboratorio internazionale FAIR (*Facility for Antiproton and Ion Research*) in costruzione a Darmstadt, Germania. Questo fascio avrà caratteristiche di intensità e purezza uniche al mondo. Attualmente i ricercatori di PANDA sono impegnati in un'intensa attività di R&D per il rivelatore e di simulazione per le prestazioni strumentali e per la fisica. Per i programmi a più lungo termine a FAIR è in corso un'attività per sviluppare una tecnica molto efficace per la polarizzazione di antiprotoni (PAX) per realizzare in futuro studi sullo spin dei quark.

#### **TRANSIZIONI DI FASE NELLA MATERIA ADRONICA**

La collisione tra ioni a energie ultrarelativistiche è caratterizzata da densità di energie sufficientemente elevate da permettere una transizione dalla materia adronica ad

uno stato deconfinato di quark e gluoni, la stessa che si presume abbia avuto luogo nell'Universo primordiale, nei primi dieci milionesimi di secondo dopo il Big Bang. Lo studio del quark-gluon plasma è l'ambizioso obiettivo scientifico dell'esperimento ALICE al collisionatore LHC al CERN di Ginevra. L'interazione di ioni Pb a energie di 5.5 TeV assicurerà la produzione di una miriade di particelle (adroni coi loro decadimenti in leptoni) e la loro misura permetterà di comprendere la materia nucleare in condizioni estreme di temperatura e di densità di energia.

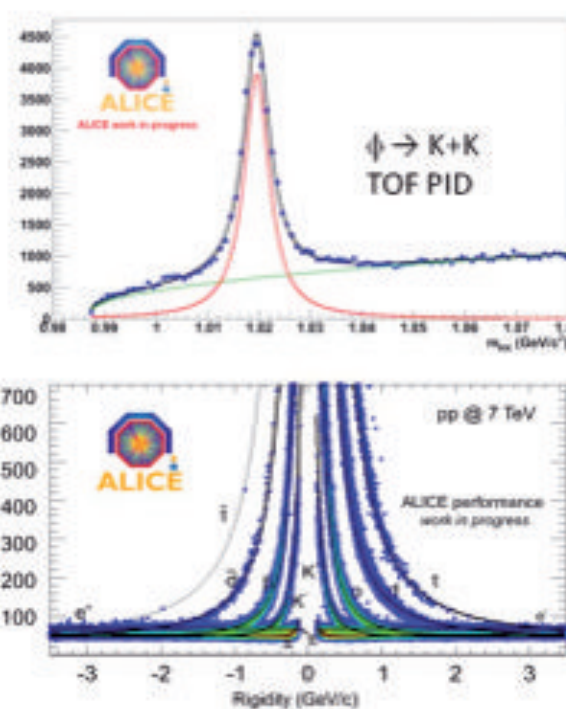


Fig. 3.12: Alcuni risultati ottenuti da ALICE con i dati raccolti nelle collisioni protone protone a 7 TeV. In alto lo spettro di massa invariante delle coppie di KK identificate con il rivelatore a tempo di volo (TOF) e in basso il grafico della perdita di energia per ionizzazione misurata dalla camera a proiezione temporale (TPC) in cui appaiono anche le curve relative ai nuclei di deuterio e trizio e ai corrispondenti antinuclei.

In tutti i suoi diversi aspetti la sperimentazione di ALICE a LHC rappresenta una sfida sia come complessità tecnologica sia come dimensioni e ampiezza della collaborazione. La partecipazione INFN in ALICE ha avuto e ha un ruolo centrale nell'esperimento, dapprima nella costruzione dell'apparato e attualmente nella conduzione della sperimentazione e nell'analisi dei dati, come testimoniato dai vari ruoli di responsabilità. Sfruttando le collisioni protone-protone ALICE ha ottenuto nel 2010 numerosi risultati utili a caratterizzare le collisioni e tra essi quelli sulla formazione di risonanze e di nuclei e anti nuclei (vedi figura 3.12). Va sottolineata l'importanza delle misure di molteplicità delle particelle cariche e del rapporto protone antiprotone alle energie di 0.9 e 7 TeV nel centro di



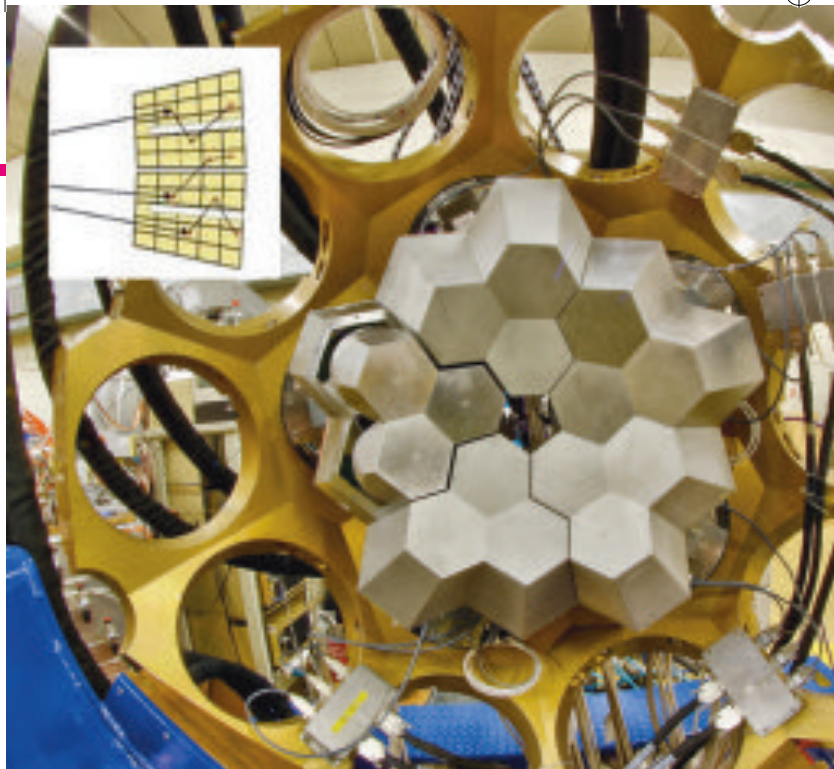


Fig. 3.13: Il dimostratore del rivelatore AGATA, che usa la tecnica del tracciamento dell'interazione gamma con la materia (schematizzata nel disegno), montato ai Laboratori Nazionali di Legnaro.

massa, che forniscono rilevanti verifiche dei modelli teorici. Molti altri risultati saranno disponibili a breve e in particolare anche dalle collisioni tra Pb-Pb acquisite a fine anno a LHC. Nel loro complesso i risultati ottenuti mostrano l'eccellente funzionamento dell'acceleratore LHC e dell'apparato ALICE sia per la parte strumentale sia per l'analisi dati.

### **STRUTTURA NUCLEARE E MECCANISMI DI REAZIONE**

Il problema centrale attualmente affrontato con particolare vigore nei diversi laboratori (Europa, Usa e Giappone) è quello dell'evoluzione delle proprietà caratteristiche dei nuclei e/o della materia nucleare asimmetrica (masse, interazioni, simmetrie, eccitazioni, gradi di libertà collettivi), in presenza cioè di un rapporto anomalo di neutroni e protoni. L'ambizioso programma, che richiede molte informazioni sperimentali, è infatti quello di comprendere i limiti della stabilità nucleare e ottenere in laboratorio nuclei non presenti sulla Terra ma che potrebbero invece esistere in condizioni simili a quelle che si realizzano nel cosmo.

Le collaborazioni INFN impegnate in queste problematiche sono molto attive e utilizzano prevalentemente i fasci di ioni dei laboratori di Legnaro, LNL (esperimenti GAMMA, NUCL-EX, PRISMA, EXOTIC) e di Catania, LNS (esperimenti EXOCHIM, FRAG, MAGNEX, LNS-STREAM) ma anche i fasci di ioni radioattivi dei laboratori esteri, in particolare GANIL in Francia e al GSI *Helmholtz Centre for Heavy Ion Research* (Darmstadt, Germania).

L'argomento su cui la sperimentazione INFN si è focalizzata è quello dei nuclei lontano dalla stabilità e in particolare di quelli ricchi di neutroni, dei quali si studiano le diverse eccitazioni (particella singola e collettive) che portano informazioni

sulle interazioni e sulla materia neutronica, attualmente di grande interesse anche per l'astrofisica, in particolare per la nucleosintesi degli elementi pesanti e per le stelle di neutroni. Esperimenti a LNL e GSI di responsabilità delle collaborazioni INFN hanno dato contributi significativi per isolare interessanti effetti del sistema a moti corpi tra cui gli accoppiamenti di fononi di vibrazione alle particelle, effetti di pairing ed eccitazioni che coinvolgono vibrazioni puramente neutroniche. Esperimenti con l'apparato CHIMERA ai LNS hanno fornito risultati particolarmente interessanti sulla dipendenza dell'energia di simmetria (presente quando vi è un'asimmetria nel numero di protoni e neutroni) dalla densità barionica, rilevanti per la descrizione delle stelle di neutroni. Questi esperimenti saranno successivamente estesi a energie più alte con nuove misure in programma a GSI con la responsabilità INFN.

Ai LNS si sta inoltre realizzando un programma di misure di frammentazione, alcune d'interesse per la cura dei tumori con fasci di particelle nucleari (adroterapia) e altri per creare nuclei nella regione di instabilità protonica. A LNL è iniziata la prima fase del rivelatore AGATA (dimostratore AGATA vedi figura 3.13) della collaborazione internazionale europea che è basata sulla tecnica del tracciamento dell'interazione gamma con la materia. Questo metodo ha un forte potenziale applicativo nell'ambito della tecnologia dell'elaborazione di immagini (*imaging*), oggi impiegata diffusamente in ambito medico e nel settore della sicurezza, per la rilevazione dei materiali illegali attraverso la scansione gamma delle merci viaggianti. Le misure di fisica programmate riguardano lo studio di modi di eccitazioni in nuclei moderatamente ricchi di neutroni, che sono d'interesse e preparatori anche in vista della sperimentazione con fasci radioattivi di prossima generazione, come quelli di SPES o SPIRAL2. A LNS si utilizzeranno sempre di più i fasci radioattivi di nuclei leggeri prodotti sia da EXCYT che con la tecnica della frammentazione in volo.

### **ASTROFISICA NUCLEARE E RICERCA INTERDISCIPLINARE**

Poiché le stelle sono vere centrali di energia nucleare galattica, è importante, per capire la loro vita, realizzare in laboratorio misure di alta precisione delle reazioni chiave coinvolte. Queste reazioni nucleari giocano un ruolo essenziale nell'origine ed evoluzione delle nostre galassie, sulle abbondanze degli elementi e sui flussi di neutrini. L'esperimento LUNA al Laboratorio Nazionale del Gran Sasso si è concentrato recentemente su reazioni nucleari riguardanti la combustione dell'idrogeno nel ciclo CNO che coinvolge i nuclei di Carbonio, Azoto e Ossigeno ed

è la principale sorgente d'energia delle stelle più massive. È inoltre iniziata una misura finalizzata a capire perché i modelli di nucleosintesi primordiali prevedano una quantità di  ${}^6\text{Li}$  che è 2-3 ordini di grandezza inferiore rispetto alle misure in stelle povere di metalli. I programmi a più lunga scadenza richiedono invece un nuovo acceleratore con energie di 4-5 MeV.

È proprio grazie a uno studio sistematico di numerosi meccanismi e reazioni nucleari che oggi siamo in grado di fare passi avanti nella comprensione del processo della nucleosintesi. Sfruttando tecniche particolari, ad esempio la cinematica inversa (esperimento ERNA a Caserta) e quella detta del cavallo di Troia (esperimento ASFIN ai LNS), si sono e si stanno misurando reazioni utili a questo importante scopo. Sono di rilievo in questo contesto i dati relativi ad affrontare il problema della scarsità degli elementi Li, B e Be e utili per i modelli che descrivono i fenomeni che avvengono all'interno delle stelle, la produzione di neutrini solari inclusa.

Lo studio delle reazioni neutrone-nucleo sta attualmente ricevendo molta attenzione in molti laboratori, non solo perché la cattura neutronica riveste grande importanza per la nucleosintesi degli elementi più pesanti del ferro ma anche per contribuire alle tecnologie nucleari emergenti. La collaborazione n-TOF al CERN è fortemente impegnata in questi studi, ha ottenuto risultati di grande interesse e ha un programma ben delineato per i prossimi anni ed in particolare farà ricerca utile per gli sviluppi nel campo di produzione dell'energia nucleare mediante fissione. Sono inoltre allo studio possibili attività con nuove sorgenti di neutroni anche presso i laboratori INFN.

Nel campo della fisica fondamentale lo studio dell'antimateria fornisce una verifica stringente alle interazioni e simmetrie che stanno alla base dei modelli teorici. L'attività sulla spettroscopia dell'antiidrogeno (l'atomo più semplice di antimateria), sulle sezioni d'urto di antiprotoni a energie di pochi keV e sulla verifica della simmetria CPT sono in corso al CERN con le collaborazioni ASACUSA e AEGIS.

### PROSPETTIVE

Tutte e quattro le linee scientifiche della CSN3 hanno prospettive, anche a lungo termine, certamente di grande interesse.

Per la dinamica dei quark ci si aspetta l'estensione del programma di fisica da 6 a 12 GeV a JLAB e la preparazione del nuovo esperimento PANDA con un programma di fisica che si basa sull'uso di antiprotoni alla facility internazionale

FAIR che appartiene alla lista ESFRI. PANDA fornirà verifiche molto stringenti sull'interazione tra quark, gluoni e quark-gluoni (teoria QCD), sulla struttura interna del nucleone e sulle proprietà delle particelle nella materia nucleare.

L'esperimento JLAB12 ha come obiettivo quello di completare la preparazione del nuovo tracciante indispensabile per partire con la sperimentazione con i fasci a 12 GeV. Un altro obiettivo è quello di portare avanti la realizzazione del rivelatore per neutroni.

Per l'ambizioso studio del quark-gluon plasma e quindi della materia dopo il Big Bang, è chiaro che l'esperimento ALICE a LHC avrà la possibilità di produrre fisica nuova con alto potenziale di scoperta nei prossimi dieci anni. ALICE deve potenziare i centri GRID come previsto nei piani pluriennali e iniziare l'upgrade dei rivelatori per la presa dati a LHC dopo il 2016 che sarà fatta con fasci di più alta energia e maggiore intensità.

Per lo studio della struttura e delle reazioni nucleari si è aperta un'era nuova con i fasci di nuclei radioattivi. Ci si focalizzerà sui nuclei sempre più lontani dalla valle di stabilità le cui proprietà sono determinanti per capire il cosmo, la vita delle stelle, la nucleosintesi e la produzione d'energia. Questo programma è fortemente legato ai miglioramenti previsti agli acceleratori esistenti ai LNL e LNS, al completamento della prima fase di AGATA e, a più lungo termine, al progetto SPES. Queste attività, anche se incentrate presso i nostri laboratori Nazionali, sono in stretta collaborazione internazionale e la realizzazione dei programmi scientifici necessita lo svolgimento di attività comuni presso i laboratori esteri in Europa (incluso il CERN), Usa e Giappone. Sono particolarmente consolidate da molti anni le collaborazioni con GANIL per SPIRAL2 e GSI-FAIR per NUSTAR. Con GANIL è in corso da anni un accordo di collaborazione formalizzato tra INFN e IN2P3.

Per l'astrofisica nucleare bisognerà portare avanti l'upgrade di LUNA con un acceleratore di 3-4 MeV. In quest'ambito si rafforzerà la collaborazione internazionale. Il tema di punta è quello di capire la produzione e l'abbondanza di carbonio oltre ad altri aspetti legati alla nucleosintesi dei nuclei leggeri.

Le prospettive di ricerca in Fisica Nucleare sono senza dubbio molto attraenti anche per le loro sempre maggiori ricadute applicative in settori strategici come quello medico e dell'energia e meritano quindi d'essere perseguite con adeguate risorse di personale e strumentazione.

### HIGHLIGHT DEL 2010

- **Prima evidenza dell'effetto di nuclei alone negli isotopi**

ricchi di neutroni del Be basato sul confronto di misure realizzate ai LNS e al CERN ISOLDE.

- Risultati sulla molteplicità delle particelle cariche, sulle distribuzioni di impulso trasverso e sul rapporto di produzione protoni-antiprotoni per le collisione p-p alle energie nel centro di massa di 0.9, 2.36 e 7 TeV e sul flusso ellittico e la soppressione della produzione di particelle cariche ad alto impulso trasverso nelle collisioni centrali di nuclei di piombo all'energia di massa di 2.76 TeV nel sistema nucleone-nucleone ottenuti con il rivelatore ALICE.
- Prime misure di spettroscopia gamma con il rivelatore AGATA ai LNL accoppiato allo spettrometro PRISMA e ad altri rivelatori di particelle cariche.
- Misura di atomi kaonici di  $^4\text{He}$  a LNF, di rilievo perché risolvono un problema aperto dovuto a precedenti risultati discordanti; inoltre, essi confermano chiaramente le predizioni della teoria esistente.

#### MILESTONE DEL PERIODO 2011-2013

- Realizzazione dei nuovi rivelatori per apparato CLAS a JLAB(USA) e inizio della sperimentazione a 12 GeV per studiare la struttura del nucleone e la dinamica dei quarks
- Risultati finali relativi a misure sugli degli atomi kaonici realizzate al LNF per verificare i limiti a bassa energia del modello di quantum cromodynamics.
- Misure con ALICE a LHC finalizzate a trovare effetti nuovi che caratterizzano il quark-gluon plasma.
- Ampliamento delle strutture di calcolo basate sulla GRID per l'esperimento ALICE che richiede un'intensa attività d'analisi.
- Completamento della fase di misure di spettroscopia gamma a LNL con l'apparato AGATA costruito in collaborazione europea. Inizio della seconda campagna di misure con fasci radioattivi presso il laboratorio GSI
- Inizio di un'attività ai LNS con fasci radioattivi prodotti da frammentazione e utilizzando l'apparato CHIMERA ampliato con un nuovo sistema di rivelazione.
- Completamento di una serie di misure per la descrizione della nucleosintesi di Big Bang con l'apparato LUNA al LNGS e studio di fattibilità per una serie di nuove misure con un nuovo acceleratore per energie di qualche MeV.

### 3.5 LA FISICA TEORICA

L'attività descritta in questo paragrafo è coordinata dalla Commissione Scientifica Nazionale IV (CSN4). La descrizione dettagliata delle attività della CSN4 è disponibile al sito [web: https://web.infn.it/CSN4/](https://web.infn.it/CSN4/)

### MISSIONE

Lo studio delle questioni fondamentali della fisica delle particelle e nucleare sta entrando in un periodo di grande interesse dovuto allo sviluppo di fronti sperimentali di fondamentale importanza lungo le tre linee dell'alta energia (LHC), dell'alta intensità (fisica del "flavour") e della fisica astroparticellare (in particolare ricerche dirette e indirette di materia oscura).

La fisica teorica partecipa a queste ricerche con la formulazione di modelli teorici che estendono il Modello Standard delle interazioni fondamentali, sia per includere la fisica della simmetria elettrodebole, che per descrivere candidati particellari di materia oscura. Sono note le potenziali connessioni tra i due temi, così come le possibili relazioni con la fisica del sapore e/o la fisica dell'unificazione. Importantissimo risulta inoltre lo studio delle possibili manifestazioni fenomenologiche di interazioni forti alla scala di Fermi, quella che sarà esplorata da LHC o, nel contesto di teorie supersimmetriche, lo studio di configurazioni fenomenologicamente peculiari e della loro origine nel contesto di nuovi meccanismi di rottura di simmetria. Analogamente è essenziale proseguire l'attività di analisi dei dati provenienti dagli esperimenti di astrofisica, ad esempio nello studio delle correlazioni tra segnali di materia oscura potenzialmente rilevabili nei diversi esperimenti sia in generale che in modelli definiti. La correlazione tra segnali diretti ed indiretti di materia oscura e la produzione ed identificazione della stessa a LHC costituisce una delle più interessanti tematiche di teorie di nuova fisica oltre il Modello Standard. A questi studi si affianca l'attività di ricerca sulla fisica del sapore, inclusi i meccanismi di leptogenesi nel contesto di teorie unificate, lo studio del mescolamento dei fermioni in modelli con e senza la presenza di supersimmetria alla scala debole o dimensioni extra, vale a dire nuove dimensioni oltre alle 3+1 dello spazio e del tempo rispettivamente.

Vi è poi un importante settore della fisica teorica che, in luogo di seguire un percorso di tipo "bottom-up", ovvero, un percorso che, partendo dalla fenomenologia, giunge all'elaborazione di teorie di nuova fisica, percorre invece un cammino di tipo "top-down", cioè da astratte teorie spesso basate su sofisticati strumenti matematici giunge ad implicazioni fenomenologiche da confrontare con risultati sperimentali o già presenti o, più sovente, da ottenere nei prossimi esperimenti.

Vi è poi un importante settore della fisica teorica che, in luogo di seguire un percorso di tipo "bottom-up", ovvero, un percorso che, partendo dalla fenomenologia, giunge all'elaborazione

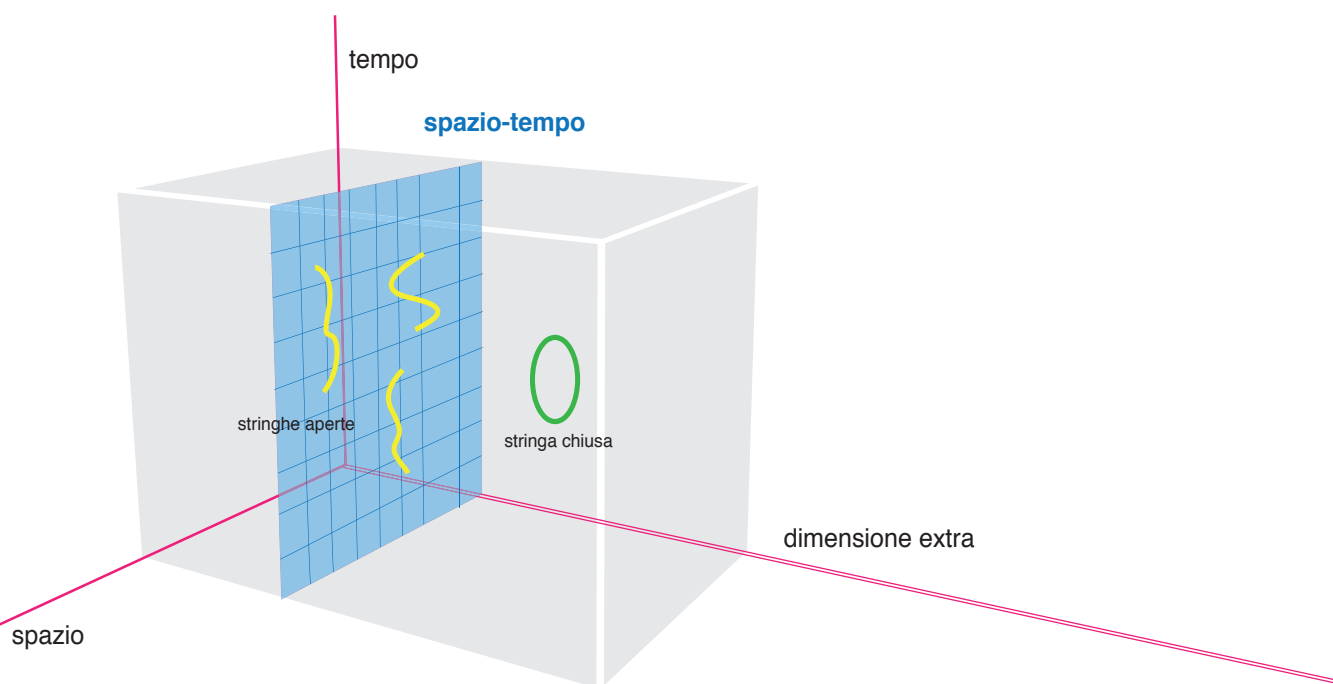


Fig. 3.14: Rappresentazione della relazione tra spazio-tempo, stringhe (aperte o chiuse) e dimensioni extra (da un disegno di Gabriele Veneziano).

di teorie di nuova fisica, percorre invece un cammino di tipo “top-down”, cioè da astratte teorie spesso basate su sofisticati strumenti matematici giunge ad implicazioni fenomenologiche da confrontare con risultati sperimentali o già presenti o, più sovente, da ottenere nei prossimi esperimenti. Esempio tipico di quest’ultimo modo di procedere è rappresentato dalle teorie di corda (“string theory”) in cui, per la prima volta, è stato possibile ottenere una teoria quantizzata della gravità unificata con la descrizione delle altre interazioni fondamentali, elettrodebole e nucleare forte.

#### SETTORI DI RICERCA

L’attività coordinata dalla CSN4, sviluppata in stretta collaborazione col mondo accademico, non si esaurisce nei temi menzionati precedentemente, ma ha importanti estensioni nello studio degli aspetti più formali della teoria dei campi e di stringa, nella fisica matematica, nella fisica statistica, nella biofisica, turbolenza o modelli economici. In effetti tale attività è organizzata in sei settori qui brevemente illustrati:

##### a) STRINGHE E TEORIA DEI CAMPI

Superstringhe, Supergravità, Teorie Supersimmetriche; Dimensioni Extra; Gravità Quantistica e Cosmologia; Dinamica Non-perturbativa nelle Teorie di Gauge; QCD a grandi distanze e applicazioni alla meccanica statistica; Fenomeni Critici e Gruppo di Rinormalizzazione. Stretta connessione con gli altri settori della CSN4, organizzazione di svariati workshop al centro GGI di Arcetri, organizzazione di conferenze internazionali e scuole, moltissime tesi di laurea e di dottorato.

##### b) FENOMENOLOGIA DELLE PARTICELLE

Fisica del Neutrino; Fisica dei Sapori; Fisica oltre il Modello Standard (BSM); QCD; Miscellanea di Fisica

Adronica. Stretta connessione con le ricerche della CSN1, in particolare LHC e SuperB Factory, organizzazione di svariati workshop al centro GGI di Arcetri, organizzazione di conferenze internazionali e scuole, moltissime tesi di laurea e di dottorato.

##### c) FISICA ADRONICA E NUCLEARE

Fisica degli Ioni Pesanti; Materia adronica e modelli di QCD; Struttura e Reazioni; Fasci Radioattivi; Studi Numerici delle Fasi di QCD. Stretta connessione con le ricerche delle CSN1 e CSN3, partecipazione alle attività di LHC e Jefferson Lab, organizzazione di svariati workshop al centro GGI di Arcetri, organizzazione di conferenze internazionali e scuole, molte tesi di laurea e di dottorato.

##### d) METODI MATEMATICI

Relatività Generale e Fisica gravitazionale, incluse le onde gravitazionali; Geometria non commutativa e Gruppi quantistici; Struttura algebrica in teorie di campo; Metodi di quantizzazione; Stabilità dinamica a livello classico e quantistico; *Entanglement*; *Randomness* e *chaos*; stati *pseudo-random* da *chaotic maps*; Geometria di sistemi dinamici e sistemi integrabili. Stretta connessione con il settore a), importanti attività riguardanti le proprietà matematiche della meccanica quantistica per applicazioni a Computer Science e Crittografia, organizzazione di conferenze e scuole, molte tesi di laurea e di dottorato.

##### e) ASTROPARTICELLE E COSMOLOGIA

Fisica delle stelle di neutroni; Deconfinamento dei quark; Supernovae; Sorgenti di radiazione astrofisiche; Neutrini in fisica, astrofisica e cosmologia; Sorgenti di onde gravitazionali, Buchi neri; Cosmologia; Inflazione; Materia oscura ed energia oscura; Analisi dei dati e simulazioni numeriche; Fenomenologia alla scala di Planck; Teorie



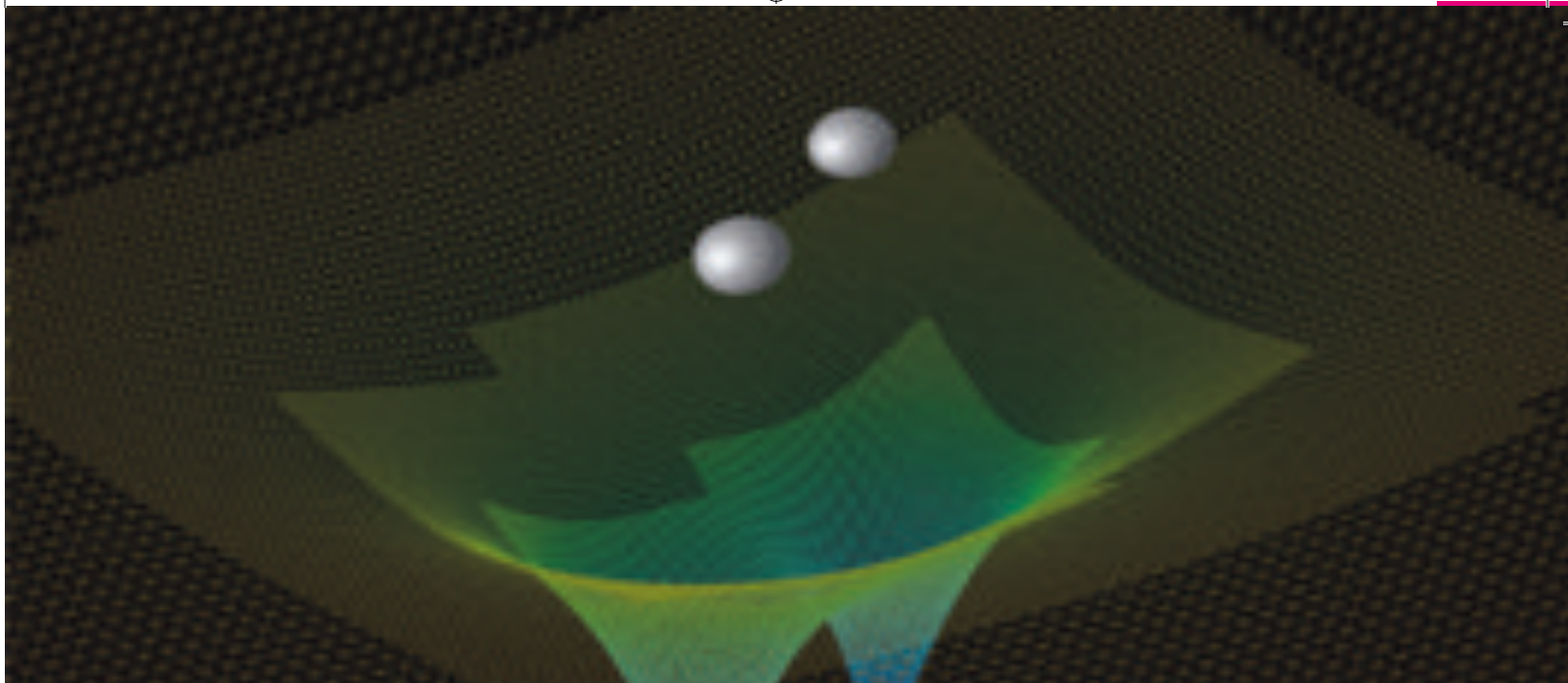


Fig. 3.15: Simulazione al computer della coalescenza di un sistema binario di buchi neri nello spazio tempo curvo.

della gravità. Stretta connessione con le ricerche delle CSN2, organizzazione di svariati workshop al centro GGI di Arcetri, organizzazione di conferenze internazionali e scuole, moltissime tesi di laurea e di dottorato.

#### f) **TEORIA DEI CAMPI E MECCANICA STATISTICA**

Metodi non-perturbativi in teorie di campo applicate a sistemi statistici; Biofisica quantitativa; Turbolenza; Sistemi disordinati e *spin glasses*; Reti neurali. Attività interdisciplinari in stretta connessione con biologi, chimici, ricercatori in medicina, ingegneri, anche per applicazioni tecnologiche, organizzazione di conferenze internazionali e scuole, moltissime tesi di laurea e di dottorato.

Nell'ambito di tali attività, la ricerca teorica in ambito INFN ha svolto, e certamente svolgerà nel futuro, un ruolo chiave, con contributi di grande rilievo, ampiamente riconosciuti a livello internazionale, come dimostrato dal grandissimo numero di citazioni e inviti a tenere i maggiori seminari di rassegna alle maggiori conferenze internazionali. Molto sviluppata è inoltre la collaborazione, e la pubblicazione di lavori congiunti, con ricercatori provenienti da prestigiosi istituti e laboratori di tutto il mondo, nonché lo scambio di giovani ricercatori mediante l'assegnazione di borse di dottorato o post-dottorali, finanziate attraverso progetti italiani o europei, o finanziati direttamente da istituti di ricerca esteri. La produzione scientifica annua ammonta a circa 1200 lavori, pubblicati su riviste internazionali con *referee*.

Per i complessi calcoli numerici richiesti dalle attività di ricerca nel campo dell'astrofisica, fisica nucleare, fisica dei collisionatori adronici e meccanica statistica, nel 2010 la CSN4 ha realizzato un cluster di PC (1024 cores per un potenza complessiva di circa 10 Teraflops, 1 GB di RAM per core) presso la sezione di Pisa dell'INFN. Tale

cluster é entrato in funzione nell'estate 2010 a appena 6 mesi dall'approvazione del progetto.

<b>LINEA SCIENTIFICA CSN4</b>	
FTE INFN staff + art.23,15 (anno 2010)	95
FTE Associati staff (anno 2010)	368
Assegnisti, borsisti, dottorandi (anno 2010)	100
Totale risorse finanziarie spese 2008-2010 (M€)	8,1
di cui spese per investimenti (inventario, apparati) 2008-2010 (M€)	1,2

Tab. 3.4: Composizione, risorse finanziarie e investimenti per la CSN4.

La CSN4 rappresenta un organismo strategico per lo sviluppo della fisica teorica in Italia, con uno spettro di settori di interesse più ampio di quello di stretta competenza INFN. Questo ruolo è stato possibile grazie a un'attitudine culturale saggia e aperta e con il mantenimento di una stretta collaborazione col mondo accademico. Molti dei risultati più significativi sono il frutto di una fertilizzazione incrociata dell'INFN con le Università e con altri enti di ricerca italiani e stranieri.

#### **HIGHLIGHT 2010**

- Intenso e importante lavoro teorico in preparazione ai dati di LHC, in particolare algoritmi generali per calcoli NLO di jets di QCD a LHC
- Studio teorico dei risultati di PAMELA e FERMI sui positroni sia dal punto di vista di eventuale rivelazione indiretta di materia oscura sia per quanto riguarda la caratterizzazione di incertezze astrofisiche
- Studio di diversi scenari di inflazione cosmologica e dei loro possibili test dall'osservazione della radiazione di



### fondo cosmica del satellite Planck.

- Interpretazione di segnali di violazione di CP nei decadimenti del mesone B in termini di nuova fisica alla scala elettrodebole.

### COMPOSIZIONE

Alle attività di ricerca della CSN4 contribuiscono circa 1000 scienziati provenienti da tutte le sezioni dell'INFN e dai quattro laboratori nazionali.

La tabella 3.4 riassume la composizione del personale e le risorse finanziarie.

### Iniziative specifiche

La CSN4 si articola in 52 progetti di ricerca denominati "Iniziative Specifiche", che aggregano ricercatori di diverse sezioni per conseguire comuni finalità scientifiche. Le iniziative scientifiche, ripartite nei sei settori di ricerca, sono valutate ogni tre anni da *referee* esterni (nella quasi totalità stranieri, appartenenti a prestigiosi enti di ricerca) e le assegnazione dei fondi di ricerca dipendono dalla valutazione conseguita dalle iniziative. I campi di ricerca di maggior investimento riguardano i settori di Stringhe e Teoria dei Campi, Fenomenologia delle Particelle e Fisica Astroparticellare e Cosmologia.

### GALILEO GALILEI INSTITUTE (GGI)

Una delle iniziative di maggior successo della CSN4 è costituita dall'Istituto Galileo Galilei (GGI) di Arcetri. Il GGI si è conquistato una fama internazionale, e rappresenta già una solida tradizione, nell'organizzazione di workshop internazionali a cui hanno partecipato scienziati provenienti da tutto il mondo. I fondi necessari al funzionamento del centro, forniti a questo scopo dall'INFN, permettono di organizzare circa tre workshop l'anno, di durata variabile tra 8 e 12 settimane, oltre ad alcune scuole post-dottorali, miniworkshop e meeting di varia natura. Qualche esempio preso dal recente passato/prossimo futuro:

Fig. 3.16: L'Istituto Galileo Galilei (GGI) per la fisica teorica ad Arcetri (FI).



2010

- > *Indirect Searches for New Physics at the time of LHC, (Febr 15 - March 26)*
- > *Dark Matter: Its Origin, Nature and Prospects for Detection, (April 26 - June 19)*
- > *AdS4/CFT3 and the Holographic States of Matter, (Aug 30-Nov 5)*

2011

- > *Large-N Gauge Theories, (April 4 - June 24),*
- > *High-energy QCD after the start of the LHC, (Sept 5 - Oct 21), 7 weeks*
- > *Interpreting LHC Discoveries, (31 Oct - 25 Nov), 4 weeks*

### TRAINING E ALTRE ATTIVITÀ EDUCATIVE

In ambito CSN4 vengono date circa 390 tesi universitarie per anno (circa 150 triennali, 140 specialistiche o magistrali, e 70 tesi di dottorato). Con propri fondi, la CSN4 finanzia alcune scuole nazionali e internazionali per studenti di dottorato e borsisti post-dottorali (Scuola di Parma, Scuola B. Touschek a Frascati, Scuola di Otranto, ICTP, Laces al GGI, Scuola congiunta CSN1-CSN4 su LHC), e visite scientifiche per 150 giornate-uomo al GGI e per 400 giornate-uomo all'ICTP. La CSN4 promuove attivamente lo scambio di ricercatori tramite una serie di convenzioni tra l'INFN e ITEP, JINR e IGEP (Russia), MEC (Spagna), MIT (USA).

### MILESTONE DEL PERIODO 2011-2013

- Sviluppo di un approccio di ricerca sinergico nei riguardi delle tre maggiori problematiche teoriche connesse con la ricerca sperimentale particellare di questo decennio: meccanismo sottostante la rottura spontanea della simmetria che descrive le interazioni elettrodeboli (fisica all'LHC), spiegazione dei rapporti di massa e dei mescolamenti con violazione di CP tra i costituenti fondamentali della materia (quarks e leptoni) (in particolare fisica dei mesoni B da studiare alla macchina acceleratrice SuperB e nell'esperimento LHCb), nuove particelle elementari costituenti la materia oscura, ovvero più dell'80% della materia dell'Universo che non è fatta di protoni e neutroni (ricerca di materia oscura al laboratorio sotterraneo del Gran Sasso e negli esperimenti spaziali quali PAMELA, FERMI e AMS/02).
- La ricerca teorica sopraddetta sarà condotta in stretta collaborazione con le componenti sperimentali dell'Ente operanti nell'ambito delle CSN1, CSN2 e CSN3. Al fine di favorire ancor più tale proficuo connubio teorico-sperimentale, verrà maggiormente enfatizzato il ruolo giocato dal Galileo Galilei Institute (GGI), dove nell'ottobre 2011 si terrà un workshop di

fisica astroparticellare congiuntamente organizzato dalle CSN2 e CSN4.

- Si proseguirà (con il completamento di alcuni specifici progetti di ricerca teorica) il lavoro teorico necessario per sfruttare al meglio i risultati che arriveranno dalla macchina SuperB, tenendo in considerazione i complementari dati che nel frattempo giungeranno da LHC e Tevatron.
- Realizzazione e accesso a un'infrastruttura di Supercomputer, con una potenza di almeno un Petaflop, per calcoli al reticolo necessari nella fisica del sapore (*flavor physics*) ed essenziali per discriminare segnali di nuova fisica nelle misure a SuperB e LHC (in particolare nell'esperimento Alice).
- Rafforzamento dell'internazionalizzazione delle attività della CSN4 con un aumento di periodi di collaborazione passati dai nostri ricercatori in istituzioni straniere nel quadro di accordi o programmi internazionali e, parallelamente, notevole enfasi ad inviti di maggiore durata rivolti a studiosi stranieri di alto livello.

### 3.6 LE RICERCHE TECNOLOGICHE E INTERDISCIPLINARI

L'attività descritta in questo paragrafo è coordinata dalla **Commissione Scientifica Nazionale V (CSN5)**. La descrizione dettagliata delle attività della CSN5 è disponibile al sito **web: <http://www.infn.it/csn5/>**

L'INFN, attraverso la Commissione Scientifica Nazionale 5 (CSN5), promuove e sviluppa la ricerca nel campo della fisica degli acceleratori, dei rivelatori di radiazione, dell'elettronica, dell'informatica e della fisica interdisciplinare. In quest'ambito il ruolo svolto dall'Istituto è praticamente unico a livello nazionale realizzando anche una funzione di guida e coordinamento fra ricercatori di differenti discipline (Nucleare, Particellare, Astroparticellare, Struttura della Materia, Ingegneria Elettronica e Informatica, Biologia, Medicina, Chimica), e rafforzando tra l'altro il raccordo dell'INFN con l'Università e gli altri enti nazionali di ricerca: CNR, INAF, IIT (Istituto Italiano di Tecnologia), ASI, INAF.

Le nuove frontiere della ricerca sui rivelatori e l'elettronica associata seguono i grandi progetti sperimentali che impegnano l'INFN. Grande attenzione è rivolta ad esempio alla progettazione VLSI (*Very Large Scale Integration*) analogica e digitale, allo studio di nuovi processi costruttivi, all'analisi e sintesi di architetture digitali ad alte prestazioni per applicazioni di trigger, acquisizione dati e computing on-line. Tali attività, svolte nell'ambito delle

grandi collaborazioni internazionali, già guardano alle richieste del dopo LHC (SLHC) e agli esperimenti della "fisica del sapore" di alta precisione da realizzarsi in Italia con il progetto SuperB. Inoltre si porrà grande attenzione allo sviluppo di nuovi e più avanzati sistemi di rivelazione di raggi X o gamma per radioastronomia su satellite e per esperimenti di fisica interdisciplinare basati sull'uso della radiazione elettromagnetica dal lontano infrarosso ai raggi X, e si sviluppano nuove tecniche dosimetriche basate su tecnologie nucleari.

Sul fronte delle ricerche interdisciplinari, molte delle applicazioni delle tecniche sviluppate dall'INFN sono di grande impatto socio-economico in vari settori. Si pensi ad esempio alle attività nel campo della biomedicina: l'imaging medico, la terapia del tumore (sviluppo di piani di trattamento in radioterapia con fasci di protoni e ioni), la dosimetria e lo studio dell'evoluzione cellulare, la modellistica neurologica. Inoltre saranno spinte le attività legate allo sviluppo ed applicazione interdisciplinare della luce di sincrotrone, realizzate nell'ambito di SuperB. Tali attività vedono l'INFN interagire attraverso gli esperimenti finanziati dalla CSN5 con le principali istituzioni di ricerca e di controllo nazionali e regionali operanti nel settore sanitario quali l'Istituto Superiore di Sanità, Ministero della Salute, Enti (ITT, CNR, INGV), Fondazioni ed Aziende Sanitarie nazionali e regionali. Sarà incoraggiato l'attività di trasferimento tecnologico anche attraverso lo sviluppo di appositi accordi di collaborazione con le associazioni industriali di categoria (CONFINDUSTRIA e CONFAPI)

Ma l'INFN, attraverso le attività promosse dalla CSN5, ha assunto una posizione di guida a livello nazionale anche nel campo delle indagini ambientali (in particolare per il controllo della qualità dell'aria), e in quello dell'analisi di reperti di interesse artistico, archeologico e storico, attraverso lo sviluppo e l'impiego di tecniche originali di misura nucleare. Anche in questi settori è molto intensa l'interazione con altre istituzioni di ricerca e con i principali enti preposti alla tutela dell'ambiente e del patrimonio.

#### HIGHLIGHT 2010

- **XD<sub>XL</sub>, un esperimento per lo sviluppo di rivelatori al silicio di grande superficie (7x7 cm), ha ottenuto una risoluzione in energia che oggi rappresenta il migliore risultato a livello internazionale per rivelatori di queste dimensioni. Tali rivelatori presentano grande interesse anche nell'ambito delle attività legate ai futuri reattori per la produzione di energia nucleare.**
- **SOIPD ha realizzato un primo prototipo di rivelatore a pixel di silicio su substrato isolante in tecnologia**

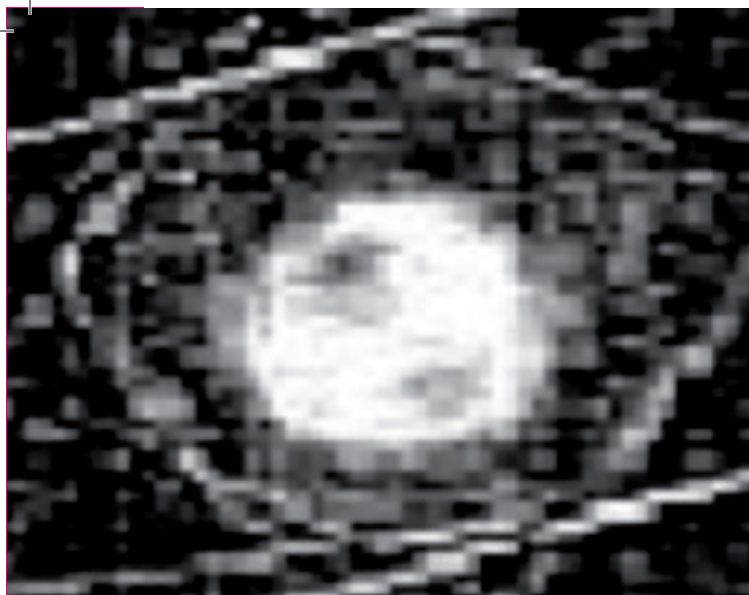


Fig. 3.17: Immagine tomografica di un fantoccio ottenuta da PRIMA+.

CMOS. Tale rivelatore con pixel analogici e digitali è stato completamente caratterizzato. È stato così possibile per la prima volta studiare l'effetto di "back gating" che ha finora rappresentato la principale limitazione nell'utilizzo di questi materiali come rivelatori di particelle.

- SALAF ha sviluppato un prototipo di nuove cavità RF acceleranti in banda X ad onda stazionaria a 11.424 GHz in rame e molibdeno (figura 3.18). È stato messo in evidenza un comportamento peggiore dal punto di vista della tensione di scarica per il molibdeno rispetto al rame, aprendo così una nuova strada per questo tipo di cavità verso la frontiera dei 100 MV/m. Alla luce di questi innovativi risultati anche il CERN ha deciso di seguire questa soluzione per le cavità di CLIC.
- L'esperimento PRIMA+ ha ottenuto prima immagine tomografica (figura 3.17) di un fantoccio, utilizzando il dispositivo di pCT
- L'acquisizione è stata fatta con il fascio di protoni da 62 MeV utilizzato
- clinicamente presso i laboratori Nazionali del SUD dell'INFN. L'immagine è stata ricostruita con algoritmo FBP corretto all'interno della nostra collaborazione per tener conto del MCS. Trattandosi di un test preliminare la statistica di conteggio è stata bassa ma incoraggiante per le prese dati previste nel 2011.
- Questa è la prima tomografia sperimentale ottenuta con protoni in Europa e che anche negli Stati Uniti, a nostra conoscenza, era stata ottenuta un'unica immagine test nel 2007 (a cui per ora non è seguita nessuna altra pubblicazione), utilizzando però un apparato incompleto e non assolutamente ottimizzato. Alla luce della rilevanza del risultato ottenuto, siamo ora concentrati verso l'ulteriore sviluppo del sistema al fine di ottenere un apparato di tomografia per protoni realmente innovativo, di grande funzionalità e tecnologicamente al meglio dello stato dell'arte, in grado di aumentare significativamente l'accuratezza nel trattamento adroterapico.

## PROSPETTIVE

Nei prossimi tre anni in particolare, in una prospettiva temporale comunque proiettata anche oltre il triennio, verrà posta particolare attenzione allo studio e allo sviluppo di sistemi di rivelazione per i futuri esperimenti e dell'elettronica associata. Una linea di ricerca privilegiata sarà quella dei circuiti integrati tridimensionali. Lo sviluppo della tecnologia di integrazione verticale, sfruttando le potenzialità offerte dall'evoluzione delle tecnologie microelettroniche ad alta densità, potrà aprire la strada per la realizzazione di sistemi di tracciatura che superino le attuali limitazioni intrinseche dei sensori a pixel ibridi e dei MAPS (*Monolithic Active Pixel Sensors*) CMOS, e per sviluppare dimostratori di tracciatori sottili a pixel. Infatti i futuri esperimenti di fisica delle alte energie alla SuperB, a SLHC e ad ILC saranno caratterizzati da stringenti richieste per i sistemi di tracciatura che dovranno operare ad alto ritmo di conteggio con una minima quantità di materiale. In questo ambito saranno studiate anche altre soluzioni basate sull'impiego di silicio su substrato isolante e su diamanti sintetici policristallini. Grande rilievo nella prossima decade si darà anche allo sviluppo di tecniche di trasmissione dati digitale ad alta velocità, di sensori, convertitori e strumentazione metrologica di interesse per la fisica fondamentale, applicata e interdisciplinare, e alla moderazione del danno da radiazione attraverso lo studio di nuovi processi e di appropriate tecniche di progetto.

Nel campo della fisica degli acceleratori si svilupperanno, nel medio termine, le linee di ricerca relative all'incremento della luminosità, alle tecniche innovative per massimizzare l'emittanza dei fasci, al miglioramento dell'accettanza delle strutture acceleranti e alla realizzazione di tecniche di accelerazione a plasm. Grande attenzione sarà rivolta allo studio ed alla ricerca necessari per gli sviluppi di macchina collegati alla realizzazione di SuperB, con particolare riguardo ai sistemi di diagnostica di fascio, alle sorgenti ad alta brillantezza di elettroni e alla generazione di luce di sincrotrone. Gli studi sulla produzione di fasci di raggi X monocromatici (ottenibili per *scattering* da pacchetti di elettroni e luce laser), da una parte promettono un innovativo imaging biomedico in vivo, dall'altra fanno nascere studi teorici sulla possibilità di emissione di raggi X coerenti, mediante processo FEL (*Free Electron Laser*), sia in regime quantistico che classico. Grazie alla tecnica dell'*Inverse Compton Scattering* (ICS) nella prossima decade sarà possibile realizzare sorgenti di raggi X quasi monocromatiche realizzate facendo collidere un fascio di elettroni ultraveloce – con impulsi dell'ordine dei picosecondi e di alta brillantezza – con impulsi laser di alta energia, con la possibilità di selezionare le energie dei raggi X e la risoluzione temporale in maniera estremamente

accurata. Nella diagnostica medica questa disponibilità di sorgenti (quasi) monocromatiche, (parzialmente) coerenti, e di piccole dimensioni spaziali (decine di micrometri) permetterà l'utilizzo di tecniche innovative non possibili con le sorgenti convenzionali. A energie molto più elevate, sorgenti ICS saranno usate come primo stadio per la produzione di positroni polarizzati per collider lineari. Sorgenti basate su ICS sono in costruzione o in fase di progetto in diversi laboratori. L'INFN, grazie al fascio di elettroni di SPARC e al laser del progetto PLASMONX, sta realizzando ai LNF una sorgente ICS di punta, con la quale saranno realizzati esperimenti di fisica interdisciplinare che la CSN5 intende sostenere nel prossimo triennio. Proseguirà nel medio termine l'attività di sviluppo di sistemi di accelerazione innovativi per applicazioni in campo medico anche in collaborazione con l'industria e/o con enti di ricerca di altri paesi europei.

L'applicazione della fisica fondamentale alla salute dell'uomo e all'ambiente sta diventando un'esigenza primaria e riconosciuta della ricerca moderna.

Nel campo dell'adroterapia, oltre alle già citate attività di fisica degli acceleratori, cresceranno gli studi di modellistica e radiobiologia, che hanno inoltre ricadute anche sull'attività umana nello spazio. Argomenti portanti saranno in questo campo gli studi di radiobiologia, le misure di sezioni d'urto di frammentazione nucleare e le simulazioni connesse che permetteranno, nel campo della radioterapia, la realizzazione di piani di trattamento più mirati. Saranno inoltre studiati sistemi innovativi di imaging del tipo *Proton Computed Tomography* e PET-Online. Queste attività saranno realizzate in sinergia con i progetti strategici INFN-MED e NTA.

Nel complesso, va sottolineato che la CSN5 possiede le conoscenze di base e le competenze specialistiche delle tecniche più avanzate per lo sviluppo di sensori e rivelatori di radiazione, nella costruzione di sofisticate macchine acceleratrici e nelle tecniche di simulazione e manipolazione di dati. È quindi in grado di operare in modo efficace il loro trasferimento al mondo della medicina, in particolare al campo dell'imaging medico e della Radioterapia. Tuttavia, affinché questo trasferimento abbia successo, sia da un punto di vista scientifico che sociale, è necessario che l'Istituto nella prossima decade operi in stretta cooperazione e sinergia con la fisica medica operativa e con il mondo medico. Nel tracciare la prospettiva futura bisognerà programmare investimenti su tecniche e tecnologie consolidate da trasferire al mondo industriale, che a sua volta le sviluppi nei suoi aspetti di affidabilità e riproducibilità per l'utilizzo operativo in campo medico. In una prospettiva di più lungo termine, sarà altresì necessario investire su nuove idee che seppure ora

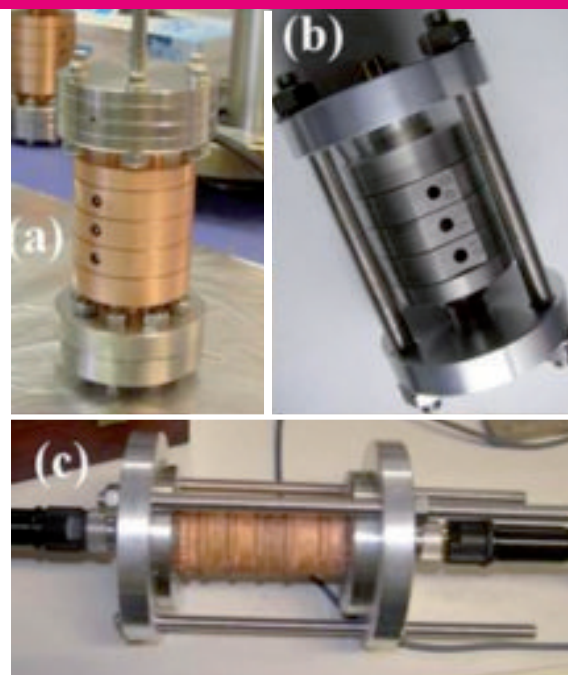


Fig. 3.18: Tre cavità acceleranti in banda X prodotte dall'esperimento SALAF prodotte ai LNF: a) rame brasato; b) molibdeno brasato; c) rame elettroformato

alla frontiera della conoscenza potranno, se ben indirizzate e coordinate, portare nel futuro a sviluppi strategici nella prevenzione, diagnosi e terapia. In particolare, i campi di ricerca biomedica nei quali l'INFN si impegnerà, attraverso la CSN5 e i progetti speciali e strategici ad essa connessi, saranno la lotta contro il cancro ed il trattamento delle malattie degenerative del sistema nervoso.

Nel campo della fisica ambientale è prevedibile un incremento di specifiche iniziative di ricerca attraverso la realizzazione nel prossimo triennio di un Laboratorio di Radioattività Ambientale ai LNGS per le analisi di radionuclidi cosmogenici, primordiali e antropici e le loro applicazioni nel campo della Fisica Terrestre e dell'Ambiente, e della non proliferazione nucleare. In particolare, saranno oggetto di studio la fluidodinamica terrestre (atmosfera e oceanica) mediante modelli di trasporto di radionuclidi, e la caratterizzazione di xenon e krypton come rilasci da fall-out radioattivi delle centrali nucleari e dei test nucleari sotterranei. Le attività saranno svolte in collaborazione con Istituti di Ricerca e Organizzazioni Internazionali quali l'IAEA (*International Atomic Energy Agency*) e l'ICTP (*International Centre for Theoretical Physics*). Sempre in tema di controlli ambientali, continuerà lo sviluppo delle metodologie di analisi con fasci ionici delle polveri fini in atmosfera, e saranno messe a punto le analisi con spettroscopia di massa con acceleratore per la determinazione dello  $^{129}\text{I}$ , tracciante di eventuali perdite di impianti nucleari. Continuerà infine l'attività interdisciplinare rivolta al mondo della conservazione dei beni culturali anche attraverso la ricerca e sviluppo di strumentazione portatile per analisi non distruttive.



**LINEA SCIENTIFICA: CSN5**

FTE INFN staff + art.23,15 (anno 2010)	87
FTE Associati staff (anno 2010)	321
Assegnisti, borsisti, dottorandi (anno 2010)	194
Totale risorse finanziarie spese 2008-2010 (M€)	14,8
di cui spese per investimenti (inv., c.a.) 2008-2010 (M€)	4,3

Tab. 3.5: Composizione, risorse finanziarie e investimenti per la CSN5.

Il panorama di sviluppo mostrato ben evidenzia la vitalità della comunità dei ricercatori INFN nel campo delle ricerche tecnologiche e interdisciplinari, l'elevato impatto di questa ricerca sulla fisica particellare, astroparticellare e nucleare e le ricadute in altri settori scientifici e della società. Tale attività richiede sicuramente nei prossimi anni un incremento della quota di finanziamento destinata alla CSN5 di almeno il 20% rispetto a quella attuale, e la crescita del numero di ricercatori dedicati a questi esperimenti seppure a tempo parziale. Inoltre la CSN5 si propone come incubatore privilegiato per lo sviluppo di programmi di ricerca da svolgere in collaborazione sia con l'industria italiana ed europea sia con l'Università e con altri Enti di ricerca, con strutture sanitarie di respiro nazionale e regionale, con i Ministeri della Salute e dell'Ambiente e dei Beni Culturali e più in generale con tutte le istituzioni che possono trarre giovamento dall'applicazione delle tecnologie proprie del nostro ente. La CSN5 darà il suo supporto allo sviluppo dei progetti speciali e strategici dell'INFN. In particolare si porrà grande attenzione ai programmi di ricerca collegati ai progetti speciali Super-B, SPARC e SPES ed alle sinergie con INFN-MED ed NTA.

La tabella 3.5 riassume la composizione del personale e le risorse finanziarie.

**MILESTONE DEL PERIODO 2011-2013**

- **Misure di frammentazione nucleare per adroterapia al GSI (dic 2011)**
- **Realizzazione Sorgente Thomson ai LNF (dic 2011)**
- **Prime immagini tomografiche con fasci di protoni ai LNS e a LLMUC (giugno e dicembre 2011)**
- **Rivelatori a Silicio ad integrazione verticale (dicembre 2011)**
- **Prime immagini con sorgente Thomson (giugno 2012)**
- **Prototipo di rivelatore a diamante sintetico a pixel (dicembre 2012)**
- **Primo prototipo di sistema di piani di trattamento con fasci di ioni carbonio (dicembre 2012)**

- **Convettore per la produzione di fasci di neutroni ai LNL (dicembre 2012)**
- **Accelerazione di fasci di protoni in plasmi generati da impulsi laser ad alta potenza (dicembre 2012)**
- **Misure e modelli radiobiologici per l'interpretazione degli effetti di fasci di ioni con la materia vivente per applicazioni in adroterapia e per la radioprotezione nei viaggi umani spaziali (dicembre 2012)**
- **Sistemi di diagnostica per radiazione XFEL (giugno 2012)**
- **Rivelatori a pixel in silicio e diamante sintetico per esperimenti a SuperB (giugno 2013)**
- **Sorgente ECR per adroterapia e per acceleratori alta intensità (dicembre 2013)**

**3.7 IL CALCOLO E LE RETI**

L'attività descritta in questo paragrafo è coordinata dalla **Commissione Nazionale Calcolo e Reti (CCR)**. La descrizione dettagliata delle attività della CCR è disponibile al sito web: <http://www.infn.it/CCR/>

**ATTIVITÀ 2010**

L'INFN ha potenziato notevolmente negli ultimi anni i centri di calcolo presenti presso le sue sedi, in risposta alle sempre crescenti esigenze di risorse di calcolo necessarie per le proprie attività scientifiche, in particolare quelle derivanti dalla sperimentazione a LHC. L'incremento delle risorse riguarda in particolare sia il CNAF, che svolge il ruolo centrale di sede per le elaborazioni primarie di dati scientifici e di archivio permanente dei dati a servizio di tutto l'INFN, sia tutte le sedi dei Tier-2 della federazione WLCG.

Per sopperire alle necessità di calcolo della fisica teorica in varie linee di ricerca, che riguardano interazioni fondamentali, astrofisica teorica, meccanica statistica, fluidodinamica turbolenta, sorgenti di onde gravitazionali, ecc., e che richiedono oggi la disponibilità di risorse di calcolo dell'ordine di alcuni Teraflops, è stato realizzato nel 2010 un nuovo cluster per il calcolo parallelo, basato sull'impiego di processori commodity interconnessi attraverso una rete di comunicazione a bassa latenza (*Infiniband*). La collocazione del cluster in uno dei centri INFN recentemente realizzati per LHC presso la sezione di Pisa ha permesso di sfruttare in modo sinergico le esperienze già acquisite in tali sedi nella gestione di grandi sistemi di calcolo e nell'utilizzo dei servizi forniti dall'infrastruttura Grid INFN.

Il consolidamento operato a livello di hardware, software e definizione di servizi prosegue anche in altre sedi in linea con la strategia generale dell'INFN tesa ad ottenere:



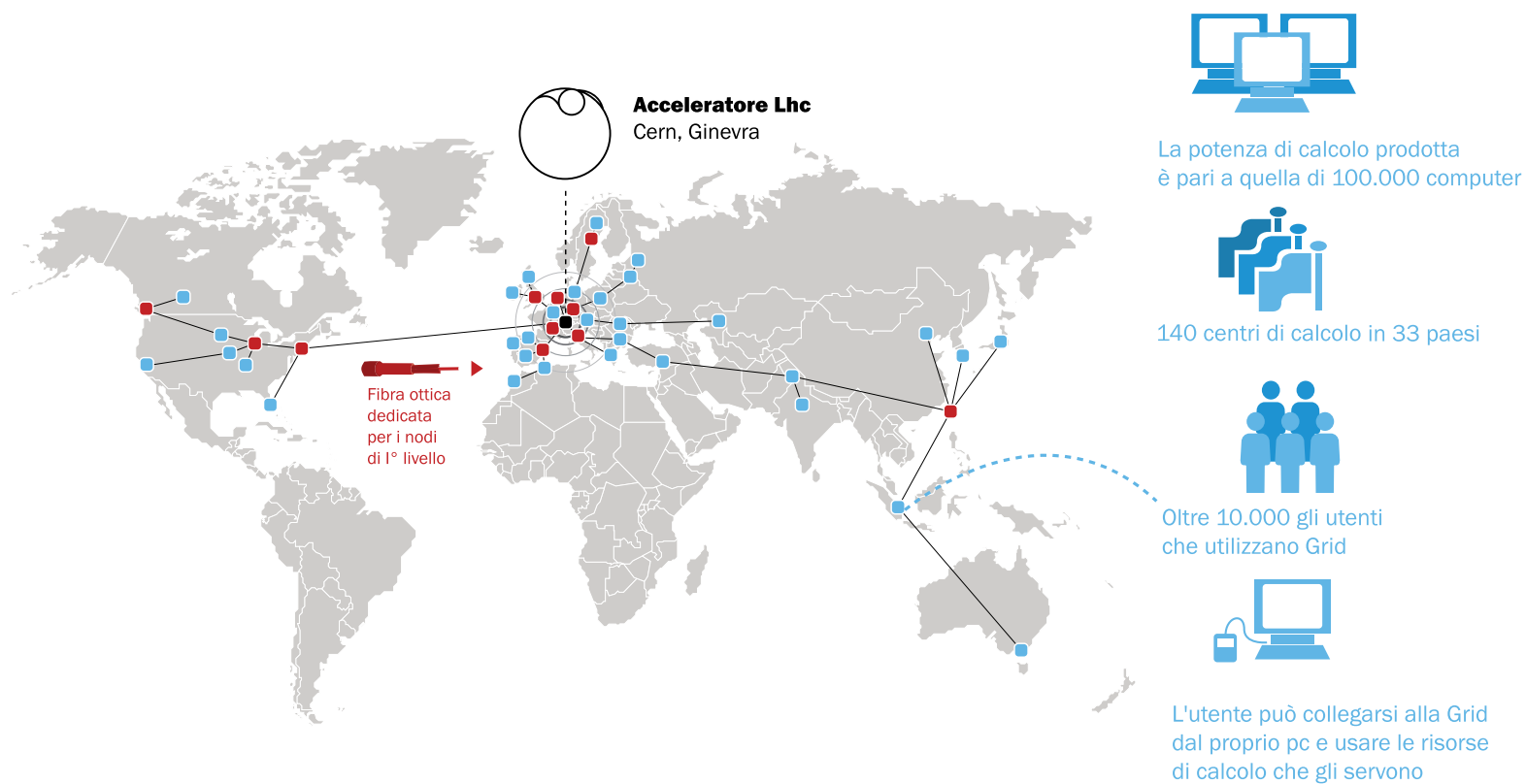


Fig. 3.19: La rete planetaria GRID unisce e utilizza contemporaneamente la potenza di calcolo e la memoria di decine di migliaia di computer.

- un incremento sostanziale dell'affidabilità e una riduzione dei consumi elettrici realizzata attraverso l'impiego di impianti specificatamente progettati per utenze informatiche ad alta densità di potenza dissipata e dotati di adeguati livelli di ridondanza;
- lo sfruttamento ottimale delle risorse di calcolo tramite l'efficace condivisione in un ambiente applicativo eterogeneo in grado di gestire applicazioni scientifiche multi-disciplinari, in qualche caso originate anche in ambienti di ricerca industriale;
- l'ottimizzazione dell'impiego del personale.

Con gli ultimi interventi effettuati nel 2010, l'INFN dispone oggi di un insieme unico in Italia di centri dedicati al calcolo scientifico. Esso è costituito, oltre che dal CNAF, da una dozzina di installazioni particolarmente rilevanti, collocate presso i Laboratori Nazionali e le Sezioni.

È importante sottolineare come, in riferimento a tutto il ciclo di vita delle infrastrutture di calcolo, l'INFN abbia cercato negli ultimi anni di creare uno stretto livello di coordinamento nazionale delle attività legate al calcolo. Ciò pur garantendo l'autonoma azione delle sedi che, giovandosi dell'iniziativa del proprio personale, possono riuscire a cogliere le opportunità di sinergie con altre istituzioni e finanziatori locali come, ad esempio, le Università, i centri di ricerca e gli enti locali. Un caso esemplare di sinergia è costituito dai centri di supercalcolo realizzati al Sud presso Università e Consorzi regionali (Napoli, Catania e Cagliari) nell'ambito

del PON Ricerca 2000-2006.

La Commissione Calcolo e Reti dell'INFN è il principale strumento di cui si serve l'INFN per realizzare tale coordinamento che si realizza sia attraverso il vaglio delle richieste di finanziamento per gli apparati destinati ai servizi centrali di ciascuna sede, sia attraverso promozione di attività e progetti specifici.

Nel 2010 la Commissione ha proposto finanziamenti per il potenziamento delle infrastrutture dei siti INFN sulla base delle seguenti priorità:

- favorire la costituzione di infrastrutture nazionali e di soluzioni esportabili;
- implementare soluzioni che portino ad un migliore impiego del personale dei servizi;
- perseguire una razionalizzazione dell'utilizzo delle macchine utilizzate per i servizi centrali;
- consolidare le risorse di calcolo delle unità operative in un'ottica di infrastruttura condivisa.

Nel corso del 2010 ha avuto inizio il dispiegamento del sistema di autenticazione e autorizzazione nazionale (progetto AAI) che permette non solo di accedere ai servizi e alle risorse di calcolo dell'INFN con un'unica credenziale, ma anche di integrarsi con analoghi sistemi di altre istituzioni nazionali e internazionali. L'adozione graduale di tale infrastruttura consentirà un'interazione più efficiente degli utenti con i servizi, una semplificazione nella gestione degli stessi e benefici significativi sul fronte della sicurezza. Il primo nucleo del nuovo sistema di AAI è operativo dall'estate

e viene al momento utilizzato per l'autenticazione di accesso ai servizi centrali di dipendenti ed associati.

Da rilevare anche il consolidamento del sistema ridonato di server per la gestione di licenze *software* su base nazionale. Il servizio di *auditing* per la sicurezza, effettuato da un nucleo di esperti dell'Ente attraverso controlli sistematici e finalizzato a valutare il livello di vulnerabilità dei principali servizi informatici operanti nelle sedi INFN, ha prodotto il primo rapporto.

Infine, nel 2010 il piano per la formazione del personale in campo informatico, strumento recentemente introdotto dalla CCR per coordinare le iniziative promosse a livello nazionale, è stato in larga misura realizzato (14 corsi sui 18 previsti). Ha compreso attività formative rispondenti alle esigenze sia dei gruppi di ricerca, che del personale dei servizi e degli utenti dei servizi informatici, attraverso varie tipologie di corsi fra cui una nuova Scuola Internazionale dedicata allo sviluppo di applicazioni scientifiche su larga scala

## PROSPETTIVE

La sfida principale che il sistema di calcolo distribuito dell'INFN dovrà affrontare nei prossimi anni, sarà rappresentata dalla prevista rapida crescita delle attività di elaborazione ed analisi dei dati prodotti dai quattro esperimenti a LHC. Ormai terminata la fase di adeguamento degli impianti tecnologici, i centri INFN coinvolti dovranno aumentare considerevolmente le proprie capacità e fornire agli esperimenti servizi operanti in condizioni di funzionamento a regime. Ciò dovrà avvenire garantendo la piena disponibilità delle risorse anche per altre attività sperimentali e teoriche che, in alcuni casi, già ora dispongono di grandi moli di dati o li stanno velocemente accumulando.

### Adeguamento alla rete

Come evidenziato da studi e proiezioni messi a disposizione su iniziativa della CCR già da qualche anno, la crescita delle esigenze di calcolo scientifico dell'INFN richiede, in particolare per la sperimentazione al LHC, un rapido adeguamento della rete della ricerca italiana GARR ai moderni standard tecnologici già adottati da altre analoghe reti in Europa e negli Stati Uniti.

Il progetto di nuova rete GARR-X, basata sul noleggio di fibre spente e la gestione di apparati trasmissivi proprietari, risponde a tali esigenze e dovrebbe essere gradualmente realizzato a partire dall'inizio del 2011. Per l'INFN è prioritario poter trarne da subito il massimo vantaggio, per cui sono

già state individuate le risorse finanziarie necessarie per l'ammodernamento degli apparati di connessione alla rete geografica che interesserà nel 2011 i centri Tier2 per LHC e successivamente tutti i rimanenti siti in funzione delle relative necessità. Oltre a permettere i trasferimenti di dati a velocità dell'ordine di 10 Gbps, la rete GARR-X permetterà anche di sviluppare più elevati livelli di integrazione fra i siti INFN. Un esempio in questo senso di applicazione già da ora funzionante è il collegamento a 10 Gbps realizzato dall'INFN fra i nodi di calcolo residenti presso la Sezione di Padova e il sistema di storage ospitato presso i Laboratori Nazionali di Legnaro. Nell'attesa dell'avvento di GARR-X, i trasferimenti di dati di LHC hanno raggiunto i limiti di banda dei collegamenti attuali e si sta quindi procedendo al duplicamento delle capacità di banda dei siti Tier1 e Tier2 della federazione WLCG.

### Potenziamento dei servizi a livello nazionale

Proseguirà nei prossimi anni l'impegno della CCR per rafforzare gli strumenti e i servizi forniti a livello nazionale. In particolare si perseguiranno i seguenti obiettivi:

- estensione del sistema di autenticazione e autorizzazione nazionale (progetto AAI) a tutte le sedi dell'INFN.
- ulteriore diffusione nei centri INFN degli strumenti che facilitano la condivisione delle risorse, con particolare riferimento alle possibilità, offerte dalle tecnologie di virtualizzazione, di disaccoppiare le applicazioni dalle specifiche caratteristiche dell'ambiente di esecuzione;
- promozione di un piano per la l'accertamento continuo dell'efficienza energetica dei centri di calcolo INFN che fornisca la base per eventuali interventi migliorativi, verificandone poi l'efficacia di implementazione;
- ampliamento degli strumenti collaborativi messi recentemente a disposizione degli utenti su base nazionale e adozione di tecnologie VoIP (*Voice over IP*) per l'integrazione delle varie modalità di comunicazione utilizzate nell'Ente;
- estensione dei contratti nazionali e semplificazione della gestione attraverso l'implementazione nel nuovo sistema informativo dell'INFN di funzionalità ad hoc già inserite nel corrente piano di sviluppo del sistema stesso.
- consolidamento e supporto delle tecnologie wireless basate sullo standard IEEE 802.1x (progetto TRIP), integrazione con il Servizio EduROAM per la *Mobility*. Integrazione del sistema AAI INFN nell'ambito di federazioni a livello nazionale (ad es. GARR IDEM) ed internazionale.

## 3.8 I PROGETTI STRATEGICI E I PROGETTI SPECIALI

Attività di rilevanza determinante nella programmazione

scientifico dell'Istituto sono svolte come Progetti Strategici, seguiti da appositi comitati scientifici. Attività relative allo sviluppo e alla realizzazione di infrastrutture di ricerca di rilevanza nazionale o internazionale sono svolte come Progetti Speciali seguiti da appositi comitati tecnico-scientifici.

In questo paragrafo saranno descritti i progetti strategici:

- INFN-MED (Applicazioni alla Medicina)
- INFN-E (Applicazioni all'Energia)
- NTA (Nuove Tecniche di Accelerazione)

E i progetti speciali:

- APE
- SPARC
- SPES
- INFN-GRID
- SuperB-TDR
- ELN

## **PROGETTO STRATEGICO INFN-MED**

### **Descrizione generale del progetto e attività svolte nel 2010**

L'applicazione del patrimonio scientifico e tecnologico dell'INFN alla medicina è uno dei settori applicativi nel quale l'Ente è tradizionalmente impegnato. In questo campo l'INFN vanta ormai una notevole esperienza maturata da almeno un ventennio. Con questa premessa già dal 2009 è stato avviato il progetto strategico INFN-MED, che mira a coordinare e promuovere le attività di interesse medico che, giunte ad uno stadio maturo di R&S, possono puntare a realizzare, in cooperazione con soggetti esterni (le istituzioni cliniche e le industrie del settore), prodotti innovativi pienamente utilizzabili in ambito clinico.

Gli obiettivi del progetto sono:

a) valorizzare maggiormente in senso applicativo (mirando all'interazione diretta con l'utilizzatore o il produttore dell'applicazione finale) le attività tecnico-scientifiche di interesse medico condotte dall'Istituto nell'assolvimento dei propri compiti istituzionali;

b) mantenere e rafforzare la "leadership" dell'INFN a livello internazionale in attività di ricerca che necessitano di sviluppi tecnologici mirati e che, per dimensione e programmazione temporale, richiedono una concentrazione di sforzi organizzativi e finanziari. Si pensi ad esempio tutto il settore connesso all'adroterapia.

c) offrire, soprattutto nei confronti di privati, enti, utenti e collaboratori esterni, una struttura di riferimento unica

all'interno dell'INFN per il settore medico applicativo in grado di mettere a punto convenzioni ed accordi operativi.

INFN-MED prende in considerazione le attività che derivano dai programmi di ricerca e sviluppo, soprattutto di carattere interdisciplinare condotti nell'INFN. Sulla base dell'esperienza acquisita, la Giunta Esecutiva dell'INFN ha inizialmente identificato per INFN-MED le seguenti aree di interesse:

- 1. Trattamento di immagini.**
- 2. Software per adroterapia e dosimetria**
- 3. Macchine Acceleratrici per adroterapia.**
- 4. BNCT (*Boron Neutron Capture Therapy*).**
- 5. Rivelatori per la diagnostica medica e la dosimetria.**

Il referaggio scientifico delle attività affidate ad INFN-MED è prerogativa delle Commissioni Scientifiche Nazionali di riferimento, in particolare la 3a (fisica del nucleo) e la 5a (ricerca tecnologica ed interdisciplinare). Sarà compito di tali Commissioni indicare nel futuro quali attività, nate al loro interno, avranno raggiunto il grado di maturazione di R&S tale da chiedere a INFN-MED di proseguire sulla linea dell'applicazione.

INFN-MED ha a disposizione un budget annuale da utilizzare per fornire un supporto di avvio per i progetti considerati maturi, avviandoli, in genere, verso la definizione di un finanziamento esterno all'INFN tenendo conto di tutti i relativi accordi e convenzioni che possono rivelarsi necessari. A tale proposito si vuole evidenziare che affinché un progetto specifico ricada sotto il controllo di INFN-MED deve sussistere almeno una delle seguenti condizioni:

- Fase di R&D ormai assestata;
- La concreta prospettiva di una collaborazione industriale o l'avviamento di una procedura brevettuale;
- La possibilità di finanziamento esterno;
- La dichiarazione esplicita di interesse immediato di esponenti del settore medico disponibili a farsi carico della responsabilità di utilizzo del prodotto

La gestione del Progetto è affidata ad un Coordinatore Nazionale, che si avvale di un Comitato di Progetto costituito di norma dai Responsabili dei Sottoprogetti. Il monitoraggio del Progetto è affidato alla Giunta Esecutiva che si avvale di un Comitato di *Referees*, nominato dal Presidente, sentiti i Presidenti delle CSN di riferimento. Periodicamente la Giunta Esecutiva riferisce al Consiglio Direttivo sullo stato del Progetto. Periodicamente il Consiglio Direttivo aggiorna gli obiettivi del Progetto.

Per ogni sottoprogetto il Comitato di Progetto ha il compito di analizzare e monitorare:

**a. Gli obiettivi e i prodotti**

**b. Le risorse umane e finanziarie**

**c. Il piano temporale e le milestones**

**d. I finanziamenti esterni e/o la potenzialità di attrarre finanziamenti esterni.**

Per ognuno dei sottoprogetti di INFN-MED sono state avviate alcune linee operative che possono essere riassunte nel modo seguente:

1. *Imaging*: Si stanno avviando i contatti con partner industriali interessati al trasferimento di software di post-elaborazione immagini a scopo diagnostico, con particolare attenzione al settore dell'analisi delle tomografie polmonari per la ricerca automatica di noduli, sulla base di quanto sviluppato dalla collaborazione MAGIC-5 (software denominato M5L).

Inoltre, su proposta proveniente dal Ministero della Salute si vuole contribuire a creare una collaborazione ampia con altri enti di ricerca allo scopo di proporre database di interesse oncologico. A tale proposito si propongono progetti pilota nell'ambito del VII e VIII programma quadro Europeo. Dall'attività di imaging stanno anche emergendo delle proposte di strumenti di collaborazione fra medici basati su applicazioni web, destinati soprattutto a migliorare l'efficacia di diagnosi quando molti centri diversi sono coinvolti.

2. Prosegue lo sviluppo di piani di trattamento per adroterapia (TPS) in collaborazione con la IBA e sarà presto rilasciata la prima versione del prodotto. Si dovrà pensare all'eventuale prosecuzione di accordo industriale per ulteriori sviluppi e per il mantenimento. In particolare si sta programmando una versione futura basata su applicazione diretta di codici monte carlo. Ricordiamo che l'INFN ottiene da questo accordo finanziamento di personale e royalties sul prodotto. Oltre ai piani di trattamento, il progetto strategico si sta occupando

della valorizzazione di altri prodotti software da impiegare nella dosimetria, come ad esempio nel caso dell'esperimento DISO.

3. Macchine acceleratrici: INFN-MED dopo aver assicurato il completamento del progetto SCENT per la progettazione di un ciclotrone innovativo per adroterapia con ioni, ha portato a compimento anche il progetto denominato MISHA (figura 3.20), per la realizzazione di una nuova sorgente di ioni. Questa sorgente non solo servirebbe per il sincrotrone del CNAO (Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica) a Pavia, ma sarebbe interessante anche per la fisica nucleare in genere. La realizzazione effettiva di MISHA è legata al reperimento di un finanziamento esterno integrativo a quello ordinario.

4. BNCT: In attesa di capire se esistono le condizioni per realizzare una sorgente di neutroni ad alta intensità (per esempio nell'ambito del progetto SPES ai Laboratori di Legnaro), INFN-MED intende sostenere altre iniziative, quali l'esperimento PSIHO per la sperimentazione insieme alla ELEKTA, ditta che tratta linac per elettroni, di modifiche di acceleratori esistenti di elettroni in modo da introdurre in essi convertitori per l'elettroproduzione di neutroni.

5. Rivelatori per la diagnostica: il Progetto Strategico, dopo aver seguito fino a completamento l'attività volta alla certificazione del rivelatore magnetico MID per la misura non invasiva del sovraccarico di ferro nel corpo umano, in collaborazione con il Centro di Microcitemia dell'Ospedale Galliera di Genova, sta fornendo assistenza all'esperimento ECORAD (figura 3.20) per la brevettazione di un dispositivo innovativo che unisce insieme ecografia e scintigrafia, basato sull'uso di cristalli ad alta risoluzione. Inoltre INFN-MED sta cercando di valorizzare altri prodotti nati nella Commissione V, soprattutto nel settore dello sviluppo di elettronica (per. es. l'attività MicroSi) verso possibile industrializzazione.

**Strutture INFN e altre istituzioni partecipanti**

Fig. 3.20: Disegno della sorgente MISHA

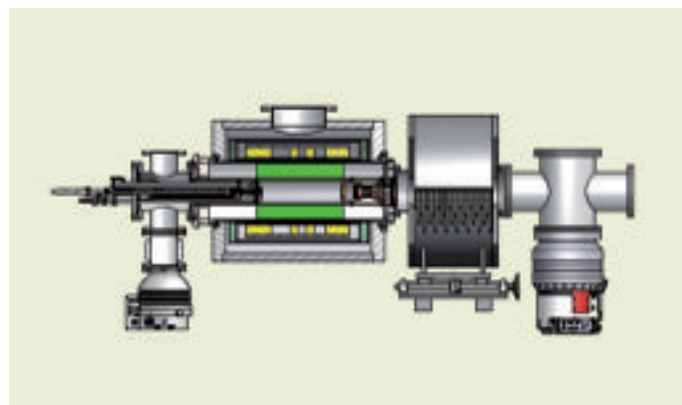
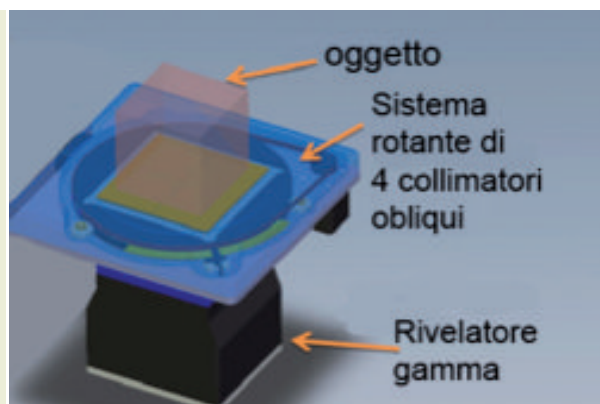


Fig. 3.21: Gamma-camera di ECORAD realizzata con cristallo di scintillatore  $\text{LaBr}_3:\text{Ce}$  integrata con sonda ecografica



Le strutture inizialmente coinvolte in modo diretto su progetti di interesse INFN-MED sono le seguenti sezioni e laboratori INFN: Catania, Genova, Milano, Napoli, Pavia, Roma Tor Vergata, Roma Tre, Pisa, Torino, LNF, LNL, LNS. Abbiamo la collaborazione dell'Istituto Superiore di Sanità, tramite il gruppo collegato di Roma. Esternamente all'INFN concorrono l'Ospedale Galliera di Genova, il CNAO, l'Università di Torino (spin-off per monitor di fasci in adroterapia) e la IBA. Nel 2010 sono stati coinvolti circa 45 ricercatori Full Time Equivalent, ma già nel 2011 saliamo a 58 e si stima un ulteriore aumento negli anni successivi.

INFN-MED ha partecipato alla stesura di un accordo quadro fra INFN e Ministero della Salute, in via di perfezionamento. Questo accordo permetterà di estendere in maniera organica e con maggiore efficienza il riconoscimento del ruolo e delle possibilità dell'INFN nel campo della medicina.

Una delle prime possibilità che emerge dal confronto con le esigenze espresse dal Ministero della Salute, è la creazione di una collaborazione ampia con altri enti di ricerca allo scopo di proporre database di interesse oncologico. A tale proposito si propongono progetti pilota nell'ambito del VII e VIII programma quadro Europeo.

#### **Sorgenti di finanziamento e ammontare**

INFN-MED gode di un finanziamento INFN da destinare all'avvio dei progetti sotto il suo controllo che si attesta fino adesso su 200 kEuro/anno, tuttavia sta aumentando il numero di proposte che arrivano all'attenzione di INFN-MED e sarebbe auspicabile aumentare la disponibilità finanziaria.

#### **HIGHLIGHTS 2010**

- **Nel 2010 le realizzazioni di maggiore importanza sono state il *Technical Design Report* della sorgente di ioni MISHA e l'avvio della procedura di trasferimento tecnologico dello strumento eco-scintigrafico ECORAD.**

#### **Prospettive a medio termine**

Per tutti i sottoprogetti di INFN-MED sono previste evoluzioni pluriennali delle attività già avviate, ma sono sicuramente possibili anche nuovi sviluppi. Per esempio: nell'ambito dell'imaging medicale stanno emergendo sviluppi interessanti per analisi di risonanze magnetiche della testa, allo scopo di ottenere una diagnosi precoce della malattia di Alzheimer. Gli stessi gruppi di ricerca hanno implementato le già citate applicazioni basate su *Web Services* che riscuotono grande interesse nel mondo clinico.

Inoltre sta emergendo a livello nazionale la possibilità di iniziare uno screening polmonare su grande scala, poichè i primi studi mostrano che un tale approccio contribuisce ad una sensibile

riduzione della mortalità. In questo caso, il già citato software sviluppato nell'INFN per la "*Computer Assisted Diagnostics*" (M5L) può diventare uno strumento indispensabile, perchè permettere di ridurre in modo significativo i tempi di refertazione di una TAC ad alta risoluzione. In questo caso è possibile pensare di nuovo a soluzioni tipo *Web Services*, possibilmente realizzati nel contesto di un accordo fra INFN ed un suo spin-off.

Dal punto di vista delle macchine acceleratrici molto dipende dall'evoluzione delle scelte che saranno effettuate per i nuovi possibili centri di adroterapia. Sarà comunque importante assicurare l'impegno per la realizzazione del progetto MISHA. Inoltre sarà di cruciale importanza per l'INFN coordinare, con l'aiuto del CNAO nuove proposte per adroterapia. In questo senso sono di particolare interesse i progetti della Regione Sicilia e la corrispondente possibilità di accesso ai fondi PON.

#### **Prospettive a lungo termine**

Più in generale, INFN-MED si trova di fronte a sfide di ampia portata che vanno oltre la delimitazione semplificativa degli attuali sottoprogetti. Per esempio è compito di INFN-MED anche quello di stabilire una rete di rapporti con diversi enti e istituzioni che operano nel settore dello sviluppo tecnologico-scientifico per la medicina allo scopo di estendere maggiormente la portata dei progetti INFN.

Sicuramente il settore dell'adroterapia in generale rappresenta uno dei principali interessi strategici per l'ente. In questo quadro INFN-MED può essere il canale privilegiato attraverso il quale passano i rapporti fra l'INFN e il CNAO. Dopo il completamento del commissioning del sincrotrone, l'INFN ha interesse a partecipare alle attività di sperimentazione al CNAO. In queste l'INFN ha lo spazio per contribuire in modo da valorizzare ulteriormente lo sviluppo di prodotti che nascono dal suo patrimonio tecnico-scientifico

Altre opportunità suscettibili di trasferimento tecnologico verso l'esterno nella sfera d'interesse di INFN-MED potrebbero arrivare dai risultati ottenuti nell'ambito della ricerca su nuove tecniche di accelerazione, quali le nuove sorgenti modulabili di raggi X connesse ai progetti SPARC e SPARX. È infine da avviare un progetto denominato LARAMED per la produzione di radionuclidi innovativi, sfruttando il nuovo ciclotrone da 70 MeV che sarà acquisito per il progetto SPES ai Laboratori Nazionali di Legnaro. Questo progetto si inquadra nei temi del già citato accordo fra INFN e Ministero della Salute ed è stato presentato pubblicamente anche alla Regione Veneto. C'è l'interesse esplicito degli ambienti regionali e nazionali della medicina nucleare. Inoltre sono già avviati contatti per collaborazioni a livello internazionale con il centro francese di Arronax, mentre sono in preparazione contatti con l'Istituto



Demokritos di Atene e con IAEA di Vienna.

Dal punto di vista del personale, INFN-MED non intende promuovere attività che richiedano nuove risorse da parte dell'Ente. Al contrario è interesse di INFN-MED stimolare la creazione di nuove opportunità d'impiego presso soggetti esterni per i giovani ricercatori che si formano attraverso le attività applicative di interesse medico promosse dall'ente.

In questo senso si può citare ad esempio il finanziamento di assegni di ricerca da parte della IBA nell'ambito dell'accordo per lo sviluppo di nuovi piani di trattamento.

### TRASFERIMENTO TECNOLOGICO

A tutte le attività per cui viene proposto il controllo di INFN-MED è richiesta la definizione della situazione della proprietà intellettuale e dei piani per il trasferimento tecnologico. In alcuni casi, come citato precedentemente per ECORAD; è possibile pensare a brevetti. In altri casi sono contemplati accordi di collaborazione industriale e anche la possibilità della creazione di spin-off

### PROGETTO STRATEGICO INFN-ENERGIA

L'INFN ha attivato fin dal 2006 una serie di iniziative volte al rilancio delle ricerche sulla Energia Nucleare, quali la convenzione con l'Ansaldo Nucleare per gli studi sulla fissione e la partecipazione con CNR ed ENEA al Consorzio RFX per gli studi sulla fusione, oggi unificate nel Progetto Strategico INFN/Energia. La gestione del programma è affidata a un Coordinatore che si avvale di un Comitato di Progetto costituito da responsabili dei singoli sottoprogetti. L'inclusione di nuovi sottoprogetti avviene su proposta della Giunta Esecutiva o di una delle CSN, per un periodo non superiore a tre anni, fino alla presentazione di uno studio di fattibilità o alla costruzione di un prototipo.

Per quanto riguarda la **Fissione Nucleare**, le attività in corso si articolano su diverse linee programmatiche:

**a) Trasferimento tecnologico:** l'applicazione cioè di nuove tecnologie, sviluppate dall'Istituto nel corso delle ricerche di base, a problematiche tipiche dei programmi sulla Energia Nucleare. Fanno parte di questa linea:

Tre progetti per il controllo della contaminazione ambientale e delle fughe di radiazioni nei depositi di scorie radioattive. Tra questi hanno già ottenuto risultati preliminari la proposta (DNMR) di una rete di fibre scintillanti per la segnalazione di fughe da fusti contenitori di sostanze radioattive nei depositi (LNS/Sez. Mi), che ha riscosso tra l'altro interesse e effettiva collaborazione da parte di Ansaldo/Nucleare e Sogin (Garigliano), e lo sviluppo (SPECTX) di nuovi rivelatori *silicon drift* per il monitoraggio ad

elevata risoluzione e angolo solido di raggi X (Sez.Ts);

Due progetti per la rivelazione non invasiva di eventuali sorgenti radioattive e materiali strategici nei containers ai porti e ai varchi. I due prototipi, realizzati con tecnologie diverse quali la tomografia con muoni cosmici mediante camere RPC (MUSTEEL) (Sez.Pd, Tecnogamma, Acciaierie Beltrame) o la rivelazione diretta di  $\gamma$  o neutroni con scintillatori a grande area caricati al gadolinio (PIC) (Sez.Ge, JRC(Ispra), Ansaldo Nucleare) stanno ambedue raggiungendo una fase avanzata di costruzione e test. Il primo (MUSTEEL) ha ottenuto nel 2010 un finanziamento dall'UE nell'ambito del FP7.

Un progetto di nuovi rivelatori per il monitoraggio esterno della potenza e del burn up nei reattori di potenza tramite la rivelazione dei flussi di antineutrini emessi dal nocciolo. Un primo prototipo è già stato costruito (Sez.Ge) e testato presso i reattori di Cernavoda (RO) per la misura dei fondi.

Tutti questi progetti erano stati approvati nell'ambito di Convenzioni dell'Ente con industrie nazionali quali Ansaldo o Gilardoni che ancora ne seguono realizzazioni e sviluppi. È inoltre in itinere una Convenzione tra il JRC (*Joint Research Centre*) e l'INFN che ratificherà, tra l'altro, una collaborazione in atto tra INFN/E e l'*Institute for civil security* del JRC a Ispra su quella parte del programma che riguarda l'uso di tecniche nucleari per problemi di sicurezza civile.

**b) Attività formative:** INFN/E ha organizzato assieme ad Ansaldo Nucleare e alle Università di Genova e del Consorzio CIRTEN, un Master a Genova su "Scienza e Tecnologia degli impianti nucleari" attivato dal Novembre 2009 per la durata di un anno con finanziamento della Regione Liguria. È prevedibile che iniziative di questo tipo potranno, in concomitanza con l'annunciato rilancio nell'utilizzo dei reattori nucleari in Italia, rappresentare anche in futuro un impegno rilevante per l'Ente e in particolare per INFN/E.

**c) Studio di un Centro di formazione e ricerca:** pensato sia per l'addestramento di giovani ingegneri, fisici e tecnici e la promozione culturale nel settore (masters, stages, dottorati, ecc.) in collaborazione con Università e Industria che per lo studio della trasmutazione delle scorie radioattive a vita lunga tramite fissione veloce nei reattori di nuova generazione. Tale Centro dovrà essere attrezzato con infrastrutture adeguate, cioè da un lato di reale attualità scientifica, dall'altro di massima sicurezza e sostenibilità. La proposta di INFN/E, attualmente allo studio in collaborazione con Ansaldo Nucleare, di un generatore di neutroni di bassa potenza (< 1 MW) tramite un piccolo reattore veloce al piombo del tipo ADS, cioè sottocritico e controllato da un fascio di protoni di qualche decina di kW,

potrà soddisfare ambedue le esigenze. Il recente acquisto da parte dei Laboratori Nazionali di Legnaro di un ciclotrone per fasci di protoni da 70 MeV e 50 kW potrebbe fare di questo laboratorio, già impegnato nella ricerca sulla Fusione Nucleare, un valido candidato per la sede del Centro. Questo progetto, che ha riscosso l'adesione anche di Enea, Sogin e Politecnico di Milano, potrà costituire la prima fase di una più potente infrastruttura per il bruciamento delle scorie da installare nell'ambito del futuro Parco Tecnologico Nucleare attualmente in studio alla Sogin.

**d) Fisica del reattore:** consiste nel rilancio, nell'ambito delle attività di Fisica teorica dell'Istituto, delle ricerche sulla Fisica dei neutroni e sulle teorie di trasporto, sia coagulando le pochissime competenze rimaste nel settore, sia contribuendo a fornirne delle nuove tra i ricercatori delle nuove generazioni. Una attività teorica di questo tipo costituisce un presupposto necessario per lo sviluppo di progetti sulla produzione di Energia Nucleare sia per fissione che per fusione. Il programma, partito per ora presso la sezione di Genova in collaborazione col Politecnico di Torino, sullo studio del comportamento dinamico e cinetico dei reattori di nuova generazione, fornirà elementi importanti per il disegno dell'ADS.

Per quanto riguarda la **Fusione Nucleare** le attività in corso si articolano su due linee programmatiche distinte e complementari:

**ITER:** il contributo dell'INFN a ITER consiste essenzialmente nel progetto e nella costruzione, nell'ambito del Consorzio RFX con ENEA, CNR e Università di Padova, di una *test facility* per il sistema di Iniezione a Atomi Neutri (NBI), che costituirà uno dei principali metodi di riscaldamento ausiliare del plasma e verrà realizzato dal Consorzio presso il centro di ricerca CNR di Padova. Il 2009 si è concluso con l'approvazione definitiva del programma NBI come parte essenziale del progetto internazionale ITER per lo studio della produzione di energia da fusione nucleare. Il Laboratorio di Legnaro supporta il progetto contribuendo allo studio della dinamica dei fasci e sviluppando il progetto criogenico di raffreddamento delle varie componenti del sistema. Compito del laboratorio è lo studio anche delle alte tensioni in vuoto. Nel 2010 è stato completato il progetto della sorgente di ioni negativi che dovrà essere montata ai LNL e lo studio della dinamica del fascio di ioni.

**IFMIF:** nell'ambito del Broader Approach, un accordo tra il Giappone e alcuni Paesi Europei per la realizzazione di sistemi e infrastrutture complementari a ITER, l'INFN ha assunto una importante responsabilità nella progettazione e realizzazione

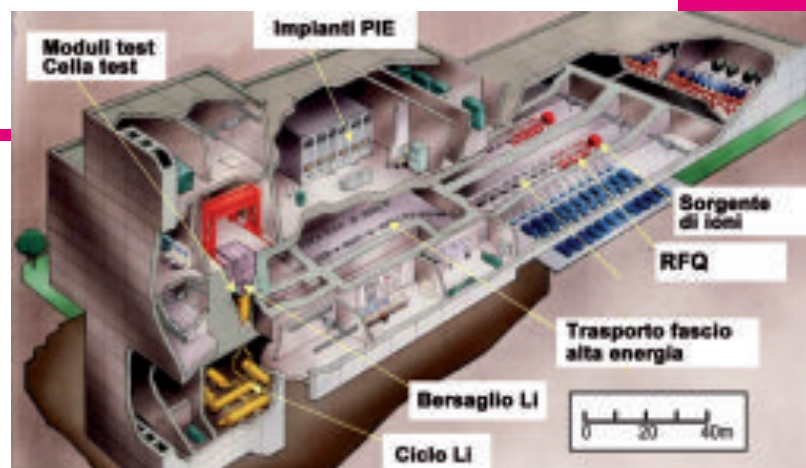


Fig. 3.22: Schema di IFMIF, il doppio acceleratore di protoni ad altissima intensità per lo studio dei materiali per la produzione di energia da fusione nucleare.

dei primi stadi di IFMIF, un doppio acceleratore di protoni ad altissima intensità (40 MeV, 130 mA) dedicato alla produzione di fasci di neutroni (circa  $10^{17}$ n/sec) per lo studio dei materiali da utilizzare nei reattori. La parte del progetto sin ora finanziata corrisponde ad un acceleratore di 9 MeV e piena corrente, che verrà costruito da una collaborazione europea (principalmente CEA-Commissariat à l'Énergie Atomique Francia e CIEMAT-Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas Spagna, oltre all'INFN) ed installato in un'infrastruttura specifica costruita dal JAEA (Japan Atomic Energy Agency) presso Rokkasho nel nord del Giappone. La progettazione e costruzione viene realizzata dall'INFN in tre delle sue unità operative, i Laboratori Nazionali di Legnaro e le sezioni di Padova e Torino. Nel 2010 sono state realizzate due cavità di test in rame ed è stato messo a punto il loro piano di produzione. I campi elettrici sono stati testati per la conformità con le specifiche di progetto su un prototipo di alluminio a dimensioni reali.

Il 2008 ed il 2009 sono stati impiegati nella fase progettuale, con un *Preliminary Design Review* nel giugno 2008 che ha validato le principali scelte relative alla progettazione fisica ed alle scelte realizzative. La struttura progettata è notevolmente più corta ed efficiente di quanto proposto in precedenza, mentre l'approccio costruttivo utilizzato consente di estendere a questo acceleratore l'esperienza nella realizzazione di strutture in rame con strettissime tolleranze meccaniche, guadagnata con RFQ per protoni di più alta frequenza (progetto TRASCO – TRAsmutazione SCORie). Sono stati inoltre costruiti e validati alcuni prototipi degli elementi critici. Con il 2010 comincia la parte realizzativa con la costruzione dei 18 moduli che costituiscono la struttura. Parte importante del progetto è costituita dallo sviluppo di tutti i sottosistemi, vuoto, raffreddamento e controllo della frequenza, integrazione meccanica e funzionale nell'acceleratore. Sono previsti dei test parziali in Europa seguiti dall'installazione e test con il fascio in Giappone (presso il laboratorio di Rokkasho) a partire dal 2013. L'INFN contribuisce con proprio personale al programma di integrazione delle varie componenti dell'acceleratore in Giappone.

### PROGETTO STRATEGICO NTA

Il Progetto Speciale NTA (Nuove Tecniche di Accelerazione) ha l'obiettivo di sostenere e sviluppare ricerche, anche attraverso collaborazioni internazionali, nel campo della scienza degli acceleratori e, con più alta priorità, nel settore delle tecnologie ad essi correlate.

La realizzazione di nuovi acceleratori di particelle influenza (e, a sua volta, è influenzata da) un largo spettro di attività scientifiche e tecnologiche. Per questo la ricerca avanzata di tecnologie per nuovi acceleratori è vitale non solo per la fisica delle particelle elementari, ma anche per favorire l'affermarsi di tecnologie innovative in molti campi. Le tante applicazioni presenti e future delle macchine acceleratrici vanno dalle utilizzazioni propriamente scientifiche (schematizzate nella tabella 3.6) al loro uso medicale ed industriale (alcuni esempi a fondo pagina).

Nel triennio 2011-2013 attraverso il Progetto Strategico NTA, saranno sviluppate ricerche nei settori identificati dalla comunità scientifica di riferimento a livello internazionale come quelli di maggior interesse scientifico e tecnologico. Le attività di ricerca saranno portate avanti presso i Laboratori Nazionali di Frascati, di Legnaro e del Sud e presso le Unità Operative di Bologna, Catania, Ferrara, Genova, Milano, Milano Bicocca, Napoli, Pavia, Pisa, Roma, Roma

Tor Vergata, Roma Tre e Trieste. La tabella 3.7 riassume le ricerche in corso di svolgimento e che si concluderanno nel triennio 2011-2013: nella prima colonna è riportata l'area di ricerca, nella seconda lo scopo della ricerca stessa e nella terza colonna la sigla utilizzata all'interno del Progetto Strategico NTA. I risultati fin qui ottenuti in queste attività hanno permesso all'INFN di consolidare il suo ruolo di primo piano in campo internazionale nello sviluppo di concetti e di tecnologie per i futuri acceleratori.

A medio e lungo termine la sfida per le attività di Ricerca e Sviluppo consisterà nel produrre fasci di vari tipi di particelle (elettroni, protoni, neutroni, muoni, ioni) a più alte energie, con più alta intensità, con più alta brillantezza e, per i collisori, con più alta luminosità. Questi obiettivi dovranno essere raggiunti a costi socialmente sostenibili per quanto riguarda sia i costi di produzione, sia le spese di funzionamento, sia l'ammontare di potenza elettrica necessaria. Nella tabella 3.8 sono riportati i principali problemi che dovranno essere risolti al fine di progettare e realizzare i principali acceleratori (indicati nella prima riga della tabella stessa) all'attenzione della comunità scientifica internazionale. Su tali temi l'INFN, attraverso il Progetto Strategico NTA, è già oggi operante e tali temi saranno anche al centro delle sue attività a medio termine.

<b>Campo di interesse</b>	<b>Acceleratore</b>	<b>Temi di studio</b>
Fisica atomica	Fasci di ioni a bassa energia	Processi di collisione atomica, studio di stati eccitati, collisioni elettrone-ione, potere frenante degli elettroni nei solidi.
Fisica della materia condensata	Sorgenti di Radiazione di Sincrotrone	Studi di strutture cristalline con raggi X.
Fisica della materia condensata	Sorgenti di neutroni da spallazione	Studi di scattering di neutroni su metalli, cristalli, liquidi, e materiali amorfi.
Scienze dei Materiali	Fasci di Ioni	Analisi di materiali dopo attivazione con protoni e raggi X; Studi di emissione di raggi X; spettrometria di massa con acceleratore.
Chimica e biologia	Sorgenti di Radiazione di Sincrotrone	Studi del legame chimico; dinamiche e cinematiche biologiche; cristallografia di proteine e di virus.

Tab. 3.6: Applicazioni delle macchine acceleratrici ad uso scientifico.

### Applicazioni delle macchine acceleratrici ad uso medico e industriale.

- >> Diagnostica medica con radioisotopi prodotti con fasci accelerati
- >> Terapie antitumorali con radiazioni, utilizzando: protoni, ioni pesanti, pioni, raggi X da Linac ad elettroni, neutroni da Linac a protoni
- >> Individuazione di pozzi petroliferi con sorgenti di neutroni
- >> Implantazione ionica con fasci di ioni positivi
- >> Polimerizzazione, vulcanizzazione, sterilizzazione di cibo, produzione di membrane microporose etc.
- >> Datazione archeologica per mezzo di spettroscopia di massa con acceleratori.

Area di ricerca	Obiettivi	Sigla dell'attività di ricerca
Teoria degli acceleratori	Studi su "Crab-waist" e "Crab-crossing" per massimizzare la luminosità di macchina	Super-B/LNF
Simulazioni computerizzate	Damping Ring per ILC: definizione del lattice e valutazione dell'effetto di nuvola elettronica sui positroni (a), definizione del lattice magnetico di SuperB (b), studio di "spin tracking" per elettroni polarizzati(c), studi di interazioni fascio-fascio(d)	a) ILC/LNF b), c), d) SuperB/ LNF-Pi
Cavità a RF superconduttrici	Realizzazione di cavità s.c. con tecniche di spinning(a); R&S di materiali s.c. con temperatura critica maggiore del Niobio per cavità ad alto beta (a); "sputtering" di Niobio con Magnetron (a); cavità s.c. in terza armonica (b)	a) Shamash/LNL b) ILC/Mi
Controlli a RF e sistemi di "feedback"	Elettronica di controllo per criomoduli(a), "bunch-by-bunch feedback" trasverso e longitudinale per macchine a bassa emittanza (b)	a) ILC/Pi b) SuperB/LNF
Criogenia	Progettazione e realizzazione di criomoduli per X-Fel (Desy, in costruzione) e ILC (in progettazione)	ILC/Mi
Sorgenti	Sorgenti di ioni, per fasci ad alta brillantezza, basate su <i>Electron Cyclotron Resonance</i> (a); fotocatodi per "cannoni" ad alta brillantezza(b); generazione di fasci di raggi X, 20-500 keV ad alta cromaticità, rapidità e brillantezza di picco(c)	a) Helios/LNS b) ILC/Mi c) Plasmonx/LNF-Bo-Mi-Na-Pi
Diagnostica dei fasci e relativa strumentazione	Rimozione della "e-cloud" con film sottili di materiali innovativi	Imca/LNF
Magneti	Modifica dei poli di magnete wiggler per ottimizzazione dei campi(a), studio di un quadrupoli "split" per focheggiamento finale(b)	a) ILC/LNF b) SuperB/LNF
Magneti superconduttori	Dipolo sc curvilineo per cicli rapidi	a) DISCORAP/ Ge-LNF-Mi.
Acceleratori a laser-plasma	Accelazione sfruttando alti gradienti generati nella interazione laser-plasma con auto iniezione o iniezione esterna	Plasmonix/LNF-Bo-Ct-Pi-Mi-Na-Rml
Tecnologie ed infrastrutture di sostegno alle attività di Ricerca & Sviluppo	Kickers rapidi per iniezione/estrazione in anelli di accumulazione (a); Deflettori a RF, Monitor a RF della posizione dei fasci. Partecipazione alla progettazione e realizzazione della Clic Test Facility (CTF3 al Cern) (b)	a) ILC/LNF b) CLIC/LNF

Tab. 3.7: Classificazione delle ricerche svolte nel progetto strategico NTA

Argomenti R&D	Possibili Applicazioni						
	n Factory	Muon Collider	e+e- Collider	VLHC+ SLHC	Sorgenti di luce da LINAC	Medicina, Fusione, Industria	Sorgenti di Neutroni
Nuvola di elettroni (e-cloud)	X	X	X	X		X	X
Fondo di ioni (Ion effects)	X	X	X		X	X	
Radiazione coerente di sincrotrone			X		X		
Effetti di carica spaziale	X	X	X	X	X	X	X
Scie di pacchetti corti (Short bunch wakes)			X		X		
Simulazioni al computer	X	X	X	X	X	X	X
Teoria	X	X	X	X	X	X	X
Strumentazione	X	X	X		X	X	X
Alti gradienti nc <sup>1</sup>	X	X	X				
Alti gradienti sc <sup>2</sup>	X	X	X	X	X		X
Raffreddamento elettronico							
Raffreddamento stocastico <sup>3</sup>				X			
Raffreddamento per ionizzazione	X	X					
HOM damping			X		X		X
Emittanze ultra-basse		X	X		X		
Sorgenti ultra-brillanti <sup>4</sup>			X		X		
Sorgenti di positroni			X				
Targhette per alte potenze	X	X	X				X
Magneti sc <sup>5</sup>	X	X	X	X			
Fixed Field Alt Grad	X	X				X	
Accelerazione con laser <sup>6</sup>			X			X	
Campo-scia dei fasci			X				
Impianti e attrezzature per test	X	X	X			X	

<sup>1</sup> Cavità e amplificatori – implementazione di potenzialità ed efficienza

<sup>2</sup> Cavità, processi e materiali

<sup>3</sup> Microonde e ottiche

<sup>4</sup> Sorgenti di fotoni – ncrf, scrf e dc

<sup>5</sup> Struttura dei magneti, processi e materiali

<sup>6</sup> Laser plasma, linac

Tab. 3.8: Problematiche e possibili applicazioni studiate in NTA.

#### HIGHLIGHT del 2010

- Sono continuati gli studi sui Damping Ring, che i relativi test su DAFNE hanno portato ad una esperienza riconosciuta in tutto il mondo.
- I magneti dipolari superconduttivi curvi, ritenuti improponibili fino al progetto e sperimentazione lanciato in NTA, sono ora una soluzione di riferimento: il prototipo messo a punto da DISCORAP (con la collaborazione di Ansaldo) nel 2011 sarà sottoposto a test risolutivi per poter proporre la loro realizzazione su scala industriale.
- Nel 2010, presso i LNF, sono state ottenute le prime accelerazioni mediante interazione laser-plasma. L'attività del complesso Flame (laser di alta

potenza) – SPARC (iniettore a RF di alta brillantezza) entrerà nei prossimi tre anni nella piena fase sperimentale. L'utilizzazione di questa strumentazione integrata, iniettore RF-laser (di assoluto interesse internazionale), consentirà di produrre altissimi gradienti di accelerazione, e ci si attende che possa aprire la strada ad una nuova era nell'accelerazione di particelle elementari.

- Gli studi sul progetto SuperB stanno procedendo speditamente, a conferma del fatto che il progetto SuperB rappresenta un'attività di importanza strategica per l'INFN e per la sua collocazione in campo internazionale.



## PROGETTO SPECIALE APE

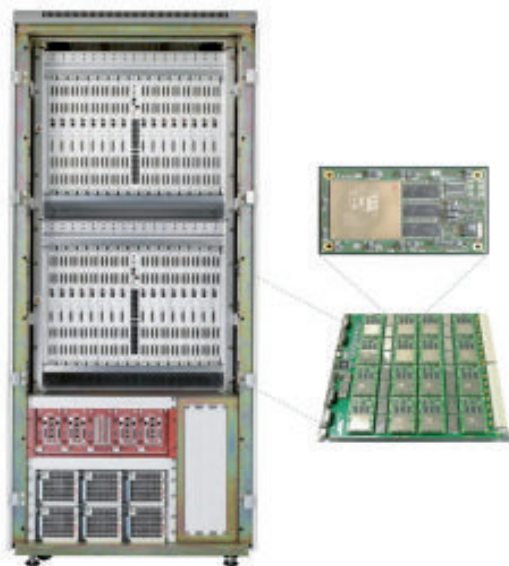
### Il SuperCalcolo in ambito INFN: stato e prospettive

La simulazione numerica rappresenta uno strumento fondamentale per le ricerche di base dei gruppi teorici e sperimentali. In ambito INFN sono tradizionalmente attive comunità scientifiche che utilizzano supercalcolatori per lo studio numerico delle interazioni forti (LQCD, *Lattice Quantum Chromo Dynamics*, capace di spiegare con metodi statistici ed algoritmi numerici le proprietà della materia subnucleare), di problemi di Meccanica Statistica, della dinamica dei fluidi in regime turbolento e della biologia computazionale. La simulazione numerica per tali problemi scientifici richiederà, nel prossimo futuro, enormi potenze di calcolo, tipicamente dell'ordine del PetaFlops<sup>1</sup>, e sistemi di calcolo non tradizionali caratterizzati da elevata efficienza computazionale, basso consumo elettrico ed alta integrazione.

Nel corso degli ultimi venti anni, l'INFN ha sviluppato macchine di calcolo parallelo attraverso il progetto speciale APE/APE100/APEMille/apeNEXT (figura 3.23); ciò ha permesso alla comunità scientifica italiana (e, più generalmente, europea) di tenere il passo con il progresso della ricerca nel campo delle interazioni forti in regime non-perturbativo (*Lattice Gauge Theory*).

Nelle diverse fasi di evoluzione del progetto, le macchine APE sono sempre state fortemente connotate da caratteristiche architettoniche che hanno, di fatto, costituito un vero e proprio paradigma, rivelatosi vincente nel campo del calcolo parallelo a elevate prestazioni, e che oggi si trovano implementate nei supercomputer commerciali di ultima generazione. In particolare: il processore elementare di

Fig. 3.23: Supercomputer apeNEXT: le numerose unità di calcolo operanti in parallelo ne garantiscono le alte prestazioni.



calcolo VLSI custom (che garantisce straordinaria efficienza computazionale sulle applicazioni d'interesse), la rete di comunicazione interprocessore con connettività punto-punto a primo vicino a griglia tridimensionale (ad alte prestazioni e bassa latenza), un eccellente rapporto potenza dissipata/prestazioni che garantisce alta integrazione e ridotti costi realizzativi e di esercizio. L'ultima realizzazione, apeNEXT, è costituita da un insieme di supercomputer installati all'Università di Roma "La Sapienza" capaci di complessivi 12 TeraFlops e utilizzati da vari gruppi teorici inseriti in più ampie collaborazioni internazionali.

Sempre nello stesso ambito, l'apertura di una seconda linea di ricerca, apeNET, ha permesso di realizzare sistemi di calcolo basati su PC Clusters commerciali equipaggiati da reti dedicate 3Dimensionali di derivazione APE ed implementate su componenti programmabili (FPGA). Tali sviluppi hanno portato all'installazione di due sistemi da 96 e 128 nodi di calcolo (rispettivamente presso la Sezione INFN di Tor Vergata e presso l'ECT\* di Trento) interconnessi dalla rete apeNET e caratterizzati, contrariamente ai cluster interconnessi da network commerciali, da scalabilità (quasi lineare) delle performance con il numero dei processori.

Il progetto APE, nelle sue varie evoluzioni, ha anche consentito all'Italia di presidiare le attività di ricerca sul calcolo parallelo e le relative tecnologie di sviluppo (software e hardware) e di generare rilevanti risultati di trasferimento tecnologico, ad esempio nel settore del computing dedicato ad alte prestazioni (Quadrics, società di Finmeccanica, nella metà degli anni '90 e più recentemente EUROTECH) e dell'elettronica per sistemi *embedded* (ATMEL Roma). Si tratta di tecnologie e competenze strategiche per l'Italia e l'Europa ed infatti membri del gruppo APE coordinano e partecipano con ruoli di leadership ad importanti progetti europei (progetti FP6 SHAPES ed HARTES e progetto FP7 EURETILE) nel settore delle "Advanced Computing Architectures" e degli "Embedded Systems" derivati dal know-how sviluppato negli anni in ambito APE. Non bisogna inoltre dimenticare come questa iniziativa abbia permesso la formazione di alcune decine di ricercatori e tecnologi specializzati nella progettazione di sistemi su silicio e software di sistema, un'esperienza unica e strategica per il panorama italiano e di grande valore scientifico e tecnologico a livello europeo.

Al fine di conservare la posizione competitiva raggiunta a livello internazionale, la collaborazione ha intrapreso iniziative di ricerca e sviluppo per arrivare alla realizzazione di supercomputer nella fascia del PetaFlops (1000 TFlops) utilizzando tecnologie *state-of-the-art*. La roadmap di breve/medio periodo, nell'orizzonte temporale del piano triennale,

prevede la realizzazione di sistemi ibridi “cpu commerciali - reti dedicate” secondo le seguenti molteplici linee di sviluppo:

• **Progetto apeNET+.**

Nell’arco del 2010 la collaborazione ha finalizzato lo sviluppo della nuova generazione di *apeNET* denominata *apeNET+* (figura 3.23) con l’obiettivo di realizzare l’infrastruttura di *network* efficiente per i cluster di PC da impiegare nel calcolo scientifico. L’Hardware di *apeNET+* attualmente in fase avanzata di costruzione, mostra una capacità di trasferimento complessiva pari a 360 Gbit/s per nodo di calcolo grazie anche all’integrazione del *network processor* di nuova generazione sviluppato dalla collaborazione nell’ambito del progetto europeo SHAPES. All’inizio del 2011 sarà possibile prototipare un mini-cluster da 4-8 nodi scalabile entro la fine del 2011, a sistemi “armadio”<sup>2</sup> da 64 (128) processori multi-core e 10 TeraFlops di potenza di calcolo complessiva.

• **Progetto AURORA.**

Coordinato dalla EUROTTECH spa e cofinanziato dalla Provincia Autonoma di Trento, si prefigge di realizzare macchine di calcolo basate su processori commerciali INTEL interconnessi da una rete toroidale 3Dimensionale (contributo originale dell’INFN al progetto) con elevata densità di processori per volume (pari a circa 4 volte un cluster di PC standard) e con un obiettivo di progetto, da realizzare a partire dal 2011, di sistemi con prestazioni dei 10-20 TeraFlops per armadio.

• **PC Cluster accelerati con GPU (*Graphic Processing Unit*): progetto QUONG.**

L’emergere di nuove architetture di calcolo per la grafica ad alte prestazioni (*Graphic Processing Unit, GPU*), spinte da un mercato dei videogiochi valutato in 10 miliardi di \$ per anno, caratterizzate da elevate potenze di calcolo (1 TeraFlops per singolo chip), notevole rapporto Flops/Watt e Flops/\$ e con caratteristiche architettoniche estremamente favorevoli per il calcolo scientifico, permette di progettare sistemi ibridi CPU+GPU in grado di scalare alle centinaia di TeraFlops per armadio. In questo ambito l’INFN si propone di

realizzare, una piattaforma parallela scalabile al PetaFlops, basata su meccanica commerciale e processori *commodities* Intel, accelerata attraverso GPU di ultima generazione ed interconnessa dal network apeNET+.

L’interesse applicativo per questa nuova architettura di calcolo permette all’INFN di coagulare, intorno al progetto, un gruppo composto da ricercatori esperti in molteplici ambiti di ricerca: tra questi si evidenziano gruppi INFN attivi in ambito teorie di campo su reticolo, bio-computing, gravitational waves analysis, progettazione di sistemi di trigger ai colliders ma anche fisici computazionali, internazionalmente riconosciuti, esperti di fluidodinamica applicata alla medicina, sistemi complessi, genomica computazionale, neural network. L’adozione della piattaforma di calcolo QUONG in tali molteplici aree di ricerca garantisce l’applicazione di un modello già sperimentato, con le passate generazioni di sistemi APE, che ha portato rilevanti risultati scientifici e notevole visibilità nazionale ed internazionale.

Nella tabella 3.9 si riportano le caratteristiche del sistema QUONG che sarà possibile integrare nel 2011 ed una previsione per le *performances* dei sistemi realizzabili nel periodo 2012-14.

Dalla tabella 3.9 risulta evidente che già dal 2011 sarà possibile installare *sistemi armadio* di dimensione standard composti da nodi di calcolo multiprocessore e acceleratori GPU-based al costo di circa 250 kEuro per armadio e con una potenza di calcolo di picco di ~ 60 TFlops in singola precisione e ~ 30 TFlops in doppia precisione.

Dal 2011 sarà quindi possibile realizzare una installazione di classe PetaFlops (peak singola precisione) con circa 20 armadi e un volume di occupazione di poco superiore all’attuale installazione di apeNEXT di Roma.

Nella tabella 3.9 è anche riportata una previsione degli indici di *performances* di costo e prestazioni per singolo armadio basata sullo scaling tecnologico atteso per le unità GPGPU. Si evidenzia come il costo per un’installazione di classe multi-PetaFlops potrebbe scendere a circa 3 MEuro per PetaFlops con annessa una sensibile riduzione dei costi operativi dovuti

	<b>Sistema Ibrido “multi processore - GPU con apeNET+</b>			
	Peak Perf/rack (TeraFlops)		Cpsto per Rack (KEuro)	# armadi per sistema PetaFlop
	singola precisione	doppia precisione		
2011	56	30	~250	20
2012-2014 (previsione)	>100	>50	~300	<10

Tab. 3.9: Caratteristiche dei sistemi multi-processore.

<sup>2</sup> Con armadio o “rack” intendiamo un sistema meccanico ed elettronico di circa due m<sup>3</sup> di volume in grado di ospitare elettronica attiva e paragonabile, per dimensioni, ad armadi standard per cablaggi di rete.

ad un più basso consumo ed ad una più alta integrazione.

Il progetto QUonG potrà fare leva sul co-finanziamento dell'UE, realizzato attraverso la partecipazione dell'Ente a progetti Europei FP7 in questa particolare area di ricerca, e la collaborazione di selezionati partners internazionali accademici ed industriali. Nell'ambito del progetto Europeo EURETILE, coordinato dall'INFN, sarà infatti possibile proseguire in maniera sinergica lo sviluppo del network processor ottimizzato per l'architettura QUonG e lo studio di nuovi modelli di programmazione efficiente per le architetture *many-core*.

#### Strutture INFN e altre istituzioni partecipanti

Al progetto APE collaborano ad oggi ricercatori e tecnologi afferenti alle sezioni INFN di Roma e Roma Tor Vergata, mentre le sezioni di Ferrara, Milano Bicocca ed il gruppo collegato di Parma sono coinvolte nel progetto AURORA.

In aggiunta presso le sezioni di Roma, Roma Tor Vergata, Ferrara, Milano Bicocca, Parma, Pisa, Bari sono presenti gruppi di fisici teorici che utilizzano i sistemi APE per ricerche in LGT, biologia computazionale, fluidodinamica.

I principali partner tecnologici, accademici, nazionali ed internazionali che collaborano con l'INFN in questa area di ricerca grazie a collaborazioni stabilite anche in sede di progetti europei sono riportati nel seguente elenco non esaustivo:

- **Università di Pisa, Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione**
- **Università di Cagliari, Dipartimento di Ingegneria Elettrica ed Elettronica**
- **Università di Roma Sapienza, Dipartimento di Ingegneria Elettronica**
- **Università di Padova, Dipartimento di Elettronica e Informatica**
- **RWTH Aachen University, ISS**

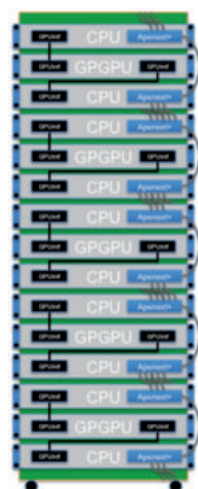
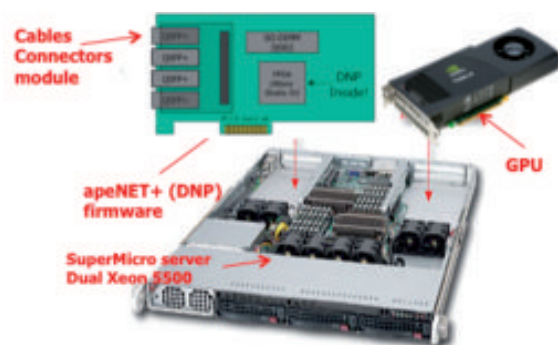


Fig. 3.24: Progetto QUonG: CPU+GPU con apeNET+



- **Swiss Federal Institute of Technology Zurich, CH**
- **Università di Julich e Wuppertal**

Principali partner industriali:

- **Atmel**
- **Eurotech spa**
- **Sky Technology**
- **Finmeccanca-Quadrics, nel passato**

#### Sorgenti di finanziamento e ammontare

Le principali fonti di finanziamento per le attività collegate al progetto APE sono, oltre al budget ordinario INFN, il contributo per la partecipazione a progetti Europei FP6 ed FP7. Come evidenziato nella tabella 3.10 nel periodo 2006-2009 la partecipazione al progetto SHAPES ha generato un cofinanziamento pari a 800 KEuro utilizzato principalmente per il reclutamento di giovani ricercatori e tecnologi da impiegare nelle attività di ricerca e sviluppo. Nel periodo 2010-2013, nell'ambito delle attività del progetto FP7 EURETILE da noi coordinato, potremo contare su un budget significativamente più corposo (2100 KEuro) che impiegheremo per il reclutamento del gruppo di progetto e per finanziare le attività di prototipazione di *hardware many-core*.

Nella tabella 3.10 sono inoltre indicate le previsioni di spesa per la realizzazione dell'installazione di classe PetaFlops la cui roadmap prevede nel 2011 l'integrazione di un prototipo di armadio completo da 60 TeraFlops per un costo pari a 300 KEuro e nei 2 anni successivi un investimento pari a circa 2 MEuro per anno per la costruzione del sistema finale.

<b>APE Budget</b>		
fondi ordinari INFN in KEuro	preventivo	assegnato
2007	<b>200</b>	<b>100</b>
2008	<b>330</b>	<b>300</b>
2009	<b>687</b>	<b>300</b>
2010	<b>120</b>	<b>120+300*</b>
<b>fondi esterni (Progetti EU) in KEuro</b>		
	Finanziamento complessivo	Quota per INFN
2006-2009 (SHAPES)	<b>6800</b>	<b>800**</b>
010-2013 (EURETILE)	<b>4500</b>	<b>2100***</b>

Tab. 3.10: Finanziamenti del progetto APE.

Note:

\* Nell'ambito del progetto AURORA, la convenzione INFN - Provincia Autonoma di Trento (PAT) prevede un finanziamento per la fase preliminare e la realizzazione di un piccolo prototipo di 1.8 MEuro di cui 300 KEuro a carico dell'INFN.

## PROGETTO SPECIALE SPARC e PROGETTO SPARX

### Introduzione

Il progetto Speciale SPARC è stato avviato dall'INFN nel 2003 a seguito dell'approvazione da parte del MIUR del progetto Strategico "impianti innovativi multiscopo per la produzione di radiazione X e ultravioletta, coerente ed incoerente ad alta intensità per applicazioni avanzate nel campo delle strutture biologiche e molecolari e dei materiali" finanziato sui fondi FISR. Il progetto SPARC è realizzato mediante una collaborazione con CNR, ENEA, l'Università di Roma Tor Vergata (proponenti principali). Inoltre hanno contribuito numerose università italiane (Sapienza, Milano, Lecce), centri europei (DESY, PSI, Lund, Daresbury, Soleil, CEA) e USA (UCLA e SLAC).

Lo scopo principale del progetto è la realizzazione di un prototipo di Laser ad Elettroni Liberi operante in regime di auto-amplificazione (SASE), costituito da un Linac da 150 MeV e un ondatore a magneti permanenti lungo 12 metri che emette radiazione coerente nel visibile (500 nm, armonica fondamentale) e con un significativo segnale nelle armoniche superiori fino all'ultravioletto. Inoltre il progetto prevede di sperimentare metodi e schemi innovativi idonei alla generazione di radiazione coerente X.

Nel corso degli anni il programma si è arricchito di nuovi obiettivi e opportunità:

a) L'approvazione da parte dell'INFN dell'esperimento PLASMONX, che prevede l'uso del Linac di SPARC per realizzare un sistema di accelerazione a onde di plasma e la generazione di radiazione pulsata monocromatica X mediante *Thomson back-scattering*. In funzione di entrambi gli esperimenti è stato approvato da NTA l'installazione di un laser ad elevata potenza (300 TW) da in prossimità del bunker di SPARC. Inoltre, l'INFN mediante il Progetto Speciale SPARC ha finanziato la realizzazione di due linee di fascio, una per ciascun esperimento, che si aggiungono alla linea di fascio FEL.

b) La partecipazione al progetto europeo EUROFEL (VI PQ UE) che ha finanziato il completamento del sistema magnetico necessario all'esperimento di dinamica dei fasci riguardante la compressione longitudinale del pacchetto di elettroni (*velocity bunching*), e l'installazione dei dispositivi necessari all'esperimento di "Seeding" finalizzato alla coerenza longitudinale della radiazione.

c) L'approvazione da parte del MIUR del progetto SPARX (proponenti CNR, ENEA, INFN, Univ. Roma Tor Vergata)

mediante un finanziamento FIRB di 10 MEuro dedicato alle attività di R&S per la generazione di radiazione X, da implementare su SPARC. Le attività previste riguardano la realizzazione di un *Gun* per elettroni supersimmetrico con catodi innovativi, sviluppo tecnologie RF in banda X, sistemi di sincronizzazione e timing elettro-ottici e ottici, incremento di energia del Linac (in banda C), sviluppo di diagnostica elettroni e fotoni, sviluppo di tecniche di seeding e generazione di armoniche FEL.

d) La firma dell'Accordo Quadro con MIUR e Regione Lazio per la creazione di un centro di eccellenza nel Lazio basato su una sorgente FEL.

e) la partecipazione al progetto europeo IRUVX-FEL (VII PQ UE) riguardante la Preparatory Phase del Consorzio Europeo EuroFEL che coordinerà le attività delle *user-facilities* e *test-facilities* FEL in Europa.

f) la partecipazione al progetto europeo TIARA (VII PQ UE).

### Attività in corso

L'attività sperimentale riguarda la generazione di impulsi ultracorti e multipli, lo sviluppo di un prototipo di RF Gun supersimmetrico ad elevata frequenza di ripetizione, sviluppo di sistemi di sincronizzazione al femtosecondo, test di strutture acceleranti in banda C (presso KEK-Giappone), test di tecniche di *seeding*, con "cascade" e generazione di armoniche.

### Installazione 2011

- Linea di fascio di elettroni per esperimento *Thomson back-scattering*
- Linea di fascio di elettroni per esperimento *Plasma Wave Acceleration*
- Sistema RF di potenza in banda C (Modulatore e Klystron), sezioni di accelerazione.

### HIGHLIGHT 2010

**Nel 2010 sono stati ottenuti rilevanti risultati avendo realizzato con successo il primo esperimento di "seeding" in Europa su FEL, e essendo stata verificata per la prima volta la fattibilità di uno schema basato su "seeding, e cascade" con generazione di armoniche. In tale configurazione è stato ottenuto un segnale coerente in terza armonica a circa 67 nm con un fascio di elettroni a circa 150 MeV. Questi risultati si aggiungono quelli ottenuti nel 2009 quando è stato raggiunto il regime di auto amplificazione coerente nel visibile, è stato osservato un significativo segnale di radiazione in terza**

armonica nel vicino UV, ed è stato osservato il regime di "velocity bunching" nella dinamica dei fasci di elettroni nel Linac.

#### Prospettiva a medio termine

Le attività avviate con il progetto SPARC hanno avuto il merito di stimolare, durante un entusiasmante periodo durato circa 5 anni, nuove idee, l'elaborazione di proposte in buona parte accolte e finanziate, la realizzazione e test di dispositivi innovativi, la formazione di un team di giovani ricercatori brillanti e competenti.

Nella prospettiva di medio termine va perseguito il consolidamento delle attività nate e sviluppatasi intorno a SPARC presso i LNF. È emerso con estrema chiarezza che l'insieme della strumentazione sviluppata con SPARC e PLASMONX costituiscono di fatto un laboratorio unico al mondo. Per tale motivo tutti i ricercatori coinvolti, hanno dato origine ad una struttura di coordinamento chiamata LI<sup>2</sup>FE (Laboratorio Interdisciplinare Integrato di Fotoni ed Elettroni). Il comitato LI<sup>2</sup>FE, formato dai responsabili delle attività, con rappresentanti INFN, CNR, ENEA e di alcune Università, è nato principalmente per coordinare le attività di sviluppo e sperimentazione in corso e renderle compatibili con nuove proposte, e di favorire in particolare la partecipazione di gruppi sperimentali interessati all'utilizzo.

Essendo il Progetto Speciale SPARC ormai in una fase di completamento, ed essendo ormai a buon punto anche le installazioni finanziate da NTA, appare evidente che tutta l'attività sperimentale futura dovrà essere organizzata in modo unitario intorno ad un unico laboratorio (LI<sup>2</sup>FE è un embrione).

#### Prospettiva di lungo periodo

Nel 2010 è stato deciso che il progetto SPARX sarà realizzato presso i LNF, con lo scopo di potenziare le attività già avviate con il prototipo SPARC. È in corso lo studio di fattibilità e il progetto di una nuova sala sperimentale, a valle della sala SPARC, necessaria all'installazione della test-facility SPARC/X. Notevoli vantaggi si possono intravedere grazie alle sinergie con le attività già approvate nell'ambito di SPARC e di PLASMONX che rende possibile la creazione di un centro di eccellenza per studi avanzati su:

- nuove tecniche di accelerazione, con strutture acceleranti ad alta frequenza ed elevato gradiente (banda C e X) e con PWFA (Plasma Wake Field Acceleration).
- generazione di fasci di elettroni ultrabrillanti
- sorgenti di radiazione coerente e incoerente ad impulso

ultracorto esplorando il regime sub-femtosecondo.

#### PROGETTO SPECIALE SPES

*Selective Production of Exotic Species*

(Produzione Selettiva di Specie esotiche)

Il progetto SPES è inserito in una rete di collaborazioni che è mostrata in figura 3.25.

#### Obiettivi

- 1) Realizzare un sistema ISOL di seconda generazione che fornisca fasci di ioni ricchi di neutroni per lo studio della fisica nucleare fuori dalla valle di stabilità.
- 2) Fornire una struttura di ricerca in grado di soddisfare, oltre agli obiettivi scientifici, esigenze applicative di interesse nazionale e internazionale.

Ecco alcune delle caratteristiche tecniche principali del progetto:

**Metodo di produzione di fasci esotici:** fissione dell'uranio indotta da fascio di protoni su bersaglio diretto di UCx. Estrazione del fascio con tecnica ISOL.

**Fissioni in bersaglio:**  $10^{13}$  fissioni al secondo.

**Riacceleratore:** sistema PIAVE-ALPI, energie di fascio 5-10 MeV per nucleone. Caratteristiche di fascio attualmente non disponibili nel panorama internazionale.

**Facility della stessa classe:** HIE-ISOLDE e SPIRAL2 (in fase di realizzazione).

#### Principali linee di attività

Nell'ambito del progetto SPES è stata valutata la realizzazione di tre aree per attività sia applicative che di Fisica fondamentale:

- 1) Area ISOL con produzione di fasci di ioni esotici e selezione isotopica ad alta risoluzione.
- 2) Laboratorio per l'uso del secondo fascio di protoni del ciclotrone, per la produzione di radioisotopi innovativi per applicazioni mediche nel campo della diagnostica e della terapia.
- 3) Laboratorio per la produzione di neutroni utilizzando il fascio del ciclotrone e bersagli di vari materiali (Litio, Berillio, Tungsteno, ecc.) per lo studio dei reattori nucleari di IV generazione e applicazioni nel campo dei materiali, dell'industria, della medicina e dell'astrofisica,

Il progetto è stato suddiviso in fasi successive di realizzazione e finanziamento. Ogni fase permette l'utilizzo della struttura con un grado maggiore di funzionalità come riassunto nella tabella 3.11.



### Principali risultati conseguiti nel 2010

Nel 2010 è stata completata la gara e firmato il contratto per l'acquisizione del ciclotrone.

È entrato in funzione, presso i Laboratori Nazionali di Legnaro, il sistema di *Front-End ISOL* e si sono iniziati i test di caratterizzazione del sistema bersaglio-sorgente.

Si sono sviluppate le tecniche di produzione dei carburi e in particolare del carburo di Uranio.

Si sono sviluppate le tecniche di produzione dei carburi e in particolare del carburo di Uranio.

Per validare la produzione prevista di fasci instabili con l'uso del bersaglio di UCx, sono stati realizzati vari esperimenti presso i laboratori ISOLDE del CERN e HRIBF a Oak Ridge (USA). I risultati degli esperimenti sono in fase di pubblicazione. È in fase di progetto un sistema di test sotto fascio da installare a LNS per lo studio dei fasci di SPES e di EXCYT (facility ISOL a LNS operativa dal 2007).

È stata progettata la linea di trasferimento e selezione ad alta risoluzione dei fasci instabili.

È stato organizzato un primo workshop a carattere nazionale (LNL, 29 Ott. 2008) sulla fisica con i fasci di SPES, a cui hanno partecipato oltre 70 fisici e tecnologi. Un secondo workshop, a carattere internazionale, è stato organizzato nel 2010 (LNL, 15-19 Novembre 2010). Hanno partecipato oltre 150 fisici presentando circa 30 lettere di intenti per esperimenti con SPES.

### Progetto di rilevanza scientifica

#### SPES-ISOL

L'attività principale del Progetto SPES è lo sviluppo della Fisica Nucleare fondamentale per lo studio dei nuclei lontani dalla valle della stabilità con fasci instabili. Il Progetto SPES prevede l'uso del metodo ISOL per la produzione dei fasci instabili utilizzando una potenza sul bersaglio primario di circa 10 KW. I fasci saranno prodotti utilizzando la reazione di fissione dell'Uranio indotta da protoni. Come driver di protoni si utilizzerà un ciclotrone da 35-70 MeV ad alta intensità (fino a 500 micro A). Il rate di fissioni previsto nel bersaglio di produzione è di  $10^{13}$  fissioni al secondo e permetterà di ottenere fasci di intensità uno-due ordini di grandezza superiori a quanto attualmente disponibile. I fasci prodotti saranno preaccelerati e iniettati nell'acceleratore lineare superconduttivo ALPI dei LNL. Il progetto è in fase di realizzazione. Compete a livello internazionale con SPIRAL2 in Francia, HIE-ISOLDE al CERN, up-grade di HRIBF in USA (Oak Ridge National Lab), ISAC in Canada (TRIUMF).

### Progetti di rilevanza applicativa

I progetti applicativi sono attualmente a livello di studio di fattibilità: si sono creati due gruppi di studio per l'uso del

fascio del ciclotrone in attività applicative.

Progetti basati sull'uso del fascio di protoni del CICLOTRONE

#### LINCE:

##### **Legnaro Italian Neutron Center**

Il fascio di protoni del ciclotrone permette di generare neutroni con uno spettro energetico non disponibile ai reattori nucleari e con caratteristiche spettrali che possono essere calibrate con moderatori opportuni o agendo direttamente sul fascio di protoni.

SPES partecipa a UCANS (*Union for Compact Accelerator-driven Neutron Sources*). L'Unione per le sorgenti compatte di neutroni basate su acceleratori è nata nel 2010 ed ha lo scopo di dare supporto e coordinamento ad una comunità in via di rapida espansione soprattutto in USA, Cina e Giappone.

Sono stati presentati, da una collaborazione di ricercatori di vari enti (INFN, CNR, Uni Roma2, Padova, Camerino), due progetti che utilizzano il ciclotrone come "driver" per la produzione di neutroni:

- **FARETRA (FAst REactor simulator for TRAnsmutation studies)** per l'uso di neutroni in applicazioni energetiche. Ha lo scopo di produrre un fascio di neutroni con caratteristiche spettrali simili a quelle previste per i reattori di IV generazione (da qualche KeV a qualche MeV). Tale fascio sarà utilizzato per misure integrali di sezioni d'urto di fissione e di cattura su attinidi e frammenti di fissione a breve vita media, o per misure di attivazione di parti strutturali e materiali per raffreddamento per i reattori veloci di IV Generazione

- **LIFAN (Legnaro Intense FAst Neutron facility)** per la produzione di fasci di neutroni per irraggiamento di dispositivi elettronici con la realizzazione di un fascio per SEE (*Single Event Effect*) e per irraggiamenti diretti con fasci di protoni da 70 MeV. La facility produce un fascio simile allo spettro atmosferico (limitato a 70 MeV) e permette di studiare il comportamento di sistemi complessi sottoposti a danneggiamento neutronico. Queste misure sono di estremo interesse per l'avionica, la strumentazione nucleare e in generale per la componentistica elettronica.

#### LARAMED:

##### **LAboratorio Radioisotopi per la MEDicina**

Il progetto LARAMED ha come obiettivo l'uso dei fasci di protoni del ciclotrone di SPES per lo sviluppo di un laboratorio per la produzione di radioisotopi innovativi per la ricerca e le applicazioni in medicina.

Il ciclotrone di Legnaro costituisce il secondo esempio al

mondo di macchina costruita per accelerare i protoni con correnti di 0,3-0,5 mA fino ad un'energia di 70 MeV (il primo esempio è il ciclotrone ARRONAX, Nantes, Francia). Questa energia permette di aprire canali di reazione per la produzione di radionuclidi innovativi per la medicina mentre l'alta corrente permette la produzione di elevate quantità di radioisotopi (fino a 10 volte più di un ciclotrone standard). Questa facility raggiunge un grado di eccellenza nell'ambito della produzione di radioisotopi per la medicina e consente alla medicina nucleare di sperimentare radionuclidi attualmente non disponibili e, quindi, di continuare nella ricerca di innovative soluzioni diagnostiche e terapeutiche. Il nuovo ciclotrone permetterà anche di produrre, con rese più elevate, alcuni radionuclidi che sono già impiegati in medicina nucleare e fungere da centro di distribuzione per officine farmaceutiche che producono radiofarmaci.

Il progetto è stato presentato al Ministro della salute alla Regione Veneto e alla comunità scientifica di riferimento in un incontro organizzato da INFN, Facoltà di Medicina - Università di Padova e Associazione Italiana Medicina Nucleare il 29 Novembre 2010.

**GENERATORE di Neutroni ADS:**

Il fascio di protoni può essere di interesse per sostenere un ADS (*Accelerator Driven System*) di ricerca (proposta INFN-Ansaldo). Questa attività è in fase di studio in una collaborazione ANSALDO- INFN- ENEA- Politecnico Milano- Politecnico Torino- SOGIN.

**Collaborazioni internazionali e interazioni con altre componenti della rete di ricerca**

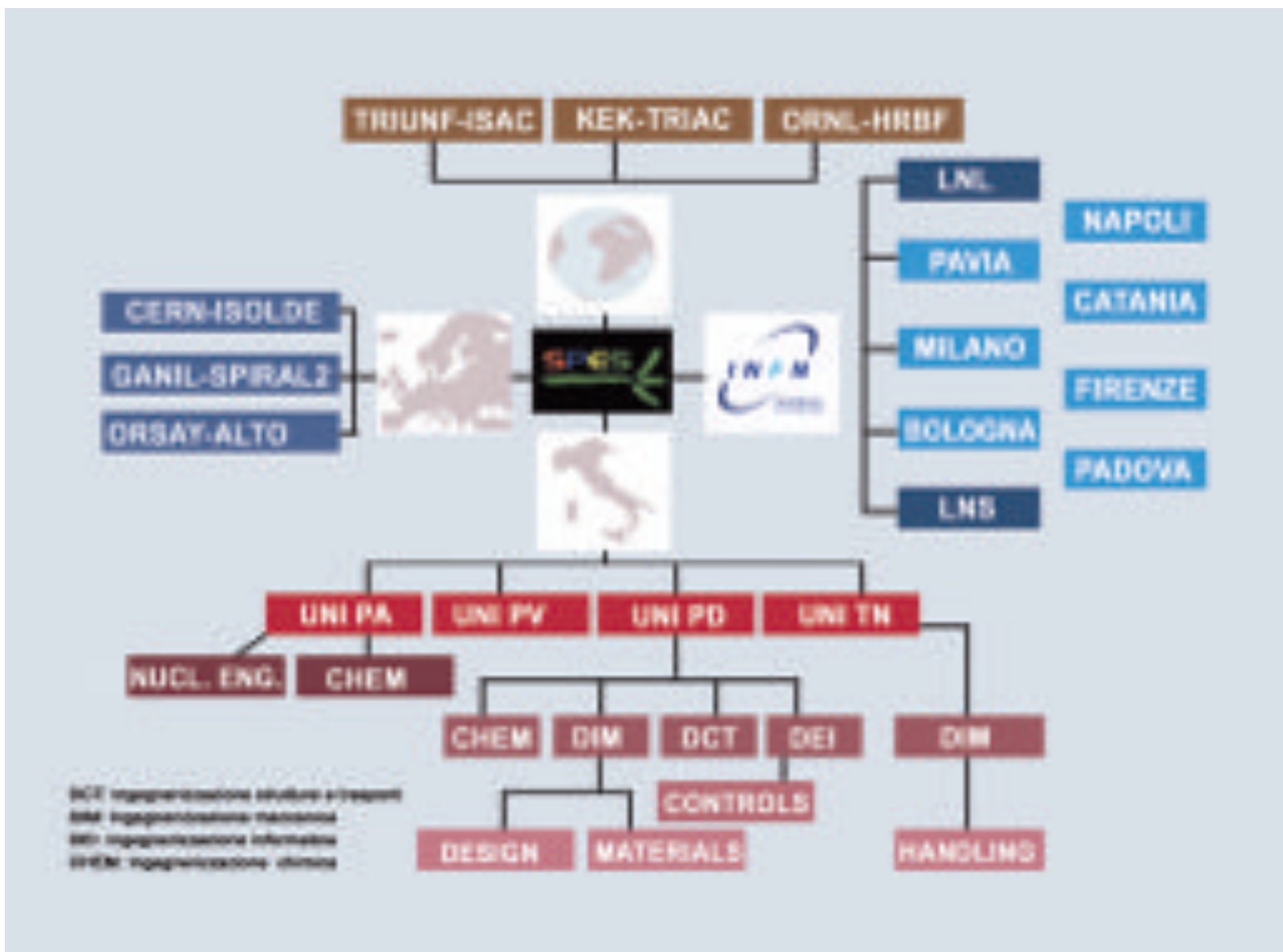


Fig. 3.25: Rete delle collaborazioni di SPES.

**Tab 3.11 Costo complessivo delle fasi di realizzazione del progetto SPES**

	Facility ISOL: fasci di ioni ricchi di neutroni, 1013 f/s, A= 60-160, 10AmeV. Driver protoni: Ciclotrone con due uscite indipendenti. Energia= 35-70 MeV, corrente interna 0,750 mA distribuita su due uscite (corrente massima su una uscita 0,5 mA). Alta Intensità (TRASCO): linac per protoni da 5MeV 20mA. Fasci di neutroni prodotti per conversione dei fasci di protoni del Ciclotrone e di TRASCO.		
	<b>Costo stimato globale</b>	<b>~ 70-100 Meuro</b>	
<b>FASE ALFA</b>	Fase Ciclotrone: sistema ISOL per fasci esotici non da fissione e non riaccelerati. Produzione di neutroni con fascio del ciclotrone	<b>20 Meuro</b>	Finanziamento 2009-2011
<b>FASE BETA</b>	Fase riaccelerazione: produzione, trasporto, selezione ad alta risoluzione e riaccelerazione di fasci esotici da fissione. Messa in funzione del secondo bersaglio ISOL.	<b>27 Meuro</b>	Finanziamento 2012-2015
<b>FASE DELTA</b>	Fase sorgente di neutroni: progetto e realizzazione di una facility di neutroni che utilizza il fascio di protoni del ciclotrone.	<b>10 Meuro per la realizzazione di due strutture di misura con neutroni (progetto LINCE)</b>	Finanziamento 2012-2015 in collaborazione con altri enti.
<b>FASE GAMMA</b>	Fase laboratorio per produzione radioisotopi per scopi medici e ricerca applicata con fasci di protoni e neutroni del ciclotrone	<b>10-30 Meuro a seconda del livello di produzione dei radioisotopi (progetto LARAMED)</b>	Finanziamento 2012-2015 in collaborazione con altri enti.

**Tab. 3.12 Costo annuo previsto per la realizzazione di ciascuno progetto**

<b>PROGETTO SPES: costi previsti in Milioni di €</b>	Facility ISOL: fasci di ioni ricchi di neutroni, 1013 f/s, A= 60-160, 10AmeV. Driver protoni: Ciclotrone con due uscite indipendenti. Energia= 35-70 MeV, corrente interna 0,750 mA distribuita su due uscite (corrente massima su una uscita 0,5 mA). Fasci di neutroni prodotti per conversione dei fasci di protoni del Ciclotrone. Uso diretto del fascio di protoni per produzione radioisotopi.			
		<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
<b>SPES ISOL</b>		12	9	8
<b>LINCE</b>		0	1	3
<b>LARAMED</b>		0	5	12

**Risorse finanziarie**

Il progetto utilizza risorse finanziarie INFN.

Per le attività applicative sono in corso contatti con Università e USL sul territorio veneto per il loro coinvolgimento nella realizzazione di parti di interesse specifico.

**Consuntivo 2009-2010**

Le attività previste come highlights per il 2009 sono state tutte completate:

- Definizione del progetto preliminare per l'edilizia e le

**infrastrutture.**

- Definizione delle caratteristiche del ciclotrone e attivazione della gara di acquisto.
- Installazione del Front-End della facility ISOL completo di bersaglio, sorgente a ionizzazione superficiale, estrattore e prima parte di trasferimento del fascio a 30 keV .
- Studio di nuovi materiali per bersagli ISOL con la produzione di pastiglie di carburo di uranio con nano tubi e test sotto fascio a ISOLDE.
- Workshop sulla fisica di SPES (LNL, 29 Ottobre 2008).

#### HIGHLIGHT 2011

- Per il prossimo anno sono previsti i seguenti obiettivi:
- Definizione del progetto esecutivo per l'edilizia e le infrastrutture.
- Validazione del progetto di costruzione del ciclotrone.
- Produzione di fasci con sorgente laser utilizzando, in laboratorio, il Front-End ISOL.
- Sviluppo sorgente FEBIAD (sorgente a plasma per

produzione alogeni)

- Progettazione di un sistema ISOL per misure di produzione sotto fascio a LNS.
- Studio di nuovi materiali per bersagli ISOL con la produzione di pasticche di carburo di uranio a diverse densità.
- Preparazione di un TDR aggiornato per la facility ISOL e dei TDR per i progetti applicativi LINCE e LARAMED.

**Tab 3.13 Obiettivi generali (milestone) realizzabili nel triennio per i progetti più rilevanti**

	2011	2012	2013
<b>SPES ISOL</b>	Assegnazione commessa edilizia. Validazione progetto Ciclotrone. Produzione fasci ISOL in laboratorio. Sviluppo sorgente LASER e FEBIAD. Sviluppo materiali per bersagli ISOL.	Realizzazione edilizia. Monitoraggio avanzamento lavori ciclotrone. Progettazione sistema di trasporto fascio. Progettazione sistema di preaccelerazione. Misure di produzione sotto fascio a LNS.	Completamento edilizia. Completamento ciclotrone in sede ditta costruttrice. Inizio costruzione Separatore ad alta risoluzione. Inizio costruzione preacceleratore. Sviluppo Charge Breeder. Progetto Beam Cooler
<b>LINCE</b>	Preparazione TDR	Progetto e realizzazione prototipi di bersagli di conversione Progetto linea di trasporto fascio protoni. Sviluppo sistemi controllo	Costruzione bersagli di conversione. Acquisizione strumentazione di misura e radioprotezione. Implementazione edilizia
<b>LARAMED</b>	Preparazione TDR	Implementazione edilizia. Progettazione facility. Progetto linea di trasporto fascio protoni e bersagli di produzione.	Acquisizione linea di trasporto fascio protoni. Impiantistica di sicurezza. Acquisizione celle di manipolazione. Realizzazione prototipi bersagli.

Fig. 3.27

#### Prospettive a medio termine

Il ciclotrone, con due fasci di protoni estratti contemporaneamente, permette di soddisfare due utenze senza sensibili interferenze: la facility ISOL ed una facility applicativa possono essere operate contemporaneamente.

A medio termine SPES si presenta come un progetto in grado di fornire fasci di nuclei esotici di grande interesse per la comunità internazionale di Fisica Nucleare.

Un'utenza applicativa può essere installata, in una prima fase, nel secondo bunker ISOL. Tra le utenze applicative basate sul ciclotrone, quelle con il maggior grado di realizzabilità a medio termine sono: facility per neutroni e sviluppo radioisotopi per la medicina.

#### Strategia a lungo termine

Possibili strategie a lungo termine per SPES sono rappresentate in figura 3.26.

Per la fisica dei fasci esotici SPES rappresenta una facility di riferimento per EURISOL. Può migliorare le caratteristiche di intensità dei fasci secondari con due vie alternative: progettando un bersaglio diretto che utilizzi tutta la potenza disponibile dal fascio di protoni, sviluppando un bersaglio a due step per produrre in modo privilegiato nuclei molto ricchi di neutroni (vedi progetto di upgrade di ORNL-HRIBF, USA). Può estendere la produzione di fasci esotici a isotopi a breve vita-media sviluppando un sistema IGISOL che estrae direttamente gli ioni generati nella fissione dell'Uranio



irraggiato con il fascio di protoni.

Questi sviluppi permetterebbero di mantenere una rilevanza scientifica di piena concorrenza con SPIRAL2 e HIE-ISOLDE.

Le tre *facility* europee potrebbero formare una rete per la Fisica Nucleare specializzandosi in fasci e tematiche specifiche. Un PAC Europeo potrebbe distribuire l'utenza in relazione al tipo di fascio richiesto e alla strumentazione disponibile nei vari laboratori.

Il progetto SPES si presta in modo particolare all'attivazione di collaborazioni tra vari enti in relazione alle competenze specifiche che il progetto sviluppa e ai campi applicativi che apre:

- Sviluppo di caruri e tecniche di caratterizzazione di materiali a 2000°C.
- Competenze nello sviluppo di bersagli di conversione per neutroni.
- Possibilità di dotare il Paese di una *facility* per neutroni

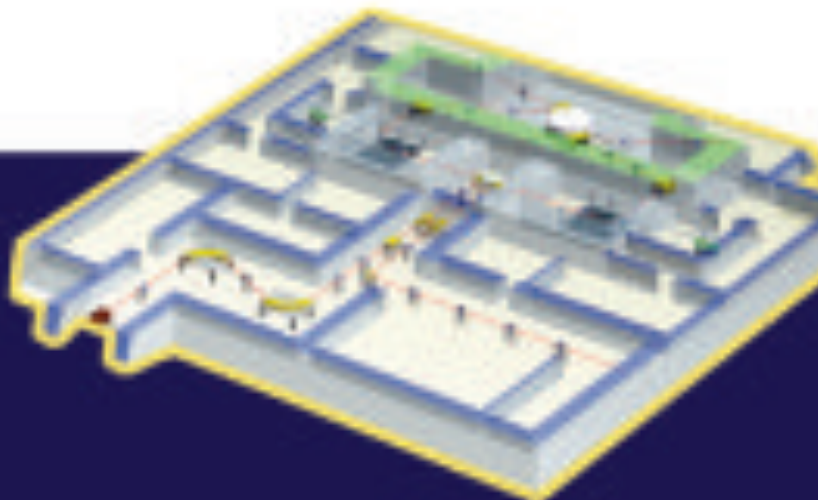
alternativa ai reattori nucleari (consorzio tra enti di ricerca - INFN, ENEA, CNR - e industria).

- Sviluppo di nuovi radiofarmaci. Collaborazione scientifica tra SPES e ARRONAX in Francia, unico laboratorio per la ricerca di nuovi radioisotopi a scopo medico prodotti con protoni di energia superiore a 30 MeV. L'INFN potrebbe partecipare ad una collaborazione con università e ditte farmaceutiche fornendo infrastrutture e fascio di protoni.

Il progetto SPES permette rilevanti attività applicative senza sacrificare la ricerca di base. Rappresenta bene le capacità di ricaduta della ricerca dell'INFN in aree cruciali per il Paese come la Sanità e l'innovazione tecnologica. Risorse esterne, sia finanziarie che di personale, concordate con altri enti quali ENEA, CNR, università, regioni e/o realtà industriali, sono necessarie per attivare questo programma.

La figura 3.27 e la figura 3.28 mostrano uno schema del laboratorio ciclotrone con la sorgente.

Fig. 3.26: Possibili strategie a lungo termine per SPES.  
 Fig. 3.27: Isometrico laboratorio Ciclotrone e sorgenti ISOL.  
 Fig. 3.28: Sorgente ISOL.



Rete europea per la Fisica Nucleare con fasci esotici



Consorzio per studio materiali e facility italiana neutroni



Centro studi e sviluppo radio farmaci





<b>Tab 3.14 - Tabella riassuntiva - Progetto SPES</b>									
<b>Principali linee di attività</b>	Ricerca in fisica nucleare con fasci di ioni instabili. Applicazioni di fasci di neutroni Produzione di radioisotopi di interesse medico								
<b>Principali risultati conseguiti nel 2010</b>	Completata gara e firmato contratto per acquisizione Ciclotrone. Messo in funzione sistema ISOL in laboratorio. Workshop internazionale e presentazione Lettere di Intenti.								
<b>Costo annuo previsto per la realizzazione di ciascun progetto nel triennio 2011-2013</b>	<b>2011 &gt; 12M€</b>			<b>2012 &gt; 15M€</b>			<b>2013 &gt; 25M€</b>		
	ISOL	LINCE	LARAMED	ISOL	LINCE	LARAMED	ISOL	LINCE	LARAMED
	<b>12</b>			<b>9</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>8</b>		
	<b>2011</b>			<b>2012</b>			<b>2013</b>		
<b>Obiettivi generali SPES_ISOL</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Assegnazione commessa edilizia.</li> <li>• Validazione progetto Ciclotrone.</li> <li>• Produzione fasci ISOL in laboratorio.</li> <li>• Sviluppo sorgente LASER e FEBIAD.</li> <li>• Sviluppo materiali per bersagli ISOL.</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizzazione edilizia.</li> <li>• Monitoraggio avanzamento lavori ciclotrone.</li> <li>• Progettazione sistema di trasporto fascio.</li> <li>• Progettazione sistema di preaccelerazione.</li> <li>• Misure di produzione sotto fascio a LNS.</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Completamento edilizia.</li> <li>• Completamento ciclotrone in sede ditta costruttrice.</li> <li>• Inizio costruzione Separatore ad alta risoluzione.</li> <li>• Inizio costruzione preacceleratore.</li> <li>• Sviluppo Charge Breeder.</li> <li>• Progetto Beam Cooler</li> </ul>		
<b>Obiettivi generali LINCE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Preparazione TDR</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Progetto e realizzazione prototipi di bersagli di conversione</li> <li>• Progetto linea di trasporto fascio protoni.</li> <li>• Sviluppo sistemi controllo</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costruzione bersagli di conversione.</li> <li>• Acquisizione strumentazione di misura e radioprotezione.</li> <li>• Implementazione edilizia</li> </ul>		
<b>Obiettivi generali LARAMED</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Preparazione TDR</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementazione edilizia.</li> <li>• Progettazione facility.</li> <li>• Progetto linea di trasporto fascio protoni e bersagli di produzione.</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acquisizione linea di trasporto fascio protoni.</li> <li>• Impiantistica di sicurezza.</li> <li>• Acquisizione celle di manipolazione.</li> <li>• Realizzazione prototipi bersagli.</li> </ul>		
<b>Progetti di rilevanza scientifica</b>	<b>SPES ISOL:</b> Realizzazione di un sistema ISOL di seconda generazione che fornisca fasci di ioni ricchi di neutroni per lo studio della fisica nucleare fuori dalla valle di stabilità.								
<b>Progetti di rilevanza applicativa</b>	<p><b>LINCE:</b> Produzione di neutroni con uno spettro energetico non disponibile ai reattori nucleari e con caratteristiche spettrali calibrate con moderatori opportuni o agendo direttamente sul fascio di protoni. Applicazioni allo studio di sezioni d'urto per reattori di IV Generazione, studio di danneggiamento di dispositivi elettronici.</p> <p><b>LARAMED:</b> uso dei fasci di protoni del ciclotrone di SPES per lo sviluppo di un laboratorio per la produzione di radioisotopi innovativi per la ricerca e le applicazioni in medicina.</p> <p><b>GENERATORE di Neutroni ADS:</b> Il fascio di protoni può essere di interesse per sostenere un ADS (Accelerator Driven System) di ricerca (proposta INFN-Ansaldo). Questa attività è in fase di studio in una collaborazione INFN-ENEA-SOGIN.</p>								
<b>Risorse finanziarie</b>	Il progetto utilizza risorse finanziarie INFN. Per le attività applicative sono in corso contatti con Università e USL sul territorio veneto per il loro coinvolgimento nella realizzazione di parti di interesse specifico.								
<b>Collaborazioni internazionali e interazioni con altre componenti della rete di ricerca</b>	SPES coinvolge in ambito nazionale varie sezioni INFN e i Laboratori Nazionali di Legnaro e del SUD. Ha una forte collaborazione con l'Università di Padova e con Ingegneria Nucleare dell'Università di Palermo. Per i progetti applicativi sono in corso contatti con Università, ENEA, CNR ed enti locali per promuovere la partecipazione e la sinergia. In ambito internazionale SPES è inserito in una rete di collaborazioni scientifiche con CERN, paesi europei, USA, Canada, Giappone.								
<b>Infrastrutture di ricerca da acquisire</b>	Per il raggiungimento degli obiettivi proposti devono essere acquisite le seguenti infrastrutture di ricerca: Ciclotrone da 70MeV ad alta intensità, infrastruttura di maneggiamento e selezione ad alta risoluzione del fascio di ioni (beam handling), preacceleratore per iniezione in acceleratore Lineare ALPI, sistema di bersagli per irraggiamento ad alta potenza (35kW sul bersaglio) sistema di maneggiamento di bersagli in Camera calda								

## PROGETTO SPECIALE INFN-GRID

### Attività 2010

Il progetto speciale INFN-GRID ha continuato a fornire la struttura unitaria di governance delle numerose attività Grid delle sezioni, laboratori ed esperimenti dell'INFN, tramite l'apposito INFN-GRID Executive Board. Tra queste, oltre a quelle di base che comprendono lo sviluppo e la manutenzione dei servizi software grid (middleware), l'operazione coordinata dell'infrastruttura dei centri di calcolo INFN distribuiti sul territorio nazionale e le attività di training, sono da menzionare – per il loro valore strategico nel contesto internazionale e per il ruolo di coordinamento a livello europeo svolto dall'INFN – quelle rivolte all'estensione della Grid Europea all'Asia, all'America Latina e ai paesi dell'Africa limitrofa, a conferma della vocazione mediterranea ed internazionale del nostro paese.

L'obiettivo originario in Italia ed in Europa di INFN GRID è stato quello di sviluppare e rendere operativa una nuova tecnologia capace di soddisfare i bisogni degli esperimenti INFN, in particolare LHC, ma oggi è diventato quello più generale di soddisfare con questa tecnologia quelli di tutto il mondo della ricerca. È ormai infatti divenuta prassi comune, per molti settori scientifici, poter condividere in modo sicuro e controllato risorse ICT e dati sparsi in tutto il mondo.

INFN Grid ha oggi la responsabilità del coordinamento dello sviluppo del middleware grid europeo denominato "gLite" oltre a quelle che riguardano componenti specifici per la gestione delle Organizzazioni Virtuali, per la gestione dei carichi di lavoro (*Workload Management System*), il sistema di accounting, il miglioramento della fruibilità della grid attraverso nuove interfacce web, la creazione di Standard Internazionali tramite le collaborazioni con vari attori internazionali per permettere un'interoperabilità delle GRID a livello mondiale e lo sviluppo di nuovi componenti che rendono disponibile all'utente l'ambiente virtuale che desidera (CLOUD)

Continua a mantenere il coordinamento della gestione operativa della Infrastruttura Italiana di calcolo distribuito e della *Training Infrastructure* GILDA, divenuta di uso comune per tutta l'Europa.

Costituisce a livello di governance tecnica e manageriale l'anello di congiunzione fra la Infrastruttura Grid Italiana (IGI), gestita da una *Joint Reserach Unit* (JRU) a cui aderiscono tutti le maggiori organizzazioni di ricerca del paese, e la *Grid Europea gestita dall'European Grid Initiative* (EGI).

Negli ultimi anni, infatti, si è assistito alla crescita e al consolidamento a livello europeo e mondiale del calcolo distribuito, inteso come strumento abilitante per il progresso della conoscenza, che facilita lo sviluppo della scienza, stimola e facilita le collaborazioni scientifiche a

livello internazionale e ne favorisce l'aumento di scala e l'interdisciplinarietà. I servizi software denominati "Grid" permettono oggi ai ricercatori europei l'accesso sicuro e trasparente a un esteso bacino di risorse informatiche e di dati forniti da più di 300 centri di calcolo. Questi in un recente passato erano organizzati in una serie di domini amministrativi completamente indipendenti, ma oggi sono integrati e aperti a livello pan-europeo e internazionale, mentre l'accesso e la condivisione di risorse e dati – grazie all'utilizzo di protocolli e middleware grid standardizzati – risulta per l'utente indipendente dalle specificità locali delle risorse messe a disposizione.

Nel corso del 2010 da parte dell'INFN, dei partners della *Joint Reserach Unit* (JRU) e del MIUR è continuato lo sforzo volto a garantire la sostenibilità a lungo termine dell'e-Infrastruttura Grid Italiana (IGI) con la costituzione di una nuova organizzazione legale. Questa riunirà e consoliderà le competenze esistenti in un unico organismo che gestirà e svilupperà la Grid italiana in modo da permettere non solo un utilizzo più efficiente di tutte le risorse di calcolo e storage distribuite sul territorio nazionale e la loro integrazione a livello europeo ed internazionale, al servizio della comunità scientifica ed accademica italiana e dell'Area della Ricerca Europea (ERA), ma anche una espansione di questa tecnologia nel pubblico impiego e in altri settori della società.

Notevoli passi avanti sono stati fatti per il consolidamento della grid Europea. L'INFN, come coordinatore della JRU IGI, con il CERN e le Istituzioni responsabili delle maggiori grid nazionali come e-Science Grid in UK, D-Grid in Germania, *Institute des Grilles* del CNRS in Francia etc si è fatto promotore dell'European Grid Iniziative (EGI) avente lo scopo di garantire la sostenibilità futura dell'e-Infrastruttura Europea. Sono stati definite le funzionalità e i ruoli rispettivi delle organizzazioni nazionali, chiamate genericamente *National Grid Iniziatives* (NGI) e di quella europea chiamata EGI.eu, oltre al business model per la loro sostenibilità. Nel corso del 2009 questa proposta era stata accettata da 36 paesi, dal CERN e da EMBL che con la firma del *Memorandum of Understanding* hanno dato vita al primo organo di governo dell'infrastruttura grid europea, l'EGI Council che da allora ne dirige le attività. All'inizio del 2010 è stata creata la nuova organizzazione legale EGI.eu di cui sono stakeholders tutte le NGI europee.

Ad aprile si è concluso con successo il progetto di riferimento è EGEE III, (36 MEuro) dove l'Italia è stato il partner maggiore dopo il CERN, che ha continuato il processo di consolidamento ed espansione dell'e-infrastruttura di