

# Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

## PIANO TRIENNALE 2012-2014

<b>I CAPITOLO – INTRODUZIONE .....</b>	<b>7</b>
2.1 L'ISTITUTO .....	10
LA MISSIONE E LE ORIGINI.....	10
LA STRUTTURA E L'ORGANIZZAZIONE.....	11
2.2 LE ATTIVITÀ DI RICERCA .....	13
LE LINEE SCIENTIFICHE .....	13
I costituenti fondamentali e le loro interazioni.....	17
Le particelle e la radiazione nel cosmo.....	20
I sistemi nucleari .....	22
Le “questioni” della Fisica Teorica.....	24
Le ricerche tecnologiche e interdisciplinari .....	25
I PRINCIPALI FILONI DI RICERCA.....	27
I LUOGHI DELLA RICERCA.....	29
Le Sezioni e i Gruppi collegati.....	29
I Laboratori Nazionali .....	29
I principali centri di attività all'estero .....	33
<b>III CAPITOLO - PIANO PROGRAMMATICO DI ATTIVITÀ SCIENTIFICA .....</b>	<b>35</b>
3.1 L'INFN E LA SUA MISSIONE SCIENTIFICA.....	35
3.2 LA FISICA SUBNUCLEARE.....	40
MISSIONE .....	40
COMPOSIZIONE .....	41
ESPERIMENTI .....	41
HIGHLIGHT del 2011 .....	45
PROSPETTIVE E SCENARI .....	46
MILESTONE DEL PERIODO 2012-2014.....	48
3.3 LA FISICA ASTROPARTICELLARE .....	49
MISSIONE E STRUMENTI .....	49
PRINCIPALI RISULTATI OTTENUTI NEL 2011.....	50
CARATTERISTICHE DELLE ATTIVITÀ DI RICERCA DELLA CNS2.....	59
PROSPETTIVE A MEDIO TERMINE.....	60

HIGHLIGHT DEL 2011 .....	61
MILESTONE DEL PERIODO 2012-2014 .....	61
RISORSE ADDIZIONALI (2012-2114).....	62
INFRASTRUTTURE PER LA RICERCA (2012-2014) .....	62
INIZIATIVE PER LA FORMAZIONE.....	63
<b>3.4 LA FISICA NUCLEARE .....</b>	<b>63</b>
ATTIVITÀ DI RICERCA.....	63
PROSPETTIVE .....	71
HIGHLIGHT DEL 2011 .....	73
MILESTONE DEL PERIODO 2012-2014 .....	74
<b>3.5 LA FISICA TEORICA .....</b>	<b>75</b>
PREMESSA .....	75
ATTIVITÀ SCIENTIFICA .....	76
SETTORI DI RICERCA E COMPOSIZIONE .....	78
PC CLUSTER DI PISA .....	81
GALILEO GALILEI INSTITUTE (GGI) .....	81
TRAINING E ALTRE ATTIVITÀ EDUCATIVE.....	82
HIGHLIGHT 2011 .....	82
MILESTONE DEL PERIODO 2012-2014 .....	83
<b>3.6 LE RICERCHE TECNOLOGICHE E INTERDISCIPLINARI .....</b>	<b>84</b>
HIGHLIGHT 2011 .....	85
PROSPETTIVE .....	87
MILESTONE DEL PERIODO 2012-2014 .....	91
<b>3.7 IL CALCOLO E LE RETI.....</b>	<b>92</b>
ATTIVITÀ 2011 .....	92
PROSPETTIVE .....	95
<b>3.8 I PROGETTI STRATEGICI E I PROGETTI SPECIALI .....</b>	<b>97</b>
PROGETTO STRATEGICO INFN-ENERGIA .....	98
PROGETTO STRATEGICO NTA.....	104
Highlight del 2011 .....	109
PROGETTO SPECIALE APE .....	109
Il SuperCalcolo in ambito INFN: stato e prospettive.....	109
Strutture INFN e altre istituzioni partecipanti .....	115
Sorgenti di finanziamento e ammontare .....	116
PROGETTO SPECIALE SPES .....	117
Obiettivi.....	117
Principali linee di attività .....	118
Principali risultati conseguiti nel 2012 .....	118
Collaborazioni internazionali e interazioni con alter componenti della rete di ricerca .....	122
Costi.....	122

Risorse finanziarie .....	123
Consuntivo 2010-2011 .....	124
Highlight 2012.....	124
Prospettive a medio termine.....	125
Strategia a lungo termine .....	125
PROGETTI SPECIALI GRID.....	131
INFN-GRID - attività 2011:.....	131
Finanziamenti 2011 .....	131
Prospettive per il 2012 e a medio e lungo termine .....	132
PROGETTO SPECIALE IGI (Italian Grid Infrastructure).....	133
Attività 2011.....	133
Prospettive per il 2012 e a medio e lungo termine .....	134
PROGETTO SPECIALE ELN (ELOISATRON) .....	134
Descrizione generale del progetto.....	134
Strutture INFN e altre Istituzioni partecipanti.....	135
Attività svolte nel 2011 .....	135
Highlight 2011.....	135
Prospettive a medio termine.....	136
Prospettive a lungo termine .....	136
<b>3.9 I PROGETTI EUROPEI .....</b>	<b>137</b>
ATTIVITÀ 2009-2011 .....	137
PROSPETTIVE .....	145
<b>3.10 I PROGETTI CONGIUNTI CON ALTRI ENTI NAZIONALI E REGIONALI.....</b>	<b>146</b>
IL LABORATORIO LABEC .....	147
LA FONDAZIONE CNAO .....	151
IL GALILEO GALILEI INSTITUTE FOR THEORETICAL PHYSICS (GGI) DI ARCETRI (FIRENZE) .....	156
IL CENTRO ENRICO FERMI PER IL PROGETTO EEE .....	157
LA FONDAZIONE ETTORE MAJORANA (FEMCCS).....	158
LA FONDAZIONE BRUNO KESSLER (FBK) .....	159
IL CONSORTIUM GARR.....	160
<b>3.11 I PROGETTI FIRB, PRIN .....</b>	<b>161</b>
PROGETTI FIRB .....	161
PROGETTI PRIN.....	161
<b>3.12 I PROGETTI REGIONALI E I PROGETTI LOCALI .....</b>	<b>161</b>
<b>IV CAPITOLO -I LABORATORI NAZIONALI, IL CNAF E LE INFRASTRUTTURE DI RICERCA</b>	<b>162</b>
<b>.....</b>	<b>162</b>
<b>4.1 I LABORATORI NAZIONALI: LNF, LNGS, LNL, LNS.....</b>	<b>162</b>
I LABORATORI NAZIONALI DI FRASCATI (LNF) .....	162
Principali risultati scientifici conseguiti nel 2011 .....	165

Attività nei prossimi tre anni .....	172
Milestone del periodo 2012-2014 .....	174
LABORATORI NAZIONALI DEL GRAN SASSO (LNGS).....	176
Principali risultati scientifici ottenuti nel 2010 .....	179
Conclusioni e prospettive .....	190
Milestone del periodo 2012-2014 .....	192
I LABORATORI NAZIONALI DI LEGNARO .....	193
Legnaro oggi .....	193
Recenti risultati salienti (highlight) del laboratorio.....	195
LNL nel prossimo triennio .....	197
Milestone del periodo 2012-2014 .....	201
I LABORATORI NAZIONALI DEL SUD (LNS).....	201
Principali risultati scientifici raggiunti nel 2011.....	204
Attività nei prossimi tre anni .....	207
Conclusioni e prospettive .....	208
MILESTONE DEL PERIODO 2012-2014 .....	209
4.2 IL CNAF .....	210
Attività 2011.....	211
Piani di sviluppo per i prossimi anni .....	214
4.3 LE NUOVE INFRASTRUTTURE DI RICERCA: SUPERB, KM3NET, GRID.....	215
IL PROGETTO SUPERB .....	216
L'INFRASTRUTTURA KM3NeT .....	222
GRID.....	229
4.4 PROFILI FINANZIARI DELLE NUOVE INFRASTRUTTURE DI RICERCA.....	237
SUPERB .....	237
Scaletta temporale del Progetto SuperB .....	238
Descrizione delle fasi di attività e del relativo finanziamento.....	239
Copertura finanziaria .....	240
KM3NET.....	241
Obiettivo del progetto .....	241
Prospettive.....	241
GRID.....	242
Attività e finanziamenti nel periodo 2010-2011 .....	243
Piani per il periodo 2012-2014.....	243
<b>CAPITOLO V - COOPERAZIONE E ACCORDI CON ENTI ED ORGANISMI NAZIONALI ED</b>	
<b>INTERNAZIONALI.....</b>	<b>246</b>
5.1 LE COLLABORAZIONI E GLI ACCORDI NAZIONALI .....	246
5.2 LA PARTECIPAZIONE A CONSORZI, A SOCIETÀ, A FONDAZIONI.....	257
5.3 LE COLLABORAZIONI E GLI ACCORDI INTERNAZIONALI .....	266

<b>CAPITOLO VI - RAPPORTI E CONVENZIONI CON LE UNIVERSITÀ .....</b>	<b>271</b>
INFN e Università: simbiosi e sinergia.....	271
Simbiosi delle Strutture.....	271
Personale associato.....	273
Alta formazione.....	273
<b>CAPITOLO VII - PIANO DI SVILUPPO DELLE RISORSE UMANE E FINANZIARIE .....</b>	<b>277</b>
7.1 LE RISORSE DI PERSONALE DELL'ISTITUTO .....	277
7.2 LE RISORSE FINANZIARIE .....	287
Evoluzione finanziaria 2002 - 2010.....	287
Il profilo triennale delle risorse disponibili e della spesa 2012-2014 .....	301
Spesa amministrativa.....	303
7.3 IL CONTRIBUTO DEL PERSONALE ASSOCIATO .....	305
7.4 LA FORMAZIONE E LE AZIONI DI SOSTEGNO DEI GIOVANI .....	307
7.5 ATTIVITÀ DEL COMITATO UNICO DI GARANZIA (CUG).....	308
Dai Comitati per le Pari Opportunità (CPO) ai Comitati Unici di Garanzia .....	308
Le azioni positive.....	309
Il progetto europeo GENIS LAB - The gender in science and technology .....	312
Il futuro delle P.O.: dalla tutela alla valorizzazione in connessione con le politiche europee .....	313
7.6 GLI SCAMBI INTERNAZIONALI DEL PERSONALE DI RICERCA.....	315
Fondo Affari Internazionali (FAI) .....	315
Borse per lo scambio dei ricercatori.....	317
7.7 LE ATTIVITÀ DI FORMAZIONE E DI INFORMAZIONE DEL PERSONALE .....	318
La formazione e lo sviluppo delle risorse umane nell'INFN tra passato e futuro .....	318
Assegnazioni 2012.....	319
<b>VIII CAPITOLO - LE ATTIVITÀ DI COMUNICAZIONE E DI DIVULGAZIONE SCIENTIFICA .....</b>	<b>320</b>
8.1 LA COMUNICAZIONE PER I MEDIA E LA COMUNITÀ.....	321
LA COMUNICAZIONE DA E VERSO I MEDIA .....	321
LA COMUNICAZIONE ISTITUZIONALE.....	323
LA COMUNICAZIONE INTRANAZIONALE .....	323
8.2 LA RIVISTA ASIMMETRIE .....	324
8.3 MOSTRE E MULTIMEDIA .....	325
LA COMUNICAZIONE MULTIMEDIALE .....	326
LE MOSTRE.....	327
La mostra "Estremo - Le macchine della conoscenza" .....	327
La mostra "An italian History of innovation" .....	327
L'allestimento "L'essenziale è invisibile agli occhi" .....	328

L'allestimento "L'universo a portata di mano" .....	328
<b>8.4 EVENTI DI DIVULGAZIONE .....</b>	<b>328</b>
Le conferenze per il pubblico.....	328
La comunicazione e la divulgazione scientifica promossa localmente dalle strutture.....	330
<b>PROSPETTIVE .....</b>	<b>330</b>
<b>CAPITOLO IX - LE ATTIVITÀ DI IMPATTO SOCIO-ECONOMICO E DI TRASFERIMENTO TECNOLOGICO .....</b>	<b>332</b>
9.1 TRASFERIMENTO TECNOLOGICO .....	332
9.2 CONTO TERZI.....	335
9.3 SPIN-OFF.....	335
9.4 BREVETTI E PROPRIETÀ INTELLETTUALE.....	336
<b>CAP X - IL PIANO DI RIAMMODERNAMENTO GESTIONALE.....</b>	<b>338</b>
10.1 IL QUADRO NORMATIVO .....	338
Le disposizioni legislative generali.....	339
10.2 IL SISTEMA INFORMATIVO.....	339
<b>CAPITOLO XI - LA VALUTAZIONE INTERNA .....</b>	<b>342</b>
11.1 PRODUTTIVITÀ SCIENTIFICA.....	344
11.2 UNA PROSPETTIVA EUROPEA PER LA VALUTAZIONE .....	348
11.3 CONFRONTO INTERNAZIONALE .....	352
<b>INDICE ANALITICO .....</b>	<b>357</b>
<b>INDICE DELLE FIGURE E DELLE TABELLE.....</b>	<b>360</b>

## I CAPITOLO – Introduzione

Il Piano Triennale 2012-2014 presenta il piano di sviluppo delle attività dell'Ente nei prossimi tre anni a partire dal bilancio delle attività in corso.

È accompagnato da una scheda di sintesi (*/executive summary/*) che fornisce un compendio del piano stesso mettendone in rilievo gli aspetti salienti.

Questo piano incorpora i cambiamenti avvenuti nella legislazione a partire dallo scorso anno.

Con riguardo alla pianta organica e il suo sviluppo nei prossimi tre anni abbiamo tenuto conto della restrizione all'utilizzo del 20 per cento del budget di personale rimasto libero dal *turn over* dell'anno precedente. Ciò modifica in modo sostanziale e decisamente negativo le prospettive di sviluppo e ha profonde conseguenze sulla capacità di assorbimento da parte dell'Istituto di professionalità consolidate negli anni e acquisite tramite contratti a tempo determinato.

Un parziale respiro va ricercato nell'utilizzo sempre più sinergico dei progetti della comunità europea con le attività istituzionali dell'Ente e rende necessaria una crescita dell'attività di programmazione globale di tali progetti. Nei prossimi anni l'Ente intende anche ottimizzare la propria capacità di partecipazione ai progetti regionali a partire dall'esperienza di grande successo con la Regione Abruzzo incentrata sui Laboratori Nazionali del Gran Sasso.

Il cambio dovuto all'accantonamento nel fondo di funzionamento degli Enti di ricerca di una quota pari al tredici per cento del bilancio da distribuire su base premiale e per lo sviluppo dei progetti bandiera non è ancora pienamente operativo. Il premiale 2011 non è stato infatti ancora distribuito.

A questo proposito l'Istituto, da sempre favorevole a finanziamenti basati sul merito, è in serie difficoltà perché la quota dovuta non è stata assegnata nell'anno fiscale 2011. Il decreto ministeriale che ha fissato i riferimenti della valutazione per i progetti premiali è

stato emanato molto tardi e ci ha comunque permesso di presentare 17 progetti divisi tra quelli a carattere scientifico di base, in linea con la missione centrale dell'Ente, e quelli con orientamento applicativo. I primi sovente rappresentano la continuazione di linee di ricerca alle quali il nostro Paese attraverso l'INFN ha già dedicato notevoli investimenti e nel Piano viene evidenziato come i finanziamenti di oggi siano essenziali per poter trasformare quegli investimenti passati in conoscenza e tecnologia. Va ribadito che l'affievolirsi della vigorosa attività di competizione internazionale per sostenere tali sfide arresterebbe il filone innovativo che ne deriva. La seconda tipologia individua alcuni nuovi progetti che entrano a far parte di un insieme di attività sempre più vasto diretto all'utilizzo in campo sociale delle innovazioni tecnologiche derivanti dalle sfide della fisica di frontiera. Abbiamo inteso questi ultimi progetti anche come una forte volontà di entrare nel campo della competizione per i fondi europei che saranno disponibili nel prossimo programma quadro Horizon2020. Inoltre per consolidare la forza della ricerca italiana verso l'Europa l'Ente si è fatto promotore di una proposta condivisa con CNR e Elettra per la partecipazione alle Infrastrutture di Ricerca Europee in esercizio e costruzione.

Una quota del bilancio degli Enti viene salvaguardata per consentire l'attuazione per ora di alcuni progetti bandiera, in particolare per l'INFN SuperB. Il passo cruciale per lanciare il progetto SuperB è stato compiuto con la formazione del Consorzio Cabibbo Laboratory, inizialmente partecipato dall'INFN e dall'Università di Tor Vergata e aperto a future partnership. Ricordiamo infatti che la finestra temporale per un impatto internazionale del progetto richiede un passo spedito, precisi accordi e una *governance* che definisca il progetto esecutivo e permetta dopo l'analisi finale di costi e tempi di esecuzione il compimento del progetto. 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.

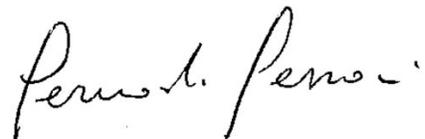
I prossimi tre anni sono gravidi di potenziali scoperte: il Large Hadron Collider di Ginevra, i cui esperimenti principali sono a guida italiana, è a un passo dal gettare certezze sul bosone di Higgs che costituirà una scoperta fondamentale, nella quale i possibili segnali di nuove simmetrie permetteranno 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 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.

Va ricordato inoltre che l'Istituto ha dato un apporto fondamentale alla realizzazione del CNAO di Pavia per il trattamento di patologie oncologiche con fasci di protoni e ioni carbonio. Il centro ha iniziato nel settembre 2011 le attività cliniche sperimentali con il trattamento dei primi pazienti.

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. La nomina del Direttore Generale ha permesso di avviare il processo per alcune modifiche strutturali dedicate ad una minore incidenza delle spese di funzionamento sul bilancio complessivo dell'Ente.

Fernando Ferroni - Presidente INFN



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

Per informazioni di carattere generale sull'Istituto si consulti il sito web: <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).

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



Fig.2.2: L'organizzazione manageriale e scientifica dell'INFN 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.

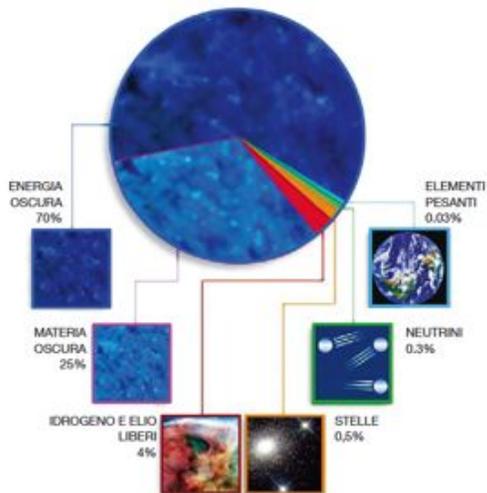


Fig.2.3: La composizione dell'Universo

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%, alla 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”.



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

Fig. 2.5: L'evoluzione dell'Universo

Fig. 2.6: Le particelle fondamentali del Modello Standard

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 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 da 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.

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 di energia caratteristici dei diversi tipi d'interazione (che sono bosoni): il fotone per le interazioni elettromagnetiche, i bosoni  $Z^0$  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.

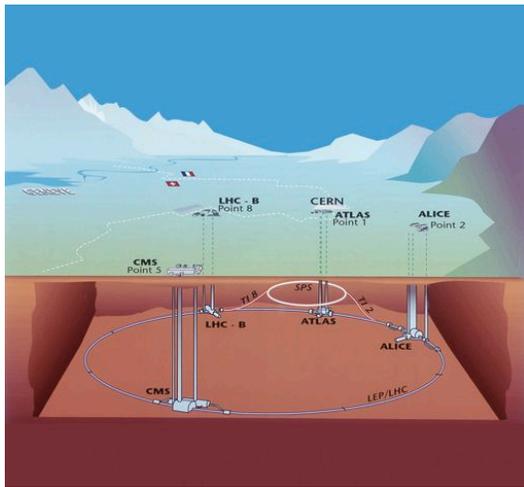


Fig. 2.8: L'anello di 27 km del Large Hadron Collider (LHC) al CERN di Ginevra

#### 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 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 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.

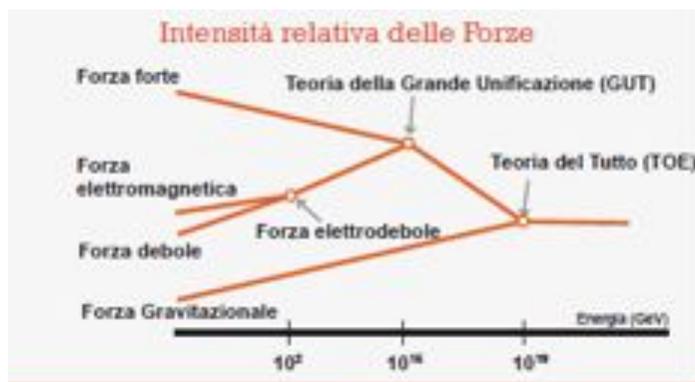


Fig. 2.9: L'“Unificazione” delle forze.



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 socioeconomico, 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.

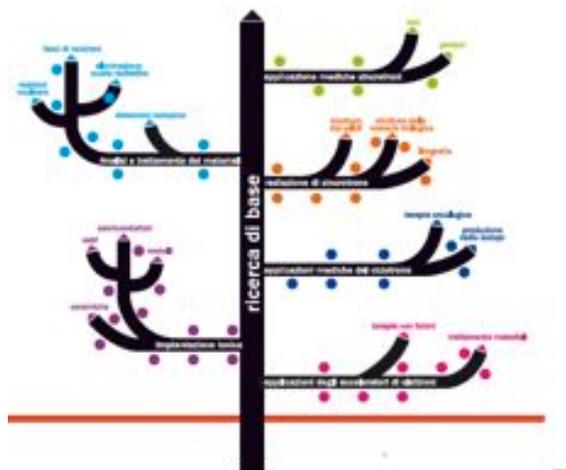


Fig.2.11: Ricadute tecnologiche dello sviluppo degli acceleratori di particelle.

## **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.

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.

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 (Large Electron Positron collider)	ALEPH, DELPHI, L3, OPAL	CERN
Studio della simmetria materia-antimateria	KLOE, NA62, MEG, PMLGE, BABAR, BESIII	LNF, CERN, PSI-Zurigo, SLAC, BEPC-Beijing
Fisica adronica	COMPASS, CDF, ZEUS, HERA-B, J-FNAL, E-831	CERN, FERMLAB, DESY-Amburgo
Nuova frontiera dell'alta intensità	P-SUPERB, P-ILC	
<b>Fisica astroparticellare</b>		
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	ARCO, 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, ROO, AURIGA	EGO-Casina + Spazio
Ricerche in Fisica generale fondamentale	MAGIA, MICRA, MIR, PVLAS, ...	
<b>Fisica nucleare</b>		
Struttura e dinamica degli adroni	MAMBO-JLAB12-PAX-PANDA, KAONNS	JLab, LNF, GSI, Bonn
Transizioni di fase della materia adronica	ALICE, EXOCHIM, FRAG	CERN, LNS, GSI
Struttura e reazioni nucleari	NUCLEX, EXOTIC, GAMMA, PRISMA, LNS-STREAM, SPEM	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, fotorivelatori 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

## **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 ed in particolare ospitano infrastrutture e facilities messe a disposizione della comunità internazionale.



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

*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. 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).

*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 l'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 al progetto CNAO di Pavia. I laboratori hanno anche dato vita a un'importante attività applicativa delle tecniche nucleari ai Beni Culturali. Infine LNS è impegnato nella realizzazione di un telescopio per neutrini cosmici di alta energia con dimensioni dell'ordine del km<sup>3</sup> a profondità abissali nel Mar Mediterraneo (progetto NEMO). Nell'ambito del progetto i LNS hanno già realizzato l'infrastruttura sottomarina di Portopalo di Capo Passero, costituita dalla stazione di terra (on-shore) collegata a un cavo elettro/ottico che termina a 80 km off-shore in un vasto plateau a 3500 m di profondità, sito ideale per l'installazione del telescopio. La stazione di terra di Capo Passero è collegata con la rete GARR a 10 Gbit/s. La collaborazione italiana guidata dai LNS, partecipa al consorzio europeo KM3NeT, inserito nella roadmap europea per le grandi infrastrutture di ricerca elaborata dall'European Strategy Forum on Research Infrastructures. 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 e tunnel di servizio per una superficie totale di 17800m<sup>2</sup>, 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 grande e importante laboratorio al mondo per la rivelazione di segnali deboli o rari, d'interesse per la fisica astroparticellare, subnucleare e nucleare. I temi principali di ricerca del laboratorio, frequentato da quasi 1000 ricercatori di cui circa il 60% stranieri provenienti da tutto il mondo, sono lo studio delle proprietà dei neutrini d'origine naturale o artificiale, in tutti i suoi aspetti: fisici, astrofisici e cosmologici, la ricerca diretta di materia oscura dell'Universo, e la misura delle sezioni d'urto dei processi nucleari che avvengono

all'interno delle stelle. Lo studio della proprietà dei neutrini di trasformarsi da una famiglia all'altra (oscillazione) è lo scopo principale del 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 ne registrano l'arrivo. OPERA ha già mostrato la prima evidenza al mondo in modo diretto della oscillazione di un neutrino mu in un neutrino tau. L'esperimento ICARUS, un innovativo rivelatore da 600 tonnellate di Argon liquido, tecnologia sviluppata da gruppi italiani, continua a mostrare le eccezionali capacità di fornire una visione in tre dimensioni degli eventi registrati. Di grande rilevanza sono state nel 2011 le misure del flusso di neutrini solari dell'esperimento Borexino, l'unico al mondo in grado di misurare in tempo reale i neutrini di più bassa energia dello spettro solare e uno dei due unici esperimenti al mondo in grado di rilevare neutrini provenienti dal centro della terra, i geoneutrini, fondamentali per meglio comprendere la produzione e il trasporto del calore all'interno del nostro pianeta. Altri temi d'elevato interesse riguardano lo studio di processi rari di decadimenti di particelle tramite gli esperimenti GERDA e CUORE. Nel 2011 l'esperimento GERDA ha iniziato la presa dati, mentre prosegue la costruzione di CUORE. Altro argomento di grande interesse è la caccia alle particelle della materia oscura dell'Universo con gli esperimenti DAMA, XENON 100 e CRESST. Mentre DAMA conferma la modulazione annuale del segnale compatibile con un effetto da materia oscura, Xenon 100 ha mostrato i migliori limiti di esclusione per l'interazione elastica di WIMPs intorno a 50 GeV.

#### **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 d'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 laboratorio più rilevante per l'attività di ricerca dell'INFN all'estero, 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. Al CERN opera la macchina acceleratrice LHC (*Large Hadron Collider*) che rappresenta con i

suoi 7 TeV di energia nel centro di massa la frontiera dell'energia della fisica subnucleare e a pieno regime LHC raggiungerà l'energia finale di 14 TeV nel centro di massa (il progresso della frontiera di tale energia dagli anni '30 a oggi è raffigurato nella fig. 2.13). L'Italia è tra i suoi maggiori Paesi membri e la partecipazione dei gruppi italiani è interamente coordinata dall'INFN.

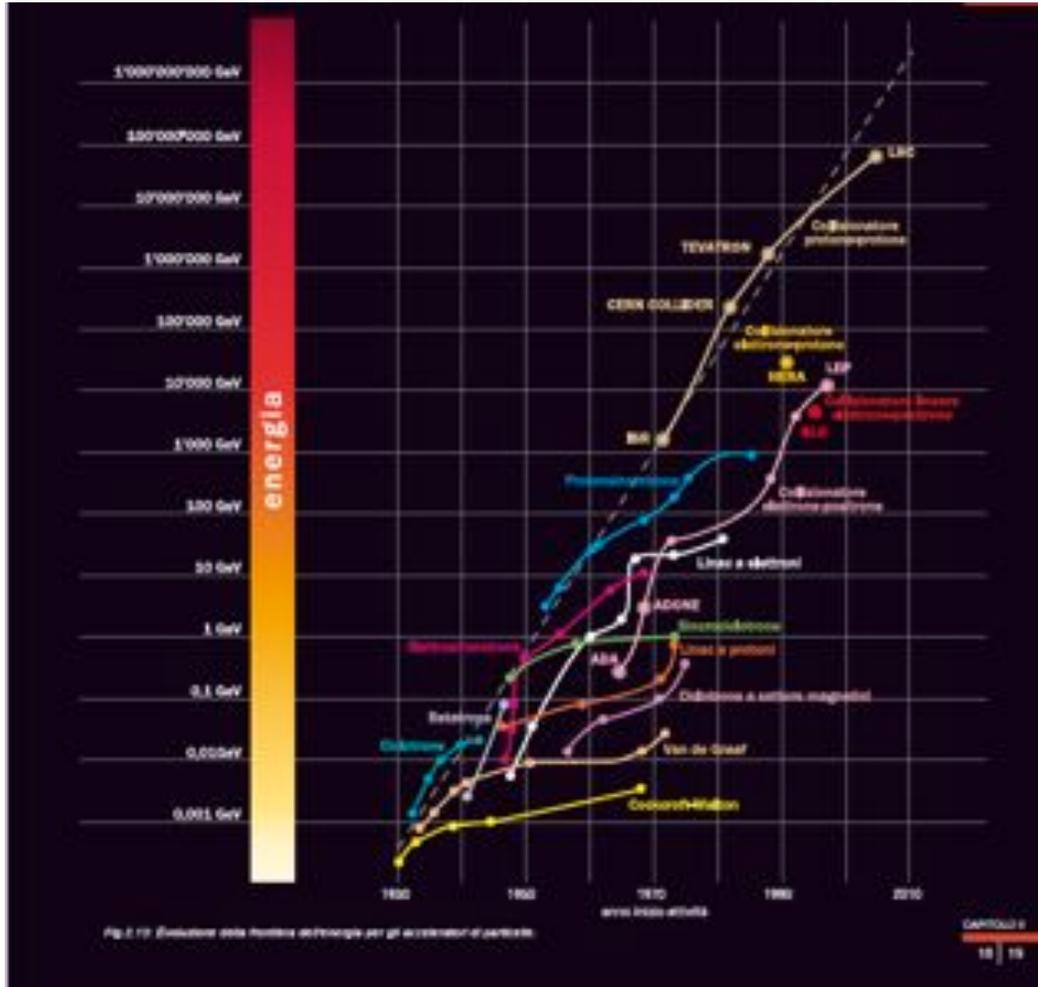


Fig. 2.13: Evoluzione della frontiera dell'energia per gli acceleratori di particelle

Accanto a CERN, molti altri sono i laboratori esteri nei quali è significativa la presenza dell'INFN. Una lista, peraltro non esaustiva, di questi si può evincere dalla tabella 2.1; le attività INFN che vi si svolgono verranno descritte nel successivo capitolo 3.

# III CAPITOLO - Piano programmatico di attività scientifica

## 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 spaziotemporali 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 con il suo coinvolgimento nella costruzione e fisica di una macchina ad alta "intensità" dedicata allo studio del quark chiamato beauty.

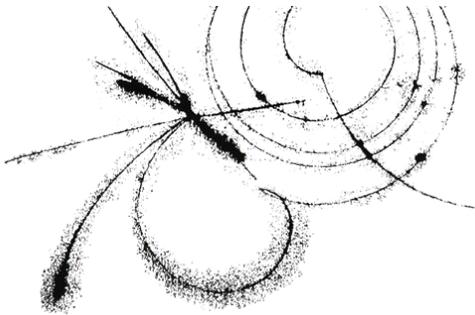


Fig.3.1: Tracce di particelle prodotte nella collisione di antiprotoni con un atomo di neon (CERN 1983).

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?

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 dal 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 principali linee di ricerca complementari. Quella della frontiera dell'energia, esemplificata oggi dal Large Hadron Collider (LHC), l'acceleratore che fornisce l'energia più alta al mondo, e quindi permette la formazione di nuove particelle finora inaccessibili, e quella della fisica del "flavor" in cui misure di precisione estrema sono sensibili a possibili effetti dovuti dell'esistenza di nuovi tipi di particelle. Questa seconda linea si sviluppa con esperimenti dedicati a più macchine acceleratrici, incluso lo stesso LHC; in passato particolare rilevanza hanno avuto le "fabbriche per la produzione di mesoni B" (B factories), PEP-II negli Usa e KEKB in Giappone. Evoluzioni di queste macchine con prospettive d'intensità dei fasci grandemente aumentata sono in fase di sviluppo in Giappone e in Italia.

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 821 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 2011 e fornisce un quadro complessivo dei finanziamenti erogati negli ultimi tre anni.

<b>Linea scientifica: CSN1</b>	
FTE INFN staff + art.23,15 (anno 2011)	275
FTE Associati staff (anno 2011)	321
Assegnisti, borsisti, dottorandi (anno 2011)	225
Totale risorse finanziarie spese 2009-2011 (M€)	64,3
di cui spese per investimenti (inventario, apparati) 2009-2011 (M€)	18,5

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 con gli esperimenti ATLAS, CMS, TOTEM e LHCf, mentre LHCb si prefigge lo studio della fisica del flavor a LHC. Questi esperimenti continuano il lavoro svolto al Tevatron di Fermilab (spento definitivamente nel settembre 2011 dopo 25 anni di operatività) da CDF e D0, che hanno 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 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) e a quella di  $\phi$  a LNF (KLOE), che hanno sfidato diverse misure di estrema precisione. Altri esperimenti hanno coperto settori altrettanto importanti. ZEUS alla macchina elettrone-protone di DESY ha studiato la struttura dei nucleoni. Altri esperimenti sono ancora in presa dati: COMPASS al CERN, che studia la struttura di spin del protone, e 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: il grande acceleratore sta dando agli esperimenti grandi quantità di dati e continuerà senza soste significative fino alla fine del 2012, per poi riprendere dopo una sosta di 18 mesi per raddoppiare l’energia della macchina. La ricerca del bosone di Higgs sta dando già ora risultati importanti: l’analisi dei dati di LHC permettere di escludere il bosone di Higgs in una regione di massa molto più ampia di quella precedentemente riportata dagli esperimenti al Tevatron (fig. 3.2) e potrebbe essere possibile la scoperta per la fine del 2012.

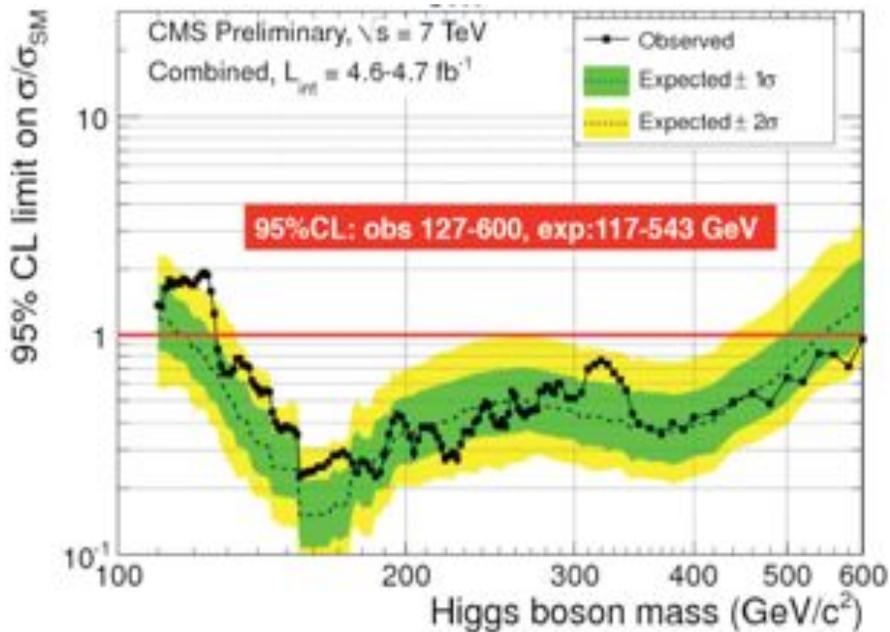


Fig. 3.2: Risultati dell'esperimento CMS sulla ricerca del bosone di Higgs. In funzione della massa del bosone di Higgs viene mostrato il limite al 95% di livello di confidenza sulla sezione d'urto di produzione normalizzato alla sezione d'urto attesa dal Modello Standard; valori inferiori a 1 escludono l'esistenza del bosone di Higgs a quella massa con questo livello di confidenza (CERN, 13 dicembre, 2011).

La partecipazione italiana agli esperimenti di LHC è estremamente importante: nel 2011 circa 650 persone tra ricercatori e tecnologi partecipano agli esperimenti supportati dalla CSN1, il 65% di tutta la CSN1, occupando spesso posizioni di rilievo e di grande responsabilità negli organi decisionali delle Collaborazioni. In riferimento al personale e al budget, LHC costituisce l'impegno primario e assorbe il 54% delle risorse della CSN1. La spesa globale sostenuta per questi esperimenti sino ad ora (su un periodo di più di 10 anni) raggiunge i 250 M€. Nel periodo 2009-2011, per sostenere la fine delle costruzioni, la messa in opera e il funzionamento, la CSN1 ha dedicato il 56% del suo budget (quindi circa 36 M€) a LHC.

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, dei calorimetri e dei tracciatori esterni per muoni, insieme alla corrispondente elettronica di lettura e di *trigger*.

L'acceleratore è ora operativo alla energia nel centro di massa di 7 TeV e ha raggiunto una luminosità di picco di  $3.6 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$  superando le previsioni 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 risultati di fisica sia nell'ambito del Modello Standard che della ricerca di nuova fisica. In particolare segnaliamo i nuovi limiti inferiori sulla massa di eventuali particelle supersimmetriche, come ad

esempio mostrato nella figura 3.3 e la recente misura, da parte di LHCb, dei parametri che regolano la violazione della simmetria di CP nel decadimento del mesone Bs, mostrata in figure 3.4.

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 la funzionalità del complesso sistema di gestione della grande quantità di dati raccolti.

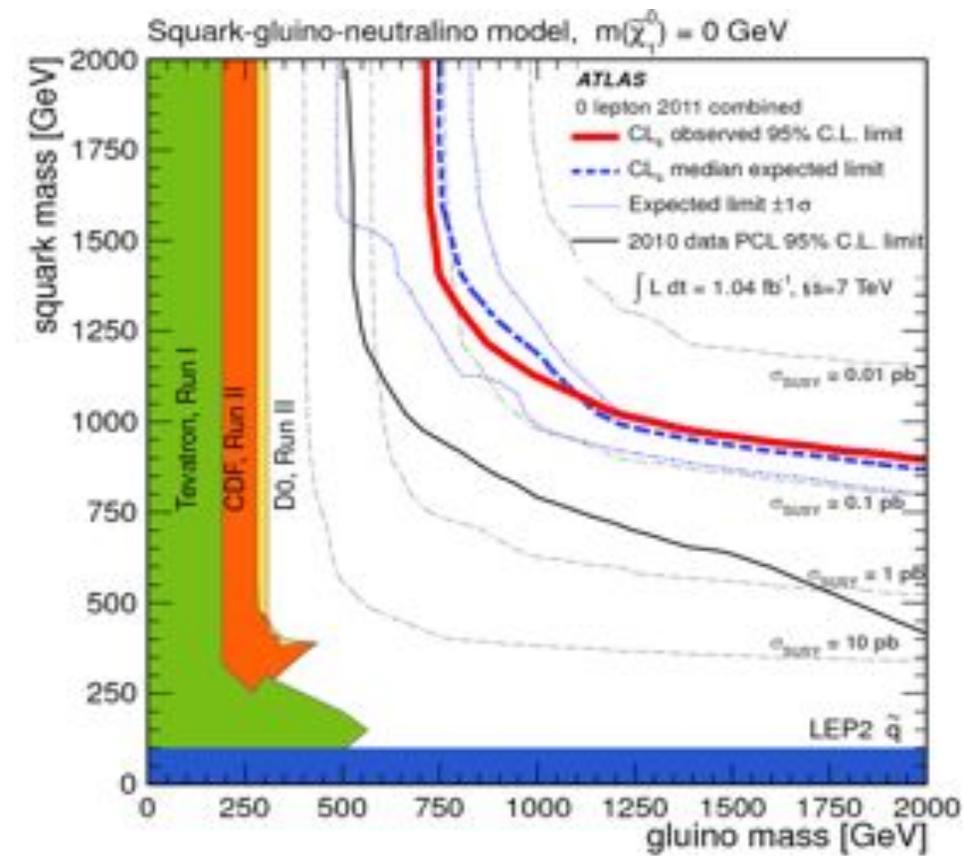


Fig. 3.3: Limiti alla massa di squarks e gluini ottenuti dall'esperimento ATLAS (linea arancione) confrontati con i precedenti risultati ottenuti a LEP e al Tevatron (CDF e D0) (HCP, Parigi, Novembre 2011).

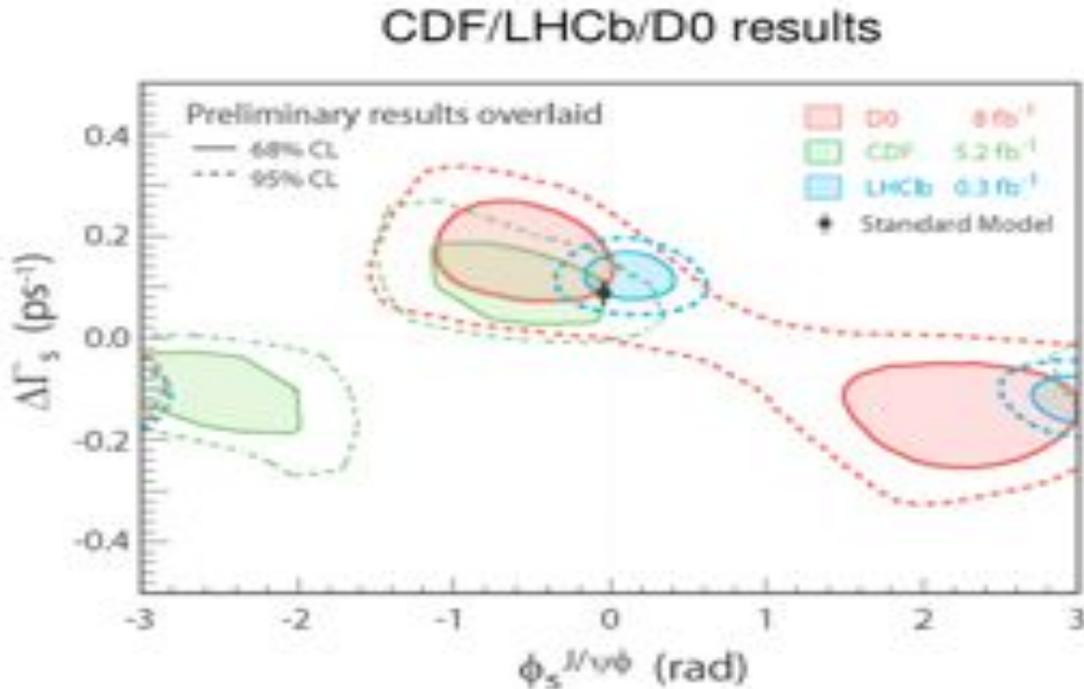


Fig. 3.4: Misura della differenza di larghezza e della fase di mixing del mesone Bs a LHCb confrontata con i precedenti risultati ottenuti al Tevatron (HCP, Parigi, Novembre 2011).

#### HIGHLIGHT del 2011

- ATLAS e CMS riscoprono il modello standard con precisioni comparabili ai precedenti esperimenti al Tevatron
- ATLAS e CMS escludono l'esistenza del bosone di Higgs in un'ampia regione di massa
- ATLAS e CMS mettono i limiti inferiori più alti al mondo sulla massa delle particelle supersimmetriche
- LHCb e CMS mettono il miglior limite sul rapporto di decadimento  $BR(B \rightarrow \mu \cdot \mu)$
- LHCb misura una significativa asimmetria nella produzione di mesoni charmati
- LHCb misura la differenza di larghezza e la fase di mixing del mesone Bs con precisione superiore agli esperimenti al Tevatron
- TOTEM misura la sezione d'urto protone-protone a 7 TeV con precisione del 3%
- CDF continua a produrre risultati competitivi nella ricerca di bosoni di Higgs di bassa massa

- **CDF misura una significativa asimmetria avanti-indietro nella produzione di quark top non prevista dagli attuali modelli**
- **MEG aggiorna l'analisi con la statistica raccolta nel 2010 e pone il miglior limite al mondo sul rapporto di decadimento del mesone  $\mu$  in elettrone e fotone**

### **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 a 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 a LHC.

E in particolare (ma non solo) da LHC-b 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.

E 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 cercheranno Nuova Fisica attraverso i sottili effetti che essa potrebbe indurre a energie più basse: MEG a PSI (Paul Scherrer Institute) in Svizzera, che sta pianificando un significativo potenziamento, NA62 al CERN, che sta completando la fase di costruzione, e KLOE a LNF.

Quest'ultimo esperimento ha iniziato una seconda campagna di raccolta dati la cui durata dipenderà dalla qualità del funzionamento dell'acceleratore DAFNE, la cui affidabilità si è ridotta a causa dell'invecchiamento di molti dei suoi componenti dopo oltre dieci anni di funzionamento; è comunque in corso un intenso programma di sostituzione delle parti più critiche. DAFNE è stato inoltre recentemente modificato per aumentarne significativamente le prestazioni, grazie a una soluzione molto innovativa sulla configurazione dell'ottica dei fasci.

Questa innovazione ha portato al disegno concettuale di un acceleratore che sarà il successore delle "fabbriche di B" del decennio scorso, PEP-II e KEKB, e che sarà complementare a una macchina analoga in costruzione in Giappone. Questo acceleratore, che supererà di un fattore 100 le prestazioni del passato, sarà realizzato nell'area dell'Università di Tor Vergata e costituirà un elemento di primato per la fisica delle particelle italiana.

Questo progetto è stato 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.

La frontiera dell'energia e la fisica del flavor 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 fisica del flavor (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 SuperB 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.

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 dei mesoni tau e mu 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, 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 e/o un Linear Collider prenda il testimone e spinga ancora oltre la frontiera della conoscenza.

#### **MILESTONE DEL PERIODO 2012-2014**

- **Raccolta di una luminosità integrata a LHC (CERN) negli anni 2012 e 2014 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 Teraeletto volt.**
- **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 2012 e 2013 e inizio della presa dati nel 2013 per la misura del decadimento ultrararo  $K^+ \rightarrow \pi^+ \nu \bar{\nu}$ .**
- **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.**

- **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/>

#### MISSIONE E STRUMENTI

La comprensione delle proprietà dei neutrini, la rivelazione diretta delle onde gravitazionali, l'identificazione dei costituenti della materia oscura, la spiegazione dell'assenza dell'antimateria nell'Universo e lo studio della radiazione cosmica costituiscono oggi alcuni tra gli obiettivi fondamentali alla frontiera della fisica fondamentale e corrispondono agli obiettivi scientifici della CSN2. Queste ricerche si svolgono spesso in particolari ambienti, naturali (es. spazio, profondità del mare) o artificiali (es. laboratori sotterranei), in modo da ottimizzare il rapporto tra segnale e fondo.

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.

- La fisica del neutrino si svolge principalmente presso Laboratori Nazionali del Gran Sasso (LNGS). Questo settore comprende esperimenti con sorgenti naturali come i neutrini solari (es BOREXINO), o con fasci di neutrini artificiali (OPERA, ICARUS-T600, T2K)
- Lo studio dei processi rari si svolge anch'essa principalmente ai LNGS. Questo settore comprende gli esperimenti per la materia oscura (DAMA, WARP, XENON), per il doppio

decadimento beta senza neutrini (CUORE, GERDA) ricerche, e per la ricerca di neutrini provenienti da collassi gravitazionali stellari (LVD).

- Lo studio dei raggi cosmici a terra si svolge con esperimenti ad alta quota o sottomarini. Questo settore comprende esperimenti sui raggi gamma (ARGO, MAGIC), sui raggi cosmici di altissima energia (AUGER) ed il nuovo settore dell'astronomia neutrinica (ANTARES, NEMO).
- Lo studio della radiazione cosmica con esperimenti nello spazio comprende l'astronomia con i raggi gamma di alta energia (AGILE, Fermi) la ricerca di antimateria primordiale e lo studio della composizione dei raggi cosmici (PAMELA, AMS02). Gli esperimenti spaziali sono realizzati in collaborazione con l'Agenzia Spaziale Italiana (ASI).
- La ricerca diretta delle onde gravitazionali è svolta utilizzando esperimenti a barre criogeniche (AURIGA, ROG), oppure i moderni rivelatori interferometrici a terra (VIRGO) e nello spazio LISA-Path Finder.
- Lo studio della fisica fondamentale: questo settore comprende esperimenti sulla gravità e sulle proprietà del vuoto quantistico.

#### **PRINCIPALI RISULTATI OTTENUTI NEL 2011**

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. Nel seguito è presentato un breve sommario del consuntivo scientifico del 2011, con l'obiettivo di delineare lo stato delle linee di ricerca senza necessariamente elencare tutte le attività in corso.

**Lo studio delle proprietà del neutrino** è uno dei temi portanti della fisica astro particellare. Negli anni '90 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 CNRS, esperimento OPERA ed esperimento ICARUS).

Il 2011 ha portato a dei risultati di grande rilevanza in questo settore. In Italia la misura di precisione da parte di BOREXINO del flusso dei neutrini solari della sequenza del  ${}^7\text{Be}$  ed il

limite sull'asimmetria giorno/notte, misure che hanno per messo di validare in modo indipendente l' "effetto materia" nelle oscillazioni di neutrino, nel caso del Large Mixing Angle (LMA) ; la misura preliminare da parte dell' esperimento OPERA della velocità superluminale dei neutrini del fascio CNGS (Cern - Gran Sasso), misura che, se confermata, avrebbe profonde conseguenze sulla nostra comprensione delle leggi fondamentali della natura.

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.

Il 2011 ha portato a dei risultati di grande rilevanza in questo settore. In Italia la misura di precisione da parte di BOREXINO del flusso dei neutrini solari della sequenza del  $^7\text{Be}$  ed il limite sull'asimmetria giorno/notte, misure che hanno per messo di validare in modo indipendente l' "effetto materia" nelle oscillazioni di neutrino, nel caso del Large Mixing Angle (LMA) ; la misura preliminare da parte dell' esperimento OPERA della velocità superluminale dei neutrini del fascio CNGS (Cern - Gran Sasso), misura che, se confermata, avrebbe profonde conseguenze sulla nostra comprensione delle leggi fondamentali della natura.

L'esperimento OPERA, principale utilizzatore del fascio di neutrini del CNGS per lo studio delle oscillazioni  $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ , ha continuato nel 2011 ad accumulare statistica. Il fascio CNGS ha ottenuto risultati particolarmente positivi in questo periodo, offrendo  $\sim 5 \cdot 10^{19}$  pot nel corso

di 223 giorni: nel periodo 2008-2011 il CNGS ha fornito  $12,7 \cdot 10^{19}$  pot, oltre il 50% del valore di progetto pari a  $22,5 \cdot 10^{19}$  pot. La decisione di estendere le operazioni di LHC fino alla fine del 2012 dovrebbe consentire di raggiungere, con un fascio CNGS operante in condizioni stabili, una luminosità integrata vicina al valore di progetto. L'analisi dei dati OPERA procede costantemente e siamo in attesa di nuovi risultati relativamente alle oscillazioni  $\nu_{\mu} \rightarrow \nu_{\tau}$ .

In Giappone, l'esperimento T2K, che vede la partecipazione dell'INFN, ha invece osservato la prima evidenza dell'oscillazione  $\nu_{\mu} \rightarrow \nu_e$ , un fenomeno che è sensibile all'angolo di mixing  $\theta_{13}$ , l'unico parametro rimasto ancora sconosciuto nella matrice che mescola i tre tipi di neutrini. Utilizzando solo  $1,4 \cdot 10^{20}$  protoni su bersaglio (pot), che corrisponde solo al 2% della statistica attesa, sono stati osservati 6 candidati, da confrontare con 1,5 eventi di fondo attesi. L'osservazione corrisponde ad un effetto di  $2,5 \sigma$ . Una volta che l'acceleratore J-PARC riprenderà le operazioni dopo il terribile terremoto che ha colpito il Giappone nel marzo 2011 vi è ampio spazio per determinare con precisione il valore di  $\theta_{13}$ , migliorando notevolmente la statistica. Il riavvio dell'attività sperimentale a J-PARC è previsto per l'inizio del 2012.

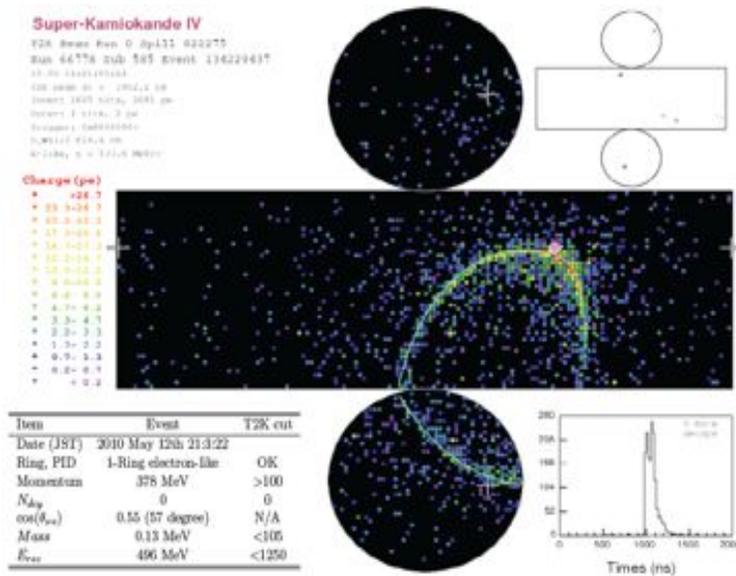


Fig. 3.5: Prima evidenza dell'oscillazione dei neutrini  $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ , osservata in Giappone dall'esperimento T2K che vede la partecipazione dell'INFN.

Sempre ai LNGS ICARUS T600 sta registrando, da più di un anno, gli eventi prodotti dal fascio di neutrini CNGS. È la prima volta che un grande rivelatore ad Argon liquido è operato per un lungo periodo come "camera di bolle" per neutrini: questo tipo di rivelatore ha la massa sufficientemente grande per rivelare le interazione dei neutrini, ma allo stesso tempo è in grado di fornire un'immagine 3D ad alta risoluzione degli eventi prodotti. Questa tecnologia, inventata da Carlo Rubbia e sviluppata negli ultimi dieci anni dall'INFN, è particolarmente adatta a sviluppare una nuova generazione di rivelatori di neutrini, rivelatori di materia oscura o rilevatori di decadimento del protone.

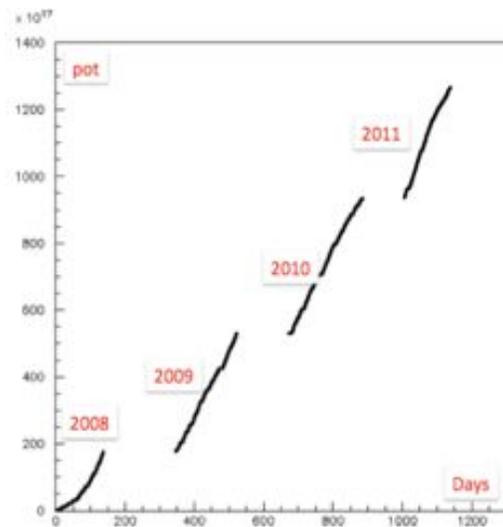


Fig. 3.6: Crescita del valore di luminosità integrata di CNGS dal 2008 al 2011.

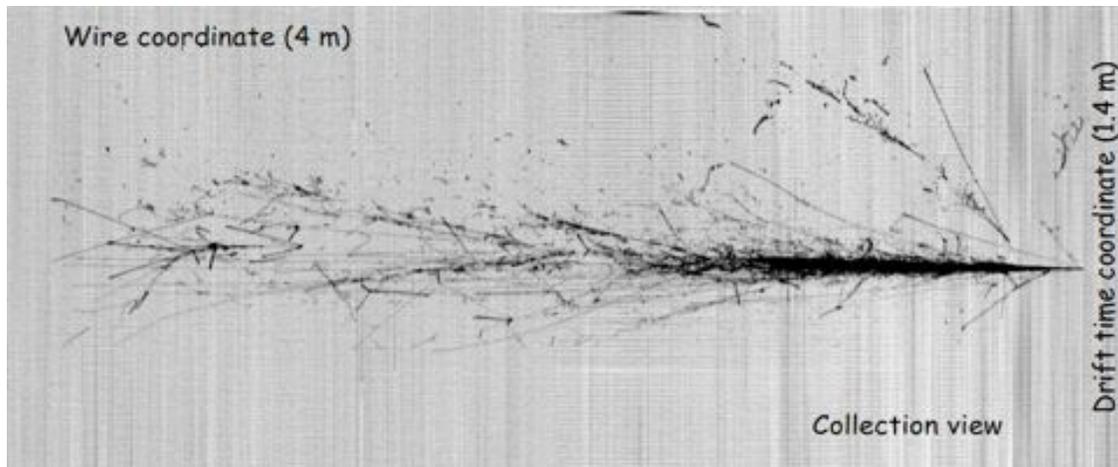


Fig. 3.7: Interazione di un  $\nu_{\mu}$  del CNGS osservata dal rivelatore ICARUS al LNGS

**La determinazione della massa del neutrino** è un altro tema importante in fisica del neutrino: se i neutrini sono particelle di Majorana, la massa del neutrino può essere determinata tramite il doppio decadimento beta senza neutrini nello stato finale ( $0\nu 2\beta$ ). L'INFN sta sviluppando due esperimenti volti a rilevare il decadimento  $0\nu 2\beta$ : un rivelatore di medie dimensioni che nel 2011 è entrato in funzione e che utilizza cristalli di germanio (GERDA) e un rivelatore di grandi dimensioni in fase di costruzione (CUORE), composto da circa 1000 bolometri criogenici di ossido di tellurio. La costruzione di CUORE, che vede una significativa partecipazione degli Stati Uniti, dovrebbe essere completata nel 2014.

**Studio diretto della radiazione cosmica nello spazio.** Nel 2011 sia AGILE che Fermi hanno osservato significative variazioni di intensità della sorgente Cignus-X3, una fonte di raggi gamma che è stata sempre considerata come una candela di riferimento per i raggi gamma. Per questa importante misura AGILE ha ricevuto il premio Bruno Rossi per il 2011. Durante questo periodo Fermi ha pubblicato numerosi lavori scientifici di alto livello, alcuni dei quali molto rilevanti per la fisica delle astroparticelle. In particolare, ha esteso la misura del rapporto positroni/elettroni fino a 250 GeV, abilmente sfruttando il campo magnetico terrestre come spettrometro di carica. Il risultato Fermi conferma la crescita della frazione di positroni oltre i 100 GeV osservati per la prima volta da PAMELA.

PAMELA è proseguito senza problemi il suo quarto anno di attività nello spazio, fornendo misurazioni di alta precisione della composizione dei raggi cosmici e del loro spettro

energetico. In particolare sono stati ottenuti due nuovi importanti risultati: l'osservazione di un imprevisto cambiamento della pendenza spettrale di protone ed elio ad energie superiori a 200 GeV e l'osservazione di una fascia di antiprotoni intrappolati nelle fasce di Van Allen, misurati all'interno dell' Anomalia del Sud Atlantico. Gli antiprotoni intrappolati in questa fascia hanno una intensità di flusso 1000 volte superiore a quello di origine galattica, a testimonianza di un efficace meccanismo di accumulo ed intrappolamento nel campo magnetico terrestre, probabilmente causato dal decadimento degli antineutroni prodotti nelle interazioni dei raggi cosmici con l'atmosfera terrestre.

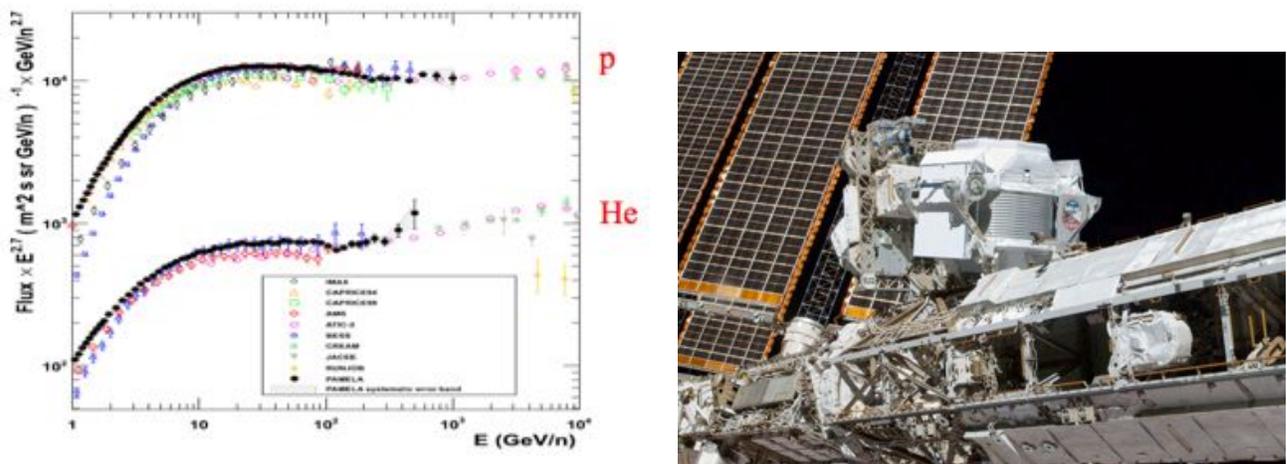


Fig. 3.8: Spettro del flusso di protoni e nuclei di elio cosmici, registrato dall'esperimento satellitare PAMELA - in orbita dal Giugno 2006.

Fig. 3.9: L'esperimento AMS-02, installato sulla Stazione Spaziale Internazionale nel Maggio 2011

Il 16 maggio 2011, il rivelatore AMS-02 è stato messo in orbita sulla Stazione Spaziale Internazionale (ISS) durante la missione STS-134 dello Shuttle, da dove ha iniziato a raccogliere dati il 19 maggio. Dopo quasi 17 anni di preparazione ed esattamente un secolo dopo la scoperta dei raggi cosmici da parte di Victor Hess, il grande spettrometro magnetico per la ricerca dell' antimateria ha iniziato le sue misure. Con la sua grande accettazione e la decennale operatività, AMS-02 fornirà un sostanziale aumento in sensibilità nella ricerca nei raggi cosmici di fenomeni rari e/o nuovi.

**Nel settore della radiazione cosmica da terra** ci sono stati molti risultati importanti sui raggi gamma, la misura dei raggi cosmici di energia estrema (EECR) e l'astronomia neutrinica.

Nel settore dei raggi gamma di alta energia i due telescopi Cerenkov del rivelatore MAGIC operano ora in modalità stereo, con una sensibilità significativamente più alta per i raggi gamma di bassa energia: la soglia è attualmente al di sotto dei 50 GeV, la più bassa per questo tipo di rivelatori, permettendo MAGIC di sovrapporre i suoi risultati con le misure di rivelatori spaziali come Fermi.

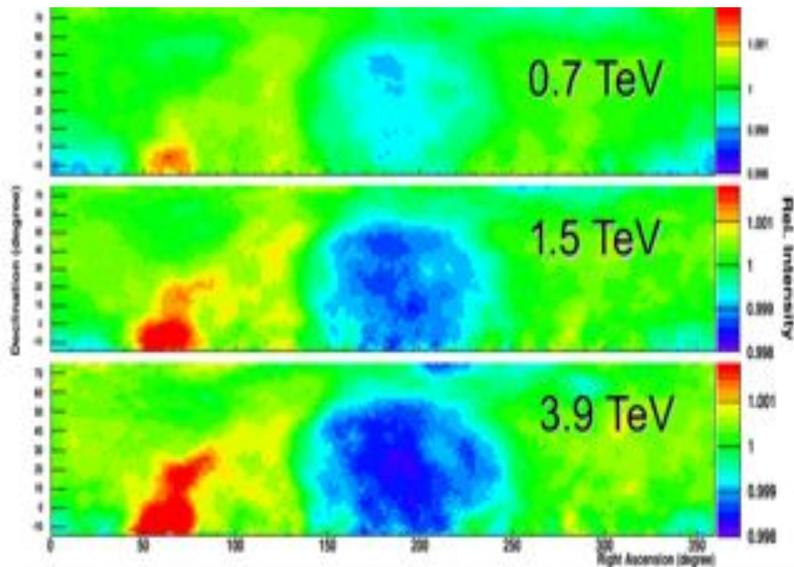


Fig. 3.10: Anisotropia nei raggi cosmici a energie dell'ordine del TeV, osservata dall'esperimento ARGO, in Tibet.

Un gran numero di risultati sono stati ottenuti dall' esperimento ARGO in Tibet, tra cui le prime osservazioni del Granchio e di altri emettitori di gamma di altissima energia con un rivelatore di superficie. ARGO ha inoltre osservato l'esistenza di una inaspettata anisotropia nel flusso dei raggi cosmici a livello di frazioni di per mille. Una spiegazione convincente di questi effetti non è ancora stata proposta.

Dal suo completamento alla fine del 2008, il grande rivelatore Auger in Argentina ha funzionato senza interruzioni, confermando con sempre maggiore evidenza l'esistenza del cutoff previsto da GZK. All'aumentare della statistica l'evidenza della presenza di sorgenti di EECR è però diventata più debole ( $2-3 \sigma$ ).

Nelle profondità del mare Mediterraneo il telescopio per neutrini ANTARES ha continuato a prendere dati con tutti e 12 le torri di rivelazione in condizioni di funzionamento stabile. Alla fine del 2011 è stato approvato su fondi PON il progetto KM3NET presso il laboratorio del Sud dell' INFN (LNS): si tratta della realizzazione, nel periodo 2012-2014, di 20 torri da installare nelle acque del mar Ionio, di fronte a Capo Passero. Si tratta del primo passo importante per la realizzazione di un rivelatore sottomarino di grande volume in grado di affrontare la ricerca di neutrini di origine galattica.

**Nel settore della ricerca della materia oscura** sono in corso ricerche sia di tipo diretto, presso i LNGS, che indiretto, con esperimenti nello spazio e a terra. 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 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 approvato nel 2011 e Dark Side in corso di approvazione) e nello spazio (AMS-02, lanciato nel 2011) nonché le misure all' LHC daranno un contributo auspicabilmente decisivo alla comprensione di questo importantissimo problema della fisica contemporanea.

Per quanto riguarda in particolare **la ricerca diretta della materia oscura**, il Laboratorio del Gran Sasso è il riferimento mondiale per questo tipo di ricerche, ospitando 4 tra gli esperimenti più importanti in questo campo, DAMA/LIBRA, XENON100, CRESST e, prossimamente, Dark-Side.

DAMA/LIBRA è un rivelatore basato su scintillatori a bassissimo fondo di NaI: nel 2011 DAMA ha proseguito la presa dati con dei nuovi fotomoltiplicatori che garantiranno una migliore sensibilità nella regione critica al di sotto di 2 keV. Ad oggi DAMA è ancora l'unico esperimento che mostra un chiaro effetto ( $9 \sigma$ ) di modulazione stagionale, che potrebbe essere dovuto alla materia oscura. Nel 2011, tuttavia, l'esperimento US Cogent annunciato

una prima evidenza per un analogo effetto di modulazione, in questo caso con un rivelatore di germanio. Questa misura richiede un miglioramento della significanza statistica, ma è evidentemente importante, poiché sarebbe la prima conferma indipendente delle misure di DAMA.

Nel 2011 è stata approvata la partecipazione dell'INFN all'esperimento XENON100 e al futuro esperimento XENON1T. XENON100 ha presentato un miglioramento statistico di dieci volte rispetto ai dati pubblicati nel 2010: con un'esposizione di 100,9 giorni x 62 kg, sono stati osservati 3 eventi nella regione del segnale, contro 1,8 eventi di fondo attesi. Questa misura rappresenta attualmente il migliore limite sulla materia oscura ottenuto con esperimenti basati su liquidi criogenici. Nel corso del 2011 il Consiglio Direttivo dell'INFN ha approvato la partecipazione italiana all'esperimento XENON1T presso i LNGS, confermando il ruolo di leader mondiale dei LNGS nel settore della Materia Oscura.

**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 (progetto Advanced Virgo, AV). A partire dall'estate 2011 e fino al 2014 l'interferometro VIRGO, non sarà operativo: per questo motivo l'INFN manterrà in funzione due delle tre barre criogeniche, Nautilus e Auriga; la terza, Explorer, è stata chiusa alla fine del 2010.

**Nel settore della Fisica Generale** lo sviluppo di esperimenti ultrasensibili come MAGIA e Micra, basati sull'impiego dell'interferometria atomica nei condensati di Bose Einstein, suscita molto interesse a causa della potenziale sensibilità di queste tecniche che potrebbero permettere di ridurre la complessità degli interferometri laser per le onde gravitazionali. Lo studio delle proprietà del vuoto quantistico è un altro tema di interesse della Commissione con gli esperimenti MIR, dedicato allo studio dell'effetto Casimir dinamico e PVLAS dedicato alla misura della birifrangenza quantistica del vuoto.

Nel settore spaziale, il lancio del satellite LARES, progettato per testare accuratamente l'effetto Lense-Thirring, e previsto per l'inizio di febbraio 2012, permetterà un grande miglioramento della sensibilità dei test di relatività generale.

## **CARATTERISTICHE DELLE ATTIVITÀ DI RICERCA DELLA CNS2**

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.

L'attività spaziale dell'INFN ha raggiunto nel 2011 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 CNS2, settore su cui l'Istituto è impegnato dalla metà degli anni '90, nell'ambito di una forte collaborazione con l'ASI. Gli sviluppi nel settore della strumentazione nello spazio realizzati 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.

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

<b>Linea scientifica: CSN2</b>	
FTE INFN staff + art.23,15 (anno 2011)	153,2
FTE Associati staff (anno 2011)	259,6
Assegnisti, borsisti, dottorandi (anno 2011)	197,8
Totale risorse finanziarie spese 2009-2011 (k€)	42.121,5
di cui spese per investimenti (inv., c.a.) 2009-2011 (k€)	9.865,5

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

#### **PROSPETTIVE A 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, VIRGO, ed il settore spaziale.

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 Pathfinder.

I Laboratori del Gran Sasso, sono attualmente 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.

Nel settore spaziale, la messa in orbita di AMS-02 permetterà di effettuare un progresso sostanziale nella ricerca delle componenti rare dei raggi cosmici.

Lo studio dei raggi cosmici a energie estreme rappresenta infine una consolidata linea di sviluppo dell' INFN, con esperimenti sia a terra (AUGER) che in prospettiva nello spazio (JEM-EUSO).

L'approvazione del progetto KM3NET a Catania, concretizza un investimento decennale di R&D effettuato dall' Istituto e offre una importante occasione di leadership europea nel settore dell'astronomia neutrinica

#### **HIGHLIGHT DEL 2011**

- **BOREXINO, presso i Laboratori del Gran Sasso, ha misurato con precisione il flusso di neutrini solari della sequenza del  ${}^7\text{Be}$  e ha posto un limite sull'asimmetria giorno/notte**
- **OPERA, presso i Laboratori del Gran Sasso, ha presentato una misura preliminare che indica come i neutrini possano essere superluminali**
- **T2K, in Giappone ha osservato i primi eventi di oscillazione  $\nu_{\mu} \rightarrow \nu_e$ , e fornito le prime indicazioni sul valore dell' angolo di mescolamento  $\theta_{13}$**
- **Fermi ha esteso la misura del rapporto tra positroni ed elettroni fino a 250 GeV confermando ed estendendo la misura di PAMELA**
- **PAMELA ha osservato un notevole flusso di antiprotoni nelle fasce di Van Allen e determinato un inatteso cambio di pendenza dello spettro di protoni ed elio nella regione di energia sopra i 200 GeV**
- **AMS-02 è stato lanciato con il penultimo volo dello Shuttle ed installato sulla ISS dove prenderà dati per almeno 10 anni**

#### **MILESTONE DEL PERIODO 2012-2014**

- **Pubblicazione primi risultati di AMS-02 sulle misure di precisione della composizione dei raggi cosmici**
- **Pubblicazioni risultati 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 (2012) della presa dati e della relativa analisi (2012-14) 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.**

- **Verifica della misura della velocità dei neutrini nel fascio CNGS (esperimenti OPERA, BOREXINO, LVD, ICARUS) (2012)**
- **Lancio di LISA Pathfinder (2013), il dimostratore tecnologico dell' interferometro spaziale LISA per la ricerca delle onde gravitazionali**
- **Costruzione (2012-2014) 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 (2012-2014) del rivelatore XENON 1T presso i Laboratori del Gran Sasso, per lo studio della materia oscura con metodi diretti.**
- **Costruzione (2012-2014) dell'osservatorio sottomarino di neutrini KM3NET che prevede la realizzazione di una grande matrice di rivelatori sottomarini al largo della Sicilia meridionale.**
- **Misura dell'effetto Lense-Thirring con il satellite geodetico LARES**

#### **RISORSE ADDIZIONALI (2012-2114)**

Settore Spaziale: provenienza ASI, mediamente 1,5 m€/anno (Pamela, Fermi, AMS-02, Lisa Pathfinder)

KM3NET: mediamente 2 M€/anno, provenienza MIUR (dal 2010) e EU (2010-2012). PON Sicilia, 20,7 M€ (2012-14)

Progetti ERC: mediamente 1,5 M€/anno (non nel bilancio della CSN2) . Junior RARENOISE, Senior LUCIFER

Progetto Adv. Mediamente 2 M€/anno (sia nel bilancio della CSN2, che nel bilancio dell' INFN), (2009-2011)

#### **INFRASTRUTTURE PER LA RICERCA (2012-2014)**

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.

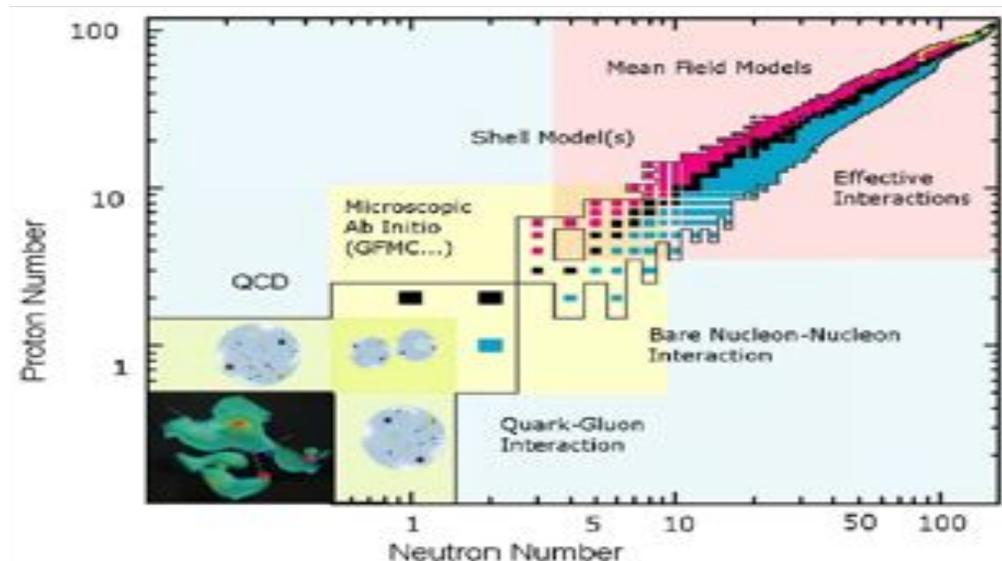


Fig. 3.11: La carta dei nuclei con indicati i diversi modelli e le loro regioni di applicazione, a partire dalla struttura del nucleone fino alla struttura dei nuclei più complessi.

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 2011, del personale che svolge le attività di fisica nucleare e le risorse finanziarie utilizzate nel triennio 2009-2011.

<b>Linea scientifica: CSN3</b>	
FTE INFN staff + art.23,15 (anno 2011)	158
FTE Associati staff (anno 2011)	237
Assegnisti, borsisti, dottorandi (anno 2011)	146
Totale risorse finanziarie spese 2009-2011 (M€)	31,2
di cui spese per investimenti (inv., c.a.) 2009-2011 (M€)	9.8

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 (meglio nota come Cromo Dinamica Quantistica, Quantum Chromo Dynamics o QCD) non è ancora in grado di spiegare in modo esauriente la struttura 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 penetrare 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 e di mesoni predetti dai modelli a quark ma non ancora identificati, ed 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.

Inoltre l'elevata qualità del fascio di elettroni di JLab ed in particolare l'elevato grado di polarizzazione permette di controllare la produzione all'interno del nucleo di adroni diversi dai nucleoni, in particolare particelle Lambda dotate di sapore stranezza (quark "strano") che interagiscono con i nucleoni presenti formando i cosiddetti ipernuclei. Questo permette di comprendere in maggior dettaglio le diverse proprietà dell'interazione forte in presenza di materia nucleare.

Fra i vari adroni dotati di stranezza sono di particolare interesse i kaoni che possono essere catturati da un nucleo formando atomi kaonici in cui un kaone si muove su "orbitè" con raggi circa 1000 volte minori di quelle tipicamente elettroniche (esperimento SIDDARTHA). La sperimentazione con kaoni presso LNF ha portato alla misura più precisa di sempre del sistema protone-kaone (idrogeno kaonico), alle prime misure al mondo di  $^3\text{He}$  kaonico e di  $^4\text{He}$  kaonico con un bersaglio gassoso, grazie agli alti valori di luminosità ottenuti per il collisionatore DAFNE e ad una maggiore precisione dei rivelatori. I risultati di SIDDHARTA permettono di ottenere informazioni uniche sull'interazione kaone-nucleo/nucleone a bassa energia e sono oggetto di notevole interesse da parte di un'ampia comunità di fisici teorici che lavorano nel campo della QCD in regime non-perturbativo nel settore con stranezza.

I risultati ottenuti sugli ipernuclei sia a JLab che presso i LNF sono d'interesse per i modelli che descrivono l'interno delle stelle di neutroni ed hanno avuto 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 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. Questa attività ha ottenuto come riconoscimento la scelta da parte della collaborazione internazionale di PANDA della tecnologia proposta dai ricercatori italiani per il tracciatore, tecnologia basata sugli "Straw Tubes" per la quale è già

stato scritto il Technical Design Report. 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 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. 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.

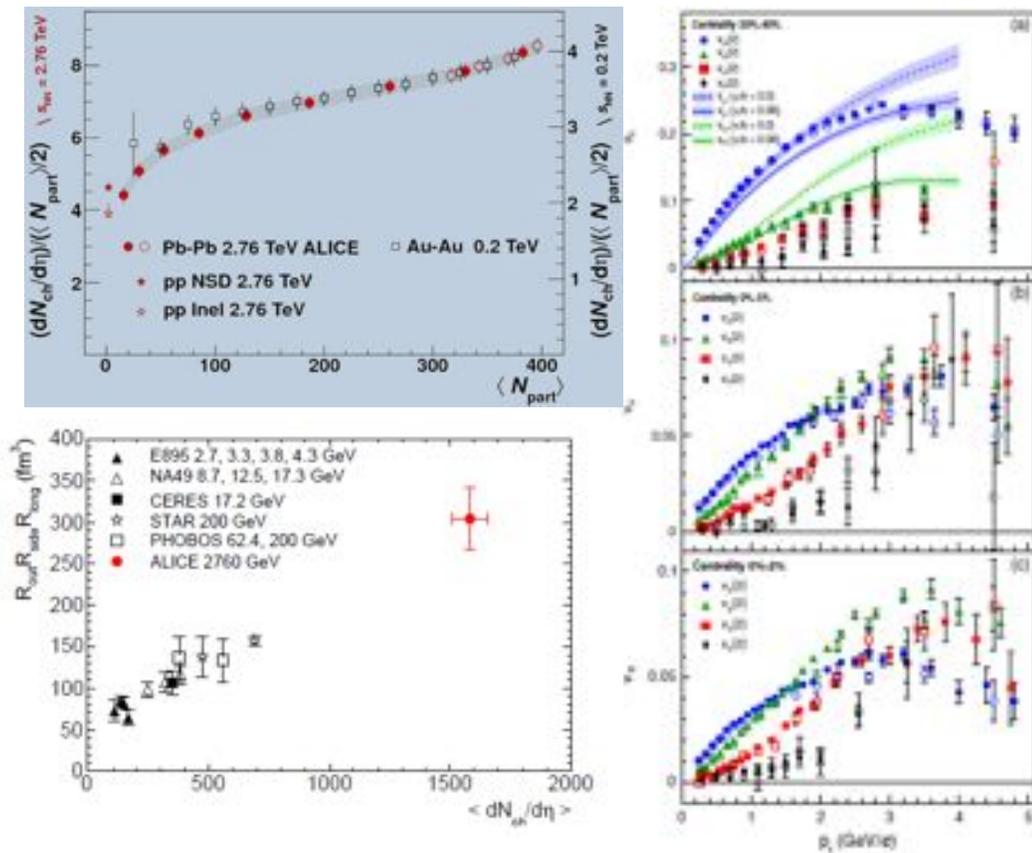


Fig. 3.12: Alcuni tra i risultati più interessanti ottenuti da ALICE nel 2011 in interazioni centrali Pb-Pb a 2.76 TeV/nucleone. A sinistra (in alto) è mostrata la densità di particelle cariche in funzione

della centralità (Phys. Rev. Lett. 106, 032301 (2011)); il grafico di sinistra (in basso) mostra i risultati dell'analisi delle correlazioni HBT: prodotto  $R_{out} * R_{side} * R_{long}$  per  $k_T=0.3$  GeV/c (Phys. Lett. B 696 (2011) 328); In entrambi i grafici i risultati di ALICE sono paragonati con misure a energie inferiori. A destra sono mostrate le misure del flusso di particelle cariche in termini di  $v_2, v_3, v_4,$  e  $v_5$  in funzione del momento trasverso per tre differenti intervalli di centralità.

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 2011 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 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.

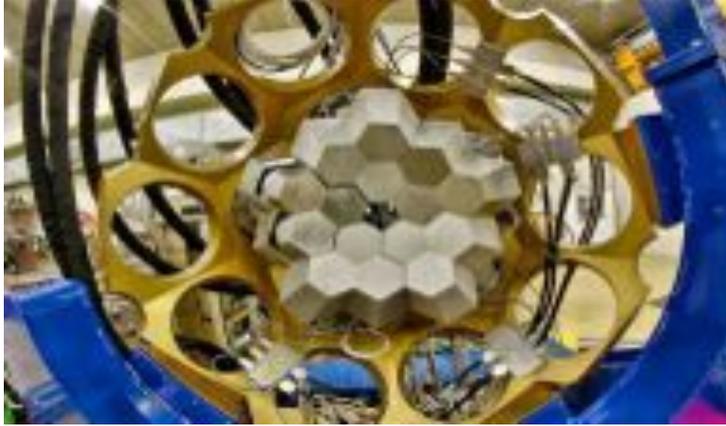


Fig. 3.13: Il dimostratore del rivelatore AGATA, che usa la tecnica del tracciamento dell'interazione gamma con la materia, montato ai Laboratori Nazionali di Legnaro.

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, DREAMS, LNS\_STREAM) ma anche i fasci di ioni radioattivi dei laboratori esteri, in particolare, in Europa, 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 molti 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 si è conclusa nel dicembre 2011 la prima serie di misure con il 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 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 per l'origine ed evoluzione delle nostre galassie, per le abbondanze degli elementi e per la fisica dei neutrini, nonché ovviamente per la produzione di energia nei diversi ambienti stellari. 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.

L'esperimento LUNA3 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 nelle stelle più massive del Sole. È inoltre iniziata una misura finalizzata a capire perché i modelli di nucleo sintesi primordiale 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 tensione massima di terminale 3.5 MV con cui studiare la reazione  ${}^{12}\text{C}(\alpha,\gamma){}^{16}\text{O}$  e le reazioni  $(\alpha,n)$  su  ${}^{13}\text{C}$  e  ${}^{22}\text{Ne}$ . Queste ultime reazioni danno luogo al flusso di neutroni che permette l'innescare dei processi s e la formazione degli elementi pesanti nelle stelle.

Un diverso approccio è stato seguito da ERNA, che ha basato lo studio delle reazioni di cattura radiativa sull'uso di un bersaglio gassoso e un separatore di massa per la rivelazione di ioni di rinculo. Sono state studiate le reazioni chiave della combustione stellare dell'elio e del carbonio:  $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ ,  $^{12}\text{C}(\alpha,\gamma)^{16}\text{O}$  e la  $^3\text{He}(\alpha,\gamma)^7\text{Be}$ , ottenendo, negli ultimi due casi, per queste reazioni per la prima volta una misura diretta della sezione d'urto totale e una precisione molto vicina a quella richiesta dai modelli stellari.

Una via alternativa, e in molti casi complementare, alle misure dirette è fornita dai metodi indiretti. In questo ambito, la collaborazione ASFIN ha sviluppato e utilizza con successo la tecnica del "Cavallo di Troia". Sono di rilievo in questo contesto i dati relativi al problema della scarsità degli elementi Li, B e Be, utili ai 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 nucleo-sintesi 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. In particolare farà ricerca utile per gli sviluppi nel campo della produzione di 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'anti-idrogeno (l'atomo più semplice di antimateria), sulle sezioni d'urto di antiprotoni a energie di pochi keV e sulla verifica della simmetria CPT e della validità del principio di equivalenza per antimateria sono in corso al CERN da parte della collaborazione AEGIS.

Sempre nel campo della fisica fondamentale, lo scopo principale dell'esperimento VIP presso i LNGS è misurare gli effetti di possibili violazioni del principio di esclusione di Pauli con una sensibilità migliore rispetto a quanto ottenuto finora, rivelando eventuali transizioni di elettroni verso livelli energetici completamente occupati.

## **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. Queste attività sperimentali forniranno 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 dopo il completamento della preparazione del nuovo tracciatore indispensabile per partire con la sperimentazione con i fasci a 12 GeV, intende portare avanti la realizzazione del rivelatore per elettroni diffusi a piccoli angoli necessario per la ricerca di nuovi mesoni.

Per l'ambizioso studio del plasma di quark e gluoni 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. A tale scopo ALICE dovrà potenziare i centri GRID come previsto nei piani pluriennali e preparare 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 da 3.5 MV. In quest'ambito si rafforzerà la collaborazione internazionale. Il tema di punta è

quello legato all'abbondanza di carbonio e ossigeno negli ambienti stellari. Inoltre le misure in programma consentiranno di ottenere informazioni essenziali per la nucleosintesi degli elementi in un ampio intervallo di masse.

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 2011**

- **Presso il JLab è stata condotta l'estensione a grandi valori dell'impulso trasferito della misura del fattore di forma elastico del protone mediante la polarizzazione di rinculo. La misura di altissima precisione ha posto limiti stringenti sui modelli che descrivono la distribuzione di carica elettrica nel protone.**
- **Nel 2011 l'attività di analisi di ALICE è risultata particolarmente intensa e produttiva, portando risultati molto interessanti alla comunità scientifica circa le caratteristiche degli eventi di collisione Pb-Pb e in collisioni pp. In particolare è stata effettuata la misura:**
  - **della densità di particelle cariche per unità di pseudorapidità;**
  - **del flusso ellittico di particelle cariche;**
  - **degli spettri di momento trasverso delle particelle cariche;**
  - **delle correlazioni HBT;**
  - **della produzione di  $J/\psi$  e di adroni charmati in interazioni Pb-Pb e pp;**
- **A Dicembre 2011 si è conclusa ai LNL la campagna di misure con il dimostratore di AGATA, utilizzato anche in accoppiamento con lo spettrometro a grande accettazione e risoluzione PRISMA. Di particolare rilevanza sono i risultati ottenuti in misure di vita media di livelli popolati mediante reazioni di trasferimento di nucleoni.**
- **Sia ai LNS, con l'apparato CHIMERA, che ai LNL, nell'ambito della collaborazione NUCLEX, sono continuate misure atte ad evidenziare effetti di isospin in reazioni tra ioni pesanti, ottenendo informazioni sull'energia di simmetria, importante per le stelle di neutroni.**
- **Presso i LNF è stata effettuata la prima misura mondiale di atomi kaonici di  $^3\text{He}$ .**

- Gli esperimenti LUNA3, ERNA e ASFIN hanno continuato lo studio sistematico dei meccanismi che regolano i processi reazioni nucleari riguardanti la combustione dell'idrogeno in particolare nel ciclo CNO che coinvolge i nuclei di Carbonio, Azoto e Ossigeno.

#### **MILESTONE DEL PERIODO 2012-2014**

- 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 QCD.
- 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.
- Definizione dell'upgrade dei rivelatori di ALICE, necessario per sfruttare al meglio le prestazioni di più alta luminosità prevista da LHC, oltre che alla possibilità di ampliare il programma di fisica dell'esperimento.
- Potenziamento ed upgrading degli apparati sperimentali del LNL in preparazione dei fasci potenziati del complesso PIAVE-ALPI e di SPES.
- Inizio di un'attività ai LNS con fasci radioattivi prodotti da frammentazione ed 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/>

#### PREMESSA

L'attività scientifica della CSN4 è organizzata in sei settori (detti Linee Scientifiche) che coprono i campi più importanti della ricerca in fisica teorica, e cioè

- Stringhe e teoria dei campi
- Fenomenologia delle particelle elementari
- Fisica nucleare e adronica
- Metodi matematici
- Fisica astroparticellare e cosmologia
- Meccanica statistica e teoria dei campi applicata

Questa attività si sviluppa in stretta connessione sia con il mondo accademico sia con altri enti di ricerca in Italia e all'estero. La varietà e la qualità della ricerca svolta dalla CSN4 sono dimostrate dall'alto numero di pubblicazioni, citazioni e relazioni a conferenze internazionali. Molte delle ricerche teoriche si svolgono in stretto collegamento con le attività sperimentali dell'INFN in fisica delle particelle elementari, in fisica nucleare e in fisica astroparticellare coordinate dalle altre CSN dell'INFN. Le collaborazioni internazionali sono fortemente supportate dalla CSN4 che infatti utilizza gran parte del suo budget totale per scambi con istituzioni straniere. Inoltre, gli accordi dell' INFN con ITEP, JINR, IHEP (Russia), MEC (Spagna), MIT (USA), ICTP e ECT\* (Italia) vengono intensamente sfruttati dai fisici teorici della CSN4 e forniscono ulteriori opportunità per scambi e collaborazioni internazionali. Un'attività importante e tradizionale della CSN4 è la formazione di giovani ricercatori e studenti. Ciò si riflette anche nell'elevato numero di pubblicazioni con dottori di ricerca e dottorandi che rappresentano infatti oltre il 30% della produzione scientifica totale della CSN4.

## ATTIVITÀ SCIENTIFICA

Lo studio dei problemi fondamentali della fisica nucleare e delle particelle elementari è entrato in una fase di grande interesse a causa dello sviluppo dei fronti sperimentali lungo le linee dell'alta energia, dell'alta intensità e della fisica astroparticellare. Il cosiddetto "fronte dell'alta energia" consiste nel cercare di produrre nuove particelle pesanti usando acceleratori ad alta energia e ad alta frequenza di collisioni come il Large Hadron Collider (LHC) del CERN di Ginevra. Il cosiddetto "fronte dell'alta intensità" consiste invece nella ricerca di nuovi fenomeni, di nuove particelle e di nuove proprietà usando acceleratori ad energia medio-alta ma con un'altissima frequenza di collisioni come la macchina Super B in fase di costruzione. Infine, il cosiddetto "fronte astroparticellare" consiste nel considerare l'Universo stesso come una macchina naturale per produrre particelle e per fornirci indicazioni sulle proprietà della materia ed energia oscura, dei raggi cosmici etc. In questo contesto il compito della fisica teorica è quello di fornire metodi e modelli per interpretare le osservazioni sperimentali ed in particolare formulare teorie per estendere il Modello Standard delle interazioni fondamentali, al fine di includere i nuovi fenomeni della fisica elettrodebole e del sapore e di trovare candidati particellari di materia oscura. Esistono fondamentalmente due approcci per raggiungere questi obiettivi: uno detto "bottom-up", che partendo dai dati sperimentali e dalla fenomenologia arriva all'elaborazione di modelli e teorie di nuova fisica, e uno detto "top-down" che partendo invece da astratte teorie spesso basate su sofisticati strumenti matematici giunge ad implicazioni fenomenologiche da confrontare con i risultati sperimentali.

Nell'approccio "bottom-up" molto importante è lo studio degli aspetti fenomenologici delle interazioni forti alla scala di Fermi (esplorata dagli esperimenti di LHC) o lo studio dei meccanismi di rottura della simmetria elettrodebole per spiegare l'origine della massa. Inoltre è fondamentale continuare l'analisi dei dati provenienti dagli esperimenti di astrofisica al fine di trovare correlazioni tra segnali diretti o indiretti di materia oscura nei diversi esperimenti. La correlazione tra questi segnali e l'eventuale produzione di materia oscura a LHC costituisce una delle sorgenti più interessanti per teorie di nuova fisica oltre il Modello Standard. A questi studi si affianca l'attività di ricerca sulla fisica del sapore, sui meccanismi di leptogenesi nel contesto di teorie unificate, lo studio del mescolamento delle diverse specie di fermioni in modelli con o senza supersimmetria alla scala debole o in

modelli con "dimensioni extra", cioè con altre dimensioni oltre quelle corrispondenti allo spazio e al tempo che conosciamo.

Un esempio tipico e molto importante dell'approccio "top-down" della fisica teorica è rappresentato dalla teoria delle superstringhe ("string theory") che fornisce uno schema consistente per la unificazione a livello quantistico di tutte le forze fondamentali, inclusa la gravità, nell'ambito del quale le particelle elementari e i mediatori delle forze sono associati a diversi modi di vibrazione di oggetti estesi unidimensionali detti stringhe. Nel limite in cui la lunghezza delle stringhe diventa trascurabile, questa teoria si riduce alla relatività generale (ovvero alla sua estensione supersimmetrica, la supergravità) unificata con le altre interazioni fondamentali descritte dalle cosiddette teorie di gauge. Negli ultimi anni lo studio della teoria delle stringhe e delle loro generalizzazioni a più dimensioni, dette membrane o più concisamente "brane", è stato uno degli argomenti di punta della ricerca fondamentale in fisica teorica a livello mondiale portando alla formulazione dei cosiddetti modelli di "brane-world" per la descrizione della fisica delle particelle elementari. Inoltre, lo studio delle brane e della geometria ad esse associata ha aperto nuove prospettive per la comprensione del settore non-perturbativo delle teorie di gauge portando alla formulazione di varie corrispondenze gauge/gravità il cui prototipo è la dualità AdS/CFT che oggi trova applicazioni e sviluppi in numerosi e svariati settori, dalla idrodinamica alla fisica della materia condensata.

L'attività coordinata dalla CSN4 non si esaurisce nei temi menzionati finora, ma ha importanti estensioni nello studio degli aspetti più formali della teoria dei campi, nella fisica matematica, nella fisica statistica, nella biofisica, nella turbolenza o nell'applicazione di tecniche e modelli fisici in ambito economico.

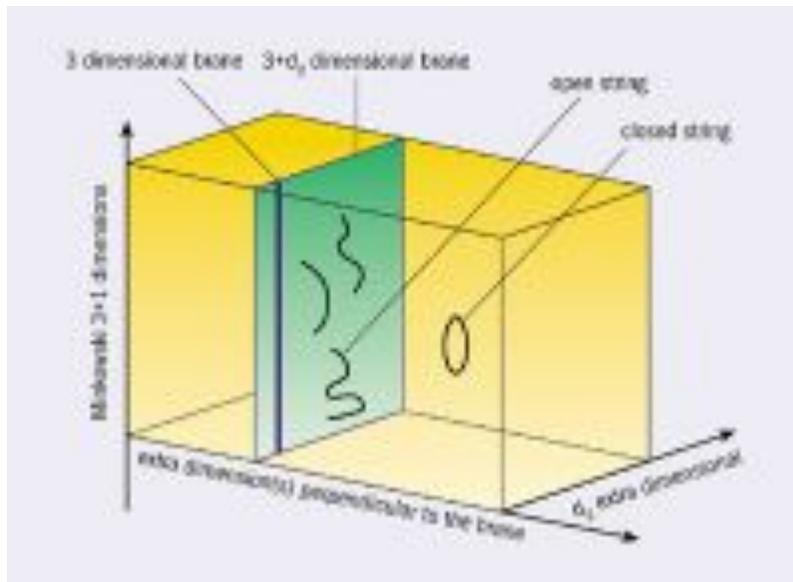


Fig.3.14 Rappresentazione schematica di un "brane-world", con stringhe (aperte o chiuse) e dimensioni extra (da un disegno del Cern Courier).

## SETTORI DI RICERCA E COMPOSIZIONE

Come detto in precedenza, l'attività della CSN4 è organizzata in sei Linee Scientifiche i cui principali argomenti di ricerca sono qui di seguito brevemente menzionati:

### 1. 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, applicazioni alla meccanica statistica; fenomeni critici e gruppo di rinormalizzazione.

### 2. FENOMENOLOGIA DELLE PARTICELLE:

fisica del neutrino, fisica dei sapori, fisica oltre il modello standard, materia oscura, QCD, fisica adronica, rottura della simmetria elettrodebole e della supersimmetria.

### 3. FISICA ADRONICA E NUCLEARE:

fisica degli ioni pesanti, materia adronica e modelli di QCD, struttura e reazioni nucleari, studi numerici delle fasi di QCD, plasma di quark e gluoni, fenomeni di trasporto, distribuzioni partoniche generalizzate.

#### 4. METODI MATEMATICI:

relatività generale e fisica gravitazionale, geometria non- commutativa e gruppi quantici, struttura algebrica in teorie di campo, stabilità dinamica classica e quantistica, entanglement e chaos, geometria di sistemi dinamici e sistemi integrabili.

#### 5. FISICA ASTROPARTICELLARE E COSMOLOGIA:

fisica delle stelle di neutroni, supernovae, sorgenti di radiazione astrofisiche, neutrini in fisica, astrofisica e cosmologia, sorgenti di onde gravitazionali, buchi neri, modelli inflazionari, materia oscura ed energia oscura, fenomenologia alla scala di Planck, teorie di gravità.

#### 6. TEORIA DEI CAMPI E MECCANICA STATISTICA:

metodi non perturbativi della teoria quantistica dei campi applicati a sistemi statistici, sistemi di elettroni fortemente correlati, condensazione di Bose-Einstein, meccanica statistica di non-equilibrio, biofisica quantitativa, protein folding, regolazione genica, turbolenza, sistemi disordinati, vetri di spin, reti neurali.

Alle attività di ricerca della CSN4 contribuiscono circa 1000 scienziati provenienti da tutte le sezioni e gruppi collegati dell'INFN e da tre dei quattro laboratori nazionali (la CSN4 non è presente ai laboratori di Legnaro). Le attività sono attualmente organizzate in **52 progetti** di ricerca denominati "Iniziativa Specifiche", che aggregano ricercatori di diverse sezioni per conseguire comuni finalità scientifiche. Le Iniziative Specifiche sono valutate ogni tre anni da referee esterni (nella stragrande maggioranza stranieri appartenenti a prestigiose università ed enti di ricerca) e le assegnazione dei fondi di ricerca dipendono dai risultati di questa valutazione. I settori di ricerca di maggior investimento sono la linea 1 (Stringhe e Teoria dei Campi), la linea 2 (Fenomenologia delle Particelle) e la linea 5 (Fisica Astroparticellare e Cosmologia). La tabella 3.4 riassume la distribuzione percentuale di afferenza e il numero di Iniziative Specifiche nelle sei Linee Scientifiche della CSN4, mentre la composizione del personale e le risorse finanziarie sono riportate nella tabella 3.5.

La CSN4 ha svolto, e certamente svolgerà nel futuro, un ruolo chiave nella ricerca in fisica teorica con contributi di grande rilievo ampiamente riconosciuti a livello internazionale, come dimostrato dall'alto numero di citazioni e inviti alle maggiori conferenze

internazionali. Molto sviluppata è inoltre la collaborazione 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. La CSN4 rappresenta un organismo strategico per lo sviluppo della fisica teorica in Italia, con uno spettro di interessi molto più ampio di quello di stretta competenza INFN. Questo ruolo è stato possibile grazie a un'attitudine culturale aperta e al mantenimento di una stretta collaborazione col mondo accademico, che se possibile deve essere ulteriormente consolidata e rafforzata. 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.

	Linea 1	Linea 2	Linea 3	Linea 4	Linea 5	Linea 6
% FTE	33%	16%	13%	11%	16%	11%
numero IS	13	10	10	6	5	8

Tab. 3.4: Distribuzione percentuale degli FTE e numero di Iniziative Specifiche nelle sei Linee Scientifiche della CSN4.

<b>Linea scientifica: CSN4</b>	
FTE INFN staff + art.23,15 (anno 2011)	115
FTE Associati staff (anno 2011)	480
Assegnisti, borsisti, dottorandi (anno 2011)	450
Totale risorse finanziarie spese 2009-2011	7.9 MEuro
di cui spese per investimenti (inventario, apparati) 2009-2011	0.7 MEuro

Tab. 3.5: Composizione, risorse finanziarie e investimenti per la CSN4.

### **PC CLUSTER DI PISA**

Per i complessi calcoli numerici richiesti dalle attività di ricerca specialmente nei campi dell'astrofisica, della fisica nucleare, della fisica agli acceleratori e della meccanica statistica, nel 2010 la CSN4 ha realizzato un cluster di PC (1024 core per un potenza complessiva di circa 10 Teraflop, 1 GB di RAM per core) presso la sezione di Pisa dell'INFN. Tale cluster, chiamato CSN4CLUSTER, è entrato in funzione nell'estate 2010 a appena 6 mesi dall'approvazione del progetto; esso è integrato con la infrastruttura EGI Grid e permette l'esecuzione di calcoli paralleli, seriali e multithreaded. Questo servizio sarà fornito per tutto il 2012 ma il cluster rimarrà operativo anche dopo il 2012; la CSN4 dovrà dunque considerare la possibilità di upgrade e/o espansioni dell'hardware.

### **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 oramai conquistato una fama internazionale e rappresenta una solida tradizione nell'organizzazione di workshop internazionali a cui hanno partecipato e partecipano scienziati provenienti da tutto il mondo. I fondi necessari al funzionamento del centro, forniti a questo scopo dall'INFN, permettono di organizzare mediamente tre workshop ogni anno, di durata media di 8 settimane, oltre ad alcune scuole post-dottorali, miniworkshop e meeting di varia natura. Maggiori informazioni sul GGI e sulle sue attività sono fornite nella sezione 3.10.



Fig. 3.15: La sede del Galileo Galilei Institute for Theoretical Physics ad Arcetri (FI).

## **TRAINING E ALTRE ATTIVITÀ EDUCATIVE**

In ambito CSN4 vengono date circa 300 tesi universitarie per anno (circa 120 triennali, 120 specialistiche o magistrali, e 50 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, 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. A partire dal 2005 la CSN4 ha istituito il Premio Sergio Fubini, divenuto nel 2007 un premio ufficiale dell'INFN, come riconoscimento per le tre migliori tesi di dottorato dell'anno.

## **HIGHLIGHT 2011**

**Tra i principali risultati raggiunti si possono menzionare:**

- **I lavori di analisi dei dati provenienti dagli esperimenti di LHC, lo sviluppo di algoritmi per il calcolo degli effetti al Next-to-Leading-Order (NLO) per i jets di QCD, e in generale i calcoli di alta precisione.**
- **Lo studio di vari aspetti non-perturbativi in compattificazioni di teorie di superstringa, il calcolo delle funzioni di correlazione nel limite planare della teoria di Super Yang-Mills  $N=4$  e lo studio di varie applicazioni e generalizzazioni della corrispondenza AdS/CFT.**
- **Lo studio dei risultati di PAMELA e FERMI sui positroni sia per un'eventuale rivelazione indiretta di materia oscura sia per la caratterizzazione delle incertezze nelle osservazioni astrofisiche.**
- **Lo studio di diversi scenari di inflazione cosmologica e dei loro possibili test basati sulla radiazione di fondo cosmica.**
- **L'interpretazione di segnali di violazione di CP nei decadimenti del mesone B in termini di nuova fisica alla scala elettrodebole.**
- **Lo studio della asimmetria di spin nella produzione semi-inclusiva di pioni e kaoni che permette di stabilire nuove equazioni di evoluzione per le sezioni d'urto di potenziale interesse per gli esperimenti a RHIC e LHC.**

#### **MILESTONE DEL PERIODO 2012-2014**

Nella fisica teorica, come in tutta la ricerca di base, non è molto significativo indicare una precisa "roadmap" per il raggiungimento degli obiettivi di ricerca e stabilire precise "milestone". Tuttavia è ragionevole indicare come importanti obiettivi da raggiungere nel prossimo periodo i seguenti punti:

- Sviluppo delle attività di ricerca nelle tre maggiori problematiche teoriche connesse con la ricerca sperimentale particellare di questo decennio: 1) meccanismo sottostante la rottura spontanea della simmetria che descrive le interazioni elettrodeboli (fisica all'LHC, connessa con la ricerca della particella di Higgs); 2) spiegazione dei rapporti di massa e dei mescolamenti con violazione di CP tra i costituenti fondamentali della materia (quarks e leptoni) e sviluppo della fisica del sapore con i mesoni B da studiare alla macchina SuperB e nell'esperimento LHCb; 3) ricerca ed interpretazione dei costituenti elementari della materia oscura in relazione anche agli esperimenti condotti ai Laboratori Nazionali del Gran Sasso e a vari esperimenti spaziali quali PAMELA, FERMI e AMS/02.
- Rafforzamento della collaborazione con le componenti sperimentali dell'Ente operanti principalmente nell'ambito delle CSN1, CSN2 e CSN3 sui temi di ricerca sopra menzionati. Al fine di favorire tale collaborazione teorico-sperimentale si cercherà di enfatizzare maggiormente il ruolo del Galileo Galilei Institute (GGI) organizzando workshops congiuntamente con le altre CSN dell'INFN, sull'esempio di quanto è stato fatto su argomenti di fisica astroparticellare insieme alla CSN2 nell'ottobre 2011. Inoltre, a metà novembre 2012 presso i Laboratori Nazionali del Sud verrà organizzato congiuntamente alla CSN3 un incontro della comunità di fisica nucleare italiana, sia sperimentale sia teorica, per valutare la situazione complessiva del campo e sviluppare le sinergie utili per affrontare le nuove sfide.
- Sviluppo delle attività di ricerca di tipo "top-down" per comprendere meglio le caratteristiche delle teorie di unificazione delle interazioni fondamentali, il ruolo della supersimmetria e gli aspetti non-perturbativi delle teorie di campo.
- Realizzazione di un'infrastruttura di Supercalcolo, con una potenza di almeno un Petaflop, per eseguire calcoli al reticolo necessari nella fisica del sapore ed essenziali per discriminare segnali di nuova fisica nelle misure a SuperB e LHC.

- **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: non solo svolge una funzione di guida e coordinamento fra ricercatori di differenti discipline (Nucleare, Particellare, Astroparticellare, Struttura della Materia, Ingegneria Elettronica e Informatica, Biologia, Medicina, Chimica), ma rafforza anche 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 di elettronica 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 flavor" di alta precisione. 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, ai raggi gamma delle future Compton Source per la fotonica nucleare.

Sul fronte delle ricerche interdisciplinari, molte delle applicazioni delle tecniche sviluppate dall'INFN sono di grande impatto socio-economico in vari settori.

1. **Biomedicina.** Le competenze dell'INFN nell'ambito degli acceleratori, dei rivelatori e dello studio delle interazioni radiazione-materia hanno trovato applicazioni rilevanti nell'imaging medico, nella terapia dei tumori (sviluppo di piani di trattamento in radioterapia con fasci di protoni e ioni), nella dosimetria e nello studio dell'evoluzione cellulare.
2. **Salvaguardia dell'ambiente e dei beni culturali.** Le stringenti richieste degli esperimenti di fisica fondamentale applicati allo studio degli eventi rari ha portato allo sviluppo di tecnologie e metodiche di misura estremamente avanzate e di elevatissimo livello di sensibilità. La sensibilità strumentale, le metodiche analitiche e le competenze sviluppate hanno ad oggi già prodotto importanti risultati e ricadute in molti ambiti, tecnologici/applicativi o sociali: indagini ambientali, analisi di reperti di interesse artistico, archeologico e storico.

Inoltre saranno incentivate le attività legate allo sviluppo ed applicazione interdisciplinare della luce di sincrotrone e alle sorgenti di radiazione di nuova generazione. 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 incoraggiata l'attività di trasferimento tecnologico anche attraverso lo sviluppo di appositi accordi di collaborazione con le associazioni industriali di categoria (CONFINDUSTRIA e CONFAPI).

#### **HIGHLIGHT 2011**

- **XDXL, un esperimento per lo sviluppo di *Silicon Drift Detector* di grande superficie (7x7 cm<sup>2</sup>) e la loro applicazione alla spettroscopia X ad alta risoluzione in diversi settori. Ha ottenuto una risoluzione in energia a temperatura ambiente che oggi rappresenta il migliore risultato a livello internazionale per rivelatori di queste dimensioni. Tali rivelatori presentano grande interesse in diversi campi: spettroscopia, rivelazione di contaminanti radioattivi, diagnostica bio-medica, esperimenti di astrofisica X su satelliti.**

- HELIOS, miglioramento della *BEAM BRIGHTNESS* per le nuove generazioni di sorgenti di ioni. L'esperimento studia le problematiche legate alla dipendenza del plasma heating dai parametri di funzionamento delle sorgenti MDIS (*Microwave Discharge Ion Sources*) e ECRIS (*Electron Cyclotron Resonance Ion Sources*). Ha spiegato la formazione di "hot electrons" nel plasma con fenomeni di turbolenza generati dai profili di densità del fascio; ha dimostrato la formazione di *Electron Bernstein Waves* in sorgenti di plasma di ridotte dimensioni, proponendole come strumento per superare i limiti di densità nelle sorgenti di ioni attuali. Questi risultati dimostrano che è possibile produrre correnti di ioni monocarichi di gran lunga maggiori di quelle attuali e potenzialmente anche di ioni multipli. Nel lungo periodo, l'applicazione dei risultati di questo esperimento potrà permettere l'upgrading di acceleratori esistenti e la minimizzazione dei costi delle future macchine acceleratrici.
- TELMA (Trace Element Measurements and Analysis); ha ottenuto sensibilità di misura per la ricerca di elementi radioattivi in tracce che non ha paragoni nel resto del mondo sviluppando inoltre varie tecniche analitiche quali l'attivazione neutronica (NAA), la spettrometria di massa (ICP MS) e la spettroscopia gamma con rivelatori HPGe. La "*low radioactivity level facility*" del Gran Sasso, laboratorio indirizzato alla spettroscopia gamma con rivelatori HPGe, è considerato il miglior laboratorio esistente per misure di radioattività. Gli approcci sviluppati sono oggi considerati come punto di riferimento per la selezione dei materiali atti alla costruzione di nuovi rivelatori a bassissimo fondo. Le tecniche analitiche hanno avuto interessanti applicazioni interdisciplinari, ad esempio dimostrando che Napoleone non è stato avvelenato, come citato nella più importante rivista di Anatomia patologica (*Adv. Anatomic Pathology*, Vol 18, nr. 2 (2011))
- PRIMA+ (*proton Computed Tomography*) ha ottenuto la 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 per tener conto del MCS. 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). Il risultato porterà ad un

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.

- TERASPARC (produzione, estrazione e uso di impulsi ultracorti di radiazione coerente THz nell'intervallo spettrale 75-1000 microns (200 GHz-5 THz)). La radiazione viene prodotta attraverso l'interazione di un fascio ultracorto di elettroni, compressi tramite "*velocity bunching*", con una targhetta metallica nel Free Electron Laser SPARC presso i laboratori nazionali INFN di Frascati. Tale radiazione è stata utilizzata come diagnostica per misurare con precisione la lunghezza longitudinale dei pacchetti elettronici di SPARC. Nel contempo sono stati caratterizzati i fattori di merito della radiazione: potenza di picco, *spectral coverage* e energia per impulso con lo scopo di utilizzarla, nel 2012, per esperimenti sia di spettroscopia risolta in tempo *pump-probe* che per la caratterizzazione di detector e sistemi di imaging THz.



Fig. 3.16: Immagine tomografica di un fantoccio ottenuta da PRIMA+.

#### 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 (SuperB, SLHC, collider lineari) saranno caratterizzati da stringenti richieste per i sistemi di tracciatura che dovranno operare ad alto rate 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 nel prossimo decennio 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 riduzione del danno da radiazione attraverso lo studio di nuovi processi e di appropriate tecniche di progetto.

Una linea di ricerca particolarmente rilevante sarà lo sviluppo tecnico di rivelatori bolometrici. Questi rivelatori, oltre ad avere grandissimo interesse per gli esperimenti di fisica fondamentale (*double beta decay, dark matter search*) hanno importanti applicazioni nella spettroscopia di raggi X. Gli sviluppi tecnologici connessi con questa attività, sviluppati in collaborazioni con industrie italiane, permetteranno all'INFN di collocarsi alla frontiera di questo campo di ricerca e sviluppo.

Nel campo della fisica degli acceleratori si svilupperanno, nel medio termine, sorgenti di ioni con correnti molto maggiori di quelle disponibili; daranno risultati le linee di ricerca relative all'incremento della luminosità, alle tecniche innovative per minimizzare l'emittanza dei fasci, quelle per il miglioramento dell'accettanza delle strutture acceleranti e per la realizzazione di tecniche di accelerazione a plasmi. 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) nel prossimo decennio sarà possibile realizzare sorgenti di raggi X quasi monocromatiche realizzate facendo collidere un fascio di elettroni con impulsi

dell'ordine dei picosecondi e di alta brillantezza, con impulsi laser di alta energia. Lo ICS permette 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. Le sorgenti ICS saranno protagoniste nei prossimi anni dell'apertura dell'era della fotonica nucleare, in cui fasci di fotoni a energie tra i 2 e 20 MeV rappresenteranno la radiazione di sincrotrone di 5a generazione per studi ed applicazioni nucleari. A energie molto più elevate (fotoni > 50 MeV), sorgenti ICS possono essere 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 FLAME del progetto PLASMONX, ha realizzato una importante infrastruttura (SPARC-LAB) ai LNF che le permette di essere uno dei centri leader mondiali per lo studio delle interazioni elettroni fotoni e sviluppare 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. Tra i progetti europei nei quali l'INFN, grazie alle competenze sviluppate nell'ambito di SPARC-LAB, avrà un ruolo di guida ci sarà sicuramente il progetto ELI (*Extreme Light Infrastructure*).

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.

Nel complesso, va sottolineato che la CSN5 possiede le conoscenze di base e le competenze specialistiche nelle tecniche più avanzate per lo sviluppo di sensori e rivelatori di radiazione, nella costruzione di sofisticate macchine acceleratrici e nelle tecniche di simulazione e analisi 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 nel prossimo decennio 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 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, come la realizzazione di un Laboratorio di Radioattività Ambientale ai LNGS per le analisi di radionuclidi e le loro applicazioni nel campo della Fisica Terrestre, dell'Ambiente, e della non proliferazione nucleare. 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. Inoltre, utilizzando l'alta sensibilità dei rivelatori HPGe sviluppati nei laboratori di Milano Bicocca ed essendo questi laboratori gli unici in Italia ad individuare gli isotopi del Cs (134, 136, 137), è stato possibile effettuare il monitoraggio della nube di Fukushima, dimostrando una potenzialità unica nel poter fornire supporto alle attività di misura delle ARPA.

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.

<b>Linea scientifica: CSN5</b>	
FTE INFN staff + art.23,15 (anno 2011)	89,8
FTE Associati staff (anno 2011)	335,6
Assegnisti, borsisti, dottorandi (anno 2011)	192,5
Totale risorse finanziarie spese 2009-2011 (M€)	14,286
di cui spese per investimenti (inventario, apparati) 2009-2011 (M€)	4,394

Tab. 3.6: 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 tabella 3.6 riassume la composizione del personale e le risorse finanziarie.

#### **MILESTONE DEL PERIODO 2012-2014**

- **Commissioning Sorgente Thomson ai LNF (dic. 2012)**
- **Rivelatori a Silicio ad integrazione verticale (dic. 2012)**
- **Prime immagini con sorgente Thomson (giu. 2012)**
- **Prototipo di rivelatore a diamante sintetico a pixel (dic. 2012)**
- **Primo prototipo di sistema di piani di trattamento con fasci di ioni carbonio (dic. 2012)**
- **Convertitore per la produzione di fasci di neutroni ai LNL (dic. 2012)**

- **Accelerazione di fasci di protoni in plasmi generati da impulsi laser ad alta potenza (dic. 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 (dic. 2012)**
- **Sistemi di diagnostica per radiazione Fel ( dic. 2012)**
- **Esperimenti di pump and probe con la sorgente THz (giu. 2013)**
- **Rivelatori a pixel in silicio e diamante sintetico per esperimenti a collider ad alta luminosità (giu. 2013)**
- **Ricostruzione di immagini con Sorgente Thomson ai LNF (dic. 2013)**
- **Sorgente ECR per adroterapia e per acceleratori alta intensità (dic. 2013)**
- **Realizzazione di sistemi di imaging avanzato (proton CT, PET online) (gen. 2014)**
- **Misure di frammentazione nucleare per adroterapia (dic. 2014)**
- **Realizzazione di rivelatori per spettroscopia X di altissima risoluzione (dic. 2014)**

### 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: [web.infn.it/CCR](http://web.infn.it/CCR).

#### ATTIVITÀ 2011

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 sia il CNAF, che svolge il ruolo centrale di sede per l'elaborazione primaria di dati scientifici e di archivio permanente di dati a servizio di tutto l'INFN, sia tutte le sedi dei Tier-2 della federazione WLCG, in cui viene svolta l'attività coordinata di analisi dati.

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 decine di Teraflop, è stato potenziato nel 2011 il cluster per il calcolo parallelo, basato sull'impiego di processori commodity interconnessi attraverso una rete di comunicazione a bassa latenza (Infiniband) ed installato a Pisa per 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:

- **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 2011, 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 e dalla partecipazione al progetto Re.Ca.S. (Rete di calcolo per SeperB e altre applicazioni), approvato nell'ambito dei PON infrastruttura.

La Commissione Calcolo e Reti dell'INFN è il principale strumento di cui si serve l'INFN per realizzare tale coordinamento, 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.

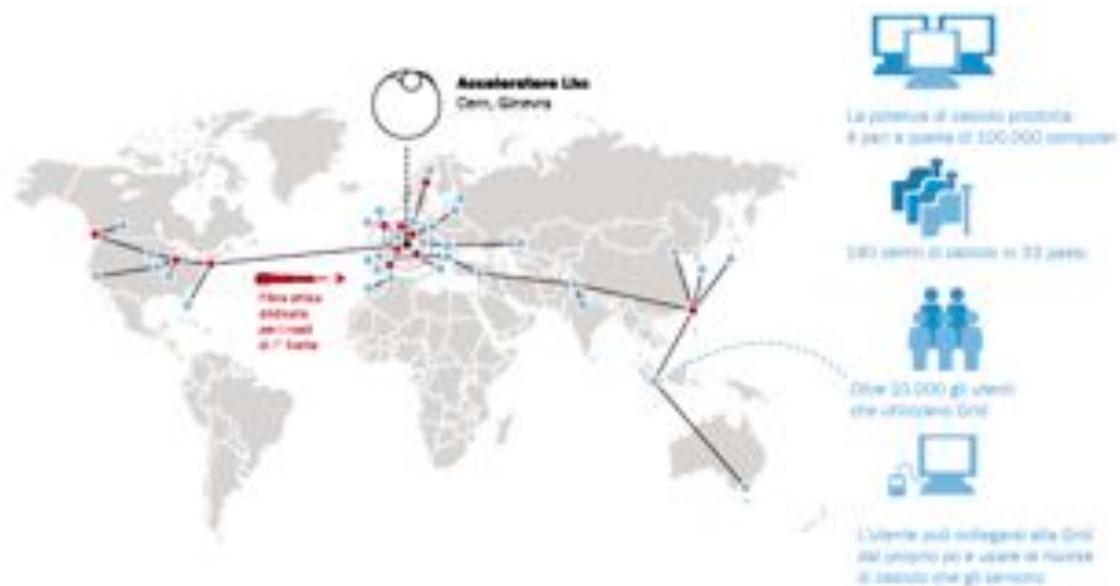


Fig. 3.17: La rete planetaria GRID unisce e utilizza contemporaneamente la potenza di calcolo e la memoria di decine di migliaia di computer.

Nel 2011 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 2011 si è completato 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 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. Inoltre AAI è stato integrato come Identity Provider e come fornitore di servizi nell'ambito della federazione IDEM, gestita dal GARR. Inoltre è stato consolidato il supporto delle tecnologie wireless basate sullo standard IEEE 802.1x (progetto TRIP), con la sua integrazione con il Servizio EduROAM per la Mobility.

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 2011 il piano per la formazione del personale in campo informatico, strumento recentemente introdotto dalla CCR per coordinare le iniziative promosse a livello nazionale 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 ed in corso di realizzazione, con previsione di arrivare a compimento a fine 2012. 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, soprattutto nei centri Tier2 per LHC e successivamente in tutti i rimanenti siti, a seconda 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 è quindi effettuato 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:

- 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.
- miglioramento della sicurezza di tutta la rete INFN, rispetto a possibili attacchi informatici.

### 3.8 I PROGETTI STRATEGICI E I PROGETTI SPECIALI

Attività di rilevanza determinante nella programmazione scientifica 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-E (Applicazioni all'Energia)
- NTA (Nuove Tecniche di Accelerazione)

e i progetti speciali:

- APE
- SPES
- INFN-GRID, IGI
- ELN

## **PROGETTO STRATEGICO INFN-ENERGIA**

INFN-E è una nuova linea di ricerca dell'Ente, il cui fine è lo sviluppo di competenze e strumentazioni nel settore delle applicazioni della fisica nucleare all'ambito dell'energia. L'instaurazione di collaborazioni con le industrie del settore (in particolare Ansaldo Nucleare, SOGIN,...), così come con altri Enti nazionali e internazionali con attività specifiche nel settore (quali ENEA, CNR, Politecnici, Euratom,...), costituisce una premessa essenziale. Tale collaborazione fornisce da un lato le competenze complementari necessarie, dall'altro serve a indirizzare, sempre nell'ambito di un'ampia autonomia e libertà di idee, le proposte e gli sviluppi verso possibili utilizzi concreti.

INFN-E si articola su tematiche generali di comune interesse nelle quali l'Ente, nell'ambito delle sue attività istituzionali, ha sviluppato ampie competenze e ottenuto importanti risultati, quali:

- Rivelatori di nuclei, particelle e radiazione
- Applicazioni di acceleratori di ioni e particelle a problematiche nell'ambito dell'energia nucleare
- Formazione superiore e professionale

Nel corso dei suoi tre anni di vita, INFN-E si è andata costruendo intorno ai temi che ad oggi appaiono di maggiore interesse nell'industria nucleare, ovvero:

- smantellamento degli impianti (decommissioning) e trattamento delle scorie
- controllo dei materiali radiologicamente rilevanti (sicurezza ai varchi)
- studio di nuove tipologie di impianti per la fissione nucleare, con caratteristiche di sicurezza avanzate (ADS, reattori veloci Generation IV) e sviluppo di nuove metodologie di test
- sviluppo di impianti per la fusione nucleare
- monitoraggio ambientale
- formazione e divulgazione
- 

Di seguito riportiamo sinteticamente per le attività svolte per linee specifiche.

**TRASFERIMENTO TECNOLOGICO:** applicazione di nuove tecnologie, sviluppate dall'Istituto nel corso delle ricerche di base, a problematiche tipiche dei programmi sull'Energia Nucleare. Fanno parte di questa linea:

- *Progetti per il controllo della contaminazione ambientale e delle fughe di radiazioni nei depositi di scorie radioattive.* Tra questi è in fase avanzata la realizzazione (DNMR: LNS, Sez. Mi, <http://www.lns.infn.it/link/DMNR>) di una rete di fibre scintillanti per il monitoraggio on-line dell'attività di fusti contenitori di sostanze radioattive nei depositi e la segnalazione di eventuali perdite, con interesse e collaborazione da parte di Ansaldo Nucleare e SOGIN. È stato recentemente effettuato un test su fusti reali presso l'ex centrale nucleare del Garigliano a Sessa Aurunca. **Conclusa la fase INFN-E, sono in corso contatti con l'Euratom per l'eventuale formulazione di un bando di interesse per questo tipo di tecnologia. Inoltre è in fase di elaborazione un protocollo d'intesa con SOGIN relativamente alla sperimentazione per lo sviluppo industriale di questa tecnologia.** Un altro progetto, ora concluso (SPECTX: Sez.Ts), ha riguardato lo sviluppo di nuovi rivelatori *silicon drift* per il monitoraggio ad elevata risoluzione e angolo solido di raggi X.
- *Progetti per la rivelazione non invasiva di sorgenti radioattive e materiali strategici nei containers ai porti e ai varchi.* Due prototipi, realizzati con tecnologie diverse quali la tomografia con muoni cosmici mediante camere RPC (MUSTEEL: Sez. Pd, Sez. Ge, Tecnogamma, Acciaierie Beltrame) o la rivelazione diretta di fotoni o neutroni con scintillatori a grande area caricati al gadolinio (PIC: Sez. Ge, JRC-Ispra, Ansaldo Nucleare) sono in fase avanzata di costruzione e test. **La fase INFN-E è quindi da considerarsi conclusa. Entrambi i progetti hanno ottenuto, rispettivamente nel 2010 e nel 2011, un finanziamento dall'UE nell'ambito del FP7.** Un nuovo progetto innovativo basato sulla rivelazione di neutroni tramite cattura in un recipiente d'acqua (WANDA: Sez. Ge) ha effettuato alcune prove dimostrando la validità del concetto
- 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. Nell'ambito di INFN-E (CORMORAD: Sez. Ge, Ansaldo Nucleare) è stato costruito un prototipo, testato presso i reattori di Cernavoda (Romania), col quale si è

potuto misurare i fondi e valutare la sensibilità. La parte INFN-E è conclusa, mentre, per le elevate dimensioni e costi, la costruzione dello strumento effettivo richiederà la partecipazione di organismi internazionali (IAEA, UE, etc.)

Tutti questi progetti erano stati approvati nell'ambito di Convenzioni dell'Ente con industrie nazionali che ancora ne seguono realizzazioni e sviluppi. Esiste inoltre 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.

**ADS, REATTORI VELOCI, BRUCIAMENTO E TRASMUTAZIONE SCORIE:** nell'ambito della sperimentazione e progettazione di reattori a fissione di nuova generazione (Gen IV) e reattori guidati da acceleratori (ADS, Accelerator Driven Systems), sono operativi in Europa vari progetti di R&D volti a definire le caratteristiche di questi nuovi sistemi. In particolare, una delle configurazioni studiate prevede di utilizzare Piombo o Piombo/Bismuto come fluido refrigerante. L'Italia, con Ansaldo Nucleare, è leader in questo settore, che in Europa è portato avanti con i progetti GUINEVERE, MYRRHA, LEADER/ALFRED. Per progettare impianti di nuova concezione (critici o sottocritici), è di fondamentale importanza la disponibilità di infrastrutture di ricerca dove i calcoli teorici sul comportamento di questi sistemi innovativi possano essere testati sperimentalmente. Di particolare importanza è la possibilità di misurare parametri di sistema come il coefficiente di moltiplicazione ( $k_{\text{eff}}$ ), la distribuzione di flusso dei neutroni e altri legati alla cinetica e dinamica del sistema, al fine di validare i codici di calcolo usati per progettare gli impianti. Questo aspetto è di particolare rilevanza nel caso di sistemi sottocritici tipo ADS. INFN-E contribuisce all'avanzamento delle conoscenze in questo settore con i progetti di:

- *Un Centro di formazione e ricerca*, pensato sia per l'addestramento di giovani ingegneri, fisici e tecnici e la promozione culturale nel settore (master, stage, dottorati, ecc.) in collaborazione con Università e Industria, sia per lo studio della trasmutazione delle scorie radioattive a vita lunga tramite fissione veloce. Tale Centro dovrà essere attrezzato con infrastrutture di interesse scientifico, ma dotate della massima sicurezza e sostenibilità. La proposta iniziale di INFN-E, studiata approfonditamente in collaborazione con Ansaldo Nucleare, Politecnici di Milano e Torino, ENEA, LENA di Pavia e altre Università, prevedeva che il Centro si costruisse intorno a un generatore di

neutroni di bassa potenza ( $< 1$  MW) basato su un piccolo reattore veloce sottocritico del tipo ADS, con elementi di combustibile immersi in una matrice di Piombo solido, controllato dal fascio di protoni del ciclotrone da 70 MeV e 50 kW in corso di acquisizione da parte dei Laboratori Nazionali di Legnaro. Al momento si sta anche studiando una versione rimodulata, a ridotto o nullo contenuto di combustibile fissile, pensata per acceleratori più potenti quali IFMIF, che potrebbe essere utilizzata come dimostratore del bruciamento delle scorie. Per ovviare alla scarsità di dati esistenti, all'interno di INFN-E la resa di neutroni in funzione dell'angolo e dell'energia è stata misurata nel caso di un convertitore di Berillio, utilizzando i protoni da 62 MeV prodotti dal ciclotrone dei LNS (ADS: Sez. Ge, LNS, Ba, LNL). Questa parte di misure è pressoché conclusa, mentre il progetto di ADS verrà documentato in un CDR in base al quale si potranno verificare le possibilità concrete di finanziamento e realizzazione di un'infrastruttura di questo genere.

- *Un esperimento a zero potenza* (NUC-SMILE: Sez. Pv, Mib, Polit. Mi), basato su di un piccolo sistema sottocritico contenente Uranio naturale e acqua, disponibile presso il LENA di Pavia, in cui si programma di sostituire l'acqua con pallini di Piombo ottenendo così uno spettro di fissione non moderato. L'inserzione di una sorgente di neutroni esterna permetterà di studiare la cinetica del sistema. Sono state effettuate simulazioni della configurazione col Piombo e si stanno verificando le necessarie pratiche autorizzative.
- *Un apparato per simulare sperimentalmente lo spettro di neutroni veloci di un reattore* (FARETRA: LNL). Il progetto prevede di utilizzare il ciclotrone in via di acquisizione presso i LNL per produrre neutroni da un bersaglio di Tungsteno, utilizzando poi una opportuna combinazione di materiali per rimodulare lo spettro primario e renderlo simile allo spettro veloce di un reattore. Sono state effettuate varie simulazioni per dimostrare la fattibilità e i proponenti sono alla ricerca di un finanziamento dedicato, dati i costi elevati.

In questo contesto, alcuni partecipanti a INFN-E hanno ottenuto un **finanziamento nell'ambito del progetto UE FP7 "FREYA"** per partecipare a misure di flusso neutronico nel reattore Guinevere disponibile presso il centro di ricerche SCK-CEN di Mol (Belgio),

pure basato su una matrice di Piombo solido. Le misure prevedono di caratterizzare il reattore in configurazione critica e sottocritica, ove quest'ultima prevede di operare il sistema come ADS usando un acceleratore e la reazione Deuterio + Trizio per generare neutroni veloci monocromatici.

**TECNICHE DI PRODUZIONE E MONITORAGGIO DI NEUTRONI VELOCI:** Lo studio di sistemi a fissione innovativi, critici e sottocritici, così come la sperimentazione sui reattori a fusione, può avere grande beneficio dallo sviluppo di rivelatori in grado di misurare non solo il flusso di neutroni veloci ma anche la loro distribuzione energetica. In questo contesto è stato avviato il *progetto RILF*, volto a sviluppare rivelatori innovativi per neutroni energetici, adatti ad ambienti con campi misti (neutroni/gamma) e con alti flussi di neutroni quali ADS, reattori veloci di bassa potenza e reattori a fusione sperimentali. RILF si articola in due linee di ricerca.

- *La prima linea* (Sez. Ge, To) riguarda rivelatori basati su cristalli di diamante, caratterizzati da segnali molto veloci e alta resistenza alla radiazione. Rivelatori commerciali sono stati testati con varie sorgenti e attualmente si sta lavorando con l'Università di Tor Vergata e l'ENEA di Frascati alla realizzazione di un rivelatore a sandwich. In futuro si prevede di testare questi rivelatori nell'ambito del progetto UE "FREYA"
- *La seconda linea* (LNL) riguarda lo sviluppo di un rivelatore a fibre ottiche al quarzo per misure on-line a pochi gruppi. L'obiettivo è di usare questi rivelatori per misure praticamente puntuali (spazialmente) di alti flussi (all'interno della facility FARETRA, vedi sopra) dove altri tipi di rivelatori sarebbero accecati. Attualmente sono stati realizzati e testati alcuni rivelatori e si sta verificando la possibilità di testarli al CN dei LNL

**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 formarne 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 FISNE, partito presso la sezione di Genova in collaborazione coi Politecnici di Torino e di Milano, sullo studio del comportamento cinetico e dinamico (dipendenza dalla temperatura) dei reattori di nuova generazione, fornirà elementi importanti per la

comprensione del funzionamento di ADS in corso di realizzazione in Europa quali GUINEVERE e MYRRHA.

**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. 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. Il 2011 si è concluso con l'approvazione definitiva da parte dell'organismo Europeo "Fusion for Energy" della test facility da costruire presso il CNR di Padova. 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 anche lo studio delle alte tensioni in vuoto.

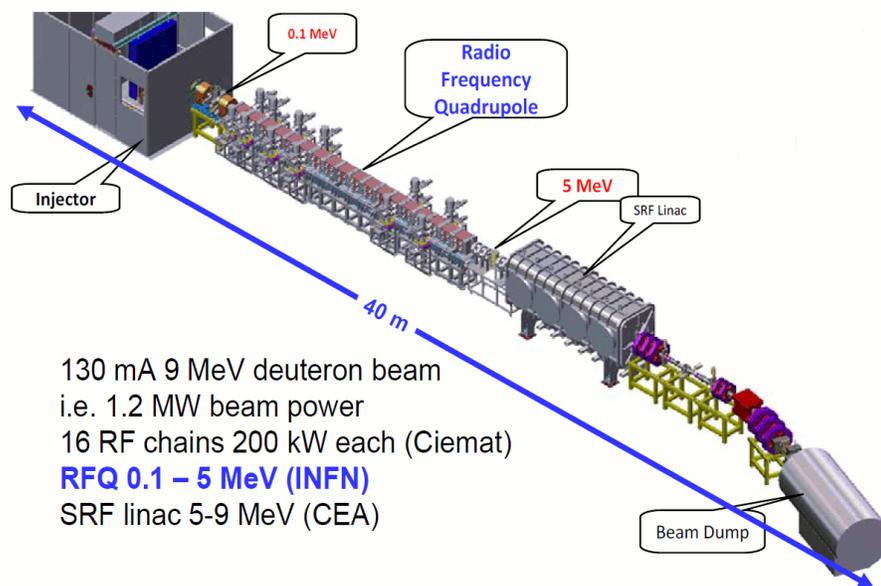


Fig. 3.18: Schema di IFMIF-EVEDA, il prototipo di acceleratore di deutoni ad altissima intensità per lo studio dei materiali per la produzione di energia da fusione nucleare.

**IFMIF** (*International Fusion Materials Irradiation Facility*): 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 (Laboratori Nazionali di Legnaro, Sezioni di Padova, Torino, Bologna) ha assunto un'importante responsabilità nella progettazione e realizzazione dei RFQ di alta potenza per il primo stadio di IFMIF, un doppio acceleratore lineare di deutoni 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 sino ad ora finanziata (EVEDA) corrisponde ad un acceleratore di 9 MeV e piena corrente, che verrà costruito da una collaborazione europea (oltre all'INFN, principalmente CEA, Francia e CIEMAT, Spagna) e installato in un'infrastruttura specifica costruita dal JAEA (*Japan Atomic Energy Agency*) presso Rokkasho nel nord del Giappone. Il primo stadio da 5 MeV che l'INFN sta costruendo rappresenta il quadrupolo a radiofrequenza più potente al mondo.

Dopo la brasatura del primo prototipo a LNL fine ottobre 2010, è cominciata 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 medico ed industriale (alcuni esempi a fondo pagina).

Nel triennio 2012-2014 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 2012-2014: 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 con spese 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.

Campo di interesse	Acceleratore	Temi di studio
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. 3.7: Applicazioni delle macchine acceleratrici a 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	ILC/LNF
Cavità a RF superconduttrici	Realizzazione di cavità sc con tecniche di spinning(a); R&S di materiali sc con temperatura critica maggiore del Niobio per cavità ad alto beta (a); "sputtering" di Niobio con Magnetron (a); cavità sc in terza armonica (b)	a) Shamash/LNL b) ILC/Mi
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; fotocatodi per "cannoni" ad alta brillantezza(a); generazione di fasci di raggi X, 20-500 keV ad alta cromaticità, rapidità e brillantezza di picco(b)	a) ILC/Mi b) SparcLab: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 magneti wiggler per ottimizzazione dei campi	ILC/LNF
Acceleratori a laser-plasma	Accelerazione sfruttando alti gradienti generati nella interazione laser-plasma con autoiniezione o iniezione esterna	SparcLab:LNF-Bo-Ct-Pi-Mi-Na-RmI
Tecnologie ed infrastrutture di sostegno alle	Kickers rapidi per iniezione/estrazione in anelli di accumulazione (a);Deflettori a RF, Monitor a RF della posizione dei fasci. Partecipazione alla	a) ILC/LNF b) CLIC/LNF

attività di Ricerca & Sviluppo	progettazione e realizzazione della Clic Test Facility (CTF3 al Cern)(b)	
--------------------------------	--	--

Tab. 3.8: 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	

1 Cavità e amplificatori – implementazione di potenzialità ed efficienza  
2 Cavità, processi e materiali  
3 Microonde e ottiche  
4 Sorgenti di fotoni – ncrf, scrf e dc  
5 Struttura dei magneti, processi e materiali  
6 Laser plasma, linac

Tab. 3.9: Problematiche e possibili applicazioni studiate in NTA

## HIGHLIGHT DEL 2011

- 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 è stato sottoposto a test risolutivi, che ne hanno dimostrato la fattibilità su scala industriale.
- Nel 2011, presso i LNF, è entrata in operatività la struttura SPARCLAB: all'interno di essa si svolgeranno tutte le attività che, utilizzando fasci di alta brillantezza, porteranno avanti esperimenti concernenti: a) accelerazione di elettroni in plasma, prodotto da fascio laser, b) accelerazione di elettroni in plasma, prodotto da fasci di elettroni, c) generazione di radiazione X quasi monocromatica per backscattering Thomson, d) accelerazione di protoni in plasma, prodotto da fasci di elettroni. Nel corso del 2011 SparcLab ha visto la produzione di pacchetti di elettroni ultracorti (<200 fs) e l'avvio di test riguardanti schemi FEL "esotici" (Cascata Superradiante). Utilizzando il plasma prodotto dal laser di potenza Flame, operante in SparcLab, sono stati ottenuti elettroni da 400 MeV in 4mm di lunghezza accelerante.
- Sul piano dello sviluppo tecnologico è stato condotto con successo il primo test di potenza su un prototipo delle nuove strutture acceleranti in banda C (6 GHz) progettate a LNF e realizzate in collaborazione con l'industria italiana nell'ambito del progetto SPARX.

## 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.

Le esigenze di calcolo nel settore della fisica adronica e del flavour sul reticolo sono state oggetto nel corso degli ultimi anni di studi quantitativi e dettagliati, effettuati in particolare in ambito INFN in previsione dello sviluppo della *SuperB factory*. Alla luce di queste analisi siamo in grado di quantificare in un PetaFlops nel 2013 e in 10 PetaFlops nel triennio successivo, quelle che sono le esigenze di calcolo dei gruppi INFN dettate in primo luogo dalla necessità di mantenere l'accuratezza delle previsioni teoriche al livello richiesto dalla precisione delle esperimenti presenti e futuri in questo settore, in particolare LHC(b) e SuperB.

Da un punto di vista tecnologico i sistemi di calcolo data la loro scala dovranno essere 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; 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 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 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:



Fig. 3.19: Schede apeNEXT+

- **Progetto apeNET+.**

Nell'arco del 2011 la collaborazione ha terminato 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+* impiega una FPGA ad alte prestazioni con una capacità di trasferimento complessiva pari a 500 Gbit/s per nodo di calcolo grazie all'integrazione del *network processor* di nuova generazione sviluppato dalla collaborazione nell'ambito dei progetti europei a cui partecipa. Nel 2011 la collaborazione ha assemblato un mini-cluster da 4 nodi che scalerà ad 8 entro la metà del 2012.

*apeNET+* sarà utilizzata come backbone di connessione per i sistemi ibridi *QUonG* attualmente in fase di realizzazione (vedi paragrafi successivi). La flessibilità dell'architettura di *apeNET+* ha permesso di realizzare una network interface che, unica al mondo, supporta la tecnologia *peer-to-peer* presente nelle GPU Nvidia di ultima generazione che garantisce una sostanziale riduzione delle latenze d'accesso e permette l'*offloading* della CPU per quanto riguarda l'onerosa gestione dei trasferimenti remoti da/verso la GPU.

- **Progetto AURORA.**

Coordinato dalla EUROTECH 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). In funzione della generazione di processori integrata le prestazioni scalano da 10 a 50 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 TeraFlop per singolo chip), notevole rapporto Flop/Watt e Flop/\$ 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 ha intrapreso la realizzazione del sistema *QUonG*, 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+ (figura 3.24).

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.

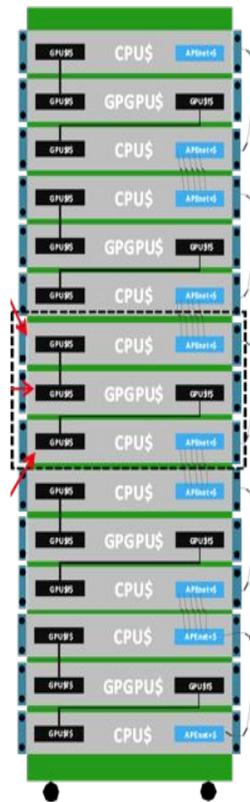


Fig. 3.20: Progetto QUonG: CPU+GPU con apeNET+

Nella tabella 3.10 si riportano le caratteristiche del sistema QUonG attualmente in costruzione ed una previsione per le performance dei sistemi realizzabili nel periodo 2013-14.

	Sistema ibrido "multi processore-GPU" con apeNET+			
	Peak Perf/rack (TeraFlops)		Costo per Rack (KEuro)	# armadi per sistema PetaFlop
	Singola Precisione	Doppia Precisione		
2011-2012	<b>75</b>	<b>37</b>	<b>~300</b>	<b>15</b>
2013-2014	<b>300*</b>	<b>150*</b>	<b>~280**</b>	<b>4</b>

Note:

\* performances previste con adozione di GPU di ultima generazione con introduzione prevista per 2H/2012

\*\* costo previsto con adozione di GPU di ultima generazione e re-scaling dei costi in produzione delle apeNET+

Tab. 3.10: Caratteristiche dei sistemi multi-processore.

Dalla tabella 3.10 si evidenzia che già nel 2012 è possibile installare sistemi armadio di dimensione standard composti da nodi di calcolo multiprocessore e acceleratori GPU-based al costo di circa 300 kEuro per armadio e con una potenza di calcolo di picco di ~75 TeraFlop in singola precisione e ~37 TeraFlop in doppia precisione. Di conseguenza a partire da repliche del prototipo di QUonG attualmente in fase di integrazione sarà quindi possibile realizzare una installazione di classe PetaFlop (peak singola precisione) con circa 15 armadi e un volume di occupazione simile all'attuale installazione di apeNEXT di Roma. Nella tabella 3.10 è inoltre riportata una previsione degli indici di performance di costo e prestazioni per singolo armadio basata sullo scaling tecnologico aspettato per le unità GPGPU. Le prossime generazioni di GPU (Nvidia Kepler di introduzione attesa nel 2012) raggiungeranno performance dell'ordine dei 5 TeraFlop per device permettendo la realizzazione un'installazione molto compatta di classe multi-PetaFlop ad un costo di poco superiore a 1 MEuro/PetaFlop con annessa una sensibile riduzione dei costi operativi dovuti ad un più basso consumo ed ad una più alta integrazione.

Il progetto QUonG fa 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 partner 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 Roma Sapienza, Dipartimento di Ingegneria Elettronica**
- **Università di Padova, Dipartimento di Elettronica e Informatica**
- **RWTH Aachen University, ISS**
- **Swiss Federal Institute of Technology Zurich, CH**
- **Università di Julich e Wuppertal**
- **Tima e Université Joseph Fourier Grenoble I**

Principali partner industriali:

- **NVidia**
- **Atmel**
- **Eurotech spa**
- **Sky Technology**
- **Seco**
- **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 e per il progetto AURORA il co-finanziamento della Provincia Autonoma di Trento (PAT). Come evidenziato nella tabella 3.11 nel periodo 2006-2013 la partecipazione del gruppo ai progetti Europei FP6 ed FP7 ha generato un cofinanziamento pari a 2900 KEuro utilizzato principalmente per il reclutamento di giovani ricercatori e tecnologi da impiegare nelle attività di ricerca e sviluppo. Nella tabella 3.11 sono inoltre indicate le previsioni di spesa per la realizzazione dell'installazione di classe PetaFlop la cui roadmap prevede nel 2012 l'integrazione di un prototipo di armadio completo da 70 TeraFlop per un costo pari a 300 KEuro e nei 2 anni successivi un investimento pari a circa 2 MEuro per la costruzione del sistema finale nell'ambito del progetto premiale di supercalcolo INFN *SUMA*.

<b>APE: fondi ordinari in KEuro</b>	Finanziamento
2010	120
2011	150
2012	300
(2013-2014) Progetto premiale supercalcolo	2000*
<b>APE: Fondi esterni in KEuro EU FP6/FP7</b>	Finanziamento
2006-2009 (SHAPES)	800
2010-2013 (EURETILE)	2100
<b>AURORA: fondi ordinari in KEuro</b>	Finanziamento
2009-2011 (Fase 1)	300
2012-2013 (Fase 2)	600**
<b>AURORA: fondi esterni in KEuro (PAT)</b>	Finanziamento
2009-2011 (Fase 1)	1500
2012-2013 (Fase 2)	600***

Note:

\* Finanziamenti richiesti per fasi successive del progetto

\*\* Richiesta finanziaria all'INFN per AURORA Fase 2 attualmente in fase di discussione

\*\*\* Quota legata all'eventuale finanziamento INFN di AURORA fase 2.

Tab. 3.11: Finanziamenti del progetto APE.

## 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 3.12.

#### **PRINCIPALI RISULTATI CONSEGUITI NEL 2012**

- Ciclotrone:

Nel 2011 è iniziata la realizzazione del ciclotrone presso la ditta BEST (Canada) che ha presentato il progetto realizzativo nel Giugno 2011, in accordo con il piano di lavoro sottoscritto con il contratto per l'acquisizione del ciclotrone firmato nell'Ottobre 2010. Il progetto è stato analizzato e valutato positivamente dal gruppo di esperti che fa riferimento alla task5 del progetto SPES. La consegna del progetto è la prima milestone per l'inizio del pagamento. Sono stati versati alla BEST 3 Meuro, secondo quanto previsto nel contratto, nel Luglio 2011.

A Gennaio 2012 è stato forgiato il ferro del magnete ed è in fase di spedizione dalla ditta costruttrice in Giappone alla BEST in Canada. Il piano di lavoro segue la tempistica programmata.

- Edilizia:

è stato ridefinito il layout del trasferimento e selezione del fascio ottimizzando il percorso delle linee e la disposizione delle apparecchiature. Questo processo ha portato all'ottimizzazione dell'edilizia ed è entrato nella fase conclusiva il progetto esecutivo dell'edilizia e degli impianti.

- Sistema di front-end ISOL:

si sono eseguiti esperimenti sotto fascio di caratterizzazione del materiale del bersaglio presso ORNL (Oak Ridge, USA) e sono stati pubblicati i risultati delle misure precedenti.

È stata messa in funzione la sorgente al plasma per la produzione di fasci di alogeni ed è iniziata la sperimentazione con la sorgente laser.

- Ri-acceleratore:

si è concluso lo studio per la definizione del sistema di pre-accelerazione adottando lo sviluppo di un sistema a RFQ calda che utilizza la tecnologia già sviluppata per IFMIF a LNL-Pd-To-Bo. È stata abbandonata la soluzione con piattaforma a 250kV la cui operatività è considerata poco affidabile nell'ambiente ad alta radiazione del bersaglio ISOL.

- Scuola SPES:

è stata organizzata una Scuola internazionale di formazione in tecniche sperimentali con fasci radioattivi ("*First SPES School on Experimental Techniques with Radioactive Beams*", Laboratori Nazionali del Sud, 8-11 novembre 2011). La scuola ha avuto un ottimo successo con la presenza di molti giovani laureandi, laureati e PhD, ricercatori junior e senior, e un ampio contesto internazionale.

Sono stati affrontate alcune delle problematiche più rilevanti nel campo della fisica con i fasci radioattivi, dando rilievo alle tecniche di rivelazione, e mostrando l'attività sviluppata ed in corso in molti laboratori nel mondo.

- Progetto premiale:

Il progetto SPES è stato presentato al MIUR come Progetto Premiale 2011.

#### 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 pre-accelerati 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 a 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 ALTER COMPONENTI DELLA RETE DI RICERCA

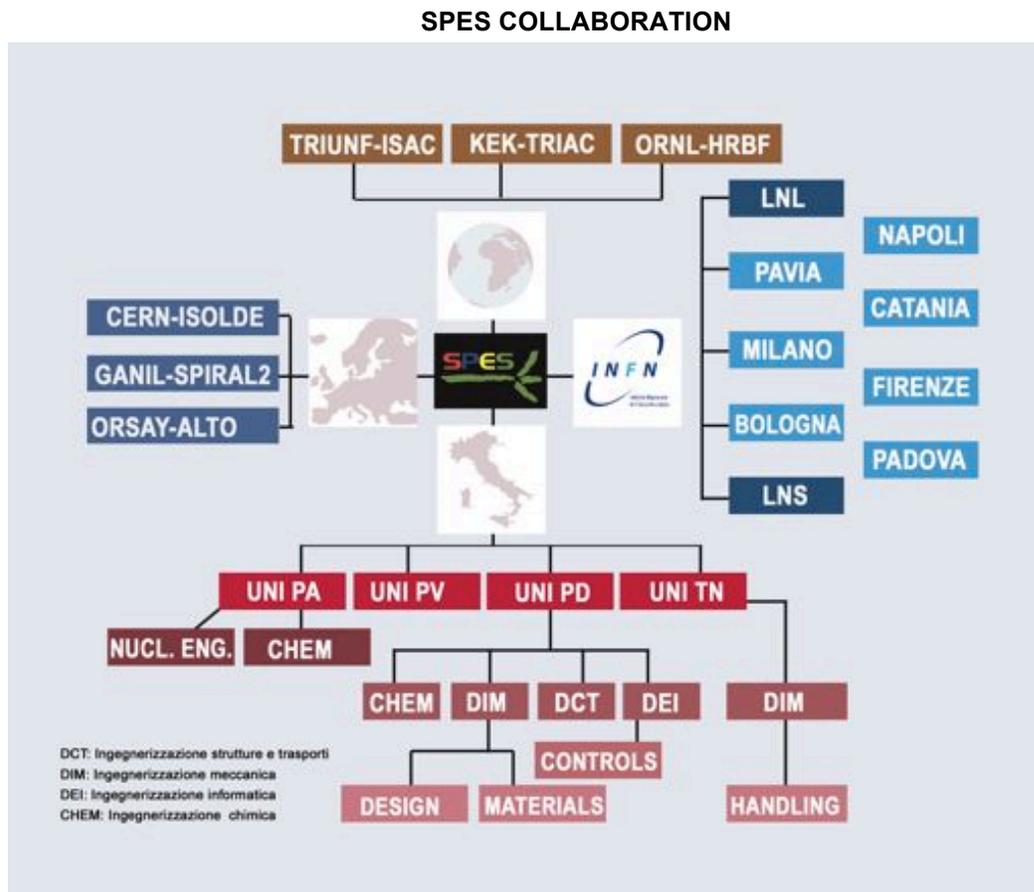


Fig. 3.21: Collaborazione SPES

### COSTI

PROGETTO SPES:	Facility ISOL: fasci di ioni ricchi di neutroni, $10^{13}$ 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.		
	Costo stimato globale	~ 70-100 Meuro	
FASE ALFA	Fase Ciclotrone: sistema ISOL per fasci esotici non da fissione e non riaccelerati. Produzione di neutroni con fascio del ciclotrone	30 Meuro	Finanziamento 2010-2012
FASE BETA	Fase riaccelerazione: produzione, trasporto, selezione ad alta risoluzione e riaccelerazione di fasci esotici da fissione. Messa in funzione del secondo bersaglio ISOL.	25 Meuro	Finanziamento 2013-2015
FASE DELTA	Fase sorgente di neutroni: progetto e realizzazione di una facility di neutroni che utilizza il fascio di protoni del ciclotrone.	10 Meuro per la realizzazione di due strutture di misura con neutroni (progetto LINCE)	Finanziamento 2012-2015 in collaborazione con altri enti.
FASE GAMMA	Fase laboratorio per produzione radioisotopi per scopi medici e ricerca applicata con fasci di protoni e neutroni del ciclotrone	10-30 Meuro a seconda del livello di produzione dei radioisotopi (progetto LARAMED)	Finanziamento 2012-2015 in collaborazione con altri enti.

Tab. 3.12: Costo complessivo delle fasi di realizzazione del progetto SPES

PROGETTO SPES: costi previsti in Milioni di €	Facility ISOL: fasci di ioni ricchi di neutroni, $10^{13}$ f/s, A= 60-160, 10 AmeV riaccelerati con RFQ e Linac-ALPI. 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>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>
SPES ISOL	14	11	14
LINCE	0	1	3
LARAMED	0	5	12

Tab. 3.13 Costo annuo previsto per la realizzazione di ciascun progetto nel triennio 2012-2014

#### RISORSE FINANZIARIE

Il progetto utilizza risorse finanziarie INFN.

Per le attività applicative sono in corso contatti con Università e ASL sul territorio veneto per il loro coinvolgimento nella realizzazione di parti di interesse specifico.

## CONSUNTIVO 2010-2011

Le attività previste come highlight per il 2010 sono state tutte completate:

- Definizione del progetto esecutivo per l'edilizia e le infrastrutture.
- Completamento della gara di acquisto del ciclotrone e inizio costruzione.
- Operazione del Front-End ISOL completo di bersaglio, sorgente a ionizzazione superficiale e a plasma, estrazione del fascio a 30 keV. Inizio attività con ionizzazione via laser.
- Test sotto fascio di nuovi materiali per bersagli ISOL con la produzione di pasticche di carburo di uranio con nano tubi e test sotto fascio a ISOLDE e ORNL.
- È iniziata la realizzazione del sistema ISOL di test sotto fascio a LNS.
- Scuola Internazionale SPES (LNS, 8-11 Novembre 2011).
- Convegno Internazionale "SPES 2010 International Workshop", Legnaro, 15-17 Novembre 2010.

## HIGHLIGHT 2012

Per il prossimo anno sono previsti i seguenti obiettivi:

- Inizio della realizzazione edilizia e delle infrastrutture.
- Avanzamento nella costruzione del ciclotrone.
- Installazione filtro di wien e analisi fascio sorgente ISOL
- Installazione 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.

	2012	2013	2014
SPES ISOL	Gara edilizia e assegnazione lavori. Monitoraggio avanzamento lavori ciclotrone. Progettazione sistema di trasporto fascio. Progettazione sistema di preaccelerazione. Misure di produzione sotto fascio a LNS.	Realizzazione edilizia. Completamento ciclotrone in sede ditta costruttrice. Inizio costruzione Separatore ad alta risoluzione. Inizio costruzione preacceleratore. Sviluppo Charge Breeder. Progetto Beam Cooler. Sviluppo del sistema di	Completamento edilizia. Trasferimento del ciclotrone e inizio installazione. Avanzamento nella realizzazione del sistema di trasporto e selezione dei fasci esotici. Avanzamento nella realizzazione del preacceleratore a RFQ e del Charge Breeder.

	Implementazione del sistema di Sicurezza	controllo e sicurezza per l'operazione del ciclotrone	Installazione dei sistemi di controllo per gli accessi.
LINCE	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
LARAMED	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.

Tab. 3.14: Obiettivi generali (milestones) realizzabili nel triennio per i progetti più rilevanti

#### 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 carburi 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 3.26 e la figura 3.27 mostrano uno schema del laboratorio ciclotrone e il sistema ISOL installato e in operazione a LNL.

La figura 3.28 mostra il ferro del magnete dopo la lavorazione di forgiatura in Giappone.

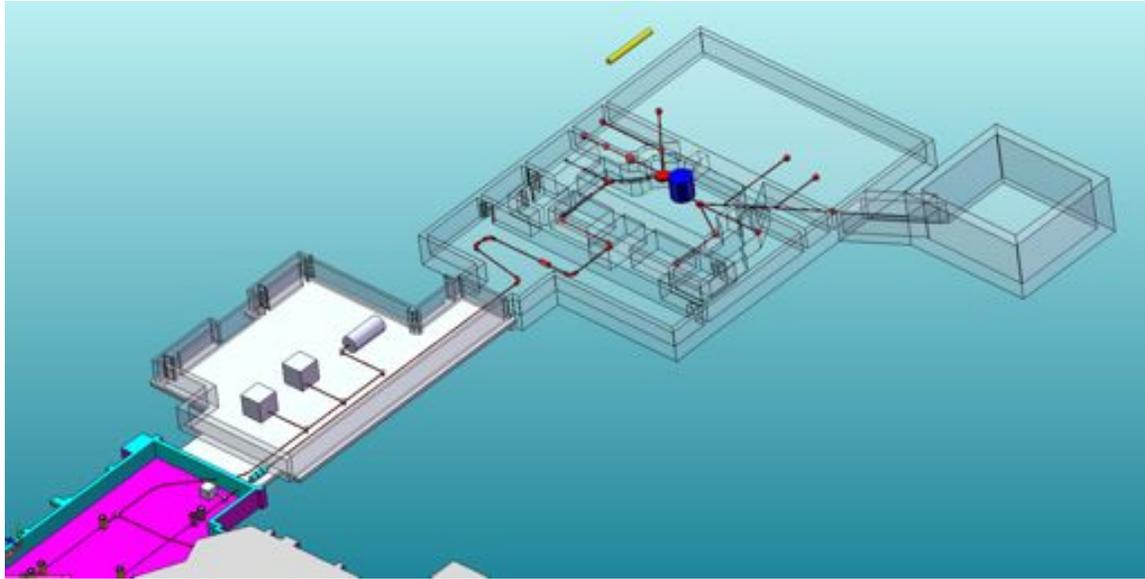


Fig. 3.22: Isometrico laboratorio Ciclotrone e layout di trasferimento e selezione del fascio esotico.



Fig. 3.23: Sistema ISOL installato a LNL Fig. 3.28 Ferro del magnete dopo la forgiatura

<b>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 2011</b>	Definito il progetto esecutivo per l'edilizia e gli impianti.. Avviata costruzione ciclotrone dalla ditta BEST. Operativo front-end ISOL e produzione fasci stabili in laboratorio. Organizzazione Scuola internazionale su tecniche sperimentali con fasci radioattivi.								
<b>Costo annuo previsto per la realizzazione di ciascun progetto nel triennio 2011-2013</b>	2012 14M€			2013 17M€			2014 31M€		
	ISOL	LINCE	LARAMED	ISOL	LINCE	LARAMED	ISOL	LINCE	LARAMED
	14			11	1	5	14	5	12
<b>Obiettivi generali SPES_ISOL</b>	<b>2012</b>			<b>2013</b>			<b>2014</b>		
	Gara edilizia e assegnazione lavori. Monitoraggio avanzamento lavori ciclotrone. Progettazione sistema di trasporto fascio. Progettazione sistema di preaccelerazione. Misure di produzione sotto fascio a LNS. Implementazione del sistema di Sicurezza			Realizzazione edilizia. Completamento ciclotrone in sede ditta costruttrice. Inizio costruzione Separatore ad alta risoluzione. Inizio costruzione preacceleratore. Sviluppo Charge Breeder. Progetto Beam Cooler. Sviluppo del sistema di controllo e sicurezza per l'operazione del ciclotrone			Completamento edilizia. Trasferimento del ciclotrone e inizio dei test di accettazione. Avanzamento nella realizzazione del sistema di trasporto e selezione dei fasci esotici. Avanzamento nella realizzazione del preacceleratore a RFQ e del Charge Breeder. Installazione dei sistemi di controllo per gli accessi.		
<b>Obiettivi generali 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>Obiettivi generali 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.		

<b>Progetti di rilevanza scientifica</b>	SPES_ISOL: Realizzazione di un sistema ISOL di seconda generazione che fornisca fasci riaccelerati di ioni ricchi di neutroni per lo studio della fisica nucleare fuori dalla valle di stabilità.
<b>Progetti di rilevanza applicativa</b>	<p>LINCE: 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>LARAMED: 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>GENERATORE di Neutroni ADS: Il fascio di protoni può essere di interesse per sostenere un ADS (<i>Accelerator Driven System</i>) 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 ASL 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.

Tab. 3.15: Tabella riassuntiva – Progetto SPES



## **PROGETTI SPECIALI GRID**

Le attività che fino al 2010 rientravano in INFN-GRID, dal 2011 sono suddivise fra 2 progetti speciali: INFN-GRID e IGI che saranno descritti in dettaglio in questo capitolo.

### **INFN-GRID - ATTIVITÀ 2011:**

Il progetto speciale INFN-Grid ha continuato a fornire la struttura unitaria di coordinamento e finanziamento ai progetti basate su tecnologie GRID e relative attività delle sezioni, laboratori ed esperimenti dell'INFN, tramite l'apposito INFN-Grid Executive Board. Il progetto speciale IGI, che ha iniziato in questo anno la sua attività (vedi infra) copre dal 2012 parte delle attività in passato di pertinenza di INFN-GRID, in particolare quelle connesse ai progetti europei IGI-InSPIRE ed EMI. La distinzione logica assegna a IGI i progetti con ruolo infrastrutturale, per il mantenimento dei servizi e del middleware GRID di interesse generale e per i loro sviluppi sempre di interesse generale. Spettano per contro a INFN-GRID le attività di specifico interesse INFN. Un chiaro esempio di interesse primario INFN è dato dal progetto WLCG e attività connesse; i progetti di cooperazione internazionale basata su GRID, come EU-India-Infra e CHAIN2, sono stati per quest'anno inclusi in INFN-GRID, la loro collocazione potrà essere ridiscussa in futuro, a seguito del consolidamento di IGI.

Nel 2011 si è sviluppata impetuosamente l'analisi degli esperimenti a LHC, che ha portato una vasta messe di risultati di fisica e dimostrato definitivamente la funzionalità, efficienza e robustezza dell'infrastruttura di calcolo basata su GRID. Nell'ambito di WLCG è intanto iniziata la fase preparatoria dell'upgrade del sistema di calcolo che si metterà in atto dopo il lungo stop di LHC. Gli altri progetti finanziati da EU e attivi in INFN-GRID sono stati EGI-InSPIRE, EMI, EU-India, EPIKH, CHAIN, LIBI, We-NMR, a cui si aggiunge l'infrastruttura di training nazionale per Grid, GILDA.

### **FINANZIAMENTI 2011**

Nel 2011 il finanziamento a INFN-GRID è stato di 700 kE, per coprire le attività correnti dei progetti in corso (missioni, consumi e circa 200 kE hardware) . Da notare che nello stesso periodo le attività di calcolo di LHC sono state finanziate con 1,5 ME ai Tier2, tramite gli esperimenti, mentre il finanziamento al Tier1 è stato > 2.5 ME.

Il finanziamento a INFN per il 2012 è stato di 400 kE, non includendo più le attività di EGI-InSPIRE e EMI, assunte da IGI. I progetti non WLCG che iniziano nel 2012 sono il solo CHAIN2, mentre Eu-India-Infra era iniziato a metà 2011.

#### **PROSPETTIVE PER IL 2012 E A MEDIO E LUNGO TERMINE**

Le prospettive per INFN-GRID vengono descritte nell'assunzione che IGI si consolidi e svolga il ruolo di mantenere e sviluppare l'infrastruttura GRID di interesse generale, intraprendendo anche gli opportuni progetti Europei e Nazionali, che dovranno fornire il finanziamento alle attività di innovazione connesse con GRID e CLOUD. Assumiamo anche che le competenze attualmente presenti nell'INFN su GRID non vengano disperse ma restino disponibili, in parte tramite IGI, anche quando IGI avrà acquisito autonomia dall'INFN. La coordinazione fra i 2 progetti speciali e con il Tier1 e la Commissione Calcolo è assicurata da un Management Board del calcolo, che include i responsabili nazionali dei 2 progetti, il direttore del CNAF e il Presidente della Commissione Calcolo

Per il 2012 INFN-GRID continua le attività già trattate per il 2011, e tiene riunioni mensili dell suo Executive Board allargato (EBL). EBL include i coordinatori nazionali calcolo degli esperimenti LHC, CDF e BaBar/SuperB, i rappresentanti delle Commissioni Scientifiche Nazionali, ed esperti dei servizi sia Tier1 che Grid-IGI, è presieduto dal responsabile nazionale di INFN-GRID e agisce fra l'altro come forum di discussione per preparare la proposta di un nuovo assetto per il calcolo scientifico INFN. In questo assetto le attività coperte oggi da INFN-GRID potranno essere assunte da un organismo stabile, con struttura simile ad una commissione nazionale piuttosto che con quella di un progetto speciale, per sua natura temporaneo. L'organismo dovrà comunque assicurare le funzioni principali che restano ad INFN-GRID una volta scorporate le attività proprie di IGI: il coordinamento e promozione dei progetti di calcolo di interesse specifico INFN ( incluso WLCG) e il finanziamento di quella parte dei progetti che non passa naturalmente attraverso gli esperimenti. Il finanziamento della partecipazione a WLCG del personale dei servizi calcolo e del CNAF non afferenti agli esperimenti è a carico di INFN-GRID, come pure le

partecipazioni a conferenze e workshop Grid per il personale che non rendiconta nei progetti specifici che organizzano gli eventi

Per questi progetti sono decisive le competenze dei servizi calcolo la cui rappresentanza è oggi assicurata tramite la commissione calcolo e reti. L'iniziativa per i progetti però fin qui è generalmente nata al di fuori dei servizi calcolo, con personale in parte diverso, e l'integrazione fra servizi calcolo e progetti di calcolo è fra gli obiettivi ancora da realizzare.

### **PROGETTO SPECIALE IGI (Italian Grid Infrastructure)**

#### **ATTIVITÀ 2011**

Alla fine del 2010 il MIUR ha erogato all'INFN, per l'avvio di IGI, un contributo di 2 M€. Questo è stato utilizzato assieme al contributo di 1 M€ circa della Commissione Europea per la partecipazione ai progetti EGI-InSPIRE e EMI per dare l'avvio nel 2011 ad un progetto speciale INFN, denominato IGI, sotto cui raccogliere tutte le attività grid di valenza generale e il personale a queste dedicato, prima finanziato direttamente dall'INFN o da altri partner.

Il Progetto Speciale è gestito dal Comitato di Coordinamento della JRU IGI, che comprende i rappresentanti di tutti i partner (enti di ricerca, università e consorzi) della JRU IGI e agisce come Assemblea dei Soci, e da un Comitato Esecutivo da questo nominato che agisce come un CdA.

Su mandato del Ministero (MIUR) la JRU IGI rappresenta la National Grid Initiative (NGI) italiana nel Council e nelle attività tecniche dell'European Grid Initiative (EGI) che coordina la gestione dell'infrastruttura grid europea.

Particolare cura è stata posta durante la prima parte del 2011 nel chiarire con l'INFN e gli altri partner le responsabilità di IGI nella gestione dei servizi grid necessari per il calcolo di LHC o di altri progetti INFN.

Si è seguito il modello di funzionamento generalmente adottato a livello Europeo, assegnando a IGI la responsabilità dei progetti con ruolo infrastrutturale o che hanno come obiettivo il mantenimento e lo sviluppo dei servizi e del middleware GRID di interesse generale, e in particolare i progetti EGI-InSPIRE e EMI, mentre sono rimaste di pertinenza del progetto speciale INFN-Grid le attività di specifico interesse INFN come quelle relative a WLCG.

Le attività programmate e realizzate all'interno del Progetto Speciale IGI hanno dovuto tenere conto di un finanziamento ridotto rispetto a quanto programmato con la conseguenza che non è stato possibile assumere su fondi MIUR tutto il personale previsto. Si è quindi data priorità in questo primo anno alla selezione delle persone dei partner coinvolte nelle attività e nei servizi di base e solo all'inizio del 2012 si è cominciato con fondi residui a coprire le necessità di supporto a nuove comunità di utenti e di formazione.

#### **PROSPETTIVE PER IL 2012 E A MEDIO E LUNGO TERMINE**

Nel 2012 e negli anni seguenti IGI si deve consolidare e svolgere il ruolo di sviluppare, mantenere e mettere a disposizione di tutti nell'infrastruttura GRID nazionale i servizi di interesse generale, partecipando anche a opportuni progetti Europei e Nazionali, che dovranno fornire il finanziamento alle attività di innovazione connesse con Grid e soprattutto Cloud. L'obiettivo è aumentare in modo significativo le comunità e gruppi accademici e di ricerca che accedono ai servizi di IGI, che costituisce la missione principale di IGI.

Questo obiettivo sarà perseguito in collaborazione con EGI e altre iniziative internazionali sia facendo evolvere i servizi Grid esistenti sia introducendo nuovi servizi che rispondano alle esigenze di nuove comunità di utenti, come quelle legate alle infrastrutture di ricerca incluse nella roadmap ESFRI. Parallelamente IGI svilupperà gli strumenti opportuni per abbattere le barriere d'ingresso all'uso delle risorse distribuite e questo si potrà realizzare anche mediante lo sviluppo di un'offerta Cloud basata su software open che consenta ai team di ricerca di ottenere in modo elastico e flessibile le risorse e gli ambienti virtuali di cui hanno bisogno.

#### **PROGETTO SPECIALE ELN (ELOISATRON)**

##### **DESCRIZIONE GENERALE DEL PROGETTO**

L'obiettivo del progetto è dimostrare che, partendo da tecnologie esistenti è possibile, con una serie di attività di ricerca e sviluppo scientifico-tecnologiche realizzabili nel giro di pochi anni, dimostrare la fattibilità di un collider a protoni con parametri di energia e luminosità superiori di almeno un ordine di grandezza a quelli di LHC. In parallelo con queste attività di R&S, il progetto ELN dedica notevole attenzione alle ricerche puramente

teoriche legate ai limiti estremi di energia e luminosità che è possibile ottenere. La fisica legata alle massime energie ottenibili e i rivelatori in grado di ottenere risultati analizzabili fanno parte integrante del progetto. Lo studio di fattibilità di un futuro protosincrotrone superconduttore, con parametri di energia e luminosità di molto superiori a quelli di LHC, è stato portato avanti da parecchi anni nell'INFN grazie al Progetto Speciale ELN (Eloisatron). A tale studio si affianca anche, nell'ambito del Progetto stesso, quello delle molteplici implicazioni fisiche e tecnologiche di una simile impresa.

#### **STRUTTURE INFN E ALTRE ISTITUZIONI PARTECIPANTI**

Il Progetto ELN si avvale di una vasta collaborazione internazionale che ha come sede centrale Bologna (Università e INFN). Le attività della collaborazione internazionale si articolano su gruppi di lavoro localizzati a: Amburgo (DESY), Berkeley (LBNL), Ginevra (CERN), Houston (HARC, Texas A&M Univ.), Los Angeles (UCLA), Mosca (ITEP, NPI-State Univ.), New York (Columbia Univ.), Salerno (Università e INFN), San Pietroburgo (PNPI), Twente (Univ.) e Vilnius (Univ.). Partecipano inoltre al Progetto ELN: il Museo Storico della Fisica e Centro Studi e Ricerche "Enrico Fermi" (Centro Fermi), la Fondazione "Ettore Majorana" e Centro di Cultura Scientifica (FEMCCS), la *World Federation of Scientists-World Laboratory* (WFSWorldLab) e il MIUR.

#### **ATTIVITÀ SVOLTE NEL 2011**

Le attività del Progetto ELN sono proseguite secondo le sue quattro linee guida: 1) studi teorici e fenomenologici sulla fisica a molte centinaia di TeV, a partire dai livelli di energia accessibili adesso o nell'immediato futuro (LHC); 2) studi teorici sul collider adronico ai massimi livelli di energia ( $\sqrt{s} = 200 \text{ TeV} - 1 \text{ PeV}$ ) e luminosità ( $10^{34} - 10^{36} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ); 3) R&S su cavità rf e magneti superconduttori di nuova generazione; 4) R&S su rivelatori di particelle capaci di operare in condizioni estreme di risoluzione spaziale e temporale, oltre che di resistenza alle radiazioni.

#### **HIGHLIGHT 2011**

**Nel 2011 sono stati studiati, in particolare, temi e obiettivi di fisica (interazioni protone-protone, protone-nucleo e nucleo-nucleo ad altissima energia, fisica "leading" a LHC, dinamica di QCD a piccolo x, fisica di una nuova forma di materia adronica deconfinata fatta di quark e gluoni) e tecniche sperimentali di rivelazione e di accelerazione di particelle, con particolare riguardo al problema della**

**collimazione dei fasci adronici e a quello delle loro possibili applicazioni in altri campi. Per quanto riguarda le attività di R&S, è da segnalare lo sviluppo degli studi relativi al prototipo di rivelatore MRPC (*Multigap Resistive Plate Chamber*) con il quale era stata ottenuta una risoluzione temporale di soli 20 ps: un record mondiale.**

#### **PROSPETTIVE A MEDIO TERMINE**

Con l'avvio di LHC si aprono nuovi orizzonti per la fisica nucleare e subnucleare. È dunque più che mai opportuno che l'INFN, attraverso una collaborazione internazionale che si articoli su scala mondiale (e non solo europea), rivolga la propria attenzione al futuro della fisica adronica nell'era post-LHC, con grande anticipo rispetto alle eventuali scoperte di LHC. Nel triennio 2012-2014, nel quadro del Progetto ELN, dovranno dunque essere potenziate le attività di ricerca e sviluppo che puntano alle più moderne tecniche di rivelazione di particelle e di accelerazione, anche alla luce delle linee strategiche già emerse in ambito europeo (CERN, ECFA, ESFRI, FALC, etc.) e nazionale (INFN).

#### **PROSPETTIVE A LUNGO TERMINE**

L'upgrade di LHC in un futuro relativamente prossimo, sia in termini di luminosità sia in termini di energia, sarà di grande valore per gli studi già fatti nell'ambito del progetto ELN. La realizzazione di un supercollider adronico ha bisogno della realizzazione di nuovi prototipi di dipoli magnetici con grandi dimensioni ed elevate intensità di campo (anche tramite l'utilizzo di materiali superconduttori innovativi), nonché di nuovi prototipi di cavità rf (radio-frequenza). Dovranno proseguire dettagliate simulazioni Monte Carlo che consentano di indagare sulle potenzialità fisiche del supercollider. Se i finanziamenti lo permetteranno, sarà anche studiata la possibile realizzazione di un futuro collider elettrone-protone. Per quanto riguarda i rivelatori di particelle, saranno di cruciale importanza, da un lato, la costruzione di nuovi prototipi che costituiscano tappe consolidate per nuove ricerche e sviluppi tecnologici, dall'altro, la verifica della loro possibile realizzazione su larga scala. Di particolare rilevanza sarà l'attività di R&D per quanto riguarda la risposta in risoluzione temporale dei rivelatori. Sarà necessaria una intensa attività di R&D per la costruzione di rivelatori di particelle i cui prototipi possano essere sottoposti a test al CERN in modo da verificare quali parametri migliorare per ottenere risoluzioni temporali ancora più potenti di quelle finora ottenute. Uno degli obiettivi principali del progetto ELN riguarda infatti lo studio dei rivelatori di particelle per far fronte

alle enormi difficoltà legate alla molteplicità delle particelle prodotte in ogni interazione e alla luminosità della macchina che deve essere progettata in modo da ottenere valori massimi di questo cruciale parametro. Parametro che viene subito dopo quello del livello di energia. La redazione di un ELN TDR (*Technical Design Report*) dovrà essere parte effettiva della pianificazione operativa.

### 3.9 I PROGETTI EUROPEI

#### ATTIVITÀ 2009-2011

Il 2008 ha visto la conclusione di molti progetti di ricerca iniziati nel VI PQ (Programma Quadro) dell'Unione Europea e l'inizio di altrettanti progetti del VII. La partecipazione dell'INFN al VI PQ è stata molto attiva e fruttuosa; il tasso di successo dei progetti presentati è stato superiore al 70% ed il finanziamento totale della Commissione Europea è stato di circa 30 MEuro. Anche nell'ambito dei primi bandi del VII programma quadro l'INFN ha presentato svariati progetti di successo.

Il VII programma quadro della commissione europea (2007-2013) presenta delle novità importanti rispetto al precedente: la durata, 7 anni, il budget di circa 50 miliardi, aumentato del 74%/anno, ma soprattutto si nota un cambiamento rispetto alla ricerca. Per la prima volta infatti è stato stanziato un budget specifico per la ricerca di base, il programma IDEAS con uno stanziamento di 1.06 GEuro/anno. Ancora più importante per l'INFN è il finanziamento dedicato alla fase preparatoria ed alla costruzione 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. Una prima revisione della roadmap si è conclusa nel 2008 ed una seconda nel 2010.

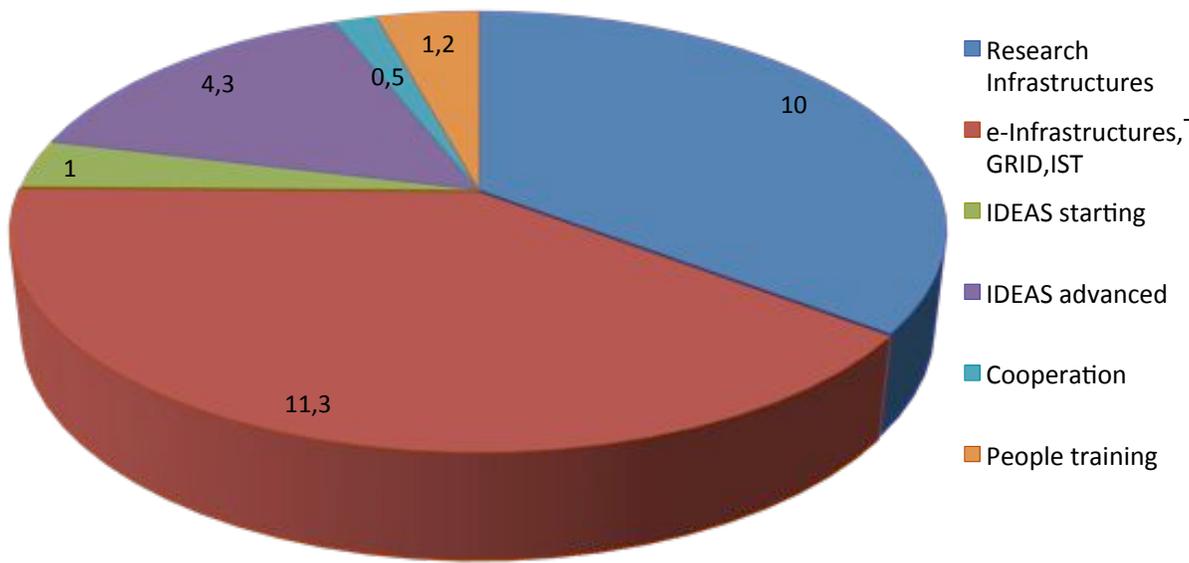
Particolare rilevanza nell'ambito del VII FP è la creazione dello **Spazio Europeo della Ricerca** (European Research Area, ERA), il cui scopo principale è quello di favorire l'integrazione ed il coordinamento delle attività e delle politiche nazionali nel settore della ricerca.

La costruzione di nuove infrastrutture il miglioramento e l'integrazione di quelle esistenti assumono notevole rilevanza nella realizzazione di ERA. È proprio tramite l'accesso alle infrastrutture esistenti e tramite la creazione di consorzi per la costruzione di nuove

infrastrutture che si possono superare le frammentazioni esistenti sulle pratiche e sulle politiche nazionali nel settore della ricerca. Recentemente, a questo scopo, la Commissione Europea ha anche messo a punto uno strumento che facilita la costituzione di consorzi per le infrastrutture europee di ricerca (*European Research Infrastructure Consortium - ERIC*). L'INFN è un attore importante nella costruzione di ERA partecipando attivamente e promuovendo, come si vedrà in seguito, numerosi progetti sulle infrastrutture di ricerca.

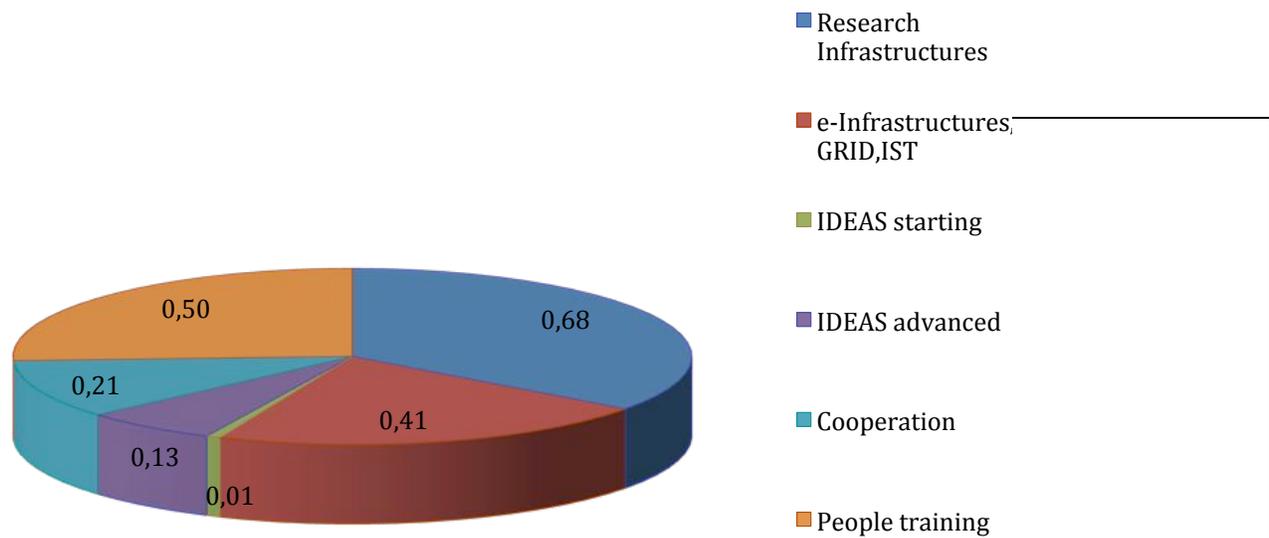
Sfruttando l'esperienza acquisita nella partecipazione ad importanti progetti del VI PQ e grazie anche ad un miglior coordinamento, l'INFN ha partecipato attivamente e con successo già alle prime *call for proposal* del VII PQ in tutti i programmi. Degli oltre 140 progetti presentati nei primi bandi, più di 30 sono stati approvati, in particolare nell'ambito delle infrastrutture di ricerca, dove l'INFN ha una consolidata esperienza e *know-how* nel campo delle cosiddette e-infrastrutture grazie alla pluriennale esperienza nelle tecnologie del calcolo intensivo distribuito GRID (Grid computing), e nei programmi IDEE e Marie Curie dedicati ai giovani ricercatori. Il tasso di successo in queste prime *call* è stato di circa il 30% da confrontare con il 15% della media italiana. Il finanziamento complessivo della commissione europea per l'INFN relativamente a questi primi progetti approvati è di circa 19 MEuro. Vedi figure 3.31 e 3.32.

La partecipazione dell'INFN al programma COOPERAZIONE(COOPERATION), il cui scopo è incentivare la cooperazione e rafforzare i legami tra l'industria e la ricerca in un quadro transnazionale, è limitata: fra le 11 priorità, quella relativa all'ICT (*Information and Communication Technology*) riguarda direttamente le attività INFN, mentre le tecniche nucleari e le applicazioni degli acceleratori di particelle sono trasversali a diverse aree tematiche (*Health, Environment, Food, Nanoscience, Energy, Security*).



udget (MEuro) for the different schemes

Fig. 3.24: Progetti presentati nelle varie tipologie



Success rate in the different schemes

Fig. 3.25: Tasso di successo nelle varie tipologie

<i>Strumento</i>	<i>Numero progetti</i>
Design studies	2
Preparatory phase	9
Attività integrate	7
e-infrastructures	14
Contributo UE per l'INFN	26 MEuro

Tab. 3.16: Progetti INFN nelle 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 3.12). 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 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 package*:

- 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 4 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;
- HadronPhysics3 prosegue le attività di ricerca e networking dei suoi due predecessori. È stato approvato nel 2011 ed inizia nel 2012 con un budget di 9 MEuro di cui 2.8 all'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.
- Infine 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.
- AIDA è un progetto che si occupa delle infrastrutture di ricerca necessarie allo sviluppo di nuovi rivelatori per i futuri acceleratori di particelle, come SLHC, i linear colliders ILC e CLIC, le future neutrino-factories e la SuperB. Ha un finanziamento totale di 9.9 MEuro, dei quali 0.9 vanno all'INFN.
- ENSAR coinvolge le principali infrastrutture europee per la fisica nucleare, sostenendo attività di ricerca nel campo della struttura nucleare, dell'astrofisica nucleare e delle applicazioni di fisica nucleare. Il finanziamento totale del progetto è di 8 Meuro, dei quali 1 MEuro va all'INFN.

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 (vedi anche paragrafo 3.8 (*progetto speciale INFN-GRID*)):

- EGEEIII e EMI sono progetti tesi a consolidare e a migliorare l'infrastruttura Grid europea ed il *middleware*;
- EELA-2, GISELA, 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;
- SIENA è un progetto che si propone di definire una roadmap per le *e-Infrastructure* avendo come obiettivo di massimizzare l'interoperabilità e l'adozione di standard.
- e-NMR, e la sua continuazione We-NMR, hanno lo scopo di 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 invece l'aspetto delle risorse umane e della mobilità, nell'ambito del programma PERSONE (PEOPLE) del VII PQ, il cui scopo è favorire la mobilità e la progressione di carriera dei ricercatori, sono stati presentati svariati progetti dello strumento *Research and Training Network* che coinvolgono ampie comunità internazionali intorno a programmi di formazione e scambi di giovani ricercatori. Ben 6 progetti di questo tipo sono stati approvati nei due bandi fino ad ora conclusi.

I ricercatori INFN hanno anche ottenuto notevoli risultati nel programma IDEE (IDEAS), il cui scopo fondamentale è favorire l'emergere di idee innovative investendo su progetti di eccellenza di ricercatori brillanti, sia giovani che esperti, e offrendo al ricercatore possibilità di costruirsi un proprio gruppo di ricerca. La prima *call*, dedicata ai giovani ricercatori (strumento *ERC Starting Grants*), ha ricevuto più di 9000 proposte in tutte le discipline con la possibilità di finanziarne circa 200; il 50% dei progetti si colloca nel campo della fisica e dell'ingegneria. Un progetto presentato da una ricercatrice INFN è stato finanziato. Il progetto, di durata quinquennale, ha come scopo l'applicazione di recenti tecniche della meccanica statistica ai rivelatori di onde gravitazionali (<http://www.rarenoise.lnl.infn.it/>). Nel quarto bando per ERC starting grant è stato invece finanziato il progetto NPFlavour, presentato da un ricercatore INFN, che si propone di sviluppare gli strumenti teorici per sfruttare la grande mole di risultati sperimentali disponibili in fisica del sapore, per cercare di determinare la struttura del modello sottostante (<http://npflavour.roma1.infn.it/>).

Nei primi due prestigiosi bandi IDEAS dedicati ai ricercatori senior (strumento "*ERC Advanced Grants*") l'INFN ha ottenuto ottimi risultati. Nella prima *call* sono stati presentati più di 3000 progetti in tutte le discipline di cui 997 per la fisica e l'ingegneria. Un progetto che ha come nodo principale l'INFN ed in particolare i Laboratori Nazionali di Frascati è stato selezionato: il progetto ha come titolo "*Supersymmetry, Quantum Gravity and Gauge Fields*", e si propone di studiare una serie di aspetti fondamentali della fisica dei buchi neri, della teoria delle stringhe e della teoria dei campi di spin elevato. Nella seconda *call* sono state presentate circa 800 proposte nel pannello relativo alla fisica e all'ingegneria. Per la Fisica fondamentale sono state selezionate 9 proposte, tre delle quali vedono come principal investigator ricercatori italiani. Uno di questi progetti, che ha scelto l'INFN come host institution, ha come scopo principale lo studio della massa del neutrino; il progetto è

stato finanziato con un budget di circa 3,3 MEuro e verrà effettuato nei Laboratori Nazionali del Gran Sasso dell'INFN.

Mettendo a frutto l'esperienza dei passati PQ, l'INFN ha migliorato l'organizzazione interna, il supporto informativo e amministrativo ai responsabili dei progetti e la diffusione delle opportunità offerte dal VII PQ. La Commissione per i Rapporti con l'Unione Europea (CRUE), istituita dall'INFN nel 2003, ha tenuto diversi seminari nelle cinque commissioni scientifiche nazionali e ha organizzato un ciclo dedicato di corsi di formazione per il personale amministrativo.

### **PROSPETTIVE**

Per quanto riguarda i programmi futuri, l'INFN intende sfruttare al meglio gli ultimi bandi del VII PQ e si sta preparando al nuovo programma Horizon2020 che inizierà nel 2014.

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.–Poche risorse restano ancora da allocare nel VII PQ, mentre nella bozza di Horizon2020 il finanziamento per le infrastrutture di ricerca è al momento ridimensionato. Tuttavia il programma è ancora in corso di discussione presso le istituzioni europee ed il management dell'INFN sta seguendo con attenzione i suoi sviluppi.

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. Numerose opportunità di estensione e applicazione di queste tecnologie sembrano emergere anche in Horizon2020.

Inoltre l'INFN prevede di partecipare ai nuovi schemi delle azioni Marie Curie per il cofinanziamento di programmi regionali, nazionali ed internazionali relativi alla mobilità dei ricercatori e di continuare a partecipare ai programmi di *training* per i giovani ricercatori. Anche i prossimi bandi IDEE, sia per giovani che per ricercatori esperti, vedranno un'ampia e qualificata partecipazione dei ricercatori INFN. Grande entusiasmo ha suscitato nella comunità INFN il primo bando ERC Sinergy Grant, che si propone di finanziare progetti innovativi di dimensione molto maggiore rispetto agli altri grant ERC e che quindi meglio si adattano a molte delle attività di ricerca dell'INFN. Numerose proposte sono state preparate, e certamente anche le prossime edizioni di questo bando saranno accolte con estremo interesse.

Infine i ricercatori dell'INFN resteranno attenti a cogliere le opportunità offerte dal programma COOPERAZIONE in tutti quei casi in cui le tecniche nucleari e con acceleratori sono rilevanti. Nel programma Horizon2020 grande rilevanza sarà data all'innovazione, sia nei suoi aspetti più legati allo sviluppo industriale che i quelli mirati a dare risposte ai cambiamenti sociali. L'INFN con la linea di ricerca 5 è da sempre attento a questi temi e non mancherà di partecipare ai bandi che permetteranno di utilizzare le tecnologie studiate e sviluppate nell'Ente.

L'INFN continuerà a migliorare anche la struttura di supporto scientifico e logistico-amministrativo ai progetti.

### **3.10 I PROGETTI CONGIUNTI CON ALTRI ENTI NAZIONALI E REGIONALI**

Numerose e significative sono le attività congiunte con altri enti ed Istituzioni, oltre a quelle già descritte nell'ambito dei progetti strategici e speciali nei paragrafi 3.8, soprattutto in ambito applicativo nei settori Medicina, Beni Culturali, Grid-ICT, formazione e diffusione della cultura scientifica. Di seguito si illustrano solo alcuni casi esemplari di attività svolte in collaborazione; per l'elenco completo si rimanda al successivo paragrafo 5.1:

1. Il Laboratorio LABEC di Sesto Fiorentino (Firenze)
2. Il Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica (CNAO)

3. Il Galileo Galilei Institute for Theoretical Physics (GGI)
4. Il Centro Enrico Fermi
5. La Fondazione Ettore Majorana (FEMCCS)
6. La Fondazione Bruno Kessler (FBK)
7. Il Consortium GARR

### **IL LABORATORIO LABEC**

Il laboratorio LABEC è una grande struttura della sezione di Firenze, che occupa locali del Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università di complessivamente oltre 1500 m<sup>2</sup>. È basata come strumento principale su un acceleratore di particelle di tipo Tandem, da 3 milioni di Volt di tensione massima di terminale, col quale si effettuano numerose importanti applicazioni interdisciplinari di tecniche della fisica nucleare, di notevole impatto sociale e culturale.

Nato inizialmente per applicazioni nel campo dei Beni Culturali, grazie alla versatilità delle attrezzature e all'originalità delle tecniche sviluppate, ha progressivamente esteso il campo di applicazioni anche al settore dei problemi ambientali (di particolare importanza e attualità il controllo della qualità dell'aria con la misura della composizione delle polveri fini in atmosfera), alla geochimica, alla scienza dei materiali in generale.



Fig. 3.26: Analisi di composizione dei pigmenti su una tela del Mantegna alla facility di microfascio esterno a scansione del Laboratorio per i Beni Culturali di Firenze (LABEC).

L'acceleratore Tandem del LABEC consente sia misure di *Accelerator Mass Spectrometry* (AMS) – in particolare datazioni archeologiche col metodo del  $^{14}\text{C}$  – che di *Ion Beam Analysis* (IBA) per sofisticate determinazioni non distruttive di composizione di materiali.

La caratteristica peculiare del LABEC è quella di svolgere un'estesa attività di ricerca e sviluppo di nuove tecnologie nucleari applicative (finanziata dall'INFN attraverso la Commissione Scientifica Nazionale 5), grazie alla quale si possono mantenere costantemente ai massimi livelli le attività più standard “di servizio” svolte a favore di dipartimenti universitari e altri Enti pubblici nel campo delle scienze umane, Sovrintendenze, Enti di tutela del patrimonio culturale, Enti di tutela della salute e dell'ambiente.

Per quanto concerne queste attività “di servizio”, il LABEC continua a produrre annualmente oltre duecento datazioni  $^{14}\text{C}$  di reperti archeologici o storici, nell'ambito di collaborazioni con gruppi di studiosi del settore ed enti di tutela; partecipa a campagne di indagini diagnostiche preliminari al restauro di opere d'arte di ogni tipologia; effettua migliaia di misure di composizione delle polveri fini in atmosfera, nell'ambito di campagne di monitoraggio della qualità dell'aria in collaborazione con Agenzie di protezione ambientale, in Italia e all'estero.

Riguardo alle attività di ricerca e sviluppo, invece, al LABEC si sono realizzati negli ultimi anni numerosi canali di fascio e nuovi set-up di misura, taluni con caratteristiche pionieristiche e tuttora uniche nel panorama mondiale: sono correntemente usati fasci estratti in atmosfera (una tecnica introdotta proprio dai ricercatori del LABEC, poi divenuta uno standard a livello internazionale in particolare per le analisi sui Beni Culturali), anche con dimensioni micrometriche e sistemi di scansione, per ricavare non distruttivamente non solo la composizione di un campione ma anche la distribuzione spaziale delle sue componenti; sistemi di fasci a impulsi brevissimi, un centinaio di ps (pico-secondi); sistemi di microfasci estratti di intensità controllata fino a poche particelle al secondo, con scansione su bersagli per effettuarne ad esempio una sorta di “radiografia” con particelle. Grazie ad alcune di queste realizzazioni, presso il LABEC si svolge anche una intensa attività

di supporto per esperimenti di fisica nucleare basati in altri e più grandi laboratori sia nazionali che all'estero, ad esempio test preliminari di rivelatori e misure di danno da radiazione.

Va sottolineato infine il ruolo che il LABEC svolge – grazie al fatto di essere inserito in una struttura locale dell'INFN, a stretto contatto col Dipartimento di Fisica e Astronomia - sia per la didattica universitaria nell'ambito di laboratori per studenti, che per l'addestramento alla ricerca e la formazione di competenze superiori (in diversi ambiti: impiantistica, elettronica, vuoto, rivelatori, acquisizione e analisi dati) a livello di tesi di laurea, laurea specialistica e dottorato.

Le elevate competenze e il prestigio del LABEC sono ampiamente riconosciuti a livello internazionale. Nel 2009 la rivista del NuPECC *Nuclear Physics News International* ha dedicato al LABEC un articolo nella serie dei *Laboratory portraits*.

Le attività del LABEC portano da un lato a una continua rilevante produzione di lavori scientifici, su riviste ISI e libri; dall'altro alla partecipazione in progetti pubblici finalizzati (campagne di studio di manufatti storico-artistici, campagne di monitoraggio dell'ambiente in ambito regionale, nazionale e mondiale). In particolare, nel corso degli ultimi tre anni, il LABEC si è inserito in una rete regionale di collaborazioni per la ricerca e i servizi, insieme ad altri enti pubblici come università, istituti del CNR, la Sovrintendenza regionale toscana, l'Opificio delle Pietre Dure, ricevendo finanziamenti dalla Regione Toscana per il pagamento di personale a tempo determinato per un totale di circa seicentomila euro. LABEC. Ha partecipato e partecipa inoltre a progetti regionali e internazionali nel campo del monitoraggio dell'inquinamento atmosferico (ad esempio i progetti PATOS – Particolato in TOScana - e il suo seguito PATOS2) e dei cambiamenti climatici, quali la collaborazione EPICA (*European Project for Ice Coring in Antarctica*).

Recentemente, uno sviluppo molto importante al LABEC ha riguardato l'uso dell'AMS in problemi ambientali, in particolare la misura della concentrazione di  $^{14}\text{C}$  nel particolato atmosferico. Si tratta di un argomento estremamente innovativo e di grande rilevanza. La misura della concentrazione di  $^{14}\text{C}$  nel particolato, infatti, consente di ricavare informazioni decisive per determinare l'origine della componente carboniosa delle polveri fini, che spesso è quella maggioritaria: dalla misura della quantità di  $^{14}\text{C}$  si può capire se la fonte di

questa componente dell'inquinamento è naturale o antropica, causata ad esempio dalla combustione di petrolio e derivati. La sfida sperimentale è legata – in aggiunta al fatto che la concentrazione da misurare è dell'ordine o inferiore a un atomo ogni mille miliardi - all'esiguità della massa del materiale su cui effettuare l'analisi (le poche centinaia di microgrammi che si raccolgono sui filtri del particolato). Queste attività rappresentano la frontiera della ricerca tecnologica in questo settore, che vede nel mondo impegnati solo due o tre laboratori. Al LABEC, le tecniche di preparazione e di misura con l'acceleratore che si è iniziato a sviluppare hanno dimostrato che questa sfida tecnologica si può affrontare, e si vuole quindi proseguire in questa direzione.

Oltre alle attività portate avanti usando le tecniche che usano l'acceleratore, 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. Sfruttando le ampie competenze sviluppate con le tecniche di acceleratore, si sono "trasferite" alcune soluzioni applicative anche alla strumentazione portatile. Si è realizzato ad esempio un innovativo sistema per le analisi di fluorescenza X con strumentazione portatile, che supera le tradizionali limitazioni di questo tipo di strumentazioni riuscendo a estenderne la capacità analitica nelle misure di composizione dei materiali anche agli elementi a numero atomico basso, fino al sodio. Grazie a questa strumentazione innovativa, già nel corso del 2010 il gruppo del LABEC è stato chiamato dalle Sovrintendenze e dall'Opificio delle Pietre Dure a svolgere numerose campagne di analisi *in situ*, in preparazione a interventi conservativi. Sono stati analizzati ad esempio affreschi di Giotto in Santa Croce a Firenze, il grande crocifisso ligneo del Maestro di Figline, nella stessa chiesa, l'affresco della Resurrezione di Piero della Francesca al Museo Civico di Sansepolcro, una Madonna con bambino di Raffaello, e molte altre opere importanti. Anche questo nuovo filone di sviluppo di tecniche con strumentazione portatile appare perciò molto promettente e fecondo.

Le prospettive di attività per il prossimo triennio e quelle a più lungo termine dipendono tuttavia drasticamente da quello che potrà essere lo sviluppo del personale. In effetti, mentre la strumentazione disponibile è tuttora ai massimi livelli, grazie all'investimento di strumentazione (valutabile intorno ai 5 milioni di euro) che l'INFN ha effettuato nel LABEC nel corso degli ultimi anni, una grave criticità per il laboratorio è la precarietà di buona

parte del personale che vi afferisce. Molto del lavoro continua ad essere portato avanti da assegnisti di ricerca o studenti di dottorato, e per una struttura delle dimensioni e delle potenzialità del LABEC, lo staff permanente è largamente sottodimensionato sia per il supporto tecnico di manutenzione delle impegnative attrezzature che per la conduzione delle attività di ricerca e di servizio (ad esempio l'acceleratore può solo saltuariamente essere utilizzato in turni notturni).

Se sarà possibile nel prossimo triennio stabilizzare almeno una parte del personale precario, attualmente presente grazie ai finanziamenti esterni, recentemente ottenuti dalla Regione Toscana, saranno possibili una serie di sviluppi metodologici, quali quelli sopra accennati, oltre al potenziamento dei sistemi di microfascio esterno a scansione, al miglioramento dei livelli di sensibilità e precisione delle datazioni col  $^{14}\text{C}$  e all'allestimento delle procedure per la misura in AMS di un altro radioisotopo, lo  $^{129}\text{I}$ , che riveste grande importanza, tra l'altro, per il monitoraggio dei possibili livelli di contaminazione legati direttamente o indirettamente alle attività delle centrali nucleari.

#### **LA FONDAZIONE CNAO**

La Fondazione CNAO (Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica), in stretta collaborazione con l'INFN, ha completato la realizzazione del primo centro italiano (figura 3.38), secondo in Europa, dedicato alla cura dei tumori con l'utilizzo di ioni idrogeno e ioni carbonio. Il trattamento dei tumori attraverso l'utilizzo di fasci di particelle di alta energia è in continuo aumento presso i centri stranieri, soprattutto americani e giapponesi. In Italia è già da anni in funzione, presso i Laboratori Nazionali del Sud dell'INFN, a Catania, un laboratorio denominato CATANA che, in collaborazione con l'università di Catania, permette la cura del melanoma dell'occhio con l'irraggiamento di ioni idrogeno prodotti dall'acceleratore dei LNS.

Il numero dei pazienti trattati e delle indicazioni cliniche è in costante crescita. L'azione delle particelle sulle celle tumorali provoca la rottura della doppia elica nella struttura del DNA e porta alla morte delle cellule tumorali. In particolare, i protoni e gli ioni leggeri (figura 3.34) hanno il vantaggio di penetrare nel corpo fino ad una profondità, correlata alla loro energia iniziale, rilasciando poca energia durante il tragitto e concentrandone il rilascio alla fine del loro percorso. Questo comportamento è comunemente indicato come *picco di*

*Bragg*. Il rilascio di energia ad una profondità controllabile e la facilità di penetrazione, rendono questa tecnica estremamente precisa ed attraente rispetto al più diffuso irraggiamento effettuato con elettroni o raggi X che rilasciano la loro energia negli strati superficiali diminuendo man mano con la profondità. La tecnologia necessaria alla generazione, trasporto, raggiungimento della necessaria energia delle particelle per il trattamento specifico ed infine, loro trasporto fino al paziente, è quella basata sull'utilizzo di un acceleratore di particelle di tipo circolare, denominato sincrotrone, avente circa 25 m di diametro. Le particelle, gli ioni, generati da un plasma confinato in una sorgente dedicata, subiscono una prima accelerazione e manipolazione e quindi vengono immessi nell'anello circolare, il vero e proprio sincrotrone, che ne innalza l'energia fino a quella necessaria per l'irraggiamento. A questo punto un sistema di estrazione permette di estrarre gli ioni dall'anello e li indirizza, tramite una opportuna linea di trasporto, in una delle tre sale di trattamento dove il paziente attende di essere "trattato" (figura 3.37).

L'INFN è l'unico istituto in Italia dotato di un laboratorio, i Laboratori Nazionali di Frascati, dove già dagli anni '60 del secolo scorso esiste una tradizione nella realizzazione di acceleratori circolari, oltre ad avere nei Laboratori Nazionali di Legnaro e nei Laboratori Nazionali del Sud, Catania, di più recente realizzazione, acceleratori lineari che producono e lavorano con ioni dedicati ad esperimenti di fisica fondamentale. Questa tradizione ed esperienza è stata messa a disposizione della Fondazione CNAO, appositamente istituita per progettare e costruire il CNAO a Pavia.

Nel Novembre del 2003 l'INFN ha firmato un accordo di collaborazione con il CNAO, attraverso il quale l'INFN è divenuto co-responsabile con il CNAO nella costruzione del complesso di acceleratori. La collaborazione ha coperto il periodo 2003-2009 ovvero tutta la fase di progettazione, costruzione, installazione e messa in funzione del CNAO. Nel 2009 è stato firmato un nuovo accordo di collaborazione tra INFN e CNAO finalizzato all'utilizzo per scopi scientifici dell'acceleratore ed in particolare per studi avanzati nel campo della radiobiologia.

L'accordo di collaborazione ha coinvolto vari laboratori e Sezione dell'INFN, tra cui i Laboratori Nazionali di Frascati, i Laboratori Nazionali di Legnaro, i Laboratori Nazionali del Sud (Catania), nonché le Sezioni di Milano, di Torino, di Genova e Pavia. Ciascuna unità è stata coinvolta nel raggiungimento di uno o più obiettivi specifici ben individuati e con

precise responsabilità che vanno dalla progettazione alla costruzione, alla misura e verifica delle caratteristiche di progetto, alla installazione e messa in funzione delle apparecchiature scientifiche o parti del complesso di acceleratori. In questa impresa hanno contribuito diversi istituti ed enti pubblici e privati; tra questi si ricordano: la Fondazione Policlinico Ospedale Maggiore (Mi), la Fondazione Istituto Neurologico C. Besta (Mi), la Fondazione Istituto Nazionale dei Tumori (Mi), l'Istituto Europeo di Oncologia (Mi), la Fondazione Policlinico San Matteo (Pv), la Fondazione TERA (No) e, oltre l'INFN, il CERN di Ginevra, il GSI (Darmstadt), il LPSC (Grenoble), il NIRS (Chiba, Giappone), l'Università di Milano, il Politecnico di Milano, l'Università di Pavia, il Comune di Pavia, la Fondazione Cariplo. Tra questi, principalmente l'INFN e il CERN hanno curato gli aspetti tecnologici, ossia le fasi di progettazione, costruzione, installazione e messa in funzione degli acceleratori.

Attualmente il CNAO sta completando la fase di *commissioning*. Completata la progettazione, costruzione ed installazione, già da oltre un anno è terminato il processo di caratterizzazione dei fasci di ioni idrogeno e ora ci si accinge a caratterizzare il funzionamento della macchina con gli ioni carbonio. Tutto il sistema di trasporto e controllo dei fasci fino alle sale di trattamento è stato messo a punto.

Nel 2011 è iniziata la fase di sperimentazione clinica richiesta dal Ministero della Salute. Anche a questa fase l'INFN sta collaborando con i suoi gruppi di esperti per quanto riguarda la parte di radiobiologia, ovvero del misure di efficacia del fascio con l'irradiazione di cellule *in vitro* e di cavie. In parallelo, dopo una prima fase in cui dei "fantocci" sono stati esposti al fine di caratterizzare i fasci stessi di particelle, è iniziato anche il trattamento di un campione selezionato di pazienti. Attualmente sono in corso trattamenti con i fasci di protoni. Una volta completato il *commissioning* con gli ioni carbonio, e le relative misure di caratterizzazione radiobiologica, inizieranno anche i trattamenti con questo tipo di fasci. La sperimentazione clinica è prevista durare 18 mesi e si prevede di trattare in totale circa 230 pazienti. Alla fine di questo periodo i protocolli clinici per i trattamenti dovrebbero essere stati completamente definiti e si potrà iniziare il trattamento sistematico dei pazienti affetti da tumore. A regime il CNAO effettuerà circa 20.000 sedute all'anno e saranno trattati 3.000/3.500 pazienti. Le patologie cliniche che potranno essere trattate includono: sarcomi dell'osso e delle parti molli, tumori del sistema nervoso centrale e paraspinale, tumori del distretto cervico cefalico, melanomi dell'occhio e delle mucose, tumori non a piccole cellule

del polmone, tumori primitivi del fegato, neoplasie dell'età pediatrica, tumori ginecologici, tumori del pancreas.

Le attività a medio termine proseguiranno con l'installazione della linea sperimentale dedicata alla ricerca. Si tratta di una ulteriore linea che trasporterà i fasci estratti dal sincrotrone in una opportuna sala, già realizzata, dove potrà essere effettuata ricerca clinica, radiobiologia e fisica. Per quest'ultima, come si è detto, nel 2009 è stato firmato un accordo quadro di collaborazione tra INFN e CNAO. I due enti si stanno impegnando per reperire i finanziamenti necessari alla sua realizzazione.

Questa area di ricerca al CNAO riguarderà sia la radiobiologia che altre attività di test per apparati e dispositivi di interesse dell'INFN.

Più a lungo termine, è prevista una fase di espansione del CNAO con la realizzazione di ulteriori due sale di trattamento dove poter alloggiare delle "teste" rotanti che permetteranno di poter irraggiare i pazienti da qualsiasi direzione, mentre, allo stato attuale, due sale di trattamento prevedono l'irraggiamento con un fascio fisso orizzontale ed una sala è predisposta per l'irraggiamento con fascio fisso, sia orizzontale che verticale (figura 3.37).

L'esperienza che l'INFN sta maturando insieme al CNAO per questo tipo di attività consentirà anche l'attuazione di processi di trasferimento tecnologico vantaggiosi per l'ente. In particolare si sta considerando la richiesta da parte di MEDAUSTRON, il centro di adroterapia in costruzione in Austria, della realizzazione del sistema di monitoraggio e distribuzione del fascio terapeutico, che al CNAO è stato sviluppato con il sostanziale apporto di gruppi INFN.



Fig. 3.28 Controllo dei tumori radioresistenti con ioni di carbonio.



Fig. 3.27 Schema del complesso di acceleratori del CNAO e delle linee di trattamento.



Fig. 3.29 Vista del sincrotrone.



Fig. 3.30 Sala di trattamento (in allestimento).



Fig. 3.31 Vista aerea del centro CNAO a Pavia.

Fig. 3.27: Controllo dei tumori radio resistenti con ioni di carbonio.

Fig. 3.28: Schema del complesso di acceleratori del CNAO e delle linee di trattamento.

Fig. 3.29: Vista del sincrotrone.

Fig. 3.30: Sala di trattamento (in allestimento).

Fig. 3.31: Vista aerea del centro CNAO a Pavia.

## IL GALILEO GALILEI INSTITUTE FOR THEORETICAL PHYSICS (GGI) DI ARCETRI (FIRENZE)

Il *Galileo Galilei Institute for Theoretical Physics* (GGI) è stato fondato dall'INFN nel 2005 ed è sostenuto finanziariamente dall'INFN e dall'Università di Firenze. Il GGI organizza e ospita workshop avanzati di fisica teorica (tipicamente tre ogni anno) soprattutto ma non esclusivamente nel settore della fisica delle particelle; ciascun workshop è dedicato a un tema specifico, dura mediamente 8 settimane e vede la partecipazione di circa 20-30 ricercatori al giorno, selezionati all'interno della comunità internazionale dai comitati organizzatori dei workshop.



Annualmente sono oltre 250 i fisici che partecipano alle attività del GGI. Lo scopo di ogni workshop è promuovere la discussione, il confronto e la collaborazione fra i partecipanti anche al fine di produrre risultati significativi nell'avanzamento della conoscenza nel corrispondente campo di ricerca. Scuole post dottorali, meeting brevi e conferenze tematiche si aggiungono alle attività consolidate del GGI.

I workshop che si terranno al GGI nel 2012 sono:

- ❖ *New Quantum States of Matter* (data di inizio aprile 2012)
- ❖ What is nu? From New Experimental Neutrino Results To A Deeper Understanding Of Theoretical Physics And Cosmology (data di inizio giugno 2012)
- ❖ New Frontiers In Lattice Gauge Theories (data di inizio agosto 2012)
- ❖ Understanding the TeV Scale Through LHC Data, Dark Matter And Other Experiments (data di inizio ottobre 2012)

I workshop che si terranno al GGI nel 2013 sono:

- ❖ Higher Spins, Strings and Duality (data di inizio marzo 2013)
- ❖ Beyond the Standard Model after the first run of LHC (data di inizio maggio 2013)

❖ Geometry of strings and fields (data di inizio agosto 2013)

La commissione scientifica nazionale di fisica teorica dell'INFN (CSN4) ne è stata promotrice e tuttora costituisce il riferimento principale del GGI dal punto di vista scientifico. Il presidente della CSN4 presiede anche le riunioni del Comitato Scientifico (*Scientific Committee*) per la selezione dei programmi da sottoporre all'approvazione finale del Comitato di Consulenza (*Advisory Committee*). Entrambi i comitati sono formati da scienziati di chiara fama nei diversi settori della fisica teorica.

Maggiori informazioni sulle attività del GGI si possono trovare sul sito web: <http://www.ggi.fi.infn.it/>. Si veda anche il paragrafo 3.5.

### **IL CENTRO ENRICO FERMI PER IL PROGETTO EEE**

L'obiettivo del Progetto "La Scienza nelle Scuole: *Extreme Energy Events* (EEE)" è quello di portare la Scienza nel cuore dei giovani attraverso un'azione di incentivazione culturale diretta, che nasce quando gli studenti sentono di essere diventati protagonisti nella costruzione di uno strumento e nella elaborazione di dati, che sono alla frontiera del pensiero scientifico. Il Progetto EEE è frutto di una collaborazione tra INFN, CERN, MIUR, FEMCCS (Fondazione Ettore Majorana e Centro di Cultura Scientifica), Centro Fermi (Museo Storico della Fisica e Centro Studi e Ricerche Enrico Fermi) e gli Istituti Scolastici coinvolti, distribuiti su tutto il territorio nazionale. Agli Istituti Scolastici viene reso disponibile un "Laboratorio Avanzato", particolarmente potente per lo studio dei Raggi Cosmici e in particolare per lo studio degli sciame di particelle prodotte dai Raggi Cosmici di altissima energia, di cui non si conoscono ancora le origini. Questi sciame possono produrre coincidenze tra stazioni di rivelazione anche molto lontane tra loro ed è proprio sulla grande distanza tra le stazioni che punta il Progetto. Studenti ed Insegnanti costruiscono con le loro mani, al CERN a Ginevra, i loro rivelatori in modo da partecipare personalmente alla realizzazione del Progetto. Come rivelatore si è scelta una terna di MRPC (*Multigap Resistive Plate Chamber*). Questo rivelatore, inventato da Antonino Zichichi e collaboratori, detiene il record mondiale nella misura dei tempi di volo delle particelle subnucleari. La terna di MRPC permette di identificare la direzione dei muoni dello sciame cosmico. Quindi, tramite la misura delle direzioni e dei tempi di arrivo, è possibile identificare la direzione del primario e rigettare coincidenze accidentali, indipendentemente dalla distanza relativa tra le stazioni. Attualmente gli Istituti Scolastici coinvolti sono 33, distribuiti su tutto il

territorio nazionale e prossimi a sezioni INFN, che li supportano per quanto riguarda la manutenzione e l'analisi dei dati. Tuttavia, in prospettiva studenti e docenti saranno autonomi, sia per quanto riguarda la raccolta dei dati sia per la loro interpretazione. L'obiettivo finale del prossimo triennio è il coinvolgimento di cento Scuole e l'estensione della ricerca di coincidenze, attese e non, non solo tra questi siti, ma anche tra loro e siti lontani, in sinergia con analoghe stazioni installate in Cina, Russia, USA e Australia.

### **LA FONDAZIONE ETTORE MAJORANA (FEMCCS)**

La Fondazione Ettore Majorana e Centro di Cultura Scientifica non è una Accademia né una Università come quelle a tutti note. È una Istituzione nata nel cuore della Scienza di Frontiera per opera di Bell, Blackett, Rabi, Weisskopf e Zichichi. Lo scopo della Fondazione a livello nazionale ed internazionale è stato quello prima di creare e poi di mantenere in Italia una piattaforma culturale di alto livello scientifico, che possa permettere ai giovani ricercatori di conoscere quali sono le problematiche di maggiore attualità ed interesse nei vari campi della ricerca scientifica, ai ricercatori più esperti di studiare e discutere con i loro colleghi più qualificati i risultati delle loro ricerche. Poiché le varie discipline scientifiche su cui si articola l'attività della Fondazione hanno diversi livelli di interesse e di profondità nell'ambito delle tematiche scientifiche, l'attività delle varie Scuole si adegua a queste esigenze le quali implicano anche una funzione di incentivazione per quelle discipline poco coltivate in Italia, ma di grande interesse scientifico. L'attività della Fondazione non si limita tuttavia alla programmazione e allo studio delle problematiche di interesse rigorosamente scientifico: essa è estesa anche allo studio e all'approfondimento delle problematiche provenienti dalle discipline umanistiche, allo scopo di legare la cultura rigorosamente scientifica a proficui scambi di idee su temi di grande attualità per impostare lo studio di problemi interdisciplinari e per promuovere aggiornamenti sui risultati ottenuti e sui progressi fatti. Quello che distingue Erice è lo spirito che anima tutti i partecipanti: studenti e docenti. L'obiettivo primo è imparare. Non si rilasciano diplomi né titoli di alcun tipo. Come novecento anni fa. Lo studente ascolta la lezione e dopo l'interruzione per la colazione si apre la parte più divertente. Lo studente può rivolgere al professore qualsiasi domanda. Anche la più banale. Non sarà punito. È interesse di tutti conoscere i pensieri dei giovani cervelli esposti alle novità scientifiche delle quali avevano, forse, immaginato tanti dettagli, ma difficilmente quelli che frullano nella testa del docente. Dato un problema, i modi di affrontarlo sono diversi. L'originalità della Fondazione Ettore Majorana è

nell'essere riuscita a creare un "ponte" tra l'insegnamento universitario e i laboratori scientifici. Questo "ponte" ha le sue radici nei periodi in cui un docente può stare vicino a uno studente. E questo avviene proprio dando a studenti e docenti le stesse strutture logistiche, creando così un'atmosfera di interazione culturale che l'Università non può dare. Dal 1963 la Fondazione Ettore Majorana e Centro di Cultura Scientifica di Erice, Sicilia, costituisce un polo di attrazione per tutta la comunità scientifica internazionale grazie alle sue 123 scuole post-universitarie avanzate (la più antica è quella di Fisica Subnucleare), a cui hanno contribuito i maggiori esperti mondiali nei più svariati campi del sapere, cercando di abbattere le barriere ideologiche, politiche, razziali, inventate non dalla Scienza, ma dai suoi peggiori nemici. Ogni anno dal 1963 autori di scoperte ed invenzioni, tra i quali ben 125 Premi Nobel (di cui 76 hanno avuto il Nobel dopo la loro partecipazione a Erice, e 49 erano già premi Nobel quando hanno cominciato a partecipare alle attività del Centro), insegnano a studenti provenienti da tutto il mondo i più recenti risultati raggiunti sulla frontiera della Scienza. In 49 anni di attività hanno partecipato alle Scuole post universitarie e ai Workshops di Erice oltre centomila ricercatori, provenienti da 140 diverse nazioni. Notizie più dettagliate sulle strutture della Fondazione FEMCCS, sulle attività e sui partecipanti sono reperibili alla pagina web [www.ccsem.infn.it](http://www.ccsem.infn.it)

#### **LA FONDAZIONE BRUNO KESSLER (FBK)**

La Fondazione Bruno Kessler (FBK) è promossa e sostenuta dalla provincia di Trento ha una forte vocazione per la ricerca scientifica le tecnologie correlate e le relative applicazioni. Da alcuni anni l'INFN ha rapporti privilegiati di collaborazione sia nello sviluppo di sensori di silicio (per i quali FBK ha un centro di produzione tra i più avanzati in Europa ed ha già lanciato diversi spin-off anche motivati dalla collaborazione con L'INFN), sia per quanto riguarda le tecniche di calcolo avanzato. Entrambe le linee stanno dando ottimi risultati. 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. La convenzione tra i due enti è stata recentemente rinnovata. Entrambi i partner, INFN ed FBK sostengono con entusiasmo la collaborazione.

## IL CONSORTIUM GARR

Nelle sue attività di ricerca, l'INFN fa largo uso di applicazioni avanzate, che presentano requisiti di rete molto elevati e che richiedono soluzioni specifiche; fra questi LHC, *Computing Grid* è l'esempio più eclatante in termini di molti dati trasmesse e di estensione intercontinentale della sua operatività.

I servizi relativi ad una efficiente connessione telematica tra le proprie sedi (laboratori e sezioni) e da e verso i laboratori internazionali sono oggi assicurati dal *Consortium GARR* ([www.garr.it](http://www.garr.it)), un'associazione senza fini di lucro fondata nel 2001 di cui l'INFN è socio fondatore, insieme a CNR, ENEA e Fondazione CRUI. Questa esternalizzazione di servizi non *core-business* garantisce un servizio ad oggi adeguato ed è effettuata con 49 collegamenti per un totale di 48 gigabit al secondo di banda. Le statistiche 2010 e 2011 dimostrano l'affidabilità del servizio e, soprattutto, il grande utilizzo che l'INFN fa della rete, soprattutto nel trasferimento dei dati da e verso il CERN e da e verso i laboratori nazionali ed il CNAF. Il progetto GARR-X del GARR, già concretamente avviato, consentirà di mantenersi al passo con gli altri enti di ricerca europei, soprattutto per quanto riguarda il trasferimento delle grandi moli di dati connesse al grid computing, e più in particolare ai Tier1- Tier2 di LHC e, ci si auspica, di SuperB.

Tra i servizi gestiti dal GARR, vi è anche il servizio di videoconferenza (<http://vconf.garr.it/>), centralizzato e multipunto (nel corso del triennio in evoluzione verso l'alta definizione), ed il servizio di *certification authority* ([ca.garr.it](http://ca.garr.it)), necessario per l'accesso alle griglie computazionali. Nel corso del triennio 2012-2014, una particolare attenzione verrà posta allo sviluppo e al supporto delle tecnologie *wireless e della Mobility* che rappresentano sempre di più uno strumento di base del lavoro di ricerca e di formazione. Di particolare rilievo è il servizio GARR AAI IDEM per la gestione dell'identità federata, finalizzata al controllo degli accessi a risorse e servizi applicativi accessibili via web (repository di dati, risorse di calcolo, riviste elettroniche, piattaforme di e-learning, Videoconferenza, ecc), nell'ambito della quale è prevista un'attività di collaborazione a livello internazionale, che attraverso il meccanismo del Confederazioni, possa estendere i benefici dell'autenticazione e autorizzazione degli utenti anche fuori dall'Italia, allargandone quindi le potenzialità.

### **3.11 I PROGETTI FIRB, PRIN**

#### **PROGETTI FIRB**

L'Istituto ha applicato e ricevuto finanziamenti a valere sul programma FIRB (Fondo per gli Investimenti della Ricerca di Base) del MIUR.

#### **PROGETTI PRIN**

Tradizionalmente ricercatori dell'INFN e i colleghi universitari associati partecipano ai Progetti di Ricerca di Interesse Nazionale (PRIN) in stretta collaborazione con le università su tematiche di interesse dell'Istituto. Tenuto conto della dimensione complessivamente limitata delle partecipazioni, della crescente onerosità amministrativa per la rendicontazione e soprattutto della riduzione progressiva delle risorse disponibili, l'Istituto ha deciso di escludere ogni tipo di finanziamento diretto in aggiunta alla disponibilità di personale e di attrezzature comunque già presenti presso le proprie strutture.

Va comunque sottolineata la grande rilevanza che questi progetti rivestono in un sinergico sforzo INFN-Università nell'accedere a fonti di finanziamento preziose per lo sviluppo e il rafforzamento di progetti di ricerca di area INFN.

### **3.12 I PROGETTI REGIONALI E I PROGETTI LOCALI**

L'Istituto, attraverso le sue strutture (Sezioni e Laboratori nazionali) ha avanzato proposte e ha ricevuto finanziamenti su programmi regionali o locali. In particolare si segnalano i seguenti progetti regionali, attivi nel 2011 e la cui scadenza rientra nel piano triennale 2012-14.

## IV CAPITOLO -I Laboratori Nazionali, il CNAF e le infrastrutture di ricerca

### 4.1 I LABORATORI NAZIONALI: LNF, LNGS, LNL, LNS

In questo paragrafo saranno descritte le attività e le prospettive dei quattro Laboratori Nazionali:

LNF: Laboratori Nazionali di Frascati

LNGS: Laboratori Nazionali del Gran Sasso

LNL: Laboratori Nazionali di Legnaro

LNS: Laboratori Nazionali del Sud

#### **I LABORATORI NAZIONALI DI FRASCATI (LNF)**

Il Laboratorio (sito web: <http://www.lnf.infn.it/>)

Nei Laboratori Nazionali di Frascati lavorano circa 400 persone, divise nella Divisione Ricerca, la Divisione Acceleratori, la Divisione Tecnica e l'Amministrazione.

La caratteristica principale dei Laboratori Nazionali di Frascati è quella di saper costruire acceleratori di particelle. Attualmente sono in funzione a Frascati due acceleratori, DAFNE (figura 4.1), un acceleratore materia-antimateria con elettroni e positroni, che detiene il record mondiale di Luminosità a bassa energia e l'acceleratore lineare SPARC (figura 4.2), usato per produrre luce LASER con elettroni oscillanti in campo magnetico, detto FEL (Free Electron LASER).

I LNF sono tra i quattro laboratori nel mondo che hanno realizzato la luce LASER con questa tecnica e gli unici nel mondo ad avere un anello di accumulazione elettroni-positroni con alta luminosità. Le competenze tecniche e scientifiche della Divisione Acceleratori e della Divisione Tecnica, che contano oggi circa 120 dipendenti, sono uniche in Italia, e rare in Europa: una vera e propria ricchezza dell'INFN messa al servizio della società. In questo momento, infatti, la Divisione Acceleratori e la Divisione Tecnica, oltre a fare ricerca

scientifiche di base, sono state impegnate nella costruzione ed attualmente nella messa a punto di un acceleratore di protoni e ioni carbonio per la terapia medica al Centro Nazionale per la Adroterapia Oncologica (CNAO) in un nuovo ospedale a Pavia ed hanno completato il disegno costruttivo di un LASER ad elettroni liberi per raggi X (SPARX), utilizzabile per studi di struttura della materia, biologia, scienze dei materiali ecc, nell'area di ricerca romana e nel campus dell'Università di Tor Vergata.

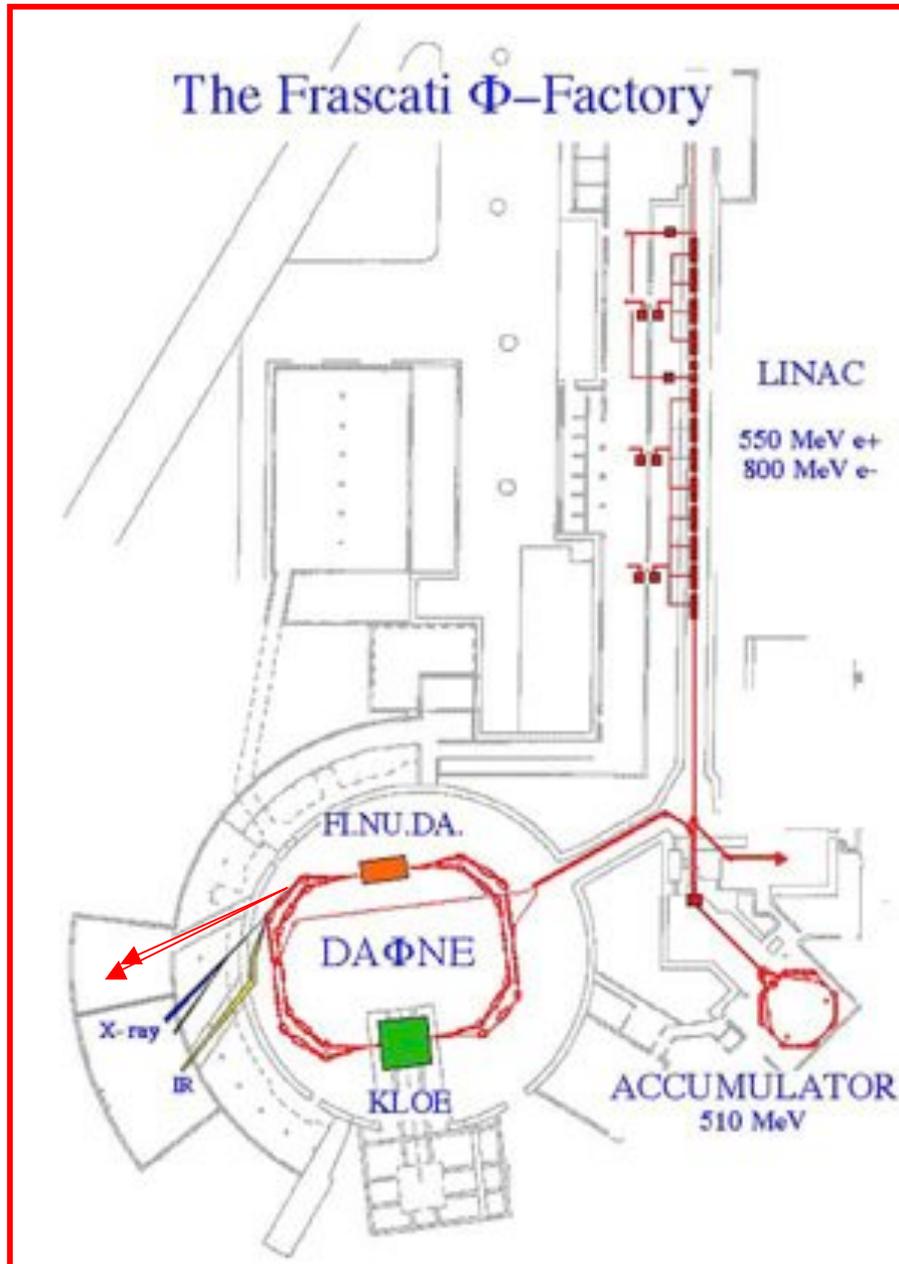
La Divisione Ricerca, con i suoi circa 200 ricercatori, ingegneri e tecnici, è impegnata in attività di ricerca a Frascati e in collaborazioni internazionali, con programmi sperimentali in corso al CERN di Ginevra con particolare presenza sugli esperimenti a LHC, nel laboratorio Nazionale Americano "FERMI" (FNAL) a Chicago, nei Laboratori di SLAC a Stanford, in California, al *Jefferson National Laboratory* (JLAB) in Virginia, all'European Synchrotron Radiation Facility (ESFR) a Grenoble oltre che nei laboratori italiani di Legnaro, del Gran Sasso e del Sud, a Catania. La stretta collaborazione con gli altri centri di ricerca porta ad un confronto continuo dei ricercatori e dei tecnici con i loro colleghi, confronto che è necessario ed è alla base del mantenimento dell'elevata qualità della ricerca in Italia. La ricchezza culturale che ne deriva ha permesso di far crescere attività complementari alla ricerca in fisica delle particelle: tra queste, l'uso della luce di sincrotrone emessa dagli elettroni di DAFNE, l'uso dei fasci di elettroni, di positroni e di fotoni, estratti dall'iniettore di DAFNE, la ricerca in scienza dei materiali, le applicazioni mediche e spaziali, lo sviluppo di nuovi rivelatori, le tecniche di elaborazione dell'immagine, lo sviluppo di ottiche di raggi X, la dosimetria delle radiazioni ed il controllo ambientale, la gestione di reti informatiche, la costruzione di centri di calcolo avanzato, la fisica teorica.

Una nuova sala sperimentale, dedicata allo studio dell'accelerazione di particelle cariche con onde di plasma generate in un gas rarefatto da un impulso di luce LASER infrarosso molto intenso, è entrata in funzione nei LNF. Si tratta di una nuova tecnica che ha anche interessanti applicazioni come la generazione di impulsi di raggi X molto intensi e, quindi, potenziali applicazioni mediche.

La presenza di una grande officina meccanica, di un Servizio di Elettronica, di un potente e moderno Centro di Calcolo, di un Servizio di Fisica Sanitaria, anch'esso unico nell'INFN, grandi aree sperimentali con annessi laboratori in ambiente di pulizia controllata, ma soprattutto il suo personale, abituato alla realizzazione di grandi progetti, fanno dei

Laboratori Nazionali di Frascati una risorsa disponibile per altri laboratori, nazionali ed esteri, e dalle Università.

La presenza di un programma di ricerca scientifica e tecnologica di alta qualità tiene insieme questi scienziati e tecnici, permettendo al laboratorio di crescere culturalmente, di attirare e addestrare le nuove generazioni alla ricerca.



XUV

UV

Fig.4.1: Complesso degli acceleratori DAFNE e dei laboratori di luce di sincrotrone.



Fig. 4.2: Sala sperimentale dell'acceleratore SPARC. Sono visibili, in primo piano, gli ondulatori.

#### **PRINCIPALI RISULTATI SCIENTIFICI CONSEGUITI NEL 2011**

Il complesso degli acceleratori di DAFNE ed il laboratorio SPARC-LAB rappresentano le infrastrutture intorno alle quali si svolge gran parte delle attività sperimentali nel campo della fisica delle particelle, della fisica nucleare ed in numerosi ambiti multidisciplinari ed applicativi.

Lo shut-down previsto su DAFNE nel 2011 per installare la nuova regione di interazione di KLOE-2 è stato prolungato per consentire interventi di riparazione e di manutenzione in diverse parti dell'acceleratore, in particolare sul sistema di iniezione; inoltre sono stati effettuati degli interventi sui magneti di DAFNE al fine di ridurre ed ottimizzare il consumo energetico.

Il commissioning di DAFNE iniziato in novembre ha mostrato un rapido aumento della luminosità di picco con valori confrontabili con i miglior valori ottenuti durante il run di KLOE-1.

Le collisioni sono state ottimizzate correggendo l'accoppiamento di betatrone e minimizzando le dimensioni convolute dei fasci collidenti al punto d'interazione e caratterizzate misurando la luminosità specifica.

Il miglior accoppiamento misurato in singolo fascio, a corrente intermedia con 60 pacchetti di particelle, è pari al 0.14%, valore da confrontare con il miglior valore ottenuto durante il passato run di KLOE quando il minimo accoppiamento era nell'intervallo  $0.2 \div 0.3 \%$ .

Le minime dimensioni dei fasci collidenti nel piano trasverso verticale sono  $\sigma_y = 3 \mu\text{m}$ , valore inferiore al minimo misurato durante il run dedicato all'esperimento SIDDHARTA.

La luminosità specifica misurata a bassa corrente, definita come la luminosità di singolo pacchetto normalizzata per la corrente dei pacchetti collidenti, è pari a  $4.5 \cdot 10^{28} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Questo valore è quattro volte più alto di quello misurato durante l'ultimo run di KLOE (2004÷2006) ed è comparabile con il miglior risultato ottenuto durante la presa dati dell'esperimento SIDDHARTA..

I valori della luminosità specifica e di  $\sigma_y$  sono entrambi confrontabili con quelli misurati durante i test sul Crab-Waist senza il solenoide di KLOE e successivamente ad un lungo periodo di ottimizzazione. Il commissioning sta continuando per consolidare i risultati ottenuti e per migliorare la luminosità ad alte correnti.

Parallelamente alle attività di DAFNE si è svolta una intensa sperimentazione con le tre linee di luce di sincrotrone attive (vedi fig. 4.1). Tutte le proposte di esperimento pervenute tramite il progetto europeo E.Li.S.A. (European Light Sources Activities- Novembre 2009/Agosto 2011), a causa dell' upgrade di DAFNE iniziato a fine 2009, sono state soddisfatte nel periodo gennaio- aprile 2011 con circa 600 ore di tempo macchina.

La linea che ha fornito i maggiori risultati scientifici è stata quella di radiazione IR nota come SINBAD-IR. Tra i risultati più significativi si possono citare quelli riguardanti la caratterizzazione del tipo di collagene presente nella matrice extracellulare delle cellule endoteliali che si trovano nelle immediate vicinanze dei capillari sanguigni dei tumori gliali (o gliomi). Questo tipo di studio riveste un ruolo fondamentale nella comprensione delle correlazioni tra lo sviluppo di cellule endoteliali vascolari e l'angiogenesi nei gliomi maligni. Sempre nel 2011 è stata completata la realizzazione di una camera pulita dedicata al trattamento dei campioni biologici, da caratterizzare utilizzando la radiazione di sincrotrone, in cui sono stati installati sistemi criogenici per la conservazione delle cellule, microscopi ottici ed un microtomo. L'utilizzo di questo laboratorio per i campioni biologici e dell'alto flusso di radiazione IR prodotto da DAFNE, permetterà la realizzazione di misure di imaging su cellule "in vivo" che rappresenta uno dei goal primari per gli studi di interesse

biologico. È stato inoltre quasi completato l'upgrade della linea UV e la costruzione delle due nuove linee XUV di radiazione di sincrotrone il cui commissioning è previsto nel 2012.

La Beam Test Facility di DAFNE, pur essendo principalmente dedicata a test e calibrazioni di rivelatori, per le sue caratteristiche di fascio in termini di range in energia e di intensità rappresenta una facility unica per alcuni specifici esperimenti rivolti allo studio dell'interazione elettromagnetica con la materia. Durante gli ultimi due anni ha ospitato collaborazioni da tutta Europa interessate a misure di channeling e di interazioni di elettroni/positroni in cristalli. Tali esperimenti utilizzano infatti fasci di alta intensità ( $10^{10}$  particelle/s) con piccole dimensioni e divergenze angolari, la versatilità della BTF consente di soddisfare le esigenze di diversi utenti.

Sono proseguiti gli esperimenti con il Laser ad Elettroni Liberi (FEL) di SPARC che già aveva dimostrato di aver raggiunto la saturazione a 500 nm in regime di emissione spontanea autoamplificata (SASE) nel 2009 e di amplificazione di segnale esterno (Seeded) nel 2010. Particolarmente significativa nel 2011 è stata la dimostrazione del regime di Singola Spike, investigato per la prima volta a SPARC, Fig. 4.3. Infatti la possibilità di produrre pacchetti di elettroni corti, con la tecnica originale del Velocity Bunching (2010), unita alla possibilità di variare spazialmente l'intensità del campo magnetico dell'ondulatore (Tapering), ha permesso di produrre pacchetti di radiazione coerente con un'ampiezza spettrale ridotta rispetto al regime SASE. Solo una Spike dello spettro caotico del regime SASE è stata infatti così amplificata. La stabilità e l'alta brillantezza raggiunta dal fascio di elettroni hanno inoltre permesso di osservare la generazione di armoniche fino a 45 nm. Sono iniziati anche test preliminari riguardanti schemi FEL più "esotici", quali la Cascata Superradiante, che verranno ulteriormente approfonditi nel corso del 2012. Gli studi sulla dinamica dei fasci ad alta brillantezza prodotti dall'iniettore di SPARC hanno portato ad un ulteriore contributo innovativo. Sono stati infatti prodotti treni di 2 e 4 pacchetti di elettroni corti (<200 fs) con distanza variabile fino ad 1 ps, mediante una tecnica originale denominata Laser Comb, Fig. 4.4. Con tale struttura temporale è stato possibile produrre per la prima volta 2 impulsi di radiazione FEL ad alta ripetizione e generare radiazione THz a banda stretta. Ulteriori applicazioni sono previste nel 2013 quali l'eccitazione risonante di un'onda di plasma per l'accelerazione ad alto gradiente.

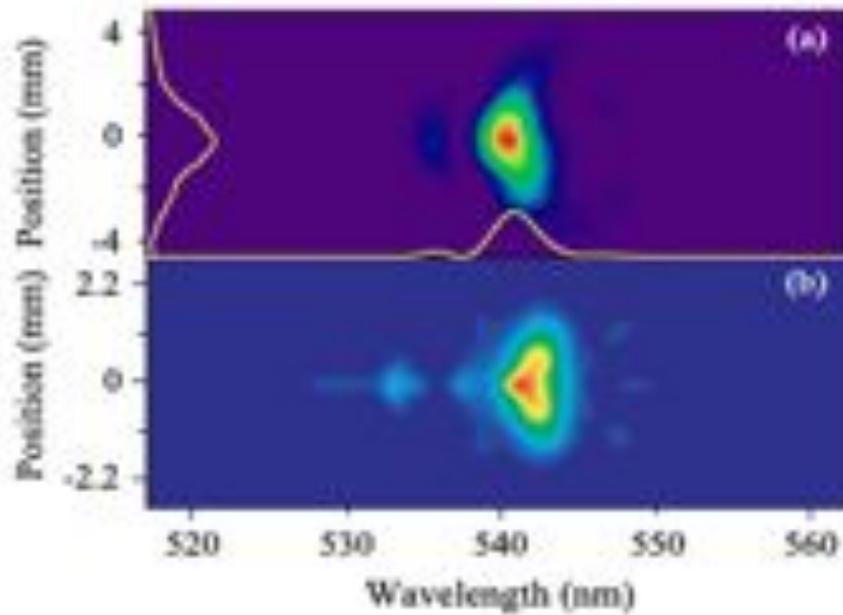


Fig. 4.3 - Tipica misura dello spettro FEL in regime di Singola Spike (a) e confronto con le simulazioni (b).

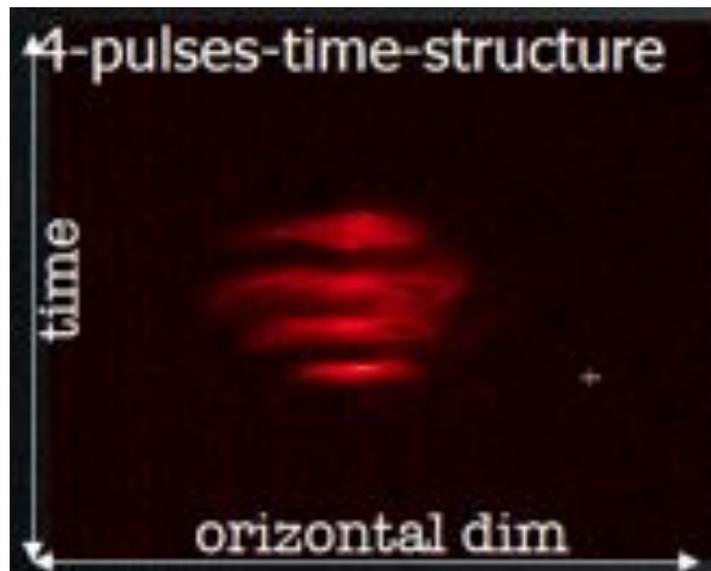


Fig. 4.4 - Immagine del treno di impulsi prodotto con la tecnica Laser Comb. Sono visibili 4 impulsi da 200 pC in 200 fs di lunghezza rms, separati da 1 ps.

Nella sala sperimentale per l'accelerazione di elettroni con il laser di potenza FLAME sono già stati ottenuti elettroni fino a 100 MeV in 4 mm di lunghezza accelerante con un plasma

in regime di auto iniezione eccitato dal laser. Nel 2012 si punterà ad ottenere energie dell'ordine del GeV. Questo ambizioso obiettivo è reso possibile dal completamento nel 2011 della messa a punto del laser in grado ora di produrre impulsi corti (<30 fs) con potenze di oltre 200 TW. Si è completata anche la costruzione della linea di trasporto del fascio laser di potenza fino alla sala sperimentale di SPARC dove sarà possibile far collidere fasci intensi di fotoni con fasci ad alta brillantezza di elettroni e produrre radiazione X mediante backscattering Thomson.

Sul piano dello sviluppo tecnologico è stato condotto con successo il primo test di potenza su un prototipo delle nuove strutture acceleranti in banda C (6 GHz) progettate a LNF e realizzate in collaborazione con l'industria italiana nell'ambito del progetto SPARX. Il prototipo è stato provato a KEK, dove era disponibile la stazione di misura, e, alimentato con oltre 70 MW di potenza incidente, ha sostenuto un campo di circa 50 MV/m senza RF breakdown. È stato anche progettato ed è in corso di realizzazione il nuovo gun in banda S per SPARC/SPARX. Significativi risultati sono stati anche ottenuti con le strutture in banda X (12 GHz) realizzate a LNF e provate ad alta potenza a SLAC, ottenendo campi acceleranti comparabili con lo stato dell'arte in banda X: 100 MV/m. Ulteriori studi sono in corso su metodi di brasatura alternativi finalizzati ad aumentare i gradienti del campo accelerante nel quadro della collaborazione INFN/SLAC/KEK. Inoltre è stata completata la costruzione a LNF di un RF gun compatto di nuova concezione, combinazione di configurazione RF ad onda stazionaria e viaggiante, in collaborazione con UCLA e La Sapienza, per applicazioni medicali.

La Collaborazione KLOE ha implementato il rivelatore installando 2 coppie di rivelatori (LET Low Energy Tagger e HET High Energy Tagger) per rivelare i leptoni associati ai processi  $\gamma\text{-}\gamma$ . Inoltre ha finalizzato nel 2011 numerose analisi tra le più significative ricordiamo:

- La misura di precisione della vita media del  $K_S$
- L'ulteriore determinazione con un metodo alternativo del contributo adronico al  $g\text{-}2$  del muone. Il nuovo risultato è in perfetto accordo con i precedenti e conferma la discrepanza a più di 3 sigma tra il valore misurato (da BNL) del  $g\text{-}2$  muonico con quello calcolato nell'ambito dello SM usando il risultato di KLOE come input.
- Prima osservazione del decadimento raro dell'eta in  $2e^+2e^-$ .
- Limite sull'esistenza di un bosone vettore non SM previsto da alcune teorie recenti sulla dark matter (il cosiddetto "dark photon") nel range di massa 200-500 MeV.

Nel 2011 la collaborazione SIDDHARTA ha finalizzato l'analisi dati per la misura dell'idrogeno kaonico, ottenendo i migliori valori al mondo per lo spostamento e l'allargamento del livello fondamentale,  $1s$ , dovuti all'interazione forte. I risultati pubblicati hanno goduto di una notevole attenzione dalla parte della comunità scientifica. Ne sono la prova sia l'articolo su questa misura sul CERN Courier (<http://cerncourier.com/cws/article/cern/47489>), che gli articoli pubblicati da vari gruppi teorici che lavorano nel campo della QCD a bassa energia .

Sempre nel 2011 sono stati pubblicati i risultati sull'elio 3 kaonico. Per la prima volta al mondo lo spostamento del livello  $2p$ , generato dall'interazione forte, è stato ottenuto con un errore di pochi eV. Tale misura è fondamentale per capire la dinamica dell'interazione forte in sistemi con più nucleoni e la possibile formazione di stati del tipo nuclei kaonici fortemente legati. Da sottolineare il fatto che la misura dell'elio 3 kaonico, per cui a JPARC è stata presentata una proposta di esperimento dedicato, è stata realizzata a DAFNE in soli tre giorni di presa dati.

Dopo un'attività di R&D di alcuni anni, nel 2011 è entrato in funzione a LNF un nuovo laboratorio, lo SCF\_LAB, che esegue la caratterizzazione in condizioni spaziali realistiche di retroriflettori laser usati per il tracciamento di precisione dei satelliti e della Luna (tramite la misura del tempo di volo d'impulsi laser corti). Questo laboratorio consiste di una camera pulita dedicata e prende il nome dalla "*Satellite/lunar laser ranging Characterization Facility*" (SCF). La SCF è unica al mondo ed è usata da progetti INFN in collaborazione con la NASA per il test della relatività generale con l'orbita lunare (esperimento MoonLIGHT), e da ASI ed ESA per migliorare fino al mm il posizionamento della costellazione di navigazione satellitare Europea, Galileo (progetto ETRUSCO-2). Lo SCF\_LAB ha prodotto pubblicazioni innovative sui seguenti argomenti: a) nuovo standard industriale per il test spaziale dei retroriflettori laser b) test di retroriflettori installati sui primi due satelliti di Galileo lanciati il 21 Ottobre 2011; c) test del retroriflettore di nuova generazione, MoonLIGHT, sviluppato da University of Maryland (USA) e LNF.

Dal 2010 si è sviluppato un nuovo laboratorio di ottica di raggi X, lo X LabFrascati, (policapillary optics e compound refractive optics) dedicato alla ricerca di base di diverse nuove ottiche ed alle loro possibili applicazioni in campo multidisciplinare. Sono stati

implementati diversi apparati sperimentali per lo studio della fluorescenza di raggi X, e diverse soluzioni per nuovi rivelatori a raggi X basati su combinazioni ottica-GEM, ottica-LiF. Inoltre sono state proposte e realizzate diverse nuove tecniche di microscopia con alto grado di contrasto per lo studio di reazioni biologiche veloci. Nel 2011 è stata realizzata una stazione per effettuare micro-tomografie su campioni biologici utilizzando la combinazione di tubi a raggi X con ottica dedicata; questa è una tecnica innovativa e alternativa alla sperimentazione con luce di sincrotrone. Il vantaggio di tale tecnica consiste nella semplicità di applicazione, nella rapidità, risultando inoltre meno invasiva rispetto alle tomografie convenzionali. Nella figura 4.5 è mostrata una microtomografia computerizzata di una parte di formica realizzata con tale tecnica in circa venti minuti.

Parallelamente è stato implementato lo studio della teoria di channeling di X-ray e neutroni termici in diverse micro- e nano-strutture.



Fig.4.5 Microtomografia computerizzata realizzata a X Lab Frascati.

Infine l'acceleratore di protoni e ioni carbonio del Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica (CNAO) di Pavia, costruito in collaborazione con la Divisione Acceleratori e la Divisione Tecnica dei LNF dell'INFN, è stato messo in funzione con successo con la partecipazione del personale dei Laboratori di Frascati. Il protosincrotrone ha raggiunto le specifiche di progetto e sono ora in corso i trattamenti di pazienti oncologici con i protoni. Al CNAO, secondo centro in Europa dotato di queste attrezzature, si stanno ora completando i test di funzionamento con gli ioni carbonio.

#### ATTIVITÀ NEI PROSSIMI TRE ANNI

Nei prossimi tre anni continuerà la sperimentazione a DAFNE con l'esperimento KLOE2. La collaborazione KLOE2 prenderà dati nell'attuale configurazione fino alla seconda metà 2012 quando saranno installati i nuovi rivelatori di vertice e la nuova calorimetria in avanti con l'obiettivo di raccogliere un campione di eventi tra le 5 e le 10 volte più copioso di quello ottenuto in precedenza. L'uso dei nuovi detector, inoltre, è volto a migliorare le prestazioni del rivelatore, in particolare per quegli eventi di "interferometria quantistica" che rappresentano la peculiarità della fisica a DAFNE.

All'inizio del 2012 è stato avviato il laboratorio SPARC\_LAB (*Sources for Plasma Accelerators and Radiation Compton with Lasers and Beams*), nato dalla fusione delle infrastrutture già operative di SPARC e FLAME, allo scopo di coordinare ed armonizzare le attività in corso con i fasci di elettroni e fotoni di alta intensità e potenzialmente in continua evoluzione, Fig. 4.6. Sarà un laboratorio interdisciplinare dedicato allo studio di nuove tecniche di accelerazione di particelle (elettroni, protoni, ioni) ed allo sviluppo ed applicazione di sorgenti di radiazione avanzate (FEL, THz, Compton-Thomson), in perfetta armonia con i programmi europei ELI ed EUROFEL.

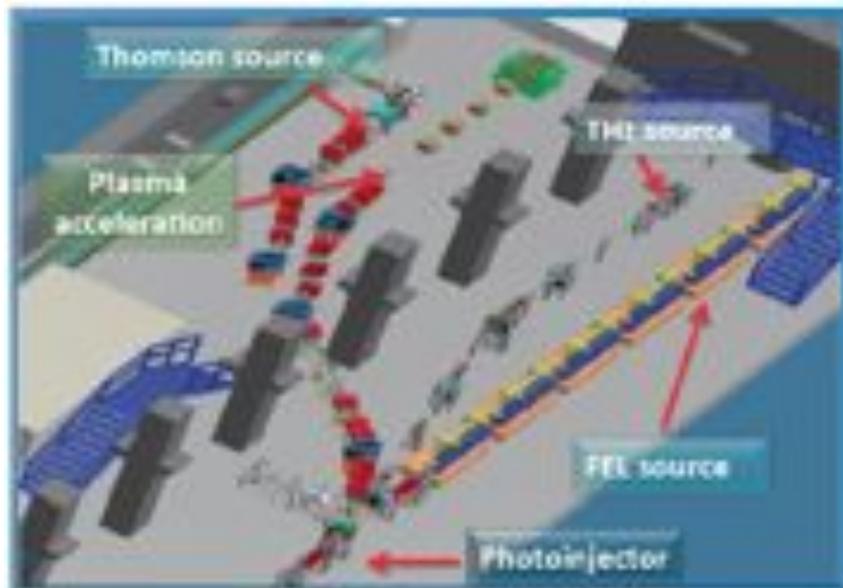


Fig. 4.6 - Schema delle linee sperimentali di SPARC\_LAB

Il primo obiettivo da raggiungere sarà la messa in funzione della sorgente Thomson, prima sorgente europea dedicata di raggi X monocromatici da Thomson back-scattering, che avrà un programma per gli utenti dedicato ad applicazioni di imaging radiologico avanzato (mammografia, lung CT, etc). Il completamento della linea di trasporto degli elettroni è previsto entro la Primavera 2012. I fasci di elettroni e fotoni saranno inoltre sincronizzati sulla scala delle decine di fs con un sistema pilotato da un Optical Master Oscillator in corso di implementazione. Il programma futuro prevede anche la realizzazione di una nuova sala attrezzata dedicata alle linee per gli utenti delle sorgenti di radiazione di SPARC\_LAB ampliando lo spazio attualmente disponibile nel bunker.

Per quanto riguarda l'attività di sviluppo tecnologico di cavità in banda X si continueranno le misure di resistività a RF del film di molibdeno depositato su campioni; si continueranno le prove dell'Electron Beam Welding; la realizzazione di una sezione ad onda stazionaria rivestita con Molibdeno e la realizzazione della sezione di tipo 'triple-choke cavity'.

Nel 2013 verrà completata l'installazione delle linee dedicate agli esperimenti di accelerazione a plasma, con iniezione esterna di elettroni, pilotato dal laser FLAME o dal treno di impulsi di elettroni Comb. L'obiettivo del 2014 sarà quello di dimostrare non solo l'alto gradiente ottenibile in queste configurazioni ma anche la capacità di preservare l'alta qualità dei fasci accelerati ad uso dei futuri Linear Colliders o Sorgenti di Radiazione Compatte.

Inoltre la successiva realizzazione di una sorgente di radiazione FEL a corta lunghezza d'onda innovativa (V generazione), pilotata da un'accelerazione a plasma, potrà essere il contributo d'eccellenza del programma di SPARC\_LAB nell'ambito del quadro internazionale.

Nel periodo 2012-2014 la collaborazione SIDDHARTA-2 lavorerà all'upgrade dell'apparato sperimentale per la prima misura al mondo del deuterio kaonico. Un nuovo sistema di veto, nuova criogenia e shielding verranno eseguiti per migliorare di un fattore circa 20 il rapporto segnale fondo. La collaborazione SIDDHARTA-2 è impegnata nella costruzione, test e assemblaggio del nuovo setup, con l'obiettivo di realizzare entro il 2014 la misura delle transizioni X del deuterio kaonico. SIDDHARTA-2 prevede nella sua campagna di misure anche altre misure di atomi esotici.

Continueranno le attività di luce di sincrotrone e l'uso dei fasci estratti dall'iniettore di DAFNE, elettroni, positroni e fotoni, secondo le richieste degli utenti esterni. Queste attività "di servizio" sono importanti perché mettono a disposizione, dei ricercatori italiani e stranieri, sorgenti di particelle che esistono solo in pochissimi laboratori nel mondo e, per alcuni aspetti, solo a Frascati.

Dal 2012 lo SCF\_LAB si arricchirà di una seconda facility, la SCF-G, ottimizzata per il test di retroriflettori laser delle costellazioni mondiali di navigazione satellitare (GPS-3/USA, Galileo/EU, GLONASS/Russia, COMPASS/Cina, IRNSS/India, QZSS/Giappone).

Il laboratorio X Lab Frascati prevede lo sviluppo di una nuova tecnica di imaging applicata alla sorgente Thomson di SPARC\_LAB, lo studio di una tecnica innovativa per applicazione dei capillari alla accelerazione laser di plasma ed inoltre l'applicazione di ottica di raggi X e neutroni termici in nanostrutture.

L'antenna gravitazionale "NAUTILUS" continuerà il suo funzionamento nei prossimi anni.

Infine l'attività legata al progetto SuperB (vedi paragrafi... ) permetterà ai LNF di mantenere una leadership mondiale nel campo degli acceleratori di particelle di alta energia e di alta intensità.

#### **MILESTONE DEL PERIODO 2012-2014**

- **Completamento del commissioning di DAFNE per l'aumento di luminosità richiesta per l'esperimento KLOE.**
- **Installazione calorimetri e tracciatori per upgrade esperimento KLOE.**
- **Completamento presa dati dell'esperimento KLOE per raggiungere la luminosità di progetto.**
- **Studio di fattibilità per ulteriori misure di precisione di atomi kaonici e della fisica di bassa energia kaone-nucleo per SIDDHARTA2.**
- **Completamento realizzazione parti esperimento NA62.**
- **Presa dati esperimenti all'LHC e partecipazione ad analisi.**
- **Completamento presa dati esperimento Opera e partecipazione ad analisi.**

- Completamento del progetto ETRUSCO-2 e della qualifica dei retroriflettori laser di Galileo nell'ambito del SCF\_LAB.
- Completamento dello sviluppo e qualifica del retroriflettore lunare Italo-Americano di nuova generazione nell'ambito di SCF\_LAB.
- Avvio della fase preparatoria per la realizzazione del progetto SuperB.
- Operazione con il laser FLAME alla massima potenza ed ottimizzazione della qualità degli elettroni accelerati in regime di auto-iniezione (2012).
- Sperimentazione di nuove tecniche di diagnostica della coerenza della radiazione FEL mediante speckle e di misure di impulsi di radiazione ultracorti (2012).
- Sperimentazione di nuovi schemi per la produzione di radiazione a corta lunghezza d'onda, Cascata Superradiante (2012).
- Caratterizzazione di treni di impulsi di radiazione FEL mediante la tecnica del Laser Comb (2012).
- Attività sperimentale con la sorgente THz con esperimenti di pump and probe (2012-2013).
- Commissioning del nuovo sistema di Sincronizzazione (2012).
- Commissioning finale della linea Thomson e produzione radiazione X ed attività utenti (2012).
- Attività utenti linea Thomson (2012-2013).
- Accelerazione e caratterizzazione di fasci di protoni in plasmi generati da impulsi laser di potenza su bersaglio solido (2012-2013).
- Test con nuovo ondulatore a corto periodo (2013).
- Upgrade dell'energia di SPARC mediante installazione di nuove cavità acceleranti in banda C ed installazione del nuovo RF gun (2013).
- Commissioning della linea per accelerazione a plasma con iniezione esterna (2013).
- Prove ad alta potenza a SLAC delle sezioni ad onda stazionaria in banda X di tipo standard e "triple-choke-cavity". Realizzazione del gun ibrido a 12 GHz per le prove ad alta potenza a SLAC (2013).
- Caratterizzazione di fasci di elettroni prodotti da acceleratore a plasma (2013-2014).

## LABORATORI NAZIONALI DEL GRAN SASSO (LNGS)

Il Laboratorio (sito web: <http://www.lngs.infn.it/>)

I Laboratori (figura 4.7) del Gran Sasso (LNGS) dell'INFN sono un'infrastruttura di ricerca per la fisica astro-particellare unica al mondo in quanto a estensione, complessità e completezza di impianti. La fisica astro-particellare, parola coniata per descrivere un campo di ricerca alla congiunzione tra la fisica delle particelle elementari, l'astrofisica e la cosmologia, ha avuto un enorme sviluppo negli ultimi due decenni: l'INFN con i Laboratori del Gran Sasso non solo ha anticipato questo sviluppo, ma continua ad avere un posto di primo piano nel panorama mondiale.



Fig.4.7: Veduta dei Laboratori esterni del Gran Sasso.

Situate tra le città dell'Aquila e Teramo, a circa 120 km da Roma, le strutture sotterranee del Laboratorio sono collocate su un lato del tunnel autostradale, lungo circa dieci chilometri, che attraversa il Gran Sasso, direzione Roma, e consistono di tre grandi sale sperimentali, (ognuna delle quali misura circa 100 m di lunghezza, 20 m di larghezza e 18 m di altezza) e tunnel di servizio, per un volume totale di circa 180.000 m<sup>3</sup> e una superficie di circa 18.000 m<sup>2</sup>. Le sale sono servite dagli impianti tecnici e di sicurezza necessari alle complesse attività sperimentali che vi si svolgono e garantiscono adeguate condizioni di lavoro al personale che vi opera.

La facilità di accesso al Laboratorio dall'autostrada consente il trasporto all'interno delle sale di parti di apparati pesanti e di grandi dimensioni, il continuo approvvigionamento di quanto necessario al funzionamento sia del Laboratorio sia degli esperimenti e un facile ricambio del personale operante al suo interno.



Fig.4.8: layout dei laboratori sotterranei

I 1400 m di roccia che sovrastano i Laboratori costituiscono una copertura tale da ridurre il flusso dei raggi cosmici di un fattore un milione; inoltre, il flusso di neutroni in galleria è un migliaio di volte inferiore rispetto alla superficie grazie alla minima percentuale di uranio e torio presente nella roccia di tipo calcareo che costituisce la montagna.

L'assorbimento della radiazione cosmica dovuto alla copertura di roccia, le grandi dimensioni e le notevoli infrastrutture di base ne fanno un luogo unico al mondo per la rivelazione di segnali deboli o rari, d'interesse per la fisica astro-particellare, subnucleare e nucleare.

All'esterno, in prossimità dell'uscita di Assergi dell'autostrada A24, su un'area di 9,5 ettari all'interno di un Parco Nazionale di eccezionale valore ambientale e naturalistico alle

pendici del Gran Sasso, sono situati i laboratori di chimica, elettronica, progettazione meccanica e officine, il Centro di Calcolo, la Direzione del Laboratorio e gli uffici.

Il successo internazionale dei LNGS e l'indiscusso primato nel panorama mondiale dei Laboratori sotterranei destinati alla fisica astroparticellare, sono testimoniati oltre che dalle numerose pubblicazioni, dalla vasta comunità scientifica internazionale costituita da circa 950 scienziati che partecipa alle attività di ricerca che si svolgono nel laboratorio. Circa il 60% di loro sono stranieri provenienti da ventinove paesi diversi in Europa, Stati Uniti e Asia, il rimanente 40% sono italiani appartenenti alle varie sedi dell'INFN e alle principali Università. Al momento gli esperimenti dei Laboratori sono 21 in diverse fasi di realizzazione, gestiti in stragrande maggioranza da Collaborazioni internazionali mediante organi di autogoverno scientifico e di gestione delle risorse, regolati nell'ambito di Memorandum of Understanding sottoscritti da tutti gli Istituti finanziatori. Gli esperimenti dedicati alla fisica della terra o alle scienze ambientali o alla biologia vengono svolti anche in collaborazione con altri Istituti di ricerca quali l'INGV o l'Istituto Superiore di Sanità attraverso la stipula di specifiche convenzioni.



Fig.4.9: Gallerie sotterranee dei Laboratori Nazionali del Gran Sasso

## PRINCIPALI RISULTATI SCIENTIFICI OTTENUTI NEL 2010

Ai Laboratori Nazionali del Gran Sasso si cerca di capire come è fatto l' Universo attraverso lo studio dei messaggeri che esso ci invia e allo stesso tempo si studiano le caratteristiche ultime delle particelle elementari. Le linee di attività principali dei LNGS coprono la fisica del neutrino, la ricerca di materia oscura e la fisica nucleare di interesse astro-particellare.

Il progetto CNGS, iniziato nel 2006 e operativo con regolarità dal 2008, 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. Dentro i Laboratori del Gran Sasso, l'esperimento OPERA è specificatamente dedicato alla rivelazione dei neutrini del CNGS. L' apparato con i suoi centocinquantamila "mattoni" costituiti da strati di piombo e speciali emulsioni nucleari, può essere definito un'enorme macchina fotografica in grado di registrare con straordinaria precisione spaziale l'avvenuta trasformazione di alcuni neutrini dal tipo muonico al tipo tau ( $\nu_\tau$ ) durante il percorso dal CERN al Gran Sasso.

La costruzione e la gestione di questo complesso apparato hanno richiesto l'uso di avanzate tecnologie sviluppate anche in collaborazione con le imprese italiane operanti nel campo della robotica, della meccanica di precisione, ottica ed elettronica.

OPERA, dopo aver pubblicato la prima evidenza al mondo di rivelazione diretta dell'oscillazione  $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ , ha continuato a raccogliere dati per fornire maggiore significanza statistica alla misura. Nel corso del 2011 ha registrato 4210 eventi da interazioni di neutrino contenuti nell'apparato, corrispondenti a una luminosità integrata nell'anno di  $4.79 \times 10^{19}$  POT, che si aggiungono ai 9349 raccolti negli scorsi anni. È proseguita l'analisi e lo scanning degli eventi registrati nelle emulsioni sia ai LNGS che nei laboratori europei e giapponese.

Nel corso del 2011 OPERA ha sorpreso la comunità scientifica mondiale riportando un risultato che sembra indicare che i neutrini abbiano percorso i 732 Km tra Ginevra e il Gran Sasso impiegando circa 60 miliardesimi di secondo di meno del tempo che avrebbero impiegato la luce stessa. Sono tuttavia ulteriori verifiche e misure indipendenti prima di poter respingere o accettare questo risultato.

Queste misure saranno eseguite nel run CNGS del 2012, oltre che da OPERA anche da altri esperimenti al Laboratorio del Gran Sasso, quali Borexino, ICARUS e LVD che stanno implementando nei loro apparato l'elettronica adeguata ad una misura del tempo di volo dei

neutrini con precisione del nanosecondo. Anche l'esperimento MINOS negli Stati Uniti, dopo le necessarie migliorie si appresta a ripetere la misura della velocità dei neutrini.

L'altro esperimento dedicato al CNGS è ICARUS (figura 4.8), un innovativo apparato che consiste di circa 600 tonnellate di Argon liquefatto, alla temperatura di  $-186\text{ }^{\circ}\text{C}$ . in grado di combinare la spettacolare ricostruzione in 3D di qualunque interazione o spostamento di particelle cariche all'interno del suo volume, con una ottima misura calorimetrica dell'energia delle particelle. ICARUS nel 2011 ha continuato ad accumulare eventi di interazione di neutrini del fascio CNGS ed ha mostrato i primi risultati sulla ricostruzione degli eventi. Infine la Collaborazione sta implementando e migliorando il trigger associato all'apparato, allo scopo di poter estendere gli studi anche ad altri campi di interesse della fisica astroparticellare. La capacità di operare in sotterranea un apparato così complesso costituisce inoltre un decisivo passo avanti verso la costruzione di futuri esperimenti di migliaia di tonnellate di Argon liquido.

L'esperienza e il Know-how acquisiti dai LNGS nella gestione degli apparati criogenici e in particolare a servizio del rivelatore ICARUS sono diventati materia di insegnamento in uno dei corsi di e-learning erogati in modalità web 2.0, organizzati dai LNGS nell'ambito del POR Abruzzo, che ha visto una grande partecipazione di imprenditori locali interessati all'utilizzazione di tali tecnologie anche in processi con fonti rinnovabili.

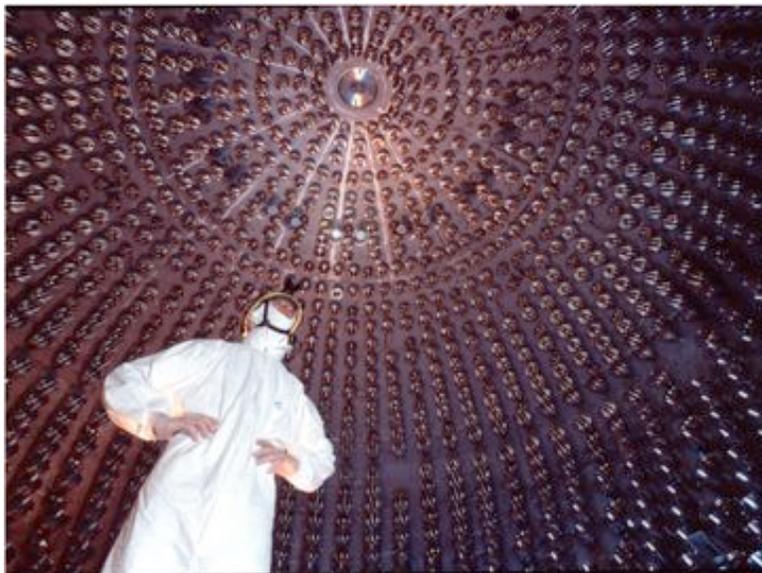


Fig. 4.10: L'esperimento Borexino per la rivelazione dei neutrini, ai Laboratori Nazionali del Gran Sasso.

La rivelazione dei neutrini provenienti dal Sole è lo scopo principale dell'esperimento BOREXINO (figura 4.9) che misura in tempo reale le componenti di bassa energia dello spettro solare. Cio' consente al contempo di studiare le reazioni di fusione nucleare all'interno della stella a noi più vicina e lo studio delle proprietà dei neutrini.

Grazie alla estrema radiopurezza del rivelatore (un vero record mondiale) Borexino si è rivelato un apparato sensibile anche ai geoneutrini prodotti nel decadimento di Uranio e Torio presenti all'interno della terra. Il loro studio ci consentirà di capire l'origine del calore prodotto dal nostro pianeta, la sua composizione e la sua origine. Osservatori di geoneutrini in diversi parti del globo potrebbero svelare i meccanismi che governano i moti convettivi di trasporto del calore all'interno della terra che sono alla base dei fenomeni vulcanici e dei movimenti tettonici. La misura ha suscitato anche l'interesse di una vasta comunità di geofisici.

Nel corso del 2011 Borexino dopo aver eseguito una campagna di ri-calibrazione del rivelatore, ha pubblicato una misura di alta precisione (4.3% ) del flusso dei neutrini monocromatici da  ${}^7\text{Be}$  migliorando quindi quanto già misurato nel 2007 e nel 2008. Ha inoltre dimostrato, con l'1% di precisione, l'assenza di una asimmetria notte/giorno del flusso di neutrini da  ${}^7\text{Be}$ . Questi risultati hanno consentito di confermare la soluzione LMA-MSW e di escludere definitivamente la soluzione LOW, nello spazio dei parametri che descrivono l'oscillazione dei neutrini, senza utilizzare i dati di KAMLAND e quindi senza la necessità di assumere CPT nel settore dei neutrini. È da sottolineare inoltre che è 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 e vicina alle oscillazioni nel vuoto.

Di estrema rilevanza infine è stata la misura, per la prima volta in questo campo, di neutrini solari nell'intervallo 1.0-1.5 MeV e quindi della prima evidenza di rivelazione diretta del flusso di neutrini pep. Assumendo per essi quanto previsto dal modello solare standard, è stato inoltre possibile porre il limite superiore di 7.9 conteggi/(giorno x 100ton) al 95% di C.L. al flusso di neutrini dal ciclo CNO nel sole.

Questi risultati sono stati ottenuti utilizzando una nuova tecnica di analisi per la discriminazione dei segnali dal fondo prodotto da  ${}^{11}\text{C}$ .

L'esperimento LVD ha continuato la sua attività di osservatorio per eventi di supernova, facendo parte della rete mondiale SNEWS. L'apparato ha anche rivelato i neutrini del CNGS.

Ai LNGS infine lo studio delle proprietà del neutrino avviene in esperimenti che si prefiggono di rivelare un raro processo di decadimento di alcuni isotopi chiamato "doppio decadimento beta senza neutrini". Tale fenomeno nucleare è legato all'esistenza di una massa dei neutrini e alla loro natura di particelle di Majorana (ovvero con particella e antiparticella coincidenti).

Il programma dei LNGS nel campo della ricerca dei decadimenti  $0\nu\nu\beta\beta$  si sviluppa attraverso l'uso di differenti isotopi e di differenti tecniche di rivelazione.

L'esperimento GERDA usa cristalli di germanio arricchiti con  $^{76}\text{Ge}$ , immersi in argon liquido e ulteriormente schermati da acqua ultrapura. Nel 2011 GERDA ha completato la fase di commissioning dell'apparato utilizzando prima cristalli di germanio naturale e successivamente anche tre cristalli arricchiti con  $^{76}\text{Ge}$ . Questo ha consentito di valutare in modo molto approfondito tutte le sorgenti del fondo per la misura nell'apparato, in particolare sono stati studiati tutti gli accorgimenti per ridurre al minimo la linea a 1525 KeV da  $^{42}\text{K}$  ( $^{42}\text{Ar}$ ). I risultati preliminari ottenuti utilizzando i primi germani arricchiti hanno mostrato chiaramente il segnale prodotto dai decadimenti  $2\nu\nu\beta\beta$ .

Alla fine del 2011 con l'immissione nell'apparato di 8 germani arricchiti (massa totale 17.7 Kg) è iniziata ufficialmente la presa dati della prima fase dell'esperimento.

In parallelo prosegue la preparazione di ulteriori 26 rivelatori BEGe (20 Kg) che saranno utilizzati nella fase 2 del programma sperimentale dell'esperimento.

L'esperimento CUORE si prefigge di rivelare i decadimenti  $0\nu\nu\beta\beta$  nel  $^{130}\text{Te}$  e rappresenta il più recente e ambizioso sviluppo della tecnica dei "bolometri" di biossido di tellurio, sulla quale l'INFN detiene un'esperienza più che ventennale. L'esperimento attualmente in fase di costruzione ai LNGS, utilizzerà quasi mille cristalli (741 kg) di  $\text{TeO}_2$  con una abbondanza isotopica del 34.17 %. Nel corso del 2011 la produzione dei cristalli di  $\text{TeO}_2$ , presso lo Shanghai *Institute of Ceramics*, ha raggiunto circa l'80% del totale. Sono parallelamente proseguiti presso i LNGS i test a campione della produzione, effettuati tramite test bolometrici che hanno confermato la conformità dei cristalli prodotti alle specifiche

contrattuali di radiopulizia. È proseguita la produzione delle parti in rame che compongono il rivelatore ed è iniziata presso i Laboratori Nazionali di Legnaro la pulizia degli stessi pezzi tramite un processo a quattro stadi (*tumbling, electro-polishing, chemical etching e plasma cleaning*).

Ai LNGS è stata installata nella camera pulita la linea di assemblaggio che permetterà di realizzare i rivelatori di CUORE in atmosfera inerte. Nella preparazione di CUORE-O, la prima delle 19 torri dell'apparato, sono stati però riscontrati alcuni problemi sui componenti di rame dovuti ad una errata lavorazione meccanica ed a una ridotta durezza del rame stesso, problemi che sono in via di soluzione. Sono stati completati gli schermi a 40 e 4 Kelvin del criostato di CUOR, mentre quello a 300 Kelvin è ancora in fase di lavorazione. È stato testato con successo presso la *Leiden Cryogenics* il refrigeratore a diluizione destinato a raffreddare l'esperimento che ha dimostrato prestazioni anche superiori alle specifiche richieste.



Fig.4.11: Il sistema di criogenia dell'esperimento ICARUS per la rivelazione dei neutrini, ai Laboratori del Gran Sasso.

È continuata nel 2011 nei LNGS l'attività di LUCIFER, un programma di R&D che si prefigge di studiare le potenzialità di bolometri scintillanti di  $ZnMoO_4$  come rivelatori di terza generazione per la ricerca di decadimenti  $0\nu\nu\beta\beta$  del  $^{100}Mo$ . Gli studi hanno riguardato la capacità di discriminazione dal fondo, la risoluzione energetica e una valutazione del fondo atteso in un futuro rivelatore.

La collaborazione COBRA nel corso del 2011 ha trasferito i rivelatori in un laboratorio più grande assegnato dai LNGS, dove può continuare le sue attività di Ricerca e Sviluppo in migliori condizioni sperimentali.

Lo studio della composizione dell'Universo è uno dei temi più affascinanti della ricerca attuale. Ai LNGS sono attualmente presenti diversi esperimenti dedicati alla rivelazione diretta di candidati di materia oscura, ciascuno dei quali usa tecnologie diverse. La ricchezza di esperimenti competitivi consente al Gran Sasso di essere un laboratorio assolutamente all'avanguardia in tale classe di studi.

L'esperimento DAMA/LIBRA che utilizza cristalli scintillanti (NaI) estremamente radiopuri, aveva già recentemente confermato con una significanza statistica di  $8.9 \sigma$  una modulazione annuale dei segnali di bassa energia, del tutto compatibile con quanto aspettato da una interazione di particelle di Dark Matter. Nel corso del 2011 la collaborazione ha completato la caratterizzazione e ottimizzazione dei nuovi fotomoltiplicatori installati alla fine del 2010. L'esperimento ha quindi ripreso ad accumulare nuovi dati con una soglia in energia minore e con accresciuta sensibilità per la ricerca di possibili candidati di DM.

Nel corso del 2011 la pubblicazione da parte dell'esperimento CoGeNT di analogha modulazione annuale, ancorché con bassa significanza statistica, ha suscitato grande interesse nella comunità scientifica. Un confronto comparativo tra i due esperimenti sembra indicare una compatibilità dei risultati nell'ipotesi di interazione elastica coerente di neutralini leggeri, di massa non incompatibile con i recenti risultati degli esperimenti LHC. È tuttavia da notare che tale ipotesi risulta incompatibile con i limiti più recenti pubblicati da XENON 100l e CDMS. Questa situazione ha stimolato una grande messe di pubblicazioni volte da una parte a tentare una conciliazione di tutti i risultati, dall'altra a mettere in evidenza possibili incertezze e limiti nella sensibilità dei vari apparati.

La ricerca di candidati di DM ai LNGS si avvale inoltre della tecnica che utilizza TPC riempite di liquidi criogenici (Argon e Xenon) a doppia fase (liquida e gas) che è stata iniziata nei LNGS grazie al lavoro pionieristico dell'esperimento WARP con Argon.

Il progetto XENON ai LNGS si propone la ricerca di DM attraverso la rivelazione di scattering di WIMPs sui nuclei di XENON. Dopo il successo del primo rivelatore XENON 10, attualmente è in funzione ai LNGS il rivelatore XENON 100l, una TPC a doppia fase contenente una massa sensibile di 62 kg di Xenon ultrapuro, in grado di stabilire con precisione millimetrica il vertice dell'interazione. Nel corso del 2011 la Collaborazione ha pubblicato i risultati relativi a 100.9 giorni di acquisizione tra Gennaio e Giugno 2010. Sono stati identificati tre candidati con un fondo aspettato di 1.8 eventi nella regione dove è atteso il segnale di interazione da WIMPs,. Ciò ha consentito di fissare il miglior limite superiore alla sezione d'urto di interazione elastica spin-indipendente per WIMPs a 50 GeV. L'esperimento ha poi continuato ad accumulare dati in condizioni migliori di fondo e a soglia più bassa per incrementare ulteriormente la sua sensibilità. Il prossimo passo nel programma della Collaborazione XENON sarà la costruzione di un apparato di terza generazione (XENON 1t) contenente una tonnellata di volume fiduciale di XENON, che si prefigge di guadagnare due ulteriori ordini di grandezza in sensibilità. Nel corso del 2011 XENON 1t ha ricevuto la definitiva approvazione da parte dei LNGS e del Consiglio Direttivo INFN.

Nel 2011 il Comitato Scientifico Internazionale del Gran Sasso ha esaminato e approvato una nuova proposta, DarkSide 50, che si inserisce nella linea di ricerca di DM con la tecnica di TPC a doppia fase in Argon. L'esperimento che si propone di usare Argon depleto e uno schermo attivo in scintillatore liquido, farà uso della Counting Test facility (CTF) di Borexino.

Nel 2011 è stato installato nella sala C dei LNGS un piccolo prototipo di 10 l dell'apparato. Dark Side 50 è al momento all'esame del Comitato Tecnico scientifico INFN prima della decisione finale da parte del Consiglio Direttivo dell'INFN.

Il rivelatore di CRESST infine si basa sulla tecnica bolometrica con cristalli scintillanti di  $\text{CaWO}_4$  operati a temperatura di 10 mK. Nel corso del 2011 la Collaborazione CRESST ha mostrato i risultati ottenuti dopo un lungo run con 8 cristalli, corrispondente ad una esposizione di 730 Kg giorno. È stato evidenziato un eccesso di eventi nella regione dove è aspettato il segnale da *scattering* di WIMPs. Successivamente è ripartito un nuovo *run* in cui ulteriori accorgimenti sono stati implementati sui rivelatori volti ad una ulteriore riduzione

del fondo. Prosegue inoltre in un criostato ad hoc l'attività di ricerca e sviluppo volta al miglioramento delle prestazioni dei rivelatori da utilizzare.

Le misure dirette di sezioni d'urto di interazioni nucleari di interesse astrofisico ottenute dall'esperimento LUNA nel laboratorio sotterraneo del Gran Sasso sono di grande interesse per capire i meccanismi che generano l'energia e producono gli elementi all'interno delle stelle.

Nel corso del 2011 la collaborazione è stata impegnata nella misura delle reazioni  $2\text{H}(\alpha,\gamma)^6\text{Li}$  e  $^{17}\text{O}(p,\gamma)^{18}\text{F}$ . La prima è fondamentale per la produzione di  $^6\text{Li}$  durante la nucleosintesi primordiale (BBN) ed una sua più accurata conoscenza potrebbe permettere di risolvere la discrepanza tra  $^6\text{Li}$  osservato in stelle molto antiche e  $^6\text{Li}$  previsto dalla BBN. La reazione  $^{17}\text{O}(p,\gamma)^{18}\text{F}$  fa parte del ciclo CNO di combustione dell'idrogeno e regola la produzione degli isotopi di ossigeno e fluoro in moltissimi ambienti stellari quali le novae, le giganti rosse, le stelle massive e le stelle AGB.

Inoltre si è lavorato alla finalizzazione del progetto relativo alla installazione nei laboratori sotterranei del Gran Sasso di un acceleratore con tensione di terminale 3.5 MV che consentirebbe di studiare reazioni chiave del ciclo di combustione dell'elio e reazioni che producono le sorgenti di neutroni per il processo s. In particolare è stato definito e completato il progetto tecnico di bonifica del sito dell'interferometro (pavimentazione, impiantistica, sicurezze ed altro) e delle schermature necessarie per l'installazione del nuovo acceleratore da 3.5 MV a stadio singolo.

Nel peculiare contesto sperimentale dei Laboratori del Gran Sasso dedicati alla fisica astro-particellare e alla ricerca di eventi rari, è di fondamentale importanza per molti esperimenti selezionare e utilizzare i materiali a bassissimo contenuto di radioattività naturale e realizzare condizioni di contaminazione estremamente bassa da parte di elementi più o meno comuni nell'ambiente (ad es. potassio, piombo, torio, uranio, le terre rare, etc...).

È quindi per questo che i LNGS si sono dotati di un Laboratorio specializzato in spettrometria gamma tra i più grandi e con le migliori prestazioni al mondo. I rivelatori al germanio iperpuro operanti nel laboratorio sotterraneo consentono misure di valori di radioattività naturale estremamente basse, non possibili in superficie. Parimente importante è il Servizio di Chimica e Impianti chimici che gestisce due spettrometri di massa con analizzatore di massa quadrupolare, di cui l'ultimo acquisito, il Finnigan

ELEMENT 2 commercializzato dall'azienda Thermo Electron presenta specifiche tecniche e prestazioni uniche a livello mondiale.

L'analisi tramite spettrometria di massa è complementare alla tecnica che utilizza la spettrometria gamma, le potenzialità dell'una e dell'altra combinate insieme permettono di ampliare notevolmente il campo delle applicazioni e migliorare la qualità delle misure.

Le due tecniche trovano numerose applicazioni, al di là dalle specifiche necessità degli esperimenti operanti nei LNGS, in campo geologico e idrogeologico, nelle scienze ambientali tramite lo studio dell'atmosfera e degli oceani, nella scienza dello spazio (misure di meteoriti, campioni prelevati su Marte o da comete), produzione industriale (p.e. per la selezione dei materiali impiegati nella produzioni di circuiti integrati per computer ed elettronica per evitare malfunzionamenti a causa di contaminanti radioattivi), analisi e datazioni di campioni archeologici.

I LNGS hanno implementato, nell'ambito del POR Abruzzo, specifici programmi di formazione per l'utilizzazione di queste strumentazioni di alta tecnologia.

L'esperimento ERMES studia radionuclidi cosmogenici e primordiali in matrici solide e fluide all'interno dei LNGS mediante spettrometria gamma HPGe ed a scintillazione liquida per la caratterizzazione del fondo di neutroni. Nel corso del 2011 sono proseguiti le analisi e gli studi sui campioni di acqua prelevati nei vari siti del laboratorio sotterraneo allo scopo di indagare e caratterizzare ulteriormente le variazioni di fondo di neutroni nel laboratorio e le 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.

Il Laboratorio ospita inoltre esperimenti di interesse geofisico, quali GIGS costituito da un interferometro di tipo Michelson-Morley, e l'esperimento PULEX2 di interesse biologico.

È infine da sottolineare che la peculiarità e complessità degli esperimenti operanti nei 180000 m<sup>3</sup> del Laboratorio sotterraneo, in stretta interconnessione con il tunnel autostradale, la necessità di assicurare la massima sicurezza anche dal punto di vista ambientale, implicano l'installazione e l'utilizzazione di rilevanti impianti tecnologici, avanzati sistemi di gestione e controllo funzionale anche a distanza, uso di reti ultraveloci e affidabili di trasmissione di dati, robusti servizi di sicurezza e monitor ambientale. Le

elevate competenze specialistiche acquisite in tali ambiti dal personale dei LNGS sono oggetto di programmi di formazione rivolti al territorio e alla sua realtà produttiva.

Le attività del Laboratorio sull'orizzonte del Piano Triennale 2011-2013 saranno governate da una parte dagli esperimenti già presenti, in costruzione o appena approvati, dall'altra dall'auspicabile partenza di nuovi esperimenti e attività già sottoposti all'esame dei LNGS e in attesa della approvazione finale e di finanziamenti.

Gli esperimenti in questo momento in presa dati e che hanno già prodotto risultati di fisica continueranno nel prossimo triennio a essere operativi fino al pieno raggiungimento del loro obiettivo di ricerca:

BOREXINO continuerà nello studio dei neutrini solari avvalendosi di un ulteriore diminuzione dei fondi a seguito della campagna di purificazione dello scintillatore in corso. L'obiettivo è di migliorare la misura delle componenti di energia più bassa dello spettro di neutrini emessi, quali pep e CNO; l'esperimento inoltre contribuirà a fornire, attraverso la misura di geoneutrini, importanti informazioni sul nostro pianeta.

OPERA continuerà la presa dati accumulando eventi da neutrini del CNGS per tutto il 2012 e proseguirà nell'analisi dei dati per confermare e aumentare la significanza statistica del risultato ottenuto nel corso del 2010 sulla prima evidenza diretta delle oscillazioni di neutrini.

ICARUS continuerà la presa dati sul fascio CNGS per tutto il 2012 e continuerà nell'analisi e nella ricostruzione degli eventi raccolti e prodotti anche da interazioni di neutrini atmosferici, nell'intento di dimostrare sperimentalmente tutte le potenzialità dell'apparato. Continueranno la presa dati e gli sviluppi con tutti gli apparati di DAMA. In particolare, per DAMA/LIBRA ci si aspetta i risultati dell'analisi dati accumulati a soglia più bassa. Proseguiranno inoltre le attività di R&D sia per esperimenti di nuova generazione per la Dark matter, sia nel campo dei decadimenti  $0\nu\nu\beta\beta$ .

LVD continuerà a operare come osservatorio dei neutrini da collassi.

LUNA negli anni futuri (2012-2014) studierà altre catture protoniche radiative quali la  $^{22}\text{Ne}(p,\gamma)^{23}\text{Na}$ , la  $^{18}\text{O}(p,\gamma)^{19}\text{F}$  e la  $^{23}\text{Na}(p,\gamma)^{24}\text{Mg}$ . Tali reazioni, appartenenti al ciclo NeNa o CNO, sono essenziali per la produzione degli elementi in moltissimi ambienti stellari.

Inoltre il prossimo triennio sarà decisivo per l'avvio del progetto LUNA-MV. Tale progetto prevede l'installazione di un acceleratore con tensione massima di terminale 3.5 MV presso i LNGS al fine di studiare reazioni chiave appartenenti al ciclo di combustione dell'He quali

la  $^{12}\text{C}(\alpha,\gamma)^{16}\text{O}$  che regola il rapporto tra carbonio ed ossigeno e le reazioni  $(\alpha,n)$  su  $^{13}\text{C}$  e  $^{22}\text{Ne}$  che danno luogo al flusso di neutroni necessario al processo s per la formazione degli elementi con numero di massa maggiore di 60.

L'esperimento XENON-100 continuerà la presa dati e al contempo ci si aspetta nel 2012 la pubblicazione dei risultati dell'analisi dei dati già raccolti nel 2011. Nella seconda metà del 2012 è prevista l'inizio delle attività di costruzione e installazione nella sala B dei LNGS del nuovo apparato XENON 1t che si prefigge di aumentare di due ordini di grandezza la sensibilità nella rivelazione di candidati di materia oscura.

Ci si aspetta inoltre nel 2012 la decisione finale sulla approvazione dell'esperimento Dark Side 50 e l'inizio della costruzione del rivelatore che prevede il rifacimento della CTF di Borexino.

L'esperimento CRESST continuerà la presa dati e l'analisi volta alla piena comprensione dei segnali di fondo, contemporaneamente continuerà la fase di ricerca e sviluppo sui cristalli .

Per quello che attiene la ricerca di candidati di materia oscura, è da rilevare la posizione di assoluto favore dei LNGS per merito della presenza in contemporanea nel Laboratorio di esperimenti con tecniche diverse e che utilizzano nuclei diversi. Questo non solo aumenta le potenzialità di una scoperta nel Laboratorio o comunque consentirà di porre dei limiti sempre più stringenti, ma i risultati degli attuali esperimenti, in termini di sensibilità raggiunta e capacità di reiezione dal fondo, costituiranno la base indispensabile per la scelta della tecnica migliore da utilizzare per raggiungere sensibilità ancora maggiore negli esperimenti del prossimo decennio. In tale ambito i LNGS partecipano anche al programma di Ricerca e Sviluppo DARWIN finanziato dalla comunità europea sulla fattibilità di apparati con liquidi criogenici di grande massa e bassissimo fondo radioattivo.

Tra gli esperimenti che hanno come scopo la ricerca di eventi di decadimento doppio beta senza neutrini, GERDA ha iniziato a raccogliere dati con 8 rivelatori e ci si aspetta che in meno di due anni abbia completato questa prima fase dell'esperimento che ha come primo obiettivo la verifica dei controversi risultati pubblicati da una parte della collaborazione HdMo. In una seconda fase nuovi cristalli che sono in via di produzione, saranno inseriti nel criostato allo scopo di raggiungere una sensibilità molto superiore. Il programma e l'orizzonte temporale dell'esperimento eccedono quindi il presente piano triennale.

L'esperimento CUORE, dopo il successo di CUORICINO, è già un esperimento di seconda generazione, con i suoi circa 1000 bolometri di  $\text{TeO}_2$  e una massa di 740 kg. È ancora in fase

di costruzione e ci si aspetta il completamento della costruzione entro il presente piano triennale per il 2014. In particolare nel corso del 2012 dovrebbe entrare in funzione la prima torre CUORE-0 che consentirà un attento studio del fondo previsto per l'intero apparato.

Il programma e l'orizzonte temporale di CUORE vanno quindi ben al di là dal presente piano triennale.

Per COBRA, ci si aspetta che nel prossimo triennio completi il suo programma di ricerca e sviluppo e arrivi a una proposta definitiva di esperimento.

Infine proseguirà l'attività R&D di LUCIFER che si propone di realizzare un rivelatore a cristalli di seleniuro di zinco (ZnSe) che accoppi la tecnica bolometrica usata nell'esperimento CUORE alla rivelazione della luce di scintillazione tipica dei rivelatori di materia oscura.

Infine i prossimi anni saranno importanti per la realizzazione, nell'ambito dell'esperimento ERMES, di un laboratorio da installare tra la sala A e la sala B dei laboratori sotterranei, dedicato alla ricerca nel campo delle scienze ambientali e dei materiali, mediante misure di bassissimi livelli di traccianti radioattivi cosmogenici, antropogenici e primordiali. Il progetto che è in attesa di finanziamenti, si avvarrà della collaborazione della IAEA-EL e JRC-ITU.

#### **CONCLUSIONI E PROSPETTIVE**

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 si sta interrogando sui possibili scenari aperti dalle prime indicazioni di un angolo di mescolamento dei neutrini  $\theta_{13}$  relativamente grande. Gli

anni del presente piano triennale saranno decisivi per chiarire quali fasci di neutrino, rivelatori e quali laboratori rappresentano le migliori scelte per procedere nella comprensione delle proprietà dei neutrini.

Inoltre 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.

Anche per gli esperimenti di materia oscura, la realizzazione nel presente Piano Triennale di nuovi esperimenti appena approvati quali XENON 1t o in attesa dell'approvazione finale, garantiranno al Laboratorio una continuità nella leadership attualmente tenuta dai LNGS nel campo anche al di là del presente piano triennale.

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, l'utilizzazione della spettrometria gamma e spettrometria di massa per applicazioni in discipline diverse quali le scienze ambientali e dei materiali, continueranno ad allargare l'orizzonte scientifico del Laboratorio verso aspetti di grande impatto ambientale e sociale.

L'attività scientifica dei LNGS è in questo momento al suo apice per numero e competitività di esperimenti, i numerosi e importanti risultati scientifici raggiunti nei LNGS ne sono la testimonianza, a conferma dell'unicità nel panorama mondiale di questa infrastruttura di ricerca capace di attirare ricercatori da ogni parte del pianeta. Tuttavia a fronte dell'incremento del numero e complessità degli esperimenti al Laboratorio del Gran Sasso, non è stato possibile un proporzionale aumento delle risorse finanziarie e umane necessarie a operare e gestire una così rilevante attività di ricerca. Al contrario le possibilità di reclutamento di personale stanno riducendosi sempre di più superando il livello di guardia; inoltre l'assottigliamento delle risorse destinate alle infrastrutture e all'impiantistica contrasta con le necessità di funzionalità e sicurezza del Laboratorio e degli esperimenti installati e operanti al suo interno.

Va inoltre sottolineato che un laboratorio di eccellenza come i LNGS costituisce un centro unico al mondo di alta formazione per i giovani ricercatori operanti nel campo della fisica astroparticellare ed è importante poter continuare a mantenere questa posizione di preminenza internazionale mediante un flusso continuo e programmato di menti giovani e brillanti.

#### **MILESTONE DEL PERIODO 2012-2014**

- **Completamento della purificazione dello scintillatore liquido di Borexino, presa dati con fondo ancora più basso per misurare in modo diretto le componenti di bassa energia dello spettro dei neutrini solari e incrementare la statistica della misura dei geoneutrini.**
- **Completamento della presa dati dell'esperimento OPERA nel 2012 coi neutrini CNGS e proseguimento dell'analisi.**
- **Completamento della presa dati dell'esperimento ICARUS nel 2012 con il fascio CNGS e dimostrazione delle potenzialità del rivelatore per altre sorgenti di neutrini e verso apparati di centinaia di Ktonnellate**
- **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.**
- **Costruzione del rivelatore XENON 1t e inizio del commissioning dell'apparato.**
- **Continuazione della linea di ricerca di materia oscura con TPC ad Argon liquido**

- **Continuazione della presa dati dell'esperimento CRESST, miglioramento della comprensione del fondo dell'apparato e definitivo giudizio delle potenzialità della tecnica che accoppia rivelazione di fononi e luce di scintillazione.**
- **Completamento della prima fase dell'esperimento GERDA e verifica dei controversi risultati pubblicati da una parte della collaborazione HdMo.**
- **Messa in funzione e analisi dati di CUORE-0 e costruzione dell'apparato CUORE**
- **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.**
- **Realizzazione del laboratorio dedicato alle scienze ambientali mediante traccianti radioattivi.**

## **I LABORATORI NAZIONALI DI LEGNARO**

Il laboratorio (sito web: <http://www.lnl.infn.it/>)

### **LEGNARO OGGI**

La missione principale dei LNL è lo sviluppo delle conoscenze nella fisica e astrofisica nucleare di base assieme alle applicazioni delle tecnologie nucleari connesse.

I laboratori (figura 4.10), situato nelle vicinanze di Padova ed in prossimità di svincoli autostradali ed aeroporti nazionali ed internazionali, si estendono su una superficie di circa 200.000 mq, sulla quale sono edificati circa 120.000 mc, con possibilità di costruire ulteriori 170.000 mc per lo sviluppo di nuovi progetti. I Laboratori sono allacciati ad una linea di alta tensione a 132 KV con disponibilità di fonti di energia elettrica primarie pari a 120 MVA.

Dispone di uno staff di 110 dipendenti a tempo indeterminato, una quindicina di dipendenti a tempo determinato e si avvale di circa 150 associati (dottorandi, borsisti e personale universitario); circa il 60% del personale dipendente ed associato è laureato o dottore di ricerca.

Si è dotato nel tempo di cinque macchine acceleratrici, tutte utilizzate con continuità dalla comunità scientifica nazionale ed internazionale per studi in fisica nucleare degli ioni

pesanti (TANDEM-XTU, ALPI e PIAVE), e per applicazioni volte allo studio dei materiali, alla fisica dei neutroni e per ricerche interdisciplinari (AN2000 e CN). Nell'ambito della fisica nucleare ed astrofisica nucleare il laboratorio fa riferimento ad un ampio bacino di utenza di circa 600 ricercatori, più della metà non italiani e di provenienza europea.

Accanto alle attività di Fisica Nucleare, il laboratorio ospita l'antenna gravitazionale ad altissima sensibilità Auriga per la rivelazione delle onde gravitazionali. Dispone di un centro di calcolo di primordine con un ruolo significativo nell'analisi degli eventi prodotti alla grande macchina LHC del CERN.

Attività di eccellenza sono individuabili nel campo dei rivelatori per raggi gamma e di particelle cariche. In particolare, sono stati realizzati nel contesto di collaborazioni europee importanti apparati di ampio utilizzo nella comunità internazionale (fra cui GASP, EUROBALL, CLARA) ed è stato completato il prototipo denominato Dimostratore di AGATA. Quest'ultimo, inaugurato nella primavera 2010, è stato utilizzato ai LNL anche in accoppiamento con lo spettrometro magnetico a grande accettazione e risoluzione PRISMA per una campagna di misure fino al 31 dicembre 2011. Di particolare interesse sono i rivelatori al silicio per ioni pesanti (progetto FAZIA) e quelli per neutroni (progetto NEDA) sviluppati in collaborazione con il laboratorio di Ganil nell'ambito del progetto europeo "SPIRAL2 preparatory phase" per applicazioni nei futuri progetti Spes e Spiral2.

L'eccellenza nella tecnologia degli acceleratori è testimoniata dalla realizzazione del LINAC superconduttivo ALPI-PIAVE, dai contributi portati alla realizzazione di acceleratori per il CNAO, il CERN e TRIUMF e dalla partecipazione a progetti internazionali per acceleratori dedicati a programmi di fusione nucleare (sviluppo dell'acceleratore RFQ per IFMIF-EFVEDA, della NBTF per RFX).

Attivo da cinquant'anni, LNL opera in stretta collaborazione con gli altri laboratori nazionali dell'INFN, fra cui in particolare il Laboratorio Nazionale del Sud (LNS), e con i più importanti laboratori esteri di livello internazionale, attivi nel campo delle ricerche in fisica nucleare. Tali attività si svolgono nell'ambito di accordi internazionali come quello con ISOLDE-CERN e con Spiral2-GANIL, nell'ambito di un Laboratorio Europeo Associato costituito con lo scopo di condividere sviluppi tecnologici e finalità scientifiche nel campo della Fisica Nucleare con Fasci di ioni stabili ed esotici. A livello europeo, LNL è riconosciuto come "Large Scale Facility".

Il futuro del laboratorio ruota attorno al progetto speciale **SPES** (Selective Production of Exotic Nuclear Species), descritto più in dettaglio nella Sezione riguardante i Progetti

Speciali. SPES è dedicato primariamente allo studio di nuove specie nucleari ricche di neutroni. Al tempo stesso tale progetto permette sviluppi applicativi relativi alla produzione di radio-farmaci di tipo sperimentale ed innovativo (ma anche convenzionale) e alla fisica dei neutroni, con particolare riguardo ai temi dell' energia, scienza dei materiali e salute.

#### **RECENTI RISULTATI SALIENTI (HIGHLIGHT) DEL LABORATORIO**

Nel corso del 2011 i LNL hanno fornito complessivamente circa 7500 ore di fascio all'utenza, per misure effettuate utilizzando gli apparati sperimentali dei laboratori.

L'attività sperimentale più rilevante è stata la campagna di sperimentazione con il nuovo rivelatore gamma ad alta risoluzione, il cosiddetto Dimostratore di **AGATA** (figura 4.11). 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 potere risolvete di gran lunga superiori a quelle degli apparati di precedente generazione. La campagna di misura ha utilizzato anche lo spettrometro a grande angolo solido PRISMA. Il complesso AGATA-PRISMA costituisce un potente strumento di indagine in grado di richiamare la presenza di molti sperimentatori da tutta l'Europa.

Nell'ambito del progetto Fazia (figura 4.12) 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, è iniziata nell'autunno 2011 la costruzione del ciclotrone da 70 MeV ed alta intensità ed è stata completata la progettazione dell'edificio che dovrà contenere la macchina, mentre è stato installato il *Front-End* della *facility ISOL* (figure 4.13, 4.14) 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 proceduto con l'incremento in potenza delle cavità di basso beta di Alpi e si sono aggiunte quattro ulteriori cavità acceleranti al sistema. Si è inoltre proceduto all'upgrade delle cavità dell'iniettore PIAVE e allo sviluppo di nuovi fasci pesanti con la sorgente ECR.

Nell'ambito del progetto IFMIF, è in costruzione un RFQ di altissima intensità che verrà installato nel 2015 nella sede giapponese di Rokkasho, insieme agli altre componenti dell'acceleratore realizzate da una collaborazione europea guidata da F4E.

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.

Nell'ambito dello sviluppo di tecnologie nucleari applicate alla salvaguardia ambientale, i LNL hanno contribuito alla realizzazione della Carta della Radioattività della Regione Toscana, che è stata consegnata nel 2011 al termine del progetto Rad\_Nat, co-finanziato dall'INFN. Nel biennio 2009-2011 gli spettrometri gamma MCA\_Rad, Za\_NaI e AGRS\_16 ideati e realizzati presso i LNL hanno permesso di misurare la radioattività gamma di 1913 campioni di suolo e roccia e di realizzare un *survey airborne* del 20% del territorio toscano.



Fig. 4.12: Vista aerea dei Laboratori Nazionali di Legnaro.

Fig. 4.13: Risultati recenti di FAZIA.

Il laboratorio si è dotato di una cabina di trasformazione elettrica da 132 kV e potenza erogabile fino a 40 kVA:

#### LNL NEL PROSSIMO TRIENNIO

**SPES-alpha**, la prima fase del progetto SPES, già approvata e finanziata dall'INFN, si realizzerà entro il 2014, mediante l'acquisizione, l'installazione ed il collaudo di un ciclotrone a protoni (energie da 30 a 70MeV e correnti fino a quasi 1mA) e la costruzione dell'edificio per ospitare la macchina ed i laboratori ad essa annessi.

Il progetto prevede nel triennio l'utilizzo di un bersaglio in Carburo di Uranio (UCx) capace di fornire  $10^{13}$  fissioni al secondo sotto l'azione del fascio di protoni del ciclotrone.

Con il contributo di molte Sezioni e Laboratori dell'INFN, ed in particolare dei LNS, proseguirà l'intensa attività di progettazione e di simulazione delle parti da realizzare, nonché di costruzione di prototipi per poter passare velocemente alla installazione delle apparecchiature necessarie alle successive fasi del progetto SPES.

Nell'ambito della strumentazione per la fisica nucleare di base, impegno primario del laboratorio è la realizzazione del rivelatore per raggi gamma Galileo. Tale progetto, svolto in collaborazione con le Università e sezioni INFN di Padova, Milano e Firenze nel contesto di una collaborazione internazionale, ha come obiettivo quello di dotare i LNL di un innovativo spettrometro di moderna generazione per studi di spettroscopia gamma. Interventi di "up-grading" sono in programma per altri apparati di eccellenza quale lo Spettrometro a grande accettazione PRISMA o il complesso di odoscopi per ioni pesanti - esperimento Nuclex -, per i quali nel corso del triennio sono previste campagne sperimentali.

Nel campo del nucleare da fusione, due sono i principali impegni del laboratorio:

- la realizzazione dell'acceleratore RFQ ad alta intensità del progetto IFMIF, parte essenziale della macchina per lo studio dei materiali da utilizzare nei reattori a fusione.
- la collaborazione alla realizzazione della *Neutral Beam Test Facility*, il laboratorio per lo studio dell'iniettore di potenza nel plasma nell'ambito del progetto ITER e come supporto al consorzio RFX.

Proseguiranno le attività nelle quali il laboratorio ha raggiunto livelli di eccellenza, in particolare per quanto riguarda la microbiologia e la microdosimetria. Per queste attività il Laboratorio dispone già di un'ottima strumentazione come il micro-fascio installato presso l'acceleratore CN.

Saranno potenziate le attività nel settore della Geofisica Nucleare, dedicate alla creazione di carte tematiche della radioattività nelle rocce, nei suoli e nell'ambiente (vedi anche scheda illustrativa del progetto ITALRAD (par. 2.13)). In particolare, grazie al sostegno di una fondazione privata, sarà completata la carta della Radioattività della Regione Veneto. Al termine di questa esperienza, i LNL avranno contribuito al monitoraggio della radioattività di circa il 15% del territorio nazionale, con un ulteriore rafforzamento del proprio knowhow nelle tecnologie nucleari applicate all'ambiente.

Si predisporranno azioni mirate per mantenere il funzionamento ottimale degli acceleratori CN e AN2000 e della loro strumentazione analitica per consentire agli attuali utenti la continuazione delle proprie ricerche in ambito interdisciplinare, e per ampliare l'utenza a livello europeo specialmente nel campo delle nanotecnologie e dei microsistemi.



Fig. 4.14: Front-end del bersaglio ISOL.

Fig. 4.15: Il modello in alluminio, scala 1:1, dell'acceleratore RFQ per IFMIF.

Il Laboratorio dell'INFN di Legnaro, assieme a quello di 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 da mantenere e potenziare al servizio del paese.

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 (vedi anche par. 3.8):

**SPES-beta** consiste nella riaccelerazione degli ioni esotici prodotti dal bersaglio di UCx nel complesso ALPI-PIAVE ad energie tra 5 e 10 MeV/nucleone per impiegarli, mediante vari tipi di reazioni nucleari, nella formazione ed esplorazione di nuclei ricchi di neutroni in condizioni estreme. Il progetto, assieme alla “facility” francese Spiral2 di GANIL attualmente in costruzione, permetterà una ricerca di assoluta frontiera nel campo della fisica nucleare, da realizzarsi in sinergia e in collaborazione con le strutture dell’INFN, in particolare con i LNS, con il laboratorio francese e con altri laboratori europei. Per questa fase, non ancora approvata dall’INFN, è previsto un costo di 20-30 Meuro, a seconda delle opzioni. SPES-beta è stato presentato nell’ambito dei progetti premiali 2011 del MIUR.

**SPES-gamma** consiste nella realizzazione di un centro per la produzione e distribuzione di radio farmaci di tipo innovativo e sperimentale - oltreché di tipo convenzionale - basato sulla seconda uscita del Ciclotrone da 70 MeV. Un centro di tale tipo sarebbe unico nel Paese, e sostanzialmente gemello del progetto francese ARRONAX attualmente in fase di completamento. Potrà fornire alla comunità della medicina e farmacologia nucleare una sorgente continua e ricchissima di nuovi isotopi per la sperimentazione clinica e contribuirebbe a garantire l’approvvigionamento di radio-farmaci convenzionali nel Nord Est del paese. Già adesso sono in fase di definizione progetti preliminari: i costi sono previsti in circa 15 Meuro ed i tempi di realizzazione in tre anni dall’approvazione. Per il finanziamento ed il successo dell’iniziativa sono necessari il sostegno di Enti territoriali e la partecipazione di Aziende e Istituzioni del settore sanitario, assieme alla collaborazione con Università. Questa fase del progetto (LARAMED) è stata presentata nell’ambito dei progetti premiali 2011 del MIUR.

**SPES-delta** riguarda lo sviluppo di una sorgente di neutroni ad alta intensità , per applicazioni nel campo della salute (BNCT), ma anche del nucleare energetico (classificazione di scorie nucleari) e dell’astrofisica (determinazione delle probabilità di

assorbimento di neutroni in ambiti astrofisici). La realizzazione di una “Multidisciplinary neutron source” (MUNES) è stata presentata nell’ambito dei progetti premiali del MIUR 2011.

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 prevedendo in quest’ottica sia l’ampliamento delle potenzialità analitiche e di irraggiamento che l’allargamento e diversificazione della utenza a livello europeo.

Si provvederà inoltre a soddisfare gli impegni assunti nell’ambito del programma IFMIF (figura 4.16) e a fornire supporto adeguato al progetto NBTF (figura 4.17) in collaborazione con il consorzio RFX.



Fig. 4.16: La nuova sorgente ECR.

Fig. 4.17: Schema di NBTF.

#### **MILESTONE DEL PERIODO 2012-2014**

- **Avvio delle campagne di misura col nuovo rivelatore GALILEO agli acceleratori TANDEM-ALPI-PIAVE**
- **Potenziamento ed upgrading degli apparati sperimentali delle collaborazioni PRISMA e NUCLEX in preparazione dei fasci potenziati del complesso PIAVE-ALPI e anche di SPES fase beta.**
- **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.**
- **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 della regione Veneto e possibile**
- **Ove siano finanziati i progetti premiali presentati dall'INFN al MIUR per il 2011 potranno essere realizzate le seguenti iniziative :**
- **estensione al territorio nazionale della mappa della radioattività di rocce e suoli (programma ITAL RAD)**
- **Realizzazione di un centro per la produzione di radionuclidi di interesse medico e a carattere innovativo e sperimentale (progetto LARAMED), basato sul nuovo ciclotrone.**
- **Sviluppo di una sorgente neutronica, ad alta intensità per applicazioni interdisciplinari (progetto MUNES)**

#### **I LABORATORI NAZIONALI DEL SUD (LNS)**

Il Laboratorio (sito web: <http://www.lns.infn.it/>)

I LNS (figura 4.16) 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 NEMO.



Fig. 4.18: Laboratori Nazionali del Sud

Fig. 4.19: L'acceleratore Tandem Van De Graaff da 15 MV dei Laboratori Nazionali del Sud.

Fig. 4.20: Il Ciclotrone Superconduttore K800 (vista dell'esterno).

Fig. 4.21: Il Ciclotrone Superconduttore K800 (vista dell'interno).

L'edificio principale dei LNS, che comprende uffici, laboratori, sale acceleratori e sale misura, è situato all'interno del campus dell'Università di Catania e presenta una superficie coperta utilizzabile di circa 17.800 m<sup>2</sup>. Fa parte dei Laboratori anche una seconda costruzione di recente ultimazione, collocata anch'essa all'interno del campus con una superficie coperta utilizzabile di circa 2.200 m<sup>2</sup>, supporto logistico di mensa per il personale e residenza per gli ospiti. Inoltre, parallelamente allo sviluppo delle ricerche di fisica astroparticellare, i LNS hanno acquisito e ristrutturato, negli scorsi anni, due costruzioni situate nelle aree portuali di Catania e di Portopalo di Capo Passero, che costituiscono le stazioni a terra di riferimento per i due siti sottomarini, rispettivamente di test e di destinazione dell'osservatorio di neutrini cosmici, e che hanno superfici coperte utilizzabili di circa 750 m<sup>2</sup> e 1.000 m<sup>2</sup> rispettivamente.

Il personale dei LNS comprende attualmente poco più di 100 dipendenti INFN a tempo indeterminato, una quindicina circa di dipendenti INFN con contratti a termine e altrettanti docenti universitari associati con incarico di ricerca. A questi si aggiungono alcuni dipendenti di altri enti associati alle attività dell'INFN ed un numero periodicamente variabile di titolari di assegni di ricerca e borsisti, sia dell'INFN che di altri enti, che si attesta mediamente intorno alle 30 unità.

Ci sono poi, in media, una trentina di studenti laureandi, specializzandi e dottorandi, associati alle attività dell'INFN, che studiano e lavorano alle rispettive tesi. In totale quindi operano all'interno dei LNS oltre 210 persone.

#### **PRINCIPALI RISULTATI SCIENTIFICI RAGGIUNTI NEL 2011**

Nel 2011 i LNS sono stati impegnati nel consolidamento scientifico delle attività nel campo della Fisica Nucleare con fasci radioattivi sia in termini di offerta di fasci all'utenza ottenuti con la tecnica della frammentazione in volo con l'*upgrading* della facility FRIBS, sia con il completamento dallo spettrometro Magnex.

Infatti sono state completate, nei tempi previsti, le operazioni di installazione dei nuovi elementi magnetici e di diagnostica studiati per l'incremento nella resa di produzione e trasporto di fasci esotici prodotti in volo con reazioni di frammentazione grazie al sistema FRIBS ai Laboratori Nazionali del Sud. È stata migliorata la focalizzazione del fascio sul bersaglio di produzione che è stato completamente rinnovato così da poter sopportare

intensità di fasci di produzione con potenze di varie centinaia di watt. Tra fine Febbraio e Marzo 2011 il nuovo sistema è stato collaudato positivamente con fasci primari di  $^{18}\text{O}$  e  $^{36}\text{Ar}$ , permettendo la produzione di ioni esotici come l'Argon 34, il Carbonio 16 e 17, il Boro 13, gli isotopi del Berillio dal 10 al 12, il Litio 8 e 9 nonché gli isotopi 6 ed 8 dell'Elio ad energie tra 25 e 50 AMeV. Dal confronto con le rese prodotte con il fascio di  $^{18}\text{O}$  in esperimenti effettuati con il precedente sistema, si è verificato l'ottenimento del guadagno di circa un ordine di grandezza nelle rese. Ulteriori aumenti di intensità potranno essere ottenuti grazie alla maggiore intensità possibile sul bersaglio e sfruttando a pieno le possibilità di focalizzazione offerte dal sistema. I fasci prodotti sono stati utilizzati, sul rivelatore CHIMERA, in alcuni esperimenti per lo studio dei sistemi con alone di neutrone in nuclei esotici ricchi in neutroni e per la misura della dipendenza dall'isospin delle rese delle reazioni nucleari. Sono in programma vari altri esperimenti con fasci esotici di  $^{68}\text{Ni}$  e  $^8\text{He}$ . Le maggiori intensità disponibili aprono nuove prospettive di utilizzo per questi fasci, collocando i LNS in posizione molto favorevole nel panorama internazionale.

I LNS saranno nell'immediato futuro gli unici in Europa a poter contare su fasci esotici di buona intensità ed energia attorno alle energie di Fermi, indispensabili ad esempio per lo studio dei limiti della stabilità del sistema nucleare ad alta energia di eccitazione. Potranno inoltre sfruttare la possibilità, unica al mondo per i fasci di frammentazione, di trasportare i fasci prodotti su tutte le linee sperimentali disponibili, permettendo una eccezionale flessibilità di utilizzo.

L'installazione ai Laboratori Nazionali del Sud del multi-rivelatore EDEN, 36 moduli di scintillatori liquidi tipo NE213, nella sala sperimentale dello spettrometro magnetico MAGNEX ha rappresentato l'evento qualificante di una ambiziosa collaborazione scientifica fra il gruppo dei LNS, che lavora con il suddetto spettrometro, ed i colleghi dell'IPN-Orsay. L'elettronica di read-out del rivelatore EDEN è stata totalmente rinnovata ed il commissioning della nuova facility, installata presso i LNS, è risultato assai più che positivo. La facility è pronta per il programma sperimentale che prevede in primo luogo la rivelazione dei neutroni emessi dal decadimento delle risonanze osservate negli spettri di energia misurati con MAGNEX, in particolare nelle reazioni ( $^{18}\text{O},^{16}\text{O}$ ). Grazie all'ampia accettazione ed all'elevata risoluzione in massa ed in energia di MAGNEX e alla capacità di EDEN di identificare con una buona efficienza i neutroni e misurarne l'energia, con tale

facility si aprono nuove prospettive in molti campi di spettroscopia nucleare e negli studi dei meccanismi di reazione.



Fig.4.22 a) e b): Vista esterna e vista interna del rivelatore di particelle cariche CHIMERA ai Laboratori Nazionali del Sud.



Fig. 4.23: Lo spettrometro magnetico MAGNEX ai Laboratori Nazionali del Sud.



Fig. 4.24: Particolare della linea di fascio CATANA per la terapia del melanoma oculare.

#### ATTIVITÀ NEI PROSSIMI TRE ANNI

Nel prossimo triennio continuerà l'impegno dei LNS nelle attività che mirano alla realizzazione di un telescopio per neutrini cosmici di alta energia con dimensioni dell'ordine del km<sup>3</sup> a profondità abissali nel Mar Mediterraneo. Nell'ambito del progetto i LNS hanno già realizzato l'infrastruttura sottomarina di Portopalo di Capo Passero, costituita dalla stazione di terra (on-shore) collegata a un cavo elettro/optico che termina a 80 km off-shore in un vasto plateau a 3500 m di profondità, sito ideale per l'installazione del telescopio. La stazione di terra di Capo Passero è collegata con la rete GARR a 10 Gbit/s. La collaborazione italiana guidata dai LNS, partecipa al consorzio europeo KM3NeT, inserito nella roadmap europea per le grandi infrastrutture di ricerca elaborata dall'European Strategy Forum on Research Infrastructures. La Preparatory Phase di KM3NeT, coordinata da INFN-LNS si è appena conclusa con la progettazione dei vari elementi del telescopio quali gli elementi base del telescopio (DOM, DU), la cui validazione in acque profonde è prevista entro fine 2012. Grazie al finanziamento ottenuto nel 2011 attraverso il PON Ricerca e Competitività 2007-2013, nel prossimo triennio si avvierà la costruzione di una prima parte (circa 28 torri) del nodo KM3NeT-Italia, **espandibile in futuro** come previsto nel precedente piano triennale dell'INFN fino a 100 torri e da realizzare nel framework della collaborazione internazionale KM3NeT.

Nel 2011 i LNS hanno partecipato all'avvio della baseline progettuale dell'acceleratore per la European Spallation Source, una delle infrastrutture di ricerca più ambiziose della ESFRI; in particolare l'INFN, attraverso i LNS, ha la responsabilità del Normal Conducting Linac, ovvero la sezione dell'acceleratore che porta il fascio di protoni da 50 mA fino all'energia di 50 MeV. I LNS stanno curando inoltre il progetto della Sorgente di Ioni e LEBT mentre i LNL curano il progetto del Drift Tube Linac. La lavorazione di componenti prototipali partirà già nel secondo semestre del 2012, al fine di potere garantire il rispetto dei tempi dell'intero progetto, che dovrà essere completato nel 2019. Nel prossimo triennio I LNS saranno impegnati nel progetto della sorgente di protoni ad alta intensità, utilizzando le competenze scientifiche e tecnologiche già elaborate nell'ambito del progetto TRASCO negli anni passati e quelle sviluppate nell'ambito del Progetto Strategico NTA-HELIOS recentemente. Infatti i LNS, hanno già confermato con esperimenti dedicati, la capacità di centrare gli obiettivi di ESS per quanto riguarda l'emittanza di fasci con le caratteristiche richieste dal progetto (90 mA, *pulse length* 2-3 ms, *repetition rate* 10-40 Hz). Sarà così consolidata la leadership internazionale dei LNS nel campo della produzione di fasci intensi di protoni e ioni.

#### **CONCLUSIONI E PROSPETTIVE**

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. In questo ambito si inserisce anche la fase di studio della menzionata possibilità di accelerare frammenti di fissione da sorgenti radioattive. 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.

I presupposti perché le attuali attività continuino a essere svolte efficientemente e le nuove iniziative possano decollare con alta probabilità di successo ci sono e si fondano saldamente sulla maturità acquisita dal personale e sulle sue capacità di adeguamento ai nuovi programmi di sviluppo dei LNS. È importante poter continuare a contare sulle professionalità altamente specializzate maturate durante questi anni.

Dal punto di vista delle strutture esistenti, c'è una crescente preoccupazione per l'invecchiamento degli acceleratori che necessitano di importanti interventi volti a prevenire guasti irreparabili che, dopo quasi trenta anni di funzionamento del Tandem e oltre quindici del CS, divengono giorno dopo giorno più probabili. Meriterebbe un investimento anche tutto il sistema di impianti e di servizi di base dei LNS, anch'essi ininterrottamente operativi da oltre trenta anni, la cui affidabilità è presupposto indispensabile per continuare a svolgere le attività di ricerca attuali ed intraprendere le imprese future.

#### **MILESTONE DEL PERIODO 2012-2014**

- **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.**
- **Misura di sezioni d'urto di interesse astrofisico con il metodo del "Cavallo di Troia"**
- **Sviluppo di un fascio post-accelerato di 150 e campagna di esperimenti di astrofisica nucleare e di struttura nucleare.**
- **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. Realizzazione prima parte del Rivelatore sottomarino per il progetto KM3NET.**
- **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 e realizzazione di una sorgente di protoni ad alta intensità.**
- **Studio e progettazione di una linea di fascio di protoni accelerati in plasmi nell'ambito del progetto europeo ELI.**

- **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.**

## 4.2 IL CNAF

IL CNAF è il centro nazionale dell'INFN dedicato alla ricerca e allo sviluppo nel campo delle discipline informatiche e telematiche e alla gestione dei relativi servizi per le attività di ricerca dell'Istituto.

Contribuisce, come centro di riferimento nazionale, sia allo sviluppo software, sia alla realizzazione dell'infrastruttura generale di calcolo scientifico distribuito, basata sulle tecnologie di GRID dispiegate sulla rete geografica. Inoltre gestisce vari servizi nazionali che nel tempo sono stati gradualmente potenziati, contribuendo in tal modo ad accrescere l'efficienza globale e ridurre i costi complessivi.

Dal 2003 il CNAF ospita il centro nazionale di calcolo dell'INFN Tier1, completamente rinnovato nella dotazione di impianti tecnologici nel 2007. Costituito per gli esperimenti ad LHC, il centro è divenuto rapidamente un punto di riferimento per il calcolo di una ventina di esperimenti dell'INFN ed in particolare per CDF, BABAR, VIRGO, e, più recentemente, SuperB.

Gli impianti tecnologici realizzati per ospitare le apparecchiature informatiche del centro Tier1 possono erogare una potenza elettrica complessiva fino a 5 MWatt. Il calore prodotto dalle apparecchiature informatiche può essere dissipato fino a 2 MWatt.

L'impianto tecnologico è stato realizzato con gruppi di nuova generazione che integrano in una sola macchina tutte le funzioni normalmente richieste ai gruppi elettrogeni e ai tradizionali gruppi di continuità in grado di erogare fino a 3,4 MWatt di energia elettrica in continuità assoluta. L'impianto è affiancato anche da un gruppo elettrogeno tradizionale per ulteriori 1,2 MWatt di potenza elettrica erogabile.

## ATTIVITÀ 2011

Nel 2011, con il raggiungimento di condizioni di funzionamento a regime degli esperimenti a LHC, il Tier1 ha potuto non solo garantire agli esperimenti le risorse di calcolo aspettate, ma anche ospitare elaborazioni su larga scala per l'analisi dei dati inizialmente non previste fra i compiti del centro. La potenza di calcolo installata è stata pari a circa 110 KHS06 per un numero di job simultanei pari a  $\sim 8300$  e con una banda passante aggregata per l'accesso allo storage (9 PB su disco e 10 PB su tape) superiore ai 30 GB/s. L'infrastruttura di storage, basata su standard industriali sia a livello di connessioni (Storage Area Network) che di accesso ai dati (file system parallelo), ha permesso di far fronte a esigenze di prestazioni molto elevate, come ad es. di far fronte ad una richiesta di accesso ai dati particolarmente impegnativa da parte di uno degli esperimenti (CMS) che invece ha messo in crisi tutti gli altri centri omologhi di WLCG: in tale occasione il CNAF ha prodotto da solo la grande maggioranza dei 150 milioni di eventi simulati dai 7 Tier-1.

Il Tier1 è collegato, tramite la rete della ricerca italiana GARR (con un accesso a 10 Gbps), alle reti della ricerca europee e mondiali; è dotato di un collegamento dedicato a 20 Gbps (rete LHCOPN) con il CERN e gli altri Tier1 che fanno parte dell'infrastruttura mondiale Grid a servizio di LHC (Worldwide LHC Computing Grid, WLCG). Il Tier1 gestisce anche il servizio di trasferimento dei dati per i siti WLCG italiani.

La potenza di calcolo e la capacità dello storage verranno ulteriormente incrementate durante il 2012 e gli impianti sono dimensionati per ospitarle mantenendo completa ridondanza di tutte le componenti dell'infrastruttura e garantendo quindi la massima affidabilità e disponibilità dei servizi, anche in caso di guasti.

La disponibilità dei servizi informatici forniti agli esperimenti LHC, misurata da WLCG, è risultata nel 2011 superiore al 99%, posizionandosi oltre la media degli analoghi centri Tier1.

La tabella 4.3 mostra le risorse di calcolo e *storage* installate nel 2011 e quelle pianificate per gli anni successivi per i vari esperimenti. Nel corso del 2011 si sono inoltre aggiunti come utenti del Tier1 nuovi esperimenti (Borexino, Gerda, Icarus e Kloe), portando il numero totale a oltre 20.

La pianificazione dei bisogni per gli anni futuri viene aggiornata di anno in anno seguendo i risultati della presa dati. Le stime attuali prevedono una crescita quasi lineare delle necessità di CPU e *storage* nel Tier1 e Tier2, in linea con l'aumento previsto della quantità di dati da analizzare.

RISORSE CNAF												
Experiment	2011				2012				2013			
	CPU HS06	DISK TB-N	TAPE TB		CPU HS06	DISK TB-N	TAPE TB		CPU HS06	DISK TB-N	TAPE TB	
ALICE	22200	1501	2400	2400	25890	1749	3298	3298	29830	1653	5377	5377
ATLAS	22600	2480	3000	3000	25900	2700	3600	3600	27300	3000	4000	4000
CMS	18300	2400	6500	6500	18850	2860	6630	6630	18850	3510	7670	7670
LHCb	9750	525	520	520	16950	1425	930	930	16500	1665	1200	1200
<b>Total LHC TIER1</b>	<b>72850</b>	<b>6906</b>	<b>12420</b>	<b>12420</b>	<b>87590</b>	<b>6734</b>	<b>14258</b>	<b>14258</b>	<b>90480</b>	<b>9828</b>	<b>18247</b>	<b>18247</b>
Ballar	2360	350	0	0	2360	350	0	0	2360	350	0	0
SuperB (dal 2011)	2500	100	0	0	2500	200	0	0	2500	200	0	0
CDP	7000	300	15	15	8000	467	15	15	8000	467	15	15
KLOE					0	33	625	625	0	33	625	625
LHCb TIER2	5400	0	0	0	7200	0	0	0	7200	0	0	0
<b>TOTALE GRUPPO I</b>	<b>17280</b>	<b>750</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>20060</b>	<b>1050</b>	<b>648</b>	<b>648</b>	<b>20060</b>	<b>1050</b>	<b>640</b>	<b>640</b>
AMS2	2457	143	50	50	5400	384	220	220	5400	384	220	220
ARGO	800	160	752	752	1200	224	986	986	1200	224	986	986
AUGER	1200	110	0	0	1600	160	0	0	1600	160	0	0
FERMIOLAST	1400	60	40	40	1400	60	40	40	1400	60	40	40
MAGIC	450	30	50	50	500	45	70	70	500	45	70	70
PAMELA	600	60	80	80	600	70	96	96	600	70	96	96
Virgo	7500	469	348	348	3500	469	660	660	3500	469	660	660
<b>TOTALE GRUPPO II</b>	<b>14407</b>	<b>1032</b>	<b>1320</b>	<b>1320</b>	<b>14290</b>	<b>1412</b>	<b>2072</b>	<b>2072</b>	<b>14200</b>	<b>1412</b>	<b>2072</b>	<b>2072</b>
<b>TOTALE CNAF</b>	<b>87098</b>	<b>7898</b>	<b>13755</b>	<b>13755</b>	<b>104430</b>	<b>10371</b>	<b>16970</b>	<b>16970</b>	<b>109320</b>	<b>11485</b>	<b>20959</b>	<b>20959</b>

Tab. 4.1: Il piano di sviluppo delle risorse al Tier1.

L'utilizzo delle risorse di calcolo è stato continuo per tutto il 2011, ottenendo condizioni di pieno utilizzo della CPU disponibile per più del 95% del tempo. La figura 4.21 mostra l'utilizzo della CPU al CNAF durante il 2011; l'area rossa indica la potenza di CPU effettivamente utilizzata mentre l'area verde tiene conto anche dei tempi morti della CPU tipicamente dovuti alla latenza introdotta alle operazioni di accesso ai dati. Il loro rapporto, che è una misura dell'efficienza delle applicazioni e delle prestazioni del sistema di accesso ai dati, ha raggiunto valori molto soddisfacenti (84%).

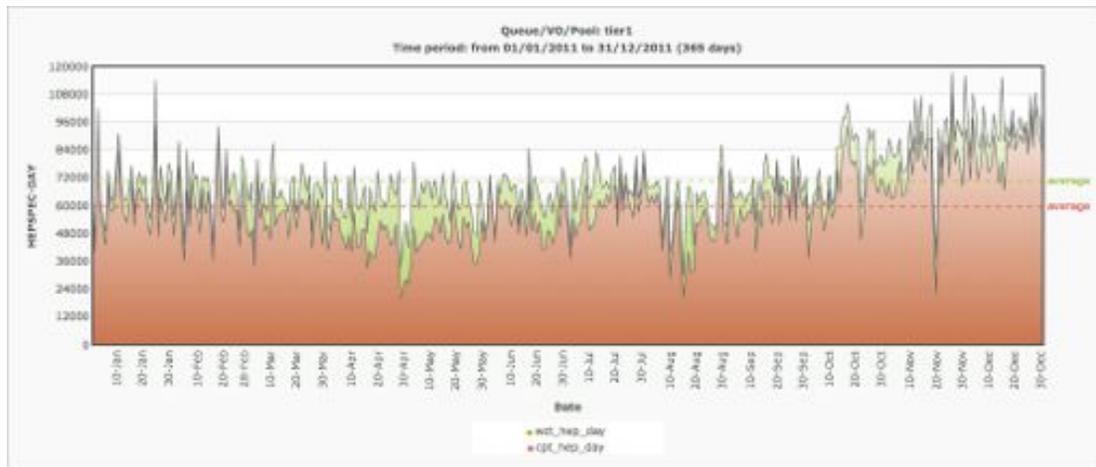


Fig. 4.25: Utilizzo delle risorse di calcolo del Tier1

Il Servizio Operativo di Grid del CNAF, in collaborazione con l'unità Gestione Operativa del progetto speciale IGI, ha poi fornito i servizi Grid necessari per mantenere stabile ed efficiente l'infrastruttura Grid sia a livello nazionale che internazionale e soddisfare le esigenze operative e delle comunità di utenti. In particolare si è occupata di garantire un buon livello di funzionalità dell'infrastruttura nazionale in collaborazione con i gestori dei siti, fornendo supporto specialistico di primo e secondo livello agli utenti degli esperimenti e agli amministratori di sito. Il servizio gestisce i servizi Grid centrali per autenticazione, sottomissione di *job*, monitoraggio e accounting nell'*NGI* e partecipa ad attività di sperimentazione e certificazione del *middleware Grid* contribuendo ad attività di sviluppo di tool operativi per *monitoring* e *accounting*.

Nel 2011, il servizio Ricerca e Sviluppo, in collaborazione l'Unità di Ricerca, Progettazione e Manutenimento del Middleware di IGI, ha proseguito le attività di sviluppo mantenendo costantemente aggiornati alcuni componenti software fondamentali in uso in tutta l'infrastruttura GRID: VOMS, WMS, CREAM, StoRM, ARGUS, DGAS. Inoltre sono proseguite le attività di sviluppo in collaborazione con il Tier1, riguardanti l'utilizzo della virtualizzazione su larga scala (progetto WnoDes), sia con sottomissione di *job* dalla Grid, con la possibilità di selezionare specifici ambienti virtuali, sia attraverso una nuova interfaccia di tipo "Cloud".

All'attività di supporto degli esperimenti, svolta da uno gruppo di giovani con competenze specifiche nelle applicazioni utilizzate in ambito scientifico, che ha provveduto a mantenere sempre aggiornati i relativi complessi ambienti specifici di esecuzione, si è affiancata nel 2011 una attività di sviluppo software orientata alla realizzazione dei moderni *framework* di elaborazione dei dati di cui si servono oggi gli esperimenti, in particolare quelli che producono grandi moli di dati. Tale attività, che necessita oggi di specifiche competenze informatiche, si è indirizzata inizialmente allo studio dell'evoluzione dei *framework* attuali per lo sfruttamento delle moderne CPU a molti core in particolare per l'esperimento SuperB.

Oltre ai compiti in ambito scientifico, il CNAF ha inoltre la responsabilità di garantire il funzionamento di diversi servizi informatici nazionali dell'Istituto che, nel corso del 2011 sono stati sfruttati in modo sempre più esteso. Ad esempio, i server web di esperimenti e progetti INFN installati su server dedicati al CNAF sono arrivati a oltre una quarantina, mentre diverse centinaia sono le mailing list gestite per l'ambito INFN.

Il gruppo multimediale del CNAF ha continuato la sua attività sia come produzione video, che come streaming. Il Centro gestisce inoltre le video e fono-conferenze per tutto l'INFN che complessivamente utilizzano il sistema per circa 55.000 ore al mese.

Il CNAF istruisce e gestisce contratti nazionali per manutenzioni hardware di apparati installati in tutte le sedi ed acquisti e manutenzioni di software distribuito a livello nazionale per quasi 1 M€ l'anno.

Infine, dall'aprile del 2011, è collocato e gestito presso il CNAF il cluster che ospita il sistema informatico dell'INFN. Il passaggio dalla piattaforma precedente, a quella attuale, basata su moderni elaboratori e sistema operativo Linux, ha prodotto una diminuzione drastica dei tempi di risposta delle applicazioni. Il servizio offerto dal centro si è ampliato notevolmente nel corso del 2011 dall'iniziale incarico di gestione sistemistica del cluster a comprendere vari altri compiti correlati con la gestione delle applicazioni e dell'assistenza agli utenti.

#### **PIANI DI SVILUPPO PER I PROSSIMI ANNI**

Il Tier1 del CNAF è in grado di ospitare le risorse per gli esperimenti a LHC per tutto il loro ciclo di vita, secondo quanto attualmente previsto nei piani per il calcolo approvati.

Nell'aprile del 2012 verranno installati nuovi server per una potenza di calcolo complessiva di circa 40 KHS06 aggiuntiva e sistemi di storage su disco per ulteriori 3 PB per far fronte alle esigenze degli esperimenti, in particolare di quelli al LHC. Nel corso dell'anno avrà luogo anche un potenziamento della libreria di cassette magnetiche con nuovi drive in grado di quintuplicare la capacità della stessa fino a 50 PB di dati disponibili online.

Nel corso del 2012 diventerà anche operativa GARR-X, l'evoluzione della rete della ricerca basata sull'utilizzo di fibre spente. Il CNAF che ospita nelle sale del Tier1 un nodo centrale di GARR-X, potrà quindi ampliare secondo le esigenze di trasferimento dati degli esperimenti il numero di collegamenti a 10 Gbps con il CERN e con altri centri Tier1 attraverso LHCOPN, e con i Tier2 tramite una seconda rete dedicata, LHCONe.

È previsto che a fine 2012 il CNAF sia collegato con il CERN a 100 Gbps.

Proseguiranno nel prossimo futuro tutte le attività già in corso nel 2011; si prevede tuttavia che il personale oggi inquadrato nel progetto speciale IGI venga trasferito al costituendo Consorzio che il ministero ha incaricato l'INFN di formare con l'assegnazione degli specifici finanziamenti iniziali.

#### **4.3 LE NUOVE INFRASTRUTTURE DI RICERCA: SUPERB, KM3NET, GRID**

L'Istituto partecipa attivamente alla costituzione delle infrastrutture europee per la ricerca, sia con proprie iniziative specifiche sia attraverso i programmi europei (*Design Study*, *Preparatory Phase*, *ICT-Infrastructure*) anche in coerenza con la propria roadmap (vedi paragrafo 2.10) e con la *roadmap* dell'*European Strategy Forum on Research Infrastructures ESFRI* (vedi paragrafo 3.9).

Tra le infrastrutture più significative, citiamo:

SuperB

KM3NeT

GRID

## IL PROGETTO SUPERB

L'INFN ha approvato nel 2009 il Progetto Speciale SupeB-TDR finalizzato alla preparazione del *Technical Design Report* del progetto SuperB, che è stato approvato come progetto bandiera nel 2010.

Si tratta di un progetto di integrato che comprende la realizzazione di un collisore elettrone-positrone di nuova generazione, denominato SuperB, dell'apparato sperimentale e dell'organizzazione delle strutture di calcolo necessarie a soddisfare le esigenze del programma scientifico.

Il programma scientifico si propone di investigare la fisica al di là del modello standard con lo scopo di rispondere alle domande irrisolte sui meccanismi alla base del funzionamento della materia a livello microscopico, responsabili dell'evoluzione dell'universo immediatamente dopo il Big Bang.

Questo obiettivo può essere raggiunto seguendo la via dell'altissima energia, metodo utilizzato ad LHC, e dunque attraverso la produzione di nuove particelle e lo studio della loro dinamica. SuperB utilizza un metodo complementare che consiste nella ricerca di piccolissimi effetti non previsti dalle teorie oggi universalmente accettate aumentando a bassa energia il numero di reazioni prodotte in laboratorio. L'investigazione sperimentale con questo secondo metodo può essere realizzata a costi decisamente inferiori al primo, grazie alle nuove tecniche di accelerazione sviluppate in ambito INFN e che permetteranno di ottenere luminosità maggiori di  $10^{36} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ . Inoltre sarà possibile polarizzare il fascio di elettroni a livello dell'80%, aprendo la strada a misure altrimenti non accessibili.

Il programma di fisica della SuperB consiste nello studio delle piccole deviazioni dalle previsioni del modello standard nei decadimenti di *charm*, *beauty* e leptoni *tau* prodotti nelle annichilazioni  $e^+e^-$ . Questo programma scientifico è così sommarizzato:

- Sottoporre il paradigma CKM a un test al livello del 1%, attraverso un ampio insieme di misure sui decadimenti di mesoni con b, migliorando di almeno un ordine di grandezza la precisione ottenuta dagli esperimenti BABAR e BELLE.
- Migliorare di un fattore fra 10 e 100 la sensibilità alla violazione del sapore leptonico (LFV) nei decadimenti di leptoni *tau* ( $\tau$ ), con possibilità di scoperta, che rappresenterebbe un segnale non ambiguo della presenza di nuova fisica. Queste misure

sono complementari a esperimenti dedicati sui muoni e possono permettere di distinguere fra modelli diversi di violazione.

- Esplorare la violazione di CP nei decadimenti del *charm*.
- Studio con alta statistica della spettroscopia, alla scoperta di nuovi stati.

La polarizzazione, caratteristica unica di questa macchina, costituisce uno strumento essenziale nelle misure sul tau in quanto consente

- Il controllo dei fondi fisici irriducibili nei decadimenti LFV del  $\tau$ .
- Esplorare la violazione di T nella fisica del  $\tau$ .
- Esplorare una possibile struttura magnetica del  $\tau$ .

Questa macchina può essere anche essere operata ad una energia appena superiore alla soglia di produzione dei mesoni con *charm* che permette di effettuare misure sulle fasi coinvolte nel meccanismo di violazione CP nel settore del charm.

Per raggiungere la sensibilità sperimentale necessaria per la scoperta di nuova fisica è necessario raccogliere un numero di eventi circa 100 volte superiore quelli raccolti in BABAR e BELLE.

Le caratteristiche dell'acceleratore SuperB rendono possibile realizzare tali misure in meno di 5 anni con i seguenti parametri:

- Energia nel CM aggiustabile: dalla soglia di produzione di  $\tau$  fino alla produzione di  $Y(4s)$
- Boost di Lorentz  $\beta\gamma \sim 0.238$  ( $\sim 4.18 \times 6.7 \text{ GeV}$ )
- Luminosità  $> 10^{36} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$  @  $Y(4s)$  -1
- Luminosità integrata  $> 75 \text{ ab}^{-1}$  in 5 anni (stima basata sul comportamento delle *B-Factories* PEP-II e KEKB)
- Polarizzazione (65-85%) di uno dei due fasci
- Potenza dissipata in totale  $< 30 \text{ MW}$ .

Questi parametri sono stati esaminati dal comitato di valutazione della macchina (MiniMac) che li ha giudicati compatibili con il progetto di acceleratore sotto studio e che è basato sull'impiego di nano-fasci, ottenibili grazie agli sviluppi portati avanti con successo presso i Laboratori Nazionali di Frascati.

Dopo il *Conceptual Design Report* (CDR) pubblicato nel 2007, un documento preliminare al TDR, ma già contenente larga parte delle informazioni tecniche e costituito dalle tre sezioni:

- programma di fisica
- acceleratore
- rivelatore

Nel 2010 sono stati pubblicati tre documenti intermedi (Progress Report), già citati nel cap 3.

Il completamento del Technical Design Report è atteso per la fine 2011.

Il collisore ad alta luminosità SuperB, oltre all'impiego discusso brevemente sopra, con il fine, attraverso misure di precisione, di studiare processi che consentano di capire le caratteristiche della nuova fisica al di là della teoria standard, si presta in modo naturale ad impieghi multidisciplinari con importanti ricadute nello sviluppo di nuove tecnologie. A questo proposito è evidente il ruolo importante che riveste la sinergia con i programmi dell'IIT che caratterizza in modo determinante le ricadute applicative di SuperB; infatti è possibile ad esempio uno sfruttamento ottimale dell'acceleratore come sorgente di luce pulsata ad alta brillantezza. Le caratteristiche di tale sorgente sono competitive rispetto alle macchine esistenti, come mostrato in Fig 4.22a. In proposito è importante sottolineare che la realizzazione di varie linee di luce rende l'infrastruttura la prima al mondo che combini ricerche di frontiera nell'indagine delle forze fondamentali del Cosmo con una *facility* interdisciplinare per lo sviluppo di nuove tecnologie di *Imaging, Life-Nanoscience* e *Analisi fine della materia organica, inorganica e biologica*. I piani dettagliati della parte relativa all'IIT sono descritti nel Piano Scientifico di quell'istituto. Gli impieghi in scienza della materia e per applicazioni biotecnologiche permetteranno un periodo di impiego di SuperB per alcune decadi, ben al di là del tempo di vita di un acceleratore per fisica fondamentale che solitamente è dell'ordine di un decennio.

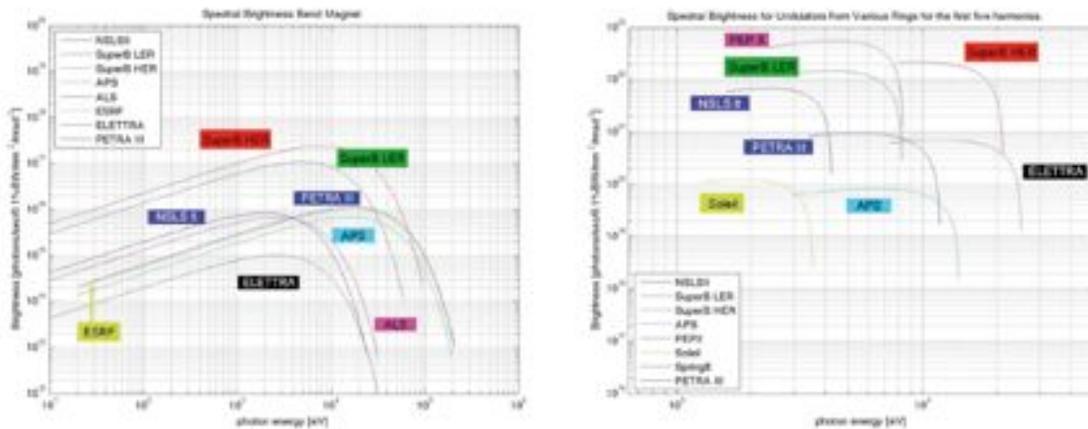


Fig. 4.26: Caratteristiche spettrali della luce di sincrotrone prodotta in SuperB nei magneti di piegatura e negli ondulatori.

Nella fase di preparazione e costruzione dell'acceleratore e del rivelatore sarà dedicata una particolare attenzione a tutti gli sviluppi capaci di ricaduta tecnologica su altre discipline e sulle tecnologie ad esse correlate.

Vista la natura internazionale del progetto con una larga partecipazione di fisici e di acceleratoristi da vari paesi dell'Unione Europea, ma anche dalla Russia, dagli USA, e dal Canada, è necessaria una organizzazione efficiente per garantire uno sforzo ben coordinato sia in personale che in componenti strumentali, senza sprechi o sovrapposizioni. Questo può essere ottenuto, oltre che con MOU bilaterali, anche con la possibile costituzione di una ERIC (*European Research Infrastructure Consortium*) come previsto dalle norme europee.

Nel 2011 si è sviluppato ulteriormente il TDR, in particolare l'analisi della competitività del programma sperimentale confrontato con quello dell'esperimento LHCb, di futura generazione. Ne è risultato rafforzato il ruolo di "macchina da scoperta" che potrà avere SuperB anche in questo scenario competitivo.

Nella tarda primavera 2011 è stata presa la decisione, appurata l'idoneità del sito, di prevedere la costruzione dell'acceleratore sul campus dell'Università Roma Tor Vergata, rispondendo positivamente alla disponibilità offerta dall'Università con una lettera del suo Rettore pro tempore.

Nel Luglio 2011 è stata varato dall'INFN lo statuto del costituendo consorzio "laboratorio Nicola Cabibbo" costituito in fase di fondazione dall'Università di Roma Tor Vergata e dall'INFN con lo scopo di costruire e successivamente operare l'infrastruttura di ricerca e con il mandato, ove possibile, di costituire la prima parte di un percorso mirante alla costituzione di una infrastruttura di ricerca europea (ERIC).

Tale statuto è stato approvato dal MIUR e il 7 ottobre 2011 il consorzio è stato costituito. Tale costituzione, assieme alla erogazione di cassa del primo contributo 2010 pari a 19 Milioni di euro creano le condizioni per la vera partenza della fase di costruzione.

Nel 2012 sono previste la costituzione della struttura amministrativa del consorzio e il completamento della governance del progetto e del team che lo realizzerà.

Inoltre saranno stipulati accordi internazionali per l'utilizzo di componenti dell'acceleratore di Slac, per la partecipazione di esperti stranieri alla costruzione e per la realizzazione di specifiche componenti dell'acceleratore. Le offerte eventuali riguardanti la fornitura esterna delle componenti sarà vagliata da apposite commissioni di esperti che dovranno accertare la rispondenza delle specifiche a quelle del progetto,

Entro la l'estate, come da statuto, il laboratorio redigerà una relazione sui costi del progetto che sarà sottoposta all'approvazione del comitato finanze preposto a vigilare sulla congruità delle risorse con le finalità preposte.

In autunno si pensa di "congelare" i parametri della macchina per permettere di procedere alla stesura del progetto edilizio esecutivo senza che questo subisca successivamente variazioni onerose sia dal punto di vista economico che temporale.

Per la fine del 2012 si prevede di essere in grado di lanciare gli ordini per quelle componenti che sono in affidamento "esterno" e nei primi mesi del 2013 di essere in grado, terminato il progetto esecutivo edilizio, di lanciare le gare edilizie.

Lo sviluppo dell'alta tecnologia e degli ordini associati, delle procedure di trasferimento delle componenti riutilizzate di slac e il completamento della infrastruttura edilizia dell'acceleratore nella prima metà del 2014 consentiranno nella seconda metà del 2014 di procedere con l'inizio dell'installazione di alcune componenti dell'acceleratore tra le quali probabilmente il Linac per il quale si prevede il funzionamento in anticipo sul resto dell'acceleratore per permetterne la messa a punto prima dell'attivazione delle sezioni circolari.

Dal punto di vista del personale, si prevede di crescere da una ventina di dipendenti nel 2012 a mano di una quarantina a regime verso il 2014, tenuto conto delle unità esterne che

verranno messe a disposizione del progetto dall'INFN ed altre istituzioni italiane e straniere.

La realizzazione del rivelatore mostrato in Fig. 4.22b, anche esso in larga parte basato sul riutilizzo di parti dell'apparato dell'esperimento BABAR di SLAC, anche essi da trasferire in Italia, implica comunque un programma aggressivo di R&S su parti cruciali come il rivelatore di vertice, il sistema di identificazione di particelle, parte del calorimetro elettromagnetico, una camera a deriva ad alta accettazione ed il rifacimento dei rivelatori di muoni.

Infine sarà necessario sviluppare l'infrastruttura di calcolo capace di immagazzinare ed analizzare la grande mole di dati che verranno raccolti a SuperB. Essa si baserà sulla infrastruttura distribuita GRID, incentrandosi su alcuni grandi centri di calcolo localizzati principalmente nel sud Italia.

Per tale realizzazione si conta di potersi avvalere di finanziamenti derivanti dall'approvazione di progetti PON.

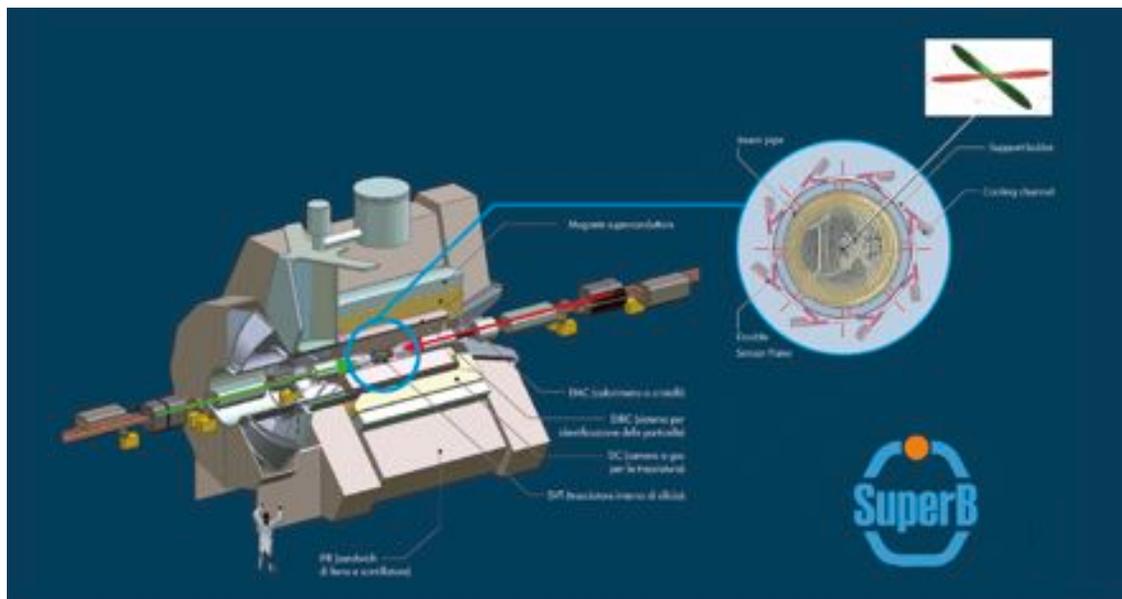


Fig. 4.27: Schema del collisore elettrone-positrone Super-B.

## **L'INFRASTRUTTURA KM3NeT**

KM3NeT è un'infrastruttura di ricerca multidisciplinare il cui principale obiettivo è l'osservazione di neutrini di alta energia di origine cosmica. I neutrini sono particelle prive di carica e interagiscono così debolmente con la materia che possono raggiungere la Terra dal cuore denso dei più potenti acceleratori cosmici e dai confini più remoti del cosmo preservando la direzione di origine. Rappresentano quindi una sonda ideale per la comprensione dell'origine dei raggi cosmici e dei meccanismi che governano gli ambienti astrofisici più estremi, in cui le particelle cariche vengono accelerate fino a energie milioni di volte più elevate delle energie raggiungibili con i più potenti acceleratori oggi esistenti, come LHC. L'avvio dell'astronomia con neutrini aprirà una nuova finestra di osservazione che consentirà di estendere la nostra conoscenza dell'Universo "violento" in cui lampi di luce gamma brillano per brevi istanti con intensità pari a miliardi di miliardi di Soli, Nuclei Galattici Attivi emettono enormi quantità di energia, stelle massicce esplodono e buchi neri inghiottono enormi quantità di materia. La realizzazione di un telescopio per neutrini di alta energia, a causa della rarità dei segnali prodotti da interazione neutrino-materia e della difficoltà di rivelazione dei neutrini, può essere affrontata solo utilizzando miliardi di tonnellate di mezzi naturali come l'acqua o il ghiaccio a migliaia di metri di profondità. La tecnica consolidata per la realizzazione del rivelatore si basa sul tracciamento dei muoni secondari prodotti nelle interazioni di neutrini con il mezzo trasparente (ghiaccio o acqua) in prossimità del rivelatore. Questi muoni relativistici producono radiazione elettromagnetica Cherenkov, che può essere rivelata da un'opportuna matrice di alcune migliaia di sensori ottici (fotomoltiplicatori), consentendone il tracciamento. In questo schema il mezzo naturale svolge sia la funzione di rivelatore che di schermo per attenuare il fondo prodotto dai raggi cosmici. Le sfide tecnologiche che una simile impresa comporta hanno richiesto molti anni di studi di fattibilità e un'intensa attività di ricerca e sviluppo. Oggi, grazie all'esperienza dei progetti pilota di prima generazione, le tecnologie sono mature per affrontare la realizzazione di osservatori di neutrini della scala del km<sup>3</sup>.

Per osservare l'intero cielo sono necessari due telescopi di neutrini posizionati in emisferi opposti. La costruzione di IceCube, un telescopio da un kilometro cubo che osserva l'emisfero Nord, nelle profondità dei ghiacci dell'Antartide, è stata completata a fine 2010. Il telescopio proposto dalla collaborazione europea KM3NeT, installato nel Mediterraneo,

grazie alla rotazione della terra osserverebbe l'87% del cielo, compreso il Centro Galattico e la maggior parte del Piano Galattico in cui sono stati individuati numerosi oggetti candidati come sorgenti di neutrini di alta energia. La costruzione di un telescopio per neutrini nelle profondità del Mar Mediterraneo (a circa 3000 m di profondità) richiede la soluzione di problemi tecnologici molto complessi, dovuti alle condizioni ambientali estreme: pressioni enormi (centinaia di bar), corrosione dei componenti da parte dell'acqua marina, ecc. Inoltre, data la limitata accessibilità del telescopio, la strumentazione deve avere un alto grado di affidabilità e ridondanza tale da minimizzare il numero e la complessità degli interventi di manutenzione. Le operazioni di posa, che devono essere effettuate con robot controllati dalla superficie, devono essere sicure, "robuste" e precise. Il progetto KM3NeT sfrutta l'esperienza accumulata dai progetti pilota operanti nel Mar Mediterraneo (Antares, Nemo, Nestor) e il *know-how* di altre discipline e industrie operanti ad alte profondità marine.

KM3NeT, grazie all'unicità del suo potenziale scientifico multidisciplinare e alla maturità del progetto dal punto di vista tecnologico, è stato selezionato nel 2006 dal *panel* di ESFRI (*European Science Forum for Research Infrastructures*) tra le 35 infrastrutture di ricerca ad alta priorità e successivamente confermato nei processi di revisione del 2008 e 2010.

L'infrastruttura KM3NeT offre anche un'eccezionale possibilità di ricerca per un ampio spettro di attività scientifiche e tecnologiche che comprendono scienze ambientali, geologia, geofisica, oceanografia e biologia marina, consentendo per la prima volta il monitoraggio in linea ed in tempo reale di grandezze fisiche e biologiche di grandi masse d'acqua anche a profondità abissali. Inoltre l'infrastruttura potrà fornire informazioni rilevanti per il sistema di allerta sismico; in particolare KM3NeT costituirà un nodo importante in un network globale di osservatori sottomarini integrato con la rete EMSO (*European Multidisciplinary Seafloor Observatory*), che è un'altra delle grandi infrastrutture europee di ricerca individuate da ESFRI e coordinata dall'INGV.

KM3NeT è un consorzio europeo a cui partecipano 21 istituzioni di 10 paesi. Oltre all'Italia, rappresentata dall'INFN, sono presenti Cipro, Francia, Germania, Grecia, Irlanda, Olanda, Regno Unito, Romania e Spagna. Nel progetto sono coinvolte nove tra laboratori e sezioni

dell'INFN e le Università ad esse collegate: Bari, Bologna, Catania, Genova, Napoli, Pisa, Roma 1, LNF e LNS, con una partecipazione di circa 80 ricercatori e tecnologi.

Il consorzio KM3NeT è stato finanziato dalla Commissione Europea con due progetti. Un *Design Study*, sviluppato dal 2006 al 2009 nell'ambito del VI Programma Quadro che ha usufruito di un contributo di 9 M€. Un progetto di *Preparatory Phase*, iniziato nel 2008 e che si concluderà nel 2012, finanziato nell'ambito del VII Programma Quadro con un contributo di 5 M€. Il coordinamento di quest'ultimo progetto è affidato all'INFN.

Il *Design Study* ha studiato le soluzioni tecnologiche proposte dai membri del consorzio e definito un disegno tecnico, con alcune opzioni alternative di *backup*, illustrato in un *Technical Design Report*.

Un'infrastruttura di ricerca come KM3NeT avrà bisogno di una struttura internazionale di *governance* che permetta ai paesi finanziatori di stabilire un'adeguata entità legale, di coordinare lo sviluppo del progetto e di prendere le decisioni strategiche e finanziarie necessarie. L'esatta definizione di questa struttura è uno degli obiettivi principali del progetto di *Preparatory Phase*. Un candidato naturale per la struttura legale può essere l'*European Research Infrastructure Consortium* (ERIC) recentemente approvato dalla EC. Tra gli obiettivi del progetto vi è anche l'esplorazione di potenziali sorgenti di risorse finanziarie su scala regionale, europea ed internazionale.

Per l'installazione del telescopio KM3NeT sono stati candidati tre siti: uno al largo di Tolone (Francia), dove è installato l'esperimento ANTARES, uno al largo di Pylos (Grecia), studiato dalla collaborazione NESTOR, ed uno al largo di Capo Passero (Italia), proposto dalla collaborazione NEMO dell'INFN. Su questi siti sono già presenti delle infrastrutture. Considerazioni tecniche e valutazioni sulle performance del telescopio indicano comunque la necessità di costruirlo in più blocchi indipendenti. Pertanto l'infrastruttura potrà essere installata in un singolo sito o distribuita su più siti.

L'INFN ha avviato un'attività di Ricerca & Sviluppo in questo settore attraverso la collaborazione NEMO, finanziando, nel corso degli ultimi tredici anni, lo studio e la caratterizzazione del sito sottomarino di Capo Passero, l'ideazione dell'architettura generale del telescopio, lo sviluppo di tecnologie innovative per il progetto e la realizzazione di prototipi. Alcune di queste attività sono state cofinanziate dal MIUR e dalla Regione Sicilia

attraverso il progetto LAMS sul PON 2001- 2006, il progetto SIRENA su fondi MIUR e il progetto PEGASO sul POR Sicilia 2000-2006. Le competenze acquisite sono confluite nel consorzio KM3NeT consentendo alla collaborazione italiana di assumere all'interno del consorzio un ruolo di grande visibilità.

Da parte dell'INFN un importante investimento è stato fatto nella realizzazione delle infrastrutture sottomarine. Una è stata realizzata al largo di Catania a 2000 m di profondità per attività di test di prototipi e applicazioni multidisciplinari, ed una sul sito di Capo Passero a 3500 m di profondità. Ciascuna di queste infrastrutture comprende una stazione di terra, un cavo elettro-ottico sottomarino e le infrastrutture di profondità per la connessione degli apparati sperimentali. Entrambe sono oggi operative. Presso il Test Site di Catania è stato installato ed operato nel 2007 l'apparato pilota NEMO Fase-1. La stazione ospita esperimenti di carattere multidisciplinare tra cui l'osservatorio SN-1 dell'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia), dotato di strumenti per il monitoraggio sismico ed ambientale. In parallelo con le attività mirate alla costruzione del telescopio per neutrini, grande attenzione è stata posta nello sviluppo delle ricerche multidisciplinari, in collaborazione con altri enti ed istituti di ricerca nazionali e stranieri. Nell'ambito del progetto ESONET, che ha come obiettivo la realizzazione di una rete di osservatori permanenti multidisciplinari lungo le coste europee, è stato lanciato un programma mirato alla realizzazione di una stazione di monitoraggio acustico per lo studio del rumore di fondo acustico ed il monitoraggio di segnali di origine biologica, da installare presso il *Test Site* dei LNS al largo di Catania e che sarà operata in comune da ricercatori INFN, INGV, CNR e CSIC (Spagna).

Negli anni recenti l'INFN si è dotato di una infrastruttura sottomarina sul sito candidato di Capo Passero (figura 4.24). Il sito, a 3500 m di profondità e a circa 80 km dalla costa, è connesso a terra con un cavo elettro-ottico di 100 km di lunghezza. L'infrastruttura sottomarina alloggia un convertitore di potenza DC/DC da 10 kW realizzato da Alcatel sulla base di un progetto innovativo specificamente sviluppato per applicazioni sottomarine. In una stazione di terra, collocata nell'area del porto di Portopalo di Capo Passero (SR) sono alloggiati la parte di terra del sistema di potenza e gli apparati di acquisizione dati. L'edificio comprende anche una seconda parte, che ospiterà un padiglione per l'assemblaggio e il test di grandi strutture meccaniche, la cui ristrutturazione è programmata in futuro.

Con il progetto PEGASO, cofinanziato dalla Regione Sicilia e realizzato dall'INFN in collaborazione con l'INGV, si è anche acquisita una infrastruttura per le operazioni in acque profonde che comprende un robot controllato dalla superficie in grado di ispezionare e manipolare la strumentazione di profondità e di un sistema adatto all'installazione ed al posizionamento con grande precisione delle strutture sottomarine più pesanti.

Nel *Technical Design Report* il consorzio KM3NeT ha delineato lo sviluppo temporale delle azioni previste per arrivare alla costruzione del telescopio, che comporta l'avvio della fase di costruzione dopo il completamento dei test sui prototipi in corso nell'ambito del progetto di Preparatory Phase. Per quanto riguarda le dimensioni dell'apparato, la collaborazione si è posta l'obiettivo finale molto ambizioso di superare di almeno sei volte su tutto il cielo osservabile la sensibilità di ICECUBE. Il raggiungimento di questo obiettivo comporta la realizzazione di un apparato composto da circa 300 strutture di rivelazione a torre, ciascuna di 800 m di altezza e spaziate tra di loro di 180 m, occupanti un volume totale di 5 km<sup>3</sup> (figura 4.23). Il costo complessivo è valutato in circa 220 milioni di Euro.



Fig. 4.28: Visione artistica della torre di KM3NeT.

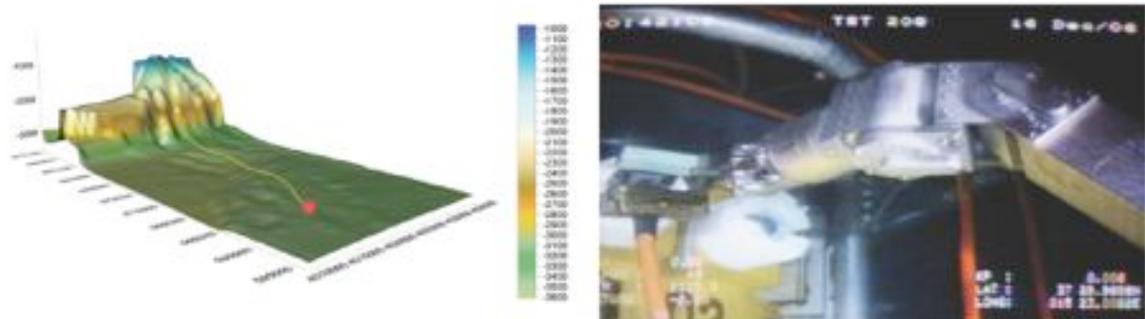


Fig. 4.29: Schema di posizionamento del cavo sottomarino nel sito di Capo Passero.

Fig. 4.30: Foto scattata durante le operazioni di connessione della torre al box di alimentazione alla profondità di 2000 m.



Fig. 4.31 Deployment di un prototipo meccanico della torre NEMO

La complessità di un tale apparato impone che sia realizzato con più *cluster*, ciascuno comprendente dalle cinquanta alle cento strutture. I cluster potranno essere collocati o in un singolo sito, separati da alcuni chilometri, o in più siti. Grazie alla sua modularità, l'acquisizione di dati scientifici potrà essere avviata sin dall'installazione delle prime strutture e la costruzione potrebbe avanzare per stadi successivi, di crescente potenzialità, modulata sulla disponibilità delle risorse.

Già da diversi anni la Regione Siciliana ha espresso l'intenzione di concorrere al reperimento dei fondi necessari per la costruzione della struttura a Capo Passero, ricorrendo a fondi strutturali. Come conseguenza, una prima fase del progetto è stata recentemente finanziata dal MIUR sul PON 2007-2013 "Ricerca e Competitività" per un totale di 20,8 milioni di Euro. Con questo finanziamento l'INFN intende avviare la prima fase di costruzione del nodo italiano di KM3NeT, realizzando un apparato di circa 30 strutture. Questo apparato, che fungerà da dimostratore tecnologico del telescopio, sarà comunque dieci volte più sensibile di ANTARES e consentirà l'osservazione del cielo australe e della regione del centro galattico con sensibilità comparabile con quella di IceCube. Come prospettiva a più lungo termine, a partire dal 2015, si propone l'espansione dell'apparato fino a circa 100 torri.

## **GRID**

Da molti anni l'Istituto ha dedicato sforzi e risorse nella costruzione di una Grid di produzione italiana al fine di prepararsi ad affrontare l'impegno dell'analisi dei dati all'LHC. Questo scopo è stato perseguito a vari livelli: con il proprio progetto speciale INFN-GRID (vedi paragrafo 3.8) e con i numerosi progetti in collaborazione sia italiani (ad es. FRIB Grid.it) sia europei, rivolti alla costruzione di una Grid europea per la ricerca, come DataGrid, EGEE-I, II, III ed ora alla sua gestione sostenibile con l'*European Grid Initiative* (EGI) ed il progetto EGI InSPIRE e allo sviluppo e consolidamento di un middleware europeo open con il progetto *European Middleware Initiative* -EMI (vedi paragrafo 3.9).

Le attività Grid dell'INFN stanno evolvendo in due distinti progetti speciali: INFN-GRID e IGI. INFN-GRID continuerà a coordinare le risorse grid dell'INFN e la loro partecipazione a wLCG; IGI, che in una prima fase è un progetto speciale INFN ma in breve confluirà in una entità legale autonoma, è e continuerà ad essere estremamente importante per l'INFN poiché fornirà vari servizi indispensabili per gli esperimenti INFN.

### *IGI*

Nel corso del 2011 è iniziato il processo per definire più precisamente il *business model* e avviare le attività della costituenda Sc.a r.l. "CONSORTIUM IGI". La realizzazione del "CONSORTIUM IGI" è stata decisa dal MIUR a fine 2010, in linea con un processo in corso a livello europeo, con l'attribuzione di un finanziamento dal Fondo di Finanziamento Ordinario per la Ricerca "per l'avvio di IGI" all'INFN, quale ente capofila per l'Italia di una JRU - Joint Research Unit - già designata dal MIUR nel passato a costituire il punto di riferimento nazionale per la gestione delle infrastrutture grid distribuite per il calcolo scientifico avanzato coordinate dall'European Grid Initiative - EGI.

Il finanziamento, di 2 M€ a valere sul bilancio 2010, è stato riconfermato per lo stesso importo a valere sul bilancio 2011 del MIUR.

La JRU IGI è, a gennaio 2012, costituita dai seguenti membri che storicamente hanno contribuito ai progetti grid o hanno chiesto di collaborare su questa tecnologia:

1. CASPUR
2. CILEA
3. CNR

4. ENEA
5. GARR
6. INAF
7. INFN
8. INGV
9. SISSA
10. COMETA
11. COSMOLAB
12. ELETTRA
13. SPACI
14. Università degli Studi del Piemonte Orientale
15. Università degli Studi di Napoli Federico II
16. Università degli Studi di Perugia
17. Università della Calabria.

Con i fondi MIUR IGI ha potuto stabilizzare su fondi ordinari quel nucleo di persone con competenze uniche e di eccellenza che si è formato nelle organizzazioni di ricerca Italiane durante dieci anni di partecipazione di successo e di primo piano a numerosi progetti europei dedicati allo sviluppo di infrastrutture grid per il calcolo e l'archiviazione distribuiti.

Questo nucleo costituisce una solida base per poter continuare a competere validamente per i futuri finanziamenti previsti in Horizon 2020 per questo settore e poter mantenere, grazie a questi, l'attuale infrastruttura grid e cloud nazionale agli attuali livelli di eccellenza mondiale, agendo come motore d'innovazione a livello nazionale in questo campo.

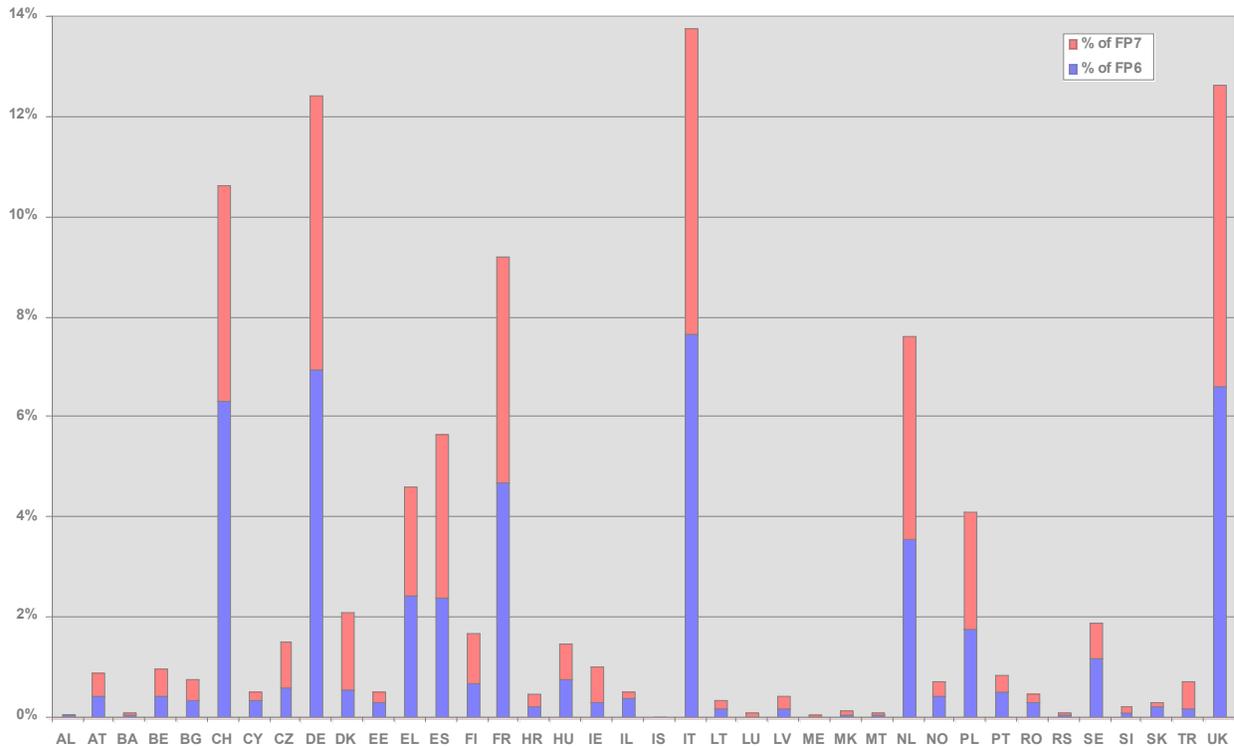
I progetti Europei connessi a GRID hanno permesso al solo INFN, di ottenere, nel periodo 2001-10, un finanziamento complessivamente superiore a 22 Milioni di Euro (su 31 progetti approvati) che, aggiunto a quelli degli altri enti di ricerca e consorzi (ad esempio i ...Euro ottenuti dal Dipartimento ISTI del CNR ), rappresentano il livello più alto di finanziamento ottenuto da un singolo paese dalla Commissione Europea (CE) in questo decennio in questo campo.

I finanziamenti dei progetti europei - spesso aumentati da investimenti nazionali, partendo dal basso da esigenze non soddisfatte del mondo della ricerca e in collaborazione con progetti simili in USA e Giappone - hanno portato al superamento del modello tradizionale e rigido di calcolo scientifico in voga fino alla fine degli anni '90, basato sull'accesso a risorse

con architetture predefinite in generale costose, fornite da un singolo centro, realizzando in Europa l'innovativa *European Grid Infrastructure* – EGI e nel mondo altre infrastrutture simili. EGI è oggi la più grande infrastruttura grid del mondo, ottenuta tramite l'uso del nuovo middleware open source grid (e in un prossimo futuro cloud, già in fase avanzata di sviluppo) che permette di federare e rendere condivisibili in modo robusto, scalabile e flessibile, attraverso interfacce comuni “standard”, risorse di calcolo di varia natura, storage e servizi disponibili in più di 350 centri di calcolo dei paesi europei, in generale basati su risorse *commodity* (*High Throuput Computing*) e su architetture diversificate, adattate alle esigenze degli utenti, che includono anche l'*High Parallel Computing* – HPC commodity. Per lo sviluppo dei sistemi HPC più spinti, da dedicare al calcolo parallelo con migliaia di processori usati simultaneamente, la Commissione Europea ha promosso e finanziato in parallelo a EGI l'iniziativa complementare PRACE, a cui l'Italia partecipa con il CINECA.

Nel grafico seguente sono riportate le percentuali di finanziamento da parte dell'Unità Geant and *e-Infrastructures* della DG INFSO (Direction General of Information Society) presentato il 25 gennaio 2010 al "*Research Infrastructures*" Committee. La posizione di eccellenza dell'Italia risulta chiaramente anche rispetto a paesi con maggiore tradizione e molto maggiori investimenti nel campo IT.

**(excluding DANTE)**



Tab. 4.2: Partecipazione dei paesi in % del budget FP allocato (con l'esclusione di DANTE)

Con i servizi Grid e Cloud di sito l'accesso uniforme e l'uso condiviso delle risorse e servizi di molti centri diversi diventa possibile ed indipendente dalle specificità e varietà delle soluzioni tecniche adottate da questi. La disponibilità di servizi Grid centrali rende l'uso contemporaneo di tutte le risorse non solo possibile, ma anche pianificabile e rendicontabile ad un livello globale da parte delle comunità di ricerca e delle organizzazioni di valenza nazionale o internazionale aprendo così la strada a modelli di calcolo più avanzati ed efficienti. L'esperienza pratica mostra che più aumenta la possibilità di condivisione delle risorse e servizi disponibili sul territorio nazionale ed europeo da parte di tutti gli utenti, più aumenta (fino a saturazione) l'efficienza di utilizzo di queste ed il ritorno degli investimenti effettuati.

In conclusione fino alla fine degli '90, prima dello sviluppo della grid, ogni ricercatore poteva in generale disporre solo delle risorse e dei dati disponibili nel proprio centro

nazionale di riferimento, oggi invece può usare indifferentemente con interfacce uniformi le risorse di svariata natura ed i dati di uno qualunque dei 350 centri di EGI in Europa o di altri nel mondo e usarle anche contemporaneamente sfruttando insieme i centri più liberi per ottenere i risultati nel minor tempo possibile o sfruttare dei dati non disponibili localmente.

In sintesi IGI, nel 2011 come struttura dentro l'INFN gestita dai partners della JRU ed in futuro come organizzazione indipendente parte fondante dell'European Grid Initiative, ha cominciato ad agire autonomamente come il punto di focalizzazione e coordinamento italiano delle attività relative alle infrastrutture commodity di calcolo e archiviazione distribuite per sviluppare e operare in comune con la massima sinergia e il minor costo possibile i servizi Grid e Cloud open, non disponibili commercialmente, che permettono di sostenere le attività collaborative di ricerca a livello nazionale, europeo e internazionale, per poter competere con successo ai finanziamenti previsti da Horizon 2020 per le e-Infrastrutture e poter così continuare ad innovare le infrastrutture grid e cloud nazionali anche con fondi europei, per massimizzare lo sfruttamento degli investimenti nazionali fatti in queste e il numero di ricercatori che le possono sfruttare e infine per aumentare l'impatto delle attività di outreach verso il resto della società italiana.

Oggi l'infrastruttura di IGI è una delle più grandi d'Europa. È costituita da 58 data centers grandi e piccoli distribuiti sul territorio nazionale che rendono disponibili via Grid complessivamente circa 30.000 Cpu per il calcolo di vario tipo, 30 PByte per l'archiviazione su disco e 10 PByte per l'archiviazione su nastro. È utilizzata da circa 2.000 ricercatori appartenenti a 10 grandi aree di ricerca che comprendono fisica, biologia, chimica computazionale, astrofisica, medicina, scienze ambientali ed è parte integrante dell'infrastruttura europea distribuita di EGI che oggi è costituita da più di 350 data centers, rende disponibili più di 300.000 Cpu, 200 PByte di storage ed è usata da circa 18.000 ricercatori.

Il finanziamento ricevuto dal MIUR è servito a:

- avviare l'organizzazione di IGI come un Progetto Speciale dentro l'INFN, ma gestito autonomamente dai partners della JRU, che ha progressivamente assunto dall'INFN, con personale proprio pagato su fondi MIUR, la responsabilità dello sviluppo e della gestione dell'infrastruttura grid nazionale
- avviare una struttura centrale a Bologna, via Ranzani, in apposita sede,

- trasferire dall'INFN e altri partners le attività tecniche all'interno di apposite unità di IGI che, in collegamento con le varie iniziative europee, si occupano per tutti dello sviluppo e mantenimento del middleware Grid e Cloud, dell'operazione dei servizi necessari alla grid nazionale ed europea e del supporto alle comunità di ricerca e delle attività di formazione
- dare il via al programma di realizzazione di poli di aggregazione locali o di settore che gestiscano unitariamente le risorse ICT disponibili e l'integrazione di queste con l'infrastruttura nazionale di IGI e quella europea di EGI oltre al supporto specifico alle comunità di riferimento

IGI in stretta collaborazione con i partner ha iniziato nel 2011 a svolgere più in dettaglio le seguenti attività:

- operare e gestire i servizi dell'infrastruttura di Grid e Cloud nazionale, ottenuta dalla federazione e condivisione di risorse e servizi distribuiti dei principali enti e consorzi di ricerca italiani associati
- gestire l'integrazione dell'infrastruttura nazionale con quella delle altre 40 National Grid Initiaves – NGI europee e dei paesi associati che sono parte di EGI e unitariamente gestiscono e operano l'infrastruttura europea insieme alla struttura di coordinamento EGI.eu da esse finanziata
- sviluppare e mantenere a livello nazionale ed europeo il middleware grid open necessario per permettere ai ricercatori l'accesso e la condivisione sicura delle risorse di calcolo, storage, dati e servizi disponibili nei centri di EGI avendo in particolare la responsabilità:
  - del mantenimento e della release a livello europeo del middleware usato in EGI e sviluppato e mantenuto dall'European Middleware Initiative – EMI e del suo adattamento alle esigenze della Grid italiana (e anche della Cloud in un prossimo futuro);
  - dello sviluppo e del mantenimento delle componenti di middleware di responsabilità italiana molte delle quali sono usate in tutti i centri europei e qualcuna anche negli USA
  - dell'interfacciamento, oltre che verso il progetto Europeo EGI InSPIRE, anche verso l'European Middleware Initiative (EMI) di cui costituisce uno dei principali partners

- cominciare a fornire ed estendere con il rilevante contributo dei soci il supporto agli utenti delle varie aree di ricerca per:
  - il porting delle applicazioni, l'implementazione di use case e lo sviluppo di framework di lavoro anche all'interno di collaborazioni internazionali capaci di sfruttare al meglio l'infrastruttura Grid e Cloud nazionale ed internazionale. In particolare è stata avviata a livello europeo e nazionale una stretta collaborazione con le iniziative nella roadmap di ESFRI ai fini della individuazione di piattaforme di settore che possano sfruttare al meglio i servizi Grid e Cloud disponibili nell'infrastruttura europea e in quelle nazionali
  - l'interazione regolare con utenti e fornitori di risorse per la raccolta di nuove esigenze di evoluzione dell'infrastruttura da soddisfare con la realizzazione di nuovi componenti e/o lo sviluppo di quelli esistenti.
  - l'organizzazione periodica di attività di formazione e aggiornamento rivolte sia agli amministratori delle risorse sia agli utilizzatori finali

Più in dettaglio IGI ha assunto con personale proprio pagato su fondi MIUR:

- la responsabilità dell'installazione, certificazione e gestione dei Servizi Grid di sito che includono:
  - l'interfaccia unificata alle risorse di calcolo
  - l'interfaccia ai sistemi di archiviazione
  - il software per la virtualizzazione delle risorse e la realizzazione di un'interfaccia cloud
  - i cataloghi per l'accesso di più alto livello ai dati
  - l'accounting locale
  - il monitoring delle risorse e dei servizi Grid basati su Nagios
  - l'inventario delle risorse Grid disponibili nel sito
- la responsabilità della gestione dei servizi grid centrali che permettono la gestione dei carichi di lavoro per l'uso contemporaneo delle risorse di Cpu e storage di vari centri
- la rappresentanza a livello internazionale e verso le comunità di ricerca ed in particolare:
  - verso l'European Grid Initiative (EGI) Council e l'European Middleware Initiative (EMI) Board e le strutture responsabili delle infrastrutture ICT dei progetti ESFRI

- verso gli utenti per il supporto all'implementazione di use case e lo sviluppo di framework di lavoro anche all'interno di collaborazioni internazionali
- utenti verso i fornitori esterni

IGI avrà la funzione di agire in Italia da “motore innovativo” mobilitando unitariamente le risorse proprie e dei soci per accelerare la trasformazione dei nuovi servizi e applicazioni ICT in uso nelle infrastrutture Grid e Cloud del mondo della ricerca, in innovazioni consolidate per l'intera società.

In particolare, oltre a mirare a espandere l'attuale base di utenti con l'evoluzione degli attuali servizi Grid o l'introduzione di nuovi servizi per un uso più corrispondente alle esigenze di nuove comunità di ricerca, come quelle incluse nella roadmap di ESFRI, nel 2012, 2013 e 2014 IGI si concentrerà, in stretta collaborazione con EGI e altre organizzazioni in USA e Asia, nella messa punto nell'e-infrastruttura di produzione di nuovi servizi open source Cloud in modo da rendere trasparente l'acquisizione di ambienti virtuali on demand ai team di ricerca. In Italia, nel programma di lavoro del PON RECAS recentemente approvato dal MIUR nel 2011 con l'obiettivo di sviluppare 4 Data Centers innovativi nelle regioni di convergenza per il calcolo di Super-B come riferimento principale, è stata specificamente prevista una collaborazione con IGI per lo sviluppo e la messa a punto in questi centri di un'offerta Cloud basata su componenti open source. In questo modo, unendo gli sforzi della comunità internazionale con quelli nazionali, sarà possibile ottenere prodotti cloud open di uso generale che porteranno ad un miglior sfruttamento degli investimenti pubblici nelle infrastrutture ICT, con diminuzione dei costi, semplificazione nella gestione da parte di ciascuna Amministrazione (e/o Impresa) e la facilitazione nella messa in funzione di nuovi servizi basati sulla condivisione di dati e risorse da parte di amministrazioni diverse distribuite sul territorio in favore dei cittadini.

Per consolidare la propria sostenibilità IGI si propone anche di sviluppare un modello di business basato sullo sviluppo ed evoluzione comune con il mondo industriale dei prodotti software open Grid e Cloud, in modo che questi possano fornire una solida base per una soluzione commerciale alternativa alle soluzioni proprietarie, ma competitiva a livello nazionale ed internazionale, che possa essere facilmente installata e mantenuta nei centri di

riferimento della pubblica amministrazione o in altri centri gestiti a livello commerciale per soddisfare esigenze più generali.

Le infrastrutture di calcolo e archiviazione distribuite che così si otterranno potranno essere utilizzate come un servizio offerto on demand via WEB (Infrastructure as a Service – IaaS), contenere un’offerta, sempre via WEB, di ambienti di sviluppo caratteristici di un settore specifico (Platform as a Service – PaaS) o di prodotti software e applicativi sofisticati disponibili secondo necessità (Software as a Service – SaaS). IGI favorirà così nel paese lo sviluppo di un nuovo modello di business per il cloud basato su software open e su una proficua collaborazione tra industria e ricerca che ha già dimostrato di poter essere di grande successo per altri prodotti open diventati ormai di uso generale come il sistema operativo Linux, i Web Services Apache etc. In questo modo l’Italia sarà perfettamente in linea con gli obiettivi della Commissione Europea (Horizon 2020) e potrà partecipare con una forte base nazionale agli sviluppi e ai processi di standardizzazione previsti in questo contesto a livello europeo ed internazionale.

Il bilancio del Consortium IGI comprende le seguenti voci:

1. Contributo permanente pluriennale dal bilancio ordinario del MIUR.
2. Contributi dei soci proporzionali alle quote sociali.
3. Contributi in kind dei soci.
4. Fondi dai progetti Europei.
5. Fondi da progetti futuri MIUR
6. Contributi da attività di outreach

#### **4.4 PROFILI FINANZIARI DELLE NUOVE INFRASTRUTTURE DI RICERCA**

##### **SUPERB**

Come descritto precedentemente, il Progetto SuperB ha come obiettivo la costruzione di un collisore e+e- per la fisica fondamentale con una luminosità cento volte superiore a quella raggiunta finora, e con la possibilità di produrre luce di sincrotrone pulsata ad alta brillantezza.

Il progetto si inquadra in un programma di rafforzamento e di rilancio dell'eccellenza maturata in Italia nello sviluppo di nuovi acceleratori che si afferma sempre più come settore strategico per l'innovazione con applicazioni in settori multidisciplinari. Le intensità necessarie al raggiungimento degli obiettivi scientifici sono infatti rese possibili grazie all'impiego innovativo di nano-fasci di elettroni e positroni. Le conoscenze per la produzione e controllo dei nano-fasci sono state sviluppate da ricercatori italiani e dimostrate in esperimenti eseguiti ai Laboratori Nazionali di Frascati dell'INFN nel corso del 2008. Nel seguito viene descritto una scaletta temporale del Progetto SuperB ed una stima dei costi.

<b>Tab. 4.4: Scaletta temporale del Progetto SuperB e stima dei costi</b>	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10
<b>Sviluppo Acceleratore (130 M€)</b> Costruzioni infrastrutture: sviluppo damping rings, sviluppo transfer lines messa in funzione Linac, damping lines, transfer lines, costruzioni facility end-user	20	50	60							
<b>Sviluppo centri Calcolo (43 M€)</b> Sviluppo progettazione costruzione centro di calcolo per analisi dati	5	15	23							
<b>Completamento acceleratore (125 M€)</b> Installazione componenti negli archi acceleratore, installazione zona interazione, messa in funzione acceleratore				42	42	42				
<b>Utilizzo installazione (80 M€)</b> Costi operazione e manutenzione acceleratore							20	20	20	20
<b>Totale infrastrutture tecniche (379 M€)</b>	25	65	83	42	42	42	20	20	20	20
<b>Overheads INFN (34.3 M€ equivalente al 9%)</b>	2.3	5.9	7.5	3.8	3.8	3.8	1.8	1.8	1.8	1.8
<b>Cofinanziamento INFN (150 M€)</b>	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
<b>Costo Totale del progetto (563.3 M€)</b>	42.3	85.9	105.5	60.8	60.8	60.8	36.8	36.8	36.8	36.8

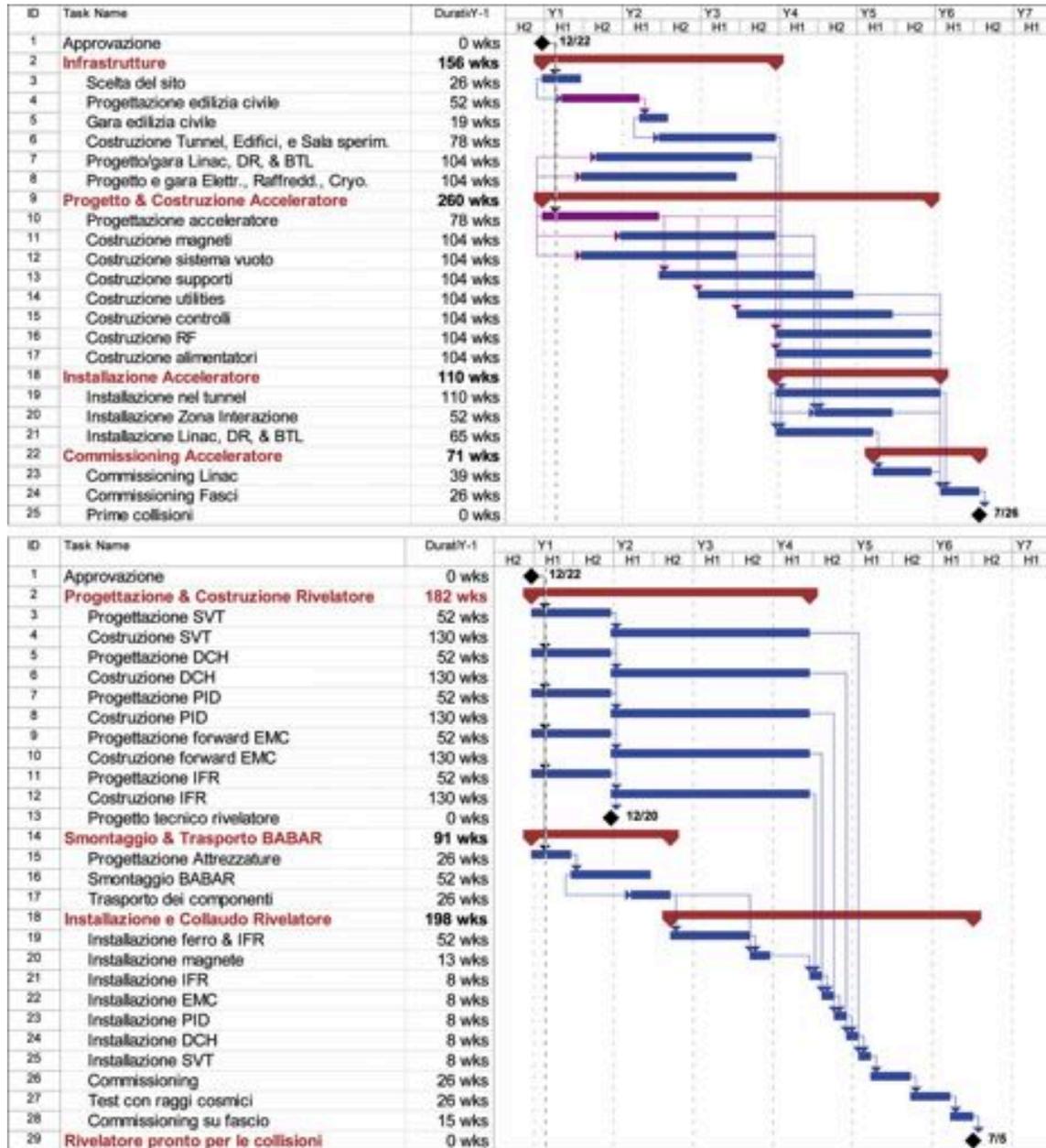
Tab. 4.3: Scaletta temporale del progetto SuperB e stima dei costi

#### SCALETTA TEMPORALE DEL PROGETTO SUPERB

Nelle due tabelle che seguono sono riassunti i profili temporali indicativi per la costruzione dell'acceleratore SuperB e dell'esperimento che verrà installato sull'acceleratore.

## DESCRIZIONE DELLE FASI DI ATTIVITÀ E DEL RELATIVO FINANZIAMENTO

Nella tabella seguente si riassumono sinteticamente le risorse finanziarie totali richieste su un decennio, relative ai sei anni di costruzione e ai successivi di operazione dell'infrastruttura in milioni di euro:



Tab. 4.4: risorse finanziarie totali richieste su un decennio, relative ai sei anni di costruzione e ai successivi di operazione dell'infrastruttura SuperB (in milioni di euro).

La parte dei costi relativi all'infrastruttura necessaria per la sperimentazione dell'IIT non è compresa nella tabella. Parte dei costi di operazione potrebbero essere coperti da accordi su Large Scale Facilities europee nell'ambito dell'VIII Programma Quadro (FP8) o mediante accordi specifici bilaterali in un'ottica di reciprocità con l'impegno italiano in altre infrastrutture di ricerca europee.

#### **COPERTURA FINANZIARIA**

L'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare copre le spese del progetto esecutivo e le spese delle risorse umane dei profili tecnico, amministrativo, tecnologo e ricercatore per la progettazione e costruzione della SuperB e dei centri di calcolo ad esso connessi nonché delle infrastrutture tecnologiche necessarie alla prototipizzazione degli elementi dell'acceleratore. Inoltre si occupa della formazione di giovani laureati e dottorati con competenze specifiche nel settore degli acceleratori.

Il personale dell'Istituto direttamente coinvolto è stimabile in circa 75 ricercatori e tecnologi, 65 tecnici e 10 amministrativi all'anno. Includendo anche una valutazione dei costi di mantenimento delle strutture tecnologiche di supporto coinvolte, il supporto dell'Istituto globale è valutabile in circa 15 Milioni di Euro annui per l'intera durata del progetto per un totale di circa 150 Milioni di Euro nell'arco temporale dei dieci anni complessivi di durata che si aggiungono a quelli richiesti per la realizzazione materiale del progetto. I fondi indicati come overheads saranno principalmente dedicati ad un programma di formazione di giovani da inserire sia nella ricerca sugli acceleratori che negli sviluppi tecnologici ad essa collegati valutabile in circa centoventi unità ed in un programma di ospitalità di esperti internazionali chiamati a collaborare al progetto.

Ulteriori fonti di cofinanziamento potranno essere negoziate per la fase II, come già accennato, e per la fase III nell'ambito di MOU internazionali concernenti l'utilizzazione dell'infrastruttura.

	2010				2011				2012				2013				2014				2015										
	I	II	III	IV																											
Prototipi	█																														
Progetto	█																														
Gare									█																						
Forniture													█																		
Assemblaggio																	█														
Posa																	█														
Presi dati																				█											

	2010				2011				2012				2013				2014				2015				Totale
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	
Rivelatore									15 MC				20 MC				15 MC				5 MC				55 MC
Contingenza																					5 MC				5 MC
Potenziamento infrastrutture					1.5 MC				3.5 MC																5 Me
Personale					1 MC				1 MC				1 MC				1 MC				1 MC				5 MC
<b>Totale</b>					2.5 MC				19.5 MC				21 MC				16 MC				11 MC				<b>70 MC</b>

Tab. 4.5: Scala temporale del progetto

Tab. 4.6: Flusso di spesa

## KM3NET

### OBBIETTIVO DEL PROGETTO

Come visto precedentemente, si è recentemente avviata la realizzazione ed installazione presso il sito di Capo Passero, ad una profondità di 3500 metri sotto il livello del mare ed una distanza dalla costa di circa 80 km, di una prima fase del nodo italiano dell'infrastruttura Europea KM3NeT. Questa fase prevede la costruzione di un apparato costituito da circa 30 torri. Il finanziamento per la realizzazione di questa fase è stato attribuito dal MIUR sul PON Ricerca e Competitività 2007-2013.

### PROSPETTIVE

Si prevede di ampliare successivamente il rivelatore a partire dal 2015 fino a circa 100 torri.

Scala temporale del progetto

	2012				2013				2014				2015				2016				2017			
	I	II	III	IV																				
Validazione prototipi	■	■																						
Prima Fase di costruzione			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■								
Ampliamento													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Presi dati									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Flusso di spesa

		2012				2013				2014				2015				2016				2017				Totale
		I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	
Prima Fase di costruzione (30 torri)	Rivelatore			3 MC				12 MC				5.8 MC														20.8 MC
	Contingenza											2 MC														2 MC
	Potenziamento infrastrutture			0.3 MC				0.5 MC																		0.8 MC
Ampliamento del telescopio fino a 100 torri	Rivelatore															13 MC				13 MC				13 MC		39 MC
	Contingenza																				5 MC					5 MC
	Potenziamento infrastrutture															3.5 MC				1.5 MC						5 MC
	Manutenzione											0.3 MC				0.3 MC				0.3 MC				0.5 MC		1.4 MC
	Personale			1 MC				1 MC				1 MC				1 MC				1 MC				1 MC		6 MC
<b>Totale</b>			<b>4 MC</b>				<b>13.5 MC</b>				<b>8.8 MC</b>				<b>21 MC</b>				<b>16 MC</b>				<b>11 MC</b>		<b>80 MC</b>	

Tab. 4.7: Scala temporale del progetto KM3NET

Tab. 4.8: Flusso di spesa del progetto KM3NET

Le voci che riguardano il personale, il potenziamento delle infrastrutture e la contingenza, rappresentano l'impegno di cofinanziamento di responsabilità INFN negli anni indicati.

## GRID

Come descritto nel paragrafo 4.3 il progetto Grid sta evolvendo verso IGI, l'*Italian Grid Infrastructure* e, in attesa che siano completati i passi necessari affinché diventi una nuova organizzazione legale autonoma dall'INFN, è organizzata come Progetto Speciale dell'INFN. La struttura interna del Progetto Speciale, in cui sono inquadrare tutte le attività di IGI, è basata sulla struttura organizzativa prevista per la nuova organizzazione legale, come descritto in un apposito documento programmatico ("IGI: organizzazione, attività e finanziamento"), conosciuto come Blueprint. Le attività di IGI sono o realizzate all'interno di 4 unità tecniche, le cui necessità di personale sono state stimate sia sulla base delle attività svolte oggi dai partner della *Joint Research Unit* sia sugli obiettivi di IGI previsti nel Blueprint e sono riassunte nella tabella seguente.

#### **ATTIVITÀ E FINANZIAMENTI NEL PERIODO 2010-2011**

In questo periodo, per ciascun anno, il progetto speciale IGI ha potuto contare sui finanziamenti seguenti:

- 2 M€ dal MIUR come contributo per l'avvio delle attività di IGI
- 1 M€ circa dalla Commissione Europea per la partecipazione ai progetti EGI-InSPIRE e EMI

Le attività realizzate con questi finanziamenti all'interno del Progetto Speciale IGI hanno consentito di rispettare gli impegni europei nell'ambito dei progetti menzionati, di consolidare le attività di mantenimento delle componenti middleware di responsabilità IGI che sono usate sia a livello italiano che internazionale e di fornire i core service necessari per un mantenere un elevato livello di servizio nell'infrastruttura grid italiana. Per realizzare tutte queste attività sono state impiegate circa 40 persone, la maggior parte delle quali collaboravano già a queste attività in forza all'INFN o agli altri partner di IGI, e che ora gravano sui fondi menzionati assegnati al Progetto Speciale.

Questo consolidamento delle attività e dei servizi è una solida base su cui pianificare l'evoluzione prevista nel periodo 2012-2014.

#### **PIANI PER IL PERIODO 2012-2014**

In aggiunta a quanto realizzato fino al 2011, il Blueprint di IGI prevede una evoluzione dei servizi forniti da IGI, mediante una offerta integrata grid e cloud con servizi in grado di soddisfare un sempre maggior numero di utenti in diversi domini applicativi. L'obiettivo è aumentare in modo significativo le comunità e gruppi accademici e di ricerca che accedono ai servizi di IGI, che costituisce la missione principale di IGI.

Per fare questo è necessario in primo luogo comprendere le esigenze dei nuovi utenti per poi implementare nuove funzionalità nel middleware esistente, realizzare nuovi servizi e fornire un adeguato livello di supporto. Contemporaneamente è necessario anche migliorare il livello dei servizi esistenti. Nel Blueprint è stato stimato il personale necessario a regime per realizzare questi obiettivi; il risultato è riportato nella tabella 4.8, suddiviso all'interno delle unità operative di IGI.

Tabella 4.9: Personale necessario per le unità operative di IGI

Unità	Risorse umane necessarie a regime (FTE)	Risorse umane in forza a fine 2011 (FTE)
Gestione operativa	21	16
Ricerca, Pianificazione e Mantenimento Middleware	23	17
Formazione e Servizi di Supporto agli Utenti	13,5	3
Gestione Amministrativa e Pubbliche Relazioni	7	4
<b>TOTALE</b>	<b>64,5</b>	<b>40</b>

Tab. 4.9: Personale necessario a regime per realizzare gli obiettivi delle unità operative di IGI.

I fondi necessari per la realizzazione di queste attività (stipendi del personale, funzionamento, missioni, attività di promozione e offerta di un servizio cloud per gli utenti) sono riportati nella tabella seguente. È stato anche previsto un contributo per le spese di funzionamento e gestione delle sedi che ospiteranno i servizi ed il personale di IGI; questo comprende un contributo per l'affitto dei locali, le spese di climatizzazione, energia elettrica, pulizia, e tutti i servizi accessori necessari.

Costi di IGI (K€), suddivisi per anno			
anno	2012	2013	2014
personale (FTE)	56,0	64,5	64,5
personale (costo unitario)	52,5	52,5	52,5
Over-head (20%)	10,5	10,5	10,5
Missioni	6	6	6
Totale Personale (salario + overhead+missioni)	3864,0	4450,5	4450,5
Contributo spese gestione sede	100	110	110
HW per servizi	100	100	100
HW per offerta cloud	200	350	350
Materiale per disseminazione, training, eventi, licenze	150	150	150
<b>TOTALE</b>	<b>4414,0</b>	<b>5160,5</b>	<b>5160,5</b>

Tab 4.10: Costi di IGI (K€), suddivisi per anno

Per poter realizzare questi obiettivi si prevede per il 2012 un contributo da parte del MIUR di almeno 3,5 M€. Questo finanziamento, insieme a quello proveniente dalla Commissione Europea per EMI e EGI-InSPIRE, consentirà di assumere una parte del personale mancante (56 unità in totale) e di cominciare a realizzare un prototipo per l'offerta cloud. Per gli anni successivi, considerando che nella prima metà del 2013 terminerà il progetto EMI e un anno dopo arriverà a conclusione anche il progetto EGI-InSPIRE, si prevede che il contributo del MIUR aumenti progressivamente per arrivare a regime a circa 5 M€. Questo consentirà di completare l'organico previsto nel Blueprint e acquisire l'hardware necessario per trasformare il prototipo cloud in un servizio effettivo a disposizione di tutti gli utenti IGI.

Per poter mantenere una posizione di eccellenza nel settore ICT, le attività di IGI dovranno sia fornire servizi solidi ed efficienti agli utenti sia intraprendere nuove attività innovative; queste ultime dovranno essere finanziate anche attraverso la partecipazione a progetti specifici sia in ambito italiano sia europeo, ad es. i Programma Quadro europei (FP7 e Horizon 2020).

Infine, per 3 anni a partire dal 2012, è previsto un contributo a IGI da parte del PON ReCaS per una attività di consulenza sulla integrazione delle risorse di calcolo, gestione, monitoring e semplificazione dell'uso delle risorse oggetto del progetto da parte degli utenti di SuperB. Il contributo annuale può essere stimato in circa 260 K€. A fronte di questo contributo IGI metterà a disposizione di ReCas e SuperB il proprio know-how e i propri servizi per soddisfare le esigenze dei committenti. È naturalmente previsto che i servizi di IGI evolvano e che nuovi servizi siano attivati in modo da rispondere in modo efficace ed efficiente alle esigenze di questi nuovi utenti.

## **CAPITOLO V - Cooperazione e accordi con enti ed organismi nazionali ed internazionali**

L'attività dell'Istituto si svolge, in misura significativa, in collaborazione con altri soggetti nazionali ed internazionali, pubblici e privati. Il ricorso a forme di collaborazione da parte dell'Istituto costituisce un aspetto importante della sua attività, derivante naturalmente dall'interdisciplinarietà di alcuni settori scientifici e dalla necessità di condividere le risorse disponibili; il ricorso a forme di collaborazione costituisce inoltre una modalità tramite la quale rendere disponibili all'esterno i risultati delle attività svolte e utilizzarli in settori differenti da quelli istituzionali. I livelli di eccellenza raggiunti dall'Istituto nei settori istituzionali e in quelli complementari (calcolo, GRID, ecc.) hanno permesso l'attivazione di importanti collaborazioni, in ambito locale, nazionale e internazionale, nelle quali l'Istituto ha un ruolo di capofila o comunque presta di regola un apporto significativo. Per la sua rilevanza verranno trattate separatamente le collaborazioni con le Università e le collaborazioni internazionali nonché, in ossequio al dettato legislativo, quelle relative alla partecipazione a Consorzi, Fondazioni, Società ed Organismi associativi. In questa parte verranno pertanto sinteticamente trattate le principali collaborazioni con altri enti nazionali, distinguendo tra enti di ricerca ed altri enti.

### **5.1 LE COLLABORAZIONI E GLI ACCORDI NAZIONALI**

L'Istituto da tempo intrattiene rapporti di collaborazione con i principali enti pubblici nazionali di ricerca (CNR, ENEA, ASI, INGV, Sincrotrone Trieste e INAF); recentemente sono state attivate altre collaborazioni con il CNISM e con l'INRM. La ricerca di base richiede spesso ingenti risorse finanziarie, umane e strumentali, nonché conoscenze e competenze specifiche, non disponibili presso una sola istituzione; il ricorso a forme di collaborazione tra enti che svolgono attività di ricerca in settori affini o contigui, sia pur in parte, consente ad entrambi di ripartire i costi e di utilizzare le risorse strumentali e le competenze dell'altro, permettendo così lo svolgimento di attività altrimenti non eseguibili e la partecipazione a grandi collaborazioni nazionali e internazionali.

La necessità di coordinare le attività reciproche in settori di comune interesse ha condotto da tempo alla stipula di apposite Convenzioni Quadro con i principali enti pubblici di ricerca nazionali; queste convenzioni, basate sul riconoscimento del comune interesse ad attivare iniziative comuni, a loro volta regolate da specifici accordi, hanno la funzione di agevolare l'attivazione fornendo strumenti operativi dedicati; la partecipazione dell'Istituto a collaborazioni con altri EPR (e non solo) ha spesso consentito – come detto – la realizzazione di iniziative comuni con risultati altamente positivi, altrimenti non ottenibili, a vantaggio delle comunità scientifiche di riferimento e, in diversi casi, più ampie.

Collaborazioni specifiche e progetti congiunti con altri enti sono stati descritti anche in dettaglio nei paragrafi precedenti, in particolare nei paragrafi da 3.8 a 3.11. Qui si ribadiscono 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 (*European Grid Infrastructure*), settore nel quale l'INFN ha una riconosciuta eccellenza.

L'iniziativa ha ricevuto nell'ultimo anno nuovo impulso grazie anche al ruolo assicurato dall'Istituto che ha ricevuto dal Ministero un altro finanziamento per "l'avvio attività del programma internazionale IGI/EGI".

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 sono svolte 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 la medicina, l'energia e i Beni Culturali, attivando al riguardo diverse collaborazioni che hanno condotto a importanti realizzazioni.

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, sperimentato con successo e oramai entrato nella fase di sperimentazione clinica, 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, la Fondazione IRCCS Istituto Nazionale dei Tumori di Milano e l’Ospedale Niguarda 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.

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; recentemente è stata infine attivata una collaborazione con l’ENEL per attività di misurazione di rilasci termici anomali in sistemi costituiti da matrici metalliche a superficie nanostrutturata e isotopi dell’idrogeno. 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 e con la Regione Toscana in tema di Ricerca e Alta Formazione; 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 e di cui si darà conto nel seguito.

Segue nelle tabelle da 5.1 a 5.8 un elenco delle collaborazioni e degli accordi e delle convenzioni in atto.

### **Accordi e convenzioni**

- 1. Convenzioni con le Università**
- 2. Convenzioni con enti pubblici di ricerca**
- 3. Convenzioni con altri enti**
- 4. Convenzioni/rapporti Enti locali**
- 5. Medicina**
- 6. Beni culturali**
- 7. GRID-ICT**
- 8. Formazione diffusione Cultura Scientifica**

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 5.1: Convenzioni con le Università

Agenzia Spaziale Italiana	Collaborazione Quadro
Agenzia Spaziale Italiana	Progetto AMS
Agenzia Spaziale Italiana	Progetto LISA/PATHFINDER
Agenzia Spaziale Italiana	Progetto AMS
Agenzia Spaziale Italiana	Progetto ASI Scientific Data Center
Consiglio Nazionale delle Ricerche	Collaborazione Quadro
CNR	Progetto LANDIS (LNS)
CNR-INFN	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, Consortium GARR, Un.tà di Torino e Milano Bicocca,	Collaborazione RI-BIG

Istituto Superiore di Sanità, CASPUR, CINECA, etc.	
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
Sincrotrone Trieste	Collaborazione partecipazione italiana infrastrutture europee di ricerca
Sincrotrone Trieste	Collaborazione partecipazione XFEL GMBH
Fondazione Ettore Majorana	Collaborazione
Fondazione CCR "Venaria Reale"	Collaborazione (TO)
ICRANET	Collaborazione Quadro (RM)
DAISY-Net	Collaborazione Quadro ICT (BA)
Centro Geotecnologie Università Siena	Collaborazione (FE)
Istituto Zooprofilattico delle Venezie	Collaborazione (LNL)
Un.tà di Napoli "Federico II" e di Bari "Aldo Moro"	Progetto RECAS (PON)
U.tà di Salerno, ENEA e CRDC Nuove Tecnologie	Progetto NAFASSY (PON)
Consorzio Nazionale Interuniversitario Scienze Fisiche della Materia	Collaborazione Quadro
Istituto Nazionale per la Ricerca Metrologica	Collaborazione Quadro

Tab. 5.2 - Convenzioni con Enti Pubblici di Ricerca

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, CSFNSM	Protonterapia (Progetto CATANA) (LNS)
MSFCSR "Enrico Fermi"	Progetto EEE
Ospedale Galliera	Biosuscettometro MID (GE)
CNAF, Consortium GARR	Memorandum Understanding DANTE
AIF-CNR-INFN, Un.tà Padova, Comune di Padova e la DGUSR per il Veneto	Mostra Sperimentando (PD-LNL)
Fondazione CARIPARO	Mappatura radioattività Regione Veneto
SOGIN, Università Pavia	Radio farmaci
Società Italiana di Fisica	Collaborazione Quadro
Società Italiana Relatività Generale Fisica della Gravitazione	Collaborazione Quadro
ENEL Energia e Innovazione	Collaborazione ricerca e studio sistemi metallici idrogenati

Tab. 5.3 - Convenzioni con altri Enti

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	Collaborazione Ricerca e Alta

	Formazione
Regione Toscana (Bando Regionale)	Progetto ISAV (PI)
Regione Sicilia	Collaborazione settore medicale
Consorzio Area Ricerca Scientifica e Tecnologica di Trieste	Progetto SISTER (TS)

Tab 5.4: Convenzioni/Rapporti Enti Locali

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	Biosusciometro 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
Ospedale Niguarda	Radioterapia, Radiochirurgia, Adroterapia e Dosimetria Clinica
CNR, Consortium GARR, Un.tà di Torino e Milano Bicocca, Istituto Superiore di Sanità, CASPUR, CINECA, etc.	Collaborazione RI-BIG

Tab. 5.5 – Medicina

CNR	Progetto LANDIS (LNS)
Fondazione CCR "Venaria Reale"	Collaborazione (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. 5.6 – Beni culturali

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
ICCU	Collaborazione Beni Culturali Digitali
CRA	Collaborazione ricerca e sperimentazione Grid Computing in Agricoltura.

Tab. 5.7 – GRID - ICT

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)
Fondazione Giuseppe Occhialini	Collaborazione Quadro
Università di Udine	Master IDIFO

Tab. 5.8 – Formazione diffusione Cultura Scientifica

(Nota fondo pagina) 1: è appena il caso di ricordare l’apporto fornito dall’Istituto all’Università dell’Aquila per i danni subiti a seguito del noto sisma dell’aprile 2009, quando i LNGS ospitarono, pur tra difficoltà comprensibili, le attività didattiche del Corso di Laurea in Fisica, alle quali in tal modo si riuscì ad assicurare la continuità.

## 5.2 LA PARTECIPAZIONE A CONSORZI, A SOCIETÀ, A FONDAZIONI

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 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.€conomies- Business Relays for Innovation and Development of Growing €conomies (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).

L'ultimo bilancio, relativo all'anno 2010, si è chiuso con una perdita d'esercizio pari a € 148.391.

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 2010, si è chiuso con una perdita d'esercizio pari a € 17.728.

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 regione 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 2010 si è chiuso con un utile d'esercizio pari a € 33.264,00.

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 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.

Nel 2011 è iniziata la fase di sperimentazione clinica richiesta dal Ministero della Salute alla quale l'INFN sta collaborando per quanto riguarda la parte di radiobiologia, ovvero del misure di efficacia del fascio con l'irradiazione di cellule *in vitro* e di cavie. In parallelo è iniziato anche il trattamento di un campione selezionato di pazienti.

La sperimentazione clinica è prevista durare 18 mesi e si prevede di trattare in totale circa 230 pazienti.

Si prevede di avviare nel corrente anno 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.tà "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 2010 si è chiuso con un utile d'esercizio pari a € 32.778,00.

Informazioni più precise sono reperibili alla pagina web [www.consorzioferrararicerche.it](http://www.consorzioferrararicerche.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, 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 PAPRICA 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 2010 si è chiuso con una perdita d'esercizio pari a euro 419.596,82, dovuta sostanzialmente all'ammortamento d'esercizio e al ribaltamento dei costi di personale e risulta interamente coperta dal fondo di 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 2010 si è chiuso con una perdita d'esercizio pari a € 1.123,00.

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 nell'ambito del Progetto ITER e al momento 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 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; approvvigionamento dei materiali e della strumentazione per la sorgente di ioni e per il neutral beam

L'ultimo bilancio d'esercizio, relativo all'anno 2010, si è chiuso con una perdita d'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.l.: 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 e il CNR.

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 2010 registra un utile d'esercizio paria € 1.710,00

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 2010 si è chiuso con un avanzo d'amministrazione pari a € 296.730,48.

CoIRICH. - 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.

Il bilancio d'esercizio 2010 si è chiuso con una perdita d'esercizio pari a euro 674.

CABIBBOLAB: Consorzio non a scopo di lucro costituito il 7 ottobre 2011 con l'Università di Roma Tor Vergata per la realizzazione e la gestione dell'acceleratore SuperB, uno dei Progetti bandiera inserito nel Programma Nazionale della Ricerca.

L'attività del Consorzio si articola, secondo lo Statuto, nelle due fasi della realizzazione dell'infrastruttura e della gestione dell'acceleratore e dell'avvio delle attività sperimentali; per questa seconda fase è anche prevista la costituzione di un ERIC a ciò dedicato.

Attualmente il Consorzio sta completando la costituzione degli Organi e nel breve periodo si prevede la loro piena costituzione e il completamento dell'assetto amministrativo; successivamente si procederà con l'avvio delle attività di ingegneria civile che prevedono, entro la fine dell'anno, il lancio del Progetto Esecutivo e, per il 2013, l'avvio della costruzione dell'infrastruttura civile che dovrà ospitare la macchina e le sale sperimentali. Parallelamente si sta procedendo con la definizione del quadro di riferimento per il personale e con le attività progettuali necessarie alla realizzazione dell'acceleratore.

Sono infine in via di perfezionamento le procedure di adesione al Polo di Innovazione per l'Efficienza Energetica e le Fonti Rinnovabili S.C. a r.l. e alla TICASS S.C. a r.l.

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.

### 5.3 LE COLLABORAZIONI E GLI ACCORDI INTERNAZIONALI

L'INFN, per la natura delle ricerche che promuove e coordina, è inserito in un contesto di collaborazioni internazionali.

Più specificamente:

- 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.

Gli ultimi due punti saranno trattati in dettaglio nel paragrafo 7.6.

È in ragione della natura internazionale della collaborazione scientifica nel campo della fisica, che è improprio operare una netta distinzione tra attività interna e internazionale dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare. La gran parte della attività scientifica promossa e condotta dall'Istituto si svolge infatti nell'ambito di collaborazioni internazionali, sia presso laboratori stranieri e internazionali, sia presso proprie strutture, che includono scienziati di tutto il mondo.

Ciò premesso, è possibile tuttavia identificare i casi in cui tale collaborazione assume particolare rilevanza distinguendo tra attività svolta all'estero e attività svolta in Italia.

Nel primo caso, merita certamente 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).

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.

In Italia, la collaborazione internazionale è soprattutto concentrata presso i quattro Laboratori Nazionali dell'Istituto dove sono in funzione, e a disposizione della comunità scientifica, i più grossi apparati sperimentali. 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 CNGS (*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.

A complemento delle informazioni si fornisce in tabella 5.9 un elenco delle Istituzioni scientifiche straniere, e relativi paesi, con le quali l'INFN ha concluso nel tempo accordi di collaborazione scientifica.

<b>Argentina</b>	Comision Nacional de Energia Atomica (CNEA)
<b>Armenia</b>	State Committee of Science
<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>	Universit� Statale di Campinas Universidade de S�o Paulo (IFUSP) Universidade Federal Fluminense (IFUFF)
<b>Bulgaria</b>	Institute of Nuclear Research and Nuclear Energy (INRNE)
<b>Canada</b>	Canad�s National Laboratory for Particle and Nuclear Physics (TRIUMF) Institute of Particle Physics (IPP)
<b>Corea del Sud</b>	Research Institute of Basic Science (RIBS), Seoul Korea Institute of Science and Technology Information (KISTI)
<b>Cina</b>	China Institute of Atomic Energy (CIAE), Beijing Chinese Academy of Sciences (CAS), Beijing Institute of High Energy Physics (IHEP), Beijing Institute of Theoretical Physics (ITP), Beijing Institute of Modern Physics (IMP), Beijing National Natural Science Foundation of China (NSFC) South East University of Nanjing (SEU), Nanjing
<b>Francia</b>	Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), Paris Institut National de Physique Nucl�aire et de Physique des Particules (IN2P3), Paris GIP Cyclotron Arronax Commissariat � l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives (CEA)
<b>Germania</b>	Deutsches Elektronen Synchrotron (DESY), Amburgo Gesellschaft f�r Schwerionenforschung (GSI), Darmstadt Max-Planck Gesellschaft zur F�rderung der Wissenschaften, Monaco Physikalische Technische Bundesanstalt (PTB)
<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>	<p>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)</p>
<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>	<p>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)  Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Moscow</p>
<b>Repubblica Ceca</b>	Czech Academy of Sciences
<b>Repubblica Slovacca</b>	Slovak Academy of Sciences
<b>Spagna</b>	Ministerio Ciencia y Tecnologia (MICINN), Madrid
<b>Stati Uniti d'America</b>	<p>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)  Michigan State University (MSU)  Argonne National Laboratory  Laboratory of Elementary Particle Physics, Cornell University  Brown University  Indiana University  University of California Los Angeles (UCLA)  Oak Ridge National Laboratory (ORNL)</p>

<b>Svizzera</b>	European Organization for Nuclear Research (CERN), Ginevra Swiss Federal Institute of Technology (ETHZ), Zurigo Paul Scherrer Institute (PSI), Zurigo
<b>Turchia</b>	Turkish Atomic Energy Authority (TAEK)
<b>Ucraina</b>	National Academy of Sciences of Ukraine (NASU)

Tab. 5.9: Accordi Internazionali

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'INFN, dell'*European Synchrotron Radiation Facility* (ESRF) di Grenoble.

# CAPITOLO VI - Rapporti e convenzioni con le Università

## **INFN E UNIVERSITÀ: SIMBIOSI E SINERGIA**

È infatti in stretta connessione con le Università che l'Istituto svolge la missione di promuovere, coordinare e condurre la ricerca nei propri settori di pertinenza e lo sviluppo delle tecnologie connesse, sempre nel contesto della collaborazione e del confronto internazionale.

È proprio da questa stretta connessione, in termini di strutture, personale e processi di formazione, che è scaturita la sinergia che ha permesso alla ricerca in fisica nucleare e subnucleare del nostro paese di raggiungere e mantenere un alto livello e una dimensione internazionale universalmente riconosciuta.

## **SIMBIOSI DELLE STRUTTURE**

Sono trentuno le università dove l'INFN ha proprie strutture. Le 20 Sezioni, e i loro 11 gruppi collegati (vedi tabella 6.1), hanno infatti sede presso altrettanti dipartimenti universitari e realizzano il collegamento diretto, l'integrazione, tra l'Istituto e le Università.

Con ciascuna Università è stipulata una convenzione che regola l'utilizzo di spazi, personale e attrezzature per il perseguimento delle finalità scientifiche di comune interesse (complessivamente l'INFN versa annualmente alle Università convenzionate circa 1,5 milioni di Euro come contributo alle biblioteche e alle spese di gestione delle strutture universitarie. Nel corso del 2010 sono stati finanziati 2,6 milioni di Euro per 49 borse di dottorato e 1,656 milioni di Euro per 5 posizioni a tempo indeterminato di ricercatori universitari, secondo i dettagli descritti nel seguito).

Tab. 6.1: Sezioni e gruppi collegati INFN

SEZIONI	GRUPPI COLLEGATI
Bari, Bologna, Cagliari, Catania, Ferrara, Firenze, Genova, Lecce, Milano, Milano Bicocca, Napoli, Padova, Pavia, Perugia, Pisa, Roma, Roma "Tor Vergata", Roma TRE, Torino e Trieste	Brescia, Cosenza, L'Aquila, Messina, Parma, Piemonte Orientale, Salerno, Siena, Trento, Udine e Istituto Superiore di Sanità

Tab. 6.1: Sezioni e gruppi collegati INFN

La perfetta integrazione delle Sezioni INFN all'interno delle Università permette di disporre "in loco" di infrastrutture (camere pulite, officine, ecc.) e di servizi tecnici (calcolo e reti, elettronica, meccanica, ecc.) di cui usufruiscono docenti, ricercatori e studenti universitari. Non di rado questa integrazione ha consentito la realizzazione di laboratori congiunti particolarmente avanzati, quale, a titolo di esempio, il LABEC, laboratorio della Sezione di Firenze, che ad oggi costituisce un punto di riferimento internazionale per la ricerca con tecniche nucleari applicata ai settori dei Beni Culturali e del monitoraggio ambientale, e il TIER1 del CNAF, installato presso il Dipartimento di Fisica dell'Università di Bologna, che è il più grande centro di calcolo italiano ed uno dei più importanti in Europa, che lavora sul calcolo distribuito e rappresenta un punto di riferimento unico nel panorama italiano.

L'INFN dispone inoltre di quattro grandi laboratori nazionali e di due centri scientifici (il CNAF di Bologna ed il consorzio Ego a Casina), con sedi indipendenti al di fuori dei dipartimenti universitari. Le macchine acceleratrici e le grandi apparecchiature e infrastrutture di questi centri sono a disposizione delle Università e più in generale della comunità scientifica nazionale e internazionale.

La presenza dell'Istituto presso le Università, soprattutto, ha l'effetto di riunire la comunità dei fisici nucleari italiani e di indirizzare e coordinare la loro attività, in particolare nelle grandi collaborazioni internazionali che hanno luogo presso i più importanti laboratori di ricerca in Italia e all'estero. Le sezioni ed i Laboratori Nazionali dell'Istituto, riconosciuti centri di eccellenza nel settore della fisica di base, operando in maniera coordinata, costituiscono infatti un'organizzazione strategica che consente lo svolgimento di programmi di ricerca altrimenti non realizzabili con le risorse, finanziarie e non, delle singole Università e del sistema universitario nel suo complesso. In senso lato, l'azione di stimolo e l'opportunità offerta ai docenti, ai ricercatori e agli studenti universitari di

sviluppare e partecipare ad avanzate iniziative di ricerca, di ampio respiro e dimensione, rappresentano il contributo fondamentale dell'Istituto nei confronti del mondo universitario.

#### **PERSONALE ASSOCIATO**

L'INFN assimila al proprio personale dipendente circa 900 professori e ricercatori universitari (incarichi di ricerca), oltre a circa 100 tecnici universitari (incarichi di collaborazione tecnica), i quali svolgono prioritariamente la propria attività di ricerca nei settori di pertinenza dell'Ente. Questo personale – associato all'Istituto con un incarico gratuito di ricerca – ha le stesse prerogative del personale dipendente dell'INFN, in termini di accesso a strutture, strumentazione e finanziamenti e di partecipazione alla programmazione, alla gestione e al coordinamento delle attività dell'Ente.

A questi si aggiungono circa 1100 fra professori, ricercatori e tecnici universitari (incarichi di associazione), associati solo per una frazione delle loro attività di ricerca, che hanno comunque accesso a strutture, strumenti e finanziamenti dell'Istituto.

#### **ALTA FORMAZIONE**

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 1400 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 600 sono dottorandi e circa 400 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.

Sono numeri che testimoniano l'impegno e l'importanza attribuita loro dall'Istituto e, pur nella diversità dei ruoli, la forte interazione con le Università anche per quanto riguarda la didattica, nell'interesse reciproco e, si ritiene, dell'intero sistema Paese.

Un confronto con le informazioni disponibili nella banca dati del Ministero dell'Università e della Ricerca (MIUR) è mostrato in Tabella 6.2 , prendendo l'intera Area (02) di Fisica come riferimento:

	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	n/a	342	388

Tab. 6.2: Laureati magistrali e dottorati che hanno svolto attività in ambito INFN, rispetto ai dati totali MIUR.

Il numero di Lauree di ambito INFN resta sostanzialmente costante, intorno al 30%, dimostrando che l'interesse per i temi di ricerca dell'Ente non è influenzato da fenomeni esterni, correlati spesso a percezioni di ridotte opportunità di lavoro. Per il Dottorato di Ricerca si può notare che, sempre rispetto all'Area di Fisica, l'INFN integra circa il 50% dei dottorati, un chiaro segno del continuo interesse indotto dalle proprie attività nelle giovani generazioni. Il database MIUR è mancante di questo dato per gli ultimi due anni, 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 6.3 (sono indicati il numero di corsi svolti nei vari livelli di formazione e delle tesi seguite, da parte di personale INFN).

Tab. 6.3: Supporto alla didattica	
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

Tab. 6.3: Supporto alla didattica

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 cinque convenzioni (con le Università di Bari, Pavia, Bologna, Napoli Parthenope e Genova) 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. A seguito di queste Convenzioni sono stati assunti e hanno preso servizio due ricercatori e per un altro il concorso dovrebbe concludersi nei prossimi mesi; in un altro caso non è stato possibile ad una Università procedere con le procedure concorsuali e l'iniziativa verrà ripetuta per due ricercatori a tempo determinato secondo quanto ora previsto dalla "riforma Gelmini".

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), *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).

Questi corsi costituiscono un ponte importante tra la ricerca di base e le necessità professionali delle aziende, un processo di trasferimento tecnologico estremamente utile che l'Ente intende perseguire e ampliare attivamente nel prossimo triennio.

# CAPITOLO VII - Piano di sviluppo delle risorse umane e finanziarie

## 7.1 LE RISORSE DI PERSONALE DELL'ISTITUTO

La distribuzione del personale dipendente a tempo indeterminato e dei relativi costi in servizio al 31-12-2011 è riassunta in tabella 7.1a.

La distribuzione per profili del personale dipendente a tempo determinato in servizio al 31-12-2011 è illustrata in tabella 7.1b.

**Situazione Personale a tempo indeterminato al 31 dicembre 2011**

Profilo e Livello	Dotazione organica		In servizio al 1-1-2011	assunti nel corso dell'anno	costo unitario ex DM MUR 10-8-11	prelievi di profitto	cessati nel		In servizio al 31-12-2011 (2-3+4-6)	costo personale in servizio al 31-12-2011
	1	2					n	costo ex DM MUR 10-8-11 (in migliaia di €)		
Dirigente I fascia	1	0			78.110,76			0,00	0	
Dirigente II fascia	1	1			78.110,76			0,00	1	79.502,07
	<b>2</b>	<b>1</b>						0,00		
Dirigente di riserva	118	119			79.775,59		2	159.551,18	117	13.809.553,97
Primo Riservatore	268	270			63.121,21		3	189.363,63	267	21.757.413,54
Riservatore	224	184	38		50.722,41		3	152.167,23	219	12.159.862,96
	<b>610</b>	<b>573</b>						0,00		
Dirigente Tecnologo	45	44			79.775,59		1	79.775,59	43	4.956.895,55
Primo Tecnologo	94	92			63.121,21			0,00	92	7.278.472,03
Tecnologo	114	94			50.722,41			0,00	94	5.258.364,14
	<b>253</b>	<b>230</b>						0,00		
CTER IV	337	343			49.329,33		7	345.305,31	336	16.432.369,45
CTER V	173	174			45.407,31		1	45.407,31	173	7.471.794,77
CTER VI	94	61			41.843,60			0,00	61	2.388.319,18
	<b>604</b>	<b>578</b>						0,00		
Op. tec. VI	89	91			41.843,60		6	251.061,60	85	3.412.377,73
Op. tec. VII	12	12			38.574,04			0,00	12	428.275,59
Op. tec. VIII	91	3			36.355,14			0,00	3	107.828,81
	<b>192</b>	<b>106</b>						0,00		
Auxiliario Tecnico VIII	7	7			36.355,14			0,00	7	239.801,47
	<b>7</b>	<b>7</b>						0,00		
Funz. Amm. IV	51	52			49.329,33		2	98.658,66	50	2.569.769,80
Funz. Amm. V	17	6			45.407,31			0,00	6	273.108,13
	<b>68</b>	<b>58</b>						0,00		
Coll. Amm. VI	168	168			45.407,31		2	90.814,62	166	7.388.588,54
Coll. Amm. VII	57	57			41.843,60			0,00	57	2.240.354,83
Coll. Amm. VIII	20	11			38.574,04			0,00	11	387.964,00
	<b>245</b>	<b>236</b>						0,00		
Op. Amm. VII	7	7			38.574,04			0,00	7	258.520,45
Op. Amm. VIII	2	0			36.355,14			0,00	0	
	<b>9</b>	<b>7</b>						0,00		
<b>Totale</b>	<b>1.906</b>	<b>1796</b>					<b>27</b>	<b>1.412.105,13</b>	<b>1.807</b>	<b>108.893.140,83</b>

Risorse assunzionali derivanti da cessazioni anno 2011	20%	282.421,03
Risorse assunzionali derivanti da cessazioni anno 2009	100%	3.211.164,23
Risorse assunzionali derivanti da cessazioni anno 2010	20%	674.352,08
<b>Totale</b>		<b>4.067.937,34</b>

Tab. 7.1a: Distribuzione del personale dipendente a tempo indeterminato e dei costi relativi, al 31 dicembre 2011.

Profilo e Livello	in servizio al 31-12-2011				2012			2013			2014		
	0.	costo su base	n.	costo su base	variazioni	in servizio al	costo	variazioni	in servizio al	costo	variazioni	in servizio al	costo
	Fondi Progetto	annua Contratti Fondi Progetto	Fondi Ente e Overhead	annua Contratti Fondi Ente e Overhead									
Diregente I fascia													
Diregente II fascia													
Diregente di ricerca			1	139.456,41	-1	0	0,00		3	0,00		0	
Primo Ricamatore	1	71.551,11	0	71.551,11		1	71.551,11		1	71.551,11		1	71.551,11
Ricamatore	41	1.963.859,47	15	717.808,70		5	717.808,70		8	430.565,22		9	430.565,22
Diregente Tecnologico			1	81.192,96	-1	0	0,00			0,00			
Primo Tecnologico			1	60.657,80		1	60.657,80		1	60.657,80		1	60.657,80
Tecnologo	51	2.830.145,77	39	1.876.922,26	-19	20	962.524,24		20	962.524,24		20	962.524,24
CTER IV													
CTER V													
CTER VI	12	488.162,80	34	1.328.480,70	-26	8	312.108,40		8	312.108,40		8	312.108,40
Dp. sec. VI													
Dp. sec. VII													
Dp. sec. VIII			2	85.218,54		2	85.218,54		2	85.218,54		2	85.218,54
Auxiliario Tecnico VIII													
Funz. Amm. IV													
Funz. Amm. V			8	215.366,35	-3	2	86.148,54		2	86.148,54		2	86.148,54
Coll. Amm. V													
Coll. Amm. VI													
Coll. Amm. VII	2		31	1.893.363,26	-6	22	775.928,12		22	775.928,12		22	775.928,12
Dp. Amm. VII													
Dp. Amm. VIII													
		113	5.353.718,95	139	5.659.786,21	-59	71	3.051.741,45	-4	85	2.764.697,37	-45	2.764.697,37

Tab. 7.1b: Distribuzione del personale dipendente a tempo determinato e dei costi relativi, al 31 dicembre 2011.

Con riferimento al personale a tempo indeterminato, si evidenzia che, a differenza di quanto accaduto negli anni precedenti, l'Ente, che aveva rappresentato la propria dotazione organica articolandola soltanto per profili, ha provveduto ad elaborarla anche per livelli, adottando a tal fine la deliberazione n. 12084 del 28 ottobre 2011, come richiesto dalla Presidenza del Consiglio dei Ministri Dipartimento della Funzione Pubblica con Nota 51924 del 18 ottobre 2011.

L'evoluzione temporale della dotazione organica e del personale in servizio è mostrata in figura 7.1c. Si può notare che, a fronte di una riduzione della dotazione organica da 2014 a 1906 avvenuta nel 2005, l'Istituto ha completato le assunzioni a tempo indeterminato, compatibilmente con le restrizioni di legge, comprendo parzialmente il fabbisogno richiesto dalle proprie attività e giungendo, però, alla quasi saturazione della pianta organica. Si registra inoltre una flessione del personale in servizio per la mancata autorizzazione a procedere alle assunzioni previste nel 2010 e nel 2011. Si noti anche l'andamento correlato relativo al personale a tempo determinato.

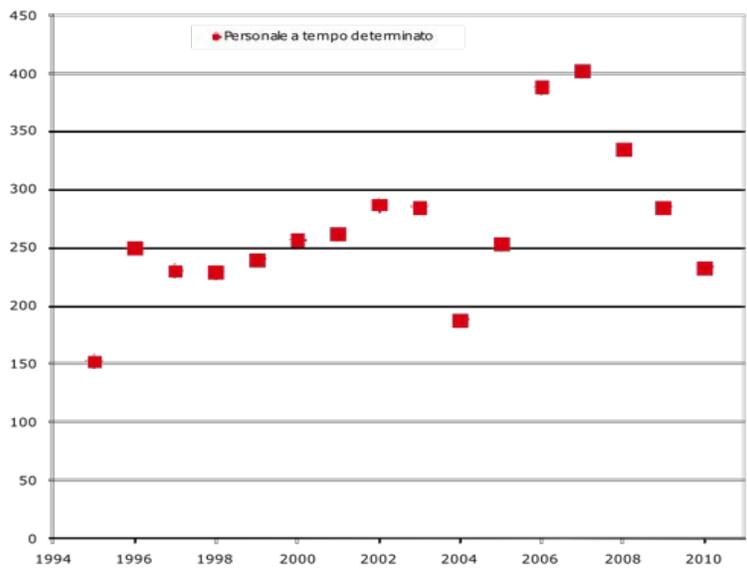
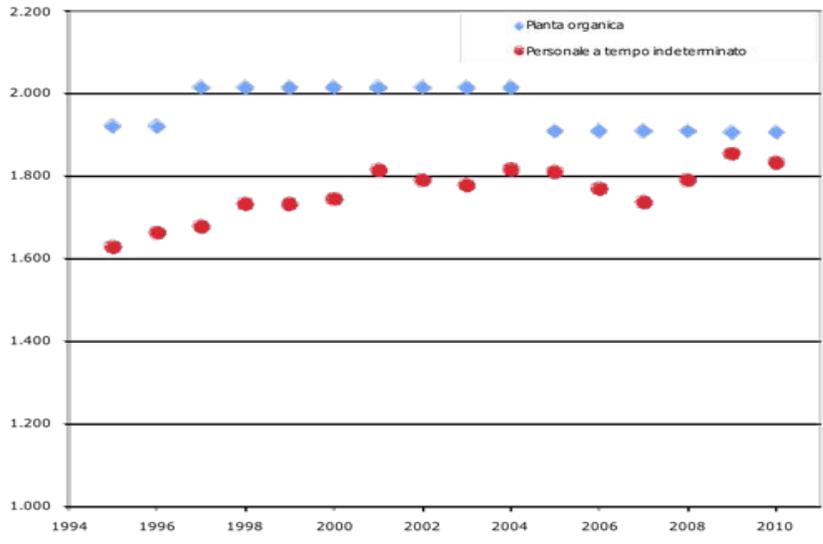


Fig. 7.1: Evoluzione temporale della pianta organica e del personale dipendente in servizio.

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.

Sono parte di queste attività:

- La sperimentazione presso LHC al CERN: la fase di presa dati è continuata con successo per tutto il 2011 coinvolgendo tutti gli esperimenti a cui l'INFN partecipa. È necessario assicurare nei prossimi anni un numero adeguato di personale ricercatore e tecnologo da coinvolgere nella fase di presa ed analisi dati, sia presso il CERN che presso le sezioni, grazie alla piena operatività dei centri TIER1 e TIER2 presenti sul territorio nazionale.

- Ai Laboratori Nazionali di Frascati, è continuata, da parte di una collaborazione internazionale che coinvolge numerose e prestigiose Istituzioni di Ricerca, la fase di progettazione del collisore denominato Super-B che avrà prestazioni 100 volte maggiori degli attuali collisori. Come ampiamente sostenuto dalla comunità scientifica internazionale, la Super-B aprirà nuove finestre di studio dei fenomeni rari, un campo ove piccole deviazioni dalle predizioni del Modello Standard sarebbero un sicuro segno di nuova fisica. Con l'approvazione del progetto da parte del MIUR e del CIPE i primi finanziamenti di 19 M€ e 21M€ formalizzati con il riparto del fondo ordinario EPR per il 2010 e 2011, le attività del progetto subiranno una forte accelerazione impegnando un congruo numero di personale dipendente a tempo determinato ed indeterminato.

La costruzione dell'acceleratore e delle relative infrastrutture è affidata al neonato Consorzio denominato "Cabibbo-Lab" di cui sono soci fondatori l'INFN e l'Università di Tor Vergata.

- Presso i LNGS è continuata con successo la fase di presa dati dedicata allo studio delle oscillazioni dei neutrini con il fascio CNGS proveniente dal CERN e con l'apparato OPERA. I risultati fin qui ottenuti sono di assoluto valore internazionale e confermano l'ipotesi dell'esistenza di neutrini Tau nel fascio CNGS. L'altro grande apparato, unico nel suo genere a livello internazionale, ICARUS, è stato messo in funzione ed è in fase di presa dati.

- Il Progetto SPES presso i LNL, dedicato alla produzione e accelerazione di nuclei instabili di prossima generazione, è in fase di realizzazione per quanto riguarda la cosiddetta fase

alfa. Sono state portate a maturazione progettuale alcune iniziative applicative che si integrano in modo sinergico con le installazioni dedicate alla Fisica Nucleare e che potranno essere supportate con risorse esterne all' Ente. Dette iniziative riguardano la produzione di radioisotopi innovativi per applicazioni mediche e la realizzazione di sorgenti di neutroni dedicate alla Fisica dei sistemi di quarta generazione ed agli studi sul danneggiamento di dispositivi elettronici

- Il Progetto NEMO (LNS). Continua il collaudo di un dimostratore e delle infrastrutture tecnologiche ad esso associate alle profondità marine di interesse. Il finanziamento ricevuto con il riparto 2011 rafforza la possibilità di realizzare un osservatorio europeo sottomarino di neutrini da realizzare in Sicilia al largo di Capo Passero.
- Il Progetto Strategico NTA, per la ricerca e lo sviluppo nel campo di nuove tecniche di accelerazione di particelle e delle relative parti tecnologicamente critiche, continua ad essere finalizzato al supporto di linee di interesse scientifico prioritario per la programmazione a lungo termine dell'Istituto.

A dette attività si aggiungono progetti strategici di carattere applicativo e di trasferimento tecnologico, quali ad esempio:

- Adroterapia: continua la fase preclinica di qualifica e caratterizzazione a Pavia della macchina per adroterapia del progetto CNAO realizzata con il contributo determinante dell'Istituto. Il progetto strategico denominato INFN-MED, articolato in cinque sottoprogetti ha continuato con successo lo sviluppo di un nuovo avanzato *Treatment Planning System* per adroterapia basato su metodiche di calcolo tipiche della fisica nucleare e delle particelle. Questa attività è sviluppata in collaborazione con una primaria industria privata del settore.
- Ai LNF, il progetto SPARC, per ricerca e sviluppo di un laser ad elettroni liberi di nuova concezione con lunghezza d'onda di 500Å (luce gialla), ha prodotto risultati di rilevanza internazionale. È in fase di avvio l'espansione di SPARC all'interno della linea di sviluppo tracciata in passato, che prevede lo sviluppo di tecniche innovative in vista della costruzione di lasers a elettroni liberi alla frequenza dei raggi X molli.

- Il progetto INFN-GRID (CNAF), ha come obiettivo lo sviluppo ed il coordinamento del *middleware* per il calcolo distribuito e la diffusione del paradigma di GRID ad altre discipline scientifiche. È previsto e finanziato l'avvio di IGI nell'ambito della strategia europea di avere un unico interlocutore nazionale per quanto riguarda i rapporti con EGI.
- L'INFN, per conto del Governo Italiano, partecipa al progetto ITER e al Progetto IFMIF-EVEDA, occupandosi di parti estremamente critiche sul piano concettuale e tecnologico. Trattasi dei sottoprogetti NBI (*Neutral Beam Injection*, ITER) attraverso il Consorzio RFX e del sottoprogetto RFQ del quale l'INFN ha la responsabilità diretta e di cui è iniziata la fase realizzativa. Quest'ultimo sottoprogetto è finalizzato allo studio dei materiali da impiegare nei reattori di fusione.
- L'INFN, attraverso il progetto strategico INFN-E, coordina progetti di R&S nel campo della produzione di energia da fissione e fusione, promuovendo la formazione del personale ed il trasferimento tecnologico con l'industria del settore. In particolare il programma RIACE si occupa di temi quali: la sicurezza in ambiente nucleare, la sicurezza nei trasporti ed ai varchi, i sistemi di monitoraggio, la produzione da energia di fissione (generazione quarta, neutronica etc.) e la produzione di energia da fusione (vedi punto precedente).

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 Turn-over nel breve periodo ed una sia pure ragionevole aumento della Pianta Organica nel medio periodo. Lo scopo è quello di immettere nuove generazioni di personale tecnico-scientifico nell'ENTE per favorire il consolidamento e lo sviluppo dei progetti già in cantiere. Si sottolinea inoltre come nel tempo le spese del personale stiano erodendo di anno in anno gli investimenti in ricerca che sono passati nel periodo 2002-2011 da 100 a ≈56 M€. Investimenti significativi come la realizzazione del progetto Super B introducono di fatto una prima inversione di tendenza rispetto al recente passato.

Nei primi mesi del 2011, a seguito del completamento delle procedure di attuazione del piano straordinario di assunzione dei ricercatori, di cui al D.M. 3.12.2008, sono state assunte a tempo indeterminato 37 unità di personale ricercatore, concretizzando così

l'ingresso in servizio di una nuova generazione di ricercatori fondamentale per il successo di iniziative che l'Istituto ha in cantiere a livello nazionale e internazionale.

Non si è potuto invece dar seguito all'avvio delle procedure ordinarie di reclutamento di cui ai piani di fabbisogno programmato per gli anni 2010 e 2011 (budget 2009 e 2010), non essendo ancora intervenute le prescritte autorizzazioni di legge: per tale motivo le assunzioni previste per detto biennio il cui avvio delle procedure dovrebbe essere autorizzato nel corso del 2012, sono state inserite nella programmazione di tale ultima annualità.

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 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'assunzione 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

Anno 2012

Profilo e Livello	Cassa integrazione ordinaria a partire da 01-12-2011	previdenza in servizio al 31-12-2011	RIBASSAMENTO DELLA DISTRIBUZIONE DEI PROFILI					Assegnazione ad attività di ricerca scientifica o di ricerca e sviluppo del profitto e sviluppo	Posti disponibili (n. di)	ASSEGNAZIONI PREVISTE				Costo complessivo assunzioni e rimborsazione Cassa integrazione ordinaria (n. di)	Collocamenti a tempo nell'anno		previdenza in servizio al 31-12-2012 (24-12-2011)
			Riduzione		Nuovo assunzione organica (n. di)	n.	costo			n.	costo	n.	costo		n.	costo	
			1	2													
Direttore Tecnico	1	0	1														
Direttore Tecnico	1	0	1														
Direttore di Ricerca	158	111	1			158										247.980,37	158
Primo Ricercatore	268	267	1			268										312.008,58	267
Ricercatore	224	214	0			224										152.107,25	214
Direttore Tecnologo	45	41	0			45										348.871,95	45
Primo Tecnologo	94	94	0			94										988.905,00	94
Tecnologo	114	114	0			114										112	114
CTER IV	337	337	0			337										347.987,35	337
CTER V	115	115	0			115										112	115
CTER VI	94	94	0			94										94	94
Op. tec. V	86	86	0			86										86	86
Op. tec. VI	12	12	0			12										12	12
Op. tec. VII	6	6	0			6										6	6
Auxiliario Tecnico VIII	0	0	0			0										0	0
Funz. Amm. IV	87	80	1			87										80	87
Funz. Amm. V	11	9	1			11										9	11
Coll. Amm. V	168	168	0			168										168	168
Coll. Amm. VI	57	57	0			57										57	57
Coll. Amm. VII	20	11	0			20										11	20
Op. Amm. VII	7	7	0			7										7	7
Op. Amm. VIII	2	0	0			2										0	2
<b>Totale</b>	<b>1.904</b>	<b>1.807</b>	<b>80</b>			<b>1.904</b>										<b>3.488.314,26</b>	<b>1.807</b>

(\*) Assunzioni che si prevede di effettuare con risorse derivanti da cessazioni anno 2009  
 (\*\*) Assunzioni che si prevede di effettuare con risorse derivanti da cessazioni anno 2010  
 (\*\*\*) Assunzioni che si prevede di effettuare con risorse derivanti da cessazioni anno 2011

Anno 2011

Profilo e Livello	Cassa integrazione ordinaria a partire da 01-12-2010	previdenza in servizio al 31-12-2010	RIBASSAMENTO DELLA DISTRIBUZIONE DEI PROFILI					Assegnazione ad attività di ricerca scientifica o di ricerca e sviluppo del profitto e sviluppo	Posti disponibili (n. di)	ASSEGNAZIONI PREVISTE				Costo complessivo assunzioni e rimborsazione Cassa integrazione ordinaria (n. di)	Collocamenti a tempo nell'anno		previdenza in servizio al 31-12-2011 (24-12-2010)
			Riduzione		Nuovo assunzione organica (n. di)	n.	costo			n.	costo	n.	costo		n.	costo	
			1	2													
Direttore Tecnico	1	0	1														
Direttore Tecnico	1	0	1														
Direttore di Ricerca	158	158	0			158											158
Primo Ricercatore	268	262	1			268											267
Ricercatore	224	214	0			224											214
Direttore Tecnologo	45	40	1			45											41
Primo Tecnologo	94	94	0			94											94
Tecnologo	114	114	0			114											114
CTER IV	337	337	0			337											337
CTER V	115	115	0			115											115
CTER VI	94	94	0			94											94
Op. tec. V	86	86	0			86											86
Op. tec. VI	12	12	0			12											12
Op. tec. VII	6	6	0			6											6
Auxiliario Tecnico VIII	0	0	0			0											0
Funz. Amm. IV	87	80	1			87											80
Funz. Amm. V	11	9	1			11											9
Coll. Amm. V	168	168	0			168											168
Coll. Amm. VI	57	57	0			57											57
Coll. Amm. VII	20	20	0			20											20
Op. Amm. VII	7	7	0			7											7
Op. Amm. VIII	2	0	0			2											0
<b>Totale</b>	<b>1.904</b>	<b>1.847</b>	<b>80</b>			<b>1.904</b>											<b>1.847</b>

(\*) Assunzioni che si prevede di effettuare con risorse non utilizzate negli anni 2010-2012  
 (\*\*) Assunzioni che si prevede di effettuare con risorse derivanti da cessazioni anno 2010

Risorse complessive con cui 2008-2011  
 Spesa complessiva assunzioni anno 2011  
 Spesa complessiva assunzioni anno 2011 in risorse finanziarie 2008-2011

4.807.937,94  
 2.898.516,20  
 1.809.421,74

352 34.198,84

Anno 2014

Profilo	Cassa integrazione ordinaria a partire da 01-12-2013	previdenza in servizio al 31-12-2013	RIBASSAMENTO DELLA DISTRIBUZIONE DEI PROFILI					Assegnazione ad attività di ricerca scientifica o di ricerca e sviluppo del profitto e sviluppo	Posti disponibili (n. di)	ASSEGNAZIONI PREVISTE		Costo complessivo assunzioni e rimborsazione Cassa integrazione ordinaria (n. di)	Collocamenti a tempo nell'anno		previdenza in servizio al 31-12-2014 (24-12-2013)	
			Riduzione		Nuovo assunzione organica (n. di)	n.	costo			n.	costo		n.	costo		
			1	2												3
Direttore Tecnico	1	0	1													
Direttore Tecnico	1	0	1													
Direttore di Ricerca	118	109	9			118										109
Primo Ricercatore	268	264	4			268										267
Ricercatore	224	224	0			224										224
Direttore Tecnologo	45	44	1			45										44
Primo Tecnologo	94	90	2			94										90
Tecnologo	114	114	0			114										114
CTER IV	337	328	9			337										327
CTER V	115	113	0			115										113
CTER VI	94	94	0			94										94
Op. tec. VI	86	84	0			86										83
Op. tec. VII	12	12	0			12										12
Op. tec. VIII	6	6	0			6										6
Auxiliario Tecnico VIII	0	0	0			0										0
Funz. Amm. IV	81	80	1			81										80
Funz. Amm. V	11	11	0			11										11
Coll. Amm. V	168	164	2			168										164
Coll. Amm. VI	57	57	0			57										57
Coll. Amm. VII	20	20	0			20										20
Op. Amm. VII	7	7	0			7										7
Op. Amm. VIII	2	0	0			2										0
<b>Totale</b>	<b>1.904</b>	<b>1.864</b>	<b>42</b>			<b>1.904</b>										<b>1.864</b>

(\*) Assunzioni che si prevede di effettuare con risorse derivanti da cessazioni anno 2013

**Assegni di ricerca**

Profilo	in servizio al 31-12-2011		2012		2013		2014				
	n.	costo	variazioni	in servizio al 31-12-2012	costo	variazioni	in servizio al 31-12-2013	costo	variazioni	in servizio al 31-12-2014	costo
Assegni per la collaborazione all'attività di ricerca	109	2.725.000,00		109	2.725.000,00		109	2.725.000,00		109	2.725.000,00

Tab. 7.2, 7.3: Programmazione delle assunzioni per gli anni 2012, 2013, 2014.

**Passaggi al livello superiore nel profilo (\*)**

		2012	2013	2014
CTER	IV		4	
CTER	V			
OP.TEC.	VI		4	
OP.TEC.	VII			
AUS.TEC.	VIII			
FUNZ.AMM.	IV		1	
COLL.AMM.	V			
COLL.AMM.	VI			
			9	

Tab. 7.4: Numero di posti a concorso per il triennio 2012-2014, per le progressioni economiche e i passaggi a livello superiore per il personale tecnico-amministrativo."

Le tabelle 7.2, 7.3 e 7.4 illustrano rispettivamente il piano delle assunzioni e i relativi costi, e i passaggi a livello superiore per gli anni 2012, 2013, 2014.

In attesa dell'applicazione delle nuove disposizioni di legge in materia di concorsi riservati al personale interno (D.vo 150/2009), l'Istituto è inoltre impegnato, vista l'importanza e la criticità della materia, a trovare, nelle sedi istituzionali opportune, una 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 dagli interventi legislativi del 2010. Tali interventi limitano le risorse, per gli anni 2012 e 2013 al 20 % e per il 2014 al 50% dell'ammontare degli stipendi del personale che ha cessato il servizio nell'anno precedente, con una limitazione ancora più incisiva se si tiene conto delle modalità di calcolo delle risorse liberate dal personale che cessa dal servizio, previsti dal D.M. del MIUR del 10.08.2011. Nella situazione presente di gravi carenze dell'organico, l'Istituto ha ritenuto prioritario, negli anni 2012, 2013, 2014, 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.

È altresì da sottolineare che l'Istituto, alla luce dell'approvazione del MIUR e del CIPE, ha iniziato la fase di pre-costruzione in vista della realizzazione della Super B-Factory.

L'Istituto è inoltre coinvolto in un numero significativo di progetti strategici, finanziati con fondi dell'Unione Europea, delle Regioni o con interventi governativi straordinari in ottemperanza di accordi internazionali.

Tali progetti coprono attività di primario interesse nazionale e riguardano:

- Lo sviluppo dell'infrastruttura GRID e l'istituzione di IGI
- 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)
- 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 attività hanno richiesto e richiedono nel breve periodo l'attivazione di contratti a tempo determinato (a carico di fondi esterni) durante la fase di progettazione e costruzione, e l'inserimento graduale di un numero ragionevole di personale a tempo indeterminato, per il mantenimento di infrastrutture e del *know-how* tecnologico, che è quantificabile intorno a un centinaio di unità a partire dai prossimi anni.

L'Istituto è altresì impegnato ad attivare le procedure concorsuali con cadenza biennale per il I° e II° livello dei profili di ricercatore e tecnologo, 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 7.4.

## 7.2 LE RISORSE FINANZIARIE

### EVOLUZIONE FINANZIARIA 2002 - 2010

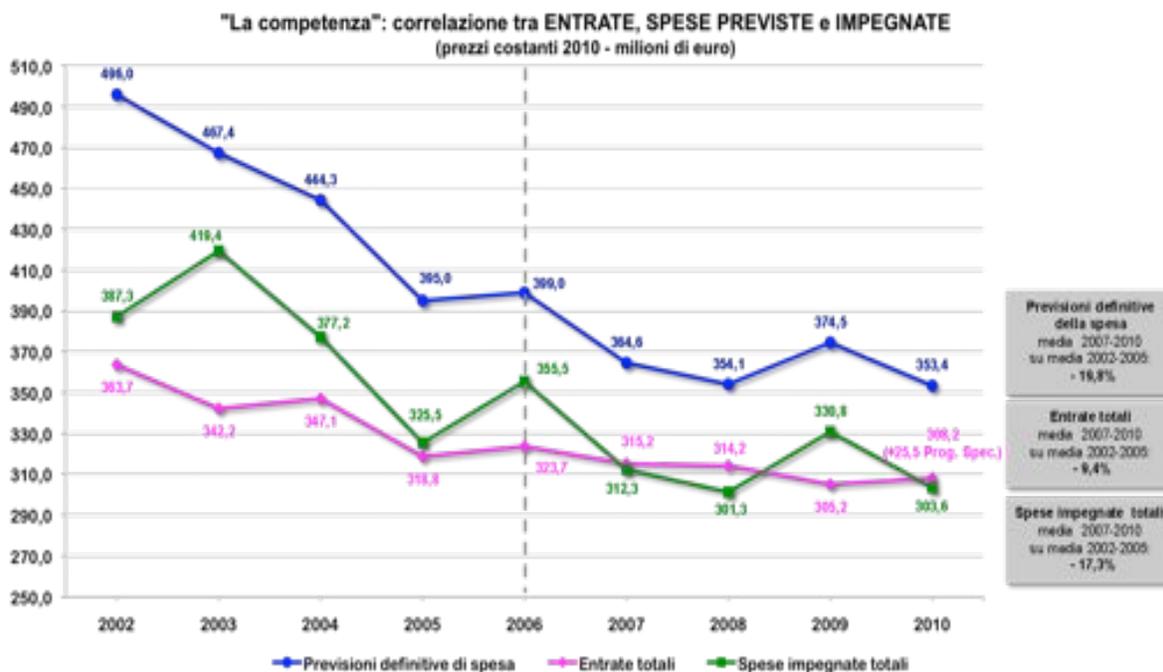
Allo scopo di presentare un quadro significativo delle Entrate, sulle quali l'Istituto ha potuto contare, e delle conseguenti Spese, tramite le quali ha finanziato la propria attività di ricerca, è qui analizzata una serie storica di dati tratti dai Bilanci consuntivi dell'Istituto degli ultimi esercizi, rettificati con il sistema dei "prezzi costanti"; in sostanza, sono stati eliminati gli effetti delle variazioni del potere di acquisto della moneta per lo studio delle variazioni in volume:

- adottando un unico sistema di prezzi riferito all'anno 2010, con l'applicazione dei seguenti coefficienti (Fonte: ISTAT):

Anno	Coefficiente	Anno	Coefficiente
2002	1,1645	2007	1,0562
2003	1,1366	2008	1,0231
2004	1,1144	2009	1,0155
2005	1,0958	2010	1,0000
2006	1,0743		

Tab. 7.5: coefficienti per un sistema unico di prezzi riferito all'anno 2010 (Fonte: ISTAT) :

- rendendo, conseguentemente, possibile comparare nel tempo le variazioni reali intervenute attraverso una serie di grafici per le principali tipologie di andamenti, nonché traendo spunti di riflessione per i prevedibili andamenti futuri (Tutti i confronti comparativi nel periodo sono presentati, rispetto alla mediana del 2006, evidenziando la media aritmetica semplice dei 4 anni dal 2007 al 2010 rispetto alla media aritmetica semplice dei 4 anni dal 2002 al 2005).



#### Evidenze:

Tutti gli andamenti evidenziano sistematiche riduzioni, c.s.:

- le Previsioni definitive di spesa diminuiscono del 19,8%;
- le Entrate totali accertate si sono erose del 9,4%; fra queste, i Trasferimenti dello Stato ordinari ed a destinazione specifica, dagli anni 2002-2005 agli anni 2007-2010, sono passati dal 94% al 92% delle Entrate totali; (si noti che, per essere comparabili con gli esercizi precedenti, le Entrate 2010 non includono i 25,5 milioni a destinazione specifica, comunicati nel dicembre 2010, fra i quali rilevano 19 milioni per SuperB);
- le Spese totali impegnate si connotano per un conseguente progressivo contenimento del 17,3%, con variazioni annuali molto accentuate, anche di segno opposto, sostanzialmente causate dalla assegnazione degli Avanzi pregressi e dal conseguente utilizzo negli anni successivi rispetto all'esercizio di origine; si noti che, negli anni in cui l'utilizzo degli Avanzi pregressi è maggiore, si registra un volume di spese impegnate superiore alle entrate accertate nell'esercizio specifico (c.d. "disavanzo di competenza").

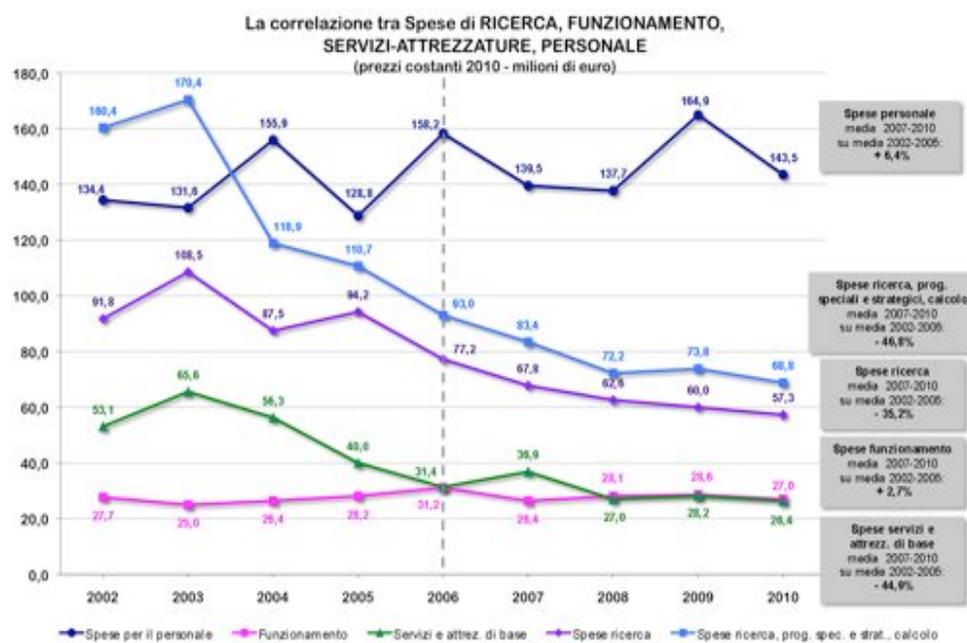
#### Commenti:

Nell'ambito della sistematica riduzione di risorse, emerge uno spazio temporale circa triennale nel reale impegno delle risorse disponibili per la spesa rispetto alle previsioni (picchi delle Spese totali nel 2003, 2006 e 2009), verosimilmente anche a conferma che la convenzionale "competenza" annuale sta stretta al ciclo produttivo della ricerca INFN.

Nondimeno, la progressiva erosione degli Avanzi disponibili, documentata in uno specifico grafico a seguire:

- fa venir meno una fonte storica di finanziamento su cui l'Istituto ha potuto contare da molti anni, e
- rende sempre più necessario affinare il processo previsionale, anche pluriennale, basato sugli stanziamenti annuali MIUR che costituiscono il limite strutturale alla spesa di base.

In questo senso, la riduzione di 35,6 milioni dell'assegnazione MIUR per la Previsione 2011 rispetto ai precedenti esercizi - con una parziale correzione migliorativa costituita dalla futura quota "premiale" - costituisce una forte accelerazione di questo processo.



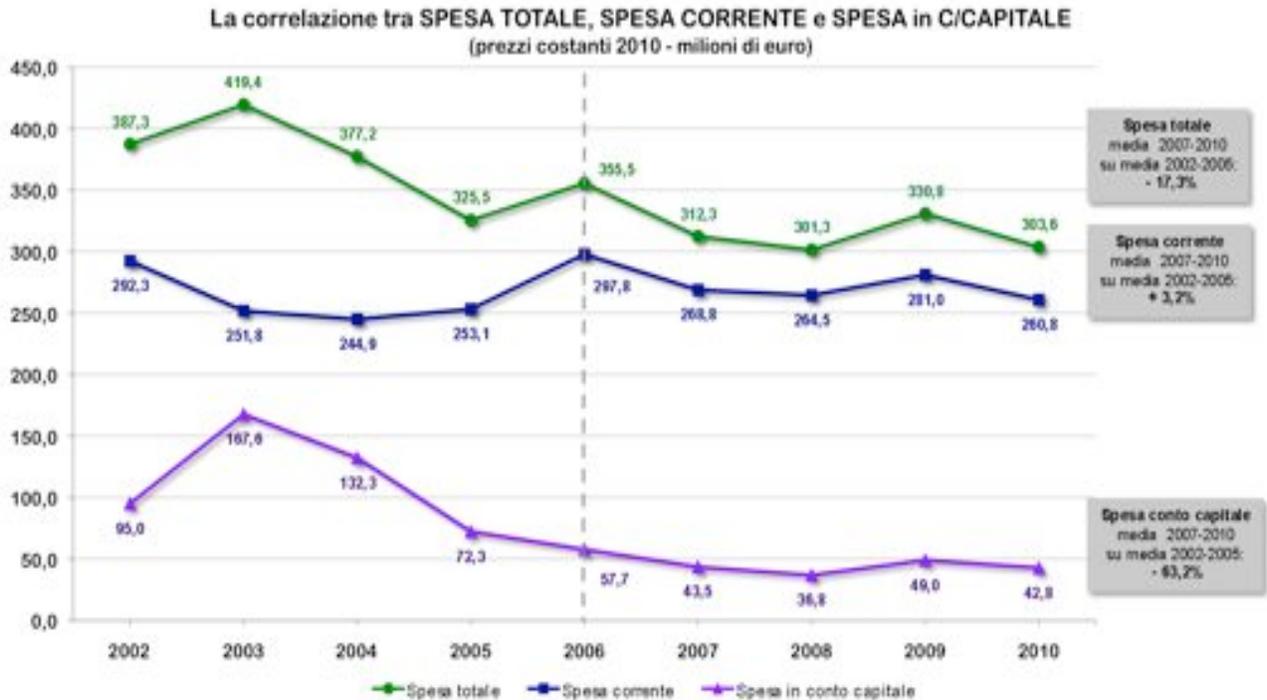
#### Evidenze:

- La Spesa per il Personale è incrementata del 6,4%, seppure in maniera non lineare, prevalentemente a causa degli effetti retroattivi dovuti ai ritardati rinnovi del CCNL (negli anni 2006 e 2009 i picchi di spesa sono stati così rilevanti da recare effetto visibile sull'andamento della spesa totale); l'incremento origina anche dalle assunzioni di nuovo personale, in gran parte finanziate con fondi diversi dai trasferimenti ordinari MIUR, come dettagliato negli ultimi 6 grafici di questa presentazione. L'incidenza della spesa per il personale sul totale delle spese – utilizzando le classificazioni uniformi evidenziate nei bilanci consuntivi degli anni considerati— è così salita dal 37% (media 2002-2005) al 47% (media dal 2007 al 2010).
- La Spesa per la Ricerca è presentata con due sintesi:
  - quella direttamente controllata dalle Commissioni scientifiche nazionali, che presenta un decremento del 35,2%;
  - quella inclusiva dei Progetti strategici e speciali e del Calcolo, che evidenzia una riduzione ancor più marcata del 46,8%.
- La Spesa per Servizi ed attrezzature di base presenta, anch'essa, un andamento decrescente del 44,9%, trattandosi di tipologie di spesa soggette a decisioni periodiche, di norma relative a forniture esterne, più facilmente comprimibili in presenza di una riduzione evidente nelle risorse disponibili.

- La Spesa per il Funzionamento presenta un andamento crescente (+2,7%), corrispondentemente all'effetto di trascinamento che l'ordinaria operatività reca con sé in una pluralità di articolazioni logistiche come quelle dell'INFN.

Commenti:

Si conferma la natura tendenzialmente variabile delle spese per la ricerca, che stanno sostenendo il carico maggiore derivante dalla compressione delle risorse complessivamente disponibili. Per altro verso, il costante incremento della Spesa per il Personale, unitamente a quello della Spesa per il Funzionamento, confermano l'esistenza di un solido trend in crescita, verosimilmente non modificabile se non mediante interventi sulle strutture e sull'organizzazione.



Evidenze:

- La Spesa in conto capitale presenta un andamento quasi costantemente decrescente (-63,2%), con picco contrario nel 2003/2004 dipendente dalle intense attività di investimento realizzate nel periodo (LHC, Fasci neutri al Gran Sasso, Virgo).
- La Spesa corrente presenta un incremento complessivo del 3,2%, con picchi nel 2002 per il progetto GARR e nel 2006 e 2009 prevalentemente causati dagli effetti dei rinnovi contrattuali.
- La Spesa totale decresce dell'17,3% come effetto netto dei due opposti andamenti rilevati nella Spesa in conto capitale ed in quella corrente.

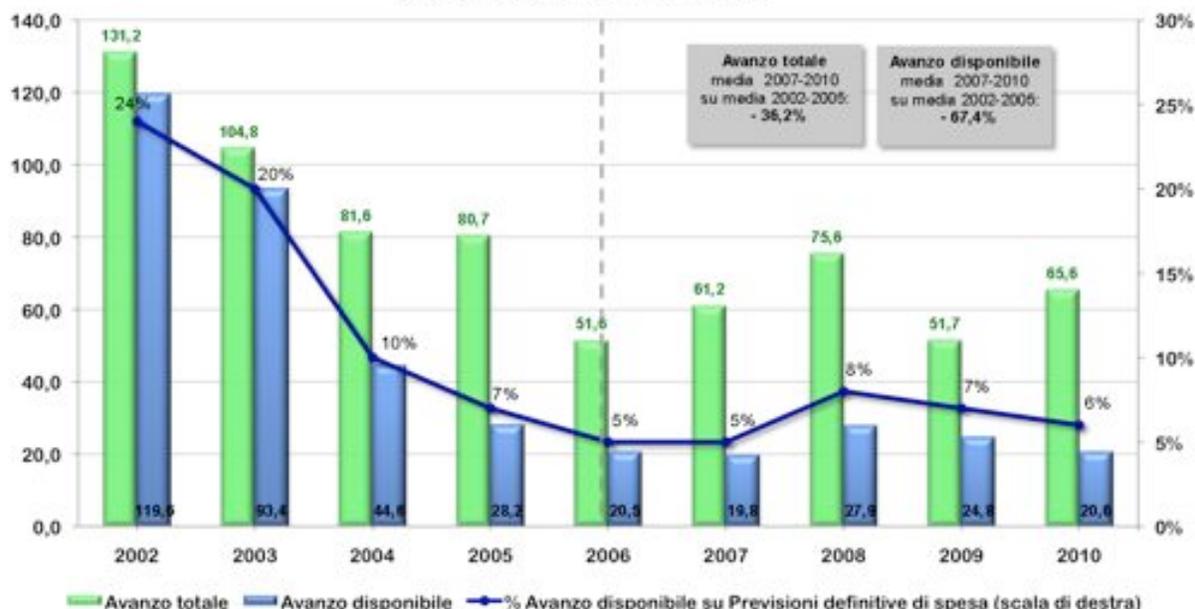
Commenti:

“Spesa in conto capitale” e “Spesa corrente” configurano due grandi agglomerati –che, di per sé, classificano tutte le spese a fini tipicamente contabili-- i cui andamenti, comunque, confermano che l’attuale struttura e funzionalità dell’Ente tendenzialmente assorbono risorse crescenti.

In tal modo, la riduzione espressa dalla spesa per interventi di tipo pluriennale – fra i quali spiccano quelli per la ricerca - oltre a scontare la contrazione complessiva delle Entrate, deve anche compensare una siffatta crescita per trascinamento delle spese correnti.



L'eredità agli esercizi successivi: AVANZO DI AMMINISTRAZIONE  
(prezzi costanti 2010 - milioni di euro)



Evidenze:

- L'istogramma evidenzia come, mentre l' Avanzo totale decrementa del -36,2%, l'Avanzo disponibile quasi raddoppia tale abbattimento raggiungendo un decremento di -67,4%.
- In percentuale sulle Previsioni definitive di spesa, l'Avanzo disponibile decresce costantemente fino all'esercizio 2005 per, poi, assestarsi su un range del 5%-8% dal 2006 fino al 2010.

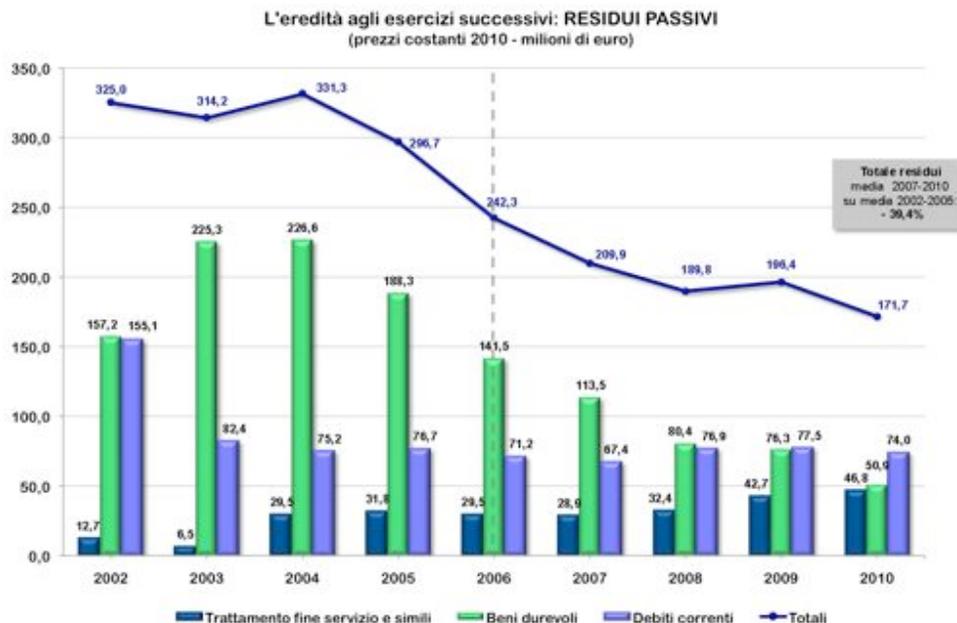
Commenti:

La dimensione dell'Avanzo si conferma essere finora una rilevante fonte di risorse, generata nell'esercizio di competenza e riassorbita in quelli successivi, specialmente il primo; esso dimostra quanto strutturale sia lo sfasamento temporale fra le assegnazioni "per competenza", tipiche della contabilità di Stato, e gli effettivi impieghi disposti in base ai progetti stabiliti.

Nondimeno, la sua progressiva erosione –soprattutto per la parte di Avanzo disponibile– chiaramente conferma una situazione progressiva in cui:

- la parte giuridicamente vincolata dell'Avanzo è dominante, lasciando parti residuali alla libera disponibilità ad integrazione delle previsioni di competenza;

- le Previsioni di competenza dovrebbero essere:
  - \* ragionate in ottica pluriennale e non solo sull'esercizio di 12 mesi, e
  - \* costruite in maniera analitica per singolo esperimento, progetto, struttura di funzionamento o linea di responsabilità attuativa.



#### Evidenze:

I Residui passivi (debiti verso terzi) scendono del 39,4%, seguendo un trend pressoché costante negli anni, per effetto dei seguenti andamenti contrapposti, evidenziati dall'istogramma:

- decremento dei debiti generati dall'acquisto di beni durevoli (costruzione apparati, macchinari, mobili,...);
- incremento del debito verso dipendenti per Trattamento fine servizio/rapporto;
- andamento fisiologico dei debiti correnti (spesa per consumi, servizi,...) riconducibile ad una media semplice di 84 milioni annui.

#### Commenti:

I residui passivi si riferiscono a impegni di spesa, in sostanza, riconducibili a tre diverse nature:

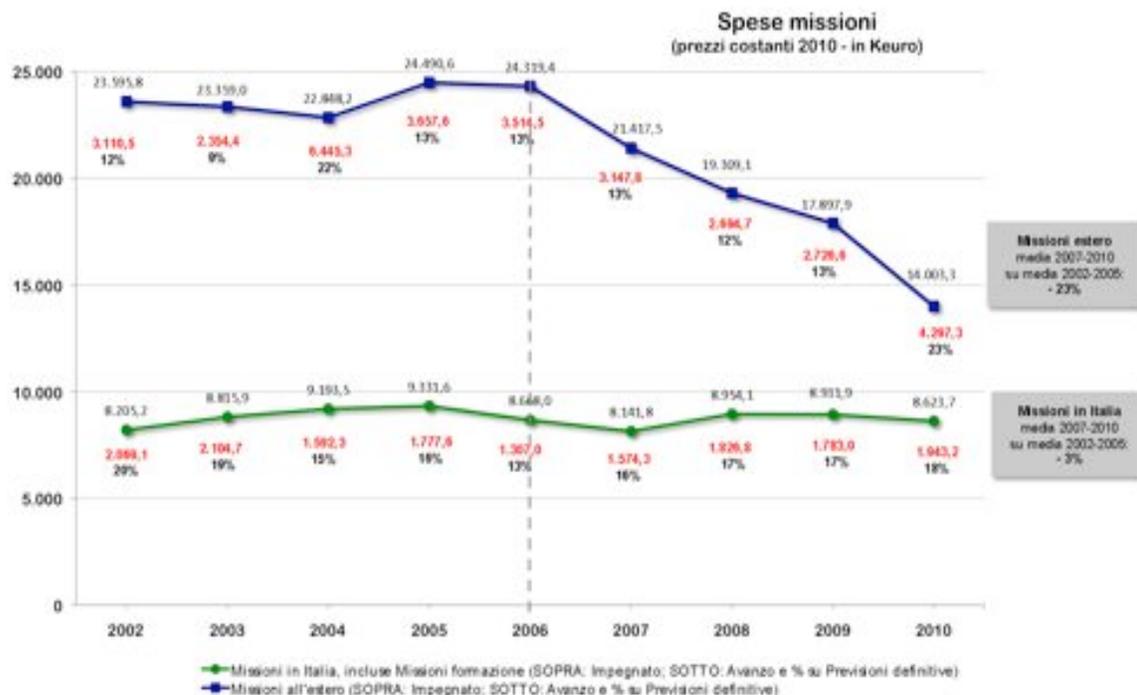
- impegni per i quali è prossimo il ricevimento del bene/servizio acquistato e, quindi, è prossimo anche il pagamento, con la relativa chiusura del residuo; in presenza di disponibilità di cassa, tali residui hanno vita breve;
- impegni per acquisti di beni durevoli e immobilizzazioni tecniche, nonché per il trattamento di fine rapporto del personale, il cui effettivo pagamento avverrà nel medio/lungo termine;
- impegni su procedure in via di espletamento (inclusi i c.d. "impegni di stanziamento") per i quali, ove a fine esercizio non siano state assunte obbligazioni di spesa verso terzi, è

normativamente prevista la rilevazione di un'economia di bilancio con generazione di avanzo; di fatto, essi tendono a restare in vita oltre la fine dell'esercizio.

Il decremento costante dei debiti verso terzi rilevato negli anni esaminati:

- è stato reso concretamente possibile anche dal venir meno delle forti limitazioni di cassa conosciute negli anni passati, ma
- sostanzialmente evidenzia un rallentamento nell'attività di costruzione di nuovi esperimenti per la quale dall'assunzione dell'"impegno" al relativo pagamento trascorre un tempo fisiologicamente più lungo.

Nel 2010 si è, comunque, proceduto ad una rilevante "pulizia" di residui storici non più giustificati.



#### Evidenze:

- Le missioni estero decrescono del 23%, con forte accentuazione nel 2010 per effetto dell'eliminazione delle diarie a partire da giugno (numeri sopra rette); nonostante ciò, mantengono significativi avanzi rispetto alle assegnazioni iniziali, sia in valore assoluto sia in percentuale (numeri e % sotto rette).
- Le missioni Italia decrescono del 3% mantenendo, tuttavia, un trend sostanzialmente lineare nel tempo; ciò anche con riferimento agli avanzi rispetto alle assegnazioni iniziali.

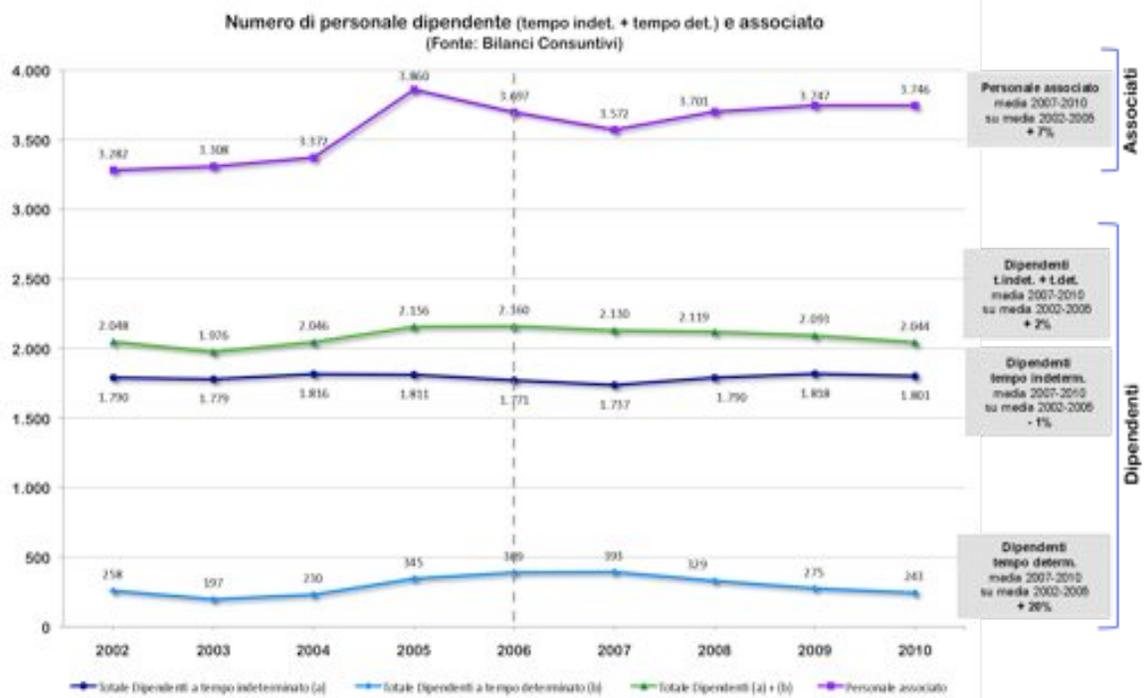
#### Commenti:

Siamo in presenza di una forte riduzione complessiva delle spese per missioni:

- già sostanzialmente emersa per le missioni estero, sia per le minori attività realizzate sia, nel 2010, per le disposizioni di legge,
- prevista nel 2011 anche per le missioni Italia, per le medesime disposizioni di legge.

In questa situazione - in presenza di una diffusa, lamentata insufficienza di disponibilità sulle missioni - sembrerebbe strano il permanere di cospicui avanzi rispetto alle assegnazioni iniziali, sia in valore assoluto sia in percentuale, talvolta considerato fisiologico.

Al proposito, volendosi mantenere l'assegnazione specifica delle missioni ai singoli esperimenti/unità organizzative, si dovrebbero almeno adottare prassi per giungere ad una maggiore rapidità sia nell'approvazione degli storni sia nell'emissione dei mandati; in tal senso, il nuovo regolamento di amministrazione ed il "mandato informatico" potrebbero recare significativi benefici.



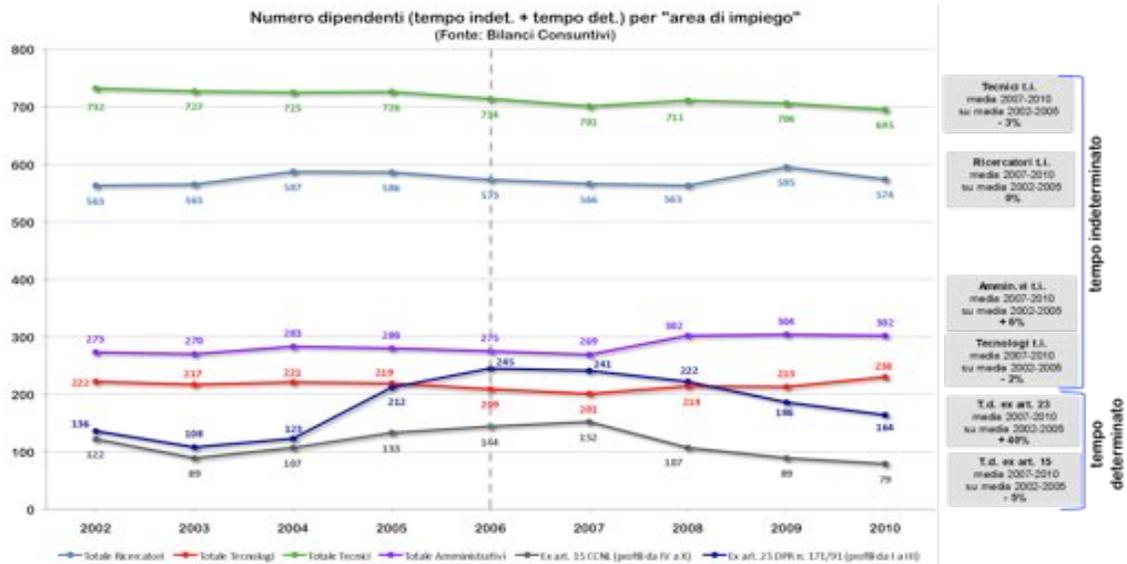


Fig. 7.6 a): Evoluzione temporale del personale dipendente a tempo determinato, indeterminato e associato

Fig. 7.6 b): Evoluzione temporale del numero di dipendenti per "area di impiego"

#### **IL PROFILO TRIENNALE DELLE RISORSE DISPONIBILI E DELLA SPESA 2012-2014**

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)-- in sintesi consistente in:

- lo 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”;
- la conseguente assegnazione strutturalmente ridotta per il 2012, equivalente all’assegnazione ordinaria per il 2011 ma pari all’87% di quella stabilita per il 2010 che, per INFN, significa una riduzione di 32,2 milioni di euro (da 273,8 nel 2010 a 241,6 nel 2011 e 2012).

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 2012 anche per i due esercizi successivi; ad essa è aggiunta un’assegnazione premiale nell’ordine del 10%, derivante dal raggiungimento di obiettivi specifici posti dal MIUR, ed un’assegnazione vincolata per “progetti bandiera” interamente assorbita da corrispondenti spese.

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.: Conceptual Design report, R&D, Technical Design Report, Ingegnerizzazione, 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 2012.

Come evidenziato nella seguente tabella 2.17 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:

Tipologia di spesa	% sul totale 2010	Variazione Media 2007-2010 su media 2002-2005 (valori costanti 2010)	Caratteristiche salienti ai fini della previsione pluriennali
--------------------	-------------------	--	---

Personale	55%	+6,4%	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 sta determinando l'interruzione di questo trend. Nella sostituzione del turn-over si dovranno concentrare le nuove assunzioni su ricercatori e tecnologi.
Funzionamento	11%	+2,7%	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 razionalizzare delle strutture e semplificazione delle prassi di lavoro.
Ricerca (senza personale)	23%	-46,8%	La contrazione passata delle Entrate (-9,4% nel periodo medio 2007-2010 rispetto al medio 2002-2005, a "valori costanti" 2010) è stata, sostanzialmente, assorbita da minori spese per la ricerca e per Attrezzature e Servizi. Per il futuro si dovrà quanto meno recuperare maggiori livelli di efficienza, in tutti i settori, liberando risorse per la ricerca.
Attrezzature e Servizi	11%	-44,9%	
	100%		

Tab. 7.7: Profilo di spesa per Ricerca, Personale, Funzionamento, Attrezzature e Servizi.

#### 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:

	2012	2013	2014
Spese per il funzionamento	13.300	13.200	13.100
Spesa per il personale amministrativo	12.748	12.700	12.600
Sistema informativo	1.200	700	400

Tab. 7.8: Profilo di Spesa amministrativa per il triennio 2012 - 2014.

La seguente tabella 7.9 illustra le risorse disponibili relativamente al triennio 2012 - 2014.

#### RISORSE FINANZIARIE DISPONIBILI 2011-2013

(in milioni di euro)

2012	2013	2014
------	------	------

<b><u>ENTRATE:</u></b>			
Assegnazione ordinaria MIUR	241,46	238,17	238,17
Assegnazione premiale MIUR	-	23,82	23,82
Assegnazione vincolata MIUR	-	45,00	55,00
Entrate diverse	3,17	3,66	3,66
Totale Entrate	244,63	310,65	320,65

<b><u>SPESE:</u></b>			
<b><u>ATTIVITÀ DI RICERCA:</u></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
<u>Progetti strategici, speciali ed altre iniziative specifiche</u>	7,75	7,75	7,75
Progetti finanziati specificamente MIUR:			
ITER e Broader Approach			
Agenzia Fusion for Energy			
IGI - EGI			
Km3Net			
SuperB			
	-	45,00	55,00
Totale Ricerca	56,41	101,41	111,41
<b><u>FUNZIONAMENTO STRUTTURE:</u></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		
Totale Funzionamento	37,96	37,96	37,96
<u>FONDI CENTRALI E PARTECIP. A CONSORZI</u>			
(include Energia elettrica e Contributi a altri Enti di ricerca)	3,18	22,31	22,31
<u>PERSONALE</u>	145,00	146,89	146,89
<u>FONDO DI RISERVA</u>	2,08	2,08	2,08
Totale Spese	244,63	310,65	320,65

Tab. 7.9: Profilo di spesa relativo al triennio 2011-2013.

### 7.3 IL CONTRIBUTO DEL PERSONALE ASSOCIATO

Il ruolo ed il contributo del personale associato all'INFN è stato ampiamente evidenziato – nel caso di gran lunga prevalente costituito dal personale universitario – nel capitolo 6. La collaborazione alle ricerche dell'Ente da parte del personale associato, anche non universitario, si esplica nelle attività scientifiche coordinate dalle commissioni scientifiche nazionali e nei progetti strategici e speciali, nei progetti europei e in particolare nei progetti congiunti con altri Enti (vedi capitolo 3), sostenuti quasi sempre da specifici accordi e convenzioni (vedi capitolo 5). Si riporta in tabella 7.9 il quadro completo delle associazioni aggiornato al 21 febbraio 2011.

L'ampiezza e la qualità del contributo del personale associato alle ricerche dell'INFN, in particolare quello universitario, costituisce un eccellente esempio di sinergia fra accademia e enti di ricerca, previsto anche dal Decreto di riforma degli Enti Pubblici di Ricerca, nonché un elemento fondante del successo delle attività nel contesto nazionale e mondiale.

incarichi di Associazione	Totale Associazioni
Scientifica Ricercatori/Professori università	<b>497</b>
Scientifica Professori a Contratto	<b>16</b>

Scientifica Dipendenti altri enti	<b>130</b>
Scientifica Istituti secondari	<b>48</b>
Scientifica Enti stranieri (FAI)	<b>4</b>
Scientifica Enti stranieri	<b>59</b>
Scientifica Consorzi Ricerca	<b>0</b>
Scientifica Laureandi Magistrali	<b>174</b>
Scientifica Borse INFN	<b>108</b>
Scientifica Dottorandi, Borse non INFN e Assegni	<b>861</b>
Scientifica Borse Private	<b>1</b>
Scientifica Specializ. Fis. Sanitaria	<b>10</b>
Scientifica Contratti a tempo det. 19	<b>12</b>
Scientifica Personale E.P.	<b>2</b>
Scientifica Senior	<b>216</b>
Scientifica Master	<b>5</b>
Scientifica attribuita dal Presidente	<b>47</b>
Tecnologica Contratti a tempo det. 19	<b>4</b>
Tecnologica Ricercatori/Professori università	<b>106</b>
Tecnologica Altri Enti (laurea o diploma univ.)	<b>26</b>
Tecnologica Laurea Magistrale	<b>14</b>
Tecnologica Borse INFN	<b>83</b>
Tecnologica Dottorandi, Borse non INFN e assegni	<b>136</b>
Tecnologica Consorzi ricerca	<b>3</b>
Tecnologica Personale E.P.	<b>12</b>
Borsisti INFN per Estero	<b>0</b>
Incarico di Ricerca scientifica	<b>818</b>
Incarico di Collaborazione Tecnica	<b>104</b>
Incarico di Ricerca attribuito dal Presidente	<b>15</b>
Incarico di Ricerca tecnologica	<b>34</b>
Associazione Tecnica	<b>119</b>
Associazione Tecnica Senior	<b>28</b>

TOTALE

3692

Tab. 7.10: Distribuzione del personale associato all'INFN al 31-12-2011

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

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.

Nel 2011 sono state bandite:

- 20 borse di formazione tecnica per giovani diplomati;
- 3 borse di formazione e studio per attività amministrativo-gestionali per diplomati;
- 21 borse di studio per laureandi;
- 20 borse di studio per neolaureati;
- 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);
- 1 borsa per la comunicazione esterna e divulgazione scientifica;
- 2 borse per neolaureati in ambito informatico;
- 45 posizioni di *Associate (associated member of the personnel)* presso il CERN nell'ambito degli esperimenti a LHC;
- 82 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.**

Del ruolo e del coinvolgimento dell’Istituto nelle università si è già detto (vedi capitolo 6). Per la formazione dei giovani sono altrettanto essenziali le numerose iniziative e attività con le scuole (vedi ad es. il progetto EEE al paragrafo 3.10), di comunicazione e di diffusione della cultura scientifica attraverso mostre, eventi, seminari, come è descritto in dettaglio nel successivo capitolo 8, organizzate sia a livello centrale sia a livello dei laboratori nazionali e delle singole strutture.

## **7.5 ATTIVITÀ DEL COMITATO UNICO DI GARANZIA (CUG)**

### **DAI COMITATI PER LE PARI OPPORTUNITÀ (CPO) AI COMITATI UNICI DI GARANZIA**

Con la nascita dei Comitati per le Pari Opportunità (CPO), costituiti nel pubblico impiego grazie alla contrattazione collettiva, le “misure per favorire pari opportunità nel lavoro” sono entrate a far parte delle materie oggetto della contrattazione decentrata (ad es. i contratti collettivi degli enti pubblici non economici). Sino all’entrata in vigore della legge 183/2010 non esistevano però disposizioni che disciplinassero l’istituzione ed il funzionamento di tali Comitati.

In tale contesto i CPO hanno avuto un ruolo di riflessione e propositivo nell’individuazione di azioni in favore del personale, per tutelare *la dignità della persona e migliorare la qualità della vita lavorativa attraverso una più efficace e sensibile valorizzazione delle capacità di tutte le persone*, coinvolgendole nel processo di trasformazione del modello organizzativo dell’amministrazione.

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 (CUG) 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* ed ampliandone i compiti. Il CUG, le cui *modalità di funzionamento sono disciplinate da linee guida contenute nella direttiva (art. 21, legge 4 novembre 2010, n. 183), ha compiti propositivi, consultivi e di verifica e opera in collaborazione continua con l'amministrazione di appartenenza*. Il CUG si afferma come soggetto del tutto nuovo che ha il compito di assicurare nell'ambiente di lavoro parità e pari opportunità di genere, rafforzando la tutela dei lavoratori e delle lavoratrici e garantendo l'assenza di qualunque forma di violenza morale o psicologica e di discriminazione, diretta e indiretta, relativa al genere, all'età, all'orientamento sessuale, all'origine etnica, alla disabilità, alla religione e alla lingua.

Ai Comitati è richiesto di mettere a fuoco i problemi concreti che ostacolano la parità, formulare proposte ed attuare iniziative inerenti le parità e le pari opportunità (piani di azioni positive, promozione di iniziative per il potenziamento delle politiche di conciliazione vita/privata lavoro, etc).

Di fondamentale importanza per il funzionamento del Comitato è che i pareri, nelle proprie materie di pertinenza, vengano chiesti dall'amministrazione in via preventiva, come ad esempio nei progetti di riorganizzazione dell'ente, per i piani di formazione del personale, per la definizione dei criteri di valutazione del personale.

Per la prima volta *la questione della parità e delle pari opportunità entra a pieno titolo in una normativa di carattere generale tra i fattori che condizionano il funzionamento organizzativo dell'amministrazione pubblica*.

Il CUG dell'INFN è stato istituito nell'aprile del 2011

#### **LE AZIONI POSITIVE**

Il CUG ha promosso un Piano Triennale di Azioni Positive relativo al triennio 2011-2013. Sul solco del percorso già tracciato dal CPO nei PTAP precedenti (2002-04; 2005-07; 2008-10), la proposta del CUG per il PTAP 2011-2013 indica un ristretto numero di misure e comportamenti, contenuti nei concetti di *mainstreaming* ed *empowerment* (che l'amministrazione potrà adottare con propri atti regolamentari per assicurarne stabilmente l'applicazione) che si ritengono particolarmente rilevanti e prioritari:

- Valorizzazione delle Risorse Umane
- Elaborazione di una strategia delle risorse umane per i ricercatori
- Statistiche di genere e generazionali
- Promozione della cultura di genere
- Salute e benessere organizzativo

### 1. Valorizzazione delle Risorse Umane

Promuovere la presenza femminile nei livelli decisionali e monitorare il raggiungimento dell'obiettivo del 25% richiesto dalla Commissione Europea.

Istituzione di una banca dati per ogni concorso con i curricula dei concorrenti e dei commissari. Rendere i curricula pubblici all'interno del portale INFN. Inserimento nel bando di concorso del richiamo alle leggi italiane che a parità di eccellenza preferiscono le donne.

Rendere visibili le competenze riconosciute per l'attribuzione di responsabilità e di incarichi e per accrescere l'oggettività delle valutazioni nell'espletamento dei concorsi.

Rendere pubblici i curricula di tutti i dipendenti all'interno del portale INFN.

Identificazione delle buone/non-buone prassi per la promozione della partecipazione delle persone alla strategia scientifica e organizzativa dell'Istituto.

Individuazione di buone prassi per prevenire o rimuovere situazioni di discriminazioni o violenze sessuali, morali o psicologiche nell'Istituto.

### 2. Elaborazione di una strategia delle risorse umane per i ricercatori

Sulla base della "Human Resources Strategy for Researchers", messa a punto dalla Commissione Europea COM (2008 317 *final*) per l'attuazione della Carta Europea dei Ricercatori e del Codice di Condotta, si richiede l'elaborazione di una strategia delle risorse umane (HRS) dell'Ente. La verifica dell'attuazione dell'HRS e valutazione della necessità di eventuali modifiche viene effettuata massimo ogni due anni.

Il CUG ritiene che la parità di genere e le pari opportunità debbano entrare fra i fattori che condizionano il funzionamento organizzativo dell'Ente e, conseguentemente, essere oggetto di valutazione da parte del CIV.

Come primo passo in tale direzione, si richiede la valutazione da parte del CIV sulla congruità degli obiettivi definiti nella HRS dell'Ente rispetto alla Carta Europea dei Ricercatori e del Codice di Condotta e sui progressi conseguiti nel loro raggiungimento,

secondo le indicazioni della “Human Resources Strategy for Researchers“, messa a punto dalla Commissione Europea COM (2008 317 final).

### 3. Statistiche di genere e generazionali

Per l'individuazione delle criticità di genere e generazionali, con particolare riferimento al differenziale retributivo, sono necessarie analisi dei dati del personale attraverso statistiche di genere e generazionali. Il CUG richiede l'inserimento del parametro di genere, ove manchi, in tutti i dati dell'Istituto e analisi dei dati, quali ad esempio quelli del conto annuale, divisi per fascia di età, sulle assunzioni e passaggi di livello, sulla composizione delle commissioni di nomina dirigenziale ed elettive.

In tale contesto il Comitato

Pubblicazione di una brochure annuale con l'analisi dei dati del personale.

### 4. Promozione della cultura di genere

Per la formazione-informazione del personale ai vari livelli, compresa la dirigenza, si dovranno organizzare dei corsi di formazione, seminari e workshop sulle normative e strategie italiana ed europea relative alle tematiche di genere.

Si prevedono dei moduli didattici per la promozione della cultura di genere da inserire nei corsi di formazione nazionali dell'Istituto.

### 5. Salute e benessere organizzativo

Il Testo Unico in materia di Sicurezza (D.Lgs n. 106/09, già D.Lgs. 81/08) pone tutti gli attori del sistema salute e sicurezza di fronte all'obbligo-opportunità di tener conto delle peculiarità legate al genere, all'età, alle provenienze geografiche e culturali dei destinatari degli interventi di prevenzione. Nonostante ciò, l'approccio d'intervento e le prassi operative in tema di salute e sicurezza sul lavoro sono, a oggi, da ritenersi ancora di tipo “neutrale rispetto al genere”, benché gli interventi e le scelte che appaiono neutrali rispetto al genere possano avere un diverso effetto sulle donne e sugli uomini, anche quando tale effetto non è voluto né previsto.

In tale contesto il Comitato si adopererà per l'adozione di programmi di miglioramento della sicurezza e salute sul lavoro, con particolare riguardo alla valutazione del rischio in ottica di genere e riguardo alle fonti di stress lavoro-correlato (lavoro in correlazione con la commissione CNPISA) .

Nella prospettiva di rispetto dei citati obblighi di legge, nel 2006 l'INFN promuove il progetto "Benessere organizzativo e management", proposto dalla Consigliera di Fiducia e sostenuto dal CPO prima e dal CUG poi, che consiste nella realizzazione di una indagine tesa a valutare la percezione dei lavoratori riguardo il grado di benessere organizzativo vissuto nelle Strutture. L'indagine di clima, effettuata tramite il questionario Magellano del Dipartimento della Funzione Pubblica, è iniziata nel 2007 e si concluderà nel 2012 interessando tutte le sezioni e laboratori dell'ENTE. Dalla fine del 2011, si sta affiancando all'analisi di clima la presentazione dei dati sullo stress da lavoro correlato

Nel 2012 verrà presentato e preparato un documento di analisi finale che servirà inoltre da punto di partenza per l'elaborazione di linee guida uniche (stress e benessere) a cura di un opportuno gruppo di lavoro della commissione CNPISA, in collaborazione con componenti del CUG.

Oltre all'elaborazione di un Piano di Azioni Positive (nel senso sopra descritto), il CUG avrà la funzione di :

- verificare il raggiungimento degli obiettivi previsti;
- valutare la strategia dell'Istituto per il raggiungimento della parità di genere;
- valutare l'impatto di genere nell'attività gestionale e scientifica dell'Istituto.

#### **IL PROGETTO EUROPEO GENIS LAB – THE GENDER IN SCIENCE AND TECHNOLOGY**

L'INFN, in qualità di partner del progetto GENIS LAB (Support Actions, FP7-Science in Society-2010-1), è stato coinvolto in un programma di lavoro condiviso con gli altri partners europei: Fondazione Brodolini, Associazione Donne e Scienza (Italia), International Training Centre of the International Labour Organization (U.N.) Blekinge Tekniska Hogskola (Svezia), Faculty of Technology and Metallurgy Univ. of Belgrade (Serbia), Kemijski Institut (Slovenia), Leibniz Inst. Fur Polymerforschung Dresden E.V. (Germania), Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Cientificas (Spagna). Il progetto, della durata di 48 mesi, è iniziato a gennaio 2011 e si propone di realizzare alcuni cambiamenti strutturali nelle organizzazioni scientifiche coinvolte, al fine di superare i fattori che limitano la partecipazione delle donne nella ricerca attraverso la promozione di azioni comuni e lo scambio di *best practices* e metodologie innovative per la promozione del *mainstreaming* nella scienza. Il progetto opererà su tre livelli: a) a livello della struttura organizzativa promuovendo cambiamenti strutturali interni per sostenere una più equa partecipazione

delle donne; b) a livello socio-ambientale attraverso campagne di comunicazione e sensibilizzazione contro gli stereotipi che influenzano il rapporto delle donne con la scienza; c) a livello europeo promuovendo un network e un reciproco scambio di esperienze, buone prassi ed efficaci strumenti gestionali tra le organizzazioni scientifiche coinvolte. La prima fase, coordinata dall'ITC-ILO, ha realizzato un 'Participatory Gender Audit' dei 6 partners scientifici, che stanno ora approfondendo lo studio dei punti di forza e dei punti di debolezza emersi per ciascuna istituzione, al fine di procedere alla pianificazione delle azioni di miglioramento. Per approfondimenti: [www.genislab-fp7.eu](http://www.genislab-fp7.eu)

#### **IL FUTURO DELLE P.O.: DALLA TUTELA ALLA VALORIZZAZIONE IN CONNESSIONE CON LE POLITICHE EUROPEE**

In una società come quella attuale articolata e complessa, pluralista, multi-etnica e sempre più diversificata al suo interno, appare ineludibile porre attenzione alle differenze e pensare ai valori della convivenza in una dimensione molto più vasta rispetto al passato in una visione di impegno concreto contro le discriminazioni e le prevaricazioni. La diversità di genere rappresenta la prima e più immediata delle differenze in quanto dalla capacità di rapportarsi positivamente valorizzando i ruoli distinti propri del mondo maschile e femminile si misura anche la capacità di sviluppo della società stessa.

Contemporaneamente l'UE, nel riconoscere che la ricerca e l'innovazione sono strumenti indispensabili alla crescita e alla sostenibilità per vincere le sfide globali e della società, (Strategia Europa 2020), ha proposto tramite la Commissione esecutiva la Strategia per la parità tra donne e uomini (2010-2015) adottata dalla stessa Commissione il 21 settembre 2010. In essa si afferma che "per realizzare gli obiettivi della strategia Europa 2020, cioè una crescita intelligente sostenibile e inclusiva, è imperativo fare appello più largamente e più efficacemente al potenziale delle donne e alla loro riserva di talenti".

In linea con ciò, la strategia alla base dell'intero 8°PQ avrà come obiettivo generale quello di "rafforzare la presenza delle donne, valorizzare i loro talenti e promuovere l'effettiva parità di genere nel mondo scientifico". Questa strategia prevede due grandi ambiti di intervento:

- la modifica dei modelli culturali e comportamentali all'interno del mondo scientifico e della ricerca
- la predisposizione di servizi che consentano di conciliare vita familiare e professionale con un'attenzione particolare alle fasi iniziali della carriera.

Al fine di concretizzare gli strumenti normativi esistenti e futuri occorre un salto di qualità, possibile solo a condizione di riuscire ad integrare la dimensione della parità e delle pari opportunità a tutti i livelli: nelle organizzazioni, nella vita e nella società.

Si richiede dunque anche all'INFN un rinnovato impegno per la parità tra donne e uomini attraverso il potenziamento della prospettiva di genere in tutte le sue politiche. In particolare, è necessario un approccio diversificato alla gestione delle risorse umane, finalizzato alla creazione di un ambiente di lavoro inclusivo che favorisca l'espressione del potenziale individuale e lo utilizzi come leva strategica per il raggiungimento degli obiettivi organizzativi.

L'elaborazione del Piano di Azioni Positive si caratterizza per essere rivolta a tutti coloro che lavorano nell'Istituto superando la tradizionale concezione che vede le azioni positive rivolte esclusivamente alle lavoratrici, ritenendo opportuno privilegiare *azioni trasversali*, che partendo dalle esigenze delle donne, si possano estendere agli uomini. In particolare per le istituzioni scientifiche si passa da 'donne e scienza' a 'genere e scienza'.

Attraverso l'applicazione del Piano, si vuole attuare nell'INFN un processo di cambiamento, che ha lo scopo di valorizzare e utilizzare pienamente il contributo unico che ciascun dipendente può portare. Contributo che scaturisce dalla possibilità di ogni persona di sviluppare e applicare, all'interno dell'organizzazione, uno spettro ampio e integrato di abilità e comportamenti che ne riflettono il genere, la nazionalità, l'età, il background e l'esperienza. L'obiettivo di questo approccio 'inclusivo' è di fare in modo che il risultato finale sia maggiore della somma delle parti che compongono l'organizzazione (*Diversity Management*).

Ulteriore esempio a riguardo è il tema della garanzia di pari opportunità in favore di persone con problemi di lavoro di cura, al fine di consentire la conciliazione tra vita professionale e vita familiare e la redistribuzione tra i generi dei ruoli professionali e familiari con misure adeguate (flessibilità, telelavoro, etc.).

Un metodo quantitativo essenziale per evidenziare possibili criticità nell'Ente è rappresentato dalle analisi dei dati del personale svolte attraverso statistiche di genere e generazionali che rappresentano. In questo ambito può essere opportuno citare il CNRS che da due anni pubblica un opuscolo "La parité dans le métiers du CNRS" allo scopo di comparare la situazione degli uomini e donne all'interno dell'ente per poter individuare

quelle pratiche o comportamenti che sfavoriscono le persone, uomini e donne, aventi aspirazioni definiti come appartenenti al genere femminile.

Infine ,punto fondamentale in questo processo di cambiamento sarà anche l'adozione di "buone prassi" che rappresentino l'ampliamento del normativa italiana vigente in ottica europea e siano di stimolo per altri enti di ricerca, quali:

- l'adozione di piani di rientro al lavoro e affiancamento per le giovani madri , in un'ottica di sostegno alle carriere femminili nelle prime fasi della vita lavorativa;
- la presenza di donne in tutte le commissioni di concorso e decisionali dell'ENTE
- il superamento di un linguaggio sessista e di espressioni che possano offendere l'identità di genere in tutti i documenti dell'ENTE a partire dai bandi di concorso (Il linguaggio assume un ruolo importante nella riproduzione delle disparità fra i generi tanto da alimentare gli stereotipi di genere, il pregiudizio e la discriminazione.)

## **7.6 GLI SCAMBI INTERNAZIONALI DEL PERSONALE DI RICERCA**

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.

### **FONDO AFFARI INTERNAZIONALI (FAI)**

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



Fig.7.3 : Ricercatori stranieri ospiti presso strutture INFN (FAI) nel 2009 per un totale di 447



Fig. 7.4: Accordi bilaterali in vigore per scambi borsisti.

#### **BORSE PER LO SCAMBIO DEI RICERCATORI**

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 7.4).

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

*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 (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.

5) 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.

## 7.7 LE ATTIVITÀ DI FORMAZIONE E DI INFORMAZIONE DEL PERSONALE

### LA FORMAZIONE E LO SVILUPPO DELLE RISORSE UMANE NELL'INFN TRA PASSATO E FUTURO

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)). Ma la sfida è di migliorare ancora, armonizzando sempre più da un lato le potenzialità delle persone che “sono” l'INFN e dall'altro le esigenze operative e le sfide di eccellenza che attendono il nostro Istituto. I successi, nella ricerca come in qualsiasi altro campo, si ottengono nella misura in cui si migliorano le relazioni umane, la capacità di “fare squadra”, consentendo a ciascuno di mettere in campo le migliori potenzialità di cui per natura dispone. L'uomo è infatti un essere complesso, che non funziona in modo puramente “meccanico”, ma si muove sulla base di una motivazione, cioè investe nell'azione se quell'azione corrisponde alla base dei suoi valori, dei suoi obiettivi.

Se si vuole ottimizzare il rapporto di lavoro, occorre “umanizzare”, cioè occorre intercettare il valore di cui ciascuno è portatore ed i fini verso cui tende: la formazione nasce proprio da questo, dal convincimento che l'essere umano è un sistema complesso, che ha una sua intrinseca potenzialità da realizzare.

Nel primo Piano Formativo del 1998, si parlava del “faro” che univa gli operatori e che era la ricerca; oggi occorre prendere atto che la ricerca è produttiva se riesce a motivare la creatività dei migliori.

“Formare” significa individuare e sviluppare il potenziale individuale. In questo senso, è importante saper “costruire” un percorso formativo adatto alle potenzialità di ciascuno. Dunque l'offerta formativa, all'inizio “generalizzata”, oggi dev'essere in grado di farsi sempre più vicina alle capacità di ciascuno e all'esigenza dell'Ente, che è quella di trarre il massimo dalle persone di cui dispone, in funzione dei propri programmi e obiettivi. La spesa formativa, se pianificata oculatamente, è un “investimento sul futuro” e sulle persone con cui si decide di costruire quel futuro.

## **ASSEGNAZIONI 2012**

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.

Tenuto conto di quanto stabilito dal Decreto legge n. 78/2010 convertito nella Legge n. 122/2010, per consentire lo svolgimento del Piano Formativo Nazionale, dei Piani Formativi Locali promossi dalle Strutture (consultabili sulla pagina web della formazione) e delle proposte formative CSN e CCR, per l'anno 2012 la Formazione INFN dispone di uno stanziamento complessivo di **1.100 k€**.

Il provvedimento normativo sopra indicato ha stabilito, inoltre, che le attività di formazione devono essere svolte prioritariamente tramite la Scuola Superiore per la Pubblica Amministrazione, ovvero tramite organismi di formazione interni alle singole amministrazioni. La Presidenza del Consiglio dei Ministri con Direttiva n. 10/2010 ha richiesto, infatti, che anche gli Enti pubblici di ricerca quali l'INFN comunicino il Piano Formativo Nazionale al Dipartimento delle Funzione Pubblica ed alla SSPA i quali, definiti gli obiettivi qualitativi e quantitativi di ciascuna attività, procedono all'organizzazione delle attività formative sulla base di apposite convenzioni. Soltanto laddove la SSPA non sia in grado di fornire, in modo diretto od indiretto, l'attività di formazione richiesta, l'Ente potrà rivolgersi all'esterno.

La CNF ha portato avanti il progetto di estendere le opportunità del programma di formazione anche ai 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 CNF intende proporre alla Giunta Esecutiva di mettere una cifra in bilancio dedicata alla formazione di questa categoria. 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.

## VIII CAPITOLO - Le attività di comunicazione e di divulgazione scientifica

L'Ufficio Comunicazione dell'INFN gestisce le attività di comunicazione, trasmissione della cultura scientifica e divulgazione in forme diverse e correlate.

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 della conoscenza nel contesto della fisica fondamentale sempre più alla portata anche del grande pubblico.

Sul fronte della divulgazione e della comunicazione museale, va segnalata l'inaugurazione della nuova mostra dell'INFN: "ESTREMO le macchine della conoscenza" che è stata allestita a Bologna in primavera e a Perugia in novembre. Nel corso del 2011, inoltre, sono stati realizzati due nuovi allestimenti interattivi a Spoleto (L'Universo a portata di mano), in occasione del Festival dei due Mondi, e a Genova (L'essenziale è invisibile agli occhi) in occasione del Festival della Scienza.

Nell'ambito delle celebrazioni per i 150 anni d'Italia l'INFN, in collaborazione con l'Università di Pavia e l'Università di Perugia, ha realizzato la mostra "*An Italian History of Innovation*" allestita a Ginevra presso la sede dell'Organizzazione Mondiale della Proprietà Intellettuale (OMPI). Inoltre sempre per il centocinquantenario dell'unità d'Italia, l'Ufficio Comunicazione ha contribuito all'allestimento della mostra "150 anni di genio italiano", realizzata dalla Fondazione Rosselli e portata a Genova e a New York.

Le monografie su temi di fisica fondamentale e di frontiera, offerte al pubblico tramite la rivista *Asimmetrie* (distribuita 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.

Dalla sinergia tra i diversi strumenti della comunicazione scaturisce un nuovo linguaggio, fatto di metafore e di immagini, alla portata dei media e del grande pubblico: un patrimonio

di informazione che contribuisce sempre più alla condivisione del valore e dei contenuti della ricerca di base, che impegna l'INFN e la sua comunità di ricercatori.

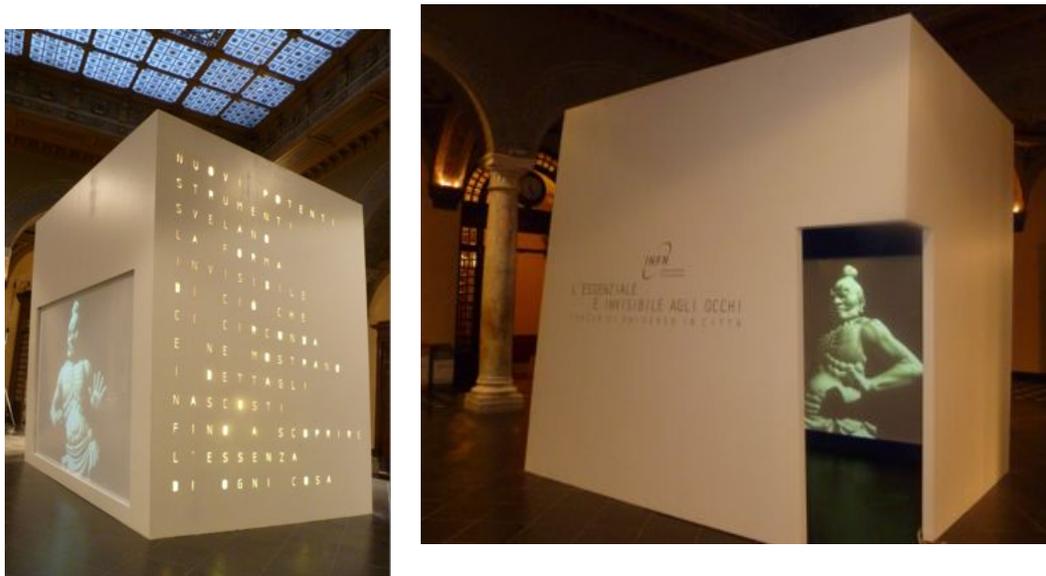


Fig. 8.1: Installazione di video-arte alla mostra "l'Universo non è più quello di una volta" allestita nell'Ottobre 2011 a Palazzo della Meridiana, Palazzo Ducale e Biblioteca Universitaria di Genova in occasione del Festival della Scienza 2011.



## 8.1 LA COMUNICAZIONE PER I MEDIA E LA COMUNITÀ

### LA COMUNICAZIONE DA E VERSO I MEDIA

Nel corso del 2011 l'Ufficio Comunicazione ha ulteriormente espanso la presenza dell'INFN sui media stampati, online e radiotelevisivi. Dopo il grande exploit del settembre 2008, i buoni risultati del 2009 e l'incremento del 15% della copertura mediatica del 2010, il 2011

ha registrato un'ulteriore crescita delle citazioni dell'istituto nei media. In quest'ultimo anno, infatti, si è raggiunto il record assoluto di citazioni. I riferimenti con il 2007 ci dicono che la presenza dell'INFN sui media è più che triplicata in tre anni. Si è consolidata inoltre la convinzione nei media che l'INFN sia il punto di riferimento obbligato per tutto quel che riguarda il CERN di Ginevra e in particolare le ricerche dell'acceleratore LHC.

Sul piano dell'immagine, il lavoro dell'Ufficio Comunicazione ha puntato soprattutto su due brand caratterizzanti l'Istituto:

- (1) rappresentare una comunità scientifica qualificata in grado anche di attirare ricercatori da molti paesi stranieri;
- (2) rappresentare un potenziale scientifico e tecnologico di grande importanza per il Paese.

Per questo, assieme alla valorizzazione del lavoro e delle personalità del vertice dell'Istituto, l'Ufficio Comunicazione ha creato le opportunità perché i media citassero e mostrassero ricercatori INFN impegnati in diversi settori di ricerca e in grado di assumere responsabilità di rilievo a livello nazionale e internazionale. Un particolare accento è stato posto sulla componente femminile della comunità.



Fig.8.2: Installazioni multimediali alla mostra "Estremo" allestita per la prima volta a Bologna nel Febbraio 2011 in occasione della manifestazione "Arte e Scienza in piazza".

## **LA COMUNICAZIONE ISTITUZIONALE**

Con il riavvio di LHC, l'attenzione della stampa e della comunità scientifica si è nuovamente concentrata sul CERN di Ginevra. L'Ufficio Comunicazione ha quindi realizzato un sito internet dedicato a LHC in italiano. Il sito internet ([http:// www.infn.it/lhcitalia/](http://www.infn.it/lhcitalia/)) offre informazioni tempestive su LHC e si propone di dar voce alla comunità scientifica italiana impegnata in LHC e nei suoi esperimenti. Al sito si accede direttamente dalla home page del sito INFN. Il sito ha rappresentato un punto di riferimento reale per un pubblico selezionato e attento. Spesso è stato citato dai media (in particolare dalle agenzie di stampa) come fonte di informazione primaria per le notizie in italiano sulla ricerca in LHC.

## **LA COMUNICAZIONE INTRANAZIONALE**

L'Ufficio Comunicazione rappresenta l'Italia in alcuni network internazionali di outreach, collaborando alla comunicazione e divulgazione dei temi e delle attività di ricerca di interesse comune, a livello europeo e globale.

Nell'ambito del consorzio europeo per la fisica delle astroparticelle, ASPERA – Astroparticle Physics European Research Area – l'Ufficio Comunicazione è impegnato nella gestione della newsletter, del sito di interesse divulgativo [www.astroparticle.org](http://www.astroparticle.org), nella realizzazione di mostre sulla fisica delle astroparticelle e nella diffusione di comunicati stampa a interesse europeo. Il 2010 è stato caratterizzato dall'impegno nella comunicazione dei sette grandi progetti raccomandati da ASPERA nella roadmap presentata lo scorso anno, all'interno dei quali il ruolo dell'Italia è determinante.

Nell'ambito del network mondiale INTERACTIONS e del network europeo European Particle Physics Communication Network (EPPCN), sono discusse le strategie di comunicazione di LHC a livello globale e l'uso dei new media per un efficace coordinamento della comunicazione della fisica delle particelle e delle attività di ricerca correlate. L'INFN è inoltre coinvolto nella pubblicazione di notizie di rilievo internazionale sulla Interactions News Wire e all'elaborazione di un protocollo di peer review delle attività di comunicazione dei diversi paesi.



Fig.8.3: Le copertine dei numeri 11 e 12 della rivista Asimmetrie

Quale membro del network europeo per la divulgazione della fisica delle particelle European Particle Physics Outreach Group (EPPOG), l'Ufficio Comunicazione coordina l'edizione italiana delle Masterclasses, lezioni e seminari su argomenti fondamentali della fisica delle particelle indirizzati a studenti e insegnanti delle scuole superiori e seguiti da esercitazioni al computer. Nel 2011 le Masterclasses si sono svolte in undici sedi INFN, ai LNF e contemporaneamente in 23 nazioni europee e in 30 istituti statunitensi, coinvolgendo più di 8.000 studenti delle scuole superiori.

## 8.2 LA RIVISTA ASIMMETRIE

La rivista Asimmetrie rappresenta l'impegno dell'INFN nella diffusione della cultura scientifica. Indirizzata a non-specialisti con particolare attenzione agli allievi delle scuole superiori e ai loro docenti, ha visto crescere quest'anno il numero di libere sottoscrizioni da poco più di 4000 a più di 5000. La rivista, dedicata ai temi di ricerca fondamentali cui l'INFN contribuisce in modo determinante, è distribuita a una lista di insegnanti delle scuole superiori, costantemente aggiornata e arricchita e a chiunque ne faccia libera richiesta. Ogni numero monografico si sviluppa attorno a un tema scientifico di forte impatto, come l'antimateria, le onde gravitazionali, nuclei e stelle. L'argomento è sviluppato in

progressione logica e in modo tale da avvicinare il lettore ai meccanismi e alle fascinazioni che motivano il lavoro quotidiano dei fisici ricercatori. Ideate partendo da una grafica coinvolgente, rivolta in particolare a un pubblico giovane, le monografie sono impregnate su temi di fisica di frontiera.

La tiratura della rivista è di 15.000 copie. *Asimmetrie* viene distribuita a 3126 scuole medie superiori, e a circa 8.000 destinatari (membri del governo, addetti scientifici delle ambasciate, assessorati alla cultura, aziende, docenti e studenti universitari, studenti di scuola media superiore ecc.), la maggior parte dei quali si sono iscritti, compilando il modulo di richiesta di abbonamento gratuito, sul sito della rivista, [www.asimmetrie.it](http://www.asimmetrie.it). Allo stesso indirizzo sono consultabili e scaricabili tutti i numeri di *Asimmetrie*.

I riscontri avuti fino a oggi da insegnanti, studenti e cittadini abbonati ad *Asimmetrie* sono molto positivi. Una valutazione statistica delle visite al sito, fatta con gli strumenti ufficiali di Google Analytics, ha messo in evidenza dati significativi e incoraggianti per quanto attiene all'attività del sito.



Fig.8.4: Modellino in scala reale del rivelatore AdA di Frascati (1962) e sfera armillare di Geronimo della Vulparia (1575), esposti nel Maggio 2011 nella sede dell'OMPI a Ginevra, in occasione della mostra "An Italian History of Innovation".

### 8.3 MOSTRE E MULTIMEDIA

## LA COMUNICAZIONE MULTIMEDIALE

Uno degli aspetti, a cui l'Ufficio Comunicazione INFN ha dedicato crescente attenzione negli ultimi anni è stata la realizzazione di prodotti di comunicazione audiovisiva e multimediale. Si tratta di un linguaggio in rapida evoluzione, ma indispensabile per una comunicazione efficace sia sui media tradizionali che sul web, come nell'ambito di mostre o altre attività di *outreach*. Particolarmente originali e innovative, e di straordinario successo per la comunicazione di contenuti scientifici, sono le installazioni multimediali e interattive prodotte dall'Ufficio Comunicazione in collaborazione con video-artisti ed esperti di comunicazione digitale. Questa esperienza cominciata in occasione della mostra *Astri e Particelle* è stata portata avanti con successo nel corso degli anni con nuovi allestimenti in mostre e Festival.

Estremamente significativa è stata negli ultimi tre anni anche la realizzazione di brevi filmati della durata di pochi minuti sui singoli esperimenti o progetti, su idee o temi scientifici più generali o su temi di carattere storico. Una cinquantina di video con questo formato sono stati realizzati per le mostre allestite nel 2010 e 2011 e in altre occasioni, ma sono naturalmente riutilizzabili in tutti i contesti già citati.



Fig. 8.5: Locandine e brochure delle mostre e allestimenti realizzati nel corso del 2011.

## **LE MOSTRE**

### **LA MOSTRA “ESTREMO – LE MACCHINE DELLA CONOSCENZA”**

“Estremo- le macchine della conoscenza” è una mostra multimediale e interattiva che mette al centro le grandi macchine e infrastrutture della fisica delle alte energie. Realizzata in collaborazione con la Fondazione Golinelli e con il contributo di ASG Superconductors è stata inaugurata a Bologna nel febbraio del 2011 nell’ambito della manifestazione “Arte e scienza in piazza”.

L’allestimento propone un percorso fatto d’immagini, narrazioni e videoinstallazioni interattive che raccontano quanto vi sia di estremo nella fisica delle particelle e delle alte energie. La mostra è suddivisa in quattro aree tematiche: l’universo estremo e gli strumenti per esplorarlo, LHC la più grande macchina mai costruita per la ricerca scientifica, le reti planetarie per la condivisione e lo scambio della conoscenza, le tecnologie che nascono dalla ricerca di base e che sono usate per importanti applicazioni in medicina e nei beni culturali.

“Estremo- le macchine della conoscenza” è stata allestita nuovamente a Perugia nel novembre 2011 presso il Museo Archeologico Nazionale dell’Umbria dove è rimasta per tre mesi.

### **LA MOSTRA “AN ITALIAN HISTORY OF INNOVATION”**

La mostra a cura di INFN, Università di Pavia e Università di Perugia, è stata allestita nel giugno 2011 a Ginevra nella sede dell’ Organizzazione Mondiale della Proprietà Intellettuale (OMPI) in occasione dell’anniversario dei 150 anni dell’Unità d’Italia.

“An italian History of innovation” racconta alcune delle tappe fondamentali della straordinaria storia di evoluzione del pensiero scientifico in Italia, da Galileo a oggi, attraverso la testimonianza di oggetti storici, riproduzioni di strumenti, ricostruzioni di macchine e parti di moderni rivelatori di particelle. L’allestimento ripercorre anche la nascita dell’Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) nel 1951 quando si costituisce in Italia una comunità di scienziati, erede della scuola di fisica fondata da Fermi, unica per ricchezza di inventiva, capace di esportare idee e metodo in tutto il mondo.

#### **L'ALLESTIMENTO "L'ESSENZIALE È INVISIBILE AGLI OCCHI"**

L'INFN ha partecipato all'edizione 2011 del Festival della scienza di Genova con un allestimento che si compone di tre installazioni interattive realizzate con la collaborazione di videoartisti italiani dal titolo "*L'essenziale è invisibile agli occhi*". In particolare è stata realizzata un'installazione inedita dal titolo "*Poesia fatta a mano*" frutto della collaborazione tra l'INFN e l'artista torinese Ennio Bertrand ispirata alla rete di calcolo planetaria GRID e alla poesia combinatoria di Raymond *Queneau*.

#### **L'ALLESTIMENTO "L'UNIVERSO A PORTATA DI MANO"**

In occasione del 54esimo Festival dei Due Mondi di Spoleto, per la manifestazione Spoletoscienza, l'INFN ha proposto nuovo allestimento interattivo sui misteri dell'Universo realizzato in collaborazione con la Fondazione Sigma-Tau. *L'Universo a portata di mano* propone un percorso multisensoriale, in cui si susseguono videoinstallazioni artistiche che invitano il visitatore a toccare con mano i misteri dell'Universo. Si compone di sei videoinstallazioni: Spazio e Tempo curvi, **Fai** le collisioni, **Svela** l'invisibile, **L'espansione** dell'Universo, **La doccia** cosmica.

## **8.4 EVENTI DI DIVULGAZIONE**

Nel corso dell'ultimo anno sono state numerose le manifestazioni di comunicazione scientifica a cui l'INFN ha partecipato, con iniziative, mostre o installazioni curati dall'Ufficio Comunicazione. Le principali mostre a cui l'INFN ha partecipato con alcuni contributi sono state il festival *Sperimentando* di Padova e la manifestazione *Massascienza* a cui l'istituto ha partecipato contribuendo alla mostra "Accelerare la tecnologia".

#### **LE CONFERENZE PER IL PUBBLICO**

Tra le iniziative di divulgazione hanno riscontrato particolare successo e partecipazione le conferenze per il pubblico spesso organizzate in occasione di Festival o mostre. In collaborazione con la Fondazione Sigma-Tau, nell'ambito dell'iniziativa "SCUOLA ed ECCELLENZA: Scuole di scienza nel Novecento italiano", l'INFN ha organizzato due conferenze dal titolo "Quanti di salute. Fisica quantistica e Medicina: universi paralleli" e "Più veloci della luce? Alla ricerca di conferme sui neutrini del Gran Sasso". Gli incontri si

sono svolti a Roma e hanno coinvolto oltre 1000 studenti delle scuole medie superiori. In occasione dell'allestimento della Mostra "ESTREMO- le macchine della conoscenza" a Bologna e, in collaborazione con la sezione locale dell'INFN, si sono svolte due conferenze rispettivamente dedicate agli esperimenti internazionali LHC e AMS che hanno avuto un grande successo di pubblico. In occasione dell'inaugurazione di ESTREMO a Perugia si è invece svolto un incontro dibattito che ha visto la partecipazione del presidente dell'INFN e di Patrizio Roversi dei "Velisti per caso".



Fig. 8.6: Un'immagine dell'evento-incontro "Lo strano mondo di LHC" che si è svolto a Dicembre 2011 al Museo Nazionale della Scienza e della Tecnologia di Milano.

La conferenza divulgativa più importante del 2011 è stato l'incontro dal titolo "Lo strano mondo di LHC" che si è svolta a dicembre presso il Museo Nazionale della Scienza e della Tecnologia di Milano. L'iniziativa ha portato sul palco i coordinatori internazionali degli esperimenti di LHC, tutti italiani, è stata trasmessa via streaming dal sito [Scienzainrete.it](http://Scienzainrete.it) e ha visto un collegamento in diretta con la trasmissione Radio3 Scienza. All'evento hanno partecipato oltre 500 persone ed è stato necessario allestire una sala dove proiettare la diretta. L'iniziativa sarà replicata nel 2012 a Catania.

Nel 2011 si è svolta la quinta edizione di Fisica in barca, l'iniziativa di divulgazione scientifica promossa dall'INFN in collaborazione con "Velisti per caso" che coinvolge in ogni edizione centinaia di studenti. Nel 2011 Adriatica è partita da Genova in aprile e, dopo aver circumnavigato l'Italia, è approdata a Cagliari in giugno, meta finale di un tour di 7 tappe.

L'Ufficio Comunicazione ha contribuito all'ideazione e al coordinamento dell'evento, ne ha gestito la comunicazione alla stampa in collaborazione con le sezioni coinvolte e si è curato di realizzare un'immagine coordinata.

#### **LA COMUNICAZIONE E LA DIVULGAZIONE SCIENTIFICA PROMOSSA LOCALMENTE DALLE STRUTTURE**

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 ed al pubblico non esperto. Tali attività includono seminari, incontri, visite guidate presso le strutture ed i laboratori in Italia e all'estero.

#### **PROSPETTIVE**

Anche per il 2012 l'INFN coniugherà le iniziative di divulgazione con quelle di informazione. Soprattutto per quel che riguarda la ricerca con l'acceleratore di particelle LHC di Ginevra. Sono previste conferenze a "La scienza in piazza" (Bologna) e un grande appuntamento per la scienza a Catania. Qui i maggiori responsabili italiani della ricerca in LHC si incontreranno con un pubblico composto soprattutto da centinaia di studenti delle scuole medie superiori. Assieme a loro vi saranno anche i dirigenti della ricerca internazionale che si svolge e si svilupperà in Sicilia.

Nella primavera del 2012 l'INFN aprirà una mostra dedicata all'Universo realizzata assieme alla Specola Vaticana. Un punto di vista originale sulla storia del Cosmo e della ricerca per comprenderlo. In questa mostra saranno concentrati alcuni exhibit interattivi che hanno già avuto una esposizione nel corso del 2011.

Altri appuntamenti previsti: la partecipazione a due mostre sui 150 anni dello Stato italiano, quella organizzata dalla Fondazione Rosselli e quella promossa dal Ministero degli Affari Esteri e dal CNR.

È prevista inoltre la partecipazione al Festival della Scienza di Genova con una mostra sul bosone di Higgs che comprende anche un exhibit interattivo originale. Il tema del bosone di Higgs è particolarmente sensibile, perché esistono fondate speranze che entro il 2012 si avrà, dalla ricerca in LHC, una risposta definitiva sull'esistenza di questo bosone nei parametri previsti dal Modello Standard. Sarà questo uno dei temi più importanti anche della campagna verso i media nel corso del 2012. Proseguirà anche l'impegno nella diffusione della cultura scientifica mediante la pubblicazione periodica della rivista

Asimmetrie. I riscontri ottenuti incoraggiano la redazione a proseguire il percorso di diffusione del patrimonio di conoscenza proprio della comunità dei ricercatori dell'INFN e delle sue attività di ricerca.

# CAPITOLO IX - Le attività di impatto socio-economico e di trasferimento tecnologico

## 9.1 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 2011 è proseguita l'attività del 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), che si è consolidato nel 2010 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 Statuto dell'INFN, nonché dai più specifici Regolamenti di settore, e che ha dato avvio a diverse iniziative in materia.

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 organizzare e strutturare *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.

Queste premesse metodologiche hanno consentito all'Istituto di intraprendere azioni positive per sostenere tale processo.

L'INFN, pur dotato di norme che hanno consentito di raggiungere già qualche anno fa esemplari forme di sinergia con le industrie e il mondo accademico (citiamo ad esempio la collaborazione con l'IBA e il Dipartimento di Fisica dell'Università di Torino), ha avvertito l'esigenza di migliorarle e implementarle per rispondere meglio alle richieste di collaborazione sempre maggiori provenienti dal mondo produttivo, senza però perdere la vocazione naturale per la ricerca di base, che è e resta caratteristica propria dell'Ente.

Gli alti livelli di innovazione e di capacità di realizzazione sono la base della forza tecnologica dell'Ente, attraverso la promozione della ricerca su dispositivi, materiali, tecniche e processi mirati alla sua attività sperimentale. Allo stesso tempo alcuni di questi sviluppi, in origine stimolati dalle necessità di costruzione degli apparati sperimentali, possono successivamente trovare una nuova vita negli sviluppi interdisciplinari, a volte in modo rivoluzionario.

Esempi di queste incarnazioni sono le attività nel settore acceleratori, che partono dalle nuove tecniche per le *flavour factories* e si muovono verso la realizzazione di fasci radioattivi e dei *free electron laser*. Gli sviluppi di elettronica a bassa potenza, resistente alle radiazioni, permetteranno di costruire nuovi sensori per le missioni spaziali, mentre nuove tecniche di diagnosi per l'*imaging* medico sono complementari a iniziative di più ampia portata come l'adroterapia al CNAO o la modellizzazione neurologica.

All'ambito del Trasferimento Tecnologico 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. I settori interessati sono quelli delle tecnologie informatiche (ICT), della sensoristica, dell'elettronica, della meccanica e dell'impiantistica, 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.

## 9.2 CONTO TERZI

È stato approvato dai 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 approvato 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 si prevede 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.

## 9.3 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. Tutto ciò in 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 con il 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".

A seguito dell'adozione del Regolamento, nel dicembre dell'anno trascorso è stato attivato il primo Spin-off dell'Istituto e altri due sono in fase istruttoria avanzata.

#### **9.4 BREVETTI E 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 statutaria, 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 6 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 20.000 Euro all'anno.

Nell'anno trascorso il Comitato per il Trasferimento Tecnologico ha proceduto ad un riesame dei brevetti valutando, in occasione del pagamento delle tasse di mantenimento del brevetto e sentiti gli inventori, se continuare a mantenere la copertura brevettuale o rinunciare a proseguirla, in relazione allo stato dell'arte e all'interesse suscitato dal brevetto : nel 2012 sono tre i brevetti che non verranno mantenuti. Parallelamente è proseguito l'esame delle richieste pervenute dai ricercatori dell'Istituto che nell'anno trascorso hanno portato all'attivazione delle procedure per quattro nuovi brevetti; altre tre richieste sono in fase istruttoria avanzata e nei prossimi mesi si tradurranno verosimilmente in nuove domande di brevetto.

# Cap X - IL PIANO DI RIAMMODERNAMENTO GESTIONALE

## 10.1 Il quadro normativo

L'Istituto è ente pubblico nazionale di ricerca, con autonomia organizzativa, finanziaria e contabile ai sensi dell'art. 33 della Costituzione, dell'art. 8 della legge 168/1989 e dell'art. 2 del D.Lgs. 213/2009.

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 dei componenti del Consiglio Direttivo dei due rappresentanti dell'ENEA e del CNR e il mantenimento in vigore delle vigenti disposizioni relative alla nomina degli organi statutari.

L'Istituto ha dato seguito a quanto previsto dal decreto di riforma adottando il nuovo Statuto, approvato dal MIUR ed entrato in vigore il 1 maggio 2011, nonché i Regolamenti di Amministrazione, Finanza e Contabilità e del Personale, approvati dal Consiglio Direttivo nella seduta di ottobre 2011 ed attualmente sottoposti al controllo da parte dei Ministeri competenti.

È in corso di definizione l'elaborazione e l'approvazione di alcuni disciplinari che completano il quadro di riordino dell'Istituto in conseguenza dell'adozione dello Statuto.

Nel frattempo, come previsto dallo Statuto, restano in vigore i provvedimenti assunti secondo il previgente ordinamento, quali:

- 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

#### 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 appalti 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 riferite alle Amministrazioni pubbliche e che riguardano le attività svolte dall'Ente.

### 10.2 Il sistema informativo

Il nuovo sistema informativo, entrato in esercizio nel 2009, assicura una gestione integrata, efficiente, trasparente e ottimizzata dei processi amministrativi dell'Istituto. In linea con gli obiettivi del piano triennale 2011-2013, nel corso del 2011 il nuovo sistema informativo dell'Istituto ha ottenuto i seguenti risultati:

- Creazione della Direzione Sistema Informativo e il potenziamento del gruppo interno.
- Attivazione al CNAF della nuova piattaforma hardware basata su cluster Linux.
- Definizione della nuova infrastruttura Anagrafica del Personale.
- Introduzione del Mandato Informatico e della firma digitale.
- Avvio dell'attività di analisi dei dati con strumenti di Business Intelligence.

- Consolidamento della gestione amministrativa e contabile,
- Capillare attività di formazione del personale per abilitarlo all'uso dei nuovi strumenti informatici.
- Messa in esercizio in tutte le strutture dell'INFN del nuovo sistema di rilevazione presenze, integrato con il sistema di gestione risorse umane e il sistema della contabilità.
- Messa in esercizio in tutte le strutture dell'INFN del Portale Utente e sua completa integrazione nella struttura informatica dell'INFN (autenticazione, autorizzazione, anagrafiche, ecc.)

L'attività del Sistema informativo proseguirà nel prossimo triennio per includere le funzionalità ancora mancanti ed in particolare:

- Irrobustire il sistema al fine di aumentarne l'efficacia e l'efficienza a beneficio dei processi aziendali interni; potenziare la capacità del gruppo interno a fornire formazione ed assistenza agli utenti; accrescere l'autonomia del gruppo interno a produrre tempestivamente i necessari adeguamenti del sistema dettati da nuove normative o da nuove esigenze.
- Realizzare anche attraverso l'uso di strumenti di Business Intelligence, l'Integrazione di tutte le componenti informative attualmente in esercizio nell'INFN, nonché la conservazione dei dati storici proveniente dai precedenti sistemi contabili, 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.
- Favorire, sfruttando le potenzialità del nuovo sistema informativo integrato, una maggiore efficienza dell'intera macchina amministrativa, attraverso una rivisitazione dell'insieme delle attività e dei processi dell'Istituto.
- Realizzare un miglioramento sulla qualità dei dati ed accrescere la capacità di correlarli tra loro per mettere a disposizione del *management* dell'INFN un potente strumento di gestione al fine di massimizzare l'adeguatezza delle azioni correttive minimizzando i tempi di risposta agli eventi.
- Perseguire la dematerializzazione dei documenti. L'attività già avviata con l'adozione del mandato informatico sarà estesa, attraverso passi successivi, in tutti gli altri processi aziendali.
- Perseguire l'adeguamento dell'infrastruttura tecnologica alla base del sistema stesso con il passaggio a release del software di ultima generazione.

L'evoluzione del sistema informativo verrà 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 e Rendicontazione dei Progetti
- Gestione degli ordinativi – approvvigionamenti centralizzati – magazzino – mercato elettronico
- Gestione appalti
- Gestione patrimonio
- Budget e pianificazione
- Gestione dei documenti

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

## CAPITOLO XI - La valutazione interna



Dieci anni dopo il lancio della strategia di Lisbona, l'Unione Europea sta affrontando una situazione economica globale che richiede l'adozione di misure straordinarie per spostarsi dalla normale gestione di una crisi a una politica condivisa di riforme strutturali. L'impegno per l'Europa a diventare "la più dinamica e competitiva economia della conoscenza nel mondo" implicava che i Paesi dell'Unione Europea avrebbero dovuto aumentare gli investimenti nella ricerca fino a circa il 3% del loro PIL: purtroppo ciò non è avvenuto dappertutto nel continente. I recenti avvenimenti fanno crescere la consapevolezza che solo ricerca e sviluppo pongano le basi per una crescita economica a lungo termine: conseguentemente, l'identificazione dei meccanismi corretti per valutare gli esiti dei finanziamenti alla ricerca sono ancora più cruciali.

L'INFN è sempre stato focalizzato nel controllo dei propri programmi di ricerca, grazie all'esistenza di diversi organismi che eseguono la valutazione *ex-ante*, *in itinere* ed *ex-post* di esperimenti e iniziative. Insieme con la Giunta Esecutiva, il Consiglio Direttivo e le Commissioni Scientifiche, il nuovo statuto prevede un Consiglio tecnico-scientifico che supervisioni le decisioni riguardanti nuovi progetti su larga scala proposti dalle Commissioni.

Fin dal 1997 l'Ente ha affidato la valutazione complessiva delle proprie attività al giudizio di un Comitato di Valutazione Internazionale (CVI), che redige su base annuale un rapporto sulla qualità della ricerca INFN e fornisce indicazioni e raccomandazioni per migliorarne la *performance* globale. Il CVI è costituito da esperti internazionali della massima autorevolezza, sia nei campi dove l'Istituto conduce le proprie attività di ricerca, sia in settori che sono interessati o connessi a tali attività, come quello industriale e produttivo o

più in generale quello economico. Nessun ricercatore, dipendente o associato INFN, è componente del CVI: ciò a garanzia dell'imparzialità del lavoro dal Comitato, che è il solo titolato a emettere un giudizio sull'operato dell'INFN.

Il CVI incontra il Presidente dell'Ente, la Giunta Esecutiva e i Presidenti delle Commissioni Scientifiche in una riunione di più giorni nella quale vengono passate in rassegna tutte le iniziative scientifiche dell'Istituto e le linee di programmazione futura. Alla riunione partecipa anche il Coordinatore dei Gruppi di Lavoro sulla Valutazione (GLV), costituiti a partire dall'anno 2000 per istruire il processo di autovalutazione secondo i criteri raccomandati dal Ministero attraverso il CIVR (Comitato di Indirizzo per la Valutazione della Ricerca).

I GLV, uno per ogni linea scientifica dell'Ente, hanno il compito di raccogliere in modo organico in una relazione inviata al CVI i dati oggettivi che descrivano la *performance* scientifica dell'INFN (inseriti se possibile in un contesto internazionale), insieme a elementi utili a mostrare sia l'attività di alta formazione dei giovani svolta nell'ambito delle ricerche dell'Istituto, sia l'impatto socio-economico e inter-disciplinare delle attività dell'Ente.

Il CVI è anche punto di riferimento per il MIUR, al quale inoltra ogni anno il suo rapporto finale. Nel caso in cui il Ministero realizzi esercizi nazionali di valutazione della ricerca (come nel caso della Valutazione Triennale della Ricerca 2001-2003, gestita dal CIVR o dell'attuale VQR 2004-2010 gestita dall'ANVUR) il CVI è altresì responsabile della trasmissione al Ministero della relazione che descrive la *performance* scientifica dell'Ente e il suo corrispondente impatto, al fine di evitare problemi di auto-referenzialità nel processo di valutazione.

L'approccio utilizzato dall'INFN è quindi basato su una doppia componente: da una parte dati oggettivi espressi attraverso indicatori riconosciuti dagli esperti, dall'altra l'analisi globale del loro significato e delle attività scientifiche dell'Ente *in toto* da parte di un gruppo di pari. Sarebbe infatti controproducente al fine di una corretta valutazione, in una realtà articolata e complessa come l'INFN, ridurre l'intero processo a un mero elenco di indicatori da confrontare con dati esterni, trascurando la componente storica degli avanzamenti scientifici (esperimenti e ricerche che si trovano in fasi diverse in momenti diversi) o il

valore aggiunto derivante dalla realizzazione di una grande infrastruttura di ricerca, rispetto alla pubblicazione di un articolo su una rivista.

Dopo la Valutazione Triennale della Ricerca (VTR 2001-2003), il 2011 segna il passo molto atteso verso un esercizio ministeriale più complesso ed esigente, che copre i sette anni 2004-2010 (Valutazione della Qualità della Ricerca, VQR), gestito dalla neonata agenzia ANVUR. L'INFN, tramite i propri strumenti di valutazione interna, sta procedendo alla preparazione del materiale richiesto. Va ricordato in questo contesto che alcuni parametri presenti nelle Linee Guida per la VQR difficilmente si adattano alla natura delle ricerche condotte dall'INFN e al suo *modus operandi*: un proseguimento del dibattito su questi temi è auspicabile, in modo da pervenire ad una valutazione oggettiva dell'Ente che sia funzionale agli interessi ministeriali e governativi.

Nel seguito saranno illustrati alcuni degli elementi che contribuiscono al processo di valutazione della ricerca dell'INFN, al fine di esemplificare il processo stesso e di fornire elementi utili all'interpretazione di quanto descritto sopra.

### 11.1 PRODUTTIVITÀ SCIENTIFICA

La ricerca fondamentale è alla base delle attività dell'INFN e questo pone l'accento in modo naturale sulle pubblicazioni scientifiche, quali principali riferimenti per la produttività dell'Ente. Durante la VTR 2001-2003 il Ministero aveva raccomandato come sorgente dei dati bibliometrici *Web Of Science (WOS)*, *dell'Institute for Scientific Information (ISI)*, database proprietario della Thomson (consultabile tramite abbonamento). ISI-WOS è stato ed è quindi tuttora utilizzato dai GLV come sorgente di tutti i dati primari che concernono le pubblicazioni: i criteri utilizzati da ISI-WOS garantiscono anche che gli articoli appartengano solo a riviste di rango internazionale, i quali vengono accettati solo dopo un rigoroso processo di *peer review*. ISI-WOS è anche uno dei due database consigliati per il processo VQR 2004-2010.

	Numero di pubblicazioni ISI				
	2010	2009	2008	2007	<04-06>

<b>CSN1</b>	277	195	256	280	296
<b>CSN2</b>	259	238	219	192	205
<b>CSN3</b>	254	223	206	266	255
<b>CSN4</b>	1183	1099	1191	1236	1127
<b>CSN5</b>	320	326	333	325	264
<b>Common</b>	428	397	334	193	276
<b>INFN</b>	<b>2721</b>	<b>2478</b>	<b>2539</b>	<b>2492</b>	<b>2423</b>

Tab. 11.1: Produttività scientifica INFN

È tuttavia utile anche ricordare come le pubblicazioni ISI non siano l'unico canale utilizzato per diffondere risultati scientifici nei campi di ricerca propri dell'INFN. Ad esempio, ricercatori INFN contribuiscono in modo significativo alla redazione di rapporti per grandi laboratori internazionali come il CERN e Fermilab, o a progetti editoriali simili, quali le pubblicazioni on-line, sia nel contesto di collaborazione con colleghi stranieri sia per conto di Organizzazioni Internazionali. Negli anni a venire, inoltre, la diffusione in formato elettronico delle pubblicazioni diventerà il sistema più utilizzato per la comunicazione di risultati scientifici e le politiche editoriali di open access avranno un ruolo sempre maggiore. L'INFN sta seguendo da vicino questa evoluzione, in qualità di membro dell'iniziativa SCOAP<sup>3</sup> (*Sponsoring Consortium for Open Access Publishing in Particle Physics*). Il finanziamento attraverso un consorzio sembra il modello più promettente per le attività dell'INFN. Questo approccio è già operativo per le grandi collaborazioni del Large Hadron Collider (pagamento di una quota da parte dell'Istituto e corrispondente disponibilità *on-line* di tutte le pubblicazioni su riviste internazionali di prestigio) e potrebbe modificare ancora più radicalmente il panorama globale, se il consorzio dovesse offrire strumenti aggiuntivi come l'analisi delle citazioni o la ricerca di testi.

	Frazione di Autori INFN (%)					Impact Factor Medio				
	2010	2009	2008	2007	<04-06>	2010	2009	2008	2007	<04-06>
<b>CSN1</b>	38	30	42	37	36	3.80	3.90	3.10	3.65	3.78
<b>CSN2</b>	51	53	64	64	75	4.08	4.40	2.80	2.89	2.15
<b>CSN3</b>	50	44	51	53	47	2.85	2.60	2.80	2.58	2.60

<b>CSN4</b>	55	56	63	58	59	3.73	3.73	3.47	3.62	3.44
<b>CSN5</b>	66	61	67	56	66	1.97	1.96	1.70	1.54	1.46

Tab. 11.2: Alcuni indicatori di produttività scientifica INFN

Nella tabella 11.1 è illustrata la produttività totale dell'INFN nel 2010, divisa nelle cinque linee scientifiche e confrontata con il risultato medio del triennio 2004-2006 e con quelli degli anni successivi. Il totale in ogni colonna eccede la somma delle singole righe, poiché vi sono ulteriori pubblicazioni che non sono direttamente attribuibili a una singola CSN, ad esempio perché realizzate da autori di diversa estrazione professionale (e.g. uno teorico e uno sperimentale).

Si può notare in particolare il valore molto elevato del numero di pubblicazioni nel campo teorico (CSN4), dato che riflette l'eccellenza della scuola italiana nel settore. Si osserva anche, su un periodo di molti anni, che la produzione scientifica dell'Ente è costante, un segno dell'ottimo livello di produttività scientifica e della continuità dell'impatto delle ricerche INFN in tutti i settori.

Il numero delle pubblicazioni è solo uno dei parametri che si possono considerare nella valutazione della produttività scientifica. L'utilizzo del database ISI-WOS permette tra l'altro di accedere direttamente ad altri indicatori bibliometrici, come l'*Impact Factor* (IF, ideato appunto da ISI-Thomson), o effettuare analisi più complesse legate al numero di citazioni. Gli *Impact Factor* sono derivati dal *Journal of Citation Reports*, edito da ISI e caratterizzano la qualità delle riviste corrispondenti.

L'*Impact Factor* rappresenta infatti la media delle citazioni degli articoli pubblicati su una determinata rivista in un periodo di due anni. In questo contesto quindi può al più essere utilizzato per confrontare le riviste tra di loro, ma certamente non per estrarre informazioni sulla qualità di un singolo articolo pubblicato. Anche nella prima accezione, estrema cautela deve essere utilizzata nell'uso dell'IF, soprattutto quando si confrontano discipline diverse tra loro, i cui ricercatori pubblicano su riviste con politiche editoriali che possono essere assai variegiate.

Nella tabella 11.2 sono quindi riassunti alcuni altri parametri utilizzati per esemplificare la qualità e le caratteristiche della produttività scientifica dell'Ente. Il valor medio dell'*Impact*

Factor risulta costante negli anni per ognuna delle linee scientifiche: è anche degno di nota che vi siano alcuni articoli molto significativi pubblicati su riviste ad altissimo *Impact Factor*

Rispetto delle milestone (%)					Ruoli di leadership (%)				
2010	2009	2008	2007	<04-06>	2010	2009	2008	2007	<04-06>
89	73	79	79	80	20	30	26	26	25
63	56	68	70	79	55	57	43	39	51
84	86	83	84	78	34	45	37	37	39

come *Nature* o *Science*. Il valor medio della CSN5 è assolutamente tipico delle riviste a carattere tecnologico sperimentale e teorica che raccolgono risultati di fisica di differenziare la valutazione rispetto alle caratteristiche del settore scientifico di riferimento. La frazione di autori II

La frazione di autori II indicativa del livello di internazionalizzazione che caratterizza le attività di ricerca dell'Ente in ogni settore. Anche in questo caso, come in quello dell'IF, occorre ricordare che il valor medio è estratto da distribuzioni multi-modali: nel caso della CSN1, ad esempio, esso risulta dal mediare articoli con uno o pochi autori totali con gli articoli delle Collaborazioni LHC, che hanno circa tremila autori ciascuno.

La complessità, la dimensione e la durata temporale dei grandi progetti dell'Ente in fisica nucleare, subnucleare e astro-particellare richiede un costante controllo in tutte le fasi degli esperimenti, dalla costruzione ai test di funzionalità, fino alla presa dati e alla loro analisi. La valutazione della ricerca svolge qui due importanti ruoli: da una parte serve a evitare che progetti pluriennali possano incorrere in difficoltà tali da compromettere la buona riuscita dell'esperimento, dall'altra è uno strumento per verificare la rilevanza data ai ricercatori INFN nel ricoprire ruoli di responsabilità nelle Collaborazioni.

Il primo ruolo è implementato attraverso le Commissioni Scientifiche Nazionali che utilizzano referee anche stranieri per esaminare lo stato di ogni progetto (tipicamente due volte l'anno). Ogni esperimento, all'atto di sottomettere le richieste finanziarie per l'anno successivo, concorda con i referee anche un insieme di milestone da rispettare nello stesso periodo.

La tabella 11.3 mostra il grado complessivo di soddisfazione per le milestone concordate, negli anni indicati e per le linee scientifiche più rilevanti in questo contesto: come si vede, una larga percentuale è rispettata dalle Collaborazioni e il meccanismo permette in generale

di applicare azioni correttive dove e se necessario. Va anche sottolineato che, proprio per la complessità e internazionalità progetti scientifici, ritardi nella realizzazione dei propri obiettivi possono essere indotti anche da motivazioni esterne all'operato dei gruppi INFN.

Come conseguenza dell'alto livello di internazionalizzazione delle attività considerate è interessante considerare quale sia la frazione dei ruoli di responsabilità (*leadership*) che vengono assegnati a ricercatori INFN all'interno delle Collaborazioni (la definizione dei ruoli è per lo più definita da accordi approvati dagli organi dirigenziali degli esperimenti). Questo è mostrato, sempre in tabella 11.3, per le tre linee scientifiche citate: il dato più appariscente è che il risultato eccede in media il contributo INFN, sia finanziario sia di personale, alle Collaborazioni suddette. Questa è una ulteriore dimostrazione dell'alto ruolo scientifico che l'Istituto riveste in ambito internazionale ed è un importante riconoscimento delle capacità scientifiche e manageriali dei suoi ricercatori.

In questo contesto l'*highlight* più importante è che nel 2010 tutte e quattro le Collaborazioni internazionali che operano al Large Hadron Collider del CERN a Ginevra sono guidate da scienziati di nazionalità italiana, tre dei quali affiliati direttamente all'INFN e la quarta formatasi anch'essa in ambito INFN.

## 11.2 UNA PROSPETTIVA EUROPEA PER LA VALUTAZIONE

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 sia sperimentale.

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 fondazione nel 1974 (unica 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.

Per lo studio di una realtà 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 Fora di discussione. I Fora 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.

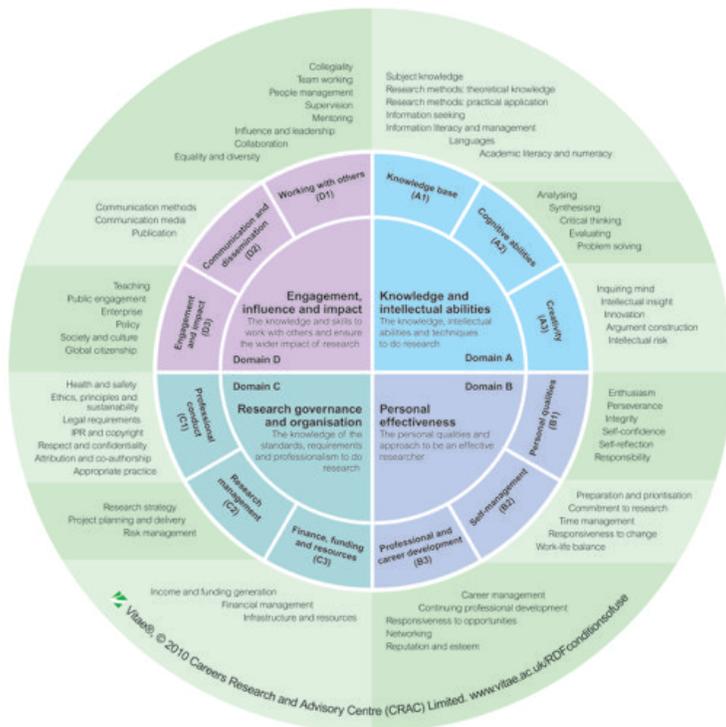


Fig. 11.1: Il Research Development Framework (RDF) strutturato nei quattro domini

Il Forum “*European Alliance on Research Career Development*” è stato istituito nel 2010, dopo la pubblicazione della roadmap EUROHORCS-ESF. Il Forum è costituito da ventuno organizzazioni membri di ESF provenienti da 17 paesi europei e altri osservatori dalla

Commissione Europea (EC), dello European Research Council (ERC) ed altre istituzioni europee. Missione del Forum è di produrre raccomandazioni solide e attuabili al fine di rendere l'Europa un luogo interessante per il lavoro di ricercatore.

All'interno del Forum l'INFN partecipa al gruppo di lavoro per identificare le competenze dei ricercatori. Esso mira a trovare una definizione condivisa dei profili professionali dei ricercatori e a fornire una guida per incoraggiare lo sviluppo professionale continuo dei ricercatori, migliorando la loro possibilità di occupazione all'interno e all'esterno del mondo accademico. Parte di questo progetto è uno studio di fattibilità per valutare l'applicabilità in tutta Europa di un generico quadro per lo sviluppo professionale dei ricercatori, basato sul Research Development Framework (RDF) di Vitae (UK) (Figura 11.1). RDF è un framework di sviluppo professionale per pianificare, promuovere e sostenere lo sviluppo personale, professionale e di carriera dei ricercatori nelle università e negli istituti di ricerca.

L'INFN è stato scelto come rappresentante per i paesi del Mediterraneo. All'interno di ogni paese dieci ricercatori saranno selezionati da un'ampia gamma di esperienze, fasi di carriera e discipline per utilizzare il framework RDF e fornire un riscontro sulle proprie esperienze personali attraverso un gruppo locale di discussione con esperti di Vitae.

Il secondo Forum dove l'INFN ha indirizzato gran parte degli sforzi è quello approvato l'anno scorso dal Governing Council di ESF su "*Valutazione: indicatori per l'internazionalizzazione*" ("*Evaluation: Indicators for Internationalisation*"). L'internazionalizzazione sta diventando un elemento sempre più importante a causa della sua stretta relazione coi processi di globalizzazione, l'aumento della competitività tra ricercatori per i fondi di ricerca e la necessità di migliorare la loro reputazione e visibilità. L'internazionalizzazione è una caratteristica intrinseca della ricerca che interessa tutte le discipline scientifiche, sia pure a ritmi e passi diversi.

Lo scopo è di progettare (con l'aiuto di esperti del settore) e produrre un insieme di indicatori che potrebbero descrivere l'internazionalizzazione delle attività europee di ricerca. Questi indicatori dovrebbero essere utili sia per le organizzazioni membri (MOs), al loro interno e nei loro rapporti con la Commissione Europea, sia per i governi, per il benchmarking e i criteri di valutazione.

L'INFN sta portando avanti questa attività insieme a INRA (Francia): al Forum partecipano più di 30 MOs, insieme ai rappresentanti della EC e di istituzioni che non appartengono a ESF (come la NSF negli Stati Uniti). Attraverso due workshop, che hanno visto le

Organizzazioni affrontare i problemi con esperti del settore – CNR-CERIS (Italia), OTKA (Ungheria) e Rathenau (Olanda) – è stato definito un elenco di indicatori dal quale è stato selezionato un insieme più piccolo che attualmente viene messo in produzione con dati certificati. Gli esperti hanno contribuito a definire un quadro concettuale in cui realizzare l'interpretazione dei risultati provenienti da questi indicatori. Il quadro è differente per Enti di Ricerca o per Agenzie di Finanziamento, rispecchiando così la diversità degli obiettivi.

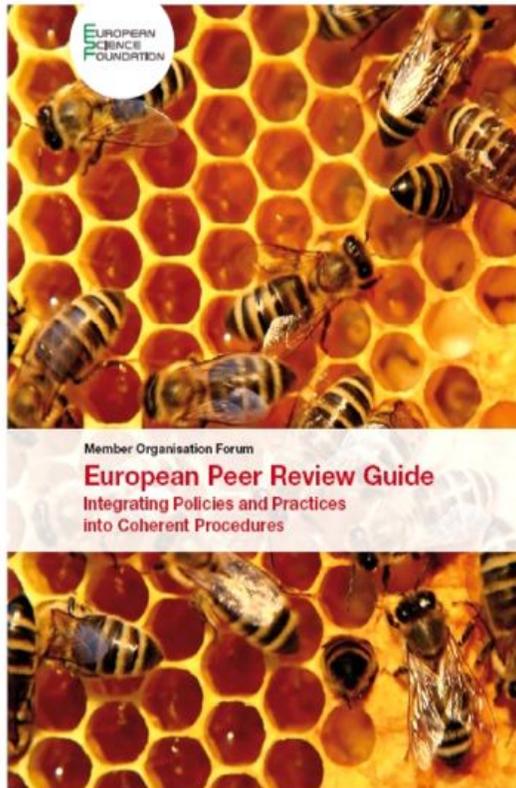


Fig. 11.2: Copertina della "European Peer Review Guide"

Una storia di successo ha infine coronato le attività del Forum al quale storicamente l'INFN ha preso parte fin dalla sua nascita, quello sul "Peer Review", con la pubblicazione della "Guida europea del Peer Review" (figura 11.2).

Sia il settore pubblico della ricerca sia quello privato, a livello nazionale e internazionale, affrontano da sempre la sfida di valutare la qualità e il potenziale delle proposte di ricerca tenendo conto anche delle proprie individualità culturali e scientifiche. Vi è dunque la necessità di sviluppare sistemi funzionali per tutte le organizzazioni coinvolte, riducendo al minimo l'onere per i *peer* stessi e massimizzando la valutazione dell'eccellenza scientifica. Raggiungere tale obiettivo richiede la definizione di criteri comuni di qualità pan-europea

per la revisione tra pari. Criteri di peer review sviluppati a livello europeo secondo gli standard internazionali e adottati poi a livello nazionale potrebbero svolgere un ruolo fondamentale perché gli scienziati europei si attivino a operare in un contesto globale.

La “*European Peer Review Guide*” si basa su pratiche condivise europee e internazionali nei processi di peer review e cerca di promuovere una misura di coerenza ed efficacia nella forma di un documento di riferimento pratico. Se è ovviamente applicabile alle situazioni nazionali, il documento mira inoltre a creare integrazione e fiducia reciproca nell'attuazione dei programmi di ricerca transnazionali. Il contenuto della guida è stato plasmato sull'input dei rappresentanti di più di 30 organizzazioni che hanno partecipato al Forum. Inoltre, un'indagine completa sulle pratiche di peer review da parte delle organizzazioni aderenti a ESF, come pure di altre organizzazioni chiave, è stata condotta al fine di comparare e identificare le buone pratiche nel processo di revisione tra pari. Le analisi e le conclusioni dell'indagine sono state utilizzate nella stesura della Guida e delle raccomandazioni. I risultati dell'indagine sono disponibili attraverso il sito web ESF a: <http://www.esf.org/activities/mo-fora/peer-review.html>.

La guida presenta un insieme minimo di principi fondamentali comunemente accettati a livello europeo, compresi quelli del Programma Quadro dell'UE. Essa presenta una serie di *good practices*, individuando anche possibili alternative, e si propone di essere utile per la ricerca europea per un ampio insieme di organizzazioni: di ricerca, di finanziamento, e per fondazioni private e associazioni di beneficenza.

Si auspica che ciò aiuti l'armonizzazione delle procedure in tutta Europa e sia di supporto alla costruzione dello Spazio Europeo della Ricerca, il quale richiede una maggiore cooperazione e integrazione delle attività a tutti i livelli.

### **11.3 CONFRONTO INTERNAZIONALE**

Come è stato mostrato in precedenti rapporti, nel confronto tra l'INFN e diversi paesi europei rappresentativi, la produzione italiana nella fisica nucleare, sub-nucleare e astro-particellare (sperimentale e teorica) è ad un livello paragonabile (o superiore), in termini sia quantitativi sia qualitativi. Questo naturalmente deriva anche dal fatto che l'INFN opera in un quadro internazionale, ottenendo, come abbiamo visto, anche una buona posizione nei ruoli di leadership corrispondenti.

	2010	2009	2008	2007	<04-06>
<b>CSN1</b>	96	96	96	95	95
<b>CSN2</b>	73	64	68	64	72
<b>CSN3</b>	93	85	91	92	95
<b>CSN4</b>	64	64	62	60	57
<b>CSN5</b>	21	24	21	23	20

Tab. 11.4: Percentuale di pubblicazioni INFN in collaborazione con colleghi stranieri.

Il livello internazionale delle ricerche condotte dall'INFN si evince facilmente anche esaminando il numero di pubblicazioni realizzate in collaborazione con colleghi stranieri. Ciò è mostrato nella tabella 11.4 che mostra per ogni linea scientifica la percentuale di pubblicazioni in collaborazione internazionale: i differenti valori per le diverse CSN riflettono il differente tessuto sociologico, nonché finanziario, delle linee di ricerca.

	INFN	CSN1	CSN2	CSN3	CSN4	CSN5
<b>USA</b>	39	80	64	40	26	18
<b>Germany</b>	37	83	64	41	19	24
<b>France</b>	34	75	56	43	19	13
<b>Spain</b>	28	69	50	25	16	7
<b>Russia</b>	26	84	23	37	10	6
<b>UK</b>	25	74	32	25	14	6
<b>Switzerland</b>	23	73	30	19	11	12
<b>Japan</b>	17	41	41	22	5	4
<b>China</b>	11	30	11	18	5	8

Tab. 11.5: Percentuale di articoli co-firmati per le principali nazioni con cui l'INFN collabora.

CSN1 e CSN3 sono esempi di particolare livello, per le quali sostanzialmente tutte le pubblicazioni sono condotte in collaborazione internazionale (tali Commissioni infatti contengono al loro interno i grandi esperimenti al Large Hadron Collider), ma anche nel

campo della fisica teorica (CSN4) si può notare un sempre più marcato indirizzo verso lavori redatti in collaborazione con colleghi stranieri.

È peraltro interessante conoscere quali siano i partner più importanti per i lavori pubblicati in collaborazione internazionale. La tabella 11.5 riporta il risultato ottenuto considerando tutte le pubblicazioni INFN del 2010 su riviste accreditate da ISI. Il *ranking* globale dell'INFN si riflette approssimativamente nelle Commissioni Scientifiche, tuttavia i pesi delle varie nazioni sono differenti, un segno della diversa composizione delle collaborazioni rispetto anche ai diversi investimenti degli altri paesi nelle varie linee scientifiche. Per CSN4 e CSN5 si può anche notare l'assenza di una graduatoria evidente, segno che la tipologia della collaborazione con colleghi stranieri è geograficamente più distribuita. Un altro elemento di novità per il 2010 è costituito da una collaborazione più intensa con la Cina.

L'anno scorso è stato presentato il panorama editoriale per le riviste utilizzate dall'INFN nella pubblicazione dei suoi risultati scientifici. La produzione INFN (che ammonta a circa 2500 pubblicazioni l'anno) si sviluppa su oltre 400 periodici internazionali, dove i primi dieci integrano circa il 40% delle pubblicazioni totali.

Ci si può porre la questione della rilevanza di questi documenti, in particolare in connessione con le esigenze derivanti dall'imminente esercizio di valutazione VQR da parte del Ministero. Dal momento che buona parte della valutazione verrà eseguita utilizzando indicatori bibliometrici, capire il posizionamento degli articoli INFN rispetto ad opportune medie prese sull'insieme dei documenti pubblicati in una rivista specifica può aiutare a valutare la qualità della produzione scientifica dell'INFN.

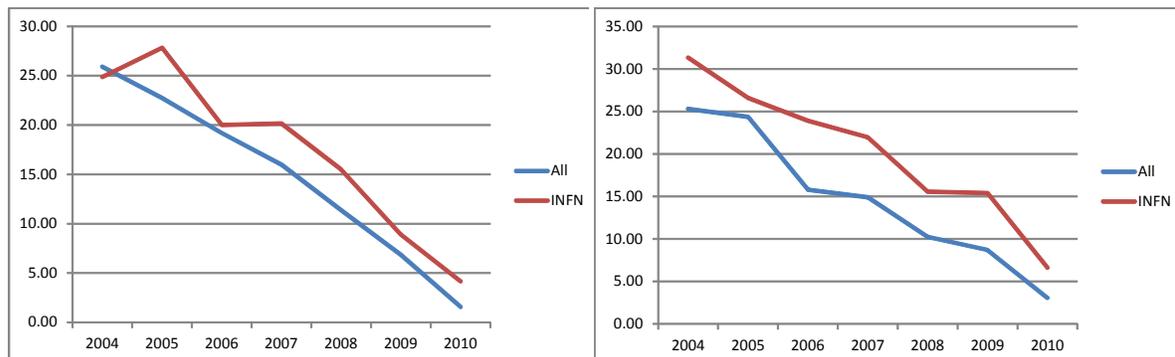


Fig. 11.3: Media delle citazioni fino a fine 2010 per articoli pubblicati negli anni 2004-2010 su Physical Review D (sinistra) e Nuclear Physics B (destra). Le pubblicazioni INFN sono in rosso, le globali in blu

Un possibile indicatore confronta il numero di citazioni integrato (fino alla fine del 2010) da articoli pubblicati con affiliazione INFN sulla rivista J nell'anno Y, con il numero medio di citazioni calcolato su tutti i documenti pubblicati sulla stessa rivista nello stesso anno. Nella figura 11.3 questo confronto viene mostrato per due delle principali riviste dove l'INFN pubblica, Physical Review D e Nuclear Physics B. Il risultato per gli articoli INFN è certamente incoraggiante.

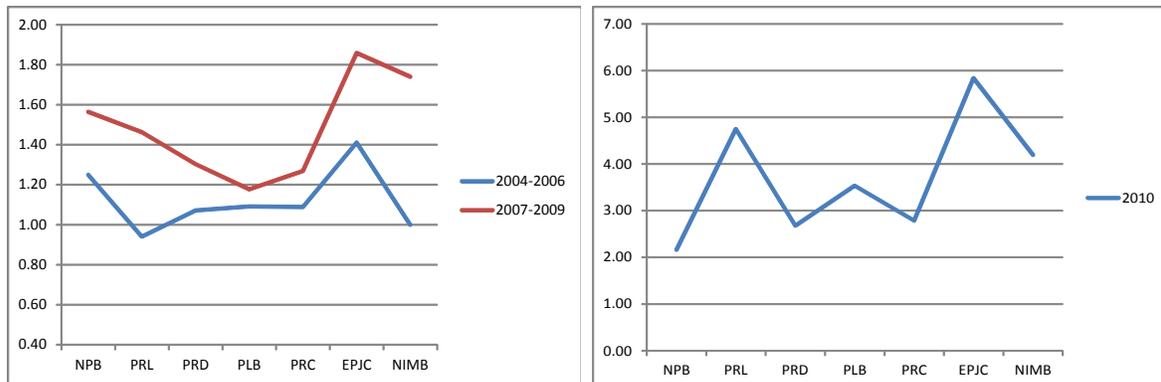


Fig. 11.4: Rapporto (INFN/Tutti) della media delle citazioni in diversi intervalli temporali e per alcune riviste rappresentative

Per avere un'immagine più globale si può considerare la media delle stesse quantità su due periodi, 2004-2006 e 2007-2009, insieme con il valore estratto nel 2010 (quest'ultimo noto come "Immediacy Index" in ISI) per una serie di riviste rappresentative prese tra i "top ten" delle pubblicazioni INFN

I risultati sono mostrati in Figura 11.4 come rapporto (INFN/Tutti) tra il numero medio di citazioni per pubblicazioni INFN e le medie complessive: i risultati sembrano dimostrare un comportamento molto buono per le pubblicazioni INFN, che si collocano quasi sempre al di sopra del numero medio di citazioni. Sembra inoltre che muovendosi verso anni recenti il divario positivo tra i documenti dell'INFN e la produzione globale sia in aumento. Ciò potrebbe essere interpretato come un segno del contenuto innovativo degli articoli INFN, che sono immediatamente citati e rimangono sulla scena per alcuni anni, prima di essere nuovamente superati da altri documenti scritti da altri ricercatori INFN. Non ci si aspetta ovviamente che la situazione sia la stessa per ogni rivista, quindi un'indagine più completa è attualmente in corso e servirà come input fondamentale nel processo decisionale per la VQR 2004-2010.

La pubblicazione di un articolo in grandi collaborazioni internazionali è spesso il risultato di un lavoro collettivo e che può occupare molto tempo. Dalla lista degli

autori non è poi semplice evincere se vi siano stati contributi particolari e di quale entità da parte di singoli ricercatori. In queste grandi collaborazioni, a causa dell'elevatissimo livello di competitività, non è però semplice neppure ottenere il diritto a presentare i risultati scientifici ad una conferenza internazionale, che pure è il modo più diretto soprattutto per i giovani ricercatori per farsi conoscere nel settore di competenza.

Per cercare di comprendere quanto venga riconosciuto il contributo dei ricercatori INFN all'interno delle grandi collaborazioni di cui fanno parte si può prendere come indicatore il rapporto tra il numero di presentazioni assegnate a loro nelle più importanti conferenze internazionali e confrontarlo con quello delle presentazioni assegnate ai ricercatori di altre nazioni.

Il confronto è riportato in tabella 11.6, mediando gli anni dal 2007 al 2010, e utilizzando un insieme di conferenze riconosciute dalla comunità internazionale delle tre linee CSN1, CSN2 e CSN3 (e che si tengano con cadenza regolare), normalizzando poi il numero di presentazioni alla dimensione delle comunità scientifiche di ognuna delle nazioni considerate. Il risultato mostra che i ricercatori INFN sono particolarmente apprezzati e che l'attività di educare, istruire e inserire i giovani nell'ambiente scientifico dei grandi esperimenti permette all'Istituto di creare una robusta generazione di scienziati che saranno gli attori degli sviluppi e delle scoperte future.

	<b>Italy</b>	<b>Germany</b>	<b>France</b>	<b>UK</b>	<b>USA</b>	<b>Japan</b>
<b>CSN1</b>	13	10	7	10	29	4
<b>CSN2</b>	11	13	7	3	27	11
<b>CSN3</b>	10	14	8	4	24	8

Tab. 11.6: Percentuale di presentazioni a conferenza da parte di ricercatori di varie nazioni.

# Indice analitico

## A

AEGIS, 72  
AGATA, 70, 71, 73, 74, 197, 198  
AGILE, 50, 55  
ALICE, 22, 28, 68, 69, 73, 74, 75, 273  
ALPI-PIAVE, 198, 202  
AMS, 85, 150, 151, 153, 253, 258, 338  
ANTARES, 50, 57, 228, 232  
apeNET, 112, 114, 115, 116  
ApPEC, 147, 277  
ARGO, 50, 57  
ASFIN, 72, 75  
ATLAS, 28, 40, 43, 44, 45, 48, 273  
AUGER, 50, 61  
AURIGA, 29, 50  
AURORA, 114, 117, 118, 119, 256, 261

## B

BABAR, 214, 221, 225  
BOREXINO, 50, 51, 52, 62, 184, 191, 273

## C

CABIBBOLAB, 271  
CATANA, 30, 153, 211, 255, 260, 261  
CDF, 41, 44, 46, 49, 134, 214  
CHIMERA, 30, 70, 75, 209, 210, 213  
CMS, 28, 40, 42, 43, 45, 48, 215, 273  
CNAF, 9, 63, 94, 95, 134, 135, 162, 164, 214, 215,  
216, 217, 218, 219, 257, 260, 262, 280, 290, 291,  
313, 348  
CNAO, 7, 29, 30, 148, 153, 154, 155, 156, 157, 165,  
173, 198, 254, 260, 261, 266, 267, 289, 294, 343  
CNGS, 31, 51, 52, 53, 54, 62, 182, 185, 191, 196,  
273, 288

COMPASS, 41, 49, 176  
CPO, 316, 317, 320  
CRESST, 31, 58, 188, 192, 196  
CSN1, 10, 13, 15, 39, 40, 42, 46, 47, 85, 354, 355,  
357, 363, 364, 366, 367  
CSN2, 10, 13, 18, 49, 50, 60, 61, 63, 85, 354, 355,  
363, 366, 367  
CSN3, 10, 13, 20, 64, 65, 66, 73, 85, 354, 355, 363,  
364, 366, 367  
CSN4, 10, 13, 22, 77, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 86, 159,  
354, 355, 356, 363, 364  
CSN5, 10, 13, 23, 86, 87, 91, 93, 354, 355, 356, 363,  
364  
CUORE, 31, 50, 54, 63, 185, 186, 193, 194, 196, 273

## D

DAFNE, 28, 47, 67, 111, 164, 165, 167, 168, 169,  
172, 174, 176, 177, 273  
DAMA, 31, 50, 58, 187, 191, 196, 273  
DARWIN, 192  
DEAR, 29, 273  
DESY, 41, 137, 143, 144, 273, 275  
DISCORAP, 111

## E

EGEIII, 145  
EGI, 83, 135, 136, 145, 233, 235, 237, 238, 239,  
240, 254, 290, 312  
EGO, 9, 27, 277  
ELN, 99, 137, 138  
EMI, 133, 134, 135, 136, 145, 238, 239, 240, 248,  
250  
ERA, 140, 359  
ERMES, 190, 193  
ERNA, 72, 75  
ESF, 64, 277, 358, 359, 360, 362  
ET, 143  
EURETILE, 113, 116, 119, 145  
EXCYT, 71  
EXOCHIM, 70

EXOTIC, 70

## F

FAI, 314, 323, 324

FAIR, 67, 73, 143

FAZIA, 197, 200

FBK, 149, 161, 260, 261

FEMCCS, 137, 149, 159, 160, 161

FERMI, 84, 85, 159, 165, 253

FERMILAB, 273, 276

FINUDA, 29, 273

FLAME, 91, 171, 174, 175, 177

## G

GARR, 30, 97, 98, 149, 162, 211, 215, 234, 259, 260,  
262, 272, 300

GGI, 23, 83, 84, 85, 149, 158, 159

GRID, 73, 75, 96, 133, 134, 135, 136, 140, 214, 217,  
219, 220, 225, 233, 234, 247, 252, 258, 263, 269,  
290, 294, 337

## I

ICARUS, 31, 51, 52, 53, 54, 62, 182, 183, 186, 191,  
196, 273, 288

IFMIF, 29, 103, 106, 121, 199, 201, 202, 204

IGI, 99, 133, 134, 135, 136, 217, 219, 233, 234, 237,  
238, 239, 240, 241, 247, 248, 249, 250, 251, 253,  
254, 259, 262, 268, 269, 290, 294, 312

INFN-E, 99, 100, 101, 102, 103, 290

INFN-GRID, 99, 133, 134, 145, 233, 290

INFN-MED, 289

ITER, 24, 105, 106, 199, 201, 269, 290, 294, 312

## J

JEM-EUSO, 61

JLAB, 73, 165

JPARC, 67, 172

## K

KEK, 171, 273, 275

KLOE, 28, 41, 47, 168, 171, 172, 177, 273

KM3NeT, 30, 57, 61, 63, 211, 213, 219, 220, 226,  
227, 228, 229, 230, 231, 232, 246, 247

## L

LABEC, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 255, 280

LHC, 7, 17, 18, 22, 27, 28, 32, 34, 35, 37, 38, 39, 40,  
41, 42, 46, 47, 48, 49, 52, 58, 68, 69, 73, 75, 78,  
84, 85, 86, 94, 97, 98, 112, 133, 134, 135, 137,  
138, 143, 145, 158, 159, 162, 165, 177, 187, 193,  
197, 214, 215, 219, 220, 226, 233, 273, 288, 300,  
315, 331, 332, 336, 338, 339, 357

LHCb, 28, 40, 43, 45, 48, 49, 85, 223, 273

LISA, 62, 258, 266

LNF, 27, 29, 41, 47, 67, 75, 91, 93, 94, 109, 110,  
111, 164, 165, 171, 172, 173, 177, 228, 258, 262,  
284, 289, 312, 333

LNGS, 19, 27, 50, 53, 54, 58, 59, 60, 63, 72, 75, 92,  
164, 178, 180, 181, 182, 183, 185, 186, 187, 188,  
189, 190, 191, 192, 194, 195, 253, 259, 261, 263,  
288, 312

LNL, 27, 70, 71, 73, 74, 75, 93, 103, 104, 105, 106,  
109, 122, 128, 129, 164, 197, 198, 199, 200, 201,  
202, 212, 259, 284, 289, 312

LNS, 27, 30, 57, 70, 71, 73, 75, 101, 103, 126, 130,  
143, 153, 164, 198, 200, 203, 205, 206, 208, 209,  
211, 212, 213, 228, 229, 255, 258, 259, 260, 261,  
262, 289, 312

LUNA, 74, 75, 189, 192, 196

## M

MAGIA, 59

MAGIC, 50, 56

MAGNEX, 209, 210, 213

MAMBO, 66

MEG, 41, 46, 47, 49

MIR, 59

## N

NAUTILUS, 176  
NEMO, 30, 50, 206, 228, 229, 232, 289  
n-TOF, 72  
NuPECC, 64, 65, 147, 151, 277, 359

## O

OPERA, 15, 31, 50, 51, 52, 62, 182, 191, 196, 288  
OUVERTURE, 30

## P

PAX, 67  
PEPII, 221  
PRISMA, 70, 74, 197, 198, 201, 205  
PSI, 41, 47, 49, 277  
PVLAS, 59

## S

SERSE, 30  
SIDDARTHA, 67  
SPARC, 24, 29, 89, 91, 164, 167, 169, 171, 174, 175,  
176, 178, 258, 289  
SPES, 29, 71, 73, 75, 99, 119, 120, 121, 122, 123,  
124, 125, 126, 127, 128, 130, 131, 132, 198, 199,  
200, 201, 202, 205, 289  
SPIRAL2, 71, 74, 120, 122, 128, 143, 198  
Spiral2-GANIL, 198  
SUPERB, 219, 220, 242

## T

T2K, 50, 52, 53, 62  
TIER1, 280, 288  
TOTEM, 40, 45

## V

VIRGO, 20, 27, 50, 59, 61, 214, 273

## W

WARP, 50, 188  
WLCG, 94, 98, 133, 134, 136, 215

## X

XDXL, 87  
XENON, 31, 50, 58, 63, 187, 188, 192, 194, 196

## Z

ZEUS, 41

# Indice delle Figure e delle Tabelle

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. ....	12
FIG.2.2: L'ORGANIZZAZIONE MANAGERIALE E SCIENTIFICA DELL'INFN SECONDO IL NUOVO STATUTO.....	13
FIG.2.3: LA COMPOSIZIONE DELL'UNIVERSO.....	14
FIG. 2.4: LA COSTITUZIONE DELLA MATERIA E LA CONNESSIONE MICROCOSMO-MACROCOSMO.....	17
FIG. 2.5: L'EVOLUZIONE DELL'UNIVERSO .....	17
FIG. 2.6: LE PARTICELLE FONDAMENTALI DEL MODELLO STANDARD.....	17
FIG.2.7: LE INTERAZIONI FONDAMENTALI E I LORO MEDIATORI.....	18
FIG. 2.8: L'ANELLO DI 27 KM DEL LARGE HADRON COLLIDER (LHC) AL CERN DI GINEVRA.....	20
FIG. 2.9: L'UNIFICAZIONE" DELLE FORZE. ....	23
FIG. 2.10: L'INTERFEROMETRO PER ONDE GRAVITAZIONALI VIRGO, NELLA PIANURA DI CASCINA (PI) .....	23
FIG.2.11: RICADUTE TECNOLOGICHE DELLO SVILUPPO DEGLI ACCELERATORI DI PARTICELLE.....	26
TAB. 2.1: PRINCIPALI FILONI SCIENTIFICI E LUOGHI DI RICERCA .....	28
FIG.2.12: IN ROSSO, PARTECIPAZIONE DELLE STRUTTURE INFN ALLA SPERIMENTAZIONE A LHC IN ATLAS, CMS, ALICE E LHCb. ....	30
FIG. 2.13: EVOLUZIONE DELLA FRONTIERA DELL'ENERGIA PER GLI ACCELERATORI DI PARTICELLE.....	34
FIG.3.1: TRACCE DI PARTICELLE PRODOTTE NELLA COLLISIONE DI ANTIPROTONI CON UN ATOMO DI NEON (CERN 1983).....	36
TAB. 3.1: COMPOSIZIONE, RISORSE FINANZIARIE E INVESTIMENTI PER LA CSN1 .....	41
FIG. 3.2: RISULTATI DELL'ESPERIMENTO CMS SULLA RICERCA DEL BOSONE DI HIGGS. IN FUNZIONE DELLA MASSA DEL BOSONE DI HIGGS VIENE MOSTRATO IL LIMITE AL 95% DI LIVELLO DI CONFIDENZA SULLA SEZIONE D'URTO DI PRODUZIONE NORMALIZZATO ALLA SEZIONE D'URTO ATTESA DAL MODELLO STANDARD; VALORI INFERIORI A 1 ESCLUDONO L'ESISTENZA DEL BOSONE DI HIGGS A QUELLA MASSA CON QUESTO LIVELLO DI CONFIDENZA (CERN, 13 DICEMBRE, 2011). ....	43
FIG. 3.3: LIMITI ALLA MASSA DI SQUARKS E GLUINI OTTENUTI DALL'ESPERIMENTO ATLAS (LINEA ARANCIONE) CONFRONTATI CON I PRECEDENTI RISULTATI OTTENUTI A LEP E AL TEVATRON (CDF E D0) (HCP, PARIGI, NOVEMBRE 2011).....	44
FIG. 3.4: MISURA DELLA DIFFERENZA DI LARGHEZZA E DELLA FASE DI MIXING DEL MESONE BS A LHCb CONFRONTATA CON I PRECEDENTI RISULTATI OTTENUTI AL TEVATRON (HCP, PARIGI, NOVEMBRE 2011). ....	45
FIG. 3.5: PRIMA EVIDENZA DELL'OSCILLAZIONE DEI NEUTRINI $N_M \rightarrow N_E$ , OSSERVATA IN GIAPPONE DALL'ESPERIMENTO T2K CHE VEDE LA PARTECIPAZIONE DELL'INFN. ....	53

FIG. 3.6: CRESCITA DEL VALORE DI LUMINOSITÀ INTEGRATA DI CNGS DAL 2008 AL 2011.....	53
FIG. 3.7: INTERAZIONE DI UN NM DEL CNGS OSSERVATA DAL RIVELATORE ICARUS AL LNGS.....	54
FIG. 3.8: SPETTRO DEL FLUSSO DI PROTONI E NUCLEI DI ELIO COSMICI, REGISTRATO DALL'ESPERIMENTO SATELLITARE PAMELA - IN ORBITA DAL GIUGNO 2006. ....	55
FIG. 3.9: L'ESPERIMENTO AMS-02, INSTALLATO SULLA STAZIONE SPAZIALE INTERNAZIONALE NEL MAGGIO 2011.	55
FIG. 3.10: ANISOTROPIA NEI RAGGI COSMICI A ENERGIE DELL'ORDINE DEL TeV, OSSERVATA DALL'ESPERIMENTO ARGO, IN TIBET.....	56
TAB. 3.2: COMPOSIZIONE, RISORSE FINANZIARIE E INVESTIMENTI PER LA CSN2.....	60
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.....	64
TAB. 3.3: COMPOSIZIONE, RISORSE FINANZIARIE E INVESTIMENTI PER LA CSN3.....	65
FIG. 3.12: ALCUNI TRA I RISULTATI PIÙ INTERESSANTI OTTENUTI DA ALICE NEL 2011 IN INTERAZIONI CENTRALI Pb- Pb A 2.76 TeV/NUCLEONE. A SINISTRA (IN ALTO) È MOSTRATA LA DENSITÀ DI PARTICELLE CARICHE IN FUNZIONE DELLA CENTRALITÀ (PHYS. REV. LETT. 106, 032301 (2011)); IL GRAFICO DI SINISTRA (IN BASSO) MOSTRA I RISULTATI .....	67
DELL'ANALISI DELLE CORRELAZIONI HBT: PRODOTTO $R_{OUT} * R_{SIDE} * R_{LONG}$ PER $K_T=0.3$ GeV/c (PHYS. LETT. B 696 (2011) 328); IN ENTRAMBI I GRAFICI I RISULTATI DI ALICE SONO PARAGONATI CON MISURE A ENERGIE INFERIORI. A DESTRA SONO MOSTRATE LE MISURE DEL FLUSSO DI PARTICELLE CARICHE IN TERMINI DI $V_2, V_3, V_4,$ E $V_5$ IN FUNZIONE DEL MOMENTO TRASVERSO PER TRE DIFFERENTI INTERVALLI DI CENTRALITÀ.....	68
FIG. 3.13: IL DIMOSTRATORE DEL RIVELATORE AGATA, CHE USA LA TECNICA DEL TRACCIAMENTO DELL'INTERAZIONE GAMMA CON LA MATERIA, MONTATO AI LABORATORI NAZIONALI DI LEGNARO.....	69
FIG.3.14 RAPPRESENTAZIONE SCHEMATICA DI UN "BRANE-WORLD", CON STRINGHE (APERTE O CHIUSE) E DIMENSIONI EXTRA (DA UN DISEGNO DEL CERN COURIER). ....	78
TAB. 3.4: DISTRIBUZIONE PERCENTUALE DEGLI FTE E NUMERO DI INIZIATIVE SPECIFICHE NELLE SEI LINEE SCIENTIFICHE DELLA CSN4.....	80
TAB. 3.5: COMPOSIZIONE, RISORSE FINANZIARIE E INVESTIMENTI PER LA CSN4.....	80
FIG. 3.15: LA SEDE DEL GALILEO GALILEI INSTITUTE FOR THEORETICAL PHYSICS AD ARCETRI (FI). ....	81
FIG. 3.16: IMMAGINE TOMOGRAFICA DI UN FANTOCCHIO OTTENUTA DA PRIMA+.....	87
TAB. 3.6: COMPOSIZIONE, RISORSE FINANZIARIE E INVESTIMENTI PER LA CSN5.....	91
FIG. 3.17: LA RETE PLANETARIA GRID UNISCE E UTILIZZA CONTEMPORANEAMENTE LA POTENZA DI CALCOLO E LA MEMORIA DI DECINE DI MIGLIAIA DI COMPUTER.....	94
FIG. 3.18: SCHEMA DI IFMIF-EVEDA, IL PROTOTIPO DI ACCELERATORE DI DEUTONI AD ALTISSIMA INTENSITÀ PER LO STUDIO DEI MATERIALI PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA DA FUSIONE NUCLEARE. ....	103
TAB. 3.7: APPLICAZIONI DELLE MACCHINE ACCELERATRICI A USO SCIENTIFICO.....	106
TAB. 3.8: CLASSIFICAZIONE DELLE RICERCHE SVOLTE NEL PROGETTO STRATEGICO NTA .....	108
TAB. 3.9: PROBLEMATICHE E POSSIBILI APPLICAZIONI STUDIATE IN NTA.....	108
FIG. 3.19: SCHEDE APENEXT+ .....	111

FIG. 3.20: PROGETTO QUONG: CPU+GPU CON APENET+ .....	113
TAB. 3.10: CARATTERISTICHE DEI SISTEMI MULTI-PROCESSORE.....	114
TAB. 3.11: FINANZIAMENTI DEL PROGETTO APE. ....	117
FIG. 3.21: COLLABORAZIONE SPES .....	122
TAB. 3.12: COSTO COMPLESSIVO DELLE FASI DI REALIZZAZIONE DEL PROGETTO SPES .....	123
TAB. 3.13 COSTO ANNUO PREVISTO PER LA REALIZZAZIONE DI CIASCUN PROGETTO NEL TRIENNIO 2012-2014 .....	123
TAB. 3.14: OBIETTIVI GENERALI (MILESTONES) REALIZZABILI NEL TRIENNIO PER I PROGETTI PIÙ RILEVANTI .....	125
FIG. 3.22: ISOMETRICO LABORATORIO CICLOTRONE E LAYOUT DI TRASFERIMENTO E SELEZIONE DEL FASCIO ESOTICO. .....	127
FIG. 3.23: SISTEMA ISOL INSTALLATO A LNL FIG. 3.28 FERRO DEL MAGNETE DOPO LA FORGIATURA .....	127
TAB. 3.15: TABELLA RIASSUNTIVA – PROGETTO SPES.....	129
FIG. 3.24: PROGETTI PRESENTATI NELLE VARIE TIPOLOGIE .....	139
FIG. 3.25: TASSO DI SUCCESSO NELLE VARIE TIPOLOGIE.....	140
TAB. 3.16: PROGETTI INFN NELLE INFRASTRUTTURE DI RICERCA .....	140
FIG. 3.26: ANALISI DI COMPOSIZIONE DEI PIGMENTI SU UNA TELA DEL MANTEGNA ALLA FACILITY DI MICROFASCIO ESTERNO A SCANSIONE DEL LABORATORIO PER I BENI CULTURALI DI FIRENZE (LABEC).....	148
FIG. 3.27: CONTROLLO DEI TUMORI RADIO RESISTENTI CON IONI DI CARBONIO.....	155
FIG. 3.28: SCHEMA DEL COMPLESSO DI ACCELERATORI DEL CNAO E DELLE LINEE DI TRATTAMENTO.....	155
FIG. 3.29: VISTA DEL SINCROTRONE .....	155
FIG. 3.30: SALA DI TRATTAMENTO (IN ALLESTIMENTO). ....	155
FIG. 3.31: VISTA AEREA DEL CENTRO CNAO A PAVIA. ....	155
FIG.4.1: COMPLESSO DEGLI ACCELERATORI DAFNE E DEI LABORATORI DI LUCE DI SINCROTRONE. ....	165
FIG. 4.2: SALA SPERIMENTALE DELL'ACCELERATORE SPARC. SONO VISIBILI, IN PRIMO PIANO, GLI ONDULATORI. ....	165
FIG. 4.3 - TIPICA MISURA DELLO SPETTRO FEL IN REGIME DI SINGOLA SPIKE (A) E CONFRONTO CON LE SIMULAZIONI (B).....	168
FIG. 4.4 – IMMAGINE DEL TRENO DI IMPULSI PRODOTTO CON LA TECNICA LASER COMB. SONO VISIBILI 4 IMPULSI DA 200 PC IN 200 FS DI LUNGHEZZA RMS, SEPARATI DA 1 PS. ....	168
FIG.4.5 MICROTOMOGRAFIA COMPUTERIZZATA REALIZZATA A X LAB FRASCATI .....	171
FIG. 4.6 - SCHEMA DELLE LINEE SPERIMENTALI DI SPARC_LAB.....	172
FIG.4.7: VEDUTA DEI LABORATORI ESTERNI DEL GRAN SASSO. ....	176
FIG.4.8: LAYOUT DEI LABORATORI SOTTERRANEI .....	177
FIG.4.9: GALLERIE SOTTERRANEE DEI LABORATORI NAZIONALI DEL GRAN SASSO .....	178
FIG. 4.10: L'ESPERIMENTO BOREXINO PER LA RIVELAZIONE DEI NEUTRINI, AI LABORATORI NAZIONALI DEL GRAN SASSO. ....	181
FIG.4.11: IL SISTEMA DI CRIOGENIA DELL'ESPERIMENTO ICARUS PER LA RIVELAZIONE DEI NEUTRINI, AI LABORATORI DEL GRAN SASSO. ....	183
FIG. 4.12: VISTA AEREA DEI LABORATORI NAZIONALI DI LEGNARO.....	196

FIG. 4.13: RISULTATI RECENTI DI FAZIA .....	196
FIG. 4.14: FRONT-END DEL BERSAGLIO ISOL .....	198
FIG. 4.15: IL MODELLO IN ALLUMINIO, SCALA 1:1, DELL'ACCELERATORE FIG. 4.12: FRONT-END DEL BERSAGLIO ISOL. RFQ PER IFMIF.....	198
FIG. 4.16: LA NUOVA SORGENTE ECR.....	200
FIG. 4.17: SCHEMA DI NBTF.....	200
FIG. 4.18: LABORATORI NAZIONALI DEL SUD.....	203
FIG. 4.19: L'ACCELERATORE TANDEM VAN DE GRAAFF DA 15 MV DEI LABORATORI NAZIONALI DEL SUD.....	203
FIG. 4.20: IL CICLOTRONE SUPERCONDUTTORE K800 (VISTA DELL'ESTERNO).....	203
FIG. 4.21: IL CICLOTRONE SUPERCONDUTTORE K800 (VISTA DELL'INTERNO).....	203
FIG.4.22 A) E B): VISTA ESTERNA E VISTA INTERNA DEL RIVELATORE DI PARTICELLE CARICHE CHIMERA AI LABORATORI NAZIONALI DEL SUD. ....	206
FIG. 4.23: LO SPETTROMETRO MAGNETICO MAGNEX AI LABORATORI NAZIONALI DEL SUD.....	206
FIG. 4.24: PARTICOLARE DELLA LINEA DI FASCIO CATANA PER LA TERAPIA DEL MELANOMA OCULARE .....	207
TAB. 4.1: IL PIANO DI SVILUPPO DELLE RISORSE AL TIER1. ....	212
FIG. 4.25: UTILIZZO DELLE RISORSE DI CALCOLO DEL TIER1.....	213
FIG. 4.26: CARATTERISTICHE SPETTRALI DELLA LUCE DI SINCROTRONE PRODOTTA IN SUPERB NEI MAGNETI DI PIEGATURA E NEGLI ONDULATORI.....	219
FIG. 4.27: SCHEMA DEL COLLISORE ELETTRONE-POSITRONE SUPER-B.....	221
FIG. 4.28: VISIONE ARTISTICA DELLA TORRE DI KM3NET.....	227
FIG. 4.29: SCHEMA DI POSIZIONAMENTO DEL CAVO SOTTOMARINO NEL SITO DI CAPO PASSERO.....	227
FIG. 4.30: FOTO SCATTATA DURANTE LE OPERAZIONI DI CONNESSIONE DELLA TORRE AL BOX DI ALIMENTAZIONE ALLA PROFONDITÀ DI 2000 M. ....	227
FIG. 4.31 DEPLOYMENT DI UN PROTOTIPO MECCANICO DELLA TORRE NEMO .....	228
TAB. 4.2: PARTECIPAZIONE DEI PAESI IN % DEL BUDGET FP ALLOCATO (CON L'ESCLUSIONE DI DANTE) .....	232
TAB. 4.3: SCALETTA TEMPORALE DEL PROGETTO SUPERB E STIMA DEI COSTI.....	238
TAB. 4.4: RISORSE FINANZIARIE TOTALI RICHIESTE SU UN DECENNIO, RELATIVE AI SEI ANNI DI COSTRUZIONE E AI SUCCESSIVI DI OPERAZIONE DELL'INFRASTRUTTURA SUPERB (IN MILIONI DI EURO). ....	239
TAB. 4.5: SCALA TEMPORALE DEL PROGETTO.....	241
TAB. 4.6: FLUSSO DI SPESA .....	241
TAB. 4.7: SCALA TEMPORALE DEL PROGETTO KM3NET .....	242
TAB. 4.8: FLUSSO DI SPESA DEL PROGETTO KM3NET .....	242
TAB. 4.9: PERSONALE NECESSARIO A REGIME PER REALIZZARE GLI OBIETTIVI DELLE UNITÀ OPERATIVE DI IGI.....	244
TAB 4.10: COSTI DI IGI (K€), SUDDIVISI PER ANNO .....	245
TAB 5.1: CONVENZIONI CON LE UNIVERSITÀ.....	252
TAB. 5.2 - CONVENZIONI CON ENTI PUBBLICI DI RICERCA.....	253
TAB. 5.3 - CONVENZIONI CON ALTRI ENTI.....	254

TAB 5.4: CONVENZIONI/RAPPORTI ENTI LOCALI.....	255
TAB. 5.5 – MEDICINA.....	255
TAB. 5.6 – BENI CULTURALI .....	256
TAB. 5.7 – GRID - ICT .....	256
TAB. 5.8 – FORMAZIONE DIFFUSIONE CULTURA SCIENTIFICA .....	257
TAB. 5.9: ACCORDI INTERNAZIONALI.....	270
TAB. 6.1: SEZIONI E GRUPPI COLLEGATI INFN.....	272
TAB. 6.2: LAUREATI MAGISTRALI E DOTTORATI CHE HANNO SVOLTO ATTIVITÀ IN AMBITO INFN, RISPETTO AI DATI TOTALI MIUR. ....	274
TAB. 6.3: SUPPORTO ALLA DIDATTICA .....	275
TAB. 7.1A: DISTRIBUZIONE DEL PERSONALE DIPENDENTE A TEMPO INDETERMINATO E DEI COSTI RELATIVI, AL 31 DICEMBRE 2011.....	277
TAB. 7.1B: DISTRIBUZIONE DEL PERSONALE DIPENDENTE A TEMPO DETERMINATO E DEI COSTI RELATIVI, AL 31 DICEMBRE 2011.....	278
FIG. 7.1: EVOLUZIONE TEMPORALE DELLA PIANTA ORGANICA E DEL PERSONALE DIPENDENTE IN SERVIZIO. ....	279
TAB. 7.2, 7.3: PROGRAMMAZIONE DELLE ASSUNZIONI PER GLI ANNI 2012, 2013, 2014.....	285
TAB. 7.4: NUMERO DI POSTI A CONCORSO PER IL TRIENNIO 2012-2014, PER LE PROGRESSIONI ECONOMICHE E I PASSAGGI A LIVELLO SUPERIORE PER IL PERSONALE TECNICO-AMMINISTRATIVO.” .....	285
TAB. 7.5: COEFFICIENTI PER UN SISTEMA UNICO DI PREZZI RIFERITO ALL’ANNO 2010 (FONTE: ISTAT) : .....	287
FIG. 7.6 A): EVOLUZIONE TEMPORALE DEL PERSONALE DIPENDENTE A TEMPO DETERMINATO, INDETERMINATO E ASSOCIATO .....	300
FIG. 7.6 B): EVOLUZIONE TEMPORALE DEL NUMERO DI DIPENDENTI PER “AREA DI IMPIEGO” .....	300
TAB. 7.7: PROFILO DI SPESA PER RICERCA, PERSONALE, FUNZIONAMENTO, ATTREZZATURE E SERVIZI .....	303
TAB. 7.8: PROFILO DI SPESA AMMINISTRATIVA PER IL TRIENNIO 2012 - 2014.....	303
TAB. 7.9: PROFILO DI SPESA RELATIVO AL TRIENNIO 2011-2013. ....	305
TAB. 7.10: DISTRIBUZIONE DEL PERSONALE ASSOCIATO ALL’INFN AL 31-12-2011 .....	307
FIG.7.3 : RICERCATORI STRANIERI OSPITI PRESSO STRUTTURE INFN (FAI) NEL 2009 PER UN TOTALE. DI 447 .....	316
FIG. 7.4: ACCORDI BILATERALI IN VIGORE PER SCAMBI BORSISTI. ....	316
FIG. 8.1: INSTALLAZIONE DI VIDEO-ARTE ALLA MOSTRA L’UNIVERSO NON È PIÙ QUELLO DI UNA VOLTA” ALLESTITA NELL’OTTOBRE 2011 A PALAZZO DELLA MERIDIANA, PALAZZO DUCALE E BIBLIOTECA UNIVERSITARIA DI GENOVA IN OCCASIONE DEL FESTIVAL DELLA SCIENZA 2011.....	321
FIG.8.2: INSTALLAZIONI MULTIMEDIALI ALLA MOSTRA “ESTREMO” ALLESTITA PER LA PRIMA VOLTA A BOLOGNA NEL FEBBRAIO 2011 IN OCCASIONE DELLA MANIFESTAZIONE “ARTE E SCIENZA IN PIAZZA” .....	322
FIG.8.3: LE COPERTINE DEI NUMERI 11 E 12 DELLA RIVISTA ASIMMETRIE .....	324
FIG.8.4: MODELLINO IN SCALA REALE DEL RIVELATORE ADA DI FRASCATI (1962) E SEFRA ARMILLARE DI GERONIMO DELLA VULPARIA (1575), ESPOSTI NEL MAGGIO 2011 NELLA SEDE DELL’OMPI A GINEVRA, IN OCCASIONE DELLA MOSTRA “AN ITALIAN HISTORY OF INNOVATION” .....	325

FIG. 8.5: LOCANDINE E BROCHURE DELLE MOSTRE E ALLESTIMENTI REALIZZATI NEL CORSO DEL 2011. ....	327
FIG. 8.6: UN'IMMAGINE DELL'EVENTO-INCONTRO "LO STRANO MONDO DI LHC" CHE SI È SVOLTO A DICEMBRE 2011 AL MUSEO NAZIONALE DELLA SCIENZA E DELLA TECNOLOGIA DI MILANO.....	329
TAB. 11.1: PRODUTTIVITÀ SCIENTIFICA INFN .....	345
TAB. 11.2: ALCUNI INDICATORI DI PRODUTTIVITÀ SCIENTIFICA INFN.....	346
TAB. 11.3: INDICATORI DI PERFORMANCE PER LE COLLABORAZIONI E I GRUPPI DI RICERCA .....	347
FIG. 11.1: IL RESEARCH DEVELOPMENT FRAMEWORK (RDF) STRUTTURATO NEI QUATTRO DOMINI.....	349
FIG. 11.2: COPERTINA DELLA "EUROPEAN PEER REVIEW GUIDE" .....	351
TAB. 11.4: PERCENTUALE DI PUBBLICAZIONI INFN IN COLLABORAZIONE CON COLLEGHI STRANIERI.....	353
TAB. 11.5: PERCENTUALE DI ARTICOLI CO-FIRMATI PER LE PRINCIPALI NAZIONI CON CUI L'INFN COLLABORA.....	353
FIG. 11.3: MEDIA DELLE CITAZIONI FINO A FINE 2010 PER ARTICOLI PUBBLICATI NEGLI ANNI 2004-2010 SU PHYSICAL REVIEW D (SINISTRA) E NUCLEAR PHYSICS B (DESTRA). LE PUBBLICAZIONI INFN SONO IN ROSSO, LE GLOBALI IN BLU.....	354
FIG. 11.4: RAPPORTO (INFN/TUTTI) DELLA MEDIA DELLE CITAZIONI IN DIVERSI INTERVALLI TEMPORALI E PER ALCUNE RIVISTE RAPPRESENTATIVE .....	355
TAB. 11.6: PERCENTUALE DI PRESENTAZIONI A CONFERENZA DA PARTE DI RICERCATORI DI VARIE NAZIONI. ....	356