

Piano Triennale 2010-12

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare



PIANO TRIENNALE 2010-12

INDICE

1. INTRODUZIONE

2. L'ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE: STATO E PROSPETTIVE

- 2.1 LA MISSIONE E LE ORIGINI
- 2.2 LA STRUTTURA E L'ORGANIZZAZIONE
- 2.3 LE RISORSE UMANE E FINANZIARIE
- 2.4 I TEMI E L'ATTIVITÀ SCIENTIFICA
- 2.5 I LUOGHI DELLA RICERCA, GLI ESPERIMENTI, LE INFRASTRUTTURE
- 2.6 GLI ACCORDI E LE CONVENZIONI NAZIONALI ED INTERNAZIONALI
- 2.7 LE ATTIVITÀ DI DISSEMINAZIONE E DI COMUNICAZIONE
- 2.8 L'IMPATTO SOCIO-ECONOMICO ED IL TRASFERIMENTO TECNOLOGICO
- 2.9 LA VALUTAZIONE
- 2.10 LA ROADMAP

3. PIANO PROGRAMMATICO DI ATTIVITÀ SCIENTIFICA

- 3.1 L'INFN E LA SUA MISSIONE SCIENTIFICA
- 3.2 LA FISICA SUBNUCLEARE
- 3.3 LA FISICA ASTROPARTICELLARE
- 3.4 LA FISICA NUCLEARE
- 3.5 LA FISICA TEORICA
- 3.6 LE RICERCHE TECNOLOGICHE E INTERDISCIPLINARI
- 3.7 IL CALCOLO E LE RETI
- 3.8 I PROGETTI STRATEGICI ED I PROGETTI SPECIALI
- 3.9 I PROGETTI EUROPEI
- 3.10 I PROGETTI CONGIUNTI CON ALTRI ENTI NAZIONALI E REGIONALI
- 3.11 I PROGETTI FIRB, PRIN



4. I LABORATORI NAZIONALI, IL CNAF E LE INFRASTRUTTURE DI RICERCA

- 4.1 I LABORATORI NAZIONALI: LNF, LNGS, LNL, LNS
- 4.2 IL CNAF
- 4.3 LE NUOVE INFRASTRUTTURE DI RICERCA: SUPERB, KM3NET, GRID
- 4.4 PROFILI FINANZIARI DELLE NUOVE INFRASTRUTTURE DI RICERCA

5. COOPERAZIONE E ACCORDI CON ENTI ED ORGANISMI NAZIONALI ED INTERNAZIONALI

- 5.1 LE COLLABORAZIONI E GLI ACCORDI NAZIONALI
- 5.2 LA PARTECIPAZIONE A CONSORZI, A SOCIETÀ, A FONDAZIONI
- 5.3 LE COLLABORAZIONI E GLI ACCORDI INTERNAZIONALI

6. RAPPORTI E CONVENZIONI CON LE UNIVERSITÀ

7. PIANO DI SVILUPPO DELLE RISORSE UMANE E FINANZIARIE

- 7.1 LE RISORSE DI PERSONALE DELL'ISTITUTO
- 7.2 LE RISORSE FINANZIARIE
- 7.3 IL CONTRIBUTO DEL PERSONALE ASSOCIATO
- 7.4 LA FORMAZIONE E LE AZIONI DI SOSTEGNO DEI GIOVANI
- 7.5 LE AZIONI POSITIVE PER LE PARI OPPORTUNITÀ
- 7.6 GLI SCAMBI INTERNAZIONALI DEL PERSONALE DI RICERCA
- 7.7 LE ATTIVITÀ DI FORMAZIONE E DI INFORMAZIONE DEL PERSONALE

8. LE ATTIVITÀ DI COMUNICAZIONE E DI DIVULGAZIONE SCIENTIFICA

- 8.1 COMUNICAZIONE PER I MEDIA E PER LA COMUNITÀ
- 8.2 LA RIVISTA ASIMMETRIE
- 8.3 MOSTRE E MULTIMEDIA

9. LE ATTIVITÀ DI IMPATTO SOCIO-ECONOMICO E DI TRASFERIMENTO TECNOLOGICO

- 9.1 TRASFERIMENTO TECNOLOGICO
- 9.2 CONTO TERZI
- 9.3 SPIN-OFF
- 9.4 BREVETTI E PROPRIETÀ INTELLETTUALE



10. PIANO DI RIAMMODERNAMENTO GESTIONALE

- 10.1 IL QUADRO NORMATIVO
- 10.2 IL SISTEMA INFORMATIVO

11. LA VALUTAZIONE INTERNA

- 11.1 PRODUTTIVITÀ SCIENTIFICA
- 11.2 UNA PROSPETTIVA EUROPEA PER LA VALUTAZIONE
- 11.3 CONFRONTO INTERNAZIONALE

INTRODUZIONE

CAPITOLO

Il piano triennale dell'Istituto offre una rassegna sulle sfide scientifiche e gestionali presenti e future. Si compone di otto capitoli: il secondo capitolo contiene una panoramica generale che viene ripresa in dettaglio nei rimanenti sette.

L'Istituto si caratterizza nella sua missione come il riferimento per le ricerche del paese nei settori della fisica nucleare, delle particelle (detta anche subnucleare) e della cosmologia nelle sue più recenti forme di investigazione basate sulle particelle elementari (detta anche astro-particellare). Lo fa attraverso collaborazioni internazionali nelle quali figurano in totale simbiosi il proprio personale ricercatore dipendente ed i ricercatori delle Università che vengono associati alle ricerche dell'Istituto. Tale stretto legame con l'Università si realizza attraverso una gestione distribuita delle attività amministrative e scientifiche tramite le sezioni e i gruppi collegati nei quali si articola l'organizzazione regolamentare dell'Istituto.

La valenza internazionale delle attività rappresenta dalla nascita dell'Istituto uno dei suoi punti di forza rinsaldato non solo dalle collaborazioni internazionali ma anche da un solido programma di visitatori stranieri nel nostro paese spesso suggerito da accordi internazionali bilaterali. Le attività si svolgono sia nei laboratori internazionali quali il Cern di Ginevra, il Fermilab di Chicago, KEK in Giappone ed altri importanti Centri citati nel documento, sia nei propri laboratori nazionali che mantengono una eccellenza e visibilità internazionale, condizione necessaria per assicurare un futuro in un'epoca di globalizzazione sempre più pronunciata delle ricerche svolte dall'Istituto.

I contenuti tecnologici degli strumenti della ricerca, acceleratori, rivelatori e metodi e apparati di calcolo, sono sempre più sofisticati e da qualche anno l'Istituto si è impegnato in uno sforzo dedicato alla valorizzazione di tali contenuti in ambiti applicativi ed industriali. A tale scopo ha convogliato in progetti strategici attività di forte impatto sociale come quelle associate alla fisica medica, alla fisica nucleare applicata all'energia e a quelle dedicate allo sviluppo delle tecniche di accelerazione foriere di innovazione tecnologica e di nuova competitività scientifica. Particolare attenzione è stata dedicata allo sviluppo degli strumenti di calcolo. Presso il suo Centro Nazionale a Bologna, il CNAF, è stato installato un "Tier1", uno dei dodici centri al mondo che saranno i principali nodi di calcolo per l'LHC; con l'avvio quest'anno della sperimentazione si può già vedere come il Tier1 del CNAF, insieme alla rete informatica della GRID, vede l'INFN tra i principali attori nel settore strategico dell'ICT.

Alla tradizionale attenzione alla formazione dei giovani verso il mondo della ricerca si è aggiunta quella dell'inserimento di giovani formati nel contesto produttivo con lo scopo di trasferire ad esso non solo i contenuti innovativi delle ricerche e delle tecnologie in esse impiegate, ma anche gli attori stessi di tale processo, i giovani ricercatori.

I meccanismi di gestione delle risorse dell'Istituto e della valutazione del loro impiego sono periodicamente oggetto di discussione e di revisione. Da molti anni l'INFN si avvale di un comitato di valutazione internazionale (CVI), i cui componenti sono scelti tra i direttori dei maggiori laboratori internazionali, economisti, responsabili della gestione di industrie e esperti dei settori di ricerca coperti dall'Istituto, che opera una peer-review annuale sia sulle attività scientifiche sia sull'efficienza dell'organizzazione. In occasione dell'attuazione dei decreti legislativi di riforma degli Enti di ricerca, l'Istituto ha individuato forme di snellimento e ottimizzazione delle procedure di funzionamento che si appresta a condividere con gli esperti i cui indirizzi forniranno al Consiglio Direttivo ulteriori elementi per pervenire alla stesura del nuovo Regolamento Generale.

L'Istituto ha una posizione di assoluto rilievo nel contesto internazionale, basti citare che tutti i responsabili dei tre maggiori esperimenti mondiali a LHC sono italiani, e investe le proprie risorse per aumentare l'impatto sociale delle proprie ricerche, pur mantenendo ferma la propria vocazione per una ricerca dedicata all'esplorazione delle leggi fondamentali del cosmo. Tale metabolismo rischia di essere fortemente rallentato da due fattori di compressione che, negli ultimi hanno progressivamente ridotto le potenzialità di sviluppo future. Il primo è il livello di finanziamento che in termini reali si è ridotto negli ultimi anni in modo costante. Solo negli ultimi paio di anni la compressione si è arrestata senza poter ovviamente riportare l'INFN ai livelli originari di finanziamento. Il divario tra il potere di ricerca attuale e quello estrapolato in valori aggiornati per la sola inflazione dal 2003-2004 raggiunge circa sessanta milioni di euro in meno all'anno, che, se misurati con le risorse non obbligatoriamente impegnate, qual quelle per il personale e per le infrastrutture in cui esso opera, rappresenta un taglio di circa il 50% dei fondi liberi per investimenti nella ricerca. Tale situazione comporta un rinnovo delle iniziative intraprese assai limitato con una recessione a lungo termine di cui oggi non si avverte il pericolo.

Nella roadmap dell'Istituto del 2006, rinnovata attraverso le elaborazioni successive presenti nei piani triennali, l'INFN aveva individuato iniziative atte soprattutto a mantenere forte la competitività dei propri laboratori nazionali, nei quali si accentrano le capacità tecnologiche e le infrastrutture per una ricerca in Italia dei propri ricercatori. Conscio dell'impossibilità di poter finanziare tutta la roadmap, nondimeno l'Ente ha messo in opera tutte le sue energie per farne progredire i progetti senza perdere terreno nella competizione internazionale. Dei quattro laboratori nazionali, il Gran Sasso vedrà un periodo assai intenso di nuovi esperimenti sulla materia oscura, sull'esistenza di nuovi tipi di particelle e sulle oscillazioni dei neutrini. Nuove

tecnologie di avanguardia, come quella dei liquidi criogenici nei rivelatori di grosse dimensioni, saranno sperimentate per la prima volta al mondo con l'inizio delle operazioni dell'esperimento Icarus. Il laboratorio di Legnaro, centro di eccellenza nella fisica nucleare, svilupperà il progetto sulla produzione di ioni radioattivi in gemellaggio con il laboratorio internazionale francese di Ganil. Tale progetto è finanziato solo in parte, la maggiore, dall'INFN. Ulteriori finanziamenti sono all'orizzonte derivanti dall'uso del ciclotrone ad alta intensità che servirà a produrre gli ioni radioattivi in ambito medico, tramite la produzione di radioisotopi per la diagnostica o la terapia medica, o tramite la costruzione di un reattore di fissione di ricerca, dalla potenza di qualche kilowatt, basato su neutroni veloci e innescato da un acceleratore (sottocritico) Su questi temi la regione, la Ansaldo nucleare e la Sogin hanno dimostrato un interesse sul quale coltivare un progetto definito.

Sull'interesse della regione Sicilia conta anche il progetto km3 a largo di Capo Passero in Sicilia, dedicato alla neutrino-astronomia, che prevede l'installazione di torri sottomarine di rivelatori nell'ambito di un progetto europeo denominato KM3 con interessanti applicazioni multi disciplinari nell'ambito della geologia. La precedente amministrazione aveva già quantificato la sua disponibilità ad un finanziamento e sono in avanzata fase di discussione le trattative per il rinnovo e l'aumento della disponibilità originaria con la presente amministrazione.

Il progetto SuperB riguarda la costruzione di un acceleratore di particelle di nuova concezione, ad altissima intensità, capace di studiare gli effetti rari della fisica dei quark pesanti Bottom, nei quali si possono manifestare segnali di nuova fisica, complementari a quelli esplorabili alle grandi macchine acceleratrici quali l'LHC di Ginevra. Tale progetto per le sue dimensioni non può trovare finanziamento adeguati in ambito regionale, anche se con la precedente



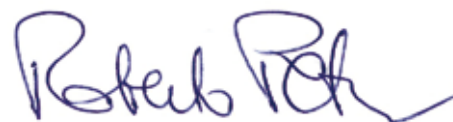
amministrazione aveva ricevuto decise manifestazioni di interesse che speriamo la neo eletta amministrazione possa fare proprie. Il ruolo dell'Istituto qui è stato di ottenere un sostegno sempre maggiore a livello internazionale dalle Istituzioni straniere per poter stimolare un cofinanziamento da parte di partner stranieri, una volta assicurato dall'Italia il sostegno ad una parte sostanziale del progetto con un finanziamento adeguato. Il progetto ha raggiunto un avanzato stadio di maturità. Le credenziali scientifiche di fattibilità sono state acquisite soprattutto grazie ai test dei Laboratori Nazionali di Frascati che hanno confermato la validità della nuova concezione della zona di interazione dei fasci messa a punto dal gruppo di ricerca della divisione acceleratori sotto la guida del Prof. Pantaleo Raimondi. L'Istituto ha recentemente ottenuto l'interesse da parte dell'INT di realizzare in contemporanea alla macchina linee di estrazione della luce di sincrotrone prodotta dai fasci per alimentare altrettanti "microscopi" per la biologia, la fisica dei materiali e le nanotecnologie. La sua approvazione avrebbe sicuri ritorni sia scientifici, sia in termini di rientro e di attrazione di nuove competenze, sia industriali a lungo termine attraverso l'innovazione che genera, sia industriali a breve termine attraverso l'affinamento tecnologico delle industrie coinvolte, sia occupazionali per i giovani ricercatori, sia in termini di prestigio internazionale. A titolo di esempio le necessità' di calcolo espresse dall'esperimentazione alla SuperB saranno un motore per sviluppare potenti centri di calcolo, specialmente nelle sezioni INFN del Centro e Sud Italia già coinvolte nel progetto, con conseguente ricadute di alta tecnologia sul territorio.

Il motore reale di ogni forma di ricerca sono le persone coinvolte ed in particolare i giovani dal cui entusiasmo e creatività prendono vita le idee e le iniziative più coraggiose. La restrizione sull'assorbimento del personale formato costituita da una pianta organica inadeguata a fronte delle molteplici attività, specialmente quelle a carattere applicativo, delle quali l'Ente si è fatto carico negli ultimi anni, rischia di generare un salto generazionale difficilmente colmabile successivamente, a favore di un arricchimento di altre Istituzioni, soprattutto straniere, del bagaglio di formazione investito dall'Italia attraverso l'Istituto. Rispetto al passato l'inadeguatezza è testimoniata sia dalla sua riduzione rispetto a quella di circa una decina di anni or sono, sia dal suo livello di riempimento, allora all'ottanta per cento ed oggi in totale saturazione. Questo rende assai difficile una programmazione delle risorse umane future e porterà di nuovo negli anni ad una recessione costituita dall'inevitabile scoraggiamento nei futuri ricercatori derivante dalle prospettive troppo esigue di inserimento nel mondo della

ricerca. L'Istituto da molti anni ritiene che un allargamento moderato, di circa il 5-7% , della propria pianta organica scongiurerebbe il pericolo di un salto generazionale e ridarebbe fiducia a chi si affaccia oggi, terminato la prima fase degli studi universitari, al mondo della ricerca.

Questo piano testimonia l'enorme vivacità della ricerca dell'INFN, sottolinea i punti di criticità e mi auguro possa trasmettere quel carattere di coesione e di interconnessione tra i le ricerche affrontate, quasi fosse un unico grande "esperimento", che ha costituito e costituirà forse il maggiore punto di forza dell'Ente.

Roberto Petronzio
Presidente INFN



L'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare: stato e prospettive



CAPITOLO

Per informazioni di carattere generale sull'Istituto si consulti il sito web: <http://www.infn.it/>.

2.1 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 ed in stretta collaborazione con il mondo universitario italiano, sulla base di consolidati e pluridecennali rapporti convenzionali. La ricerca fondamentale in questi settori richiede l'uso di tecnologie e strumenti di ricerca d'avanguardia che l'INFN sviluppa nei propri laboratori e anche 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 significativo non solo nei vari laboratori europei, ma in numerosi centri di ricerca mondiali.





Fig.2.2: 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.

L'INFN inoltre:

- 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.

2.2 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 2.2).

I 4 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).

Fig.2.1: I Laboratori Nazionali del Gran Sasso

- 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 massimo organo decisionale dell'Istituto è il Consiglio Direttivo, costituito dal Presidente e dalla Giunta esecutiva (5 membri, incluso il Presidente), dai Direttori dei Laboratori Nazionali e delle Sezioni, da rappresentanti del MIUR, del Ministero delle attività produttive, del CNR, dell'ENEA e del personale dell'Istituto (figura 2.3).



Fig.2.3: L'organizzazione manageriale e scientifica dell'INFN.

Il recente decreto legislativo 31 dicembre 2009 n.213 sul riordino degli enti pubblici di ricerca, pubblicato su GU serie generale n.25 del 1-2-2010, ha previsto la riduzione della composizione del Consiglio Direttivo dei due componenti rappresentativi degli enti di livello non ministeriale.

Per lo svolgimento dell'attività scientifica, l'Istituto si avvale di cinque Commissioni Scientifiche Nazionali (CSN), consultive del Consiglio direttivo. Esse coprono rispettivamente le seguenti linee scientifiche: fisica

subnucleare (CSN1), fisica astro particellare (CSN2), fisica nucleare (CSN3), fisica teorica (CSN4), ricerche tecnologiche e interdisciplinari (CSN5).

Le Commissioni sono formate da coordinatori eletti, in ciascuna Sezione e Laboratorio Nazionale, dai ricercatori dell'Ente; i coordinatori eleggono il Presidente di ciascuna di esse. Le Commissioni ricevono le proposte di nuovi esperimenti o le richieste di risorse da parte di quelli già approvati. Avvalendosi del lavoro di *referee* interni ed esterni alle CSN stesse, queste ultime discutono i meriti dei vari progetti presentati e raccomandano al Consiglio Direttivo l'attribuzione delle necessarie risorse.

Il Consiglio Direttivo si riunisce, di norma, mensilmente e prende le sue decisioni su tematiche proposte dal Presidente e dalla Giunta Esecutiva, elaborate a partire anche dalle richieste degli stessi Direttori, nonché dalle raccomandazioni delle Commissioni Scientifiche Nazionali e degli altri comitati consultivi di programmazione e valutazione dell'attività, il tutto con l'ausilio dei Dirigenti dell'Amministrazione Centrale.

L'attuazione delle decisioni del Consiglio compete, secondo i casi, al Presidente, alla Giunta, ai Direttori di Laboratorio o di Sezione per l'organizzazione delle attività a livello locale, il tutto con l'ausilio dei dirigenti dell'Amministrazione Centrale. Questa organizzazione si è gradualmente affermata nell'Istituto. 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.

DISTRIBUZIONE PERSONALE

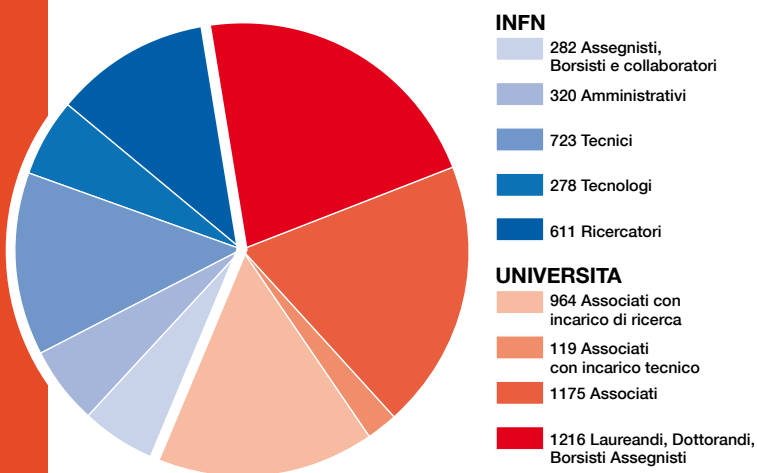


Fig.2.4: Distribuzione del personale dipendente e associato.

Dal punto di vista normativo, l'Istituto è impegnato a elaborare il nuovo Statuto, come richiesto dal decreto legislativo di riordino, e a riorganizzare, di conseguenza, i suoi organi, nonché a proseguire sul piano di riammodernamento funzionale e gestionale.

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.

2.3 LE RISORSE UMANE E FINANZIARIE

IL PERSONALE DIPENDENTE E ASSOCIATO

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

Il personale dell'INFN conta circa 2150 dipendenti, di cui circa 1900 a tempo indeterminato, oltre 250 propri giovani in formazione, quasi 2300 dipendenti universitari associati alle attività dell'Istituto, di cui quasi 1000 associati con incarico di ricerca e oltre 100 associati con incarico di collaborazione tecnica, e 1200 giovani tra laureandi, borsisti, dottorandi e assegnisti universitari (vedi figura 2.4).

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

La distribuzione tra le diverse strutture dell'Istituto dei posti disponibili e di quelli che si rendono disponibili per cessazione dal servizio, è oggetto di attenta valutazione da parte del Consiglio Direttivo, con riferimento sia a un equilibrato sviluppo delle strutture stesse, che ne assicuri il corretto funzionamento, sia alle esigenze dei programmi di ricerca che di volta in volta richiedono un maggiore impiego di risorse umane.

Accanto alle posizioni a tempo indeterminato, e a complemento di esse, i contratti a termine costituiscono uno strumento essenziale di flessibilità che consente, da un lato, di fronteggiare nella maniera più efficace l'evoluzione temporale

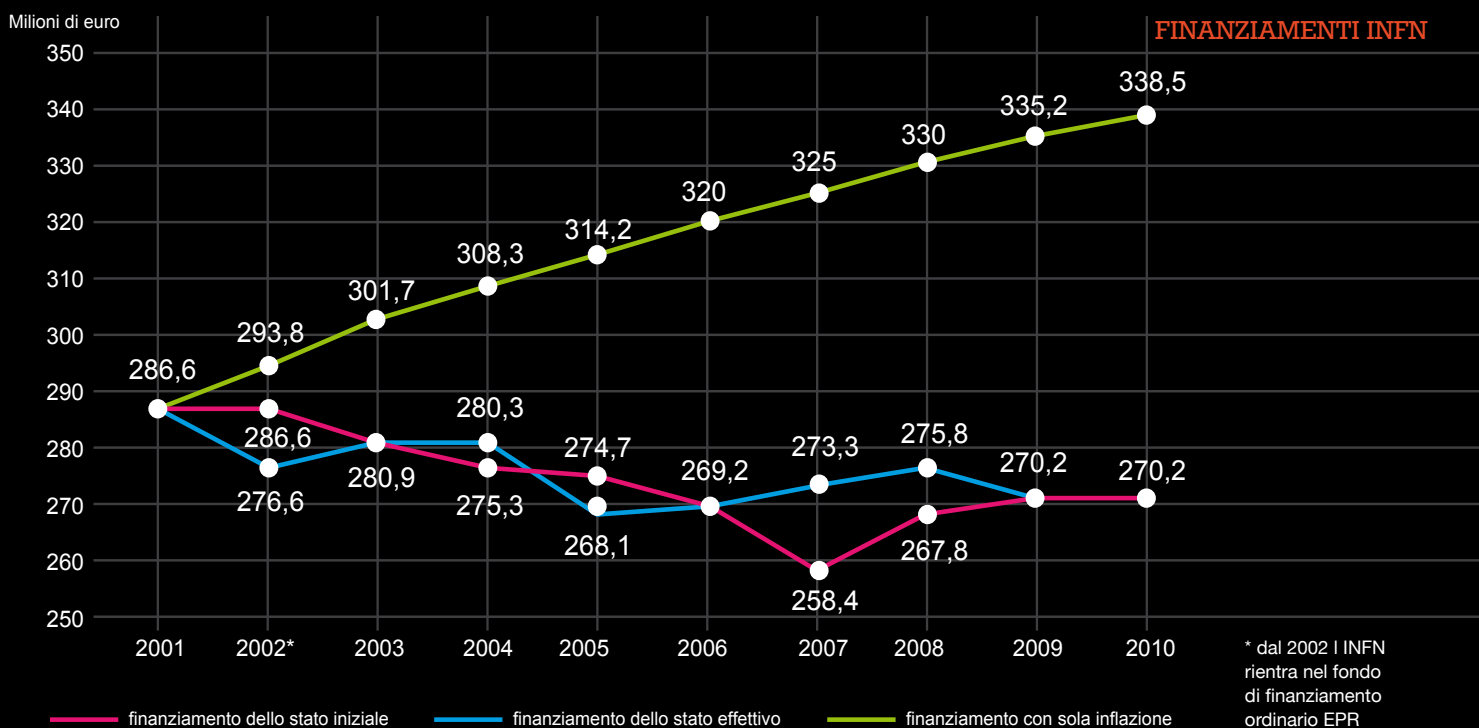


Fig.2.5: L'evoluzione dei finanziamenti ordinari dello Stato.

dei programmi e, dall'altro, di avvalersi di personale, anche straniero, di alta qualificazione scientifica e tecnica.

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

- attingere da esso, per una parte, i ricercatori di domani dell'INFN e dell'Università;
- formare, per l'altra, un nucleo di professionisti in grado di inserirsi in molteplici campi del mondo delle attività industriali di alta tecnologia.

A tal fine l'Istituto associa i laureandi magistrali alle proprie attività. Inoltre l'Istituto partecipa ai dottorati di ricerca delle varie sedi universitarie dove sono presenti attività nei campi di interesse dell'Ente, finanziando borse di studio e collaborando con proprio personale allo svolgimento di corsi di alta qualificazione. I dottorandi sono altresì associati.

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

in ambito produttivo, delle metodologie e delle tecnologie legate alle attività di ricerca dell'Istituto.

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

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

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

I FINANZIAMENTI

Dal 2002 il MIUR ha assunto un ruolo strategico centrale in tema di risorse finanziarie, non solo per l'INFN, ma per tutti gli enti di ricerca afferenti allo stesso Ministero. Tale ruolo viene svolto attraverso l'annuale ripartizione del fondo ordinario per le istituzioni di ricerca, iscritto nel bilancio del Dicastero nell'ammontare complessivo che deriva dalle decisioni assunte dal Governo e dal Parlamento in sede di definizione della legge finanziaria annuale.

Le procedure per la ripartizione del fondo sono contenute nel decreto legislativo 204 del 1998.

Va anche ricordato in questa sede che, nel periodo più recente, sono state emanate disposizioni legislative e direttive

governative che incidono sull'utilizzo dei fondi disponibili per scopi particolari o in sede di pagamenti. Oltre ai limiti alle erogazioni per cassa, vanno segnalati i vincoli ed i tetti alle spese per il personale, specialmente per quello a tempo determinato e per gli acquisti di beni e servizi.

Nel 2002 c'è stata una riduzione del contributo dello Stato (taglio su consumi intermedi) pari a 10 MEuro ed un'analoga riduzione, pari a 6,6 MEuro, si è avuta nel 2005. L'Ente ha fatto fronte riducendo soprattutto i consumi "comprimibili", ovvero quelli relativi alle spese generali, lasciando, ove possibile, inalterate le spese "incomprimibili" legate alle attività di laboratorio essenziali.

Le entrate del bilancio dell'INFN provengono per più del 97% dal contributo ordinario dello Stato, che si aggira attorno al 16-17% del fondo dedicato agli Enti di ricerca, terzo dopo ASI e CNR che si suddividono il 70% circa del fondo. Le uscite di bilancio dell'INFN (anno 2010) vanno per il 56 % alle spese per il personale, per il 23% alle spese di funzionamento delle strutture e il restante 21% alle spese per le attività di ricerca sperimentale e teorica coordinate dalle Commissioni Scientifiche Nazionali (CSN).

La figura 2.5 mostra l'evoluzione negli ultimi anni dell'ammontare del finanziamento ordinario effettivamente erogato dalla Stato all'INFN (curva in blu); si fa rilevare una diminuzione del finanziamento effettivo del 6% nel periodo 2001-2009 a fronte di una crescita attesa del fabbisogno per la sola inflazione registrata nello stesso periodo ma a budget reale costante 2001 del 17 % rispetto al valore del 2001 (curva in verde).

2.4 I TEMI E L'ATTIVITÀ SCIENTIFICA

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.

Negli ultimi venti anni è nato un nuovo interesse per lo studio della radiazione naturale, inclusa quella gravitazionale, accompagnato da un rapporto più stretto tra fisica delle particelle, astrofisica e cosmologia.

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.

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-energia oscura* a noi ancora ignota che ne costituisce oltre il 95%, la questione della separazione fra materia e antimateria nell'Universo ecc. (vedi figure 2.6, 2.7 e 2.8).

I COSTITUENTI FONDAMENTALI E LE LORO INTERAZIONI

I costituenti elementari della materia si dividono in due classi (vedi figura 2.9):

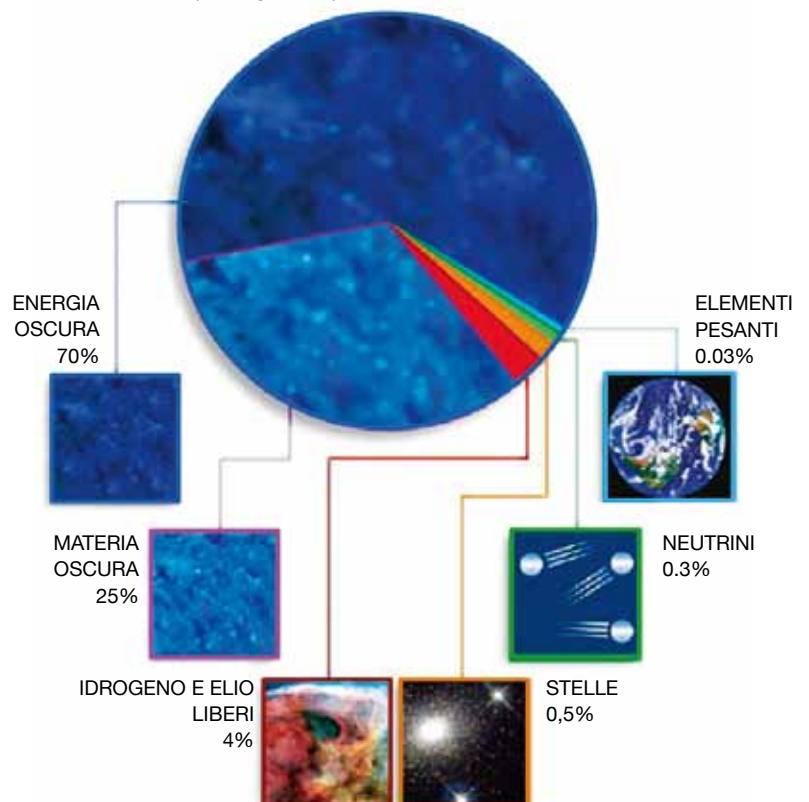
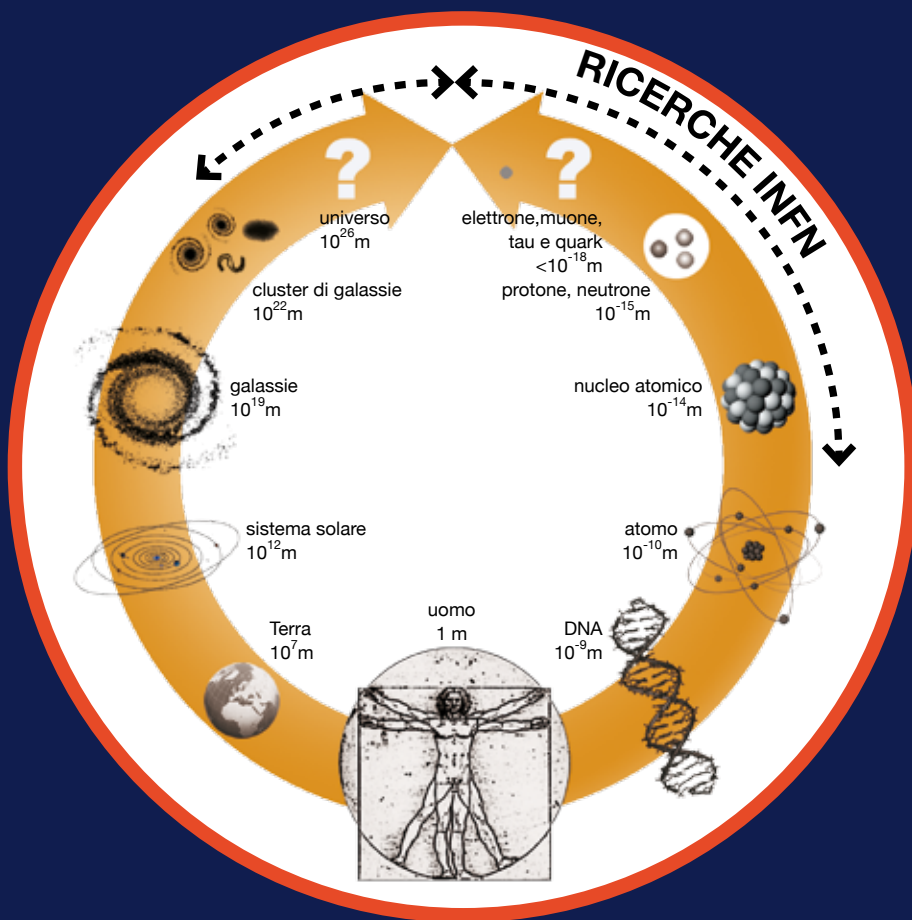


Fig.2.6: La composizione dell'Universo



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

masse crescenti

+2/3



QUARK

-1/3



0



LEPTONI

-1



I II III

3 famiglie di particelle fondamentali,
raggruppate in doppietti

Fig.2.9: Le particelle fondamentali del Modello Standard.

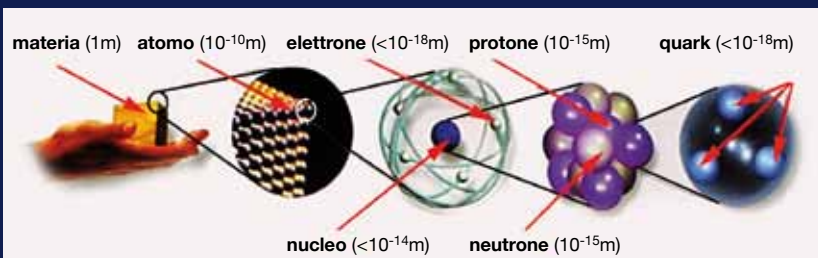
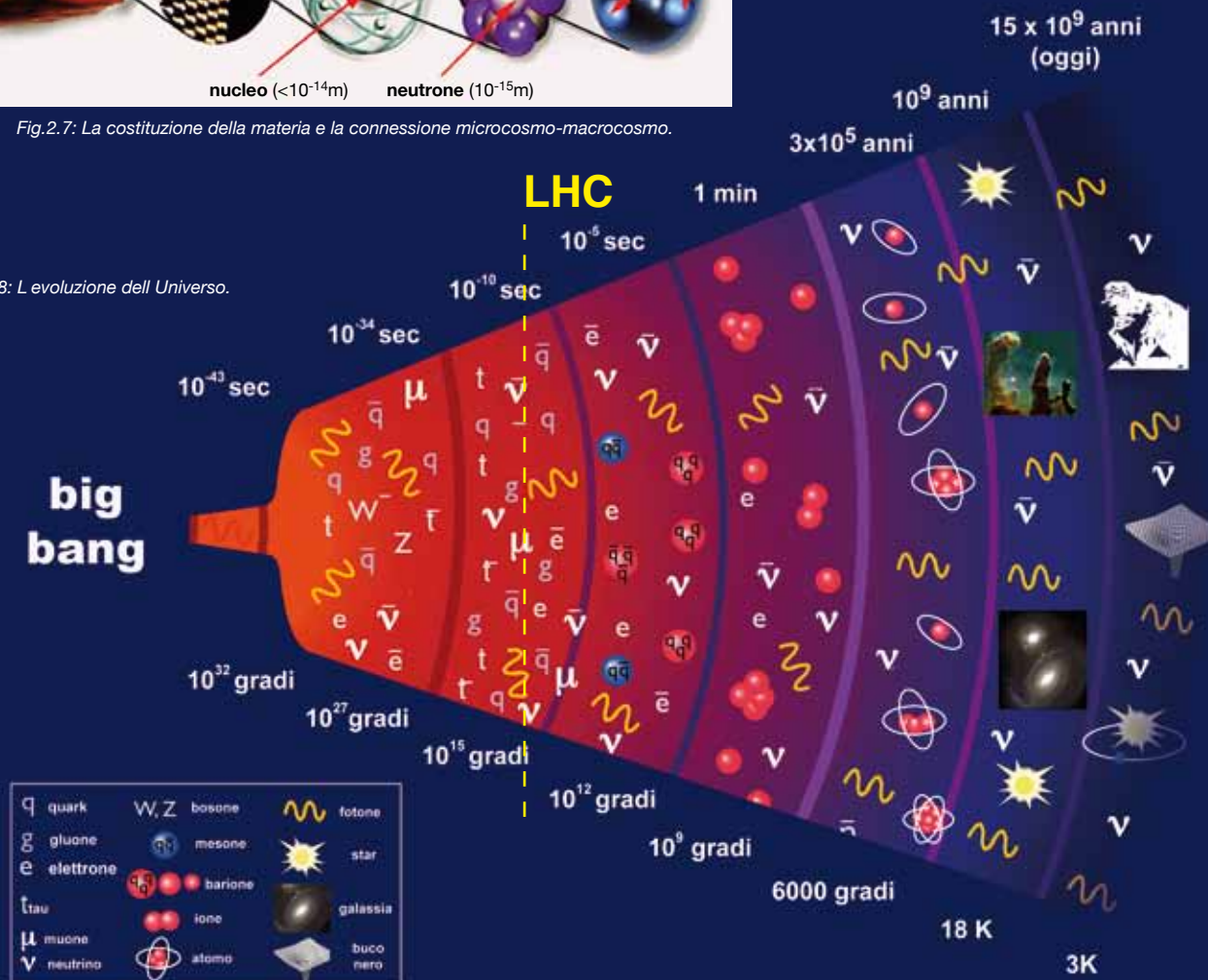


Fig.2.7: La costituzione della materia e la connessione microcosmo-macrocosmo.

Fig.2.8: L'evoluzione dell'Universo.



- 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 –

da Bruno Pontecorvo negli anni '60, implica che i neutrini posseggano massa e possano mutare l'uno nell'altro per effetto delle interazioni deboli. La loro massa è così piccola da renderne difficile la misura diretta.

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.

Le interazioni fondamentali

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

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

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

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

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

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

Fig.2.10: Le interazioni fondamentali e i loro mediatori

l'elettrone, il muone e il tau – si conoscono tre tipi di neutrini. Molte evidenze sperimentali, fra cui alcune ottenute nei Laboratori Nazionali del Gran Sasso, 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. Tale fenomeno, ipotizzato

Tale materia è di natura per ora largamente 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 2.6).

Il mondo microscopico è popolato, oltre che da quark e leptoni (che sono fermioni), dai quanti d'energia caratteristici dei diversi tipi d'interazione (che sono bosoni): il fotone per le interazioni elettromagnetiche, i bosoni 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 2.10).

Analoghi 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*

particelle supersimmetriche – sono tra gli obiettivi primari del settore di ricerca fondamentale che va sotto il nome di fisica subnucleare. La sperimentazione recentemente (novembre 2009) avviata per un periodo programmato di oltre 10 anni presso il *Large Hadron Collider* (LHC) al CERN, 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.

I SISTEMI NUCLEARI

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

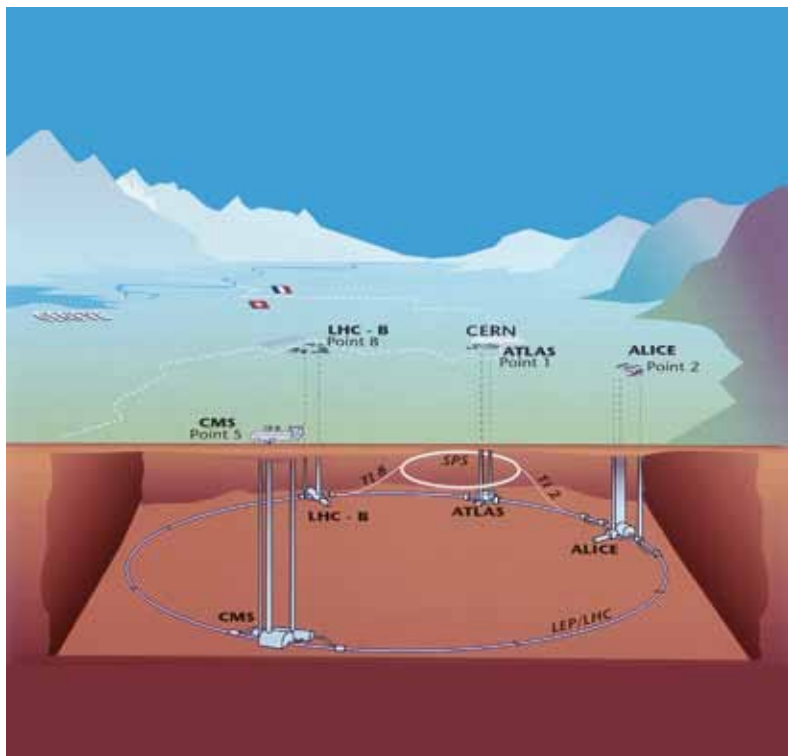


Fig.2.11: L'anello di 27 km del Large Hadron Collider (LHC) al CERN di Ginevra

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

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.

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 di fase, passando ad un nuovo stato, il 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.

LE PARTICELLE E LA RADIAZIONE NEL COSMO

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.

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 del 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

Intensità relativa delle Forze

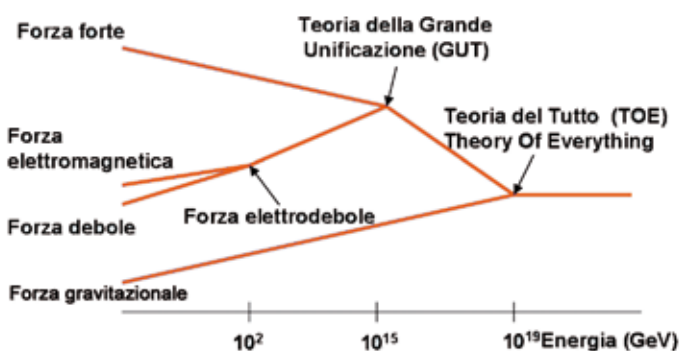


Fig. 2.12: L' "Unificazione" delle forze.

dovrebbe succedere ad una scala di energia di 10^{19} GeV o ad una scala delle distanze di 10^{-35} m (vedi figura 2.12).

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 a Cascina (Pisa), e gli statunitensi LIGO, in Louisiana e a Seattle.

LE I QUESTIONI DELLA FISICA TEORICA

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 ci si augura la costruzione della 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).

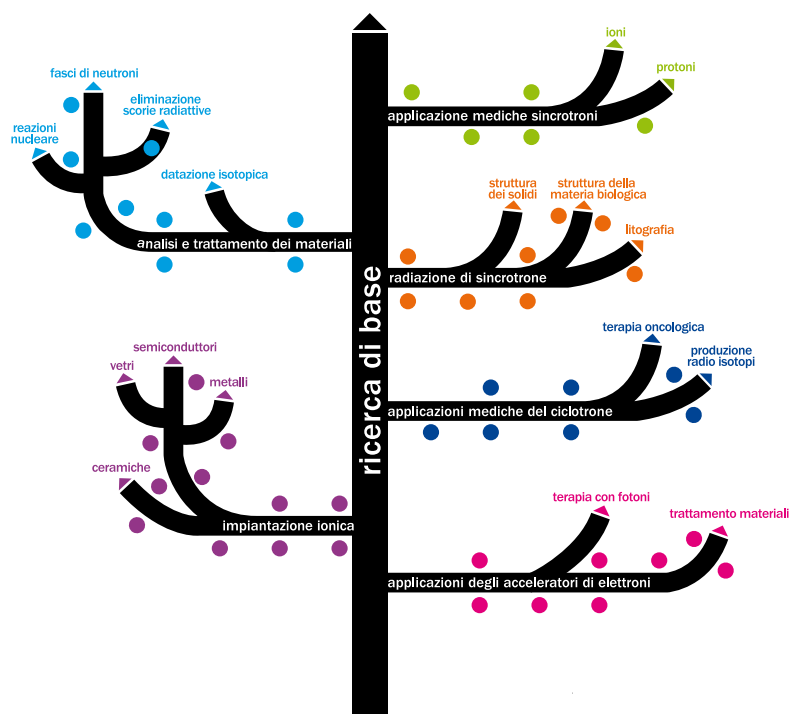


Fig.2.13: Ricadute tecnologiche dello sviluppo degli acceleratori di particelle

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

L'INFN pone particolare attenzione, ai fini dello svolgimento della sua missione scientifica e del suo impatto socio-economico, agli sviluppi nel campo della fisica degli acceleratori, 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.

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 sistemi 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.

I PROGETTI EUROPEI, I PROGETTI STRATEGICI E I PROGETTI SPECIALI

Completano il quadro delle attività di ricerca dell'Ente una numerosa serie di "progetti europei" nell'ambito delle Programmazioni Quadro dell'Unione Europea, i "progetti speciali" per attività specifiche di particolare rilevanza per l'Istituto e i "progetti strategici" che hanno forte valenza infrastrutturale e di *facility* al di là dell'ambito INFN in settori applicativi di interesse nazionale e tendono a valorizzarne le attività tecnico-scientifiche e a consolidarne la *leadership* in ambito internazionale.

I progetti europei del VII PQ (2007-2013) a cui l'INFN partecipa si svolgono nel solco della continuità rispetto

Fig.2.14: L'Interferometro per onde gravitazionali Virgo, nella pianura di Cascina (PI)





Fig.2.15: In rosso, partecipazione delle strutture INFN alla sperimentazione all LHC in ATLAS, CMS, ALICE E LHCb.

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

2008	A	B	B/A
LNF	570	225	39%
LNL	804	270	34%
LNGS	867	552	64%
LNS	240	102	43%

Tab. 2.1 Utenti totali (A) e stranieri (B) delle infrastrutture ai Laboratori Nazionali dell INFN.

al precedente PQ e riguardano tutte e quattro le aree (Idee, Persone, Capacità, Cooperazione) nelle quali si articola il programma stesso. Di grande importanza per l'INFN è anche il finanziamento, all'interno del programma CAPACITÀ, 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); fra queste sono da citare KM3Net e i progetti di cooperazione con l'Industria soprattutto nel settore dell'ICT (Information and Communication Technology) con particolare riferimento a Grid, all'interno del programma COOPERAZIONE.

Attualmente l'Istituto è impegnato in tre progetti strategici: INFN-MED, INFN-E e INFN-NTA che sono dedicati alle applicazioni delle tecniche e delle tecnologie sviluppate nell'Ente rispettivamente alla medicina, all'energia, agli acceleratori di particelle. La collaborazione alla realizzazione del Centro Nazionale per l'Adroterapia Oncologica (CNAO) di Pavia è esemplare, così come il contributo agli studi sulla fissione e sulla fusione per la produzione e l'utilizzo dell'energia nucleare e le applicazioni per la sicurezza e l'ambiente.

Tra i progetti speciali dell'istituto si segnalano, in particolare, quelli riguardanti la produzione selettiva di fasci nucleari esotici (LNL), il supercalcolo, le tecnologie di calcolo intensivo distribuito (Grid computing), la realizzazione di impianti per la produzione di radiazione X e ultravioletta ad alta intensità per applicazioni ai sistemi biologici e molecolari e ai materiali (LNF), lo studio di fattibilità di un futuro protosincrotrone superconduttore.

2.5 I LUOGHI DELLA RICERCA, GLI ESPERIMENTI, LE INFRASTRUTTURE

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. L'INFN si è dotato, nel corso

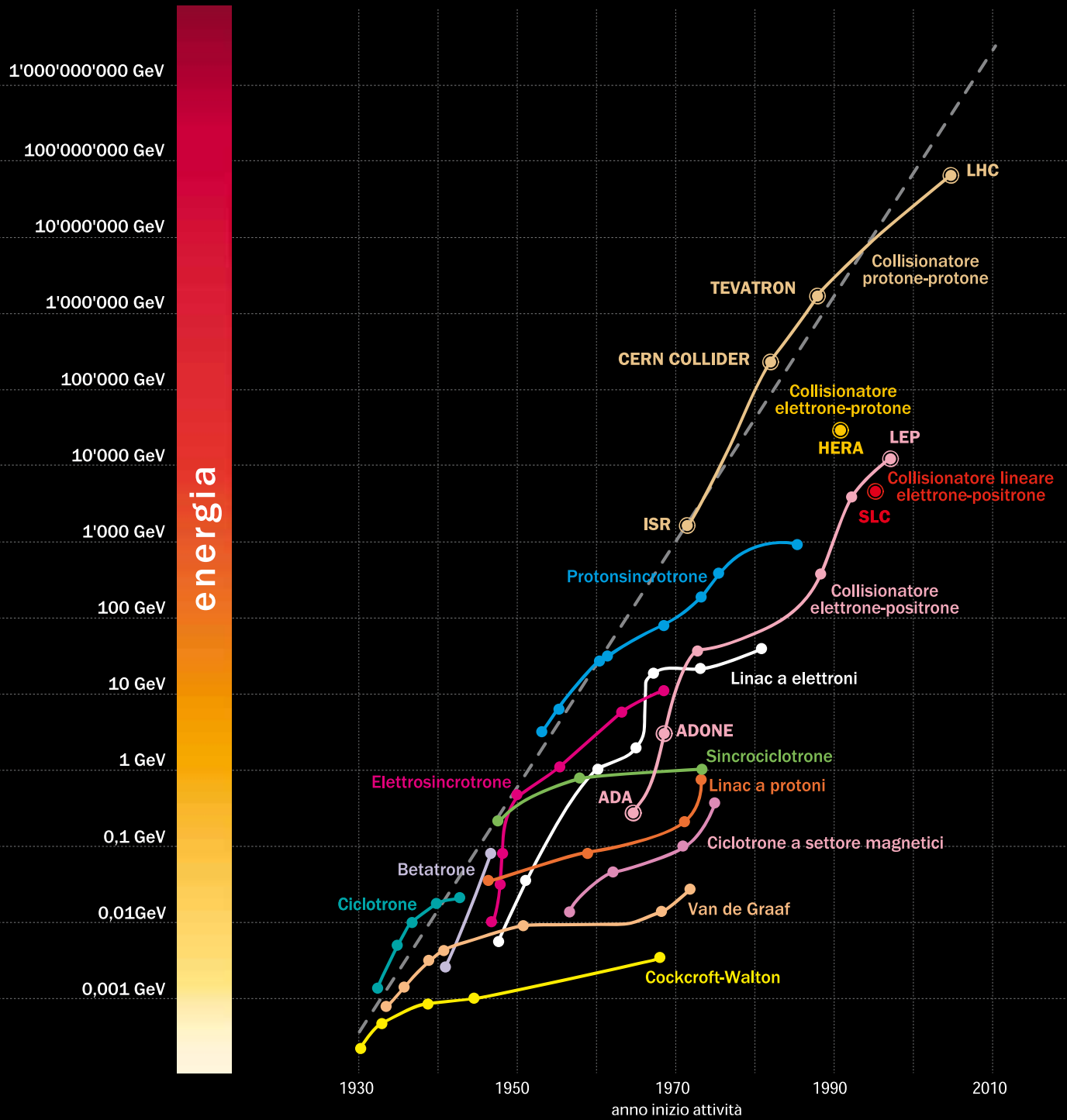


Fig.2.16: Evoluzione della frontiera dell'energia per gli acceleratori di particelle.

degli anni, di importanti attrezzature quali macchine acceleratrici di particelle presso i Laboratori nazionali, potenti sistemi di calcolo avanzato e distribuito di *Grid computing* nel Centro nazionale di calcolo CNAF (centro di primo livello, cosiddetto Tier1) e nei centri di secondo livello Tier2 presso alcune strutture, sistemi per il calcolo parallelo per la fisica teorica, servizi tecnici avanzati quali le officine meccaniche, i laboratori elettronici, ecc. Accanto ad esse l'Istituto è coinvolto nella realizzazione di infrastrutture previste nella roadmap di ESFRI e dell'infrastruttura di Grid italiana e europea (*Italian Grid*

Infrastructure, European Grid Infrastructure), oltre a quella relativa alla nuova macchina acceleratrice SuperB sulla quale è attualmente in corso la preparazione di un Technical Design Report.

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, le pari opportunità ecc. A titolo di esempio viene mostrata in figura 2.15 la partecipazione (evidenziata in rosso) delle strutture INFN alla sperimentazione all'LHC nei quattro maggiori esperimenti.

I LABORATORI NAZIONALI

Il 4 laboratori nazionali LNL, LNGS, LNF, LNS rappresentano un'ossatura fondamentale per tutte le iniziative dell'INFN ed in particolare ospitano infrastrutture e *facilities* messe a disposizione della comunità internazionale, come risulta anche dalla tabella 2.1.

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 studiano 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. Recentemente, 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 macchina è anche un'interessante sorgente di luce di sincrotrone, in particolare nell'infrarosso. La divisione acceleratori del laboratorio è impegnata in due progetti internazionali di sviluppo di nuovi collisori lineari elettrone-positrone: ILC, l'International Linear Collider, e CLIC al CERN di Ginevra. In tale ambito di ricerche si situa il progetto SPARC, finanziato dal MIUR, che costituisce anche un importante passo verso lo sviluppo di tecniche innovative per la produzione di radiazione X, mediante *Free Electron Laser* (FEL). In connessione con SPARC, il progetto PLASMON-X fornirà una facility laser ad alta potenza per lo sviluppo di una tecnica innovativa per l'accelerazione ad alto gradiente in plasm-laser e produzione di raggi X monocromatici. Recentemente è stata approvata la costruzione del laboratorio FLAME (*Frascati Laser for Acceleration and Multidisciplinary Experiments*) vicino all'iniettore di SPARC. Il Laboratorio ospita anche NAUTILUS, un rivelatore ultracriogenico di onde gravitazionali. Una consistente frazione dei ricercatori del laboratorio conduce esperimenti in altri laboratori, in Italia e all'estero.

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

di Frascati e del Sud, partecipa alla realizzazione del progetto CNAO, Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica a Pavia. Il Laboratorio è anche sede per la preparazione d'esperimenti di fisica subnucleare e nucleare, condotti da gruppi INFN presso altri centri. Inoltre, esso ospita AURIGA, un rivelatore ultracriogenico di onde gravitazionali, che opera in coincidenza con analoghi rivelatori.

I Laboratori Nazionali del Sud, istituiti a Catania nel 1975, sono dedicati alla fisica nucleare con fasci di ioni leggeri e pesanti. Essi sono dotati di un acceleratore Tandem e di un Ciclotrone superconduttore, in funzione dal 1994, in grado di accelerare ioni pesanti sino a energie di 100 MeV per nucleone. Il funzionamento del Ciclotrone è stato potenziato con la recente entrata in funzione di una sorgente di ioni, SERSE, con caratteristiche avanzate. L'attività sperimentale è rivolta allo studio delle collisioni tra ioni pesanti e si avvale di strumentazione d'avanguardia a livello internazionale, come quella costruita per gli esperimenti OUVERTURE e CHIMERA. È notevole la presenza di ricercatori stranieri. Nel 2002, il primo centro italiano di protonterapia per la cura dei tumori oculari, CATANA, basato sull'uso del fascio di protoni da 60 MeV del ciclotrone superconduttore, ha iniziato con successo il trattamento di pazienti, in collaborazione con i medici dell'Università di Catania. L'esperienza di CATANA costituisce la base per la futura costruzione di un centro dedicato, promosso dalla Regione Sicilia, e per la collaborazione dei laboratori alla costruzione del CNAO di Pavia. I laboratori hanno anche dato vita a un'importante attività applicativa delle tecniche nucleari ai Beni Culturali. Infine, da alcuni anni, i laboratori sono impegnati nel progetto NEMO, in vista della possibile realizzazione dell'osservatorio sottomarino europeo di neutrino-astronomia d'alta energia, nel sito a sud-est di Capo Passero. Il progetto NEMO è d'interesse anche per altre discipline e vede in particolare la partecipazione dell'INGV.

I Laboratori Nazionali del Gran Sasso (L'Aquila), costituiti da tre grandi sale sotterranee accessibili dall'omonimo tunnel autostradale, sono operativi dal 1988. L'assorbimento della radiazione cosmica dovuto alla spessa copertura di roccia, le grandi dimensioni e le notevoli infrastrutture di base ne fanno il più importante laboratorio al mondo per la rivelazione di segnali deboli o rari, d'interesse per la fisica astroparticellare, subnucleare e nucleare. Il tema scientifico di maggior rilievo nel futuro del laboratorio, frequentato da molte centinaia di ricercatori da tutto il mondo, è lo studio dei neutrini d'origine naturale o artificiale, in tutti i suoi aspetti: fisici, astrofisici e cosmologici. In tale ambito spicca il progetto CNGS (*Cern Neutrinos to Gran Sasso*), il cui primo fascio di neutrini muonici è arrivato ai Laboratori

Nazionali del Gran Sasso nell'agosto 2006. Altri temi d'elevato interesse riguardano lo studio di processi rari di trasformazione di particelle e la ricerca dei costituenti della materia oscura. È notevole anche l'interesse d'altre discipline per l'infrastruttura sotterranea.

I PRINCIPALI CENTRI DI ATTIVITÀ ALL'ESTERO

La naturale e sistematica tendenza verso la concentrazione delle ricerche di fisica subnucleare e nucleare presso grandi centri internazionali, dotati 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 CERN, l'Organizzazione europea di fisica subnucleare e nucleare di Ginevra, fondato nel 1954, è oggi il più importante laboratorio al mondo di fisica delle particelle con acceleratori. L'Italia è tra i suoi maggiori Paesi membri e la partecipazione dei gruppi italiani è interamente coordinata dall'INFN. Nel novembre 2009 LHC è entrato in funzione con successo, dapprima con energia dei fasci di protoni pari a 450 GeV (miliardi di elettronvolt) e poi entro meno di un mese a 1180 GeV, risultando così già ora il più potente acceleratore mai costruito. All'inizio del 2010 l'energia dei fasci è stata innalzata a 3500 GeV (3,5 TeV) e presumibilmente entro il triennio all'energia di progetto pari a 7000 GeV (7 TeV) per un totale di energia nel sistema del centro di massa pari a 14 TeV. Gli esperimenti ALICE, ATLAS, CMS, LHCb si sono dimostrati fin da subito perfettamente pronti ed in grado di sfruttare l'enorme potenzialità scientifica di LHC. Proseguendo nella tendenza già manifestata nelle ricerche a LEP, il progetto LHC del CERN ha assunto caratteri marcatamente mondiali, in particolare per la forte presenza e il contributo di risorse di Stati Uniti e Giappone. Di gran rilievo è anche il progetto CNGS, il cui fascio di neutrini illumina le sale sotterranee dei Laboratori del Gran Sasso. Infine, in una prospettiva di lungo termine, il CERN è impegnato nello sviluppo di una tecnica innovativa per la realizzazione di CLIC, il Compact Linear Collider di fasci d'elettroni e positroni d'altissima energia.

Il laboratorio DESY (*Deutsches Elektronen-Synchrotron*) presso Amburgo, che a fine dicembre 2009 ha celebrato il 50-esimo anniversario dalla sua fondazione, è tra i maggiori centri mondiali dotati di acceleratori di particelle. Il collisore positrone-protone HERA, a cui l'INFN ha contribuito con la costruzione di magneti superconduttori realizzati dall'industria italiana, dopo anni di funzionamento

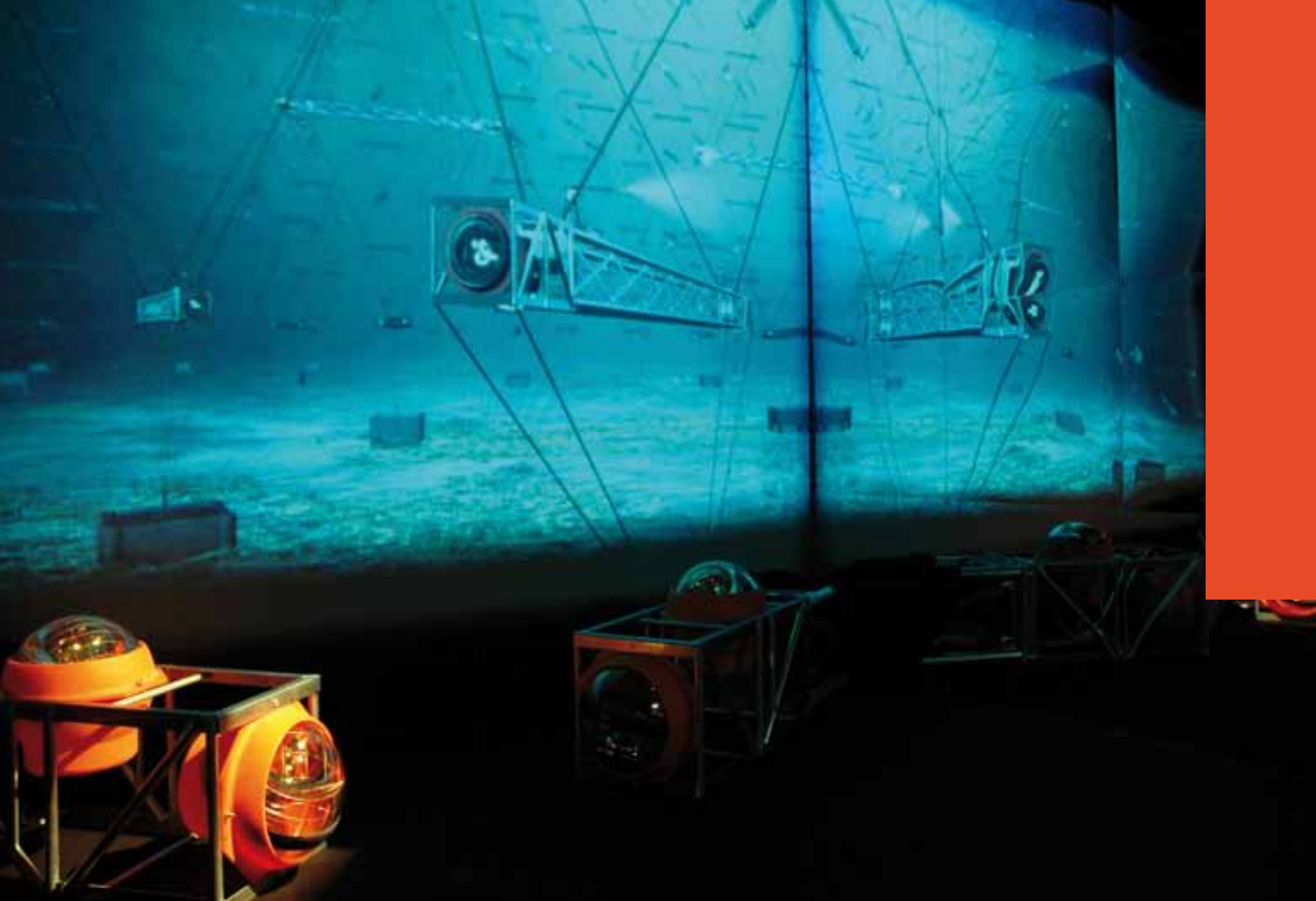


Fig. 2.17: Rappresentazione multimediale del progetto KM3Net. Allestimento per la mostra *Astri e particelle* a Roma, Palazzo delle Esposizioni.

ha terminato il funzionamento a metà 2007. L'Istituto è stato impegnato su HERA in una rilevante partecipazione a esperimenti di fisica subnucleare e nucleare. Nel 2001, DESY ha terminato la progettazione di TESLA, un collisore lineare elettrone-positrone d'energia fino a 1 TeV, preparatore del futuro collisore internazionale ILC. Nello stesso tempo, lo sviluppo della tecnologia di TESLA, frutto del lavoro di una collaborazione internazionale, con il decisivo contributo dell'INFN, ha portato a quello di una nuova tecnica FEL (*Free Electron Laser*), per la produzione di fasci di luce coerente caratterizzati da estrema brillantezza e definizione temporale, in preparazione della futura sorgente XFEL di raggi X ad alta brillantezza.

Il FERMILAB (*Fermi National Accelerator Laboratory*) presso Chicago, il più importante laboratorio statunitense, è sede del TEVATRON, il collisore protone-antiprotone di 2 TeV. La collaborazione CDF, con un'importante partecipazione italiana, ha colto nel 1994 un successo di rilevanza mondiale con la scoperta del quark top, la particella necessaria per completare la terza generazione di quark e leptoni. Il TEVATRON ha costituito la frontiera dell'energia della fisica subnucleare fino all'entrata in funzione di LHC, come si vede dal "diagramma di Livingstone" (figura 2.16).

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

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

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

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

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

2.6 GLI ACCORDI E LE CONVENZIONI NAZIONALI ED INTERNAZIONALI

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

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

L'Istituto ha rapporti di collaborazione con i principali enti pubblici nazionali di ricerca (CNR, ENEA, ASI, INGV, Sincrotrone Trieste e INAF).

L'INFN tradizionalmente opera in un vasto contesto di collaborazioni internazionali. In particolare:

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

Nell'ambito dell'attività volte a inserire sempre più proficuamente l'Istituto anche nel tessuto sociale ed economico del Paese, l'INFN partecipa a numerosi consorzi, fondazioni, società sia su temi di ricerca (ad es. i consorzi Ricerca), sia su temi di applicazioni delle conoscenze e delle tecnologie sviluppate nell'INFN (ad es. acceleratori, elettronica, calcolo avanzato, meccanica per i settori medicale, energia, beni culturali, reti informatiche).

2.7 LE ATTIVITÀ DI DISSEMINAZIONE E DI COMUNICAZIONE

L'Ufficio comunicazione, svolge un'attività molto intensa di "esposizione" dell'Istituto attraverso:

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

Tra le attività degli ultimi anni vanno sottolineate: il lancio della partenza di LHC; la mostra *Astri e Particelle*, allestita a Roma a Palazzo delle Esposizioni; la pubblicazione della rivista "*Asimmetrie*" il cui taglio è allo stesso tempo intenzionalmente divulgativo e rigoroso nella esposizione degli argomenti. La peculiarità di *Asimmetrie* è che ogni approfondisce un argomento e diventa una monografia, integrata tuttavia, in un racconto di più ampio respiro. La pubblicazione occasionale di inserti allegati offre ai lettori l'opportunità di approfondire argomenti di ricerca avanzata.

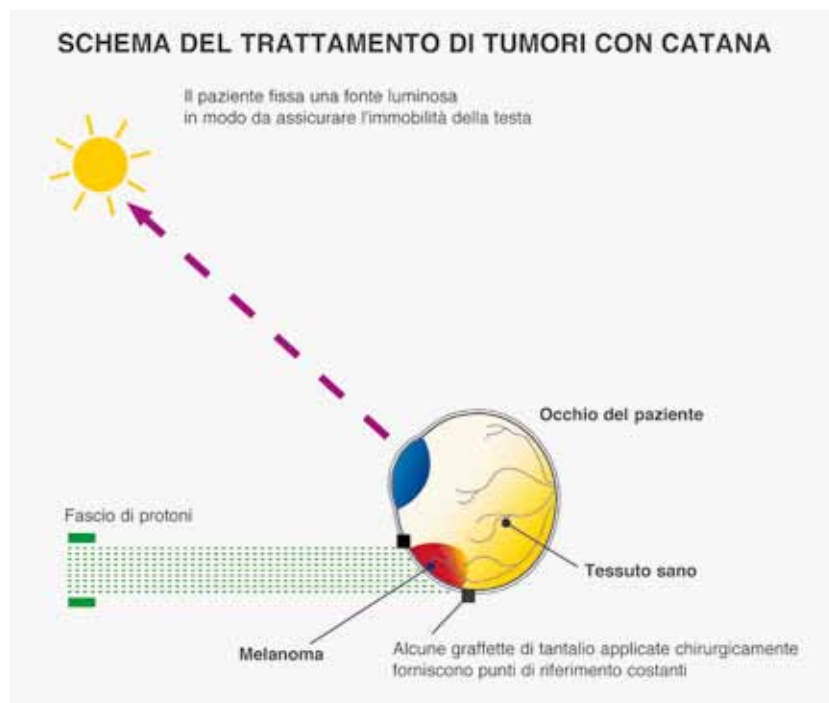


Fig.2.19: Terapia del melanoma oculare con Catana, il centro per l'adroterapia oncologica dei Laboratori Nazionali del Sud.

2.8 L IMPATTO SOCIO-ECONOMICO ED IL TRASFERIMENTO TECNOLOGICO

Per quanto riguarda i settori di interesse per il trasferimento tecnologico, al fine anche di rendere disponibile alla comunità gli sviluppi tecnologici frutto della sperimentazione nella ricerca fondamentale, l'Istituto ha puntato, anche tramite lo strumento di progetti dedicati, su linee strategiche quali il calcolo distribuito (GRID), l'intelligenza artificiale ed il calcolo parallelo (APE), le reti informatiche (GARR), la microelettronica, il software avanzato di simulazione e di analisi, la criogenia e la superconduttività, la strumentazione per utilizzi in condizioni estreme (ad es. per la sperimentazione nello spazio o in alta quota o nelle profondità marine), gli acceleratori di particelle (ad es. per l'adroterapia, lo smaltimento di rifiuti, la diagnostica medica, la produzione di energia), le tecniche nucleari per i beni culturali e per l'ambiente

(ad es. per studi di datazione e di composizione, per il tracciamento di inquinanti atmosferici, per la misura della radioattività ambientale), nonché sulla formazione continua dei propri dipendenti e sui master universitari (anche in collaborazione con l'industria) fra cui, ad esempio, i master in Tecniche nucleari per industria, ambiente e beni culturali, in Progettazione microelettronica, in Trattamenti di superficie per industria, in *Information technology*. L'Istituto è altresì impegnato a promuovere iniziative di respiro nazionale rivolte alla valorizzazione, in ambito

a basso rumore, elettronica resistente alle radiazioni);

- **Meccanica e Impianti** (simulazioni in campo meccanico, termico, termo strutturale, applicazioni spaziali, applicazioni mediche, gestione di camere pulite, realizzazione, gestione e manutenzione di impianti di raffreddamento e di trasporto dei fluidi criogenici, tecnologie dell'alto vuoto e del trattamento delle superfici, prototipi meccanici di alta precisione, gestione di sistemi di misura di alta precisione, calcolo agli elementi finiti);



Fig 2.18: Tecniche nucleari per studi di datazione del Papiro di Artemidoro al Laboratorio per i Beni Culturali di Firenze (LABEC).

produttivo, delle metodologie e delle tecnologie legate alle attività di ricerca dell' INFN, allo scopo di favorire l'inserimento, nel mondo produttivo, di Ricercatori e Tecnologi qualificati.

Fra i campi di intervento principali si segnalano:

- **Tecnologie informatiche** (reti, sistemi di calcolo di varie dimensioni, calcolo avanzato, informatica in campo medico, creazione e gestione di sistemi informatici, tecnologie web, creazione e gestione di database);
- **Sensoristica** (applicazioni ambientali e per la sicurezza, applicazioni mediche, applicazioni per l'Energia, sensori per l'innovazione di prodotto e di processo);
- **Elettronica** (innovazione di prodotto e di processi, strumentazione avanzata di misura e collaudo, sviluppo e messa in opera di FPGA, VLSI, DSP, applicazioni di basso consumo e

- **Analisi e qualifica dei materiali** (applicazioni per l'Energia, studio di superfici, applicazioni per i Beni culturali).

Nell'ambito delle finalità istituzionali volte alla promozione del trasferimento delle conoscenze e delle tecnologie acquisite, l'Istituto si sta dotando di un regolamento che disciplini 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.

Dal marzo del 2004 è in vigore il Regolamento per la valorizzazione, lo sviluppo e l'applicazione delle conoscenze dell'INFN, il cui testo deve ritenersi integrato con quanto disposto dal Decreto Legislativo n. 30/2005, contenente il Codice della proprietà intellettuale. L'Istituto è attualmente impegnato ad aggiornare lo strumento normativo – di cui è già dotato – riguardante la gestione

e la protezione della IP (*Intellectual Property*), a garanzia dell'inventore e dell'istituzione, che è reso sempre più impellente, dato l'enorme impulso che si sta dando alle iniziative per il trasferimento tecnologico e per gli *spin-off*.

2.9 LA VALUTAZIONE

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

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

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

Secondo le intenzioni, il CIVR avrebbe dovuto evolvere in una struttura più articolata che prendesse in carico i successivi esercizi di valutazione. Tale struttura, col profilo di Agenzia (ANVUR, Agenzia Nazionale per la Valutazione dell'Università e della Ricerca), istituita con L. 24 novembre 2006 n. 286, accorperà in sé le funzioni del CNVSU (che valuta le università) e il CIVR (che valuta la ricerca). Il regolamento sulla struttura e il funzionamento dell'ANVUR è stato approvato dal CdM il 24 luglio 2009.

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

La pre-selezione delle pubblicazioni, che costituiscono il nucleo della produttività scientifica dell'Ente, è stata effettuata nell'ipotesi che il prossimo esercizio copra un arco temporale assai maggiore del primo (probabilmente 5 anni). Per questo indicatore è stato rilevato un andamento

costante rispetto agli anni passati e in alcuni settori anche una crescita, per quanto riguarda le pubblicazioni su riviste internazionali. Al CVI sono stati anche riassunti i principali risultati in campo scientifico e sull'impatto socio-economico ed interdisciplinare, con particolare attenzione agli elementi nuovi emersi nel corso dell'anno.

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

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

2.10 LA ROADMAP

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

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

I COSTITUENTI E LE INTERAZIONI FONDAMENTALI E LA FRONTIERA DELL'ALTA ENERGIA

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

La descrizione standard (Modello Standard) richiede l'esistenza di particelle fondamentali non ancora osservate.

Un intero nuovo mondo di particelle fondamentali, i partner supersimmetrici delle particelle note, può popolare la nuova regione di energia esplorata dall'acceleratore LHC e fare chiarezza sul meccanismo di unificazione di tutte le interazioni e sulla generalizzazione del concetto di particella puntiforme a stringhe (corde) estese.

L'INFN è coinvolto in tutti i temi di ricerca che saranno affrontati all'LHC e pertanto: considera il completo

sfruttamento del nuovo acceleratore come la priorità principale negli anni futuri.

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

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

I COSTITUENTI E LE INTERAZIONI FONDAMENTALI E LA FRONTIERA DELL'ALTA INTENSITÀ

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

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

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

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

L'INFN promuove la costruzione di una SuperB factory nell'area di Frascati che sfrutti il nuovo schema di interazione di fasci in grado di conciliare alte luminosità con correnti limitate.

La sfida tecnologica di una tale macchina, può trarre vantaggio dalle sinergie con le nuove tecnologie sviluppate



Fig.2.20: Lancio dalla base di Baykonour (Kazakistan) del satellite russo che ospita l'esperimento Pamela, per lo studio dell'antimateria nello spazio.

per l'ILC, in particolare per lo sviluppo di damping rings, elementi essenziali di tutti i collisionatori futuri lineari e+ e-. Del progetto SuperB viene data illustrazione nel paragrafo dedicato alle nuove infrastrutture nel quale viene anche descritta la sinergia con l'IIT per l'utilizzo della sua luce di sincrotrone. Il corrispettivo piano finanziario, che non può trovare copertura nei bilanci ordinari dell'Ente e che necessita di uno strumento dedicato, viene riportato nel paragrafo "piani finanziari delle nuove infrastrutture" nel capitolo 4.

L'INFN incoraggia gli studi di fattibilità di flavour factories che utilizzino le tecnologie sviluppate per l'ILC anche al fine di una strategia ancora più ambiziosa per Frascati.

L ENIGMA DELLA MATERIA OSCURA E LA FRONTIERA DEI NUOVI RIVELATORI

Il contenuto di particelle delle prime fasi dell'Universo, all'epoca in cui le condizioni di alta temperatura possono

o potranno essere riprodotte dagli acceleratori di alta energia presenti o futuri, è probabilmente all'origine della materia oscura la cui evidenza è sostenuta dalla misura dei parametri di evoluzione dell'Universo.

La ricerca della materia oscura è uno dei principali anelli di congiunzione tra la fisica delle particelle e la fisica astroparticellare. In questo campo, l'INFN è all'avanguardia con i nuovi rivelatori ad argon liquido così come in molti altri settori della fisica delle astroparticelle, grazie a esperimenti dedicati all'osservazione delle oscillazioni (tra diversi "sapori") dei neutrini contenuti nel fascio proveniente dal CERN e diretto verso il laboratorio del Gran Sasso oppure di quelli provenienti dal Sole.

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

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

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

LA RICERCA DELLE ONDE GRAVITAZIONALI

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

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

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

UN INFRASTRUTTURA EUROPEA PER L'ASTRONOMIA NEUTRINICA

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

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

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

LE SFIDE DELLA FISICA NUCLEARE

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

L'INFN continuerà e sosterrà nel futuro le attività di astrofisica nucleare.

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

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

L'INFN continuerà a investire negli sforzi dedicati a rivelare all'LHC il plasma di quark e gluoni, ottenuto dallo "scioglimento" della materia nucleare sotto condizioni estreme di temperatura o di densità.

L'INFN gioca un ruolo leader in tale ricerca e una forte priorità della comunità di fisica nucleare è il pieno sfruttamento dell'investimento di persone e di idee.

L'esplorazione di nuclei lontani dalle condizioni termodinamiche standard sarà ugualmente perseguita per trovare segni precursori di nuove fasi nucleari. Gli assi principali di sviluppo nei prossimi anni insieme con

l'esplorazione dell'alta temperatura ad alta energia sono gli studi dei nuclei ricchi di neutroni, fuori della valle di stabilità e la preparazione della sperimentazione alla facility europea di nuova fondazione FAIR in Germania.

Il primo asse di sviluppo è costituito dal progetto di costruire nei Laboratori Nazionali di Legnaro un fascio ad alta intensità di protoni da 40 MeV che investendo bersagli sottili producano fasci radioattivi.

Quest'attività è complementare a quella svolta nel laboratorio francese GANIL con cui Legnaro ha recentemente costituito un laboratorio europeo congiunto.

Il secondo asse di sviluppo consiste nello sviluppo di magneti veloci e di rivelatori di fotoni, con la costruzione parziale di un futuristico rivelatore di identificazione di particelle (PID).

LE SFIDE DELL'ALTA TECNOLOGIA E DELLE SUE APPLICAZIONI

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

L'INFN sarà in prima linea nei nuovi progetti di un acceleratore ciclotrone multi-ionico superconduttore per la terapia del cancro e di un laser a elettroni liberi.

Il computing è uno strumento essenziale per ogni scienza moderna per le nuove sfide rappresentate dal volume di dati prodotti all'LHC.

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

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

L IMPEGNO PER LA FISICA TEORICA

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

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

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



Piano programmatico di attività scientifica

CAPITOLO

3.1 L'INFN E LA SUA MISSIONE SCIENTIFICA

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

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

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

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

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



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 del Modello Standard perché per originare una asimmetria tra materia e antimateria partendo da una situazione simmetrica nelle loro rispettive abbondanze è necessario avere una più potente sorgente di violazione di CP rispetto a quella presente nel Modello Standard. Più di recente è stato osservato che proprio le nuove particelle responsabili della massa così piccola dei neutrini possono essere alla base della sopravvivenza della materia sull'antimateria.

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

5) Ma ancora la materia stessa continua a porci rilevanti

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

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

sulla superficie terrestre o ricerca di neutrini in esperimenti sottomarini come quello in progettazione al largo delle coste siciliane). Alcuni di questi esperimenti hanno già evidenziato degli effetti che potrebbero essere dovuti alla “materia oscura” e quindi stiamo guardando con grande interesse ai risultati che verranno da LHC. Infatti questa è la materia oscura, la più formidabile evidenza della presenza di nuova fisica, forse quella stessa fisica che LHC o le “macchine del flavour” ci riveleranno. Il candidato di materia oscura più “accreditato” al momento è proprio la più leggera di quelle nuove particelle supersimmetriche che potremo identificare a LHC.

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

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

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

e che si esplicitano nelle attività delle cinque commissioni scientifiche nazionali dell'Ente.

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

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

3.2 LA FISICA SUBNUCLEARE

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

Missione

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

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

fisici di tutto il mondo possono entrare in contatto tra loro: i giovani possono così acquisire fondamentali esperienze nel lavoro di gruppo ad altissimi livelli. In questo contesto i gruppi INFN partecipano con contributi di eccellenza, spesso figurando nei livelli decisionali degli esperimenti, in tutte le fasi del lavoro, dallo sviluppo tecnologico tipico della fase di proposta, passando alle varie fasi di costruzione, sino all'analisi dei dati.

Composizione

La partecipazione dei ricercatori dell'INFN agli esperimenti della Commissione 1 è folta. Si tratta di oltre 800 scienziati provenienti da tutte le sezioni INFN e ovviamente dal laboratorio specializzato in questo tipo di ricerca (Frascati). Nella CSN1 sono rappresentate tutte le tipologie di ricercatori: i dipendenti dell'Ente, gli universitari associati alle ricerche, i borsisti e assegnisti e gli studenti che preparano la tesi di Dottorato. Inoltre molti tecnologi (informatici, elettronici, meccanici) fanno anche essi parte dei gruppi di ricerca. La tabella 3.1 fotografa la composizione della commissione nell'anno 2009 e fornisce un quadro complessivo dei finanziamenti erogati negli ultimi tre anni.

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

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

LINEA SCIENTIFICA:CSN1

FTE INFN staff + art.23,15 (anno 2009)	211
FTE Associati staff (anno 2009)	240
Assegnisti, borsisti, dottorandi (anno 2009)	198
Totale risorse finanziarie spese 2007-2009 (M€)	78,0
di cui spese per investimenti (inv., c.a.) 2007-2009 (M€)	23,0

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

Esperimenti

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

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

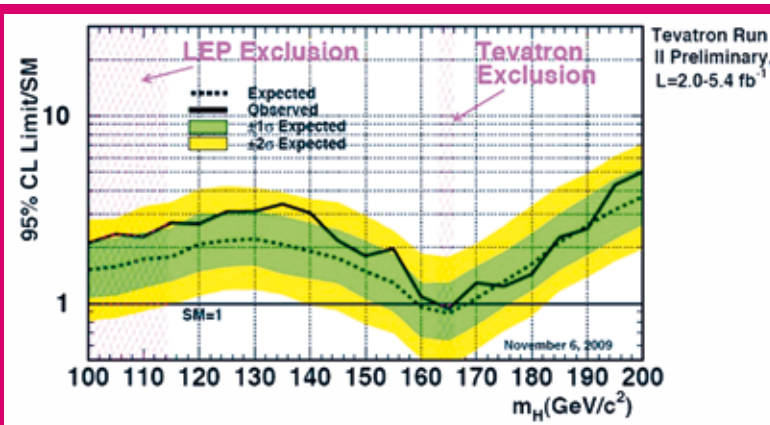


Fig. 3.2: Risultati del Tevatron sulla ricerca del bosone di Higgs. Nella regione di energia presa in considerazione si può escludere la piccola regione di massa intorno a 165 GeV.

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

2/3 del suo budget (quindi circa 50 M€) a LHC. Nella parte di investimenti questa quota raggiunge e supera i 3/4 del bilancio a disposizione.

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

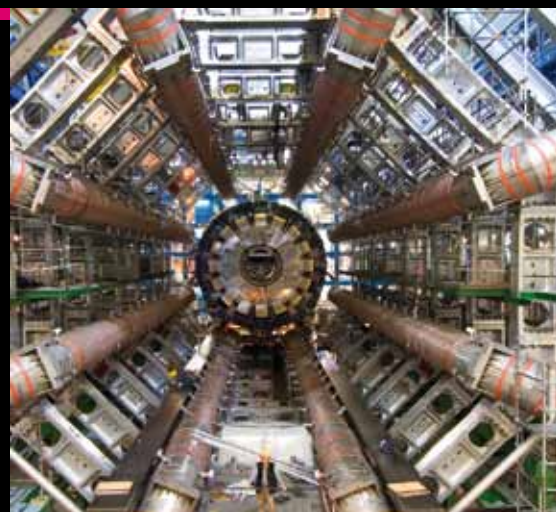
L'acceleratore ha raggiunto nel dicembre 2009 il record di energia (2.36 TeV) sottraendolo al Tevatron e si appresta nel prossimo anno ad effettuare *run* di fisica a 7 TeV per poi raggiungere nel corso del triennio l'energia di progetto di 14 TeV. Grazie anche a un lungo periodo di presa dati con raggi cosmici, gli esperimenti sono perfettamente a punto e pronti a raccogliere e interpretare gli eventi prodotti nella collisione dei fasci di protoni, come si può ben vedere nella figura 3.4, che raccoglie alcune rappresentazioni computerizzate dei risultati delle collisioni.

La tecnologia di calcolo basata su Grid si è dimostrata funzionale già da questa primissima fase. Gli esperimenti hanno ricostruito gli eventi raccolti in tempo reale e sono già in corso molte analisi fisiche che dimostrano le potenzialità degli apparati e gettano un primo sguardo a questi nuovi dati.

ATLAS



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



CMS



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



LHC-b



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

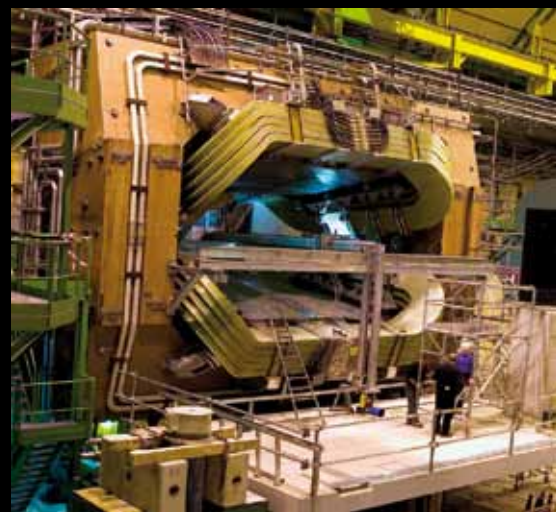


Fig. 3.3 : Sono indicati i rivelatori ai quali i ricercatori della CSN1 hanno dato i maggiori contributi per ciascuno dei tre esperimenti principali (nelle foto).

HIGHLIGHT del 2009

- **L entrata in funzione di LHC e degli esperimenti che vi operano, a coronamento di una impresa ventennale: certamente I highlight pi straordinari del 2009.**
- **Il risultato sulla massa del bosone di Higgs ottenuto da CDF al Tevatron (vedi figura 3.2), che per la prima volta esclude una regione ad alta massa.**
- **La misura del rapporto di decadimento tra i due canali leptonici del K carico ($R = K^+ \rightarrow e^+ \nu / K^+ \rightarrow \mu^+ \nu$) ottenuto sia dalla collaborazione NA62 che da KLOE, risultato che pone limiti significativi allo spazio delle fasi della nuova fisica.**

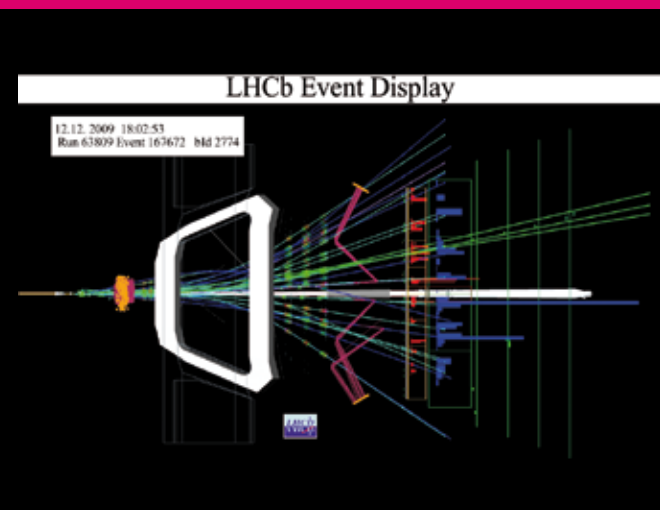
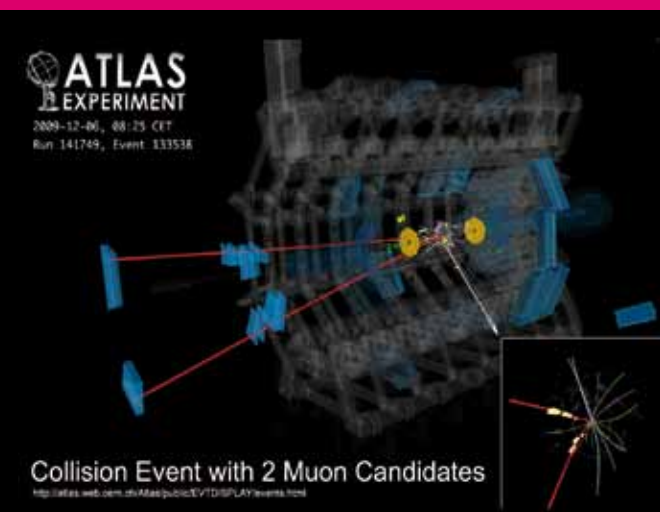


Fig. 3.4 : Alcuni degli eventi registrati da ATLAS, CMS e LHC-b nei primi giorni di funzionamento di LHC.

Prospettive e scenari

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

comprensione della struttura del microcosmo. Se il bosone non fosse osservato, sarebbe necessario rivisitare buona parte delle nostre attuali teorie.

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

E in particolare (ma non solo) da 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.

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

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

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

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

Il prossimo triennio vedrà compiersi il destino di questo

progetto in senso positivo o negativo. Da questo destino dipenderà anche in modo sostanziale l'evoluzione dei finanziamenti e la struttura di esperimenti della CSN1.

Vi sono due alternative abbastanza chiare. O concentrare le energie sulle due grandi macchine (LHC e SuperB) con una opportuna modulazione delle risorse, oppure procedere con vigore sulla frontiera dell'energia (LHC) pensando ai miglioramenti necessari per un suo sfruttamento ottimale e, come in passato, assumendosi forti ruoli di responsabilità in questo processo. Questo sarebbe possibile mantenendo comunque altri piccoli esperimenti (relativamente ai colossi di LHC) dedicati allo studio di fenomeni di precisione, inaccessibili a LHC ma di grande rilevanza.

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

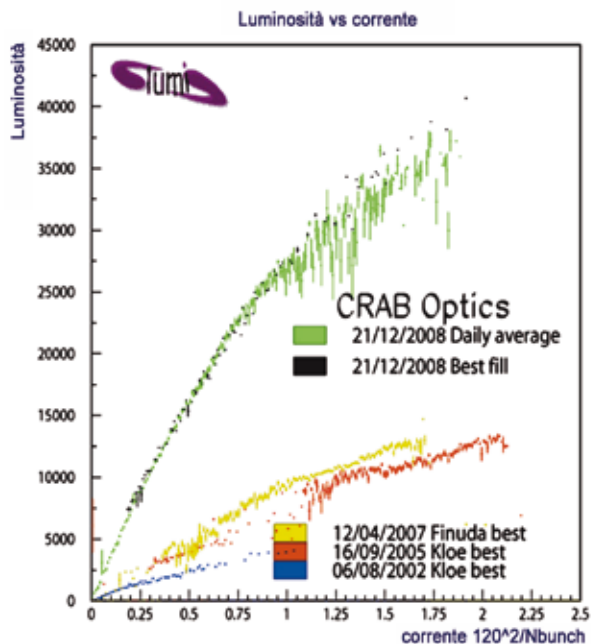


Fig. 3.5.: Capacità di DAFNE di produrre collisioni elettrone-positrone per unit di tempo (luminosità) in diverse condizioni di funzionamento. I puntini neri (e verdi) sono il risultato dell'applicazione delle idee sviluppate a Frascati, in blu, giallo e rosso i precedenti risultati.

La conoscenza degli angoli di mescolamento tra i quark

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

3.3 LA FISICA ASTROPARTICELLARE

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

Introduzione

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

Lo studio dei messaggeri dell'Universo, le varie forme della radiazione cosmica, che vanno dalle particelle cariche e dai neutrini alla radiazione elettromagnetica e alle onde gravitazionali, rappresenta un settore che in questi anni vede un continuo, significativo progresso grazie ad un continuo flusso di nuovi risultati sperimentali. Proprio lo studio dei neutrini atmosferici ha portato alla scoperta del fenomeno delle oscillazioni tra i diversi tipi di neutrini, scoperta premiata con il Nobel nel 2002. Questo fenomeno è studiato ai Laboratori del Gran Sasso sia con i neutrini solari (esperimento BOREX) che con il fascio di neutrini provenienti dal CERN (progetto CNGS e esperimento OPERA).

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

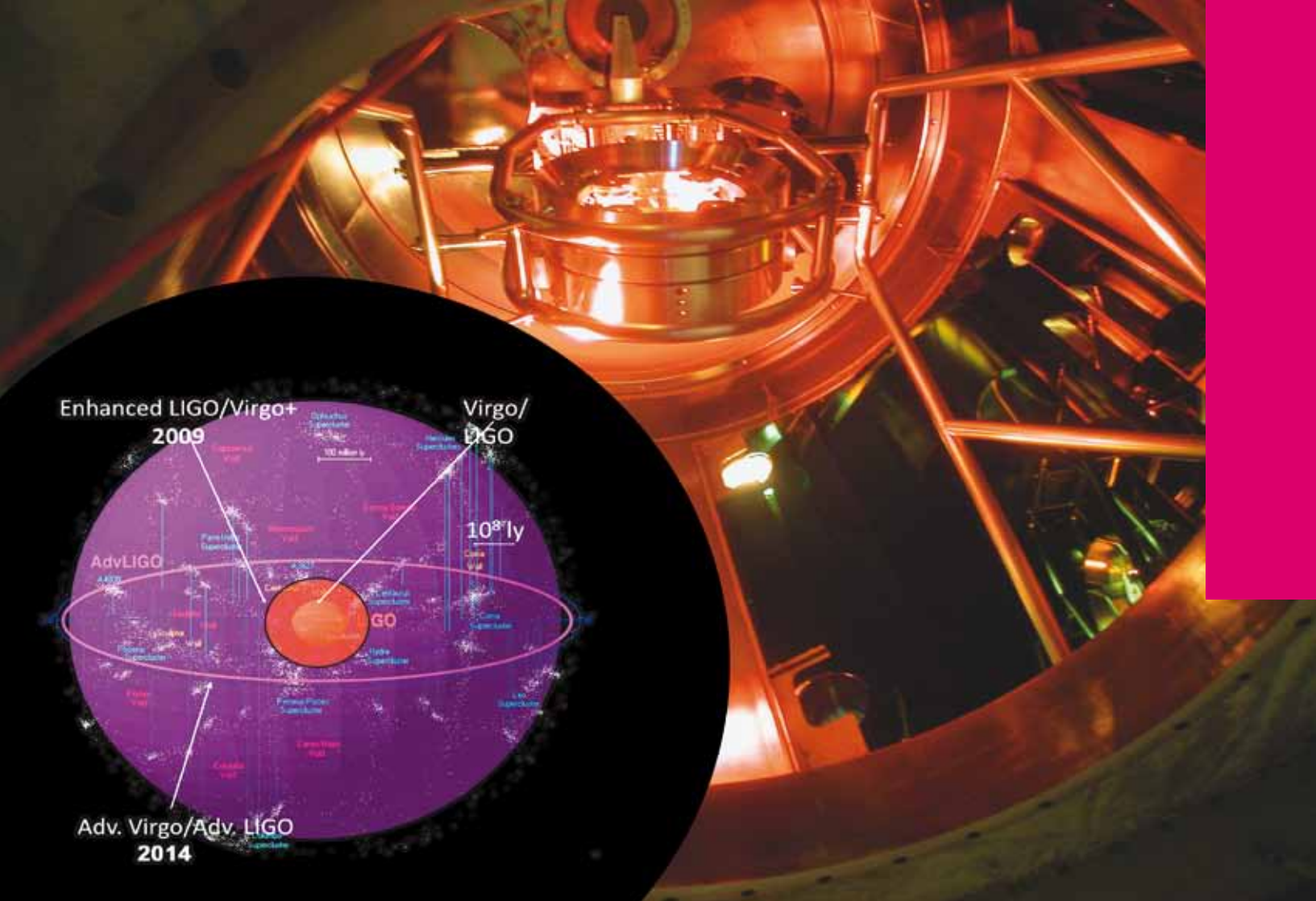


Fig. 3.6: La sensibilità di Virgo, in termini di volume della Galassia che viene osservato dall'interferometro, in funzione dei miglioramenti messi in atto nel 2009 o pianificati fino al 2014.

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. Siamo forse alle soglie di un'importante scoperta, per la quale i risultati del Large Hadron Collider saranno decisivi.

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

La rivelazione diretta delle onde gravitazionali, previste dalla relatività generale, è una delle grandi sfide della fisica sperimentale contemporanea. L'INFN ha una lunga tradizione nel settore disponendo in particolare dell'interferometro

VIRGO, attualmente il più sensibile al mondo alle basse frequenze. Nel 2009 è stato approvato dall'INFN il progetto "Advanced VIRGO" che migliorerà di vari ordini di grandezza la sensibilità dell'interferometro (vedi figura 3.6).

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

Molti esperimenti astroparticellari prevedono tempi di misura molto lunghi. Si tratta di veri e propri osservatori che ricercano fenomeni rari, che hanno origine al di fuori della Terra: neutrini dal Sole, particelle di origine cosmologica, esplosioni di supernovae, eventi rari nella radiazione cosmica ordinaria, impulsi di onde gravitazionali. In questi casi quindi la programmazione e l'effettuazione degli esperimenti procede in modi diversi da quelli tipici degli esperimenti agli acceleratori e

richiede una grande flessibilità. Le misure di eventi molto rari implicano sensibilità non ottenibili in presenza del rumore di fondo causato nei rivelatori da eventi indotti dai raggi cosmici: i Laboratori Nazionali del Gran Sasso, che forniscono uno schermo adeguato ai raggi cosmici ordinari, sono la sede ideale per essi. L'elevato numero di fisici italiani e stranieri che operano nei LNGS dimostra il ruolo di punta di questi laboratori nelle ricerche in corso.

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

LINEA SCIENTIFICA: CSN2

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

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

Le attività della CSN2 possono essere divise in 6 linee scientifiche: fisica del neutrino, ricerca di fenomeni rari, radiazione cosmica in superficie e sotto il mare, radiazione cosmica nello spazio, onde gravitazionali e fisica generale. Nel seguito è presentato un breve sommario del consuntivo scientifico del 2009, con l'obiettivo di delineare lo stato delle linee di ricerca senza necessariamente elencare tutte le attività in corso.

LINEA 1 : FISICA DEI NEUTRINI

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

Un esperimento leader a livello mondiale nel settore delle oscillazioni di neutrino elettronico è BOREXINO che studia in tempo reale il flusso di neutrini solari. La sensibilità raggiunta dallo strumento è tale che dovrebbe essere possibile rivelare il segnale dovuto ai geoneutrini, i neutrini di bassa energia prodotti da fenomeni naturali o artificiali (centrali nucleari) sul nostro pianeta.

Per meglio studiare le oscillazioni dei neutrini muonici è in funzione dal 2006 il fascio di neutrini dal CERN di Ginevra al Laboratorio del Gran Sasso (CNGS). Dopo avere percorso 732 km nella crosta terrestre, i neutrini vengono rivelati al

Gran Sasso dove ci aspettiamo di vedere comparire un tipologia di neutrini, i neutrini tau, che non sono presenti al momento della produzione del fascio al CERN.

Gli esperimenti previsti al Gran Sasso per rivelare i neutrini provenienti dal CERN sono due: OPERA e ICARUS. Nel 2009 OPERA (figura 3.7) ha continuato la presa dati, accumulando una statistica che dovrebbe essere sufficiente a rivelare i primi eventi di oscillazioni in neutrino tau. ICARUS è un rivelatore da 600 tonnellate di Argon liquido, una tecnologia sviluppata da gruppi italiani, e che prevede di prendere dati con il fascio CNGS nel 2010.

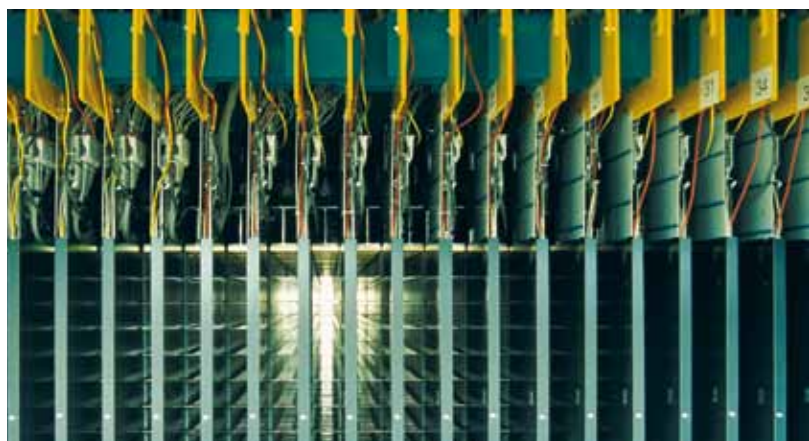


Fig. 3.7: Il rivelatore OPERA ai LNGS studia l'oscillazione del neutrino di tipo muonico (fascio CNGS prodotto al CERN) in neutrino di tipo taonico (rivelazione ai LNGS) nei 732 km di percorso.

LINEA 2: RICERCA DI FENOMENI RARI

Un altro metodo per la misura della massa del neutrino è collegato alla ricerca del doppio decadimento beta senza neutrini, premesso che il neutrino e l'antineutrino siano la stessa particella.

Nel Laboratorio del Gran Sasso è in corso la realizzazione dell'esperimento CUORE, un grande rivelatore di 1000 cristalli di tellurite con massa totale di 770 kg. L'obiettivo primario è la misura del decadimento doppio beta, con una sensibilità per la massa del neutrino dell'ordine del centesimo di eV.

Il tema della materia oscura dell'Universo è uno dei più affascinanti della fisica e l'astrofisica, ma anche uno dei più difficili da studiare. Al Gran Sasso l'esperimento DAMA ha evidenziato una modulazione stagionale di segnali di bassissima energia indotti su un rivelatore ultrasensibile costituito da 100 kg di cristalli ultrapuri di ioduro di sodio. L'osservazione è in linea con quanto atteso dal moto della Terra intorno al Sole, trascinata con tutto il sistema solare attraverso il supposto mare di materia oscura presente nella nostra galassia. I risultati di DAMA hanno suscitato un acceso dibattito nella comunità scientifica internazionale.

Nel 2009 è stata completata la costruzione dell'apparato WARP, un esperimento di nuova generazione per la ricerca della materia oscura usando come rivelatore argon liquido e utilizzando tecniche sviluppate per l'esperimento ICARUS. Si prevede che la messa in opera di WARP sia completata per la metà del 2010.

LINEA 3: RADIAZIONE COSMICA IN SUPERFICIE E NELLE PROFONDITÀ MARINE

I raggi cosmici sono stati scoperti più di un secolo fa, ma ancora molto si ignora sulla loro origine e composizione soprattutto ad altissime energie. A energie estremamente elevate sono necessari rivelatori di ampie dimensioni per avere un numero di eventi significativo. Inoltre un campo nuovo si è aperto lo scorso decennio con la scoperta di sorgenti localizzate di fotoni di energia dell'ordine del TeV e con la scoperta di inattesi fiotti di fotoni, associati a fenomeni di energia estremamente elevata: i cosiddetti *gamma ray bursts* la cui origine è ancora sostanzialmente sconosciuta. L'INFN partecipa ai più importanti esperimenti in questo settore, spesso con ruoli importanti. Dall'esperimento ARGO, installato negli altipiani del Tibet, al telescopio

Nello studio della radiazione cosmica di alta energia i neutrini hanno un ruolo particolare: sono molto più penetranti dei raggi gamma e derivano principalmente da fenomeni adronici. Per essere rivelati richiedono la costruzione di apparati di grandi dimensioni come ANTARES operante al largo di Marsiglia. Nel 2009 è continuata l'attività di KM3NeT: un progetto europeo per arrivare al progetto di un rivelatore da 1 Km cubo nel Mediterraneo nell'ambito del quale è prevista l'installazione di prototipi di rivelatori a 3500 metri di profondità al largo di Capo Passero, in Sicilia. L'interesse di questo progetto si estende al settore della geofisica e della biologia marina.

LINEA 4: LA RADIAZIONE COSMICA NELLO SPAZIO

Lo studio dei raggi cosmici primari è ostacolato dall'atmosfera terrestre. Pertanto gli esperimenti per i raggi cosmici sono condotti nello spazio con palloni o satelliti, a parte che per le altissime energie ove sono richiesti apparati molto estesi. Questi esperimenti sono condotti in collaborazione con le agenzie spaziali, in particolare con l'Agenzia Spaziale Italiana (ASI).

L'apparato PAMELA, lanciato nel giugno 2006, ha

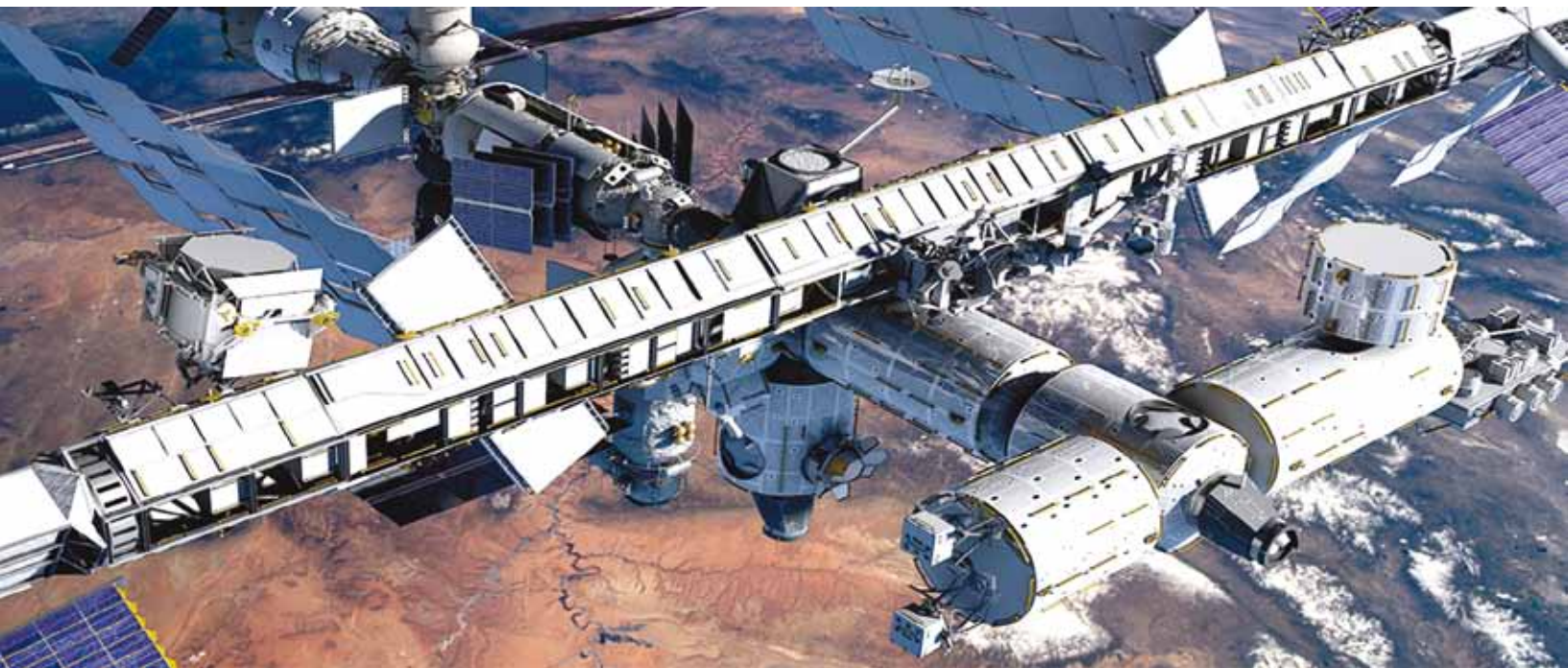


Fig. 3.8: La Stazione Spaziale Internazionale, ora completata, ospiterà a partire dall'anno 2010 l'esperimento AMS.

Cherenkov MAGIC alle Canarie, dedicato ai raggi gamma al di sopra di 50 GeV e che nel 2009 ha raddoppiato il numero di telescopi attivi, all'esperimento AUGER in Argentina, che coprendo più di 3000 km², è sensibile a raggi cosmici di energia estrema, in grado di attraversare la galassia senza essere deviati dal campo magnetico interstellare.

continuato regolarmente la raccolta dati nel 2009. PAMELA è un piccolo ma sofisticato esperimento a leadership italiana, basato su un magnete permanente, e caratterizzato da un'alta risoluzione energetica. Nel 2009 PAMELA ha pubblicato una misura accurata del rapporto fra positroni ed elettroni fino ad una energia di circa 80 GeV, mostrando come

la percentuale di positroni, rispetto agli elettroni, aumenti drasticamente alle basse energie, un'osservazione che ha destato notevole attenzione per le possibili implicazioni che potrebbero riguardare la natura della materia oscura.

Le stesse tematiche scientifiche saranno affrontate a partire dal 2010 da AMS, uno spettrometro magnetico superconduttore, caratterizzato da una grande accettabilità angolare e che permetterà un grande miglioramento in sensibilità nello studio di antimateria e materia oscura. AMS sarà installato sulla Stazione Spaziale Internazionale (figura 3.8) nel corso 2010, e prenderà dati per molti anni.

L'INFN partecipa con le collaborazioni AGILE, prevalentemente italiana, e GLAST (ora chiamato FERMI), a carattere internazionale, a due esperimenti su satelliti dedicati all'astronomia gamma. GLAST/FERMI è stato lanciato con successo a giugno del 2008. Il nome originario di GLAST è stato modificato in FERMI per sottolineare l'importanza dei contributi di Enrico Fermi per lo studio dei meccanismi di accelerazione dei raggi cosmici e l'impegno dei gruppi italiani nella costruzione di GLAST. I risultati di FERMI spaziano dalla scoperta di pulsar gamma (vedi figura 3.9), alle verifiche di precisione della relatività generale, allo studio di nuove classi di emittitori gamma, alle questioni legate all'accelerazione dei raggi cosmici.

L'attività spaziale dell'INFN ha raggiunto nel 2009 dei risultati scientifici di assoluta importanza, che hanno fornito all'Istituto visibilità e leadership internazionali. È confermata la rilevanza di questo settore nell'ambito delle attività della CSN2, settore su cui l'Istituto è impegnato dalla metà degli anni '90, nell'ambito di una forte collaborazione con l'ASI.

LINEA 5: LA RICERCA SULLE ONDE GRAVITAZIONALI

La rivelazione diretta delle onde gravitazionali è una delle grandi sfide della fisica sperimentale contemporanea. È opinione generale che la rivelazione delle onde gravitazionali da sorgenti cosmiche darà luogo alla nascita di una nuova astronomia. L'INFN ha oggi la maggiore copertura al mondo di possibili segnali, avendo tre barre risonanti e l'interferometro VIRGO.

VIRGO, frutto di una collaborazione italo-francese, è un esperimento innovativo basato sulla rivelazione di spostamenti relativi di masse sospese distanti 3 km, dovuti al passaggio di onde gravitazionali ed osservati tramite sofisticate tecniche interferometriche di raggi laser. L'apparato ha due grandi tunnel ortogonali che ospitano i bracci di un interferometro di Michelson. Dopo anni di sviluppo, esso costituisce, con LIGO negli Stati Uniti, lo strumento più avanzato per la ricerca di onde su una banda di frequenza che spazia da qualche Hertz a migliaia di Hertz.

I buoni risultati ottenuti con VIRGO hanno portato l'INFN all'approvazione del progetto "Advanced VIRGO" in cui la collaborazione italo-francese farà un ulteriore, forse decisivo, passo verso la sensibilità necessaria per la rivelazione diretta delle onde gravitazionali.

Il futuro della ricerca in questo settore vede allo studio nuovi progetti internazionali di terza generazione come il progetto denominato ET (*Einstein Telescope*). Nello spazio invece il progetto LISA a cui l'INFN partecipa nella parte di sviluppo tecnologico chiamata LISA Pathfinder, promette di spingere verso la fine del decennio la sensibilità degli interferometri ben al di sotto del limite di rivelazione.

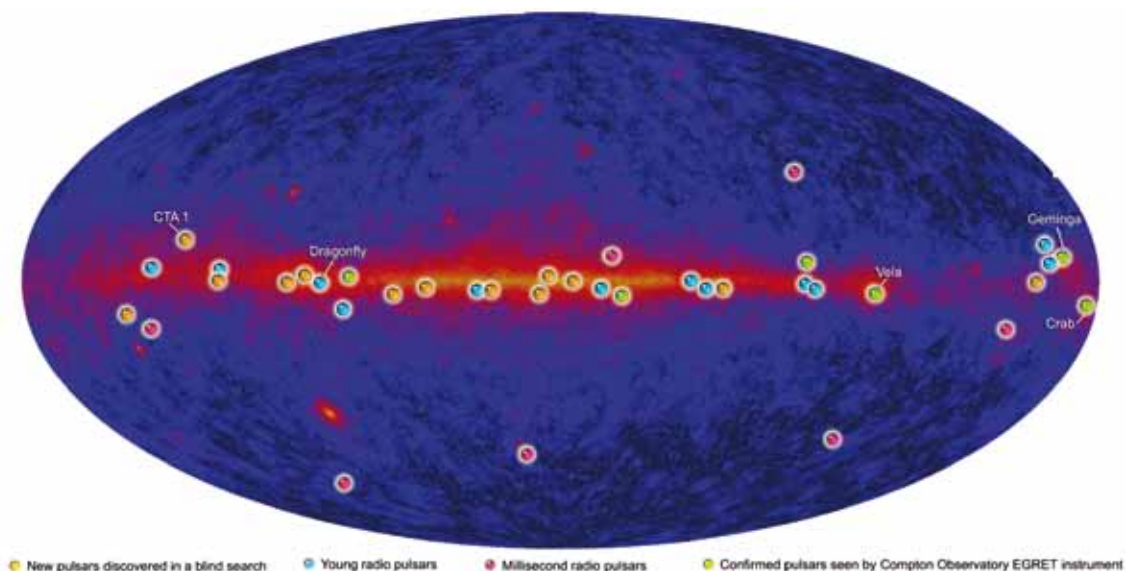


Fig. 3.9: Il cielo gamma di Fermi, con evidenziate le pulsar gamma scoperte da questo strumento.



Fig. 3.10: Vista aerea del YBJ, International Cosmic ray Observatory in Tibet, a 4300 metri di quota. Sulla destra, la sala dell'esperimento italo-cinese ARGO

LINEA 6: RICERCHE IN FISICA GENERALE

FONDAMENTALE

Alcune attività della CSN2 sono relative ad esperimenti di fisica generale fondamentale. Ad esempio, l'esperimento MAGIA si propone di fare una misura precisa della costante di gravitazione usando atomi singoli, mentre l'esperimento MICRA si propone come obiettivo principalmente la misura della costante di gravitazione universale G a distanze molto piccole mediante tecniche interferometriche basate su gas atomici quantistici. Tali misure sono importanti perché alcune teorie, come quella delle stringhe, prevedono deviazioni da quanto previsto dalla legge di Newton.

Prospettive nel medio termine

Gli investimenti fatti dall'Istituto nei settori di ricerca della CNS2, hanno posizionato in modo ottimale l'Istituto a livello internazionale. Gli esempi più significativi sono probabilmente i Laboratori del Gran Sasso e VIRGO, ma anche nel settore spaziale sono stati raggiunti risultati di eccellenza.

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

I Laboratori del Gran Sasso, attualmente sono i laboratori sotterranei migliori al mondo: 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, lo studio dei raggi cosmici ad energie estreme rappresenta una consolidata linea di sviluppo in questo settore, con esperimenti da effettuare sia a terra (AUGER Nord) che nello spazio (JEM-EUSO).

HIGHLIGHT del 2009

- **PAMELA ha misurato nello spazio come la frazione e^+/e^- salga in modo marcato al di sopra dei 10 GeV. Questo effetto inatteso potrebbe preludere a nuovi fenomeni astrofisici o al decadimento indiretto di particelle di materia oscura.**
- **Fermi ha prodotto una serie di importanti misure delle proprietà del cielo gamma, in particolare scoprendo l'esistenza di pulsar gamma molto brillanti nelle energie dei GeV.**
- **MAGIC ha completato il secondo telescopio Cherenkov e ha iniziato le operazioni in modalità binoculare.**

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.

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 2009, del personale che svolge le attività di fisica nucleare e le risorse finanziarie utilizzate nel triennio 2007-2009.

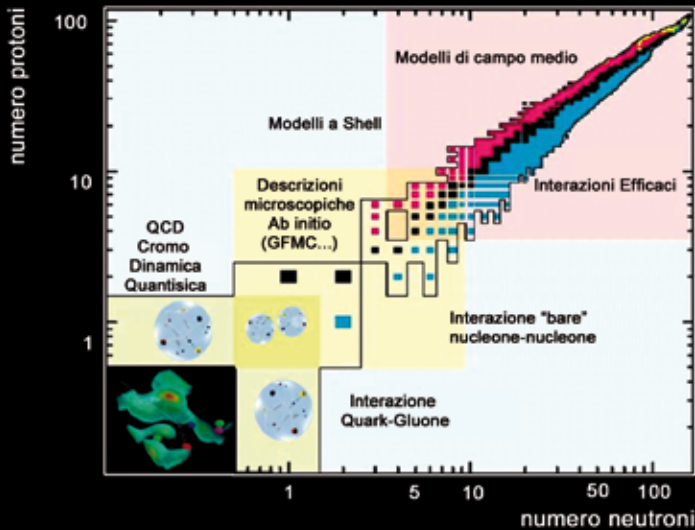


Fig. 3.11: La carta dei nuclei con indicati i diversi modelli e la loro regioni di applicazione, a partire dalla struttura del nucleone fino alla struttura dei nuclei pi complessi.

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 queste fenomenologie richiede diversi modelli teorici, quello a quark per i costituenti del nucleo (nucleoni) e per i nuclei i modelli di campo medio (Shell e collettivi) con interazioni tra i nucleoni microscopiche o efficaci (vedi figura 3.11).

LINEA SCIENTIFICA CSN3

FTE INFN staff + art.23,15 (anno 2009)	150
FTE Associati staff (anno 2009)	194
Assegnisti, borsisti, dottorandi (anno 2009)	180
Totale risorse finanziarie spese 2007-2009 (M€)	35,3
di cui spese per investimenti (inv., c.a.) 2007-2009 (M€)	10,4

Tab. 3.3: Composizione, risorse finanziarie e investimenti per la CSN3.

LA STRUTTURA E LA DINAMICA DEGLI ADRONI

La teoria che descrive i quark e le loro interazioni (detta Cromo Dinamica Quantistica, Quantum Chromo Dynamics o QCD) non è ancora in grado di spiegare in modo soddisfacente la struttura interna dei nucleoni. Ad esempio, rimane ancora da chiarire come i quark e i gluoni si combinino a dare proprietà ben note del protone e del neutrone, quali massa, spin e momento angolare, e anche lo spettro delle risonanze barioniche.

Lo studio della struttura degli adroni con sonde elettromagnetiche, che hanno la capacità di entrare in profondità senza alterare sostanzialmente il sistema, viene condotto in Germania, a Bonn, con fotoni di energia fino a 3 GeV (esperimento MAMBO) e al laboratorio americano JLab, in Virginia, con fotoni ed elettroni di energia fino a 6 GeV (esperimento JLAB12). In particolare, sono in programma misure inclusive ed esclusive di alta precisione con fasci e bersagli polarizzati volte alla ricerca di risonanze barioniche predette dalla teoria ma non ancora identificate e allo studio delle correlazioni spin-moto orbitale nel nucleone. Si tratta di ricerche di grande interesse in fisica adronica, che costituiscono la motivazione principale dell'innalzamento a 12 GeV dell'energia dei fasci del JLab.

Produrre in laboratorio adroni diversi dai nucleoni e farli interagire con i nuclei permette di comprendere le diverse proprietà dell'interazione forte in presenza di materia nucleare. Di particolare interesse sono i kaoni che contengono un quark con sapore stranezza (quark "strano") e che possono essere catturati o formando atomi kaonici in cui un kaone si muove su "orbite" con raggi circa 1000 volte minori di quelle tipicamente elettroniche (esperimento SIDDARTHA) oppure formando i cosiddetti ipernuclei, dove un nucleone è sostituito da una particella più pesante che contiene un quark "strano" (esperimento FINUDA). La sperimentazione con kaoni presso LNF ha portato alla misura più precisa ora esistente del sistema protone-kaone (idrogeno kaonico), grazie agli alti valori di luminosità ottenuti per il collisionatore DAFNE. Anche i risultati sugli ipernuclei, d'interesse per i modelli che descrivono l'interno delle stelle di neutroni, sono molto nuovi e molto selettivi e stanno avendo un impatto importante nel delineare il programma scientifico al laboratorio giapponese JPARC (*Japan Proton Accelerator Research Complex*).

La collaborazione PANDA sta preparando la sperimentazione relativa allo studio molto dettagliato della struttura interna degli adroni e delle diverse fenomenologie prodotte dall'interazione forte utilizzando come sonda un fascio di antiprotoni (l'antiparticella del protone nel mondo speculare dell'antimateria) presso il laboratorio internazionale FAIR (*Facility for Antiproton and Ion Research*) in costruzione a Darmstadt, Germania. Questo fascio avrà caratteristiche di intensità e purezza uniche al mondo. Attualmente i ricercatori di PANDA sono impegnati in un'intensa attività di R&S per il rivelatore e di simulazione per le prestazioni strumentali e per la fisica. Per i programmi a più lungo termine a FAIR è in corso un'attività per sviluppare una tecnica molto efficace per la polarizzazione di antiprotoni (PAX) per realizzare in

futuro studi sullo spin dei quark.

TRANSIZIONI DI FASE NELLA MATERIA ADRONICA

La collisione tra ioni a energie ultrarelativistiche è caratterizzata da densità di energie sufficientemente elevate da permettere una transizione dalla materia adronica ad uno stato deconfinato di quark e gluoni, la stessa che si presume abbia avuto luogo nell'Universo primordiale, nei primi dieci milionesimi di secondo dopo il Big Bang. Lo studio del quark-gluon plasma è l'ambizioso obiettivo scientifico dell'esperimento ALICE al collisionatore LHC al CERN di Ginevra. L'interazione di ioni Pb a energie di 5.5 TeV assicurerà la produzione di una miriade di particelle (adroni coi loro decadimenti in leptoni) e la loro misura permetterà di comprendere la materia nucleare in condizioni estreme di temperatura e di densità di energia.

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, come testimoniato dai vari ruoli di responsabilità. Sfruttando le prime collisioni protone-protone (utilizzando 284 eventi) avvenute alla fine del 2009, ALICE ha misurato la densità di particelle cariche nella regione centrale. I risultati ottenuti sono consistenti con le misure precedenti di collisione protone-antiprotone effettuate dall'esperimento UA5 sempre al CERN. Questi risultati mostrano l'eccellente funzionamento di LHC e dell'apparato ALICE sia per la parte strumentale che per l'analisi dati.

STRUTTURA NUCLEARE E MECCANISMI DI REAZIONE

Il problema centrale attualmente affrontato con particolare vigore nei diversi laboratori (Europa, Usa e Giappone) è quello dell'evoluzione delle proprietà caratteristiche dei nuclei e/o della materia nucleare asimmetrica (masse, interazioni, simmetrie, eccitazioni, gradi di libertà collettivi), in presenza cioè di un rapporto anomalo di neutroni e protoni. L'ambizioso programma, che richiede molte informazioni sperimentali, è infatti quello di comprendere i limiti della stabilità nucleare e ottenere in laboratorio nuclei non presenti sulla Terra ma che potrebbero invece esistere in condizioni simili a quelle che si realizzano nel cosmo. Le collaborazioni INFN impegnate in queste problematiche sono molto attive e utilizzano prevalentemente i fasci di ioni dei laboratori di Legnaro, LNL (esperimenti GAMMA, NUCL_EX, PRISMA, EXOTIC) e di Catania, LNS (esperimenti EXOCHIM, FRAG, MAGNEX, LNS_STREAM) ma anche i fasci di ioni radioattivi

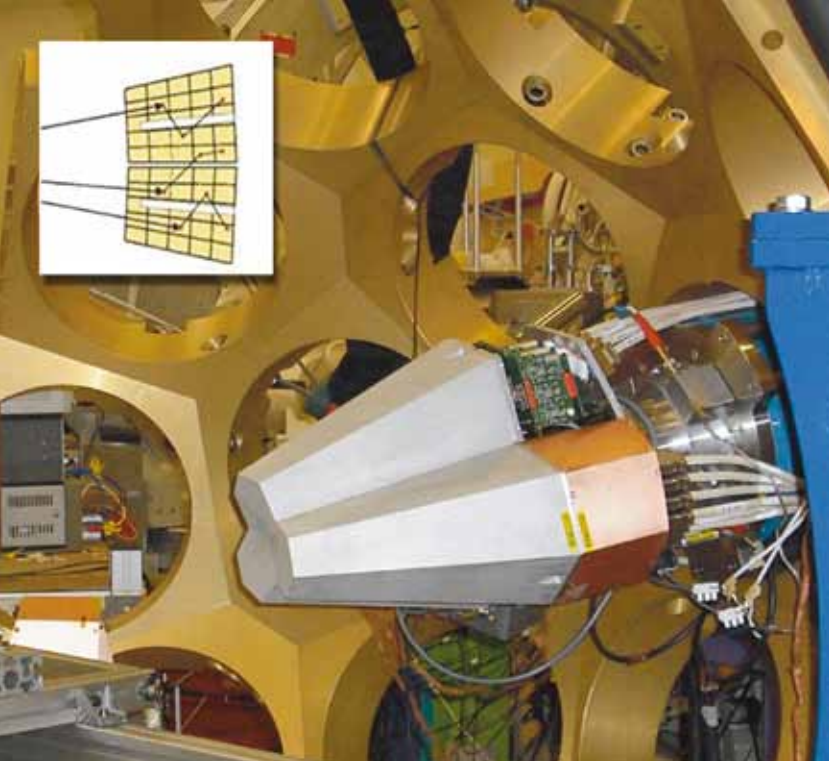


Fig. 3.12: Il primo modulo del rivelatore AGATA, che usa la tecnica del tracciamento dell'interazione gamma con la materia (schematizzata nel disegno), montato ai Laboratori Nazionali di Legnaro.

dei laboratori esteri, in particolare GANIL in Francia e al GSI Helmholtz Centre for Heavy Ion Research (Darmstadt, Germania).

L'argomento su cui la sperimentazione INFN si è focalizzata è quello dei nuclei lontano dalla stabilità e in particolare 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 gli effetti delle forze tensoriali e per identificare nuove particolari 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. Il programma futuro per la sperimentazione a LNL vedrà la partenza della prima fase del rivelatore AGATA (figura 3.12) della collaborazione internazionale europea che è basato sulla tecnica del tracciamento dell'interazione gamma

con la materia. Questo metodo ha un forte potenziale applicativo nell'ambito della tecnologia dell'elaborazione di immagini (imaging), oggi impiegata diffusamente in ambito medico e nel settore della sicurezza, per la rilevazione dei materiali illegali attraverso la scansione gamma delle merci viaggianti. Le misure di fisica programmate riguardano lo studio di modi di eccitazioni in nuclei moderatamente ricchi di neutroni che sono d'interesse e preparatori anche in vista della sperimentazione con fasci radioattivi di prossima generazione come quelli di SPES o SPIRAL2. A LNS si utilizzeranno sempre di più i fasci radioattivi di nuclei leggeri prodotti sia da EXCYT che con la tecnica della frammentazione in volo.

ASTROFISICA NUCLEARE E RICERCA

INTERDISCIPLINARE

Poiché le stelle sono vere centrali di energia nucleare galattica, è importante, per capire la loro vita, realizzare in laboratorio misure di alta precisione delle reazioni chiave coinvolte. Queste reazioni nucleari giocano un ruolo essenziale nell'origine ed evoluzione delle nostre galassie, sulle abbondanze degli elementi e sui flussi di neutrini. L'esperimento LUNA al Laboratorio Nazionale del Gran Sasso si è concentrato recentemente su reazioni nucleari riguardanti la combustione dell'idrogeno nel ciclo CNO che coinvolge i nuclei di Carbonio, Azoto e Ossigeno ed è la principale sorgente d'energia delle stelle più massive. È programmata inoltre una misura finalizzata a capire perché i modelli di nucleosintesi primordiali prevedano una quantità di ${}^6\text{Li}$ che è 2-3 ordini di grandezza inferiore rispetto alle misure in stelle povere di metalli. I programmi a più lunga scadenza richiedono invece un nuovo acceleratore con energie di 4-5 MeV.

È proprio grazie a uno studio sistematico di numerosi meccanismi e reazioni nucleari che oggi siamo in grado di fare passi avanti nella comprensione del processo della nucleosintesi. Sfruttando tecniche particolari, ad esempio la cinematica inversa (esperimento ERNA a Caserta) e quella detta del cavallo di Troia (esperimento ASFIN ai LNS), si sono e si stanno misurando reazioni utili a questo importante scopo. Sono di rilievo in questo contesto i dati relativi ad affrontare il problema della scarsità degli elementi Li, B e Be e utili per i modelli che descrivono i fenomeni che avvengono all'interno delle stelle.

Lo studio delle reazioni neutrone-nucleo sta attualmente ricevendo molta attenzione in molti laboratori, non solo perché la cattura neutronica riveste grande importanza per la nucleosintesi degli elementi più pesanti del ferro ma anche per contribuire alle tecnologie nucleari emergenti.

La collaborazione n-TOF al CERN è fortemente impegnata in questi studi, ha ottenuto risultati di grande interesse e ha un programma ben delineato per i prossimi anni ed in particolare farà ricerca utile per gli sviluppi nel campo di produzione dell'energia nucleare mediante fissione. Sono inoltre allo studio possibili attività con nuove sorgenti di neutroni anche presso i laboratori INFN.

Nel campo della fisica fondamentale lo studio dell'antimateria fornisce una verifica stringente alle interazioni e simmetrie che stanno alla base dei modelli teorici. L'attività sulla spettroscopia dell'antiidrogeno (l'atomo più semplice di antimateria), sulle sezioni d'urto di antiprotoni a energie di pochi keV e sulla verifica delle simmetrie CPT sono in corso al CERN con le collaborazioni ASACUSA e AEGIS.

Prospettive

Tutte e quattro le linee scientifiche della CSN3 hanno prospettive, anche a lungo termine, certamente di grande interesse.

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

Per l'ambizioso studio del quark-gluon plasma e quindi della materia dopo il Big Bang, è chiaro che l'esperimento ALICE a LHC avrà la possibilità di produrre fisica nuova con alto potenziale di scoperta nei prossimi dieci anni.

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.

Per l'astrofisica nucleare bisognerà portare avanti l'upgrade di LUNA con un acceleratore di 3-4 MeV.

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 2009

- **Prima evidenza dell'effetto combinato tra interazione coulombiana e interazione nucleare di tipo isovettoriale nella fusione incompleta e nella emissione di frammenti (*neck emission*) nei primi istanti della collisione tra ioni pesanti, grazie a misure esclusive con il rivelatore CHIMERA ai LNS.**
- **Partenza della presa dati dell'esperimento ALICE e verifica delle sue ottime prestazioni tecniche.**
- **Misure di spettroscopia gamma ai LNL con il rivelatore PRISMA-CLARA e prima evidenza che la carica efficace nucleare, che determina la risposta elettromagnetica, dipende dagli orbitali dei nucleoni.**
- **Evidenza di assorbimento di kaoni su i cluster di nucleoni nei nuclei, attraverso misure dell'esperimento FINUDA ai LNF.**

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/>

Missione

Lo studio delle questioni fondamentali della fisica delle particelle e nucleare sta entrando in un periodo di grande interesse dovuto allo sviluppo di fronti sperimentali di fondamentale importanza lungo le tre linee dell'alta energia (LHC), dell'alta intensità (fisica del "flavour") e della fisica astroparticellare (in particolare ricerche dirette e indirette di materia oscura).

La fisica teorica partecipa a queste ricerche con la formulazione di modelli teorici che estendono il Modello Standard delle interazioni fondamentali, sia per includere la fisica della simmetria elettrodebole, che per descrivere candidati particellari di materia oscura. Sono note le potenziali connessioni tra i due temi, così come le possibili relazioni con la fisica del sapore e/o la fisica dell'unificazione. Importantissimo risulta inoltre lo studio delle possibili manifestazioni fenomenologiche di interazioni forti alla scala di Fermi, quella che sarà esplorata da LHC o, nel contesto di teorie supersimmetriche, lo studio di configurazioni fenomenologicamente peculiari e della loro origine nel contesto di nuovi meccanismi di rottura di simmetria. Analogamente è essenziale proseguire l'attività di analisi dei dati provenienti dagli esperimenti di astrofisica, ad esempio

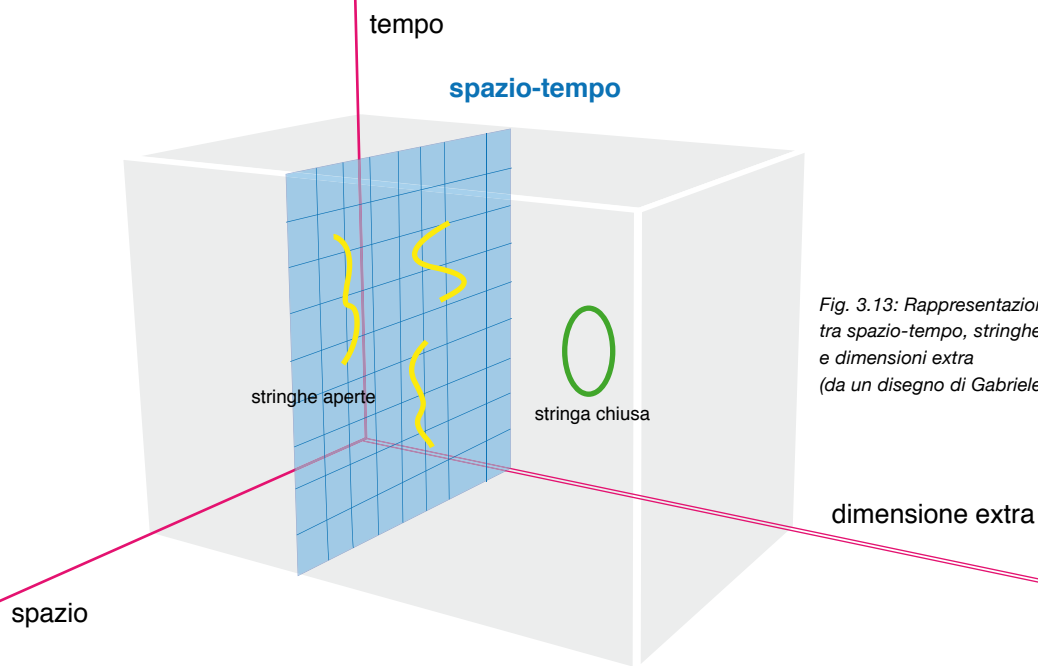


Fig. 3.13: Rappresentazione della relazione tra spazio-tempo, stringhe (aperte o chiuse) e dimensioni extra (da un disegno di Gabriele Veneziano).

nello studio delle correlazioni tra segnali di materia oscura potenzialmente rilevabili nei diversi esperimenti sia in generale che in modelli definiti. La correlazione tra segnali diretti ed indiretti di materia oscura e la produzione ed identificazione della stessa a LHC costituisce una delle più interessanti tematiche di teorie di nuova fisica oltre il Modello Standard. A questi studi si affianca l'attività di ricerca sulla fisica del sapore, inclusi i meccanismi di leptogenesi nel contesto di teorie unificate, lo studio del mescolamento dei fermioni in modelli con e senza la presenza di supersimmetria alla scala debole o dimensioni extra, vale a dire nuove dimensioni oltre alle 3+1 dello spazio e del tempo rispettivamente.

Vi è poi un importante settore della fisica teorica che, in luogo di seguire un percorso di tipo "bottom-up", ovvero, un percorso che, partendo dalla fenomenologia, giunge all'elaborazione di teorie di nuova fisica, percorre invece un cammino di tipo "top-down", cioè da astratte teorie spesso basate su sofisticati strumenti matematici giunge ad implicazioni fenomenologiche da confrontare con risultati sperimentali o già presenti o, più sovente, da ottenere nei prossimi esperimenti. Esempio tipico di quest'ultimo modo di procedere è rappresentato dalle teorie di corda ("string theory") in cui, per la prima volta, è stato possibile ottenere una teoria quantizzata della gravità unificata con la descrizione delle altre interazioni fondamentali, elettrodebole e nucleare forte.

Settori di ricerca

L'attività coordinata dalla CSN4, sviluppata in stretta collaborazione col mondo accademico, non si esaurisce nei temi menzionati precedentemente, ma ha importanti estensioni nello studio degli aspetti più formali della teoria dei campi e di stringa, nella fisica matematica, nella fisica statistica, nella biofisica, turbolenza o modelli economici. In effetti tale attività è organizzata in sei settori cui brevemente illustrati:

a) STRINGHE E TEORIA DEI CAMPI

Superstringhe, Supergravità, Teorie Supersimmetriche; Dimensioni Extra; Gravità Quantistica e Cosmologia; Dinamica Non-perturbativa nelle Teorie di Gauge; QCD a grandi distanze e applicazioni alla meccanica statistica; Fenomeni Critici e Gruppo di Rinormalizzazione. Stretta connessione con gli altri settori della CSN4, organizzazione di svariati workshop al centro GGI di Arcetri, organizzazione di conferenze internazionali e scuole, moltissime tesi di laurea e di dottorato.

b) FENOMENOLOGIA DELLE PARTICELLE

Fisica del Neutrino; Fisica dei Sapori; Fisica oltre il Modello Standard (BSM); Materia Oscura; QCD; Miscellanea di Fisica Adronica. Stretta connessione con le ricerche della CSN1, in particolare LHC e SuperB Factory, organizzazione di svariati workshop al centro GGI di Arcetri, organizzazione di conferenze internazionali e scuole, moltissime tesi di laurea e di dottorato.

c) FISICA ADRONICA E NUCLEARE

Fisica degli Ioni Pesanti; Materia adronica e modelli di QCD; Struttura e Reazioni; Fasci Radioattivi; Studi Numerici delle Fasi di QCD. Stretta connessione con le ricerche delle CSN1 e CSN3, partecipazione alle attività di LHC e Jefferson Lab, organizzazione di svariati workshop al centro GGI di Arcetri, organizzazione di conferenze internazionali e scuole, molte tesi di laurea e di dottorato.

d) METODI MATEMATICI

Relatività Generale e Fisica gravitazionale, incluse le onde gravitazionali; Geometria non commutativa e Gruppi quantistici; Struttura algebrica in teorie di campo; Metodi di quantizzazione; Stabilità dinamica a livello classico e quantistico; *Entanglement*; *Randomness* e *chaos*; stati *pseudo-random* da *chaotic maps*; Geometria di sistemi

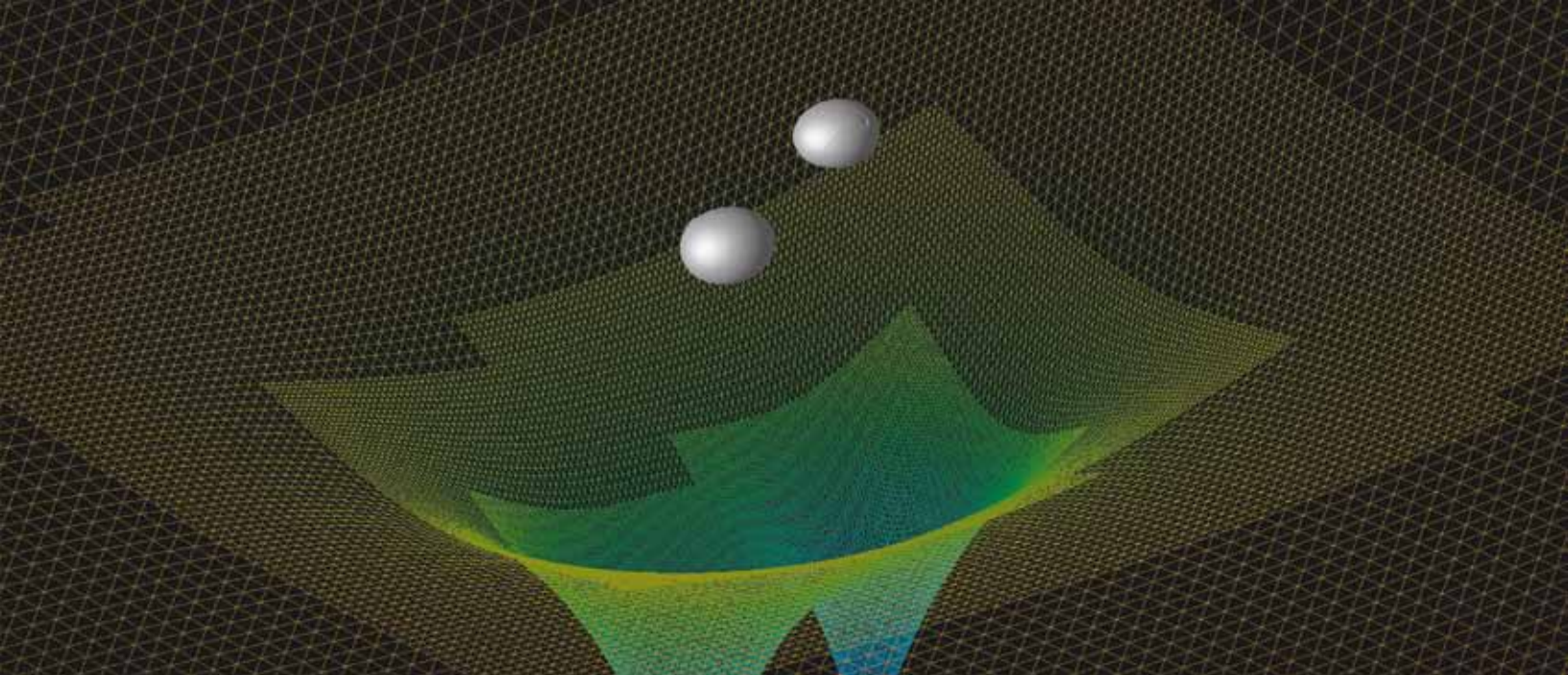


Fig. 3.14: Simulazione al computer della coalescenza di un sistema binario di buchi neri nello spazio tempo curvo.

dinamici e sistemi integrabili. Stretta connessione con il settore a), importanti attività riguardanti le proprietà matematiche della meccanica quantistica per applicazioni a *Computer Science* e Crittografia, organizzazione di conferenze e scuole, molte tesi di laurea e di dottorato.

e) ASTROPARTICELLE E COSMOLOGIA

Fisica delle stelle di neutroni; Deconfinamento dei quark; Supernovae; Sorgenti di radiazione astrofisiche; Neutrini in fisica, astrofisica e cosmologia; Sorgenti di onde gravitazionali, Buchi neri; Cosmologia; Inflazione; Materia oscura ed energia oscura; Analisi dei dati e simulazioni numeriche; Fenomenologia alla scala di Planck; Teorie della gravità. Stretta connessione con le ricerche delle CSN2, organizzazione di svariati workshop al centro GGI di Arcetri, organizzazione di conferenze internazionali e scuole, moltissime tesi di laurea e di dottorato.

f) TEORIA DEI CAMPI E MECCANICA STATISTICA

Metodi non-perturbativi in teorie di campo applicate a sistemi statistici; Biofisica quantitativa; Turbolenza; Sistemi disordinati e *spin glasses*; Reti neurali. Attività interdisciplinari in stretta connessione con biologi, chimici, ricercatori in medicina, ingegneri, anche per applicazioni tecnologiche, organizzazione di conferenze internazionali e scuole, moltissime tesi di laurea e di dottorato.

Nell'ambito di tali attività, la ricerca teorica in ambito INFN ha svolto, e certamente svolgerà nel futuro, un ruolo chiave, con contributi di grande rilievo, ampiamente riconosciuti a livello internazionale, come dimostrato dal grandissimo numero di citazioni e inviti a tenere i maggiori seminari di rassegna alle maggiori conferenze internazionali. Molto sviluppata è inoltre la collaborazione, e la pubblicazione di lavori congiunti, con ricercatori provenienti da prestigiosi istituti e laboratori di tutto il mondo, nonché lo scambio

di giovani ricercatori mediante l'assegnazione di borse di dottorato o post-dottorali, finanziate attraverso progetti italiani o europei, o finanziati direttamente da istituti di ricerca esteri. La produzione scientifica annua ammonta a circa 1200 lavori, pubblicati su riviste internazionali con *referee*.

La CSN4 rappresenta un organismo strategico per lo sviluppo della fisica teorica in Italia, con uno spettro di settori di interesse più ampio di quello di stretta competenza INFN. Questo ruolo è stato possibile grazie a un'attitudine culturale saggia e aperta e con il mantenimento di una stretta collaborazione col mondo accademico. Molti dei risultati più significativi sono il risultato di una fertilizzazione incrociata dell'INFN con le Università e con altri enti di ricerca italiani e stranieri.

HIGHLIGHT 2009

- Intenso ed importante lavoro teorico in preparazione ai dati di LHC, in particolare algoritmi generali per calcoli NLO di jets di QCD a LHC
- Studio teorico dei risultati di PAMELA e FERMI sui positroni sia dal punto di vista di eventuale rivelazione indiretta di materia oscura sia per quanto riguarda la caratterizzazione di incertezze astrofisiche
- Studio di diversi scenari di inflazione cosmologica e dei loro possibili test dall'osservazione della radiazione di fondo cosmica del satellite Planck.
- Interpretazione di segnali di violazione di CP nei decadimenti del mesone B in termini di nuova fisica alla scala elettrodebole.

Composizione

Alle attività di ricerca della CSN4 contribuiscono circa 1000

scienziati provenienti da tutte le sezioni dell'INFN e dai quattro laboratori nazionali.

La tabella 3.4 riassume la composizione del personale e le risorse finanziarie.

15th – Mar 26th)

> Dark Matter: its origin, nature and prospects for detection (Apr 26th – June 19th)

> AdS4/CFT3 and the Holographic States of Matter (Aug 30th – Nov 5th)

LINEA SCIENTIFICA CSN4

FTE INFN staff + art.23,15 (anno 2009)	101
FTE Associati staff (anno 2009)	422
Assegnisti, borsisti, dottorandi (anno 2009)	181
Totale risorse finanziarie spese 2007-2009 (M€)	8,1
di cui spese per investimenti (inv., c.a.) 2007-2009 (M€)	1,2



Tab. 3.4: Composizione, risorse finanziarie e investimenti per la CSN4.

Iniziative specifiche

La CSN4 si articola in 54 progetti di ricerca denominati "Iniziative Specifiche", che aggregano ricercatori di diverse sezioni per conseguire comuni finalità scientifiche. Le iniziative scientifiche, ripartite nei sei settori di ricerca, sono valutate ogni tre anni da *referee* esterni (nella quasi totalità stranieri, appartenenti a prestigiosi enti di ricerca) e le assegnazione dei fondi di ricerca dipendono dalla valutazione conseguita dalle iniziative. I settori di maggior investimento riguardano i settori di Stringhe e Teoria dei Campi, Fenomenologia delle Particelle e Fisica Astroparticellare e Cosmologia.

GALILEO GALILEI INSTITUTE (GGI)

Una delle iniziative di maggior successo della CSN4 è costituita dall'Istituto Galileo Galilei (GGI) di Arcetri. Il GGI si è conquistato una fama internazionale, e rappresenta già una solida tradizione, nell'organizzazione di workshop internazionali a cui hanno partecipato scienziati provenienti da tutto il mondo. I fondi necessari al funzionamento del centro, forniti a questo scopo dall'INFN, permettono di organizzare circa tre workshop l'anno, di durata variabile tra 8 e 12 settimane, oltre ad alcune scuole post-dottorali, miniworkshop e meeting di varia natura. Qualche esempio preso dal recente passato/prossimo futuro:

2009

- > New horizons for Modern Cosmology (Jan 19th – Mar 3th)
- > New perspectives in String Theory (Apr 4th – June 19th)
- > Searching for new physics at LHC (Aug 31st – Oct 10th)

2010

- > Indirect searches for new physics at the time of LHC (Feb

Fig. 3.15: L'Istituto Galileo Galilei (GGI) per la fisica teorica ad Arcetri (FI).

Training e altre attività educative

In ambito CSN4 vengono date circa 390 tesi universitarie per anno (circa 130 triennali, 190 specialistiche o magistrali, e 70 tesi di dottorato). Con propri fondi, la CSN4 finanzia alcune scuole nazionali e internazionali per studenti di dottorato e borsisti post-dottorali (Scuola di Parma, Scuola B. Touschek a Frascati, Scuola di Otranto, ICTP, Laces al GGI, Scuola congiunta CSN1-CSN4 su LHC), e visite scientifiche per 150 giornate-uomo al GGI e per 400 giornate-uomo all'ICTP. La CSN4 promuove attivamente lo scambio di ricercatori tramite una serie di convenzioni tra l'INFN e ITEP, JINR e IGEP (Russia), MEC (Spagna), MIT (USA).

3.6 LE RICERCHE TECNOLOGICHE E INTERDISCIPLINARI

L'attività descritta in questo paragrafo è coordinata dalla **Commissione Scientifica Nazionale V (CSN5)**. La descrizione dettagliata delle attività della CSN5 è disponibile al sito web: <http://www.infn.it/csn5/>

L'INFN, attraverso la Commissione Scientifica Nazionale 5 (CSN5), promuove e sviluppa la ricerca nel campo della fisica degli acceleratori, dei rivelatori di radiazione, dell'elettronica, dell'informatica e della fisica interdisciplinare. In quest'ambito il ruolo svolto dall'Istituto è praticamente unico a livello nazionale realizzando anche una funzione di guida e coordinamento fra ricercatori di differenti discipline (Nucleare, Particellare, Astroparticellare, Struttura della Materia, Ingegneria Elettronica e Informatica, Biologia, Medicina, Chimica), e rafforzando tra l'altro il raccordo dell'INFN con l'Università e gli altri enti nazionali di ricerca:

CNR, INAF, IIT (Istituto Italiano di Tecnologia), ASI, INAF.

Le nuove frontiere della ricerca sui rivelatori e l'elettronica associata seguono i grandi progetti sperimentali che impegnano l'INFN. Grande attenzione è rivolta ad esempio

interesse artistico, archeologico e storico, attraverso lo sviluppo e l'impiego di tecniche originali di misura nucleare. Anche in questi settori è molto intensa l'interazione con altre istituzioni di ricerca e con i principali enti preposti alla tutela dell'ambiente e del patrimonio.

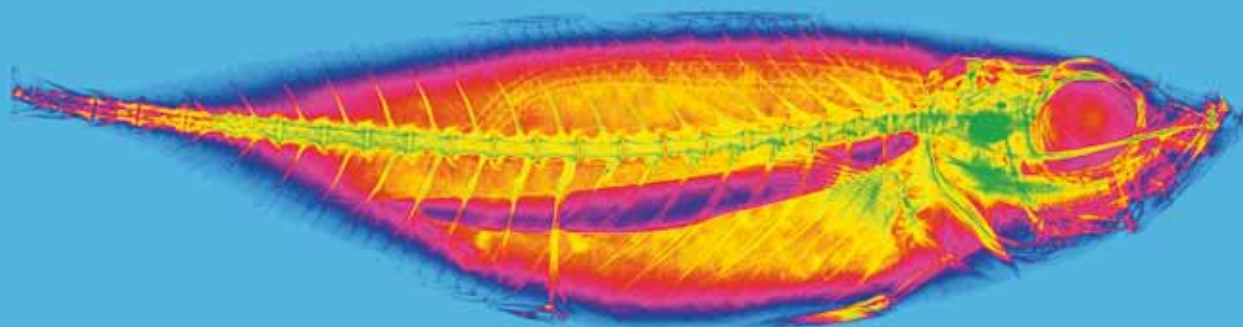


Fig. 3.16: Tomografia di un pesce ottenuta con una sorgente di luce di sincrotrone.

alla progettazione VLSI (*Very Large Scale Integration*) analogica e digitale, allo studio di nuovi processi costruttivi, all'analisi e sintesi di architetture digitali ad alte prestazioni per applicazioni di trigger, acquisizione dati e computing on-line. Tali attività, svolte nell'ambito delle grandi collaborazioni internazionali, già guardano alle richieste del dopo LHC (SLHC) e agli esperimenti della "fisica del sapore" di alta precisione da realizzarsi tra qualche anno in Italia o all'estero. Inoltre si pone grande attenzione allo sviluppo di nuovi e più avanzati sistemi di rivelazione di raggi X o gamma per radioastronomia su satellite e per esperimenti di fisica interdisciplinare basati sull'uso della radiazione elettromagnetica dal lontano infrarosso ai raggi X, e si sviluppano nuove tecniche dosimetriche basate su tecnologie nucleari.

Sul fronte delle ricerche interdisciplinari, molte delle applicazioni delle tecniche sviluppate dall'INFN sono di grande impatto socio-economico in vari settori. Si pensi ad esempio alle attività nel campo della biomedicina: l'imaging medico, la terapia del tumore (sviluppo di piani di trattamento in radioterapia con fasci di protoni e ioni), la dosimetria e lo studio dell'evoluzione cellulare, la modellistica neurologica. 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, Fondazioni ed Aziende Sanitarie nazionali e regionali.

Ma l'INFN, attraverso le attività promosse dalla CSN5, ha assunto una posizione di guida a livello nazionale anche nel campo delle indagini ambientali (in particolare per il controllo della qualità dell'aria), e in quello dell'analisi di reperti di

HIGHLIGHT 2009

- **XDXL, un esperimento per lo sviluppo di rivelatori al silicio di grande superficie (7x7 cm), ha ottenuto una risoluzione in energia che oggi rappresenta il migliore risultato a livello internazionale per rivelatori di queste dimensioni. Tali rivelatori presentano grande interesse anche nell'ambito delle attività legate ai futuri reattori per la produzione di energia nucleare (figure 3.16 e 3.17).**
- **BEATS ha ricostruito, primo al mondo, immagini di fantocci e di un insetto realizzate con un singolo impulso di raggi X prodotto da una sorgente Thomson, utilizzando la tecnica dell'Inline Phase Contrast Imaging.**
- **ERMES ha osservato ai LNGS variazioni anomale della concentrazione di Uranio in acqua associabili ai processi geodinamici dell'evento sismico aquilano. la prima evidenza sperimentale al mondo di tale fenomenologia.**
- **HELIOS ha migliorato le prestazioni delle sorgenti ECR (Electron Cyclotron Resonance) per la produzione di fasci di ioni pesanti ad alto stato di carica. Le metodologie utilizzate, applicate alla sorgente ECR del CNAO di Pavia, hanno consentito di migliorare di un fattore due la trasmissione dei fasci di carbonio nel Linac.**

Prospettive

Nei prossimi tre anni in particolare, in una prospettiva temporale comunque proiettata anche oltre il triennio, verrà posta particolare attenzione allo studio e allo sviluppo di

sistemi di rivelazione per i futuri esperimenti e dell'elettronica associata. Una linea di ricerca privilegiata sarà quella dei circuiti integrati tridimensionali. Lo sviluppo della tecnologia di integrazione verticale, sfruttando le potenzialità offerte dall'evoluzione delle tecnologie microelettroniche ad alta densità, potrà aprire la strada per la realizzazione di sistemi di tracciatura che superino le attuali limitazioni intrinseche dei sensori a pixel ibridi e dei MAPS (*Monolithic Active Pixel Sensors*) CMOS, e per sviluppare dimostratori di tracciatori sottili a pixel. Infatti i futuri esperimenti di fisica delle alte energie alla SuperB, a SLHC e ad ILC saranno caratterizzati da stringenti richieste per i sistemi di tracciatura che dovranno operare ad alto ritmo di conteggio con una minima quantità di materiale. Grande rilievo nella prossima decade si darà anche allo sviluppo di tecniche di trasmissione dati digitale ad alta velocità, di sensori, convertitori e strumentazione metrologica di interesse per la fisica fondamentale, applicata e interdisciplinare, e alla moderazione del danno da radiazione attraverso lo studio di nuovi processi e di appropriate tecniche di progetto.

Nel campo della fisica degli acceleratori si svilupperanno, nel medio termine, le linee di ricerca relative all'incremento della luminosità, alle tecniche innovative per massimizzare l'emittanza dei fasci, al miglioramento dell'accettanza delle strutture acceleranti e alla realizzazione di tecniche di accelerazione a plasmi. In quest'ultimo settore sono prevedibili risultati di una certa rilevanza scientifica ed applicativa anche nel campo della accelerazione di fasci di ioni e dello sviluppo di sorgenti di ioni ad alto stato di carica. Gli studi sulla produzione di fasci di raggi X monocromatici (ottenibili per scattering da pacchetti di elettroni e luce laser), da una parte promettono un innovativo imaging biomedico in vivo, dall'altra fanno nascere studi teorici sulla possibilità di emissione di raggi X coerenti, mediante processo FEL (*Free Electron Laser*), sia in regime quantistico che classico. Grazie alla tecnica dell'*Inverse Compton Scattering* (ICS) nella prossima decade sarà possibile realizzare sorgenti di raggi X quasi monocromatiche realizzate facendo collidere un fascio di elettroni ultraveloce - con impulsi dell'ordine dei picosecondi e di alta brillantezza - con impulsi laser di alta energia, con la possibilità di selezionare le energie dei raggi X e la risoluzione temporale in maniera estremamente accurata. Nella diagnostica medica questa disponibilità di sorgenti (quasi) monocromatiche, (parzialmente) coerenti, e di piccole dimensioni spaziali (decine di micrometri) permetterà l'utilizzo di tecniche innovative non possibili con le sorgenti convenzionali. A energie molto più elevate, sorgenti ICS saranno usate come primo stadio per la produzione di positroni polarizzati per collider lineari. Sorgenti basate

su ICS sono in costruzione o in fase di progetto in diversi laboratori. L'INFN, grazie al fascio di elettroni di SPARC e al laser del progetto PLASMONX, sta realizzando ai LNF una sorgente ICS di punta, con la quale saranno realizzati esperimenti di fisica interdisciplinare che la CSN5 intende sostenere nel prossimo triennio. Proseguirà nel medio termine l'attività di sviluppo di sistemi di accelerazione innovativi per applicazioni in campo medico anche in collaborazione con l'industria e/o con enti di ricerca di altri paesi europei.

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

Nel campo dell'adroterapia, oltre alle già citate attività di fisica degli acceleratori, cresceranno gli studi di modellistica e radiobiologia, che hanno inoltre ricadute anche sull'attività umana nello spazio. Argomenti portanti saranno in questo campo gli studi di radiobiologia, le misure di sezioni d'urto di frammentazione nucleare e le simulazioni connesse che permetteranno, nel campo della radioterapia, la realizzazione di piani di trattamento più mirati. È ipotizzabile che si concretizzino nel medio termine anche iniziative riguardanti la BNCT (*Boron Neutron Capture Therapy*) in conseguenza sia della costruzione di macchine dedicate che della realizzazione di sorgenti di neutroni non tradizionali. Queste attività saranno realizzate in sinergia con i progetti strategici INFN-MED e NTA.

Nel complesso, va sottolineato che la CSN5 possiede le conoscenze di base e le competenze specialistiche delle tecniche più avanzate per lo sviluppo di sensori e rivelatori di radiazione, nella costruzione di sofisticate macchine acceleratrici e nelle tecniche di simulazione e manipolazione di dati. È quindi in grado di operare in modo efficace il loro trasferimento al mondo della medicina, in particolare al campo dell'Imaging medico e della Radioterapia. Tuttavia, affinché questo trasferimento abbia successo, sia da un punto di vista scientifico che sociale, è necessario che l'Istituto nella prossima decade operi in stretta cooperazione e sinergia con la fisica medica operativa e con il mondo medico. Nel tracciare la prospettiva futura bisognerà programmare investimenti su tecniche e tecnologie consolidate da trasferire al mondo industriale, che a sua volta le sviluppi nei suoi aspetti di affidabilità e riproducibilità per l'utilizzo operativo in campo medico. In una prospettiva di più lungo termine, sarà altresì necessario investire su nuove idee che seppure ora alla frontiera della conoscenza potranno, se ben indirizzate e coordinate, portare nel futuro a sviluppi strategici nella prevenzione, diagnosi e terapia. In particolare,

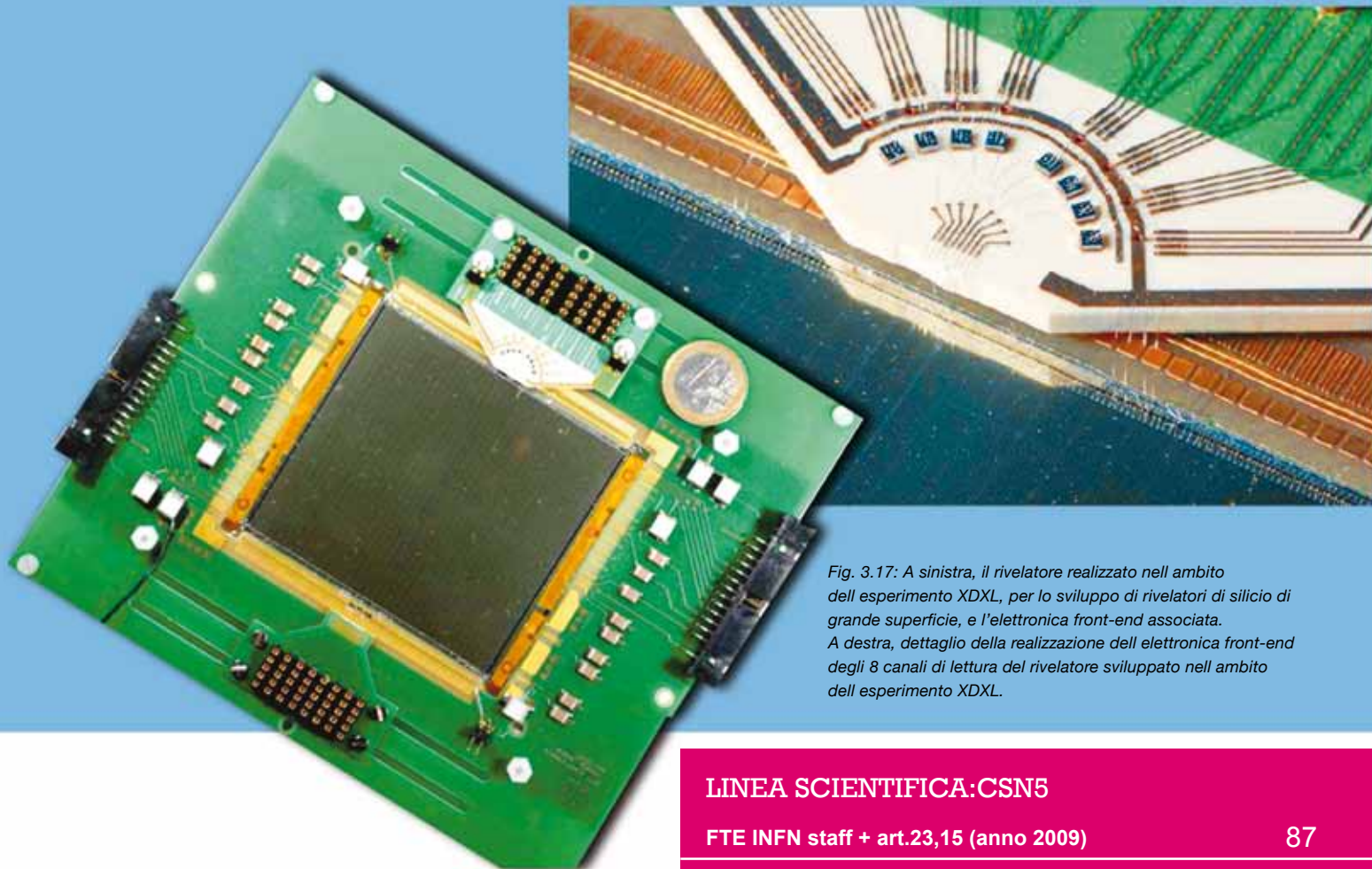


Fig. 3.17: A sinistra, il rivelatore realizzato nell'ambito dell'esperimento XDXL, per lo sviluppo di rivelatori di silicio di grande superficie, e l'elettronica front-end associata. A destra, dettaglio della realizzazione dell'elettronica front-end degli 8 canali di lettura del rivelatore sviluppato nell'ambito dell'esperimento XDXL.

attraverso la CSN5 e i progetti speciali e strategici ad essa connessi, saranno la lotta contro il cancro ed il trattamento delle malattie degenerative del sistema nervoso.

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

LINEA SCIENTIFICA:CSN5

FTE INFN staff + art.23,15 (anno 2009)	87
FTE Associati staff (anno 2009)	321
Assegnisti, borsisti, dottorandi (anno 2009)	194
Totale risorse finanziarie spese 2007-2009 (M€)	14,6
di cui spese per investimenti (inv., c.a.) 2007-2009 (M€)	4,5

Tab. 3.5: Composizione, risorse finanziarie e investimenti per la CSN5.

Il panorama di sviluppo mostrato ben evidenzia la vitalità della comunità dei ricercatori INFN nel campo delle ricerche tecnologiche e interdisciplinari, l'elevato impatto di questa ricerca sulla fisica particellare, astroparticellare e nucleare e le ricadute in altri settori scientifici e della società. Tale attività richiede sicuramente nei prossimi anni un incremento della quota di finanziamento destinata alla CSN5 di almeno il 20% rispetto a quella attuale, e la crescita del numero di ricercatori dedicati a questi esperimenti seppure a tempo parziale. Inoltre la CSN5 si propone come incubatore privilegiato per lo sviluppo di programmi di ricerca da svolgere in collaborazione sia con l'industria italiana ed europea sia con l'Università e con altri Enti di ricerca, con strutture sanitarie di respiro nazionale e regionale, con i Ministeri della Salute e dell'Ambiente e dei Beni Culturali e più in generale con tutte le istituzioni che possono trarre giovamento dall'applicazione delle tecnologie proprie del nostro ente. La CSN5 darà il suo supporto allo sviluppo dei progetti speciali e strategici dell'INFN. In particolare si

porrà grande attenzione ai programmi di ricerca collegati ai progetti speciali Super-B, SPARC e SPES ed alle sinergie con INFN-MED ed NTA.

La tabella 3.5 riassume la composizione del personale e le risorse finanziarie.

3.7 IL CALCOLO E LE RETI

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

Attività 2009

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.

Nel 2009 è stato portato a termine l'intervento più importante mai intrapreso, ovvero la realizzazione della nuova sala calcolo del centro CNAF-INFN di Bologna. La sala si estende su una area di circa 1000 m² ed è in grado di ospitare attrezzature di calcolo disposte su oltre un centinaio di armadi, per una potenza dissipata complessiva di 1.4 MW, garantendone il funzionamento continuo in modalità 24x7, anche in condizioni di mancanza prolungata di energia elettrica.

L'infrastruttura consente di soddisfare le prevedibili esigenze di crescita del centro per i prossimi dieci anni mettendolo in grado di svolgere per l'INFN il ruolo centrale di sede per le elaborazioni primarie di dati scientifici e di archivio permanente dei dati a servizio di tutto l'Ente.

Particolarmente significativa è stata anche la realizzazione nel 2009 della nuova sala calcolo presso il Dipartimento di Fisica dell'Università di Bari, progettata per alloggiare fino a 18 armadi contenenti nodi di calcolo e già ora sfruttabile per utenze informatiche fino a circa 200 kW. L'intervento a Bari è emblematico di una tendenza generale al consolidamento delle infrastrutture di calcolo presenti nelle sedi dell'INFN, perseguita negli ultimi anni dall'Ente con il supporto della Commissione Calcolo e Reti. A Bari sono state infatti collocate nella nuova sala appena realizzata macchine che erano precedentemente dislocate in varie aree del Dipartimento. Inoltre sono state integrate in un'unica struttura tutte le risorse computazionali presenti in sede per ottenere una semplificazione della gestione e

una riduzione del manpower richiesto. Ciò ha comportato un intenso e delicato lavoro di ottimizzazione per riuscire a soddisfare le esigenze spesso contrastanti di tutti gli utenti. Il consolidamento operato a livello fisico, logico e operativo a Bari è l'ultimo esempio di quanto avvenuto anche in altre sedi in linea con la strategia generale dell'INFN tesa ad ottenere:

1. 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;

2. 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;

3. l'ottimizzazione dell'impiego del personale.

Con gli ultimi interventi effettuati nel 2009, l'INFN dispone oggi di un insieme unico in Italia di centri dedicati al calcolo scientifico. Esso è costituito, oltre che dal CNAF, da una dozzina di installazioni particolarmente rilevanti, collocate presso i Laboratori Nazionali e le Sezioni.

È importante sottolineare come, in riferimento a tutto il ciclo di vita delle infrastrutture di calcolo, l'INFN abbia cercato negli ultimi anni di creare uno stretto livello di coordinamento nazionale delle attività legate al calcolo. Ciò pur garantendo l'autonoma azione delle sedi che, giovandosi dell'iniziativa del proprio personale, possono riuscire a cogliere le opportunità di sinergie con altre istituzioni e finanziatori locali come, ad esempio, le Università, i centri di ricerca e gli enti locali. Un caso esemplare di sinergia è costituito dai centri di supercalcolo realizzati al Sud presso Università e Consorzi regionali (Napoli, Catania e Cagliari) nell'ambito del PON Ricerca 2000-2006.

La Commissione Calcolo e Reti dell'INFN è il principale strumento di cui si serve l'INFN per realizzare tale coordinamento che si realizza sia attraverso il vaglio delle richieste di finanziamento per gli apparati destinati ai servizi centrali di ciascuna sede, sia attraverso promozione di attività e progetti specifici.

Nel 2009 la Commissione ha proposto finanziamenti per il potenziamento delle infrastrutture dei siti INFN sulla base delle seguenti priorità:

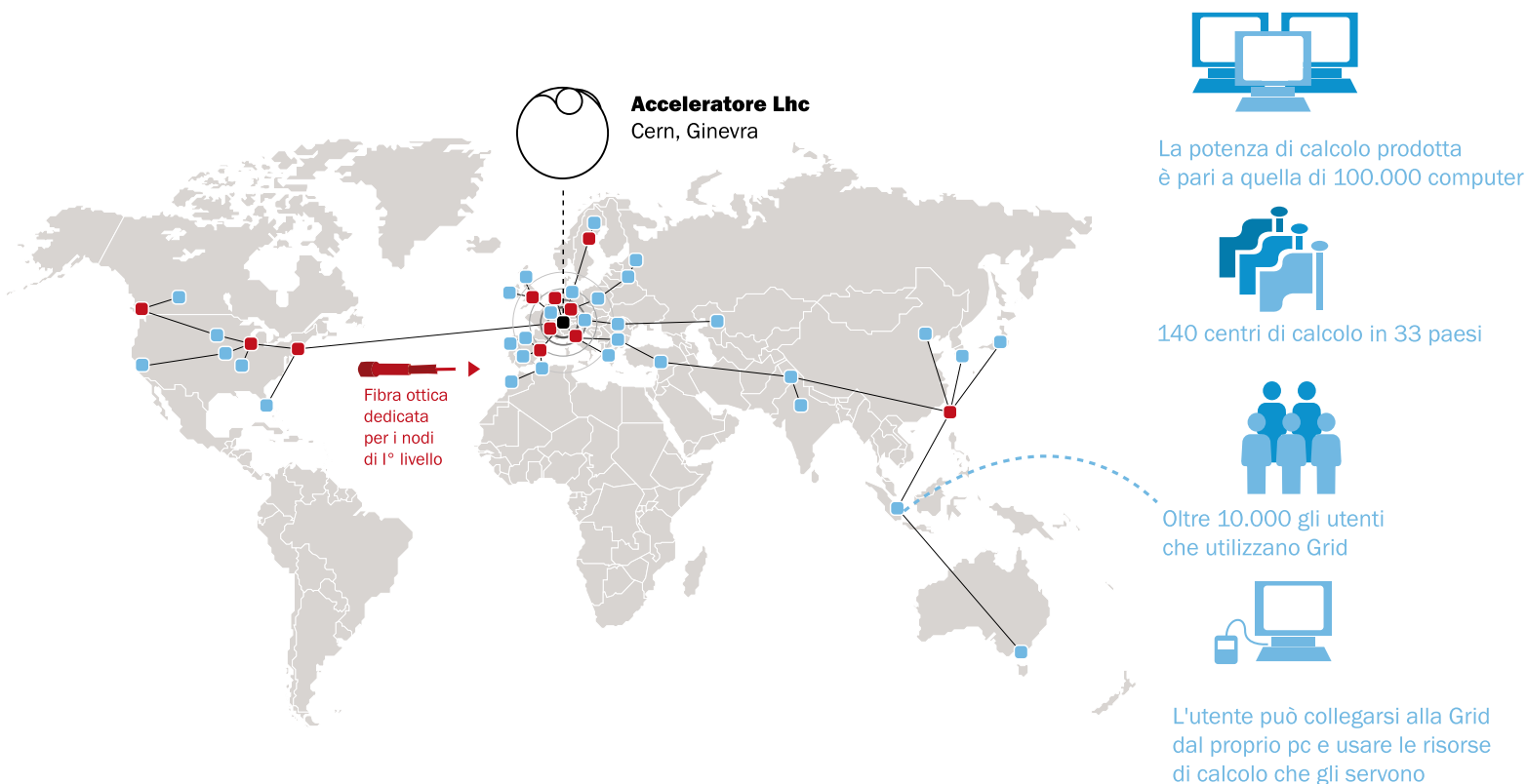


Fig. 3.18: La rete planetaria GRID unisce e utilizza contemporaneamente la potenza di calcolo e la memoria di decine di migliaia di computer.

1. favorire la costituzione di infrastrutture nazionali e di soluzioni esportabili;
2. implementare soluzioni che portino ad un migliore impiego del personale dei servizi;
3. perseguire una razionalizzazione dell'utilizzo delle macchine utilizzate per i servizi centrali;
4. consolidare le risorse di calcolo delle unit operative in un ottica di infrastruttura condivisa.

Fra le nuove iniziative intraprese nel 2009, vi è stata la creazione di un sistema ridonato di server per la gestione di licenze software su base nazionale, che ha permesso di estendere l'ambito dei contratti nazionali ad applicativi utilizzati in molte sedi per la progettazione elettronica e meccanica, realizzando significativi risparmi economici e gestionali.

Da rilevare anche il consolidamento del 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.

Infine, nel 2009 il piano per la formazione del personale in campo informatico, strumento recentemente introdotto dalla CCR per coordinare le iniziative promosse a livello nazionale, è stato in larga misura realizzato (13 corsi sui 17 previsti). Ha compreso attività formative rispondenti alle esigenze sia dei gruppi di ricerca, che del personale dei servizi e degli utenti dei servizi informatici, attraverso varie tipologie di corsi fra cui una nuova Scuola Internazionale dedicata allo sviluppo di applicazioni scientifiche su larga scala.

Prospettive

La sfida principale che il sistema di calcolo distribuito dell'INFN dovrà affrontare nei prossimi anni, sarà rappresentata dalla prevista rapida crescita delle attività di elaborazione ed analisi dei dati prodotti dai quattro esperimenti a LHC. Ormai terminata la fase di adeguamento degli impianti tecnologici, i centri INFN coinvolti dovranno aumentare considerevolmente le proprie capacità e fornire agli esperimenti servizi operanti in condizioni di funzionamento a regime. Ciò dovrà avvenire garantendo la piena disponibilità delle risorse anche per altre attività sperimentali e teoriche che, in alcuni casi, già ora dispongono di grandi moli di dati o li stanno velocemente accumulando.

Adeguamento della rete

Come evidenziato da studi e proiezioni messi a disposizione su iniziativa della CCR già da qualche anno, la crescita delle esigenze di calcolo scientifico dell'INFN richiede, in particolare per la sperimentazione al LHC, un rapido adeguamento della rete della ricerca italiana GARR ai moderni standard tecnologici già adottati da altre analoghe reti in Europa e negli Stati Uniti.

Il progetto di nuova rete GARR-X, basata sul noleggio di fibre spente e la gestione di apparati trasmissivi proprietari, risponde a tali esigenze e dovrebbe essere gradualmente realizzato a partire dalla fine del 2010. Per l'INFN è prioritario poter trarne da subito il massimo vantaggio, per cui sono già state individuate le risorse finanziarie necessarie per l'ammodernamento degli apparati di connessione alla rete

geografica che interesserà nel 2010 i centri Tier2 per LHC e successivamente tutti i rimanenti siti in funzione delle relative necessità.

Oltre a permettere i trasferimenti di dati a velocità dell'ordine di 10 Gbps, la rete GARR-X permetterà anche di sviluppare più elevati livelli di integrazione fra i siti INFN. Un esempio in questo senso di applicazione già da ora funzionante è il collegamento a 10 Gbps realizzato dall'INFN fra i nodi di calcolo residenti presso la Sezione di Padova e il sistema di storage ospitato presso i Laboratori Nazionali di Legnaro.

Nuovo cluster per la fisica teorica

Per sopperire alle necessità di calcolo della fisica teorica in varie linee di ricerca, che riguardano interazioni fondamentali, astrofisica teorica, meccanica statistica, fluidodinamica turbolenta, sorgenti di onde gravitazionali, ecc., e che richiedono oggi la disponibilità di risorse di calcolo dell'ordine di alcuni Teraflops, verrà realizzato nel 2010 e successivamente potenziato un nuovo cluster per il calcolo parallelo, basato sull'impiego di processori commodity interconnessi attraverso una rete di comunicazione a bassa latenza (Infiniband). La collocazione del cluster in uno dei centri INFN recentemente realizzati per LHC, permetterà di sfruttare in modo sinergico le esperienze già acquisite in tali sedi nella gestione di grandi sistemi di calcolo e nell'utilizzo dei servizi forniti dall'infrastruttura Grid INFN.

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:

1. dispiegamento del sistema di autenticazione e autorizzazione nazionale (progetto AAI) che permetterà non solo di accedere ai servizi e alle risorse di calcolo dell'INFN con un'unica credenziale, ma anche di integrarsi con analoghi sistemi di altre istituzioni nazionali e internazionali; l'adozione graduale di tale infrastruttura consentirà un'interazione più efficiente degli utenti con i servizi, una semplificazione nella gestione degli stessi e benefici significativi sul fronte della sicurezza;
2. 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;
3. 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;

4. 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;
5. 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.

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-MED (Applicazioni alla Medicina)
- INFN-E (Applicazioni all'Energia)
- NTA (Nuove Tecniche di Accelerazione)

E i progetti speciali:

- APE
- SPARC
- SPES
- INFN-GRID
- SuperB-TDR
- ELN

PROGETTO STRATEGICO INFN-MED

Descrizione generale del progetto e attività svolte nel 2009

L'applicazione del patrimonio scientifico e tecnologico dell'INFN alla medicina è uno dei settori applicativi nel quale l'Ente è tradizionalmente impegnato. In questo campo l'INFN vanta ormai una notevole esperienza maturata da almeno un ventennio. Con questa premessa nel 2009 è stato avviato il progetto strategico INFN-MED, che mira a coordinare e promuovere le attività di interesse medico che, giunte ad uno stadio maturo di R&S, possono puntare a realizzare, in cooperazione con soggetti esterni (le istituzioni cliniche e le industrie del settore), prodotti innovativi pienamente utilizzabili in ambito clinico.

Gli obiettivi del progetto sono:

a) valorizzare maggiormente in senso applicativo (mirando all'interazione diretta con l'utilizzatore o il produttore dell'applicazione finale) le attività *tecnico-scientifiche* di interesse medico condotte dall'Istituto nell'assolvimento dei propri compiti istituzionali;

b) mantenere e rafforzare la *leadership* dell'INFN a livello internazionale in attività di ricerca che necessitano di sviluppi tecnologici mirati e che, per dimensione e programmazione temporale, richiedono una concentrazione di sforzi organizzativi e finanziari. Si pensi ad esempio tutto il settore connesso all'adroterapia.

c) offrire, soprattutto nei confronti di privati, enti, utenti e collaboratori esterni, una struttura di riferimento unica all'interno dell'INFN per il settore medico applicativo in grado di mettere a punto convenzioni ed accordi operativi.

INFN-MED prende in considerazione le attività che derivano dai programmi di ricerca e sviluppo, soprattutto di carattere interdisciplinare condotti nell'INFN. Sulla base dell'esperienza acquisita, la Giunta Esecutiva dell'INFN ha inizialmente identificato per INFN-MED le seguenti aree di interesse:

1. **Trattamento di immagini.**
2. **Sviluppo di piani di trattamento innovativi per adroterapia.**
3. **Macchine Acceleratrici per adroterapia.**
4. **BNCT (*Boron Neutron Capture Therapy*).**
5. **Rivelatori per la diagnostica medica.**

Il referaggio scientifico delle attività affidate ad INFN-MED è prerogativa delle Commissioni Scientifiche Nazionali di riferimento, in particolare la 3a (fisica del nucleo) e la 5a (ricerca tecnologica ed interdisciplinare). Sarà compito di tali Commissioni indicare nel futuro quali attività, nate al loro interno, avranno raggiunto il grado di maturazione di R&S tale da chiedere a INFN-MED di proseguire sulla linea dell'applicazione.

INFN-MED ha a disposizione un budget annuale da utilizzare per fornire un supporto di avvio per i progetti considerati maturi, avviandoli, in genere, verso la definizione di un finanziamento esterno all'INFN tenendo conto di tutti i relativi accordi e convenzioni che possono rivelarsi necessari. A tale proposito si vuole evidenziare che la prospettiva concreta di un finanziamento esterno, a breve termine, deve essere



Fig. 3.19: Scheda del supercomputer APE: le unit di calcolo che operano in parallelo ne garantiscono le alte prestazioni.

condizione che contraddistingue i progetti sotto il controllo di INFN-MED. Infatti questo è garanzia dell'esistenza di un interesse reale di utilizzo o di realizzazione a livello di prodotto industriale destinato al mercato e alla successiva pratica clinica.

La gestione del Progetto è affidata ad un Coordinatore Nazionale, che si avvale di un Comitato di Progetto costituito di norma dai Responsabili dei Sottoprogetti. Il monitoraggio del Progetto è affidato alla Giunta Esecutiva che si avvale di un Comitato di Referees, nominato dal Presidente, sentiti i Presidenti delle CSN di riferimento. Periodicamente la Giunta Esecutiva riferisce al Consiglio Direttivo sullo stato del Progetto. Periodicamente il Consiglio Direttivo aggiorna gli obiettivi del Progetto.

Per ogni sottoprogetto il Comitato di Progetto ha il compito di analizzare e monitorare:

- a. **Gli obiettivi ed i prodotti**
- b. **Le risorse umane e finanziarie**
- c. **Il piano temporale e le milestones**
- d. **I finanziamenti esterni e/o la potenzialità di attrarre finanziamenti esterni.**

Per ognuno dei sottoprogetti di INFN-MED sono state avviate alcune linee operative che possono essere riassunte nel modo seguente:

1. **Imaging:** è iniziata la ricerca di un partner industriale interessato al trasferimento di software di post-elaborazione immagini a scopo diagnostico, con particolare attenzione al settore dell'analisi delle tomografie polmonari (ricerca automatica di noduli), sulla base di quanto sviluppato dalla collaborazione MAGIC-5.

2. **Sviluppo di piani di trattamento:** ha preso il via l'attività denominata TPS per la realizzazione di piani di trattamento innovativi per la terapia con ioni carbonio. Tale iniziativa è

stata anche posta al vaglio del Comitato di Coordinamento Scientifico che l'INFN ha voluto sperimentare nel 2009, ricavandone una valutazione positiva. Per quanto riguarda TPS, INFN-MED cura il rapporto con la società IBA (ed altre consociate), con la quale è stato siglato un rapporto di collaborazione volto a realizzare un prodotto commerciale innovativo. L'INFN ottiene da questo accordo finanziamento di personale e *royalties* sul prodotto.

3. Macchine acceleratrici: INFN-MED ha assicurato il completamento del progetto SCENT per la progettazione di un ciclotrone innovativo per applicazioni di adroterapia con ioni e sta sostenendo un progetto, denominato MISHA, per la realizzazione di una nuova sorgente di ioni per il sincrotrone del CNAO (Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica) a Pavia. Questa sorgente si basa sull'esperienza maturata in questo settore presso i Laboratori Nazionali del Sud. La realizzazione effettiva di MISHA è legata al reperimento di un finanziamento esterno integrativo a quello ordinario di CNAO e INFN.

4. BNCT: in questo settore il Coordinamento di INFN-MED ha collaborato con la Commissione Nazionale 5 per avviare uno studio più approfondito sulle possibilità di realizzare centri di ricerca e cura presso strutture INFN dove sia realizzabile una sorgente di neutroni ad alta intensità (per esempio nell'ambito del progetto SPES ai Laboratori di Legnaro). A questo scopo INFN-MED ha contribuito alla realizzazione di uno specifico workshop dell'INFN.

5. Rivelatori per la diagnostica: il Progetto Strategico segue l'attività volta alla certificazione di un rivelatore magnetico non invasivo (sussettometro) e innovativo per la diagnostica delle patologie caratterizzate dal sovraccarico di ferro nel corpo umano, sviluppato presso la Sezione di Genova e utilizzato dal Centro di Microcitomia dell'Ospedale Galliera di Genova, con il quale l'INFN ha stabilito una convenzione. Inoltre, il Progetto segue con attenzione anche la creazione di uno spin-off dell'Università di Torino per la progettazione e la produzione di rivelatori di particelle, sviluppati all'interno di progetti INFN, da usare come monitor di fascio nei centri di adroterapia.

Strutture INFN e altre istituzioni partecipanti

Le strutture inizialmente coinvolte in modo diretto su progetti di interesse INFN-MED sono le seguenti sezioni e laboratori INFN: Catania, Genova, Milano, Napoli, Pavia, Roma Tor Vergata, Roma Tre, Pisa, Torino, LNF, LNL, LNS. Sono in corso contatti con l'Istituto Superiore di Sanità, tramite il gruppo collegato di Roma. Esternamente all'INFN concorrono l'Ospedale Galliera di Genova, il

CNAO, l'Università di Torino (spin-off per monitor di fasci in adroterapia) e la IBA.

Sorgenti di finanziamento e ammontare

INFN-MED gode di un finanziamento INFN da destinare all'avvio dei progetti. Nel 2009 questo è stato pari a 200 kEuro. Per quanto riguarda i finanziamenti esterni:

- l'attività in convenzione con l'ospedale Galliera a Genova viene assicurata, fino al completamento dell'attività di certificazione del prototipo, un finanziamento pari a 100 kEuro da parte dell'Associazione Ligure Talassemici.
- Per l'attività sui Piani di Trattamento per l'adroterapia con ioni carbonio, è stato stabilito un finanziamento da parte della IBA, in 3 anni, pari a 675 kEuro da destinare a posizioni post-doc dedicate.

HIGHLIGHT 2009

Tra le attività sotto il controllo di INFN-MED, il fatto più rilevante nel 2009 è stato l'avvio del progetto TPS e del relativo accordo di collaborazione con la IBA. Questa attività rappresenta una vera e propria sfida sia in termini scientifici che di mercato. Infatti si propone di produrre un software in grado di competere in un settore che al momento è governato dal monopolio di un'unica ditta europea. Il progetto, a cui partecipano 18 ricercatori equivalenti dell'INFN, ha una durata triennale e si caratterizza per l'alto grado di interdisciplinarietà, coinvolgendo diversi settori di competenza dell'INFN: calcolo, fisica nucleare e radiobiologia. Nell'ambito di questo progetto è scaturita anche la partecipazione a livello internazionale europeo ad una campagna di misure di fisica nucleare (esperimento FIRST al GSI) dedicato alla produzione di dati di sezione d'urto necessari per l'adroterapia.

Prospettive a medio termine

Per tutti i sottoprogetti di INFN-MED sono previste evoluzioni pluriennali delle attività già avviate, ma sono sicuramente possibili anche nuovi sviluppi. Per esempio: nell'ambito dell'imaging medicale potrebbero emergere sviluppi interessanti per analisi di risonanze magnetiche della testa, allo scopo di ottenere una diagnosi precoce della malattia di Alzheimer. Questi stessi gruppi di ricerca hanno implementato prototipi di software che potrebbero in linea di principio costituire un prodotto di interesse industriale, come ad esempio le applicazioni basate su Web Services per l'implementazione di protocolli di *trials* clinici distribuiti.

Dal punto di vista delle macchine acceleratrici molto dipende dall'evoluzione delle scelte che saranno effettuate per i nuovi possibili centri di adroterapia. È possibile in particolare la realizzazione di nuovi progetti che scaturiscono dall'esperienza del progetto SCENT. A tale scopo si sta discutendo di un possibile progetto in collaborazione con la IBA per un ciclotrone da 400 MeV. Sarà comunque importante assicurare l'impegno per la realizzazione del progetto MISHA. In questo caso sarà di cruciale importanza coordinare insieme al CNAO il rapporto con enti terzi per il reperimento del finanziamento (per esempio fondi regionali).



Fig. 3.20: Sorgente di SPES, il progetto per la produzione di radionuclidi innovativi ai Laboratori Nazionali di Legnaro

Per quanto riguarda l'attività sui piani di trattamento, il progetto TPS è comunque approvato dall'INFN per altri due anni. Tuttavia, soprattutto in caso di successo del prodotto rilasciato, occorrerà definire in prospettiva il possibile interessamento INFN per attività di supporto tecnico e mantenimento del prodotto.

Dal punto di vista della BNCT i prossimi anni saranno fondamentali per arrivare a delle decisioni. In particolare, i gruppi coinvolti dovranno gettare le basi per una forte compartecipazione, sia a livello scientifico che finanziario, di una o più istituzioni mediche per la realizzazione di un centro operativo. Comunque va approfondita l'analisi scientifica di alcuni aspetti basilari per affermare in campo clinico la possibilità dell'introduzione della BNCT. Uno di questi aspetti è la misura della distribuzione spaziale della concentrazione del boro in vivo e direttamente nei pazienti (prima del trattamento BNCT), passo essenziale per il calcolo della dose al tumore e ai tessuti sani e per l'ottimizzazione del piano di trattamento. Significativi miglioramenti alla

BNCT possono inoltre derivare dalle competenze INFN nella microdosimetria e dosimetria neutronica. Altri aspetti, come quello dello sviluppo dei farmaci borati opportuni, sono sotto la responsabilità primaria di altre istituzioni.

Per quanto riguarda i rivelatori per la diagnostica, ci sono interessanti prospettive di applicazione industriale in diverse attività. Fra queste citiamo ad esempio lo sviluppo di una sonda che realizza contemporaneamente funzioni ecografiche e scintigrafiche, basata sull'uso di cristalli bromuro di lantanio, sviluppata dall'esperimento ECORAD.

Prospettive a lungo termine

Più in generale, INFN-MED si trova di fronte a sfide di ampia portata che vanno oltre la delimitazione semplificativa degli attuali sottoprogetti. Per esempio sarà compito di INFN-MED anche quello di stabilire una rete di rapporti con diversi enti e istituzioni che operano nel settore dello sviluppo tecnologico-scientifico per la medicina allo scopo di estendere maggiormente la portata dei progetti INFN.

Sicuramente il settore dell'adroterapia in generale rappresenta uno dei principali interessi strategici per l'ente. In questo quadro INFN-MED può essere il canale privilegiato attraverso il quale passano i rapporti fra l'INFN e il CNAO. Il 2010 vedrà il completamento del commissioning del sincrotrone e l'inizio di nuove attività di sperimentazione nella quale l'INFN ha lo spazio per contribuire in modo da valorizzare ulteriormente lo sviluppo di prodotti che nascono dal suo patrimonio tecnico-scientifico. Il CNAO è per esempio indicato come una sede per la sperimentazione del nuovo piano di trattamento sviluppato dal gruppo TPS, ma sono comunque molteplici gli esempi di *know-how* dell'INFN, attualmente allo stadio di R&S, che sono considerati promettenti per una fase successiva di sviluppo.

Altre opportunità suscettibili di trasferimento tecnologico verso l'esterno nella sfera d'interesse di INFN-MED potrebbero arrivare dai risultati ottenuti nell'ambito della ricerca su nuove tecniche di accelerazione, quali le nuove sorgenti modulabili di raggi X. È poi da esplorare il possibile interesse industriale sul tema della produzione di radionuclidi innovativi, opportunità offerta in linea di principio dall'operazione del nuovo ciclotrone da 70 MeV che sarà acquisito per il progetto SPES ai Laboratori Nazionali di Legnaro.

Prospettive a medio e lungo termine

Come già rimarcato nell'introduzione, INFN-MED non deve finanziare i progetti sotto il suo controllo, ma solo assicurare,

quando serve, il sostegno per l'avvio dei contatti con soggetti esterni. Questi dovranno mostrare esplicitamente il loro interesse offrendo il finanziamento adeguato. L'esposizione in prima persona dei soggetti interessati è garanzia per il successo di un progetto applicativo. A questo proposito si sottolinea l'importanza di creare un database dinamico e aggiornabile delle imprese e/o delle istituzioni cliniche con le quali esistono, in atto o in potenza, prospettive di collaborazione per la valorizzazione di un prodotto INFN.

Dal punto di vista del personale, INFN-MED non intende promuovere attività che richiedano nuove risorse da parte dell'Ente. Al contrario è interesse di INFN-MED stimolare la creazione di nuove opportunità d'impiego presso soggetti esterni per i giovani ricercatori che si formano attraverso le attività applicative di interesse medico promosse dall'ente. Anche per questo il coordinamento del progetto è interessato alla prossima definizione di due aspetti cruciali:

- **una adeguata regolamentazione per la creazione di spin-off derivanti dai progetti INFN e/o dalle competenze sviluppate nel loro ambito.**
- **regolamentazione della protezione della proprietà intellettuale derivante dalle attività INFN.**

PROGETTO STRATEGICO INFN-ENERGIA

L'INFN ha attivato fin dal 2006 una serie di iniziative volte al rilancio delle ricerche sulla Energia Nucleare, quali la convenzione con l'Ansaldo Nucleare per gli studi sulla fissione e la partecipazione con CNR ed ENEA al Consorzio RFX per gli studi sulla fusione, oggi unificate nel Progetto Strategico INFN/Energia. La gestione del programma è affidata a un Coordinatore che si avvale di un Comitato di Progetto costituito da responsabili dei singoli sottoprogetti. L'inclusione di nuovi sottoprogetti avviene su proposta della Giunta Esecutiva o di una delle CSN, per un periodo non superiore a tre anni, fino alla presentazione di uno studio di fattibilità o alla costruzione di un prototipo.

Per quanto riguarda la **Fissione Nucleare**, le attività in corso si articolano su diverse linee programmatiche:

a) Trasferimento tecnologico: l'applicazione cioè di nuove tecnologie, sviluppate dall'Istituto nel corso delle ricerche di base, a problematiche tipiche dei programmi sulla Energia Nucleare. Fanno parte di questa linea:

- Tre progetti per il controllo della contaminazione ambientale e delle fughe di radiazioni nei depositi

di scorie radioattive. Tra questi hanno già ottenuto interessanti risultati la proposta (DNMR) di una rete di fibre scintillanti per la segnalazione di fughe da fusti contenitori di sostanze radioattive nei depositi (LNS/Sez. Mi) e lo sviluppo (SPECTX) di nuovi rivelatori *silicon drift* per il monitoraggio ad elevata risoluzione e angolo solido di raggi X (Sez. Ts);

- Due progetti per la rivelazione non invasiva di eventuali sorgenti radioattive e materiali strategici nei containers ai porti e ai varchi. I due prototipi, realizzati con tecnologie diverse quali la tomografia con muoni cosmici mediante camere RPC (Sez. Pd) o la rivelazione diretta di γ o neutroni con scintillatori a grande area caricati al gadolinio (Sez. Ge) stanno ambedue raggiungendo una fase avanzata di costruzione e test;
- Un progetto di nuovi rivelatori per il monitoraggio esterno della potenza e del burn up nei reattori di potenza tramite la rivelazione dei flussi di antineutrini emessi dal nocciolo. Un primo prototipo è già stato costruito (Sez. Ge) e testato presso i reattori di Cernavoda (RO) per la misura dei fondi.

Tutti questi progetti erano stati approvati nell'ambito di Convenzioni dell'Ente con industrie nazionali quali Ansaldo o Gilardoni che ancora ne seguono realizzazioni e sviluppi. È inoltre in itinere una Convenzione tra il JRC (*Joint Research Centre*) e l'INFN che ratificherà, tra l'altro, una collaborazione in atto tra INFN/E e l'*Institute for civil security* del JRC a Ispra su quella parte del programma che riguarda l'uso di tecniche nucleari per problemi di sicurezza civile.

b) Attività formative: INFN/E ha organizzato assieme ad Ansaldo Nucleare e alle Università di Genova e del Consorzio CIRTEEN, un Master a Genova su "Scienza e Tecnologia degli impianti nucleari" attivato dal Novembre 2009 per la durata di un anno con finanziamento della Regione Liguria. È prevedibile che iniziative di questo tipo potranno, in concomitanza con l'annunciato rilancio nell'utilizzo dei reattori nucleari in Italia, rappresentare anche in futuro un impegno rilevante per l'Ente e in particolare per INFN/E.

c) Studio di un Centro di formazione e ricerca: pensato sia per l'addestramento di giovani ingegneri, fisici e tecnici e la promozione culturale nel settore (masters, stages, dottorati, ecc.) in collaborazione con Università e Industria che per lo sviluppo della ricerca sui reattori veloci di nuova generazione. Tale Centro dovrà essere attrezzato con infrastrutture adeguate, cioè da un lato di reale attualità scientifica, dall'altro di massima sicurezza e sostenibilità. La proposta di INFN/E, attualmente allo studio

in collaborazione con Ansaldo Nucleare, di un generatore di neutroni di bassa potenza (< 1 MW) tramite un piccolo reattore veloce al piombo del tipo ADS, cioè sottocritico e controllato da un fascio di protoni di qualche decina di kW, potrà soddisfare ambedue le esigenze. Il recente acquisto da parte dei Laboratori Nazionali di Legnaro di un ciclotrone per fasci di protoni da 70 MeV e 50 kW potrebbe fare di questo laboratorio, già impegnato nella ricerca sulla Fusione Nucleare, un valido candidato per la sede del Centro.

d) Fisica del reattore: consiste nel rilancio, nell'ambito delle attività di Fisica teorica dell'Istituto, delle ricerche sulla Fisica dei neutroni e sulle teorie di trasporto, sia coagulando le pochissime competenze rimaste nel settore, sia contribuendo a 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, partito per ora presso la sezione di Genova in collaborazione col Politecnico di Torino, sullo studio del comportamento dinamico e cinetico dei reattori di nuova generazione, fornirà elementi importanti per il disegno dell'ADS.

Per quanto riguarda la **Fusione Nucleare** le attività in corso si articolano su due linee programmatiche distinte e complementari:

ITER: il contributo dell'INFN a ITER consiste essenzialmente nel progetto e nella costruzione, nell'ambito del Consorzio RFX con ENEA, CNR e Università di Padova, di una test facility per il sistema di Iniezione a Atomi Neutri (**NBI**), che costituirà uno dei principali metodi di riscaldamento ausiliare del plasma e verrà realizzato dal Consorzio presso il centro di ricerca CNR di Padova. Il 2009 si è concluso con l'approvazione definitiva del programma NBI come parte essenziale del progetto internazionale ITER per lo studio della produzione di energia da fusione nucleare. Il Laboratorio di Legnaro supporta il progetto contribuendo allo studio della dinamica dei fasci e sviluppando il progetto criogenico di raffreddamento delle varie componenti del sistema. Compito del laboratorio è lo studio anche delle alte tensioni in vuoto.

IFMIF: nell'ambito del Broader Approach, un accordo tra il Giappone e alcuni Paesi Europei per la realizzazione di sistemi e infrastrutture complementari a ITER, l'INFN ha assunto una importante responsabilità nella progettazione e realizzazione dei primi stadi di IFMIF, un doppio acceleratore di protoni ad altissima intensità (40 MeV, 130 mA) dedicato alla

produzione di fasci di neutroni (circa 10^{17} n/sec) per lo studio dei materiali da utilizzare nei reattori. La parte del progetto sin ora finanziata corrisponde ad un acceleratore di 9 MeV e piena corrente, che verrà costruito da una collaborazione europea (principalmente CEA-Commissariat à l'Énergie Atomique Francia e CIEMAT-Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas Spagna, oltre all'INFN) ed installato in un'infrastruttura specifica costruita dal JAEA (Japan Atomic Energy Agency) presso Rokkasho nel nord del Giappone. La progettazione e costruzione viene realizzata dall'INFN in tre delle sue unità operative, i Laboratori Nazionali di Legnaro e le sezioni di Padova e Torino.

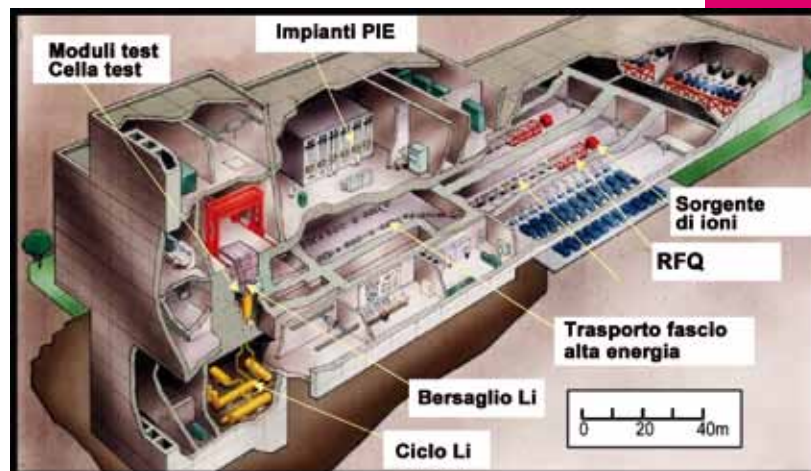


Fig. 3.21: Schema di IFMIF, il doppio acceleratore di protoni ad altissima intensità per lo studio dei materiali per la produzione di energia da fusione nucleare.

Il 2008 ed il 2009 sono stati impiegati nella fase progettuale, con un *Preliminary Design Review* nel giugno 2008 che ha validato le principali scelte relative alla progettazione fisica ed alle scelte realizzative. La struttura progettata è notevolmente più corta ed efficiente di quanto proposto in precedenza, mentre l'approccio costruttivo utilizzato consente di estendere a questo acceleratore l'esperienza nella realizzazione di strutture in rame con strettissime tolleranze meccaniche, guadagnata con RFQ per protoni di più alta frequenza (progetto TRASCO – TRASmutazione SCORie). Sono stati inoltre costruiti e validati alcuni prototipi degli elementi critici. Con il 2010 comincia la parte realizzativa con la costruzione dei 18 moduli che costituiscono la struttura. Parte importante del progetto è costituita dallo sviluppo di tutti i sottosistemi, vuoto, raffreddamento e controllo della frequenza, integrazione meccanica e funzionale nell'acceleratore. Sono previsti dei test parziali in Europa seguiti dall'installazione e test con il fascio in Giappone (presso il laboratorio di Rokkasho) a partire dal 2013. L'INFN contribuisce con proprio personale al programma di integrazione delle varie componenti dell'acceleratore in Giappone.

PROGETTO STRATEGICO NTA

Il Progetto Speciale NTA (Nuove Tecniche di Accelerazione) ha l'obiettivo di sostenere e sviluppare ricerche, anche attraverso collaborazioni internazionali, nel campo della scienza degli acceleratori e, con più alta priorità, nel settore delle tecnologie ad essi correlate.

La realizzazione di nuovi acceleratori di particelle influenza (e, a sua volta, è influenzata da) un largo spettro di attività scientifiche e tecnologiche. Per questo la ricerca avanzata di tecnologie per nuovi acceleratori è vitale non solo per la fisica delle particelle elementari, ma anche per favorire l'affermarsi di tecnologie innovative in molti campi. Le tante applicazioni presenti e future delle macchine acceleratrici vanno dalle utilizzazioni propriamente scientifiche (schematizzate nella tabella 3.6) al loro uso medicale ed industriale (alcuni esempi a fondo pagina).

Nell'ultimo triennio, attraverso il Progetto Strategico NTA, sono state sostenute ricerche nei settori identificati dalla comunità scientifica di riferimento a livello internazionale come quelli di maggior interesse scientifico e tecnologico. Le attività di ricerca sono state 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 3.8 riassume le ricerche svolte: 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 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.

Nei prossimi anni la sfida per le attività di Ricerca e Sviluppo consisterà nel produrre fasci di vari tipi di particelle (elettroni, protoni, neutroni, muoni, ioni) a più alte energie, con più alta intensità, con più alta brillantezza e, per i collisori, con più alta luminosità. Questi obiettivi dovranno essere raggiunti a costi socialmente sostenibili per quanto riguarda sia i costi di produzione, sia le spese di funzionamento, sia l'ammontare di potenza elettrica necessaria. Nella tabella 3.8 sono riportati i principali problemi che dovranno essere risolti al fine di progettare e realizzare i principali acceleratori (indicati nella prima riga della tabella stessa) all'attenzione della comunità scientifica internazionale. Su tali temi l'INFN, attraverso il Progetto Strategico NTA, è già oggi operante e tali temi saranno anche al centro delle sue attività a medio termine.

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. 3.6: Applicazioni delle macchine acceleratrici ad uso scientifico.

Applicazioni delle macchine acceleratrici ad uso medico e industriale.

- >> Diagnostica medica con radioisotopi prodotti con fasci accelerati
- >> Terapie antitumorali con radiazioni, utilizzando: protoni, ioni pesanti, pioni, raggi X da Linac ad elettroni, neutroni da Linac a protoni
- >> Individuazione di pozzi petroliferi con sorgenti di neutroni
- >> Implantazione ionica con fasci di ioni positivi
- >> Polimerizzazione, vulcanizzazione, sterilizzazione di cibo, produzione di membrane microporose etc.
- >> Datazione archeologica per mezzo di spettroscopia di massa con acceleratori.

Area di ricerca	Obiettivi	Sigla dell'attività di ricerca
Teoria degli acceleratori	Studi su "Crab-waist" e "Crab-crossing" per massimizzare la luminosità di macchina	Super-B/LNF
Simulazioni computerizzate	Damping Ring per ILC: definizione del lattice e valutazione dell'effetto di nuvola elettronica sui positroni (a), definizione del lattice magnetico di SuperB (b), studio di "spin tracking" per elettroni polarizzati (c), studi di interazioni fascio - fascio (d)	a) ILC/LNF b), c), d) SuperB/ LNF-Pi
Cavità a RF superconduttrici	Realizzazione di cavità 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); Sviluppo e realizzazione di cavità ad alto campo per XFEL (1° e 3° armonica) (b); sistemi di accordo coassili piazzo-assistiti (b)	a) Shamash/LNL b) ILC/Mi
Controlli a RF e sistemi di "feedback"	Elettronica di controllo per criomoduli (a), "bunch-by-bunch feedback" trasverso e longitudinale per macchine a bassa emittanza (b)	a) ILC/Pi b) SuperB/LNF
Criogenia	Progettazione e realizzazione di criomoduli per X-Fel (Desy, in costruzione) e ILC (in progettazione)	ILC/Mi
Sorgenti	Sorgenti di ioni, per fasci ad alta brillantezza, basate su Electron Cyclotron Resonance (a); fotocatodi per "cannoni" ad alta brillantezza (b); generazione di fasci di raggi X, 20-500 keV ad alta cromaticità, rapidità e brillantezza di picco (c)	a) Helios/LNS b) ILC/Mi c) PlasmonX/LNF-Bo-Mi-Na-Pi
Diagnostica dei fasci e relativa strumentazione	"Scraping" di fasci con cristalli(a); rimozione della "e-cloud" con film sottili di materiali innovativi (b); monitoring di fasci di muoni (c)	a) Crystall/Fe-Rm b) Imca/LNF c) Mice/Na-Pv-Ts
Magneti	Modifica dei poli di magnete wiggler per ottimizzazione dei campi (a), studio di un quadrupoli "split" per focheggiamento finale (b)	a) ILC/LNF b) SuperB/LNF
Magneti superconduttori	Dipolo sc curvilineo per cicli rapidi	a) DISCORAP/ Ge-LNF-Mi.
Acceleratori a laser-plasma	Accelerazione sfruttando alti gradienti generati nella interazione laser-plasma con auto iniezione o iniezione esterna	PlasmoniX/LNF-LNS-Bo-Pi-Mi-Na-Rml
Tecnologie ed infrastrutture di sostegno alle attività di Ricerca & Sviluppo	Kickers rapidi per iniezione/estrazione in anelli di accumulazione (a); Deflettori a RF, Monitor a RF della posizione dei fasci. Partecipazione alla progettazione e realizzazione della Clic Test Facility (CTF3 al Cern) (b)	a) ILC/LNF b) CLIC/LNF

Tab. 3.7: Classificazione delle ricerche svolte nel progetto strategico NTA

HIGHLIGHT del 2009

• Con la partecipazione a TESLA-ILC-FLASH, l'INFN ha contribuito allo studio, progettazione e sviluppo di criostati, cavit RF, fotoiniettori, diagnostiche e sistemi integrati per acceleratori lineari superconduttivi.

• Nella collaborazione CLIC-CTF3, il gruppo dell'INFN ha studiato e realizzato i due anelli del sistema di compressione - moltiplicazione di corrente e frequenza del *drive beam* di CLIC, dimostrando la fattibilità della creazione di treni di impulsi di elettroni ad alta

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 ¹	X	X	X				
Alti gradienti sc ²	X	X	X	X	X		X
Raffreddamento elettronico							
Raffreddamento stocastico ³				X			
Raffreddamento per ionizzazione	X	X					
HOM damping			X		X		X
Emissioni ultra-basse		X	X		X		
Sorgenti ultra-brillanti ⁴			X		X		
Sorgenti di positroni			X				
Targhette per alte potenze	X	X	X				X
Magneti sc ⁵	X	X	X	X			
Fixed Field Alt Grad	X	X				X	
Accelerazione con laser ⁶			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. 3.8: Problematiche e possibili applicazioni studiate in NTA.

frequenza e altissima corrente.

- Gli studi sui *Damping Ring* e i relativi test su DAFNE hanno portato ad una esperienza riconosciuta in tutto il mondo.
- La proposta e realizzazione di magneti dipolari superconduttivi curvi, che era ritenuta improponibile fino al progetto e sperimentazione lanciata in NTA, ora è una soluzione di riferimento, grazie al prototipo messo a punto da DISCORAP (con la collaborazione di Ansaldo).
- La curvatura delle traiettorie delle particelle, in particolare protoni, con i cristalli ottenuta dall'esperimento CRYSTALL ha rappresentato un gran

successo e adesso se ne sta studiando l'utilizzo per i collimatori di LHC.

- Prime accelerazioni mediante interazione laser-plasma a Pisa. Il risultato fa prevedere che presso i LNF l'attività di PLASMONX permetterà all'INFN di avere un fotoiniettore a plasma e di fare esperimenti di assoluto interesse internazionale sugli altissimi gradienti di accelerazione, sfruttando una strumentazione integrata iniettore RF-laser con caratteristiche uniche.
- Gli studi sul progetto SuperB hanno iniziato il cammino di un'attività di importanza strategica per l'INFN e per la sua collocazione in campo internazionale.

PROGETTO SPECIALE APE

Il SuperCalcolo in ambito INFN: stato e prospettive

La simulazione numerica rappresenta uno strumento fondamentale per le ricerche di base dei gruppi teorici e sperimentali. In ambito INFN sono tradizionalmente attive comunità scientifiche che utilizzano supercalcolatori per lo studio numerico delle interazioni forti (LQCD, Lattice Quantum Chromo Dynamics, capace di spiegare con metodi statistici ed algoritmi numerici le proprietà della materia subnucleare), di problemi di Meccanica Statistica, della dinamica dei fluidi in regime turbolento e della biologia computazionale. La simulazione numerica per tali problemi scientifici richiederà, nel prossimo futuro, enormi potenze di calcolo, tipicamente dell'ordine del PetaFlops¹, e sistemi di calcolo non tradizionali caratterizzati da elevata efficienza computazionale, basso consumo elettrico ed alta integrazione.

Nel corso degli ultimi venti anni, l'INFN ha sviluppato macchine di calcolo parallelo attraverso il progetto speciale APE/APE100/APEMille/apeNEXT; 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 (figura 3.22), 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*. Si tratta di tecnologie e competenze strategiche per l'Italia e l'Europa ed infatti membri del gruppo APE coordinano e partecipano con ruoli di leadership ad importanti progetti europei (progetti FP6 SHAPES ed HARTES e progetto FP7 EURETILE) nel settore delle "Advanced Computing Architectures" e degli "Embedded Systems" derivati dal *know-how* sviluppato negli anni in ambito APE. Non bisogna inoltre dimenticare come questa iniziativa abbia permesso la formazione di alcune decine di ricercatori e tecnologi specializzati nella progettazione di sistemi su silicio e software di sistema, un'esperienza unica e strategica per il panorama italiano e di grande valore scientifico e tecnologico a livello europeo.

Al fine di conservare la posizione competitiva raggiunta a livello internazionale, la collaborazione ha intrapreso iniziative di ricerca e sviluppo per arrivare alla realizzazione di supercomputer nella fascia del PetaFlops (1000 TFlops) utilizzando tecnologie *state-of-the-art*. La roadmap di lungo termine prevede la prototipizzazione di sistemi *pure-custom* la APE mentre nel breve/medio periodo, nell'orizzonte temporale del piano triennale, è già iniziata la realizzazione di sistemi ibridi "cpu commerciali - reti dedicate" secondo le seguenti molteplici linee di sviluppo:

• Progetto apeNET+.

Nell'arco del 2009 la collaborazione ha portato avanti lo sviluppo della nuova generazione di *apeNET* denominata *apeNET+* (figura 3.23) che è attualmente in fase avanzata di progetto e che raggiungerà una capacità di trasferimento complessiva pari a 360 Gbit/s per nodo di calcolo grazie anche all'integrazione del *network processor* di nuova

¹ Flops è l'acronimo di "floating point operations per second" ovvero numero di operazioni in virgola mobile per secondo. PetaFlops è l'equivalente di 10^{15} Flops ovvero un milione di miliardi di operazioni per secondo; TeraFlops equivale a 10^{12} Flops.

	Sistema 32 PC (multi processore) con interconnessione apeNET+				Sistema multi processore accelerati con GPU con interconnessione apeNET+			
	Peak Perf/rack (TFlops)		Cost per Rack (KEuro)	# armadi per sistema PetaFlop	Peak Perf/rack (TFlops)		Cost per Rack (KEuro)	# armadi per sistema PetaFlop
	Singola Prec.	Doppia Prec.			Singola Prec.	DoppiaP		
2010	6.4	3.2	150	156	96	10-20	200	10
2011	12	6	150	80	~200	20-40	~300	5

Tab. 3.9: Caratteristiche dei sistemi multi-processore.

generazione sviluppato dalla collaborazione nell'ambito del progetto europeo SHAPES. Nel 2010 sarà possibile prototipare un mini-cluster da 4-8 nodi scalabile, nel 2011, a sistemi "armadio"² da 64(128) processori multi-core e 10 TeraFlops di potenza di calcolo complessiva.

• **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) e con un obiettivo di progetto, da realizzare nel 2011, di sistemi con prestazioni dei 10-20 TeraFlops per armadio.

• **PC Cluster accelerati con GPU (Graphic Processing Unit).**

L'emergere di nuove architetture di calcolo per la grafica ad alte prestazioni (Graphic Processing Unit, GPU), spinte da un mercato dei videogiochi valutato in 10 miliardi di \$ per anno, caratterizzate da elevate potenze di calcolo (1 TeraFlops per singolo chip), notevole rapporto Flops/Watt e Flops/\$ e con caratteristiche architetture estremamente favorevoli per il calcolo scientifico, permetterà di progettare sistemi ibridi CPU+GPU in grado di scalare alle centinaia di TeraFlops per armadio. In questo ambito l'INFN si propone di realizzare, una piattaforma parallela scalabile al PetaFlops, basata su meccanica commerciale e processori *commodities* Intel, accelerata attraverso GPU di ultima generazione ed interconnessa dal network apeNET+ (figura 3.23).

Nella tabella 3.9 si riportano le caratteristiche dei sistemi realizzabili con le tecnologie sopra descritte per l'anno 2010 e 2011.

Dalla tabella risulta evidente che nel 2010 sarà possibile installare *sistemi armadio* composti da 32 nodi multiprocessore configurati con acceleratore GPU al costo di circa 200 kEuro per armadio e con una potenza di calcolo di picco di ~100 TFlops in singola precisione e ~10TFlops in doppia precisione. Dal 2011 sarà possibile realizzare una installazione di classe PetaFlops (peak singola precisione) con circa 10 armadi e un volume di occupazione pari all'attuale installazione di apeNEXT di Roma. A questi numeri bisogna comunque aggiungere i costi operativi, di maintenance e di infrastruttura, valutabili intorno al 30% del costo del sistema.

Progetto PetApe.

Per quanto riguarda la roadmap di lungo termine (2010-2014) si prevede di sviluppare e prototipare, una nuova generazione di sistemi di calcolo, PetApe, scalabile a molte decine di TeraFlops per armadio. PetApe sarà basato su processori VLSI proprietari con architettura *multi-tile* (repliche interconnesse di unità di calcolo elementare floating point identiche, ottimizzate per bassissimo consumo ed elevate prestazioni) con rete di interconnessione 3Dimensionale toroidale integrata. Per le sue specificità architetture e tecnologiche PetApe mostra parametri caratteristici di sistema paragonabili a quelli dei sistemi di supercalcolo attualmente in fase di progettazione in USA e Giappone e sarà dotato di strumenti software di nuova generazione per ottimizzare la portabilità delle applicazioni scientifiche sulla nuova piattaforma di calcolo.

Il progetto PetApe attualmente in fase di definizione potrà fare leva sul co-finanziamento dell'UE, realizzato attraverso la partecipazione a progetti Europei FP7 (EURETILE), e la collaborazione di selezionati partner internazionali accademici ed industriali. Si prevede di impiegare la prima

2 Con armadio o "rack" intendiamo un sistema meccanico ed elettronico di circa due m³ di volume in grado di ospitare elettronica attiva e paragonabile, per dimensioni, ad armadi standard per cablaggi di rete.

fase del progetto per sviluppare un primo prototipo di processore VLSI multi-tile (figura 3.24) da portare in fonderia per la fine del 2011 e cominciare lo studio dell'integrazione di sistema a partire dal 2012.

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:

- **Universit di Pisa, Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione**
- **Universit di Cagliari, Dipartimento di Ingegneria Elettrica ed Elettronica**
- **Universit di Roma Sapienza, Dipartimento di Ingegneria Elettronica**
- **Universit di Padova, Dipartimento di Elettronica e Informatica**
- **RWTH Aachen University, ISS**
- **Swiss Federal Institute of Technology Zurich, CH**
- **Universit di Julich e Wuppertal**
- **Fraunhofer IGD**
- **Tima e UniversitÈ Joseph Fourier Grenoble I**

Principali partner industriali:

- **Atmel**
- **Eurotech spa**
- **Sky Technology**
- **Finmeccanca-Quadrics, nel passato**

Sorgenti di finanziamento e ammontare

La tabella 3.10 mostra le sorgenti e l'ammontare dei finanziamenti del progetto.

APE Budget		
Fondi ordinari INFN in KEuro	Preventivo	Assegnato
2007	200	100
2008	330	300
2009	687	300
2010	120	120 + 300*
Fondi esterni (Progetti EU) in KEuro		
	Finanziamento complessivo	Quota per INFN
2006-2009 (SHAPES)	6800	800**
2010-2013 (EURETILE)	4500	1400***

Tab. 3.10: Finanziamenti del progetto APE.

Note:

* Nell'ambito del progetto AURORA, la convenzione INFN - Provincia Autonoma di Trento (PAT) prevede un finanziamento per la fase preliminare e la realizzazione di un piccolo prototipo di 1.8 MEuro di cui 300 KEuro a carico dell'INFN.

**Il finanziamento complessivo a carico della UE per il progetto FP6 SHAPES era pari a 6.8 MEuro di cui 800 KEuro di finanziamento alle attivit INFN.

***Il finanziamento complessivo a carico della UE per il progetto FP7 EURETILE era pari a 4.5 MEuro di cui 1.4 MEuro di finanziamento alle attivit INFN.

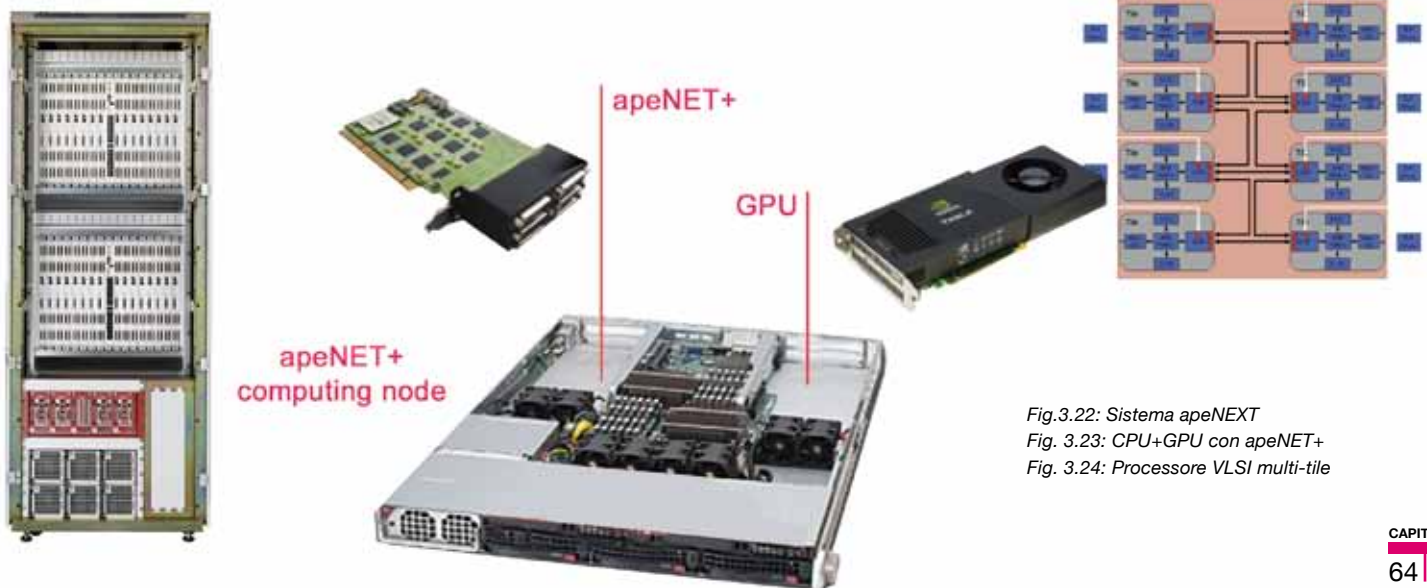


Fig.3.22: Sistema apeNEXT

Fig. 3.23: CPU+GPU con apeNET+

Fig. 3.24: Processore VLSI multi-tile

PROGETTO SPECIALE SPARC

Introduzione

Il progetto Speciale SPARC è stato avviato dall'INFN nel 2003 a seguito dell'approvazione da parte del MIUR del progetto Strategico "impianti innovativi multiscopo per la produzione di radiazione x e ultravioletta, coerente ed incoerente ad alta intensità per applicazioni avanzate nel campo delle strutture biologiche e molecolari e dei materiali" finanziato sui fondi FISR. Il progetto SPARC è realizzato mediante una collaborazione con CNR, ENEA, l'Università di Roma Tor Vergata (proponenti principali). Collaborano inoltre numerose università italiane, centri europei (DESY, PSI, Lund, Daresbury, Soleil, CEA) e USA (UCLA).

Lo scopo principale del progetto è la realizzazione di un prototipo di Laser ad Elettroni Liberi operante in regime di auto-amplificazione (SASE), costituito da un Linac da 150 MeV e un ondatore a magneti permanenti lungo 12 metri che emette radiazione coerente nel visibile (500 nm, armonica fondamentale) e con un significativo segnale nelle armoniche superiori fino all'ultravioletto. Inoltre il progetto prevede di sperimentare metodi e schemi innovativi idonei alla generazione di radiazione coerente X.

Nel corso degli anni il programma si è arricchito di nuovi obiettivi e opportunità:

a) L'approvazione da parte dell'INFN dell'esperimento PLASMONX, che prevede l'uso del Linac di SPARC per realizzare un sistema di accelerazione a onde di plasma e la generazione di radiazione pulsata monocromatica X mediante Thomson back-scattering. In funzione di entrambi gli esperimenti è stato approvato da NTA l'installazione di un laser ad elevata potenza (300 TW) da in prossimità del bunker di SPARC. Inoltre, l'INFN mediante il Progetto Speciale SPARC ha finanziato la realizzazione di due linee di fascio, una per ciascun esperimento, che si aggiungono alla linea di fascio FEL.

b) La partecipazione al progetto europeo EUROFEL (VI PQ UE) che ha finanziato il completamento del sistema magnetico necessario all'esperimento di dinamica dei fasci riguardante la compressione longitudinale del pacchetto di elettroni (*velocity bunching*), e l'installazione dei dispositivi necessari all'esperimento di "Seeding" finalizzato alla coerenza longitudinale della radiazione.

c) L'approvazione da parte del MIUR del progetto SPARX (proponenti CNR, ENEA, INFN, Univ. Roma Tor Vergata) mediante un finanziamento FIRB di 10 MEuro dedicato

alle attività di R&S per la generazione di radiazione X, da implementare su SPARC. Le attività previste riguardano la realizzazione di un *Gun* per elettroni supersimmetrico con catodi innovativi, sviluppo tecnologie RF in banda X, sistemi di sincronizzazione e timing elettro-ottici e ottici, incremento di energia di SPARC, sviluppo di diagnostica elettroni e fotoni, sviluppo di tecniche di generazione di armoniche FEL.

Attività in corso

Tutti i dispositivi del Linac e dell'ondulatore sono stati installati all'interno del bunker presso i LNF, insieme a tutti i sistemi ausiliari e, al fine di completare il programma di sviluppo, le attività sono normalmente suddivise tra progettazione, realizzazione, installazioni, collaudi ed esperimenti, secondo un programma di turni (8-15, 15-22) dal lunedì al sabato.

Progettazione

- Gun a radiofrequenza supersimmetrico ad elevata frequenza di ripetizione.
- Cavità a radiofrequenza in banda X ad elevato gradiente.
- Sistema di sincronizzazione ottico al femtosecondo.
- Stazione completa di accelerazione in banda C.

Installazione

- Linea di fascio di elettroni per esperimento *Thomson back-scattering*
- Linea di fascio di elettroni per esperimento *Plasma Wave Acceleration*
- Sistema da vuoto e di controllo per le linee

Esperimenti

- Radiazione coerente in presenza di *Seeding*
- Radiazione coerente con generazione di armoniche superiori
- Tecniche miste di *Seeding* con generazione di armoniche

HIGHLIGHT 2009

Il 2009 è stato un anno importante per l'esperimento SPARC. Nei turni di febbraio e marzo, infatti, è stato raggiunto il regime di auto amplificazione coerente nel visibile ed è stato osservato un significativo segnale di radiazione in terza armonica nel vicino UV. Si è trattato del secondo Laser SASE in funzione in Europa dopo FLASH ad Amburgo. Sebbene ad una lunghezza d'onda non paragonabile (6 nm @FLASH) il successo dell'esperimento ha avuto risonanza in tutta la comunità internazionale dei FEL, ed ha dimostrato l'elevato livello di competenze raggiunte dai ricercatori dell'area di Frascati (INFN e ENEA) nella realizzazione di sorgenti FEL di IV generazione, sperimentando tra l'altro idee e

schemi innovativi.

Nella seconda metà del 2009 è stato sperimentato con successo, per la prima volta in assoluto, il regime di *velocity bunching* nella dinamica dei fasci di elettroni nel Linac. Si tratta di un risultato rilevante che ha dimostrato che è possibile, con un sistema di solenoidi e con un'opportuna scelta del punto di lavoro, comprimere il pacchetto di elettroni longitudinalmente senza compromettere le proprietà trasversali (emittanza) che possono invece essere indipendentemente ottimizzate. Tale prova sperimentale offre nuove e migliori opportunità di raggiungere impulsi ultracorti di radiazione, fino alla scala sub-femtosecondi. (*Experimental demonstration of emittance compensation with velocity bunching*, *Phys. Rev. Letter*, Ottobre 2009).

Va ricordato che nel 2007 era stato osservato per la prima volta con successo il regime dinamico chiamato *double emittance minimum oscillation* previsto da studi teorici (LNF), e utilizzato nell'ottimizzazione dei foto-iniettori dei FEL in USA (LCLC) e Europa (X-FEL). Anche in questo caso si è trattato di un risultato che ha dato grande notorietà e visibilità internazionale alle attività presso i LNF. (*Direct measurement of double emittance minimum in the SPARC high brightness photoinjector*, *Phys. Rev. Letter*, vol. 99, 234801, Dicembre 2007).

Prospettiva a medio termine

Le attività avviate con il progetto SPARC hanno avuto il merito di stimolare, durante un entusiasmante periodo durato circa 6 anni, nuove idee, l'elaborazione di proposte in buona parte accolte e finanziate, la realizzazione e test di dispositivi innovativi, la formazione di un team di giovani ricercatori brillanti e competenti. Tutto questo costituisce un patrimonio di risorse strumentali ed umane su cui è agevole costruire il futuro.

Nella prospettiva di medio termine vanno perseguiti alcuni obiettivi primari.

1) Consolidamento delle attività nate e sviluppatasi intorno a SPARC presso i LNF. È emerso con estrema chiarezza che l'insieme della strumentazione sviluppata con SPARC e PLASMONX rendono disponibili simultaneamente e nello stesso luogo una sorgente ultrabrillante di elettroni e una sorgente laser ad elevata potenza, realizzando di fatto un laboratorio unico al mondo. Per tale motivo tutti i ricercatori coinvolti, in accordo con il Direttore dei LNF, hanno dato origine ad una struttura di coordinamento chiamata LI²FE (Laboratorio Interdisciplinare Integrato di Fotoni ed Elettroni). Il comitato LI²FE, formato dai responsabili delle attività, con

rappresentanti INFN, CNR, ENEA e di alcune Università, è nato principalmente per coordinare le attività di sviluppo e sperimentazione in corso e renderle compatibili con nuove proposte, e di favorire in particolare la partecipazione di gruppi sperimentali interessati all'utilizzo.

Essendo il Progetto Speciale SPARC ormai in una fase di completamento, ed essendo ormai a buon punto anche le installazioni finanziate da NTA, appare evidente che tutta l'attività sperimentale futura dovrà essere organizzata in modo unitario intorno ad un unico laboratorio (LI²FE è un embrione) e finanziata in modo adeguato per assicurarne lo sviluppo e le operazioni.

Infine sarà necessario definire opportune convenzioni con CNR ed ENEA che concorreranno insieme all'INFN allo sviluppo e all'utilizzo del laboratorio.

2) Un chiaro programma realizzativo per il progetto SPARX. Si ricorda che il progetto è stato concepito evolutivo in due fasi:

- a) Linac 1.5 GeV, FEL@ 2 nm,
- b) Linac 2.4 GeV, FEL@ 0.6 nm.

La prima fase è stata parzialmente finanziata mediante l'Accordo Quadro con Regione Lazio, MIUR, CNR, ENEA, Univ. Roma Tor Vergata ma il quadro complessivo dei finanziamenti per il completamento della prima fase e per l'operazione è ancora in discussione. Tra l'altro va ricordato che il Linac iniettore di SPARC è parte integrante del progetto SPARX e che nel caso esso sia mantenuto per essere utilizzato presso i LNF si dovrà realizzarne uno *ex novo*.

Prospettiva di lungo periodo

Le prospettive di lungo periodo riguardano essenzialmente il progetto SPARX. Nel luglio 2009 è stato completato il *Technical Design Report* che ha coinvolto circa 120 fisici, ingegneri e progettisti. Esso prevede la realizzazione di una Facility di radiazione coerente destinata ad un ampio ventaglio di applicazioni multidisciplinari descritte nello *Scientific Case* elaborato dalla comunità di utilizzatori provenienti da università e istituti di ricerca distribuiti sull'intero territorio nazionale. Il progetto offre l'opportunità di realizzare una nuova infrastruttura di ricerca basata su radiazione X coerente con impulsi ultra-corti, e risoluzioni temporali sulla scala dei femtosecondi.

In accordo con il progetto preliminare discusso con le agenzie finanziatrici (Regione Lazio e MIUR) il progetto definitivo nel TDR prevede la costruzione della macchina in due fasi, con l'obiettivo di realizzare una facility di interesse per la comunità degli utilizzatori.

SPARX-fase-1 prevede la realizzazione di un acceleratore di energia 1.5 GeV, un undulatore per produrre una radiazione fino a circa 2 nm e una linea di trasporto ottica con due stazioni sperimentali, con un costo di circa 70 MEuro (escluso suolo e *manpower*).

SPARX-fase-2 prevede l'aumento in energia dell'acceleratore fino a 2.4 GeV, una linea di trasporto di fascio parallela e l'aggiunta di due ondulatori per produrre una radiazione fino a circa 0.6nm con relative linee di trasporto ottiche e 9 stazioni sperimentali, con un costo aggiuntivo di circa 50 MEuro (escluso suolo e *manpower*).

L'esperienza maturata con la stesura del TDR ha permesso di approfondire i seguenti punti:

- **I integrazione degli impianti tecnici nelle infrastrutture civili;**
- **la sostenibilità finanziaria;**
- **le esigenze dell'utenza.**

Fabbisogni di risorse umane, strumentali e finanziarie.

Le risorse finanziarie destinate al progetto SPARX secondo quanto riportato nell'Accordo Quadro siglato con la Regione Lazio e con il MIUR per il triennio 2006-09, sono:

- Il terreno offerto dall'Università di Roma Tor Vergata.
- Tutta la strumentazione realizzata finora con il progetto SPARC
- Primo finanziamento FIRB, progetto SPARX-MIUR
- Secondo finanziamento FIRB, progetto SPARX-MIUR
- Finanziamento infrastruttura da parte della Regione Lazio.
- Le risorse umane per la realizzazione provenienti dagli enti CNR, ENEA, INFN, e dall'Università di Roma Tor Vergata.

Si tratta di una notevole quantità di risorse, tuttavia non sufficienti a realizzare la prima fase del progetto. Inoltre occorre tenere ben presente che la realizzazione e la gestione della macchina non può essere portata avanti solo con personale "prestato" all'iniziativa. Sarà necessario destinare personale dedicato in misura adeguata.

Scenari possibili o auspicabili

È possibile che la prima fase del progetto non trovi le risorse necessarie per essere realizzata per intero e che, data la modularità e il carattere evolutivo delle sorgenti FEL, si debba passare attraverso una fase intermedia con obiettivi ridimensionati. Ciò consentirebbe di utilizzare appieno le risorse disponibili sopra elencate ma rischierebbe di

vanificare gli obiettivi di una facility che sia competitiva su scala nazionale e internazionale. L'obiettivo minimo che permette di mantenere aggregata la comunità degli utenti intorno ad un programma sperimentale di interesse è il completamento della fase-1 descritta nel TDR.

Vale la pena sottolineare che le prospettive di lungo periodo dell'attività SPARC/X sono anche correlate alle strategie che saranno individuate dall'INFN nei confronti delle linee di ricerca riguardanti le sorgenti di radiazione basate sugli acceleratori. È auspicabile che l'Istituto prenda una chiara e definitiva decisione circa il proprio coinvolgimento in tali attività e in particolare sul ruolo che intende svolgere.

Le attività riguardanti la luce di sincrotrone, e più recentemente quelle sulle sorgenti di IV generazione, hanno sempre costituito un settore d'interesse dell'INFN, in particolare per quanto riguarda lo sviluppo di strumentazione avanzata basata su acceleratori in cui l'Istituto mantiene un'indiscussa leadership.

Vale la pena ricordare, in sintesi, che l'INFN:

a) stato pioniere in Europa, con Adone, nello sviluppo di anelli di elettroni per luce di sincrotrone;

b) ha realizzato e gestisce le linee di luce di sincrotrone a Frascati, DAFNE-L;

c) socio fondatore e titolare del 5% delle azioni di ESRF, sorgente di luce di sincrotrone europea;

d) comproprietario e co-gestisce la linea GILDA ad ESRF;

e) ha realizzato e gestisce il FEL SPARC ai LNF, su cui operante anche una sorgente THz e sar realizzata una sorgente X Thomson BS;

f) sta collaborando alla costruzione di X-FEL (sorgente europea) a DESY, su mandato del MIUR;

g) sta partecipando alla realizzazione del progetto SPARX;

h) entrato a far parte del gruppo delle istituzioni europee che danno accesso ad utenti di luce di sincrotrone e partecipa al programma di accesso ELISA (UE-FP7);

i) partecipa alla Preparatory Phase di EuroFel (UE-FP7), consorzio tra le sorgenti FEL in Europa.

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.

1) Laboratorio per l'uso del secondo fascio di protoni del ciclotrone, direttamente o con convertitore di neutroni.

2) Edificio e relative infrastrutture, per una facility di neutroni basata sul completamento e messa in funzione di TRASCO (TRAsmutazione SCORie), un linac per protoni di alta intensità (20 mA) e bassa energia (5 MeV).

Il progetto è stato suddiviso in fasi successive di realizzazione e finanziamento. Ogni fase permette l'utilizzo della struttura con un grado maggiore di funzionalità come riassunto nella tabella 3.11.

PROGETTO SPES:	Facility ISOL: fasci ricchi di neutroni, 10^{13} f/s, A=130, 10AMeV. Driver protoni: Ciclotrone a due uscite indipendenti, 70MeV, 0.75mA. Alta intensità (TRASCO): linac per protoni da 5MeV 20mA. Facility neutroni: fasci di neutroni per conversione dei fasci di protoni.		
	Costo stimato globale	~ 60 Meuro	
FASE Alfa	Fase Ciclotrone: Sistema ISOL per fasci esotici non da fissione e non riaccelerati. Produzione di neutroni con fascio del ciclotrone	19 Meuro	Finanziamento 2009-2010
FASE Beta	Fase Riaccelerazione: Produzione, trasporto e riaccelerazione fasci esotici da fissione. Selezione di massa ad alta risoluzione. Messa in funzione secondo bersaglio ISOL.	27 Meuro	Finanziamento 2011-2014
FASE Delta	Fase Laboratorio per produzione radio-isotopi per scopi medici e ricerca applicata con fasci di protoni e neutroni dal ciclotrone	3 Meuro (solo edilizia)	Finanziamento in collaborazione con altri enti
FASE Gamma	Fase Alta intensità: Messa in funzione linac ad alta intensità (TRASCO) e realizzazione facility di neutroni per BNCT.	11 Meuro	Finanziamento in collaborazione con altri enti

Tab. 3.11: Fasi realizzative del progetto SPES.

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.

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).

Progetto Preliminare e applicazioni

Nel progetto preliminare è stata valutata la realizzazione di tre aree. Oltre all'area ISOL sono state valutate due aree per applicazioni:

Progetti applicativi

I progetti applicativi sono attualmente a livello di studio di fattibilità:

- BNCT ha completato la progettazione e lo studio di fattibilità per una facility di neutroni termici che utilizza il fascio di alta intensità di TRASCO per realizzare un sistema di irraggiamento per la terapia dei tumori attraverso la cattura di neutroni in boro. Per quanto riguarda l'acceleratore: la sorgente TRIPS è funzionante, le cavità RFQ sono realizzate e in fase di test. Se finanziato può entrare in fase realizzativa.
- LENOS ha come obiettivo la produzione di fasci di neutroni per esperimenti di interesse astrofisico e studio di materiali (attualmente in fase di studio di fattibilità).
- Radiofarmaci. Per lo studio di nuovi radiofarmaci prodotti con protoni da 70 MeV è stata presentata una lettera di

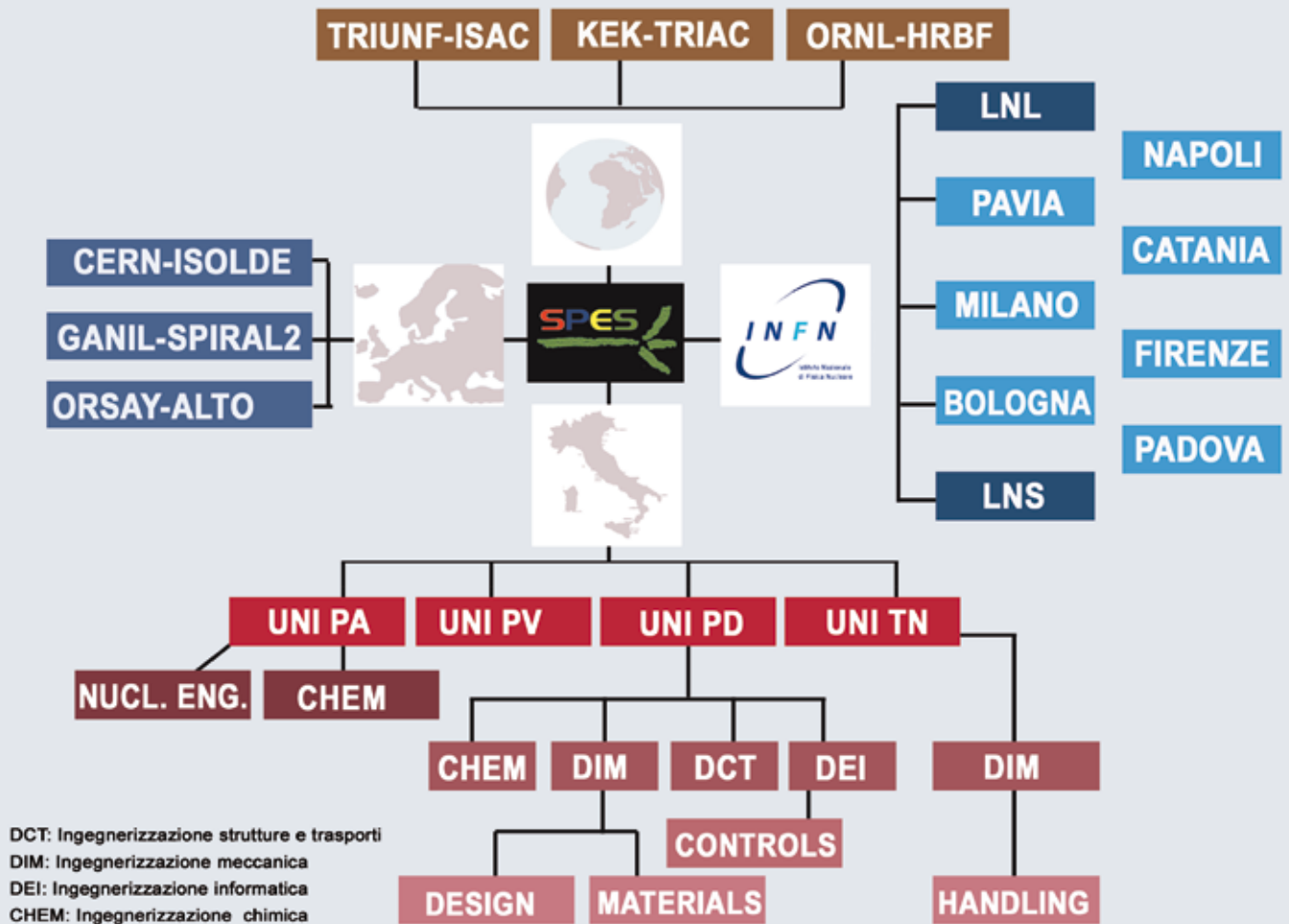


Fig. 3.25: Rete delle collaborazioni di SPES.

intenti (INFN e Università Milano, Padova, Bologna, Istituto Oncologico Veneto).

- Generatore Neutroni. Il fascio di protoni può essere di interesse per sostenere un ADS (*Accelerator Driven System*) di ricerca (proposta INFN-Ansaldo).

HIGHLIGHT 2009

- **Definizione del progetto preliminare per l'edilizia e le infrastrutture.**
- **Definizione delle caratteristiche del ciclotrone e attivazione della gara di acquisto.**
- **Installazione del Front-End della facility ISOL completo di bersaglio, sorgente a ionizzazione superficiale, estrattore e prima parte di trasferimento del fascio a 30 keV .**
- **Studio di nuovi materiali per bersagli ISOL con la produzione di pasticche di carburo di uranio con nano tubi e test sotto fascio a ISOLDE.**
- **Workshop sulla fisica di SPES (LNL, 29 Ottobre 2008).**

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. 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 radiofarmaci. A medio termine si può prevedere che gli interessi maturati intorno alla facility BNCT portino ad un accordo tra gli enti interessati e ad un finanziamento esterno per la sua realizzazione e messa in funzione.

Strategia a lungo termine

Possibili strategie a lungo termine per SPES sono rappresentate in figura 3.26.

Per la fisica dei fasci esotici SPES può rappresentare 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). Questo sviluppo permetterebbe di mantenere una rilevanza scientifica di piena concorrenza con SPIRAL2 e HIE-ISOLDE.

Le tre facility potrebbero formare una rete europea 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 3.27 e la figura 3.28 mostrano uno schema del laboratorio ciclotrone con la sorgente.



Fig. 3.27: Isometrico laboratorio Ciclotrone e sorgenti ISOL



Fig. 3.28: Sorgente ISOL

Fig. 3.26: Possibili strategie a lungo termine per SPES

PROGETTO SPECIALE INFN-GRID

Attivit  2009

Nel 2009 INFN Grid ha continuato la propria attivit  di sviluppo e di consolidamento nelle tecnologie GRID ed il potenziamento delle relative e-infrastrutture in Italia ed in Europa per soddisfare i bisogni degli esperimenti INFN, in particolare LHC, e pi  in generale quelli di tutto il mondo della ricerca.

Le attivit  si sono svolte principalmente all'interno di vari progetti Europei (vedi anche paragrafo 3.9) che hanno realizzato l'attuale insieme di servizi GRID usato in produzione e che gestiscono le infrastrutture attuali.

Il progetto di riferimento   EGEE III, (36 MEuro) dove l'Italia   il partner maggiore dopo il CERN, che ha continuato il processo di consolidamento ed espansione dell'e-infrastruttura di produzione europea fino ad includere pi  di 300 centri di calcolo con pi  di 120.000 processori e 25 Petabyte di storage. La e-Infrastruttura di EGEE III   usata quotidianamente con successo da numerose applicazioni, dalla Fisica delle Alte Energie alla Biologia, dalla Chimica Computazionale all'Osservazione della Terra grazie ad un controllo operativo costante ed efficace a cui l'INFN contribuisce in modo significativo.

In EGEE III l'INFN ha la responsabilit  del coordinamento dello sviluppo del middleware oltre a quelle che riguardano componenti specifici per la gestione delle Organizzazioni Virtuali, il sistema di accounting, il miglioramento della fruibilit  della grid attraverso la nuova interfaccia web. L'INFN ha continuato a sviluppare e a mantenere la responsabilit  della gestione della Training Infrastructure GILDA, sviluppata originariamente in Italia ed ora divenuta di uso comune per tutta l' Europa.

  continuato il contributo alla creazione di Standard Internazionali tramite le collaborazioni con vari progetti USA per permettere un'interoperabilit  delle GRID a livello mondiale.

  continuato da parte del progetto speciale INFN-GRID lo sviluppo del middleware necessario a livello nazionale e non coperto dai progetti europei come lo sviluppo di portali, sistemi di monitoraggio e di accounting.

Di grande rilevanza   stato lo sviluppo di un nuovo componente che rende disponibile all'utente un ambiente virtuale e un'interfaccia che presenti tutta l'infrastruttura

come un insieme di servizi (*Infrastructure as a Service IaaS*) facilmente fruibile via web.

Particolare cura   stata dedicata al consolidamento dell'infrastruttura GRID dell'INFN (Tier1, Tier2, Tier3) sia per garantire il calcolo a LHC (WLCG- World-wide LHC Computing GRID) che l'analisi dei dati degli esperimenti in corso come Babar a SLAC, CDF al Fermilab. Nel 2009 sono continuati i vari challenges del progetto WLCG che hanno permesso di dimostrare la sostenibilit  per lunghi periodi delle attivit  di trasferimento di dati dal CERN verso gli altri Centri Tier1 come il CNAF e nella seconda parte dell'anno sono iniziate con successo – tramite l'uso della Grid - le attivit  di calibrazione, analisi dei raggi cosmici e dei primi dati raccolti.

Significativo   stato anche il contributo dell'INFN ai nuovi progetti europei del VII PQ, come descritto nel paragrafo 3.9, tendenti ad estendere la tecnologia e l'uso della Grid ai paesi asiatici e dell'America Latina.

Fig. 3.29: I Infrastruttura Italiana Grid IGI.



È continuata l'attività del progetto FIRB LIBI che ha l'obiettivo di costruire un laboratorio di bio-informatica nazionale basato sullo sfruttamento via Grid di risorse di calcolo distribuite per l'analisi delle basi di dati del settore.

A livello nazionale si è estesa, a più di 50 sedi e a decine di Organizzazioni Virtuali, l'Infrastruttura GRID Italiana IGI (vedi figura 3.29), basata sulla rete della ricerca del GARR ormai consolidata e gestita da una *Joint Research Unit* (JRU), creata con un *Memorandum of Understanding* (MoU) nel 2007 dalle maggiori istituzioni di ricerca, università e centri di calcolo italiani. Recentemente la Grid italiana si è allargata includendo le risorse di calcolo rese disponibili grazie ai progetti cofinanziati tramite il Programma Operativo Nazionale (PON) "Ricerca e Alta Formazione" 2000-2006 per le aree considerate in ritardo di sviluppo (aree di obiettivo 1): COMETA in Sicilia, SCOPE in Campania, CYBERSAR in Sardegna e ENEA.Grid, che si sono organizzati, nel corso del 2008, insieme con il consorzio di calcolo S-Paci, in associazione Grisù (Griglie del Sud).

IGI è ormai ben integrata nell'e-infrastruttura europea di EGEE III e darà vita ad una nuova organizzazione legale che con le analoghe *National Grid Initiatives* (NGI), come e-Science Grid in UK, D-Grid in Germania, l'Institute des Grilles del CNRS in Francia ecc., costituirà l'e-Infrastruttura europea EGI.Eu. Nel 2009 è stato firmato da 36 paesi, dal CERN e dall' EMBL (*European Molecular Biology Laboratory*) un MoU che ha intanto creato un primo ordinatore organo di governo, chiamato EGI Council, che ne curerà la realizzazione, coerentemente con quanto previsto nell'apposito progetto FP7 EGI-DS (*Design Study*).

IGI e, a livello europeo EGI, rispondono alla strategia di Lisbona dell'UE di costruire uno Spazio Europeo della Ricerca in un'Europa la cui economia sia basata sulla conoscenza e sulle tecnologie. Sotto questo aspetto le infrastrutture di ricerca ed in particolare le ICT e-infrastrutture svolgono un ruolo centrale. In questa ambiziosa nuova visione europea l'INFN è pienamente inserito e con ruoli significativi al pari degli altri grandi paesi.

L'importanza delle e-infrastrutture per la ricerca e la competitività europea, come espresso in numerose raccomandazioni dell'*e-Infrastructure Reflection Group* costituito dai delegati dei ministri della ricerca europea e dal Consiglio per la Competitività Europea, è ormai riconosciuta universalmente, al fine di rispondere alle seguenti esigenze:

- Reti a larga banda
- *High Throughput computing* (calcolo a elevate capacità)

- *High Performance computing* (calcolo ad alte prestazioni e calcolo parallelo)
- Servizi Grid/Cloud/Virtualizzazione per l'accesso e la condivisione di risorse di calcolo, archivi e dati globalmente distribuiti (internet dei servizi)

Finanziamenti 2009

Vanno distinti in apparati e servizi per la Grid di produzione nazionale e contributi all'acquisizione di risorse di calcolo e storage sia per il centro di livello 1 (Tier-1) al CNAF, sia per quelli di secondo e terzo livello (Tier-2 e Tier-3) presso le strutture, come riassunto in tabella 3.12.

Apparati e Servizi Grid	800 k€
Tier-1 CNAF	3,3 M€
Tier-2 e Tier-3	2,5 M€

Tab. 3.12: Finanziamenti del progetto Grid.

Attività e fabbisogni nel 2010 e negli anni seguenti

Nel 2010 il progetto INFN-Grid continuerà a costituire l'anello di congiunzione fra la Grid Italiana IGI e la Grid Europea EGI e costituirà elemento fondante della nuova Italian Grid Infrastructure IGI. In sostanza esso funge da struttura di governance, tramite l'apposito INFN-Grid Executive Board, delle numerose iniziative Grid dell'INFN fra cui, oltre a quelle già citate, vanno di nuovo menzionate – per il loro valore strategico nel contesto internazionale – quelle rivolte all'estensione della Grid all'Asia, all'America Latina e ai paesi dell'Africa limitrofa, a conferma della vocazione mediterranea del nostro paese.

Inoltre continuerà lo sviluppo ed il consolidamento del middleware Grid, anche attraverso il nuovo progetto *European Middleware Initiative* (EMI), all'interno della nuova collaborazione gLite creata nel 2009 dai partner impegnati nello sviluppo del middleware in EGEE III.

Specificamente per l'avvio della EGI, è stato presentato il progetto europeo EGI-Inspire.

Nel corso del 2010, in linea con quanto avviene negli altri paesi europei, la JRU IGI dovrà divenire un'organizzazione legale (IGI-NGI Consortium) con un finanziamento adeguato nei primi anni da parte del MIUR che permetta di:

- Consolidare, anche tramite contratti di lunga durata, le competenze acquisite in quasi 10 anni di partecipazione ai più importanti progetti europei;
- Gestire in modo unitario le varie realtà di calcolo avanzato che si sono realizzate negli ultimi anni grazie anche a

numerosi progetti nazionali ed europei; in particolare: INFN-Grid, S- PACI, ENEA Grid, Consorzi e Centri Nazionali di supercalcolo (CINECA, CASPUR, CILEA, ecc.), i datacenter meridionali Grisù COMETA, SCOPE-UNINA, CYBERSAR;

- Sviluppare e realizzare un *Cloud* pubblico nazionale, anche in collaborazione con le maggiori industrie ICT nazionali, che sia in grado di offrire servizi *on demand* di Grid e *Cloud* via web non solo per il mondo della ricerca ma anche per la pubblica amministrazione, l'economia, la finanza, il mondo produttivo, la società in generale.

Le attività di IGI relative all'operazione e allo sviluppo dell'e-infrastruttura nazionale e dei relativi servizi per il mondo della ricerca necessitano di circa 50 persone a tempo pieno. Il fabbisogno di persone e risorse per l'estensione a tutta la pubblica amministrazione dovrà essere valutato con uno studio opportuno.

Per quanto detto, l'INFN gioca un ruolo di primo piano in Italia, in Europa e auspicabilmente nel Mediterraneo, ai fini dell'offerta di tecnologie e servizi per la ricerca e per il mondo produttivo e sociale nel settore del calcolo avanzato e dell'accesso on demand all'internet dei servizi.

Nel futuro, l'INFN intende rafforzare la cooperazione con gli altri attori italiani nel settore delle Grid al fine di consolidare gli investimenti effettuati, sia finanziari sia di know-how, e la posizione di guida strategica nel contesto internazionale a supporto delle comunità che operano in ambito scientifico ed applicativo.

PROGETTO SPECIALE SUPERB-TDR

SuperB è un progetto sostenuto da una collaborazione internazionale; si propone di costruire una e^+e^- Super Flavor Factory asimmetrica ad alta luminosità ($\geq 10^{36} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$), situata nell'area Frascati - Roma Tor Vergata. Il programma scientifico di SuperB è focalizzato sulla Nuova Fisica ed è complementare con i programmi di LHC ed ILC. Gli studi possibili con questa facility costituiranno un'opportunità unica per la comprensione profonda di Nuova Fisica scoperta con LHC, e qualora non fosse trovata ad LHC, potrà spingere la sua sensibilità a discernere segnali di Nuova Fisica presente ad energie più alte di LHC aiutando a definirne la scala.

Il SuperB *Conceptual Design Report*, firmato da 85 istituzioni è stato pubblicato nel marzo 2007. Dopo di ciò si è aperta una nuova fase: preparare entro il 2011 un *Technical Design Report* che consenta di fornire tutti gli

elementi per l'eventuale costruzione di SuperB. In questa fase è importante il monitoraggio continuo dei progressi per validare simulazioni, risultati di test, tempi, costi e solidità della collaborazione.

A tale scopo l'INFN ha avviato il progetto speciale SuperB-TDR. Nel 2009 c'è stata una significativa evoluzione del progetto.

La collaborazione SuperB si è data una struttura adatta alla preparazione del TDR ed è riportata in figura 3.30. Con i finanziamenti ricevuti dalla commissione il principio del "Crab Waist" è stato dato per acquisito come base per il progetto dell'acceleratore dopo il completamento delle misure con DAFNE. Un report sui test con una discussione dei risultati è stato pubblicato nella primavera del 2009.

Sono stati definiti i parametri della macchina in relazione con le richieste del programma di fisica, guardando comunque alla ottimizzazione nel riutilizzo di componenti già esistenti di acceleratore, economia di esercizio, flessibilità:

- Energie dei due fasci (~ 4 e 7 GeV)
- Luminosità di picco $> 10^{36} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
- Bassa emittanza
- Polarizzazione di uno dei 2 fasci
- Dissipazione per RF minore di 20 MW

Questi parametri sono stati presentati ad aprile alla riunione del Mini-Mac, il comitato di review del progetto del collisore SuperB.

Si è visto un forte consolidamento della collaborazione ed il progetto è cresciuto nel consenso a livello internazionale.

Gli aggiornamenti del progetto sono stati presentati in conferenze internazionali:

- EPS a Cracovia
- LP 2009 ad Amburgo
- Win09 a Perugia

e nuovamente al plenary meeting di ECFA al CERN il 26 novembre.

Il progetto è stato anche presentato dal Presidente dell'INFN e discusso nelle riunioni del CERN Council riunito in sessione Europea. Nel settembre 2009 SuperB è stato riconosciuto dal Council come progetto compatibile con il programma strategico europeo per la fisica delle alte energie.

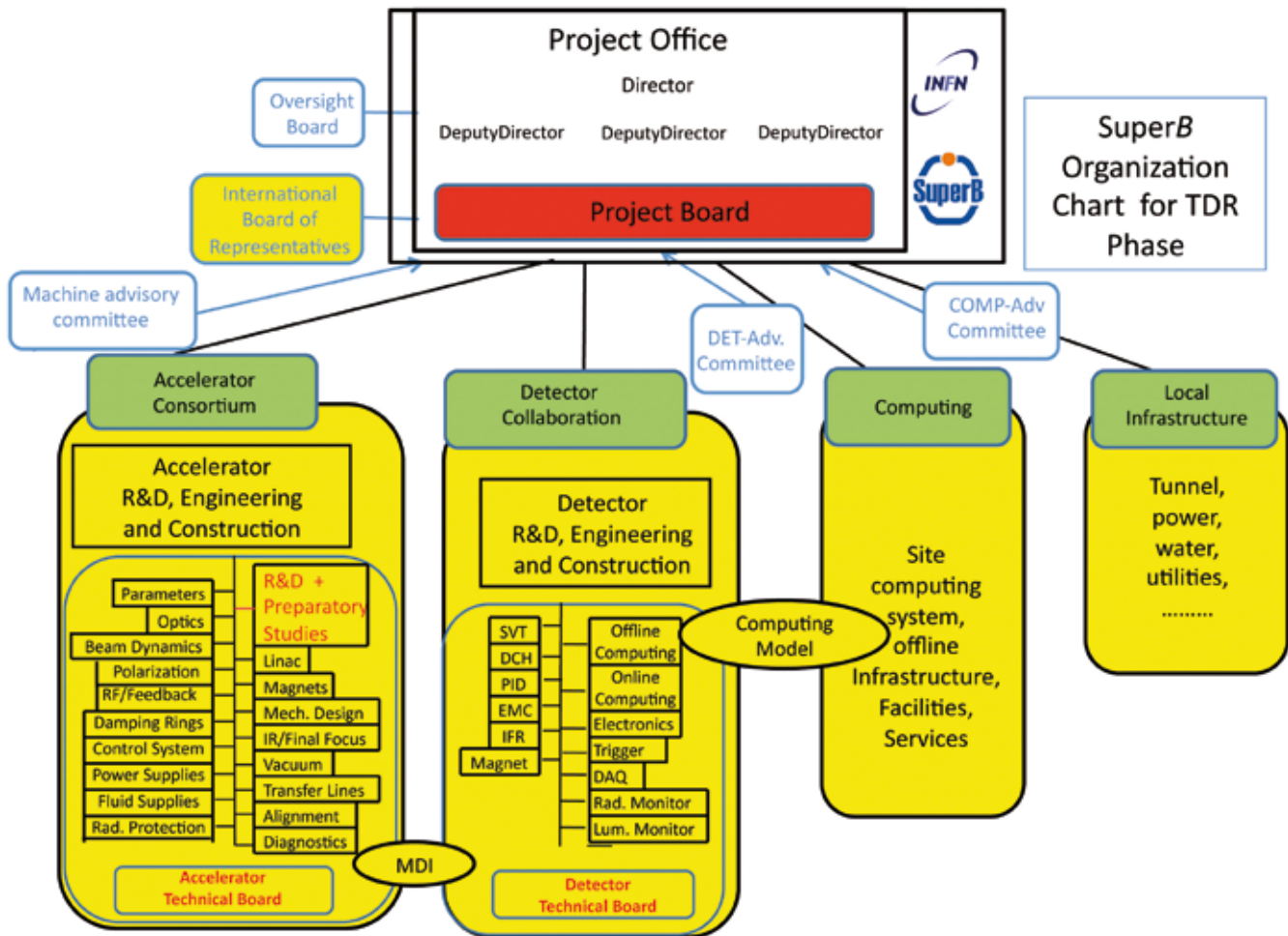


Fig. 3.30: Struttura manageriale del progetto SuperB-TDR.

Il 2010 sarà ancora un anno cruciale per il progetto SuperB. All'inizio dell'anno comincerà l'attività per la preparazione della *Technical Design Report* (TDR). A tale scopo sono iniziate le procedure per la costituzione del *Project Office* con l'incarico di preparare il TDR. La struttura del management internazionale per questo scopo è stata definita ed è riportata nel seguito.

La collaborazione internazionale che partecipa al progetto è distribuita in 5 paesi dell'Unione Europea (Italia, Francia, Polonia, Spagna, Regno Unito), inoltre nel Nord America (Canada, Stati Uniti) e in Russia.

- In Italia partecipano al progetto ricercatori e tecnologi delle sezioni di: Bari, Bologna, Ferrara, Milano, Napoli, Padova, Pavia, Perugia, Pisa, Roma, Roma Tor Vergata, Roma Tre, Torino, Trieste e dei LNF, ove è concentrata la attività di progettazione ed R&S sulla macchina.
- In Francia partecipano laboratori del IN2P3: Annecy-Lapp, Grenoble-Lpsc, Orsay-Lal, ParisVI-Lpnhe, Strasburgo ed il Laboratorio di Saclay-CEA.
- In Polonia Cracovia.
- In Spagna Barcellona e Valencia.
- Nel Regno Unito: Daresbury (Cockcroft Institute), John

Adams Institute, Queen Mary, Rutherford.

- In USA : Slac, LBNL, Caltech, Ohio, Maryland, Princeton.
- In Canada: MacGill, Triumph, Victoria.
- In Russia, Novosibirsk (BINP).

Un notevole progresso è stato fatto anche nello studio delle caratteristiche geologiche dell'area dei LNF attraverso una campagna di indagine geologica con carotaggi a varie profondità. Tali sondaggi sono stati finanziati con i fondi del progetto speciale, così come le misure di vibrazioni sismiche sul sito. Sia le misure sismiche che i sondaggi geologici hanno consentito, sia pure in via preliminare, di valutare positivamente la possibilità di localizzare SuperB all'interno dei laboratori.

La struttura organizzativa del progetto è mostrata in figura 3.30. Nel *Project Board* è particolarmente significativa la presenza con responsabilità dei ricercatori dell'Istituto.

Il finanziamento totale per il 2009 ha avuto due contributi: il primo da parte della CSN1 all'esperimento P-SuperB, pari a 812.5 kEuro; il secondo, specificamente per la preparazione della *Technical Design Report* è stato di 500 kEuro.

PROGETTO SPECIALE ELN (ELOISATRON)

Descrizione generale del progetto e attività svolte nel 2009

Lo studio di fattibilità di un futuro protosincrotrone superconduttore, con parametri di energia e luminosità superiori a quelli di LHC di almeno un ordine di grandezza, 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. Nel corso del 2009 le attività del Progetto ELN, che si avvale di una vasta collaborazione internazionale, 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.

Strutture INFN e altre Istituzioni partecipanti

Il Progetto ELN ha come sede centrale Bologna (Università e INFN) e si articola su una collaborazione internazionale, con 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: la Fondazione "Ettore Majorana" e Centro di Cultura Scientifica (FEMCCS), la World Federation of Scientists-World Laboratory (WFS-WorldLab) e il MIUR.

HIGHLIGHT 2009

Come parte integrante e di grande interesse del Progetto ELN, nel 2009 si svolto presso la Fondazione e Centro di Cultura Scientifica "Ettore Majorana" (FEMCCS) il quarto workshop della serie "An Upgraded LHC Scenario". Tale workshop ha messo in evidenza lo stato delle attività del Progetto in termini di 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 in termini di tecniche sperimentali di rivelazione e di accelerazione di particelle. A questo si aggiunto, sempre nel 2009, un workshop

di carattere più specifico, dal titolo "Hadron Beam Therapy of Cancer", focalizzato sul problema della collimazione dei fasci adronici e su quello delle loro possibili applicazioni in altri campi.

Per quanto riguarda le attività di R&S, da segnalare un risultato di grande rilevanza ottenuto nel 2009 con un prototipo di rivelatore MRPC (Multigap Resistive Plate Chamber) grazie al quale stata raggiunta una risoluzione temporale da record di soli 20 ps.

Prospettive a medio termine

Con l'avvio di LHC nel mese di Novembre 2009 e con l'imminenza della sua fase realmente operativa, a partire dal 2010, 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 2010-2012, 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. Nuovi studi dovranno essere intrapresi anche con l'idea della possibile realizzazione di un futuro collider elettrone-protone. La redazione di un ELN TDR (Technical Design Report) dovrà essere parte effettiva della pianificazione operativa.

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&S per quanto riguarda la risposta in risoluzione temporale dei rivelatori.

3.9 I PROGETTI EUROPEI

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.

IL PQ presenta delle novità importanti rispetto al precedente: la durata (7 anni) e il budget (circa 50 miliardi di euro). Va rilevato con soddisfazione che per la prima volta è stato stanziato un budget specifico per la ricerca di base, il programma IDEAS, di appoggio alle ricerche di frontiera, pari a 1060 MEuro/anno. Di grande importanza per l'INFN è anche il finanziamento, all'interno del programma CAPACITÀ, 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 anche esperti dell'INFN, è revisionata periodicamente. Una revisione della roadmap si è conclusa nel 2008.

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 100 progetti presentati nei primi bandi, più di 35 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. Escludendo il programma IDEE il tasso di successo in queste prime *call* è stato di circa il 30% (18% includendo IDEAS) 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, 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*).

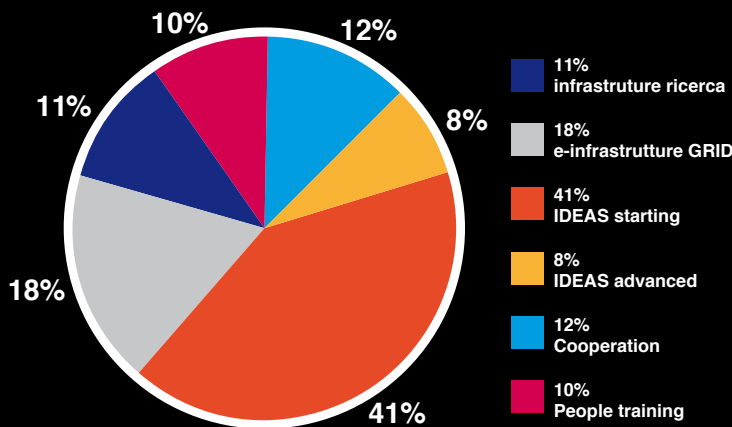


Fig. 3.31: Progetti presentati nelle varie tipologie

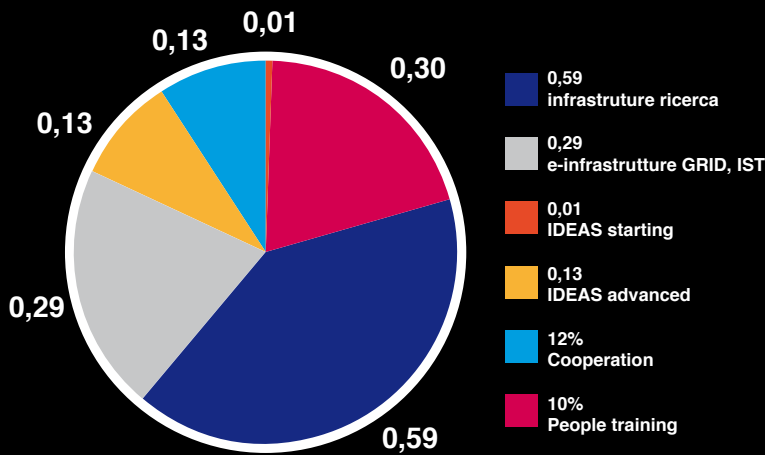


Fig. 3.32: Tasso di successo nelle varie tipologie di progetti UE

Nell'ambito del programma CAPACITÀ - 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. 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 packages*:

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

Lo strumento *Preparatory Phase* di nuove infrastrutture è, invece, una tipologia di finanziamento riservata alle infrastrutture già presenti nelle roadmap di ESFRI. Lo scopo è portare il progetto alla maturità legale, finanziaria e tecnica per essere realizzato. Nella prima *call* dedicata a 34 infrastrutture di tutte le discipline, l'INFN partecipa ad 8 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 Acc I rateur 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 ($>10^{23}$ W/cm²). Il progetto è coordinato dal francesce CNRS (*Centre National de la Recherche Scientifique*) e vi partecipano 15 istituti; l'INFN coordina la partecipazione italiana al progetto;
- 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 *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;
- 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.

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 3.9):

- EGEEIII è un progetto teso a consolidare e a migliorare l'infrastruttura Grid europea ed il *middleware*;
- EELA-2 intende creare un'infrastruttura *e-Science* comune Europa–America Latina;
- EU-ASIAGRID intende creare un'infrastruttura *e-Science* comune Europa–Asia;
- EGI (*European Grid Initiative*) è un progetto il cui scopo è definire la struttura per la sostenibilità a lungo termine della Grid europea;
- OGF-EU è un progetto il cui scopo principale è la definizione e la condivisione degli standard per la Grid europea;
- e-NMR è un progetto il cui scopo è diffondere e unificare l'e-infrastruttura NMR per i sistemi biologici.

Per quanto riguarda invece l'aspetto delle risorse umane e della mobilità, nell'ambito del programma PERSONE 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.

I ricercatori INFN hanno anche ottenuto notevoli risultati nel programma 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.inl.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 2,3 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.

Per quanto riguarda i programmi futuri, forte è l'interesse ed il coinvolgimento dell'INFN per le infrastrutture di ricerca.

Molti progetti di successo per la fisica nucleare, particellare, astroparticellare e per le nuove tecniche di accelerazione sono nati all'interno di organismi europei quali ApPEC (*Astroparticle Physics European Coordination*), NuPECC (*Nuclear Physics European Collaboration Committee*) e ESGARD (*European Steering Group on Accelerator R&D*) e prevedono la creazione di vere e proprie reti di infrastrutture di ricerca di valenza europea. Molti tra questi progetti iniziati nell'ambito del VI PQ vedono la propria prosecuzione, estensione e consolidamento dei risultati nel VII PQ. La *call* appena conclusa sulle iniziative integrate delle infrastrutture di ricerca è dedicata a progetti in aree di ricerca di interesse dell'INFN, in particolare alla fisica nucleare, alla fisica astroparticellare e a ricerca e sviluppo sui rivelatori innovativi. Le comunità dei ricercatori dell'Ente si sono organizzate per presentare nuovi progetti, alcuni di questi saranno coordinati dall'INFN. Questi progetti di respiro internazionale vedono il coinvolgimento di decine di istituzioni europee, comunità di migliaia di ricercatori ed hanno un budget totale di circa 10 milioni di euro.

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

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.

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.

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:

- **Il Laboratorio LABEC di Sesto Fiorentino (Firenze)**
- **Il Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica (CNAO)**
- **Il Galileo Galilei Institute for Theoretical Physics (GGI)**
- **Il Centro Enrico Fermi**
- **La Fondazione Ettore Majorana (FEMCCS)**
- **La Fondazione Bruno Kessler (FBK)**
- **Il Consortium GARR**

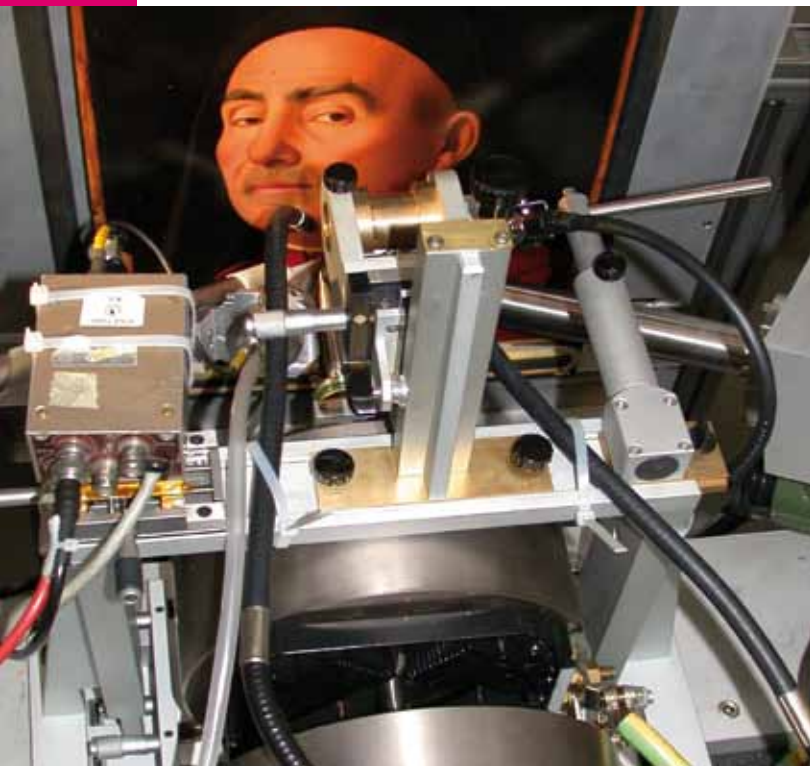
IL LABORATORIO LABEC

Il laboratorio LABEC è una grande struttura della sezione di Firenze, che occupa locali di complessivamente oltre 1500 m², basata come strumento principale su un acceleratore di particelle di tipo Tandem, da 3 milioni di Volt di tensione di terminale, col quale si effettuano diversi tipi di applicazioni interdisciplinari di tecniche della fisica nucleare di notevole impatto sociale e culturale.

Particolarmente attivo 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.

L'acceleratore Tandem del LABEC consente sia misure di *Accelerator Mass Spectrometry* (AMS) – in particolare datazioni archeologiche col metodo del ¹⁴C – che di *Ion*

Fig. 3.33: Analisi di compensazione dei pigmenti su un quadro di Antonello da Messina, Laboratorio per i Beni Culturali di Firenze (LABEC).



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 produce annualmente oltre duecento datazioni ¹⁴C 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 cinque 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, 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 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 – grazie al fatto di essere inserito in una struttura locale dell'INFN, a stretto contatto col Dipartimento di Fisica - svolge 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 due 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 oltre mezzo milione di euro. LABEC partecipa inoltre a progetti internazionali nel campo del monitoraggio del clima, quali la collaborazione EPICA (*European Project for Ice Coring in Antarctica*).

Le prospettive di attività per il prossimo triennio e soprattutto quelle a più lungo termine dipendono notevolmente 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 criticità per il dispiegarsi completo delle potenzialità del laboratorio risiede nella precarietà di buona parte del personale che vi affrisce. Molto del lavoro è portato avanti da assegnisti di ricerca o studenti di dottorato, e per una struttura delle dimensioni e delle potenzialità del LABEC, il numero degli addetti 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).

Sono comunque previsti nel triennio – oltre al mantenimento, sostenuto anche dai finanziamenti recentemente ottenuti dalla Regione Toscana, dell'attuale offerta di collaborazione all'utenza pubblica esterna per quanto riguarda le problematiche sui Beni Culturali – una serie di sviluppi metodologici sostenuti dalla CSN 5. In particolare, il miglioramento dei livelli di sensibilità e precisione delle datazioni col ^{14}C e l'allestimento delle procedure per la misura in AMS di un altro radioisotopo, lo ^{129}I , che riveste grande importanza, tra l'altro, per il monitoraggio dei possibili livelli

di contaminazione legati alle attività delle centrali nucleari. Sono inoltre previste applicazioni innovative delle tecniche IBA nel settore dei Beni Culturali e in altri campi, utilizzando la facility di microfascio esterno a scansione recentemente sviluppato.

LA FONDAZIONE CNAO

La Fondazione CNAO (Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica), in stretta collaborazione con l'INFN, sta completando 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).



Fig. 3.34: Controllo dei tumori radioresistenti con ioni di carbonio.

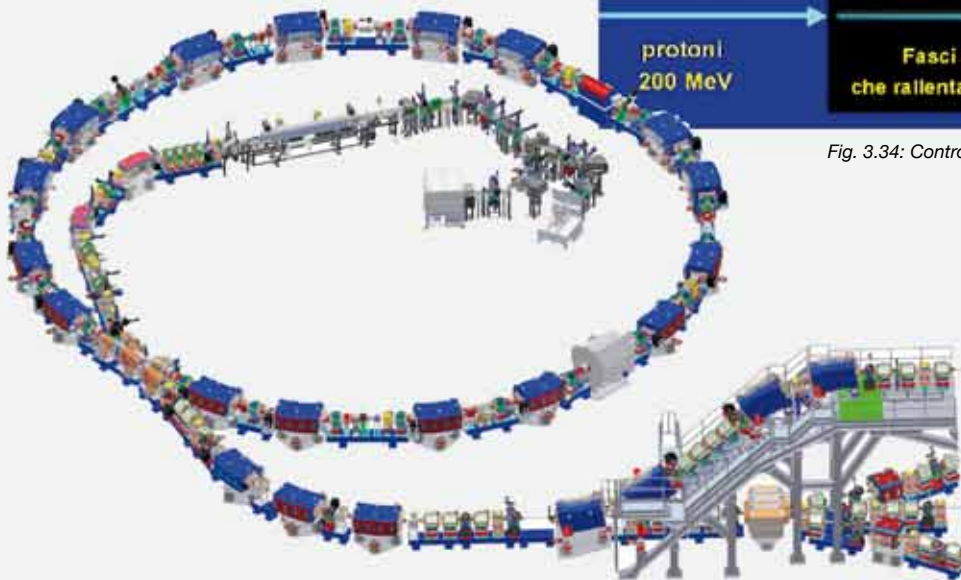


Fig. 3.35: Schema del complesso di acceleratori del CNAO e delle linee di trattamento.

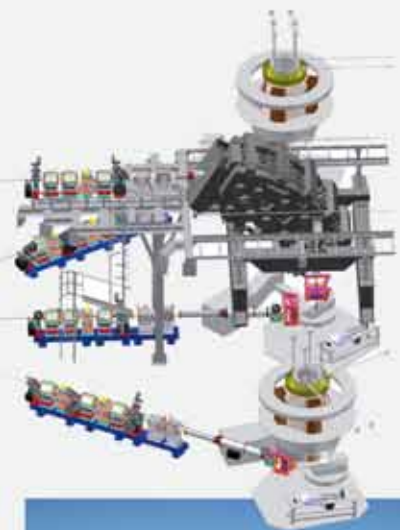


Fig. 3.36: Vista del sincrotrone.



Fig. 3.37: Sala di trattamento (in allestimento).



Fig. 3.38: Vista aerea del centro CNAO a Pavia.

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 è in fase di *commissioning*. Completata la fase di progettazione, costruzione ed installazione, già da oltre un anno è iniziata la fase di funzionamento con la

generazione e caratterizzazione dei fasci di ioni idrogeno e ioni carbonio, la loro accelerazione attraverso due strutture acceleranti, il quadrupolo a radiofrequenza e l'acceleratore lineare, che preparano i fasci di particelle in modo da avere le corrette caratteristiche per essere iniettate all'interno dell'acceleratore circolare.

Con l'inizio del 2010 è stata avviata la fase di accumulazione ed accelerazione dei fasci nel sincrotrone (figura 3.36) ed a seguire la loro estrazione e trasporto su almeno una delle tre linee di trasporto che permettono di guidare le particelle nelle sale di trattamento dove i pazienti attenderanno per essere irraggiati. Dalla tarda primavera 2010, appena saranno disponibili le necessarie autorizzazioni, inizierà il periodo di sperimentazione medica che brevemente si può riassumere in tre fasi: una prima fase vedrà i fasci irraggiare dei "fantocci" e servirà a caratterizzare i fasci stessi di particelle; una seconda fase prevede l'irraggiamento di una particolare razza di topi, la stessa utilizzata nel centro giapponese, in modo da avere una analisi comparata dell'efficacia della dose con la quale le cavie sono state irraggiate; ed infine una terza fase, in cui è previsto irraggiare pazienti umani, prima con fasci di protoni e poi con ioni carbonio. La sperimentazione clinica è prevista durare 18 mesi e si prevede di trattare 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 radiobiologia. 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.

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).

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

Il Galileo Galilei Institute for Theoretical Physics (GGI) è stato fondato dall'INFN ed è sostenuto finanziariamente dall'INFN e dell'Università di Firenze. Organizza e ospita workshop avanzati di fisica teorica (tipicamente tre ogni anno) soprattutto nel settore della fisica delle particelle; ciascun workshop è dedicato a un tema specifico alla frontiera della ricerca, dura in genere da 2 a 3 mesi e vede la partecipazione di un numero giornaliero di partecipanti da 20 a 30, selezionati all'interno della comunità internazionale.

Annualmente sono oltre 250 i fisici che partecipano a questi workshop. 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 si aggiungono alle attività consolidate del GGI.

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. Si veda anche il paragrafo 3.5.

IL CENTRO ENRICO FERMI PER IL PROGETTO EEE

Il Progetto "Extreme Energy Events (EEE)" è un'iniziativa scientifica, frutto di una collaborazione tra l'INFN, il MIUR, il CERN ed il Centro Enrico Fermi, per lo studio della radiazione cosmica mediante una rete di rivelatori installati negli istituti scolastici superiori. Il rivelatore scelto è una terna di MRPC, costruiti al CERN dagli studenti stessi, che partecipano anche alla installazione, alla manutenzione, alla raccolta e all'analisi dei dati, alla ricerca di coincidenze tra siti vicini e lontani, e sono quindi parte attiva di un Progetto scientifico.

Allo stato attuale sono coinvolti 32 istituti scolastici pilota, distribuiti lungo tutta l'Italia e prossimi a sedi di sezioni o laboratori dell'INFN, di supporto alle scuole: 4 a Torino, 3 a Savona/Genova, 3 a Bologna, 1 a Reggio Emilia, 1 a Parma, 2 a Viareggio, 1 a Grosseto, 3 a Frascati/Grottaferrata, 2 a L'Aquila, 1 a Teramo, 1 a Trinitapoli/Foggia, 1 a Salerno, 3 a Lecce, 1 ad Altamura, 2 a Catania, 3 a Cagliari. Una stazione di riferimento è stata installata al CERN.

I partecipanti al progetto si sono riuniti più volte per

presentare il lavoro fatto e pianificare quello futuro, in particolare nel mese di dicembre 2009 presso il salone delle conferenze del Ministero dell'Interno, a cui hanno partecipato più di 200 tra studenti e docenti da tutta Italia, personale e direttori di sezioni INFN coinvolte.

Nei prossimi anni è previsto un deciso incremento degli istituti scolastici coinvolti ed una collaborazione internazionale con analoghe iniziative in altre parti del mondo.

LA FONDAZIONE ETTORE MAJORANA (FEMCCS)

Dal 1963 la Fondazione "Ettore Majorana" e Centro di Cultura Scientifica di Erice, in Sicilia, costituisce un polo di attrazione per tutta la comunità scientifica internazionale grazie alle sue oltre 120 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. Le scuole, che si sono da sempre svolte all'insegna di una scienza senza segreti e senza frontiere, hanno portato a Erice in 47 anni di attività oltre centomila studenti provenienti da 140 diverse nazioni. Notizie più precise sui partecipanti, sulle attività e sulle strutture della Fondazione FEMCCS sono reperibili alla pagina web www.ccsem.infn.it.

LA FONDAZIONE BRUNO KESSLER (FBK)

La Fondazione Bruno Kessler (FBK) è un'entità voluta e sostenuta dalla provincia di Trento per la ricerca in generale (anche in teologia e germanistica) con una forte pulsione verso la ricerca scientifica, tecnologie correlate e le relative applicazioni, con particolare riguardo alla creazione di impresa nel contesto dell'alta tecnologia. Da alcuni anni l'INFN ha rapporti di collaborazione sia nel contesto dello sviluppo di sensori di silicio (per i quali FBK ha un centro di produzione tra i più avanzati in Europa), sia per quanto riguarda le tecniche di calcolo avanzato. Entrambe le linee stanno dando ottimi risultati. Vale la pena ricordare, come esempio significativo, che sensori il cui sviluppo è stato proposto dall'INFN nell'ambito delle ricerche promosse in collaborazione, come i fotomoltiplicatori di silicio (SiPm), stanno conoscendo, a solo tre anni dall'inizio dello sviluppo, un successo internazionale e l'avvio di uno spin-off è imminente. La convenzione tra i due enti è stata recentemente rinnovata. Entrambi i partner, INFN ed FBK tendono a dare un deciso sostegno alla 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 molidi 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), 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 41 collegamenti per un totale di 43 gigabit al secondo di banda. Le statistiche 2008 e 2009 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 multi-punto, ed il servizio di *certification authority* (ca.garr.it), necessario per l'accesso alle griglie computazionali.

Nel corso del triennio 2010-2012, una particolare attenzione verrà posta allo sviluppo e al supporto delle tecnologie *wireless e della Mobility* che rappresenteranno sempre di più uno strumento di base del lavoro di ricerca e di formazione.

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 ed in particolare per il progetto SPARX e per il progetto LIBI, di cui si è parlato nel paragrafo 3.8. Recentemente ricercatori che svolgono attività INFN sono stati selezionati per le audizioni a seguito dei progetti FIRB "Futuro in Ricerca", che intendono promuovere la ricerca di base proposta e gestita da giovani ricercatori.

- Sulla linea di intervento 1 (riservata a dottori di ricerca di età non superiore a 32 anni, non ancora strutturati) sono stati selezionati due dei quindici progetti presentati e coordinati dall'INFN.
- Sulla linea di intervento 2 (riservata a giovani docenti o ricercatori di età non superiore a 38 anni, già strutturati) sono stati selezionati tre dei nove progetti presentati e coordinati dall'INFN.

Numerosi sono i progetti, su entrambe le linee, coordinati da personale universitario, in cui è coinvolto, anche con ruoli significativi, personale INFN.

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. A tale scopo l'Istituto cofinanzia le ricerche con un contributo, per ogni singola linea di ricerca, non superiore al 2% del budget assegnato a ciascuna di essa.

La tabella 3.13 riassume l'esito delle ultime assegnazioni.

Anno	2005	2006	2007	2008
Stanziamiento iniziale (Euro) dopo pubblicazione del bando	1.000.000	1.000.000	797.000	400.000
Impegno effettivo (Euro) dopo approvazione MIUR	635.271	645.500	336.964	711.000
Impegno effettivo dello stanziamento iniziale	63%	64%	32%	(**) 177%
Numero strutture coinvolte	22	19	14	(*) 23
Numero progetti partecipati	24	34	20	(**) 24

(*) numero iniziale

(**) alla data del 5 febbraio 2010

Tab. 3.15: Quadro sinottico dei cofinanziamenti dei progetti PRIN da parte dell'INFN.

I Laboratori Nazionali, il CNAF e le infrastrutture di ricerca

IV CAPITOLO

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, ripartite 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 4.2), un acceleratore materia-antimateria con elettroni e positroni, che detiene il record mondiale di luminosità a bassa energia, e l'acceleratore lineare SPARC (figura 4.5), usato per produrre luce LASER con elettroni oscillanti in campo magnetico, detto LASER ad elettroni liberi (FEL). 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 scientifica di base, sono impegnate nella costruzione e messa in opera 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 e hanno da poco terminato 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 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, nel Laboratorio Nazionale Americano Fermi (FNAL) a Chicago, nei Laboratori di SLAC a Stanford, in California, al Jefferson National Laboratory (JFNAL) in Florida, 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 della 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 recentemente 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 dall'università.

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

Principali risultati scientifici ottenuti nel 2009

Segue un elenco di risultati di grande interesse scientifico, alcuni ottenuti per la prima volta nel mondo.

1) L'acceleratore DAFNE ha raggiunto la luminosità record di $4,5 \times 10^{32}$, tre volte più elevata della luminosità istantanea ottenuta precedentemente (figura 4.3). DAFNE è un acceleratore dedicato alla produzione di mesoni K, particelle che vengono studiate per osservare differenze di comportamento tra la materia e l'antimateria. Questo risultato conferma la validità delle tecniche di controllo delle orbite dei fasci (*crab-waist collision*) proposte dai LNF per

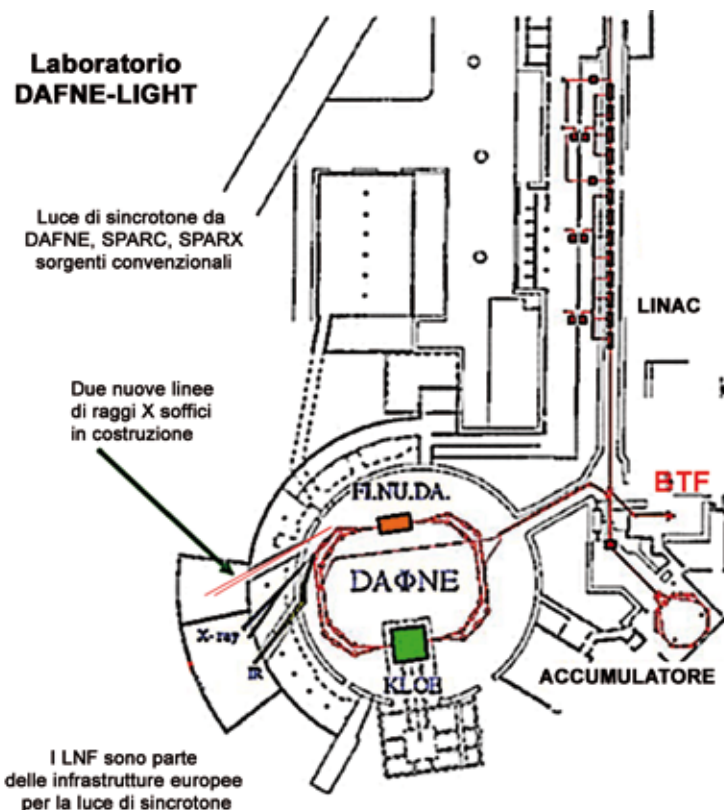


Fig. 4.1: I Laboratori Nazionali di Frascati.

Fig.4.2: Complesso dell'acceleratore DAFNE e dei laboratori di luce di sincrotrone.

umentare il numero di interazioni elettrone-positrone. Il fatto che vengano prodotti più mesoni K rende più facile lo studio dei fenomeni rari che intervengono nei decadimenti di queste particelle; è per questo che si cerca di aumentare la luminosità. I risultati ottenuti a DAFNE sono di estrema importanza, rendono possibile un nuovo esperimento con il rivelatore KLOE, che per i prossimi tre anni prenderà dati, e potranno essere applicati a possibili futuri collisionatori, come la SuperB o una DAFNE migliorata in intensità ed energia. Questo è tra i più importanti progressi ottenuti negli ultimi anni in Fisica degli Acceleratori.

2) Durante la sperimentazione su DAFNE è stato installato e messo in funzione l'esperimento SIDDHARTA (figura 4.4), che ha preso dati in condizioni stabili per circa due mesi. La raccolta dei dati si è conclusa in novembre e sono già state fatte delle pubblicazioni, altre sono in preparazione. Questa prima fase dell'esperimento SIDDHARTA si è conclusa con successo. Frascati è unico al mondo per questo tipo di esperimenti, la misura con l'elio kaonico è una prima mondiale.

3) Completamento dell'acceleratore SPARC, produzione di luce LASER con elettroni liberi, sperimentazione sulla dinamica dei fasci. Dopo la messa a punto dell'acceleratore lineare, e degli ondulatori da parte dei nostri collaboratori dell'ENEA, la collaborazione SPARC è stata capace di mostrare l'emissione di luce laser mediante la misura dell'aumento esponenziale dell'intensità luminosa negli ondulatori, inserendosi tra i primi quattro laboratori al mondo ad aver padroneggiato questa tecnica. Sono stati fatti interessanti esperimenti di manipolazione dei fasci, tendenti

ad accorciare le dimensioni longitudinali dei "pacchetti" di elettroni, riuscendo a produrre pacchetti quindici volte più corti di quelli originali. Questi risultati sono stati ottenuti, per la prima volta nel mondo, usando una tecnica speciale conosciuta col nome di *velocity bunching* e costituiscono uno dei maggiori risultati ottenuti nei LNF nel corso del 2009. Essi sono importanti perché, accorciando il pacchetto a parità di carica elettrica totale, si aumenta la corrente istantanea e questo apre interessanti prospettive per il funzionamento di futuri LASER di questo tipo, sempre più potenti e capaci di produrre impulsi di luce LASER ai raggi X.

3) Completamento del Laboratorio LIFE (Laboratorio Interdisciplinare Fotoni Elettroni) e montaggio del LASER di potenza FLAME (*Frascati Laser for Acceleration and Multidisciplinary Experiment*). Nel corso del 2009 si sono completate le sale sperimentali e le infrastrutture del nuovo laboratorio. Il LASER infrarosso FLAME è stato consegnato e montato. La sperimentazione comincerà nel 2010, limitandosi ad esperimenti con la luce laser in gas rarefatti. Successivamente la luce di FLAME potrà essere portata nella sala sperimentale di SPARC e messa in collisione con gli elettroni del suo LINAC per fare esperimenti di accelerazione e di produzione di raggi X. La vicinanza di un laser di potenza come FLAME, 300 TWatt per 25 milionesimi di miliardesimo di secondo, con i fasci prodotti dal LINAC di SPARC, e quindi la possibilità di farli interagire, rendono il laboratorio LIFE unico al mondo.

4) L'antenna gravitazionale NAUTILUS ha continuato l'osservazione del Cosmo, misurando il fondo di onde gravitazionali in collaborazione con le antenne gravitazionali

Fig. 4.3: Luminosità dell'acceleratore DAFNE. Nel 2009 la luminosità ottenuta con il nuovo schema di collisione aumentata di un fattore 3 rispetto agli anni precedenti.

Fig. 4.4: Spettro di energia dei raggi X emessi nella formazione di atomi kaonici di He4 ottenuto dall'esperimento SIDDHARTA. La misura, ottenuta per la prima volta al mondo, è stata possibile grazie alle eccezionali caratteristiche dell'acceleratore DAFNE.

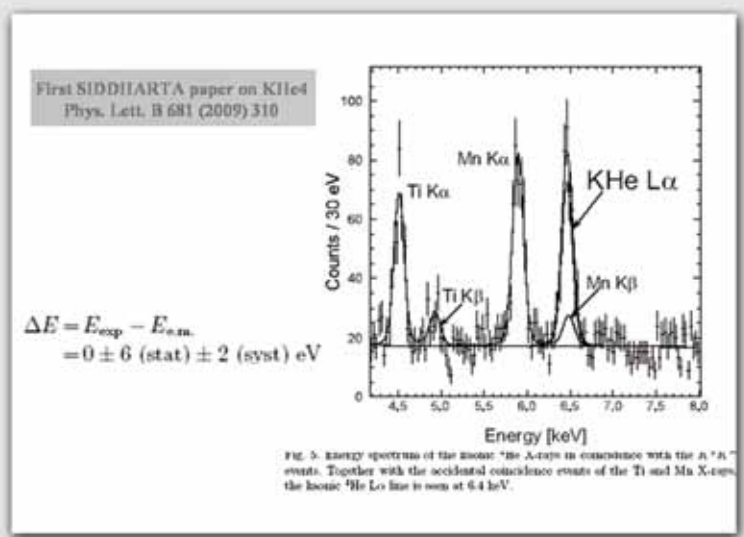
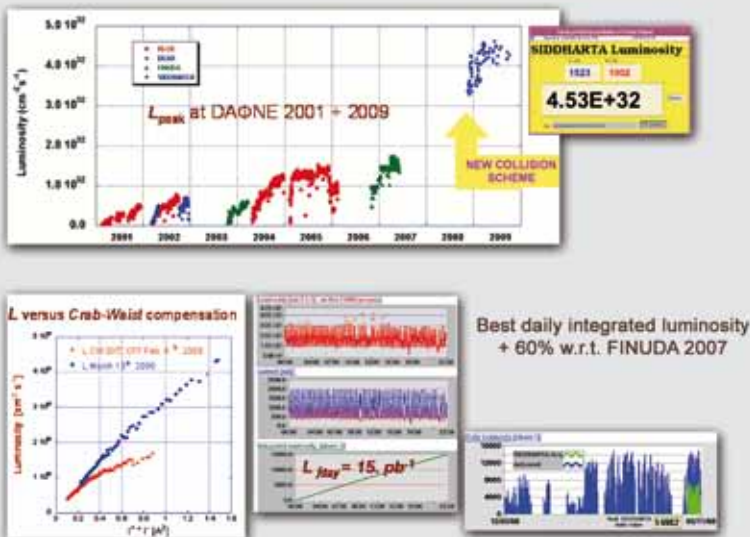


FIG. 4. Energy spectrum of the mono-⁴He A-rays in coincidence with the π⁺π⁻ events. Together with the accidental coincident events of the Ti and Mn X-rays, the mono-⁴He Lα line is seen at 6.4 keV.

negli altri laboratori nel mondo. L'antenna ha funzionato correttamente per 12 mesi.

5) La Divisione Acceleratori e la Divisione Tecnica hanno attivamente partecipato al completamento del protosincrotrone del CNAO a Pavia e sono coinvolti nella fase di messa a punto e funzionamento dell'acceleratore.

6) È stato completato e pubblicato il disegno tecnico costruttivo (*Technical Design Report*) del progetto SPARX, il nuovo LASER ad elettroni liberi capace di produrre intensi e veloci impulsi di raggi X, che sorgerà nell'area Tor Vergata-Frascati e sarà costruito in collaborazione con l'ENEA, il CNR, le Università romane e l'INFN.

Attività nei prossimi tre anni

Nei prossimi tre anni continuerà la sperimentazione a DAFNE con l'esperimento KLOE2 migliorato. L'acceleratore sarà modificato per mettere il rivelatore attorno alla nuova zona di interazione. Si prevede di ricominciare il funzionamento di DAFNE nel maggio del 2010. La collaborazione KLOE2 prenderà dati per un anno nella attuale configurazione, mentre nella primavera del 2011 saranno installati i nuovi rivelatori di vertice e la nuova calorimetria in avanti. Si spera di raccogliere 3 fb^{-1} /anno, grazie al nuovo metodo di incrocio tra i fasci (*crab-waist*). Con la maggiore luminosità raccolta, tre volte maggiore, potranno essere ripetute con migliore precisione le misure fatte finora e, forse, provare a misurare effetti di violazione diretta di CP.

Continua la sperimentazione con SPARC. Saranno provati metodi di stimolazione esterna per l'emissione della luce laser, conosciuti col nome di "*seeding*". In sostanza si invia un opportuno impulso di luce laser dietro ai pacchetti di elettroni prima che questi entrino, con la velocità della luce, nei magneti ondulatori. L'emissione "forzata" provocata dalla luce laser esterna aumenta la probabilità di amplificazione della luce, aumentandone l'intensità e accorciando lo spazio necessario per arrivare alla saturazione dell'intensità. La strumentazione per questo tipo di esperimenti è pronta, le misure inizieranno e saranno completate nel 2010. Saranno installate le nuove linee di fascio per il trasporto degli elettroni di SPARC nella camera sperimentale, dove saranno fatti interagire con la luce del laser FLAME per lo studio dello "scattering Thomson" inverso. I fotoni infrarossi di FLAME, urtando contro gli elettroni di SPARC, aumentano la loro energia rimbalzando all'indietro e producendo in questo modo impulsi intensi di raggi X. Questa sorgente di raggi X, molto intensa, e durata temporale molto corta, ha interessanti applicazioni mediche, industriali e



Fig. 4.5: Sala sperimentale dell'acceleratore SPARC dei Laboratori Nazionali di Frascati. Sono visibili, in primo piano, gli ondulatori.

di ricerca di base per la fisica dei materiali. Si prevede di completare questo tipo di misure nel corso del 2011.

La luce di FLAME nella camera sperimentale, usata per lo studio dell'effetto Thomson inverso, sarà usata per generare onde di plasma in gas rarefatti ed accelerare, con i forti campi elettrici prodotti, gli elettroni di SPARC. Questo tipo di sperimentazione costituisce una prima in Italia, e porta nei nostri laboratori una tecnologia che attualmente esiste solo in pochi laboratori nel mondo. Si prevede di iniziare questo tipo di esperimenti nel corso del 2012.

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.

L'antenna gravitazionale NAUTILUS continuerà il suo funzionamento per almeno tre anni.

Conclusioni e prospettive

Il futuro ad ampio raggio dei LNF è di iniziative. C'è molto

interesse per la costruzione del FEL a raggi X, SPARX, del quale il disegno è stato appena completato. Recentemente è stato formato un Consorzio tra l'INFN, l'ENEA, il CNR e l'Università di Tor Vergata, che si occuperà della costruzione e del finanziamento dell'opera.

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

È infine viva l'attesa per una possibile approvazione del progetto SuperB (vedi anche paragrafi 3.8 e 4.3) che permetterebbe ai LNF di mantenere una leadership mondiale nel campo degli acceleratori di particelle di alta energia e di alta intensità.

in figura 4.7 il confronto con gli altri laboratori sotterranei nel mondo. 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.

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 metri cubi e una superficie di 18.000 m². 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



Fig.4.6: Gallerie sotterranee dei Laboratori Nazionali del Gran Sasso

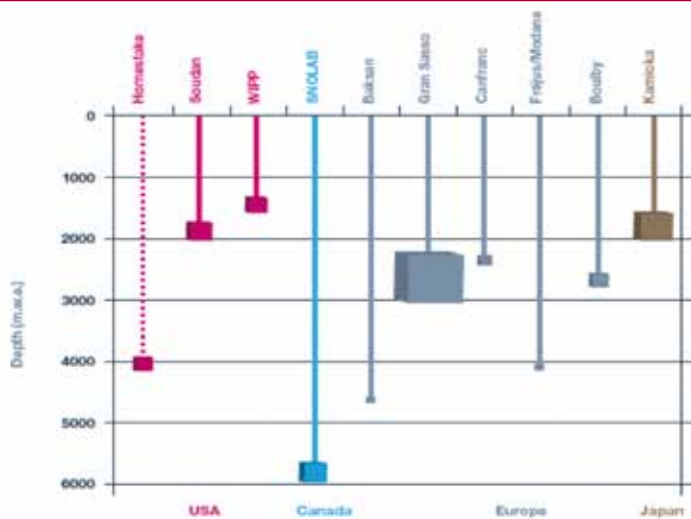


Fig.4.7: Diagramma di confronto tra i laboratori sotterranei con volumi e profondità .

I LABORATORI NAZIONALI DEL GRAN SASSO (LNGS)

Il Laboratorio

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

I Laboratori del Gran Sasso (LNGS) dell'INFN sono un'infrastruttura di ricerca per la fisica astroparticellare unica al mondo e il Laboratorio sotterraneo più avanzato per estensione, complessità e completezza di impianti. Si veda

grandi dimensioni (ad esempio, il criostato dell'esperimento ICARUS, in figura 4,8), il continuo approvvigionamento di quanto necessario al funzionamento sia del Laboratorio che degli esperimenti e un facile ricambio del personale operante al suo interno.

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 è testimoniato, oltre che dalle numerose pubblicazioni, dalla partecipazione alle ricerche che vi si svolgono da parte di circa 750 scienziati. Metà di loro sono stranieri e provengono da ventidue paesi diversi. Al momento gli esperimenti dei Laboratori sono quindici, in diverse fasi di realizzazione.



Fig.4.8: Il sistema di criogenia dell'esperimento ICARUS per la rivelazione dei neutrini ai Laboratori Nazionali del Gran Sasso.

È inoltre da citare che i LNGS nel loro complesso sono una delle poche istituzioni che hanno risentito pochissimo delle conseguenze del disastroso sisma del 6 Aprile 2009. Questo testimonia la notevole qualità costruttiva delle strutture, degli edifici esterni, nonché la solidità della struttura organizzativa dell'INFN e dei LNGS in particolare, che possono contare su un capitale umano e sociale di grande rilievo. Nessuno degli esperimenti dei Laboratori sotterranei ha subito

danni, grazie anche all'imposizione in fase di progettazione di norme antisismiche molto stringenti ed il Laboratorio è stato riaperto completamente a meno di un mese dal sisma, appena sono state completate tutte le necessarie verifiche.

Principali risultati scientifici ottenuti nel 2009

Le linee di attività principali dei LNGS coprono la fisica del neutrino, la ricerca di materia oscura e la fisica nucleare di interesse astroparticellare.

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, il principale esperimento dedicato alla rivelazione dei neutrini del CNGS è OPERA, un apparato che con i suoi 150mila "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 (ν_τ) durante il percorso dal CERN al Gran Sasso.

Nel corso del 2009 OPERA ha raccolto dati e registrato 3700 eventi da interazioni di neutrino che si aggiungono ai circa 1700 del 2008. Il numero atteso di ν_τ per l'intera statistica è circa due. Lo scanning ed analisi degli eventi raccolti nel 2008 è stata completata ed è in corso per i dati 2009. Questo ha consentito di misurare l'efficienza complessiva di localizzazione degli eventi che è in accordo con le aspettative. È stata inoltre introdotta una procedura unificata per la ricerca dei decadimenti, in corso di applicazione in tutti i laboratori di scanning. Finora sono stati identificati 15 eventi con *charm* nei dati 2008.

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°C . in grado di funzionare come uno straordinario rivelatore di particelle, permettendo una ricostruzione in 3D di qualunque interazione o spostamento di particelle cariche all'interno del suo volume. ICARUS, che richiede importanti impianti criogenici e di controllo, è in fase di completamento ed entrerà in funzione nel corso del 2010.

La rivelazione dei neutrini provenienti dal Sole nell'esperimento BOREXINO permette di studiare in tempo reale le reazioni di fusione nucleare all'interno della stella a noi più vicina e al contempo lo studio delle proprietà dei

neutrini. Un'intensa campagna di calibrazione nel 2009, che ha portato una forte riduzione degli errori sistematici delle misure, e il contemporaneo aumento della statistica raccolta consentiranno di misurare il flusso di neutrini da ${}^7\text{Be}$ con un errore inferiore al 5%, e una verifica definitiva del modello MSW-LMA di oscillazione nel vuoto. La contemporanea misura con maggiore statistica del flusso di neutrini ${}^8\text{B}$ permetterà una determinazione nello stesso esperimento del rapporto vuoto/materia dei parametri di oscillazione. È infine da sottolineare che l'analisi dei dati raccolti mostra un'evidenza significativa di rivelazione di neutrini dal centro della Terra (geoneutrini), un argomento di grande interesse per approfondire aspetti della geologia profonda del nostro pianeta.

LVD ha continuato la sua attività di osservatorio per eventi di supernova, facendo parte della rete mondiale SNEWS. L'esperimento 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). Ai LNGS sono dedicati a tale ricerca tre esperimenti.

L'esperimento GERDA, dopo aver completato l'installazione dell'apparato, ha riempito con successo il criostato con 60 m^3 di Argon e sono in corso i controlli finali prima di procedere al riempimento dello schermo esterno con acqua. Nei primi mesi del 2010 saranno inseriti i cristalli di germanio.

L'esperimento CUORE 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. Sono stati fatti importanti progressi nella preparazione delle infrastrutture dell'esperimento ai LNGS e di CUORE0, la prima delle 19 torri di cui si comporrà l'apparato. La produzione in Cina e la consegna seguita dal controllo e caratterizzazione nei LNGS di 500 cristalli di TeO_2 è proseguita regolarmente.

La collaborazione di COBRA si è rafforzata con l'ingresso di altri due gruppi tedeschi e nuovi finanziamenti che hanno consentito un'accelerazione delle attività di ricerca e sviluppo sia nei LNGS che presso le Università partecipanti. Una proposta definitiva di esperimento dovrebbe quindi essere pronta nei prossimi anni.

Lo studio della composizione dell'Universo è uno dei temi più affascinanti della ricerca attuale. Ai LNGS sono attualmente presenti quattro esperimenti dedicati alla rivelazione diretta di candidati di materia oscura, ciascuno con una diversa tecnologia, e che fanno del Gran Sasso un laboratorio all'avanguardia in tale classe di studi.

Per DAMA/LIBRA nel corso del 2009 è iniziata l'attività volta alla sostituzione dei fotomoltiplicatori dell'apparato che consentirà all'esperimento la verifica con migliore sensibilità della modulazione stagionale dei segnali di bassissima energia indotti nel rivelatore, già osservata in precedenza.

Il rivelatore WARP da 100 litri è stato sottoposto ai primi test di funzionamento, in particolare il riempimento del criostato con l'Argon è stato completato con successo a maggio, subito dopo il sisma di aprile. I test successivi hanno evidenziato tuttavia un problema nel sistema di alimentazione dell'alta tensione che ha richiesto, per essere riparato, lo svuotamento del criostato. Proseguono inoltre le attività per ottimizzare la raccolta della luce di scintillazione. La ripartenza dell'esperimento è prevista per i primi mesi del 2010.

Il rivelatore di XENON 100 litri è stato messo a punto risolvendo vari problemi tecnici. Attualmente il rivelatore è in fase di calibrazione, terminata la quale l'esperimento potrà iniziare la raccolta di dati.

Il rivelatore di CRESST, in funzione ad una temperatura di 10 mK , ha iniziato la presa dati con 10 cristalli di CaWO_4 , la cui analisi consentirà un accurato studio dei segnali di fondo. Prosegue inoltre in un criostato ad hoc l'attività di ricerca e sviluppo volta alla finalizzazione di una proposta di esperimento di massa maggiore.

Le misure 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 2009 le attività hanno riguardato dei test in vista della misura $D(\alpha\gamma){}^6\text{Li}$ rilevante per determinare la percentuale di litio primordiale da Big Bang, in particolare è stato stimato il fondo prodotto dalla reazione $D(D,n){}^3\text{He}$.

I LNGS, inoltre, sono dotati di un Laboratorio specializzato in spettrometria gamma tra i più grandi e con le migliori prestazioni. I rivelatori operanti in sottoterraneo consentono misure di valori di radioattività naturale molto basse, non possibili in superficie. Tali misure sono di grande rilevanza



Fig. 4.9: L'esperimento Borexino per la rivelazione dei neutrini, ai Laboratori Nazionali del Gran Sasso.

per tutti gli esperimenti che richiedono l'uso di materiali a bassissimo fondo.

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 2009 sono state osservate variazioni anomale della concentrazione di attività di uranio in acqua, associabili con i processi geodinamici dell'evento sismico aquilano. È la prima evidenza sperimentale al mondo di tale fenomenologia. In precedenza, ERMES ha ottenuto il migliore risultato al mondo per la datazione da radiocarbonio (estensione del massimo limite di datazione a 62,000 BP), citato nell'*Handbook of Radioactivity Analysis* (Academic Press).

Il Laboratorio ospita inoltre esperimenti di interesse geofisico, quali UNDERSEIS che gestisce una rete di sismometri e GIGS costituito da un interferometro di tipo Michelson-Morley.

Nel corso del 2009 l'attività più rilevante è stata chiaramente lo studio e l'analisi dello sciame sismico che ha colpito la zona dell'Aquila culminata con la scossa del 6 Aprile.

Attività nei prossimi tre anni

Le attività del Laboratorio sull'orizzonte del Piano Triennale 2010-2012 saranno governate da una parte dagli esperimenti già approvati e presenti nel Laboratorio, dall'altra dalla necessità di definire gli esperimenti per la ricerca di materia oscura del prossimo decennio.

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, con l'obiettivo di misurare in tempo reale anche le componenti di energia più bassa dello spettro emesso, e fornirà attraverso la misura di geoneutrini importanti informazioni sul nostro pianeta; OPERA dovrà accumulare la statistica di neutrini del CNGS necessaria per fornire la prova diretta delle oscillazioni; DAMA/LIBRA verificherà con migliore sensibilità il segnale di modulazione annuale; LVD continuerà a operare come osservatorio dei neutrini da collassi. Infine LUNA completerà nel prossimo triennio il programma di misure di sezioni d'urto di reazioni termonucleari rilevanti per la fisica astroparticellare. Inoltre si sta analizzando la proposta di realizzare nel laboratorio un acceleratore da 3 MV che consentirebbe lo studio di reazioni di fusione di elio.

ICARUS, al momento in fase di messa in funzione dell'apparato, completata la fase di controllo e riempimento dell'apparato con argon liquido, sarà in grado di raccogliere dati sul fascio CNGS.

I due esperimenti di materia oscura che utilizzano liquidi criogenici forniranno nel prossimo triennio i primi risultati di fisica: WARP-100 riprenderà a breve la sua attività dopo alcune riparazioni e migliorie seguite alla prima fase di messa in funzione e XENON-100, dopo aver dimostrato con successo il funzionamento del rivelatore, raccoglierà i primi dati a inizio del 2010 appena sarà completata la calibrazione dell'apparato.

L'esperimento CRESST, basato sulla tecnica bolometrica con cristalli di CaWO_4 a temperatura di 10 mK, sarà in presa dati con 10 moduli e contemporaneamente completerà la fase di ricerca e sviluppo sui cristalli per migliorare ulteriormente la sensibilità raggiungibile con la tecnica bolometrica.

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 rielezione dal fondo, costituiranno la base indispensabile per la scelta della tecnica migliore da utilizzare per raggiungere una sensibilità di 10^{-10} pb di sezione d'urto 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 avendo completato il riempimento del criostato con l'argon liquido, a breve completerà quello dello schermo di acqua e nei prossimi mesi inizierà a inserire i rivelatori di germanio all'interno del criostato e a raccogliere dati. Il completamento di questa prima fase ha come obiettivo la verifica dei controversi risultati pubblicati da una parte della collaborazione HdMo. In una seconda fase nuovi cristalli saranno prodotti e 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 TeO_2 e una massa di 740 kg. È ancora in fase di costruzione e ci si aspetta il completamento per il 2013, anno in cui potrà raggiungere la sensibilità di progetto di alcune decine di meV per la massa $m_{\beta\beta}$. Il programma e l'orizzonte temporale di CUORE vanno ben al di là del presente piano triennale.

L'ultimo esperimento dedicato al doppio beta, COBRA, si è rafforzato come collaborazione e ci si aspetta che nel prossimo triennio completi il suo programma di ricerca e sviluppo e arrivi a una proposta definitiva di esperimento.

Infine è da menzionare il programma LUCIFER recentemente approvato e finanziato dalla comunità europea, e che sarà sviluppato nei LNGS. Il programma 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.

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 sta delineando per i prossimi esperimenti sulla fisica delle oscillazioni dei neutrini vari scenari che dipendono in primo luogo dai risultati aspettati nei prossimi anni dagli esperimenti quali DOUBLECHOOZ, T2K, DAYA BAY ecc. sulla misura di θ_{13} . Anche con le attuali dimensioni, tuttavia, i LNGS potrebbero ancora avere un ruolo in alcuni di questi scenari nel caso della realizzazione di *Neutrino Factory* a distanza di 1500 Km (Rutherford lab) o di *Beta Beams* a base CERN con ioni ad alto Q.

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

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

Viceversa, per gli esperimenti di materia oscura, quelli attuali esprimeranno appieno le loro potenzialità prima della fine del presente Piano Triennale e quindi si impone già la scelta di esperimenti con massa intorno alla tonnellata e la formazione di collaborazioni internazionali per l'attività del prossimo decennio. I fattori di merito nella scelta riguardano

la capacità di reiezione del fondo e la sensibilità raggiungibile in rapporto anche al costo, la possibilità di avere più di una segnatura degli eventi da materia oscura quali la dipendenza dai nuclei utilizzati, la possibilità di misurare la modulazione annuale del segnale, la misura della direzionalità.

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

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

Questi ultimi anni hanno visto un incremento del numero e complessità degli esperimenti al Laboratorio del Gran Sasso. Tuttavia non è stato possibile un proporzionale aumento delle risorse finanziarie e umane necessarie a operare e gestire una così rilevante attività di ricerca.

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.

I LABORATORI NAZIONALI DI LEGNARO (LNL)

Il Laboratorio

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

La missione principale dei LNL è lo sviluppo delle conoscenze nella fisica e astrofisica nucleare di base assieme alle applicazioni delle tecnologie nucleari connesse. Il laboratorio (figura 4.10), situato nelle vicinanze di Padova ed in prossimità di svincoli autostradali ed aeroporti nazionali ed internazionali, si estende su una superficie di circa 20.000 mq ed ha a disposizione un'ulteriore area edificabile di circa 50.000 mq per lo sviluppo di nuovi progetti.

Dispone di uno staff di 110 dipendenti 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 e ALPI-PIAVE), e per applicazioni volte allo studio dei materiali, alla fisica dei neutroni e per ricerche



Fig. 4.10: Vista aerea dei Laboratori Nazionali di Legnaro.

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. Ha un ruolo importante nel contesto internazionale per lo studio delle proprietà quantistiche del vuoto. Ha competenze di eccellenza nel campo degli acceleratori ed importanti impegni in questo settore a livello internazionale.

Attività di eccellenza sono individuabili nel campo dei rivelatori per raggi gamma, per i quali sono stati realizzati importanti apparati di ampio utilizzo nella comunità internazionale (fra cui GASP ed EUROBALL) ed è in corso di completamento il prototipo denominato Dimostratore di AGATA, che verrà inaugurato nella primavera 2010. Di particolare interesse sono i rivelatori al silicio per ioni pesanti sviluppati in collaborazione con il laboratorio di Ganil 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 i Laboratori Nazionali del Sud, 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*), i cui studi e le cui fasi preliminari sono già avviati: SPES, descritto più in dettaglio nel paragrafo 3.8 riguardante i progetti speciali, è dedicato primariamente allo studio di nuove specie nucleari ricche di neutroni. Al tempo stesso tale progetto permette sviluppi applicativi relativi allo studio dei reattori nucleari di nuova generazione, alla produzione di radio-farmaci di tipo sperimentale ed innovativo (ma anche convenzionale) ed alle tecnologie innovative per la cura del cancro (*Neutron Capture Therapy*)

Principali risultati scientifici raggiunti nel 2009

Nel corso del 2009 i LNL hanno fornito complessivamente circa 4000 ore di fascio all'utenza, per misure effettuate utilizzando la maggior parte degli apparati sperimentali dei laboratori.

Si è proceduto alla messa a punto del Dimostratore di AGATA, per il quale si sono effettuati tre test sperimentali sotto fascio, l'ultimo dei quali ha permesso di verificarne l'utilizzo in coincidenza con lo spettrometro per ioni pesanti PRISMA. Tali test sono risultati essenziali per poter garantire l'inizio della sperimentazione con il Dimostratore, come concordato con gli altri partner europei del progetto, nell'anno 2010.

È stata completata la messa a punto dello spettrometro a tempo di volo RFD. L'apparato, atto alla selezione degli ioni prodotti in reazioni di fusione-evaporazione, è stato sviluppato e finanziato dall'Istituto di Fisica Nucleare di Cracovia in collaborazione con i LNL. Le misure effettuate hanno avuto come obiettivo lo studio della vita media degli stati eccitati di nuclei speculari prossimi alla "drip line" di protone.

Nell'ambito del progetto FAZIA sono stati condotti con successo i test dei primi prototipi di rivelatori al silicio *neutron doped* in grado di fornire una discriminazione in carica e massa degli ioni sulla base della forma dei segnali. Tale progetto, parte della *preparatory phase* di SPIRAL2, ha come obiettivo studi di termodinamica nucleare in reazioni con fasci esotici.

Per il progetto SPES sono state definite le caratteristiche del Ciclotrone e ne è stata avviata la procedura di acquisto.

È stata avviata la procedura per la realizzazione dell'edificio che dovrà contenere la macchina, mentre è stato installato il Front-End della facility ISOL completo di bersaglio, sorgente a ionizzazione superficiale, estrattore e prima parte di trasferimento del fascio a 30 keV.

Nell'ambito della fisica degli acceleratori si è completata l'installazione della nuova sorgente ECR (figura 4.11) dell'iniettore PIAVE. Tale apparato, attualmente operativo, permette di incrementare l'intensità dei fasci del complesso PIAVE-ALPI di almeno un ordine di grandezza rispetto alla precedente sorgente.



Fig. 4.11: La nuova sorgente ECR (Electron Cyclotron Resonance) dell'iniettore PIAVE, ai Laboratori Nazionali di Legnaro.

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

Attività nei prossimi tre anni

SPES-alpha, la prima fase del progetto SPES, già approvata e finanziata dall'INFN, si realizzerà entro il triennio, mediante l'acquisizione, l'installazione ed il *commissioning* di un ciclotrone a protoni (energie da 30 a 70 MeV e correnti fino a quasi 1A) 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/s sotto l'azione del fascio di protoni del ciclotrone. Ove abbinato ad un opportuno bersaglio, il ciclotrone potrà anche essere utilizzato come una intensa sorgente di neutroni (dell'ordine di 10^{14} neutroni/s).

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 realizzazione delle apparecchiature necessarie alle successive fasi del progetto SPES.

Particolare attenzione sarà anche dedicata allo studio di applicazioni che potranno vedere la luce nel triennio successivo. In questo ambito, di particolare interesse è la realizzazione di una sorgente di neutroni, per ricerche nel campo dei reattori nucleari di nuova generazione e per lo studio dell'effetto di flussi di neutroni sulla componentistica elettronica.

del progetto IFMIF, parte essenziale della macchina per la 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



Fig. 4.12: Modello in alluminio, scala 1:1, dell'acceleratore RFQ (Radio Frequency Quadrupoli) per IFMIF, l'infrastruttura per lo studio dei materiali per i reattori a fusione.

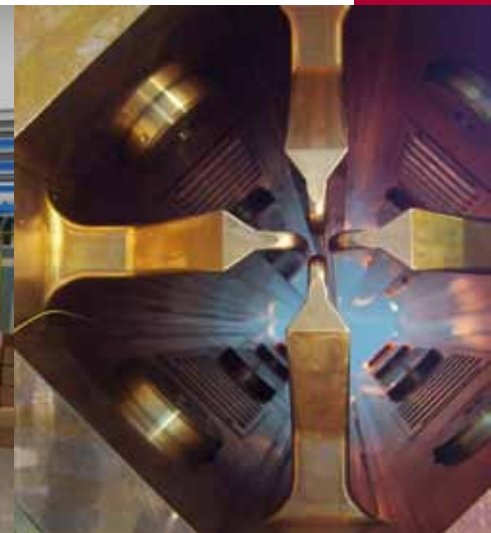


Fig. 4.13: Sorgente RFQ dell'esperimento SPES ai Laboratori Nazionali di Legnaro.

Verrà anche definito il progetto per un centro di produzione di radiofarmaci sperimentali e innovativi, attività alla quale si prevede di dedicare una delle due uscite del ciclotrone.

Il 2010 sarà per i Laboratori l'anno di inizio della sperimentazione con il nuovo rivelatore gamma ad alta risoluzione, il cosiddetto Dimostratore di AGATA. Questo rivelatore, realizzato da un consorzio di numerosi laboratori europei e con capacità di *tracking* dell'interazione dei raggi gamma con la materia, ha caratteristiche di efficienza, localizzazione dell'interazione e capacità risolutiva di gran lunga superiori a quelle degli apparati di precedente generazione. Il dimostratore di AGATA, assieme allo spettrometro a grande angolo solido PRISMA, già funzionante a Legnaro, costituiscono un potente strumento di indagine in grado di richiamare la presenza di molti sperimentatori da tutta l'Europa.

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

- la realizzazione dell'acceleratore RFQ ad alta intensità

Laboratorio dispone già di un'ottima strumentazione come il *microbeam* installato presso l'acceleratore CN. È in corso di progettazione un nuovo apparato di "microfascio-a-singolo-ione" per ioni pesanti, da installare in tempi brevi anche sulla linea di radiobiologia dell'acceleratore Tandem-ALPI.

Continuando il lavoro già in corso, finanziato dalla Regione Toscana, saranno potenziate le attività nel settore della Geologia Nucleare, dedicate alla creazione di carte tematiche della radioattività nelle rocce, nei suoli e nell'ambiente.

Si cercherà inoltre di mantenere un funzionamento ottimale, compatibilmente con le risorse disponibili, delle piccole macchine (CN e AN2002) per consentire, soprattutto agli utenti esterni, la continuazione delle proprie ricerche in ambito interdisciplinare.

Conclusioni e prospettive

Il Laboratorio dell'INFN di Legnaro, assieme a quello di Catania, si connota come presidio nazionale delle conoscenze di base in Fisica Nucleare e delle competenze nel campo delle tecnologie nucleari. I laboratori di Legnaro e Catania, in sinergia fra di loro, sono ricchezze per il paese ed

al servizio del paese, da mantenere e di potenziare.

Va mantenuta la duplice missione dei LNL, per lo sviluppo delle conoscenze nella fisica e astrofisica nucleare di base assieme alle applicazioni delle tecnologie nucleari connesse, avendo presente che i due filoni sono inscindibili: la ricerca di base priva di applicazioni appare sterile, mentre un laboratorio di moderne tecnologie, avulse dall'apporto di nuove conoscenze, è destinato ad invecchiare rapidamente.

Nel campo delle applicazioni di tecnologie nucleari, va rafforzata la collaborazione con gli enti territoriali e nazionali, ma va anche perseguito ogni sforzo per incrementare la cooperazione con le aziende.

In questo quadro, Legnaro ha tre principali linee di sviluppo, corrispondenti ad altrettante diramazioni del progetto SPES:

SPES-beta consiste nella riaccelerazione ad energie tra 5 MeV e 10 MeV degli ioni esotici prodotti dal bersaglio di UCx nel complesso ALPI-PIAVE per impiegarli, mediante reazioni di trasferimento, 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 27 MEuro ed una realizzazione nel 2013-2014.

SPES-gamma consiste nella realizzazione di un centro per la produzione e distribuzione di radiofarmaci 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 in fase di costruzione. Permetterebbe alla comunità della medicina e farmacologia nucleare di disporre di una sorgente continua e ricchissima di nuovi isotopi per la sperimentazione clinica e contribuirebbe a garantire l'approvvigionamento di radiofarmaci 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 l'università.

SPES-delta riguarda lo sviluppo di una facility principalmente dedicata alla *Neutron Capture Therapy*, una terapia sperimentale per alcuni tipi di cancro su cui è vivo l'interesse della comunità medica mondiale ed in particolare di istituzioni di ricerca sanitaria nella regione. Si basa sul completamento di un acceleratore lineare di protoni RFQ di altissima intensità già, in fase di sviluppo presso i laboratori, e sulla realizzazione di bersagli e moderatori per la produzione di fasci di neutroni termici ed epitermici. La facility permetterà anche studi nel campo dell'astrofisica nucleare e della struttura dei materiali. Il costo di realizzazione è di circa 21 M€ ed i tempi di realizzazione sono previsti in 54 mesi dall'approvazione del progetto. Anche in questo caso, per il finanziamento e per il successo del progetto, è necessario il sostegno di enti territoriali o nazionali e di istituti di ricerca in ambito sanitario.

Riguardo alle piccole macchine, si punterà a farne un polo di eccellenza per la fisica interdisciplinare, con particolare attenzione agli aspetti applicativi e al mondo dell'imprenditoria, in un'ottica anche di finanziamento o di cofinanziamento esterno.

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

I LABORATORI NAZIONALI DEL SUD (LNS)

Il Laboratorio

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

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

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 m². 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 m², 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 m² e 1.000 m² 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 una decina di dipendenti di altri enti 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 di ricerca, associati alle attività dell'INFN, che studiano e lavorano alle rispettive tesi. In totale quindi operano all'interno dei LNS circa 200 persone.

Principali risultati scientifici raggiunti nel 2009

I due acceleratori, operativi ormai da diversi anni, rappresentano le infrastrutture intorno alle quali si svolge gran parte delle attività sperimentali dei LNS nel campo della fisica nucleare di base e negli ambiti applicativi e multidisciplinari collegati. L'acceleratore Tandem SMP13 (figura 4.15) è in grado di produrre fasci di ioni ad energie che vanno dai pochi MeV fino ad alcune centinaia di MeV, con le caratteristiche di elevata risoluzione energetica e affidabile stabilità che sono tipiche degli acceleratori elettrostatici. Il Ciclotrone Superconduttore (figura 4.16) è uno dei pochissimi acceleratori europei oggi in grado di fornire fasci ionici ad energie di diverse decine di MeV/nucleone, le cosiddette energie di Fermi che coprono una regione energetica di particolare interesse per quanto riguarda il comportamento della materia nucleare.

Insieme alla gran varietà di fasci di elementi presenti in natura (fasci stabili) le due macchine possono anche produrre fasci di elementi radioattivi, altamente instabili e quindi non presenti in natura.

Il complesso EXCYT fa uso del metodo chiamato ISOL per produrre all'interno di un bersaglio spesso una gran varietà di specie nucleari, grazie all'interazione con un fascio di ioni stabili accelerato dal CS. Gli elementi prodotti vengono



Fig. 4.14: Laboratori Nazionali del Sud

Fig. 4.15: L'acceleratore Tandem Van De Graff dei Laboratori Nazionali del Sud.

Fig. 4.16: Ciclotrone Superconduttore K800 da 15 MV.

diffusi grazie ad un processo attivato termicamente, all'esterno del bersaglio e quindi avviati, dopo opportuna selezione, alla fase di post-accelerazione effettuata dal Tandem. Dal momento che tutto il processo dura tempi dell'ordine della decina di millisecondi, si possono ottenere fasci di ioni instabili che hanno vite medie di quest'ordine di grandezza.

Un altro metodo di produzione di fasci radioattivi presso i

LNS (FRIBs) utilizza il fenomeno della frammentazione in volo di un fascio primario accelerato dal CS. Tale processo produce una gran varietà di frammenti con velocità prossima a quella del fascio primario, che, opportunamente selezionati e focalizzati, costituiscono un fascio secondario che può quindi essere utilizzato per la sperimentazione. In questo caso, essendo il processo di produzione molto più rapido che con il metodo ISOL, si possono ottenere fasci di specie radioattive ancora più instabili, cioè con tempi di vita molto più piccoli, tipicamente dell'ordine dei microsecondi. Nella sperimentazione nucleare un ruolo cruciale quanto quello degli acceleratori viene giocato dalla qualità degli apparati di rivelazione.

Tra gli apparati presenti nei LNS merita una speciale menzione il multirivelatore CHIMERA (figura 4.17) che con i suoi 1200 rivelatori telescopici ricopre praticamente tutto l'angolo solido attorno alla zona di interazione fascio-bersaglio e rappresenta lo stato dell'arte nel panorama dei sistemi di rivelazione di particelle cariche e frammenti per la fisica alle energie di Fermi.

rivelare con gli stessi moduli del rivelatore anche i neutroni, cosa che permetterà un più completo studio della struttura e dei modi di diseccitazione dei nuclei ricchi di neutroni.

Sono poi presenti alcuni sistemi modulari di rivelazione (Hodo-CT, CLAD, ecc.), la cui geometria può di volta in volta essere cambiata per adattarsi all'esperimento da effettuare.

Di grande impatto sociale è l'utilizzo del fascio di protoni del CS per la terapia del melanoma oculare (progetto CATANA, figura 4.19) nell'ambito della Convenzione stipulata tra l'INFN e l'Azienda Policlinico dell'Università di Catania. Oggi il sistema è ampiamente collaudato ed è funzionante a regime, permettendo ai LNS di rappresentare il primo, e a tutt'oggi unico, centro italiano nel quale i fasci ionici vengono utilizzati a scopi terapeutici. Nello scorso triennio sono stati sottoposti alla terapia 65 pazienti, portando il numero totale di casi trattati dall'inizio dell'attività intorno a 200. La percentuale di successo della terapia, cioè di regressione o di arresto della crescita del tumore, si attesta intorno al 95%, dato sovrapponibile a quello degli altri centri

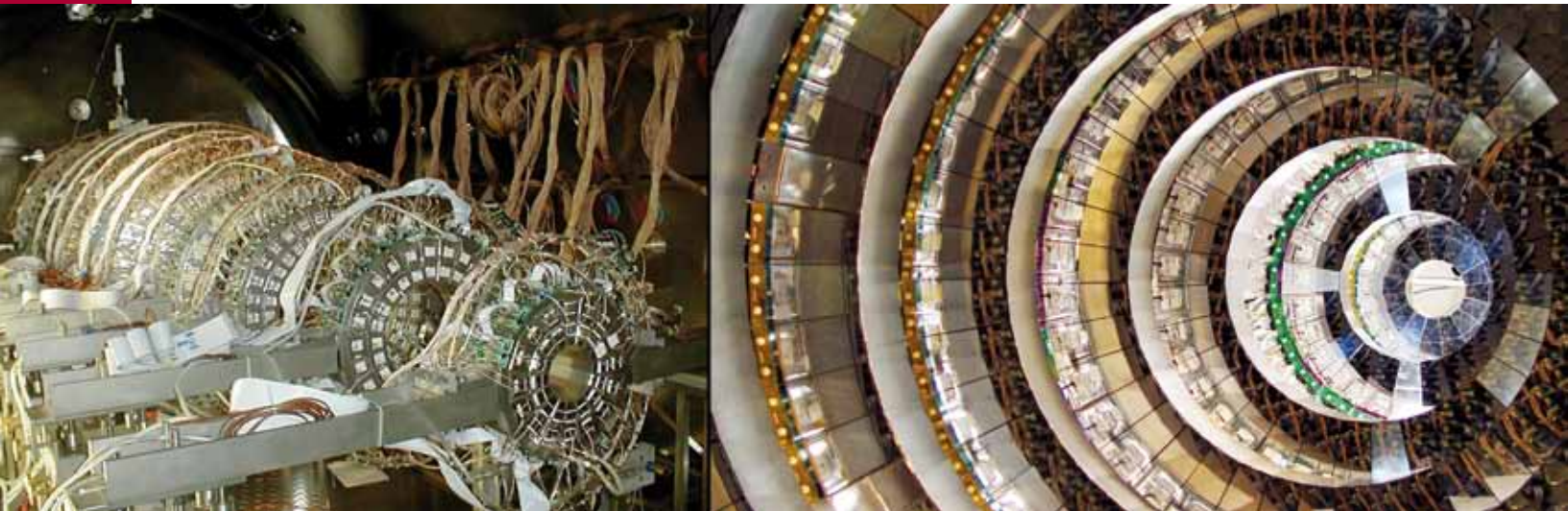


Fig.4.17: Il rivelatore di particelle cariche CHIMERA ai Laboratori Nazionali del Sud.

Lo spettrometro magnetico MAGNEX (figura 4.18) consente di misurare, con alta risoluzione energetica e in un ampio intervallo angolare, i prodotti delle reazioni indotte dai fasci Tandem e dai fasci di CS ad energie inferiori ai 30 MeV/nucleone, e rappresenta lo strumento ideale per studi di spettroscopia di nuclei stabili ed instabili e per studi di astrofisica nucleare.

Il complesso MEDEA-SOLE-MACISTE è progettato per la rivelazione di raggi gamma e particelle leggere cariche in coincidenza con frammenti pesanti emessi ad angoli molto piccoli. Attualmente è in fase di verifica la possibilità di

che, nel mondo, effettuano trattamenti simili.

L'assegnazione del tempo di fascio ai diversi esperimenti avviene, come per tutti i Laboratori Nazionali dell'INFN, in seguito alla valutazione delle proposte di esperimento da parte di un Comitato Scientifico Internazionale. Gli esperimenti vengono proposti sia dall'utenza interna che da quella esterna, quest'ultima quantificabile in circa 300 ricercatori, più di un terzo dei quali proveniente da istituti e laboratori non italiani. Nel corso del 2009 i due acceleratori dei LNS hanno fornito fasci all'utenza per un totale di circa 5.300 ore. Nella tabella 4.1 è riportata la distribuzione del



Fig. 4.18: Lo spettrometro magnetico MAGNEX ai Laboratori Nazionali del Sud.

tempo di fascio dei due acceleratori percentualmente assegnato alle varie tipologie di esperimenti, mediato negli ultimi tre anni.

Attività	Tandem	Ciclotrone
Fisica Nucleare	81%	63%
Applicazioni	19%	21%
Protonterapia	--	16%

Tab. 4.1: Distribuzione del tempo di fascio degli acceleratori dei LNS.

Attività nei prossimi tre anni

Nel corso del triennio considerato sono previsti alcuni sviluppi riguardanti gli acceleratori ed i sistemi di produzione di fasci instabili. Essi riguardano alcune modifiche, peraltro già progettate, da apportare, nel corso del 2010, alla sorgente ionica ed alla linea di iniezione del Ciclotrone, che permetteranno un incremento delle intensità dei fasci primari del CS ed una estensione della loro varietà. Questo determinerà una immediata ricaduta positiva anche sulle intensità dei fasci instabili di EXCYT e di FRIBs.

Inoltre è stata progettata e verrà realizzata, sempre nel corso del 2010, una serie di modifiche alla linea di estrazione del CS e alle linee di trasporto del fascio in modo da ottenere un ulteriore incremento della trasmissione dei fasci FRIBs lungo le linee, valutabile in un fattore compreso tra 10 e 30. Queste modifiche renderanno possibili esperimenti con fasci ancora più lontani dalla stabilità di quelli finora ottenuti.

È anche previsto lo sviluppo di nuovi fasci di EXCYT, oltre a quelli di ^8Li e ^9Li finora prodotti. La richiesta degli utenti dei LNS sembra spingere verso la produzione di un fascio di ^{15}O , particolarmente interessante soprattutto per esperimenti di astrofisica nucleare, disciplina in cui da tempo operano i ricercatori dei LNS con risultati apprezzati della comunità scientifica internazionale.



Fig. 4.19: Particolare della linea di fascio CATANA per la terapia del melanoma oculare.

In ultimo, tra le possibilità di sviluppo di costo ed impegno contenuti, occorre citare la possibilità che sta emergendo in questi mesi e che riguarda l'utilizzo di una sorgente di ^{252}Cf che produce, per fissione spontanea, una serie di frammenti che, opportunamente ionizzati ed accelerati, potrebbero costituire fasci di ioni instabili di massa intermedia, le cui intensità dipendono ovviamente dalla attività della sorgente stessa. Nel corso del 2010 questa possibilità verrà valutata, insieme a tutte le implicazioni di carattere radioprotezionistico, e, nel caso risultasse realizzabile, verrà redatto un apposito rapporto tecnico. Da una prima valutazione ci si aspetta che l'eventuale realizzazione di questo progetto possa avvenire entro il triennio.

I fasci dei LNS vengono ampiamente utilizzati anche per ricerche applicative e multidisciplinari. Esempi di queste attività sono rappresentate dagli studi di radiobiologia, di dosimetria, di analisi di reperti storici ed archeologici, di comportamento della materia in seguito ad irraggiamento con fasci ionici, di danneggiamento di componenti elettronici provocato da radiazioni. Quest'ultima attività è di particolare interesse per i componenti destinati ad essere utilizzati in missioni spaziali. Proprio in relazione ad essa è stata recentemente installata e messa a punto una nuova postazione di misura grazie alla quale i LNS, nel corso del

2010, riceveranno l'autorizzazione dell'*European Space Agency* a certificare ufficialmente la resistenza alle radiazioni di componenti da utilizzare nei satelliti. L'iniziativa si svolge nell'ambito di un contratto di ricerca stipulato tra l'INFN e l'azienda privata MAPRad srl.

Nello stesso quadro di attività applicative si inserisce la partecipazione dei LNS al progetto strategico INFN-MED con un programma di misure da condurre con gli acceleratori dei LNS e del laboratorio tedesco GSI. Scopo degli esperimenti è la determinazione delle sezioni d'urto di frammentazione di ioni pesanti da utilizzare per la definizione dei protocolli di trattamento adroterapico.

Al progetto strategico INFN-E va invece riferito il programma di misura di produzione di neutroni da bersaglio di Berillio bombardato con il fascio di protoni del CS, da realizzare nel corso del 2010, programma che è correlato alla progettazione di un generatore di neutroni nel quadro dei rapporti con l'Ansaldo Nucleare.

In collaborazione con la ditta Ansaldo Nucleare, nell'ambito del progetto strategico INFN-E, sono stati progettati e sono nella fase di realizzazione i test dei dispositivi particolarmente efficienti ed economici per il monitoraggio remoto dei siti di stoccaggio delle scorie radioattive, basati su rivelatori sensibili al singolo fotone.

La stretta collaborazione esistente con l'Istituto per i Beni Archeologici e Monumentali del CNR porterà all'estensione delle campagne di misura *in situ*, non distruttive, su reperti archeologici utilizzando i sistemi portatili di analisi sviluppati negli anni scorsi nel quadro delle attività del laboratorio LANDIS. A questo proposito è bene ricordare che, nel corso del 2009, presso i LNS è stato attrezzato un laboratorio (ALFA) specializzato nella produzione di sorgenti radioattive di ^{210}Po , da utilizzare in questi sistemi portatili. Il Laboratorio ALFA è attualmente l'unico in Europa in grado di produrre tali sorgenti.

Il gruppo che si occupa di sorgenti ioniche continua a lavorare, nel quadro di collaborazioni internazionali, allo sviluppo di modelli innovativi, come ad esempio la sorgente superconduttiva progettata e in via di realizzazione per il costruendo sistema di acceleratori FAIR al GSI di Darmstadt. Le competenze in questo ambito verranno spese anche come contributo della comunità INFN alla realizzazione della *European Spallation Source* che verrà installata in Svezia nei prossimi anni.

Composizione del personale nel 2009 e risorse finanziarie nell'ultimo triennio dei laboratori NAZIONALI (esclusi gli esperimenti)

Laboratorio nazionale: LNF

FTE INFN staff + art. 23, 15 (anno 2009)	363
FTE Associati staff (anno 2009)	130
Assegnisti, borsisti, dottorandi (anno 2009)	69
Totale risorse finanziarie spese 2007-2009 (M€)	64,6
di cui spese per investimenti (inv., c.a.) 2007-2009 (M€)	17,6
di cui spese per funzionamento 2007-2009 (M€)	40,8

Laboratorio nazionale: LNGS

FTE INFN staff + art.23,15 (anno 2009)	94
FTE Associati staff (anno 2009)	23
Assegnisti, borsisti, dottorandi (anno 2009)	27
Totale risorse finanziarie spese 2007-2009 (M€)	29,0
di cui spese per investimenti (inventario) 2007-2009 (M€)	4,2
di cui spese per funzionamento 2007-2009 (M€)	14,1

Laboratorio Nazionale: LNL

FTE INFN staff (109)+art.23 (11), art. 15 (4) (anno 2009)	124
FTE Associati staff (anno 2009)	72
Assegnisti, borsisti, dottorandi (anno 2009)	47
Totale risorse finanziarie spese 2007-2009 (M€)	32,0
di cui spese per investimenti (inv., c.a.) 2007-2009 (M€)	5,0
di cui spese per funzionamento 2007-2009 (M€)	12,1

Laboratorio nazionale: LNS

FTE INFN staff + art.23,15 (anno 2009)	121
FTE Associati staff (anno 2009)	31
Assegnisti, borsisti, dottorandi, specializzandi (anno 2009)	57
Totale risorse finanziarie spese 2007-2009 (M€)	33,2
di cui spese per investimenti (inv., c.a.) 2007-2009 (M€)	4,3
di cui spese per funzionamento 2007-2009 (M€)	22,4
(fondi INFN+esterni)	

Tab. 4.2: Composizione del personale e finanziamenti (esperimenti esclusi) dei Laboratori Nazionali.

E' da ricordare anche l'apporto che i LNS hanno dato e continueranno a dare al centro nazionale di adroterapia, CNAO, in fase di ultimazione a Pavia. Questo contributo non si limita all'aspetto delle sorgenti, ma mette a frutto tutta l'esperienza sin qui maturata sulla terapia adronica delle patologie oncologiche nell'ambito del progetto CATANA, sopra menzionato.

L'esperienza acquisita nella gestione e nello sviluppo degli acceleratori e del sistema EXCYT viene messa a frutto in questi anni con la partecipazione alla realizzazione del progetto SPES, il progetto INFN di fasci radioattivi di massa

intermedia che verrà installato nei Laboratori Nazionali di Legnaro. I LNS sono coinvolti nello sforzo di portare a compimento quella che rappresenta la più impegnativa impresa della fisica nucleare italiana di bassa energia nel futuro più immediato. Un più modesto, ma tuttavia importante, contributo viene dato anche al progetto francese di fasci radioattivi, SPIRAL2, basato sul metodo ISOL, con la progettazione e costruzione di un sistema (*chopper*) che consente il pulsaggio del fascio stabile primario.

Altra attività portante dei LNS è rappresentata dal progetto NEMO, che riguarda la progettazione e la realizzazione di un'infrastruttura sottomarina comprendente un telescopio per neutrini cosmici di alta energia con dimensioni dell'ordine del km³. A questa attività, che si colloca nell'ambito della ricerca di fisica astroparticellare, partecipano nove unità operative INFN, alcuni gruppi universitari e altri istituti di ricerca italiani interessati all'utilizzo delle infrastrutture sottomarine per ricerche multidisciplinari, come ad esempio, l'INGV, il CNR e l'OGS.

La collaborazione italiana NEMO partecipa al consorzio europeo KM3NeT, inserito nella roadmap europea per le grandi infrastrutture di ricerca elaborata dall'*European Strategy Forum on Research Infrastructures* e finanziato con due progetti: uno di *Design Study* nell'ambito del VI Programma Quadro ed uno di *Preparatory Phase* nell'ambito del VII Programma Quadro. Il *Design Study*, appena concluso, ha studiato le soluzioni tecnologiche proposte dai membri del consorzio e definito un disegno tecnico preferibile con alcune opzioni alternative. La successiva *Preparatory Phase*, il cui coordinamento è affidato all'INFN e in particolare ai LNS, ha come obiettivo la definizione degli aspetti legali, finanziari e di *governance*, nonché l'organizzazione della produzione.

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. 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.



Fig. 4.20: Il centro nazionale di calcolo TIER 1, nodo di 1 livello della rete globale GRID, presso il CNAF di Bologna.

I presupposti perché le attuali attività continuino ad 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.

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 per lo sviluppo software, sia per la realizzazione dell'infrastruttura generale GRID e CLOUD su rete geografica.

Dal 2003 il CNAF ospita il centro nazionale di calcolo dell'INFN Tier1, nato per gli esperimenti a LHC, ma presto divenuto un punto di riferimento per il calcolo di tutti gli

esperimenti dell'INFN ed in particolare per CDF, BABAR, VIRGO, PAMELA.

Nell'aprile del 2009 sono stati completati i lavori infrastrutturali per poter ospitare nella sede attuale, opportunamente estesa con nuovi spazi resi disponibili grazie ad un nuovo accordo con l'Università di Bologna, tutti i servizi tecnici necessari per portare la potenza elettrica disponibile a ~5 MWatt e la potenza frigorifera a ~1.5 MWatt espandibile fino a ~2.0 MWatt. Il progetto esecutivo si è caratterizzato per la completa ridondanza di tutte le componenti dell'infrastruttura, al fine di garantire la massima efficienza anche in caso di ogni possibile inconveniente.

Grazie all'impegno del personale del Centro, l'esecuzione dei lavori per i nuovi impianti infrastrutturali, la loro messa in opera e i relativi collaudi hanno rispettato rigorosamente i tempi previsti nel progetto esecutivo con costi finali (4,7 MEuro + IVA) al di sotto dell'importo complessivo dell'appalto di quasi il 10%, nonostante alcune migliorie decise in corso d'opera.

Con questo *upgrade* degli impianti infrastrutturali, il Tier1 del CNAF sarà in grado di ospitare le risorse per gli esperimenti a LHC fino al 2013 e oltre, secondo quanto previsto dagli attuali piani preliminari per il calcolo di LHC approvati dai *referee* e dall'Ente. Da notare anche che il centro si caratterizza per la modernità e la semplicità dei sistemi di gestione adottati,

ad es. per l'uso di tutte le risorse di calcolo e di storage, in parte commerciali, in parte sviluppati o integrati dal CNAF.

La tabella 4.3 mostra le risorse pianificate ed effettivamente disponibili nel 2009 e 2010 per i vari esperimenti. La pianificazione dei bisogni per gli anni successivi 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.

Si deve notare che, ad eccezione dei brevi periodi di *down* programmato in aprile 2008 per il trasferimento di tutte le risorse in sala 1, per permettere i lavori di upgrade e in Aprile 2009, per il passaggio ai nuovi impianti infrastrutturali, e di un breve periodo d'inefficienza nel 2008 dovuto a problemi generati da un difetto strutturale del nuovo pavimento flottante in sala 1, l'uso delle CPU del Centro è stato quasi sempre vicino alla saturazione con un'affidabilità attorno al 95%, comparabile se non maggiore di quelle degli altri Tier1.

L'analisi dell'efficienza di utilizzo delle CPU e dello storage del centro dal momento dell'attivazione dei nuovi impianti nell'aprile del 2009 mostra che non c'è stato nessun *down* da aprile fino a fine 2009 e che tutti i nuovi impianti (elettrico, raffreddamento, ecc.) hanno funzionato egregiamente e senza inconvenienti di sorta.

Experiment	%	2008			2009			inizio 2010			meta' 2010 (opzione)		
		CPU HS06	DISK TB-N	TAPE TB	CPU HS06	DISK TB-N	TAPE TB	CPU HS06	DISK TB-N	TAPE TB	CPU HS06	DISK TB-N	TAPE TB
ALICE	22%	2992	330	428	2992	330	428	6793	1008	884	12120	1351	1433
ATLAS	32%	4352	480	623	4352	480	623	9880	1466	1286	19080	1995	1370
CMS	35%	4760	525	681	4760	525	681	10807	1603	1406	15195	2055	2217
LHCb	11%	1496	165	214	1496	165	214	3396	504	442	6600	504	442
Total LHC TIER1		13600	1500	1946	13600	1500	1946	30876	4580	4018	52995	5905	5462
BaBar / SuperB		4860	350	0	4860	350	0	4860	350	0	4860	400	0
CDF		4644	170	15	4644	220	15	5160	220	15	6200	270	15
LHCb TIER2		2400	0	0	2400	0	0	3600	0	0	5700	0	0
TOTALE GRUPPO I		11904	520	15	11904	570	15	13620	570	15	16760	670	15
AMS2		100	5	20	100	9	20	128	9	30	388	73	50
ARGO		600	100	240	600	120	240	600	120	380	800	140	566
AUGER		0	0	0	0	0	0	0	0	0	800	60	0
FERMI/GLAST		20	15	0	20	60	0	600	60	40	1400	60	40
MAGIC		80	7	8	80	20	8	320	20	30	320	20	30
PAMELA		80	12	32	80	48	32	280	48	48	400	48	64
Virgo		1000	150	200	1000	300	200	4000	300	300	7508	515	348
TOTALE GRUPPO II		1880	289	500	1880	557	500	5928	557	828	11616	916	1098
All experiments		27384	2309	2461	27384	2627	2461	50424	5707	4861	81371	7491	6575
All w/ overlap factor		22820	2099	2461	22820	2388	2461	42020	5188	4861	67809	6810	6575
CNAF TOTAL (PLAN)		22820	2099	2461	22820	2388	2461	42020	5188	4861	67809	6810	6575
CNAF to be procured					0	289	0	19200	2800	2400	33286	2009	1714

Tab. 4.3: Il piano di sviluppo delle risorse al Tier1.

Global accounting: wct_hours
 Time period: from 01/04/2009 to 31/12/2009
 (275 days)

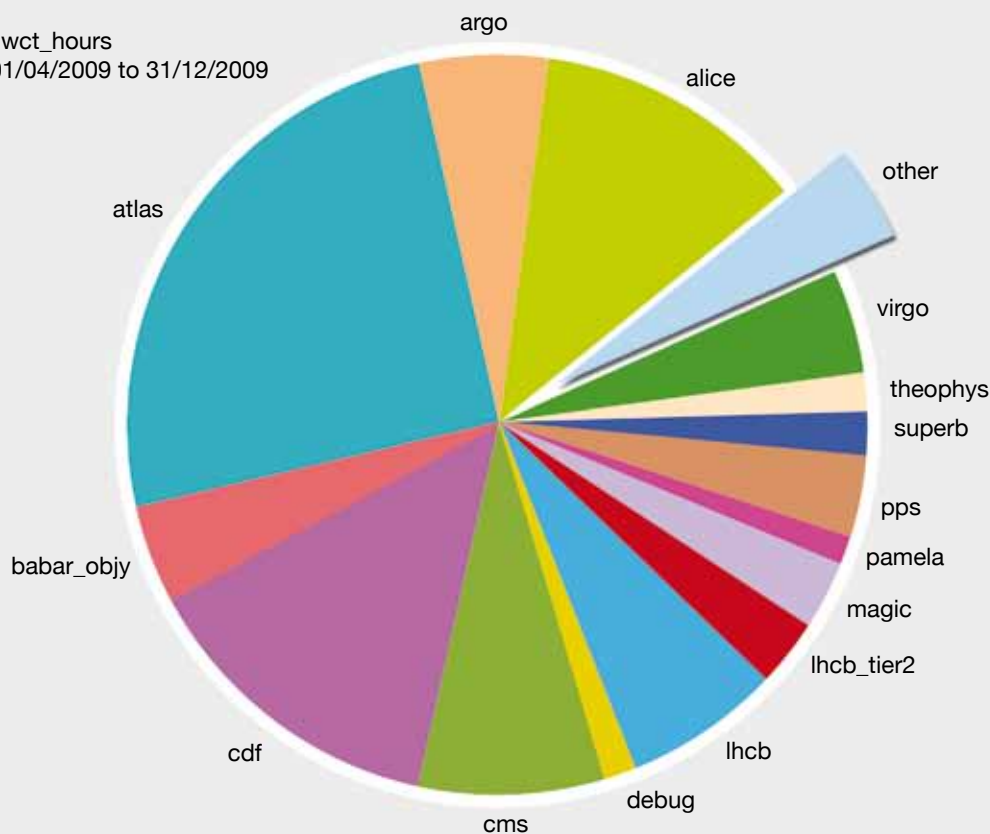


Fig. 4.21: Distribuzione dell'utilizzo delle risorse di calcolo da parte dei vari esperimenti

La figura 4.21 mostra l'utilizzo della CPU al CNAF durante il 2009 da parte dei vari esperimenti, che corrisponde alla pressoché completa saturazione di tutte le risorse disponibili.

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

Il Servizio Operativo di Grid del CNAF si occupa di garantire un buon livello di funzionalità dell'infrastruttura INFN Grid in collaborazione con i gestori dei siti, fornendo supporto specialistico di primo e secondo livello agli utenti degli esperimenti, e agli operatori Grid dei siti INFN. Il servizio gestisce i servizi Grid centrali per autenticazione, sottomissione di *job*, data transfer, monitoraggio e l'accounting in INFN Grid. Inoltre, collabora con i centri operativi Grid nazionali presenti in Europa, si occupa di formazione degli utenti e gestori di Grid, partecipa ad attività di sperimentazione e certificazione del middleware Grid e contribuisce ad attività di sviluppo di tool operativi per *monitoring* e *accounting*.

In particolare, nel corso del 2009 è stato messo a punto un sistema *ad hoc* per la raccolta di dati di accounting per computing e storage per le risorse italiane WLCG, basato

su tecnologia DGAS e HLRmon. Il sistema di *accounting* è stato migliorato grazie ad una intensa attività di validazione, e la configurazione di tutti i servizi centrali Grid in Italia è stata migliorata per aumentarne la robustezza. Nel complesso nell'arco del 2009 l'affidabilità complessiva dell'infrastruttura Grid italiana è migliorata visibilmente. È stato messo a punto un sistema di monitoraggio della sottomissione di *job* in Grid il quale viene anche utilizzato per l'implementazione di un sistema di *load balancing* e *failover* del servizio WMS, utilizzato dagli esperimenti LHC. È stato migliorato il supporto al calcolo MPI, inoltre è stato prototipato un innovativo sistema di *monitoring* basato su tecnologia Nagios. Nel 2009 il servizio Grid ha contribuito significativamente alla definizione di nuovi progetti Grid, sottomessi recentemente alla comunità europea che definiscono il programma di attività previsto per gli anni 2010-2014. Il Servizio Grid ha infine contribuito alla definizione e formazione di EGI (*European Grid Initiative*), una nuova organizzazione per la futura sostenibilità delle attività Grid in Europa. Vedi, a tal proposito, anche i paragrafi 3.8 e 4.3.

Le attività passate e i piani per il prossimo futuro del settore R&S hanno l'obiettivo principale di fornire agli esperimenti un'e-infrastruttura generale di calcolo e *storage* sempre più performante, basata su tecnologie di Calcolo Distribuito, ora Grid e Cloud, sia al CNAF/Tier1, sia a livello nazionale e internazionale.

Nel 2009 Il CNAF/R&S ha continuato la sua attività nel

settore del calcolo distribuito e la sua partecipazione a progetti nazionali, europei e internazionali di Grid (INFN-GRID, EGEE-III, ETICS II OGF EU, WLCG...). In tale ambito, in collaborazione con il Tier1 e il gruppo GRID-OP, il gruppo R&S ha contribuito a fare del CNAF il centro di riferimento nazionale sia per lo sviluppo e il consolidamento del software, sia per la realizzazione d'infrastrutture generali per l'uso della tecnologia Grid e Cloud su rete geografica. Il CNAF/R&S ha contribuito alla definizione del nuovo progetto europeo EMI (*European Middleware Infrastructure*) per garantire la mantenibilità, il supporto e lo sviluppo del middleware di EGI (*European Grid Infrastructure*).

Numerosi sono i pacchetti software sviluppati e costantemente aggiornati dal gruppo R&S del CNAF per l'accesso, l'uso e la gestione delle risorse di calcolo e storage su Grid. Inoltre sono iniziate nuove attività, in collaborazione con il Tier1, sull'utilizzo della virtualizzazione sia con la sottomissione di *job* in Grid, selezionando specifici ambienti virtuali, sia con lo sviluppo di una nuova interfaccia 'Cloud' in *resource sharing* con Grid.

Piani di sviluppo per i prossimi anni

In generale le linee di sviluppo sono definite dalle necessità di completamento di alcuni servizi, dalla necessità di interoperabilità con altri *middleware* presenti in EMI, dalla necessità di aprirsi all'uso di altre credenziali, dall'integrazione con le *policy* di autorizzazione e con i sistemi di *accounting*, e da ultimo dall'introduzione della "virtualizzazione".

È continuato lo sforzo per rendere operativo l'aumento della banda disponibile al Centro che ora può effettivamente contare su una linea dedicata a 10 Gbps con il CERN ed una linea fino a 10 Gbps per i collegamenti con gli altri Tier1 WLCG, i Tier2 INFN ed il resto del mondo. Per il futuro si è richiesto al GARR la disponibilità di un'altra linea a 10 Gbps al fine di separare il traffico verso gli altri Tier1 dal resto.

Il CNAF ha la responsabilità di parecchi servizi svolti a livello nazionale: nel corso del 2009 i server web di esperimenti e progetti che sono stati installati su server dedicati al CNAF (<http://web.infn.it/index.php>) sono arrivati ad una quarantina; sono diverse centinaia le mailing list per il dominio *@infn.it* attive, è sempre attivo il sistema di backup per i mail server INFN, il DNS *primary server* è tuttora gestito dal Centro e così pure uno dei tre server AFS nazionali. Il gruppo multimediale ha continuato la sua attività sia come produzione video, che come streaming. Il Centro gestisce le video e fonocherenze per tutto l'INFN

che complessivamente vengono usate circa 55K 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.

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 finalizzato alla preparazione del *Technical Design Report* di SuperB, che è un progetto di ricerca integrato che comprende la realizzazione del 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. A questo proposito occorre pensare che i dati da analizzare e immagazzinare nei centri di calcolo ammontano a decine di petabytes (10^{16} bytes).

Scopo del programma scientifico è di investigare una possibile derivazione delle diverse teorie, che attualmente interpretano i fenomeni fisici, da una teoria più generale ed unificatrice, che possa anche spiegare i meccanismi alla base dell'origine dell'Universo poco dopo il Big Bang.

Questo obiettivo può ovviamente 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. D'altra parte esiste un metodo complementare con il programma di LHC; è quello proposto per SuperB e che consiste nell'aumentare a bassa energia il numero di reazioni prodotte in laboratorio, alla ricerca di piccolissimi effetti non previsti dalle teorie oggi universalmente accettate. L'investigazione sperimentale in accordo con questo secondo metodo può essere realizzata a costi decisamente inferiori al primo, grazie alle nuove

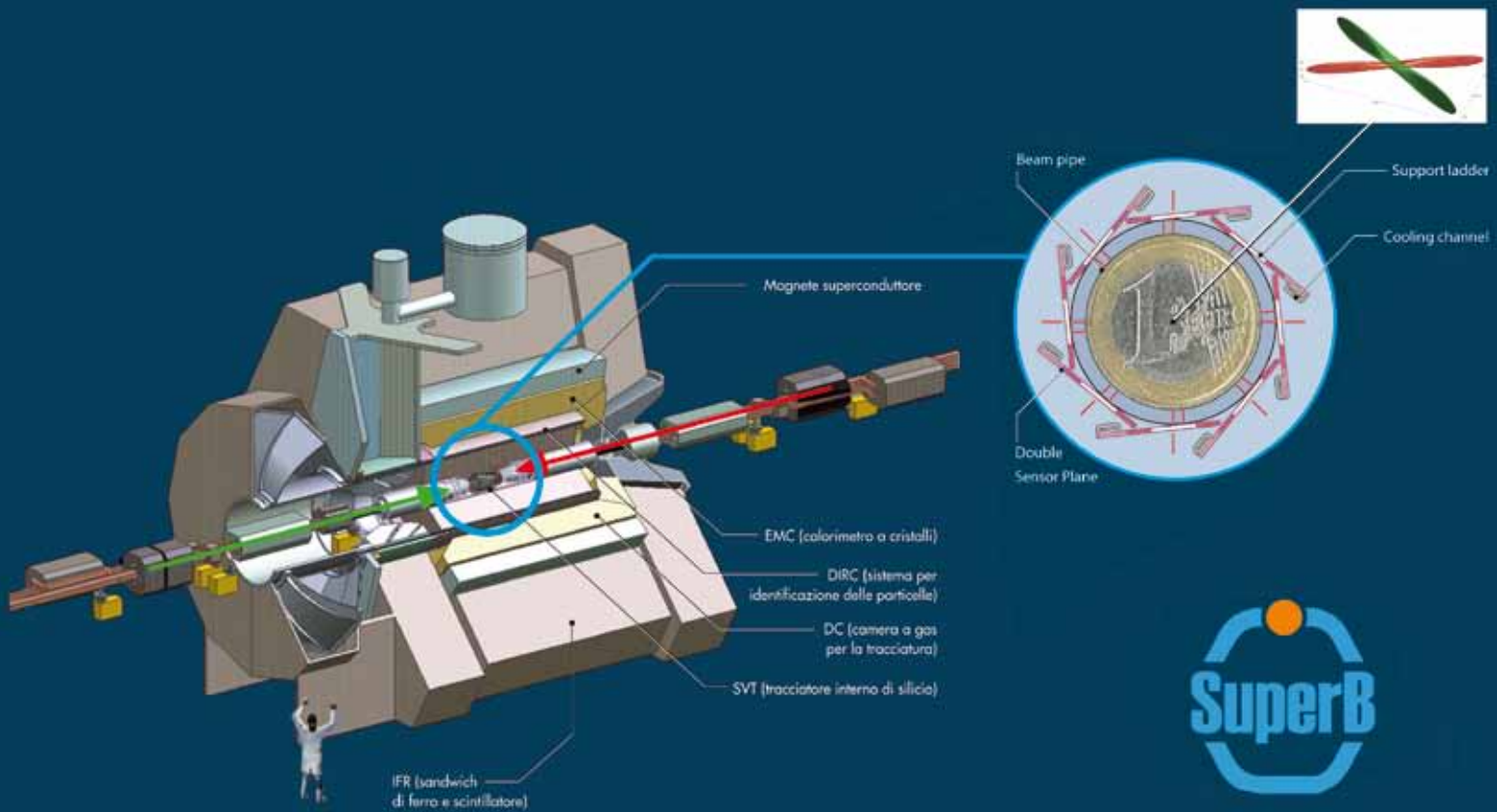


Fig. 4.22: Schema del collisore elettrone-positrone Super-B.

tecniche di accelerazione sviluppate in ambito INFN e che permetteranno di ottenere luminosità maggiori di $10^{36} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$.

Il programma di fisica della SuperB copre vari settori della fisica di sapore; attraverso le annichilazioni $e^+ e^-$ in coppie di fermioni si propone di studiare processi rari di *charm*, *beauty* e leptoni *tau*. SuperB è infatti una *Super Flavor Factory*, cioè uno sviluppo assai avanzato delle *B-Factories* PEP-II (USA) e KEKB (Giappone), consentendo di andare ben al di là dei loro programmi di ricerca, con sovrapposizioni soltanto parziali e comunque con precisioni ordini di grandezza migliori. In pochi punti il programma scientifico di SuperB è riportato di seguito:

- Migliorare, attraverso un insieme ampio di misure su decadimenti rari di mesoni con *b*, di almeno un ordine di grandezza la precisione ottenuta dagli esperimenti BABAR e BELLE nella determinazione degli elementi del triangolo di unitarietà della matrice di *mixing* CKM. Sottoporre pertanto CKM a test al livello di 1%.
- Migliorare di un fattore fra 10 e 100 la sensibilità alla violazione del sapore leptonic (LFV) nei decadimenti di leptoni *tau* (τ), con possibilità di scoperta. Queste misure sono complementari ad esperimenti dedicati sui muoni e possono permettere di distinguere fra modelli diversi di violazione.
- Esplorare la violazione di T nella fisica del τ .
- Esplorare una possibile struttura magnetica del τ ($g-2$).
- Esplorare la violazione di CP nei decadimenti del *charm*.

- Studio con alta statistica della spettroscopia, alla scoperta di nuovi stati.

Gli studi sui decadimenti del τ beneficiano della possibilità di SuperB di avere almeno uno dei due fasci polarizzato con polarizzazione $P > 65\%$.

Per lo studio di CP nel *charm* esiste l'opzione di operabilità della macchina ad una energia nella regione di soglia di produzione dei mesoni con *charm*; queste misure possono fornire informazioni sulle fasi coinvolte nel meccanismo di violazione.

Per centrare l'obiettivo di scoperta di nuova fisica c'è bisogno di effettuare gli studi su elencati raccogliendo una statistica di eventi molto elevata, circa 2 ordini di grandezza maggiore di quelle di BABAR e BELLE. Questo è possibile in meno di 5 anni di operazioni accumulando dati prodotti da una macchina $e^+ e^-$ asimmetrica come SuperB alla sua luminosità di progetto.

Le principali caratteristiche dell'acceleratore SuperB sono:

- Luminosità $> 10^{36} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ @ $\Upsilon(4s) - 1$
- Luminosità integrata $> 75 \text{ ab}$ in 5 anni (stima basata sul comportamento delle *B-Factories* PEP-II e KEKB)
- Energia nel CM aggiustabile: dalla soglia di produzione di τ fino alla produzione di $\Upsilon(4s)$
- Polarizzazione (65-85%) di uno dei due fasci
- Boost di Lorentz $\beta\gamma \sim 0.28$ ($\sim 4 \times 7 \text{ GeV}$)
- Potenza dissipata $< 30 \text{ MW}$.

- 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

è al momento in fase editoriale e pronto per la pubblicazione il TDR (vedi paragrafo 3.8) di SuperB, che sarà completato per gli inizi del 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 esemplare 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. 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* diagnostico, *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.

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.

La fase che inizierà nel 2010 ancor prima del completamento

del TDR sarà già preparatoria alla costruzione dell'acceleratore, del rivelatore e dei centri di calcolo.

A tale scopo, 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, dal Canada e dall'Asia, occorre dotarsi di 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.

Relativamente al sito è previsto il completamento degli studi geologici e sismici nell'area dei Laboratori Nazionali di Frascati, l'inizio dello studio di impatto ambientale, la preparazione del piano delle sicurezze, le valutazioni relative alla produzione di radiazione elettromagnetica, la convocazione di una conferenza dei servizi, il progetto esecutivo delle infrastrutture. Entro il termine del triennio che si apre è previsto il completamento delle infrastrutture.

Sull'acceleratore è previsto lo sviluppo del Linac, dei *damping rings*, delle *transfer lines* e, in collaborazione con il gruppo di acceleratoristi e ingegneri di SLAC, la organizzazione per lo smontaggio e successivo trasporto in Italia di componenti (magneti, supporti meccanici e radiofrequenza, ecc.) della *B-Factory* PEP-II, che possono essere riutilizzati nella costruzione di SuperB. Entro il triennio in esame sarà possibile la messa in funzione del linac iniettore, dei *damping rings*, delle *transfer lines* e l'inizio dell'installazione dei componenti nei due anelli principali.

La realizzazione del rivelatore, 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, parte del calorimetro elettromagnetico, una camera a deriva ad alta accettazione ed il rifacimento dei rivelatori di muoni.

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 km³.

Per osservare l'intero cielo sono necessari due telescopi di neutrini posizionati in emisferi opposti. Nelle profondità dei ghiacci dell'Antartide, ICECUBE, un telescopio da un kilometro cubo che osserva l'emisfero Nord, è già in avanzata fase di costruzione. 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 nel processo di revisione del 2008.

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*, appena concluso, 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* di prossima pubblicazione. La redazione di questo documento, che ha fortemente coinvolto la collaborazione italiana, ha rappresentato la principale attività del consorzio durante il 2009.

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 sembra 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. Per la sua natura l'infrastruttura potrà essere concentrata in un singolo sito o distribuita su più siti. La valutazione delle due soluzioni è in corso nell'ambito del *Preparatory Phase*.

L'INFN ha avviato un'attività di Ricerca & Sviluppo in questo settore attraverso la collaborazione NEMO, finanziando, nel corso degli ultimi dieci 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 ingente 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 Geo Vulcanologia), dotato di strumenti per il monitoraggio sismico ed ambientale. In parallelo con le attività mirate allo 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 quello di realizzare 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, che sarà installata presso il Test Site dei LNS al largo di Catania.

Il 2009 ha visto il completamento dell'infrastruttura sottomarina e di terra presso il sito candidato di Capo Passero (figura 4.24). Il sito, a 3500 m di profondità e a circa 80 km dalla costa, era già stato collegato nel 2007 a terra con un cavo elettro-ottico di 100 km di lunghezza. Nel 2009 l'impianto è stato completato con l'installazione di un apparato sottomarino di terminazione del cavo che alloggia un convertitore di potenza DC/DC da 10 kW realizzato da Alcatel sulla base di un progetto innovativo specificamente sviluppato per applicazioni sottomarine (figura 4.25). La potenza installata potrà essere espansa installando ulteriori convertitori, fino a raggiungere la potenza necessaria per un telescopio di dimensioni di circa 2 km³, stimata in circa 50 kW. Anche il numero totale delle fibre-ottiche (20) è sufficiente per il trasporto dei dati di un apparato di tali dimensioni. Nel 2009 è stata anche completata la ristrutturazione dell'edificio adibito a stazione di terra, in cui sono alloggiati la parte di terra del sistema di potenza e gli apparati di acquisizione dati. La ristrutturazione di una seconda parte dell'edificio, che ospiterà un padiglione per l'assemblaggio ed il test di grandi strutture meccaniche, è programmata in futuro.

Si è anche completato il progetto PEGASO, cofinanziato dalla Regione Sicilia e realizzato dall'INFN in collaborazione con l'INGV. L'infrastruttura realizzata comprende un robot controllato dalla superficie in grado di ispezionare e

Fig. 4.23: Grafica con lo schema della torre NEMO

manipolare la strumentazione di profondità e di un sistema adatto al deployment 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 a fine 2011 dopo il completamento dei test sui prototipi. 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 ICE CUBE. 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 km³ (figura 4.23). Il costo complessivo è valutato in circa 250 milioni di Euro.

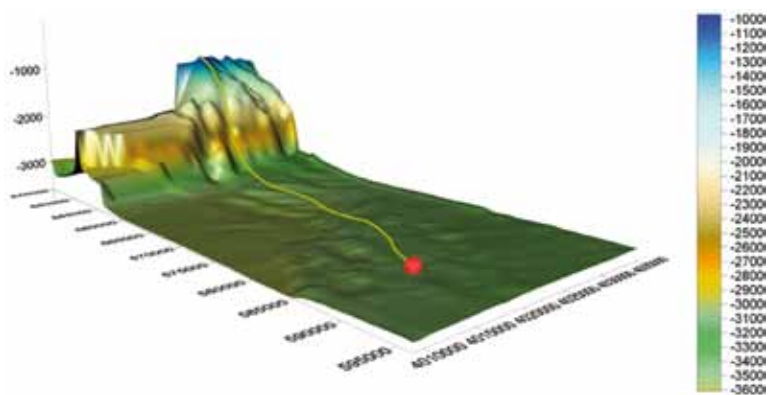
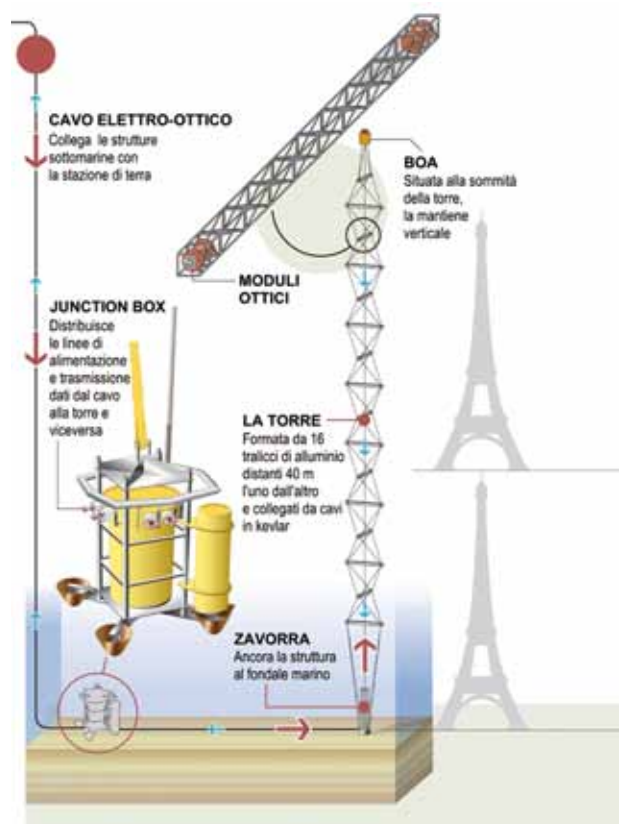


Fig. 4.24: Schema di posizionamento del cavo sottomarino nel sito di Capo Passero.



Fig. 4.25: Foto scattata durante le operazioni di connessione della torre al box di alimentazione alla profondità di 2000 m.

La complessità di un tale apparato impone che sia realizzato con più *cluster*, ciascuno comprendente un centinaio di strutture, posizionati o in un singolo sito e 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.

Come prospettiva a medio termine si propone l'avvio della costruzione di un *cluster* di circa 100 torri sul sito di Capo Passero, per un budget previsto di 80 milioni di Euro. Questo apparato consentirà l'osservazione del cielo australe con sensibilità due volte superiore a quella di ICECUBE e circa due ordini di grandezza superiore a quella degli apparati ad oggi operanti nell'emisfero nord (ANTARES e BAIKAL).

La Regione Sicilia ha espresso intenzione di concorrere al reperimento dei fondi necessari per la costruzione della struttura a Capo Passero, ricorrendo a fondi strutturali e/o FAS.

Coerentemente con questo schema l'INFN, in collaborazione con l'IN2P3 ed il CEA, ha avviato la costruzione di un prototipo di struttura di rivelazione a torre, progettata secondo le linee definite nel *Technical Design Report*, la cui installazione sul sito di Capo Passero è programmata per la metà del 2011.

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, Egeel, II, III (vedi paragrafo 3.9).

La Grid dell'INFN, insieme con altre Grid italiane e con la collaborazione con altri enti, consorzi e università sta evolvendo verso l'*Italian Grid Infrastructure* che sarà parte integrante dell'*European Grid Infrastructure*. Nell'ambito di IGI l'INFN continuerà a svolgere un ruolo leader nel settore, grazie alla lunga, consolidata e riconosciuta esperienza. Per ogni ulteriore dettaglio si rimanda ai citati paragrafi 3.8 e 3.9.

4.4 PROFILI FINANZIARI DELLE NUOVE INFRASTRUTTURE DI RICERCA SUPERB

Come descritto nel testo il Progetto SuperB ha come obiettivo la costruzione di un acceleratore di particelle dedicato alla produzione di coppie di quark pesanti, detti quark Bottom o quark Charm, con intensità cento volte superiori a quelle raggiunte finora nel mondo. Tale produzione avviene tramite l'annichilazione di due fasci di materia e antimateria

e le intensità raggiungibili permettono di studiare processi estremamente rari in cui sono coinvolti i quark prodotti.

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 multi disciplinari. Le intensità necessarie al raggiungimento degli obiettivi scientifici sono infatti rese possibili grazie all'impiego innovativo di nano-fasci di elettroni (materia) e positroni (antimateria) . 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 e rappresentano una innovazione "rivoluzionaria" nella fisica e tecnologia degli acceleratori.

Nel seguito viene descritto una scaletta temporale del Progetto SuperB ed una stima dei costi.

Scaletta temporale del Progetto SuperB

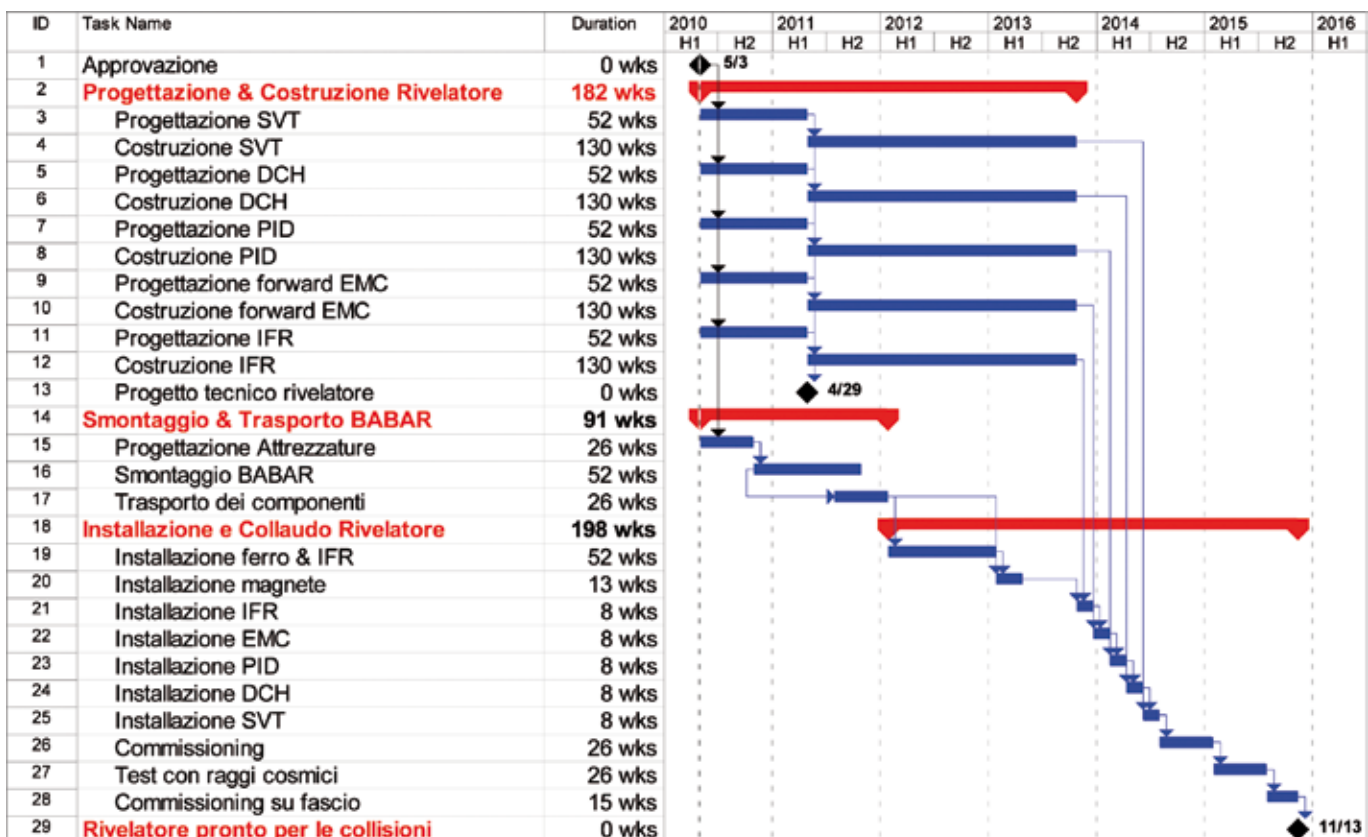
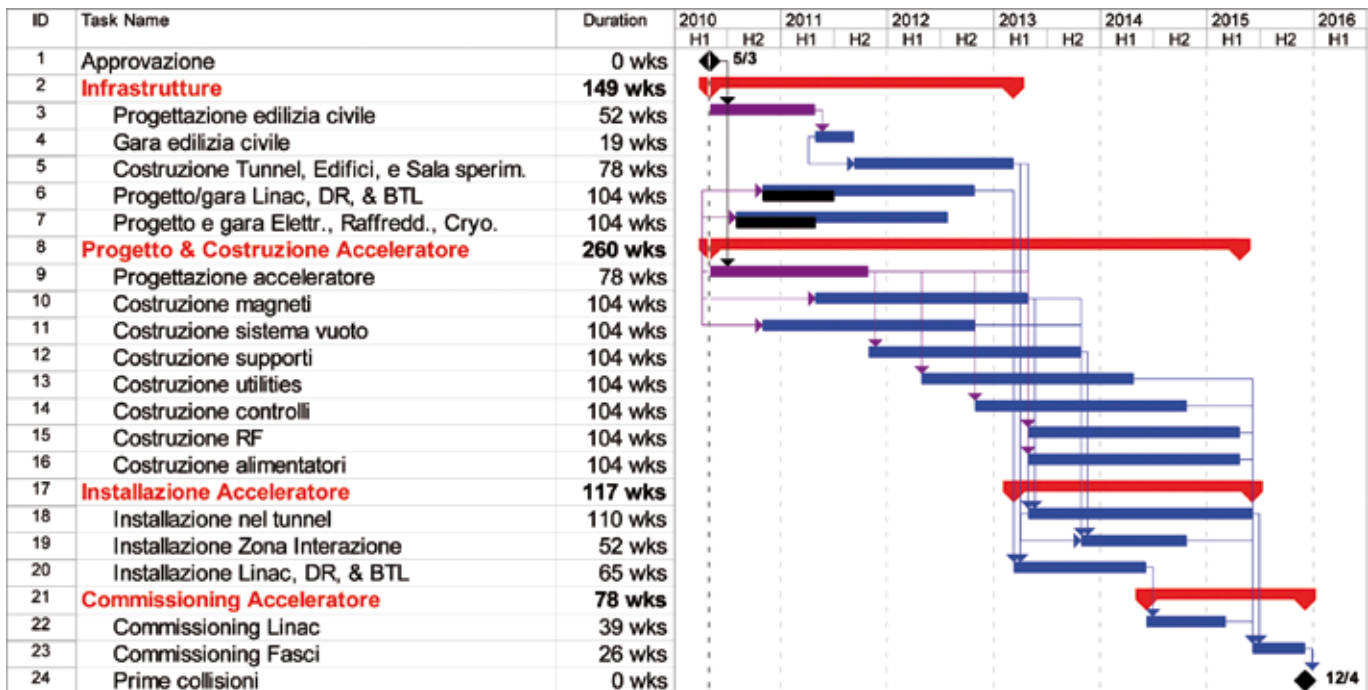
Nelle due tabelle che seguono sono riassunti i profili temporali indicativi per la costruzione dell'acceleratore SuperB e dell'esperimento che verrà installato sull'acceleratore.

Fig. 4.26: Il progetto SuperB frutto di uno sforzo internazionale che coinvolge in prevalenza paesi europei e nord americani.



I PAESI INTERESSATI





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 2010 – 2015 e ai successivi di operazione dell'infrastruttura in milioni di euro:

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

Componenti Super B	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10
Sviluppo Acceleratore (130 M€) Costruzione infrastrutture, Sviluppo damping rings, Sviluppo transfer lines, Messa in funzione linac, Damping lines transfer lines, Costruzione facility end-user	20	50	60							
Sviluppo Centri Calcolo (43 M€) Sviluppo progettazione costruzione centro di calcolo per analisi dati	5	15	23							
Completamento Acceleratore (126 M€) Installazione componenti negli archi acceleratore, Installazione zona di interazione, Messa in funzione acceleratore				42	42	42				
Utilizzo installazione (80 M€) Costi operazione e manutenzione acceleratore							20	20	20	20
Totale Infrastrutture tecniche (379 M€)	25	65	83	42	42	42	20	20	20	20
Overheads INFN (34.3 M€ equivalente al 9%)	2.3	5.9	7.5	3.8	3.8	3.8	1.8	1.8	1.8	1.8
Cofinanziamento INFN (150 M€)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Costo Totale del progetto (563.3 M€)	42.3	85.9	105.5	60.8	60.8	60.8	36.8	36.8	36.8	36.8

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. È in fase di avanzata negoziazione un contributo sia in termini finanziari che di alta tecnologia da parte del *Department of Energy statunitense*.

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.

KM3NET

Obiettivo del progetto

Come visto precedentemente, il progetto prevede la costruzione 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 un rivelatore composto da 80 torri.

L'assemblaggio e la realizzazione dei componenti del rivelatore avverrà su 3 siti di integrazione.

Scala temporale del Progetto

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

Costo del progetto	Rivelatore incluso di posa	55 M€
	Contingencies	5 M€
	Potenziamento infrastrutture	5 M€
	Personale	5 M€
	TOTALE	70 M€

Flusso di spesa

	2010				2011				2012				2013				2014				2015			
	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 M€				20 M€				15 M€				5 M€			
Contingenza																					5 M€			
Potenziamento infrastrutture									1.5 M€				3.5 M€											
Personale									1 M€				1 M€				1 M€				1 M€			
Totale per anno finanziario					2.5 M€				19.5 M€				21 M€				16 M€				11 M€			

Le voci che riguardano il personale, il potenziamento delle infrastrutture e la contingenza, rappresentano l'impegno di cofinanziamento di responsabilità INFN negli anni indicati. Per la voce relativa al rivelatore, sono in corso trattative con la Regione Sicilia, la cui precedente amministrazione aveva espresso all'INFN una disponibilità per un finanziamento vicino all'intera somma prevista da questa voce.

GRID

Come descritto in 4.3 il progetto Grid sta evolvendo verso IGI, l'*Italian Grid Infrastructure*. Le attività della nuova organizzazione legale IGI saranno realizzate all'interno di unità tecniche di cui sono state stimate le necessità di personale sulla base delle attività svolte oggi dai partner della *Joint Research Unit* e riportate nella tabella seguente. Una descrizione dettagliata delle attività e dei fabbisogni finanziari è contenuta nel documento IGI: organizzazione, attività e finanziamento allegato (in corso di finalizzazione).

Il costo unitario del personale è stato così stimato: 54 contratti per il personale delle unità (51200 euro/anno/persona lordi) e 6 contratti per personale senior per il coordinamento delle unità (80000 euro/anno/persona lordi). Il valore medio (pesato) del costo dei contratti risulta quindi di 54000 euro/anno/persona lordi. Alla spesa per il salario del

personale si aggiunge una quota fissa ("overhead"), stimata forfettariamente nel 30% del salario, che comprende le spese accessorie necessarie per l'ambiente di lavoro del personale (cancelleria, ufficio, calcolatori, assicurazioni, etc.). L'importo richiesto per le missioni sarà utilizzato per le missioni nazionali ed internazionali per la partecipazione a riunioni (sia interne che di coordinamento con altri progetti, soprattutto a livello europeo), workshop, conferenze, eventi di training e disseminazione che sono fondamentali per il successo della infrastruttura Grid distribuita di IGI.

I calcolatori necessari per i servizi (che comprendono sia i servizi grid 'core' sia i test bed per lo sviluppo e la certificazione del middleware), attualmente ammontano a 290 unità; per il 2010 saranno forniti dall'INFN e poi saranno gradualmente sostituiti con nuovi calcolatori (il 25% ogni anno) a partire dal 2011.

È stato previsto un contributo per le spese di funzionamento e gestione delle due sedi principali 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.

Tabella: Attività e personale per le varie Unità di IGI (sintesi)

Unità	Risorse umane permanenti necessarie	Risorse umane temporanee necessarie
Supporto agli utenti	5	0,2
Gestione operativa	21	4,0
Ricerca e pianificazione	8	0
Release Middleware	5	0,5
Formazione	5	0
Porting applicazioni	4	0,5
Gestione amministrativa e pubbliche relazioni	5	0
Coordinamento Unità	6	0
TOTALE	60	5,2
TOTALE FTE richiesti	60	0

Nella tabella seguente sono riportati i costi (K€) di IGI, suddivisi per anno, a partire dal 2011.

Anno	2011	2012	2013	2014
Personale (FTE)	60	60	60	60
Personale costo unitario	54	54	54	54
Over-head (30%)	16,2	16,2	16,2	16,2
Missioni	6	6	6	6
Totale personale (salario +overhead +missioni)	4572	4572	4572	4572
contrib. spese gestione per 2 sedi	100	100	110	110
HW per servizi	200	200	200	200
Materiale per disseminazione, training, eventi, licenze	200	200	200	200
TOTALE	5072	5072	5082	5082

Cooperazione e accordi con enti ed organismi nazionali ed internazionali

V CAPITOLO

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). 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 agevolarne 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, settore nel quale l'INFN ha una riconosciuta eccellenza. L'apporto fornito all'iniziativa dall'Istituto, in termini di competenze e di risorse di calcolo, rappresenta un contributo fondamentale di cui potranno beneficiare utenti di diverse discipline scientifiche ulteriori rispetto a quelle degli enti partecipanti.

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

È anche grazie a rapporti di collaborazione che si svolgono attività di diffusione della cultura scientifica, quale la mostra

“Astri e Particelle”, già ospitata presso il Palazzo delle Esposizioni a Roma e realizzata insieme ad ASI e INAF, e il progetto EEE, in collaborazione con il Centro Fermi, rivolto agli studenti delle scuole secondarie superiori.

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 e, in collaborazione con l'Ospedale Galliera di Genova, di un biosuscettometro per la misurazione non invasiva del ferro nel corpo umano; 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.

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. 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 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.

Alla citata collaborazione SPARX, che vede il coinvolgimento anche della Regione Lazio, 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 delle Regioni Veneto e Liguria, in tema di diffusione della cultura scientifica; l'Istituto infine ha allestito e gestisce il Museo della Fisica e dell'Astrofisica in Teramo, in collaborazione con il locale Comune¹.

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.

1. Convenzioni con le Università

2. Convenzioni con enti pubblici di ricerca

3. Convenzioni con altri enti

4. Convenzioni/rapporti con enti locali

5. Medicina

6. Beni culturali

7. GRID-ICT

8. Formazione e diffusione della cultura scientifica

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.

Tab. 5.1: Convenzioni con le Università

Università di Bari	Sezione
Università di Bologna	Sezione
Università di Bologna	CNAF
Università di Cagliari	Sezione
Università di Catania	Sezione
Università di Ferrara	Sezione
Università di Firenze	Sezione
Università di Genova	Sezione
Università di Lecce	Sezione
Università di Milano	Sezione
Università di Milano Bicocca	Sezione
Università di Napoli Federico II	Sezione
Università di Padova	Sezione
Università di Pavia	Sezione
Università di Perugia	Sezione
Università di Pisa	Sezione
Università di Roma La Sapienza	Sezione
Università di Roma Tor Vergata	Sezione
Università di Roma TRE	Sezione
Università di Torino	Sezione
Università di Trieste	Sezione
Università di Roma Tor Vergata	Lab. Nazionali di Frascati
Università dell'Aquila	Lab. Nazionali del Gran Sasso
Università di Padova	Lab. Nazionali di Legnaro
Università di Catania	Lab. 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 Sanita	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)
Univ. di Modena e Reggio Emilia	Collaborazione Quadro (Sez. Bologna)
Università di Roma La Sapienza (Dip.to Energetica)	Laboratori Nazionali di Frascati
Scuola Int. 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)

Tab. 5.2: Convenzioni con enti pubblici di ricerca

Agenzia Spaziale Italiana	Collaborazione Quadro
Agenzia Spaziale Italiana	Progetto AMS
Agenzia Spaziale Italiana	Progetto LISA/PATHFINDER
Agenzia Spaziale Italiana	Progetto GLAST/FERMI
ASI (Durata Progetto)	Progetto AMS
INAF, ASI,	Collaborazione mostra Astri e Particelle
Società Italiana di Fisica	Collaborazione Quadro
Consiglio Nazionale delle Ricerche	Collaborazione Quadro
CNR	Progetto LANDIS (LNS)
CNR-INFN	Progetto SPARC (LNF)
Istituto Biostrutture e Bioimmagini (IBB) – CNR	GRID PACS (NA)
CNR (Istituti INAO, IFAC e ICVBC)	Progetto ST@RT
CNR, ENEA, Un.tà Tor Vergata, MIUR, Regione Lazio	Progetto SPARX
CNR, ENEA, INGV, INAF, Sincrotrone Trieste, Un.tà Federico II, Un.tà Calabria, COMETA, COSMOLAB, etc	Collaborazione IGI (Italian Grid Infrastructure)
CNR, ENEA, INGV, INAF, Sincrotrone Trieste, Un.tà Federico II, Un.tà Calabria, COMETA, COSMOLAB, etc	Progetto EGEE III
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	Realizzazione gestione di un osservatorio dell'Appennino centrale Abruzzese presso i LNGS (LNGS)

Tab. 5.3: Convenzioni con altri enti

Ansaldo Nucleare	Collaborazione Quadro
Fondazione CNAO	Collaborazione Quadro Adroterapia Oncologica
Fondazione CNAO	Accordo attuativo acceleratore CNAO
CERN, Fondazione CNAO	Conoscenze acceleratore CNAO
Fondazione CNAO, EBC Medaustrom	Collaborazione Adroterapia oncologica
Univ.tà Catania, Policlinico di Catania, CSFNSM	Prototerapia (Progetto CATANA) (LNS)
MSFCR "Enrico Fermi"	Progetto EEE
Ospedale Galliera	Biosusciometro MID (GE)
Azienda Speciale PALAEXPO	Mostra Astri e Particelle
CNR, ESA, ENEA, LAFT (Regione Lazio)	Progetto MEGALAB (LNF, RM2)
Azienda Ospedaliera "G. Brotzu" (AOB)	GRID PACS (NA)
Diversi Enti (Bando MSE)	PROGETTO SLIMPORT (PD)
CNAF, Consortium GARR	Memorandum Understanding DANTE
CNR, INSTM, Un.tà Firenze, Un.tà Siena, Scuola Superiore Sant'Anna, MIBAC, OPD	Progetto ST@RT (FI-LABEC)
AIF-CNR-INFN, Un.tà Padova, Comune di Padova e la DGUSR per il Veneto	Mostra Sperimentando (PD, LNL)

Tab. 5.4: Convenzioni/rapporti con enti locali

Provincia Autonoma di Trento/FBK	Collaborazione Quadro
Provincia Autonoma di Trento - FBK	Progetto MEMS2
Provincia Autonoma di Trento -FBK	Progetto AURORA
Regione Abruzzo	Alta Formazione (LNGS)
Comune di Teramo	Museo Fisica e Astrofisica
Comune di Genova	Collaborazione formazione (GE)
Regione Piemonte, CNR, INRIM, ENEA	Alta Formazione (TO)
Regione Piemonte	Progetto Neu-Art
Regione Toscana	Progetto ST@RT
Regione Toscana (Bando Regionale)	Progetto TEMART (FI-LABEC)
Regione Toscana (Bando Regionale)	Progetto ISAV (PI)
Regione Toscana (Bando Regionale)	Progetto Geologia e Radioattività Naturale (FE)
Consorzio Area Ricerca Scientifica e Tecnologica di Trieste	Progetto SISTER (TS)
Progetto IFTS "Tecnico Superiore per lo Sviluppo Software – A. Meucci" (Progetto finanziato Regione Puglia) – Lecce (Bando MIUR)	Tirocini IFTS (LE)

Tab. 5.5: Medicina

Istituto Biostrutture e Bioimmagini (IBB) – CNR	GRID PACS (NA)
Fondazione CNAO	Collaborazione Quadro Adroterapia Oncologica
Fondazione CNAO	Accordo attuativo acceleratore CNAO
CERN, Fondazione CNAO	Conoscenze acceleratore CNAO
Fondazione CNAO, EBG Medaustrom	Collaborazione Adroterapia oncologica
Univ.tà Catania, Policlinico di Catania, CSFNSM	Protonterapia (Progetto CATANA) (LNS)
Ospedale Galliera	Biosuscettometro MID (GE)
Azienda Ospedaliera “G. Brotzu” (AOB)	GRID PACS (NA)

Tab. 5.6: Beni culturali

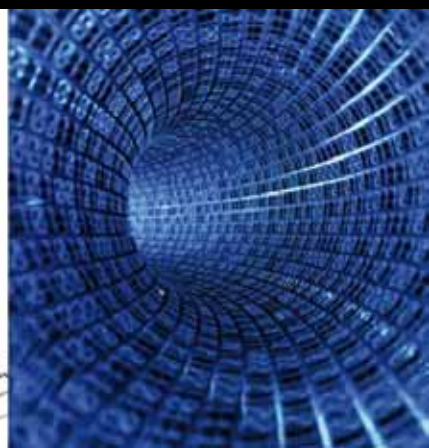
CNR	Progetto LANDIS (LNS)
Fondazione CCR “Venaria Reale”	Collaborazione (TO)
Regione Piemonte	Progetto Neu-ART (TO)
CNR, INSTM, Un.tà Firenze, Un.tà Siena, Scuola Superiore Sant’Anna, MIBAC, OPD	Progetto ST@RT (FI-LABEC)
Regione Toscana (Bando Regionale)	Progetto TEMART (FI-LABEC)

Tab. 5.7: GRID-ICT

CNR, ENEA, INGV, INAF, Sincrotrone Trieste, Un.tà Federico II, Un.tà Calabria, COMETA, COSMOLAB, etc	Collaborazione IGI (ItalianGridInfrastructure)
CNR, ENEA, INGV, INAF, Sincrotrone Trieste, Un.tà Federico II, Un.tà Calabria, COMETA, COSMOLAB, etc	Progetto EGEE III
DAISY-Net	Collaborazione Quadro ICT (BA)
CNR, ESA, ENEA, LAIT (Regione Lazio)	Progetto MEGALAB (LNF, RM2)
CNAF, Consortium GARR	Memorandum Understanding DANTE

Tab. 5.8: Formazione e diffusione della cultura scientifica

INAF, ASI	Collaborazione Mostra Astri e Particelle
Società Italiana di Fisica	Collaborazione Quadro
MSFCSR “Enrico Fermi”	Progetto EEE
Azienda Speciale PALAEXPO	Collaborazione Mostra Astri e Particelle
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
Comune di Genova	Collaborazione formazione (GE)
Regione Piemonte, CNR, INRIM, ENEA	Alta Formazione (TO)
Progetto IFTS “Tecnico Superiore per lo Sviluppo Software – A. Meucci” (Progetto finanziato Regione Puglia) – Lecce (Bando MIUR)	Tirocini IFTS (LE)



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, la SIFI s.p.a. e la A.A.T. Informazioni più precise sul Consorzio e sulla sua attività sono reperibili alla pagina 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 "Leonardo da Vinci", oltre a numerosi soci industriali. Informazioni più precise sono reperibili alla pagina web 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. Informazioni più dettagliate sono reperibili alla pagina 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) e aziende private, quali Finmeccanica, Piaggio, Avio e altre. Informazioni più precise sono reperibili all'indirizzo 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.

Fondazione CNAO: alla quale l'Istituto partecipa, in qualità di partecipante istituzionale, dal febbraio 2004; la Fondazione ha il compito di realizzare e gestire il Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica e 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, la Fondazione TERA di Novara. Notizie più precise sui partecipanti e sulle attività della Fondazione CNAO sono

reperibili alla pagina web 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, la Fondazione Cassa di Risparmio di Ferrara, diversi enti locali e imprese private. Informazioni più precise sono reperibili alla pagina web 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, il CNR, l'INGV e il Consorzio S.C.I.R.E. È anch'esso uno dei partner della collaborazione IGI (*Italian Grid Infrastructure*); notizie più dettagliate sul consorzio possono essere rintracciate alla pagina web: www.consorzio-cometa.it.

Consorzio CYBERSAR: 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. Informazioni più precise sul consorzio e sulla sua attività sono reperibili alla pagina 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.; informazioni più precise sono reperibili alla pagina web 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, il CNR e l'ENEA.

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), 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, 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.

L'INFN inoltre:

- **artecipa 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.**

Tab. 5.9: Accordi di collaborazione scientifica internazionale

Argentina	Comision Nacional de Energia Atomica (CNEA)
Australia	Melbourne University
Belgio	Ion Beam Applications (IBA) International Association for the promotion of cooperation with scientists from the New Independent States of the former Soviet Union (INTAS)
Brasile	Università Statale di Campinas Università di S. Paolo
Bulgaria	Institute of Nuclear Research and Nuclear Energy (INRNE)
Canada	Canada's National Laboratory for Particle and Nuclear Physics (TRIUMF)
Rep. Ceca	Czech Academy of Sciences
Corea del Sud	Research Institute of Basic Science (RIBS), Seoul
Cina	China Institute of Atomic Energy (CIAE), Beijing Chinese Academy of Sciences (CAS), Beijing Institute of High Energy Physics (IHEP), Beijing National Natural Science Foundation of China (NSFC) South East University of Nanjing (SEU), Nanchino
Francia	Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), Paris Institut National de Physique Nucléaire et de Physique des Particules (IN2P3), Paris
Germania	Deutsches Elektronen Synchrotron (DESY), Amburgo Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI), Darmstadt Max-Planck Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften, Monaco
Giappone	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)
Grecia	University of Athens University of Crete University of Ioannina University of Patras University of Thessaloniki National Center for Sceintific Research (NCSR) "Demokritos" National Technical University of Athens Foundation of Research and Technology (FORTH)
India	Bhabha Atomic Research Center – BARC
Israele	Israel Commission for High Energy Physics (ICHEP)
Polonia	H. Niewodniczanski Institute of Nuclear Physics in Krakow (INPK), Cracovia
Regno Unito	Particle Physics and Astronomy Research Council (PPARC)
Romania	Institutul National de C&D Centru Fizica Inginerie Nucleara (IFIN-HH)
Federazione Russa	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
Rep. Slovacca	Slovak Academy of Sciences
Spagna	Ministerio de Ciencia e Innovation, Madrid
Stati Uniti d'America	National Science Foundation (NSF) Fermi National Accelerator Laboratory (FERMILAB) Stanford Linear Accelerator Centre (SLAC) Brookhaven National Laboratory (BNL) Thomas Jefferson National Accelerator Facility (TJNAF) Massachusetts Institute of Technology (MIT) Argonne National Laboratory Laboratory of Elementary Particle Physics, Cornell University Brown University Indiana University University of California Los Angeles (UCLA)
Svizzera	European Organization for Nuclear Research (CERN), Ginevra Swiss Federal Institute of Technology (ETHZ), Zurigo Paul Scherrer Institute (PSI), Zurigo
Ucraina	National Academy of Sciences of Ukraine (NASU)

Rapporti e convenzioni con le Università

VI CAPITOLO

INFN e Università : simbiosi e sinergia

Lo stretto collegamento dell'INFN con le Università e, in particolare, con i Dipartimenti di Fisica è da sempre parte imprescindibile ed essenziale della politica scientifica e gestionale dell'Istituto. Simbiosi è la parola che meglio descrive questo collegamento. 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.

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).

Tab. 6.1: Sezioni e gruppi collegati INFN

SEZIONI

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

GRUPPI COLLEGATI

Brescia, Cosenza, L'Aquila, Messina, Parma, Piemonte Orientale, Salerno, Siena, Trento, Udine e Istituto Superiore di Sanità

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.

I quattro grandi Laboratori Nazionali dell'INFN hanno invece sedi indipendenti, al di fuori dei dipartimenti universitari. Le grandi apparecchiature e infrastrutture che ospitano sono tuttavia messe a disposizione della comunità scientifica nazionale e



internazionale, in larga parte proprio personale universitario.

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,

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

LAUREA MAGISTRALIS

DOTTORATI IN FISICA

	2008	2007	2004-06	2008	2007	2004-06
INFN	368	333	332	163	153	180
FISICA	849	854	990	n/a	342	388

Tab. 6.2: Laureati magistrali e dottorati in ambito INFN

rappresentano il contributo fondamentale dell'Istituto nei confronti del mondo universitario.

Personale associato

L'INFN assimila al proprio personale dipendente circa 1000 professori e ricercatori universitari (incarichi di ricerca), oltre a 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

ciclo, nelle Università dove hanno sede le proprie strutture.

Complessivamente, sono associati alle attività dell'INFN oltre 1200 laureandi magistrali, dottorandi, specializzandi, borsisti e assegnisti di ricerca, che perfezionano col lavoro di tesi e di ricerca presso l'Ente la propria formazione professionale. Di essi oltre 500 sono dottorandi e quasi 300 assegnisti universitari. 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.

La tabella 6.2 fornisce il numero dei laureati magistrali e dei dottorati che hanno svolto attività INFN rispetto al numero totale per tutta la Fisica.

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

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'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), *Complessit 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.

Il futuro quadro normativo

Sulla base del recente decreto legislativo sul *Riordino degli Enti di ricerca*, l'INFN nei prossimi mesi dovrà riformare il proprio statuto e i regolamenti, che riguardano strutture e personale dell'Ente.

In questo nuovo quadro va mantenuto e rafforzato il rapporto simbiotico fra INFN e Università, in modo da renderlo ancora più sinergico.

Sono da incoraggiare, oltre a quelle già in atto, ulteriori forme di collaborazione con le Università, che prevedano in particolare la presenza dell'INFN in tutte le attività delle scuole di dottorato, dalla *governance*, alla docenza e alla supervisione delle tesi, da svolgersi anche in collaborazione con l'industria.



Piano di sviluppo delle risorse umane e finanziarie

VII CAPITOLO

7.1 LE RISORSE DI PERSONALE DELL'ISTITUTO

La situazione del personale dipendente sia a tempo indeterminato sia a tempo determinato in servizio al 31-12-2009 è riassunta in tabella 7.1.

Tab. 7.1: Distribuzione per profili del personale dipendente.

dipendenti INFN	Dot. Organica	T.I. in serv	T.D in serv	totale in serv
ricercatori	606	594	17	611
tecnologi	245	238	40	278
tecnici	736	706	17	723
amministrativi	317	305	15	320
dirigenti	2	2	0	2
totale	1906	1845	89	1934

L'evoluzione temporale della dotazione organica e del personale in servizio è mostrata nelle figure 7.1 e 7.2. Si può notare che, a fronte di una riduzione della dotazione organica da 2014 a 1906 avvenuta nel 2005, l'Istituto ha assunto a tempo indeterminato, coerentemente con il fabbisogno richiesto dalle proprie attività e compatibilmente con le restrizioni di legge sulle assunzioni ed è ora giunto quasi alla saturazione della pianta organica. Si noti anche l'andamento correlato relativo al personale a tempo determinato.

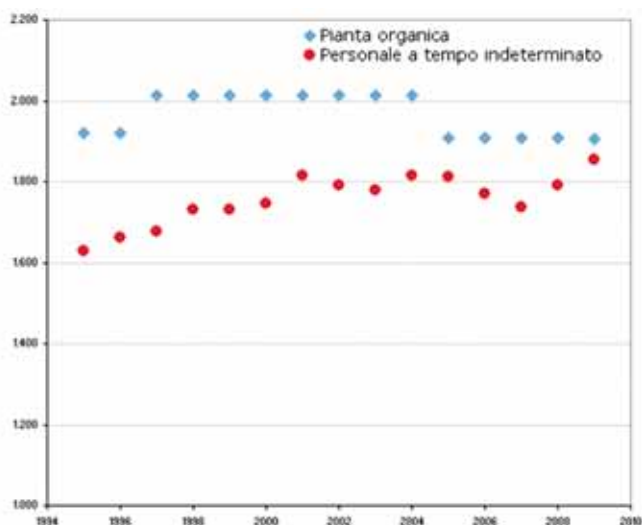


Fig. 7.1: Evoluzione temporale della pianta organica e del personale in servizio a tempo indeterminato.

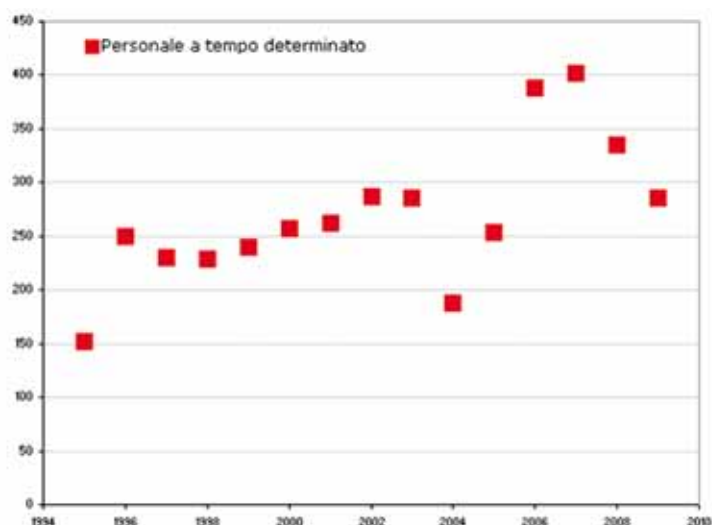


Fig. 7.2: Evoluzione temporale del personale in servizio a tempo determinato.



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 anche 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, 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 iniziata con successo in autunno 2009 per 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, avvalendosi di centri TIER1 e TIER2 presenti sul territorio nazionale.
- Ai Laboratori Nazionali di Frascati, la conferma dei risultati sperimentali del cosiddetto *crabbed waist* presso l'anello DAFNE ha rafforzato l'idea progettuale del collisore denominato Super-B che avrà prestazioni 100 volte più alte di quelle presenti e vedrà la partecipazione di numerose istituzioni scientifiche fra le più qualificate a livello internazionale. Il TDR è in fase avanzata di stesura. 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.
- Presso i LNGS è continuata la fase di presa dati dedicata allo studio delle oscillazioni dei neutrini con il fascio CNGS proveniente dal CERN e con l'apparato OPERA. L'altro

grande apparato, ICARUS, sta per partire con la 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.
- Il Progetto NEMO (LNS). Continua il collaudo di un dimostratore e delle infrastrutture tecnologiche ad esso associate alle profondità marine di interesse. È in discussione la concreta 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: è in fase di qualifica e caratterizzazione a Pavia la macchina per adroterapia del progetto CNAO realizzata con il contributo determinante dell'Istituto. L'Ente ha, inoltre, avviato un importante progetto strategico denominato INFN-MED, articolato in cinque sottoprogetti fra cui quello che riguarda 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 assoluto valore internazionale. È in fase di avvio il progetto SPARX, che all'interno della linea di sviluppo tracciata con SPARC, prevede la costruzione di un laser a elettroni liberi alla frequenza dei raggi X molli.

- Il progetto INFN-GRID (CNAF), per lo sviluppo e il coordinamento del *middleware* per il calcolo distribuito e la diffusione del paradigma di GRID ad altre discipline scientifiche.

- 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. Quest'ultimo sottoprogetto è finalizzato allo studio dei materiali da impiegare nei reattori di fusione ed è in piena fase costruttiva.

Situazione al 31 dicembre 2009 personale a tempo indeterminato

Profilo	Dotazione organica	In servizio al 1° gennaio 2009	assunti nel corso dell'anno (1)	in corso di assunzione (2)	passaggi di profilo ex art. 52 CCNL	cessati nel corso dell'anno		In servizio al 31 dicembre 2009
						n.	costo (in mil. di €)	
Dirigente I fascia	1	1						1
Dirigente II fascia	1	1						1
Ricercatore	606	561	44	12		23	1.522.304,10	594
Tecnologo	245	214	5	29		10	577.098,11	238
CTER	602	571	19	11	13	25	1.166.525,63	589
Operatore Tecnico	127	123	1		-12	2	77.570,00	110
Ausiliario Tecnico	7	7						7
Funzionario di Amministrazione	63	56	2		4	1	46.994,69	61
Collaboratore di Amministrazione	245	233	3	5	-3	1	14.988,36	237
Operatore di Amministrazione	9	9			-2			7
	1.906	1.776	74	57	0	62	3.405.480,89	1.845

(1) Su risorse relative alle cessazioni intervenute nell'anno 2007
 (2) Su risorse relative alle cessazioni intervenute nell'anno 2008

che ha portato ad un serio squilibrio fra posizioni a tempo indeterminato e tempo determinato non verrà corretto rimuovendo il blocco della Pianta Organica e facendo recuperare all'Istituto sul piano finanziario almeno l'inflazione programmata a partire dal 2002. Progressivamente le spese del personale stanno erodendo di anno in anno gli investimenti in ricerca che sono passati nel periodo 2002-2010 da 100 a 60 M€, impedendo di fatto investimenti significativi nei progetti di medio e lungo termine.

Delle 92 posizioni pendenti, che rientravano nei requisiti di legge per la stabilizzazione, ne sono state coperte a tempo indeterminato 29 in applicazione del comma 519 della Legge Finanziaria 2007 (Budget 2008). Ulteriori 22 posizioni a tempo indeterminato sono state coperte in base alle procedure dell'art. 5, comma 2 del CCNL 2002-2005, e 6 posizioni sono state assegnate ai vincitori di concorso.

Alla fine di questa operazione la lista degli stabilizzandi si è ridotta a 21 tecnologi e 6 CTER. A costoro è stato prorogato il contratto a tempo determinato fino al 31/12/2012 ed

- L'INFN, attraverso l'INFN-E, coordina progetti di R&S nel campo della produzione di energia da fissione e fusione, promuovendo la collaborazione 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

Tab. 7.2: Situazione delle risorse umane e dei costi relativi, al 31 dicembre 2009.

avranno la possibilità di una riserva di posti fino al 40% nei futuri concorsi per il tempo indeterminato.

Recentemente, a seguito dell'applicazione del DM 3/12/2008, è stato emesso il bando per 37 posizioni di ricercatore che riattivano, dopo molto tempo, l'immissione in servizio di una nuova generazione di ricercatori così importante per il successo delle iniziative che l'Istituto ha in cantiere a livello nazionale ed internazionale.

Le tabelle 7.2, 7.3 e 7.4 illustrano rispettivamente la situazione delle risorse umane e dei costi relativi al primo gennaio 2010, la programmazione delle assunzioni per gli

Anno 2010 (risorse relative alle cessazioni intervenute nell'anno precedente: € 3.405.480,89)

Profilo	personale in servizio al 31 dicembre 2009	Dotazione organica vigente al 31 dicembre 2009	Rimodulazione della distribuzione dei profili nella dotazione organica			Posti disponibili (5-1)	ASSUNZIONI PREVISTE				Costo complessivo assunzioni e rimodulazione dotazione organica	Collocamenti a riposo nell'anno		personale in servizio al 31-12-2010
			Variazioni		Nuova dotazione organica		Piano straordinario assunzione ricercatori	Altre assunzioni		n.		costo		
			n.	costo				n.	costo				n.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
Dirigente I fascia	1	1			1				0,00				1	
Dirigente II fascia	1	1			1				0,00				1	
Ricercatore	594	606	10	474.790,50	616	22			0,00	474.790,50	21	1.483.140,54	595	
Tecnologo	238	245	2	94.958,10	247	9			9	427.311,45	5	279.983,64	242	
CTER	589	602	2	77.570,00	604	15			15	581.775,00	5	234.973,45	599	
Operatore Tecnico	110	127	-17	-550.983,77	110				0,00	-550.983,77			110	
Ausiliario Tecnico	7	7		0,00	7				0,00	0,00			7	
Funzionario di Amministrazione	61	63	5	214.119,40	68	7			7	299.767,16		513.886,56	68	
Collaboratore di Amministrazione	237	245	-2	-70.120,04	243	6			6	210.360,12	1	38.785,00	242	
Operatore di Amministrazione	7	9		0,00	9	2			2	64.821,62		64.821,62	9	
	1.845	1.906	0	240.334,19	1.906	61			39	1.584.035,35		1.824.369,54	1.874	

Anno 2011 (risorse relative alle cessazioni intervenute nell'anno precedente: € 2.036.882,63)

Profilo	personale in servizio al 31 dicembre 2010	Dotazione organica vigente al 31 dicembre 2010	Rimodulazione della distribuzione dei profili nella dotazione organica			Posti disponibili (5-1)	ASSUNZIONI PREVISTE				Costo complessivo assunzioni e rimodulazione dotazione organica	Collocamenti a riposo nell'anno		personale in servizio al 31-12-2011
			Variazioni		Nuova dotazione organica		Piano straordinario assunzione ricercatori	Altre assunzioni		n.		costo		
			n.	costo				n.	costo				n.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
Dirigente I fascia	1	1			1				0,00				1	
Dirigente II fascia	1	1			1				0,00				1	
Ricercatore	595	616	-6	-284.874,30	610	15	15		0,00	-284.874,30	5	369.562,47	605	
Tecnologo	242	247	6	284.874,30	253	11			11	522.269,55	2	154.677,32	251	
CTER	599	604		0,00	604	5			5	193.925,00	7	328.962,83	597	
Operatore Tecnico	110	110		0,00	110				0,00	0,00	1	38.785,00	109	
Ausiliario Tecnico	7	7		0,00	7				0,00	0,00			7	
Funzionario di Amministrazione	68	68	1	42.823,88	69	1			1	42.823,88	2	93.989,38	67	
Collaboratore di Amministrazione	242	243	-1	-35.060,02	242				0,00	-35.060,02	2	85.647,76	240	
Operatore di Amministrazione	9	9		0,00	9				0,00	0,00	1	35.060,02	8	
	1.874	1.906	0	7.763,86	1.906	32			17	759.018,43		766.782,29	1.886	

Anno 2012 (risorse relative alle cessazioni intervenute nell'anno precedente: € 1.106.684,78)

Profilo	personale in servizio al 31 dicembre 2011	Dotazione organica vigente al 31 dicembre 2011	Rimodulazione della distribuzione dei profili nella dotazione organica			Posti disponibili (5-1)	ASSUNZIONI PREVISTE				Costo complessivo assunzioni e rimodulazione dotazione organica	Collocamenti a riposo nell'anno		personale in servizio al 31-12-2012
			Variazioni		Nuova dotazione organica		Piano straordinario assunzione ricercatori	Altre assunzioni		n.		costo		
			n.	costo				n.	costo				n.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
Dirigente I fascia	1	1			1				0,00				1	
Dirigente II fascia	1	1			1				0,00				1	
Ricercatore	605	610	-5	-237.395,25	605				0,00	-237.395,25	17	1.139.524,24	588	
Tecnologo	251	253	6	284.874,30	259	8			8	379.832,40	7	472.847,30	252	
CTER	597	604	-2	-77.570,00	602	5			5	193.925,00	4	187.978,76	598	
Operatore Tecnico	109	110	-1	-32.410,81	109				0,00	-32.410,81			109	
Ausiliario Tecnico	7	7		0,00	7				0,00	0,00			7	
Funzionario di Amministrazione	67	69	2	85.647,76	71	4			4	171.295,52		256.943,28	71	
Collaboratore di Amministrazione	240	242		0,00	242	2			2	70.120,04		70.120,04	242	
Operatore di Amministrazione	8	9		0,00	9	1			1	32.410,81		32.410,81	9	
	1.886	1.906	0	23.146,00	1.906	20			20	847.583,77		870.729,77	1.878	

Tab. 7.3: Programmazione delle assunzioni per gli anni 2010, 2011, 2012.

Personale a tempo determinato

Profilo	in servizio al 31-12-2009 (*)		2010			2011			2012		
	n.	costo	variazioni	in servizio al 31-12-2010	costo	variazioni	in servizio al 31-12-2011	costo	variazioni	in servizio al 31-12-2012	costo
Ricercatore	17	807.143,85	-6	11	522.269,55	-4	7	332.353,35		7	332.353,35
Tecnologo	40	1.899.162,00	-2	38	1.804.203,90	-3	35	1.661.766,75	-2	33	1.566.808,65
CTER	15	581.775,00	-4	11	426.635,00	-1	10	387.850,00	-1	9	349.065,00
Operatore Tecnico	2	64.821,62		2	64.821,62		2	64.821,62		2	64.821,62
Funzionario di amministrazione	1	42.823,88	-2	-1	-42.823,88		-1	-42.823,88	-1	-2	-85.647,76
Collaboratore di amministrazione	14	490.840,28	-2	12	420.720,24		12	420.720,24	-1	11	385.660,22
	89	3.886.566,63	-16	73	3.195.826,43	-8	65	2.824.688,08	-5	60	2.613.061,08

(*) escluse le assunzioni in corso a tempo indeterminato su risorse relative alle cessazioni intervenute nel 2008

Assegni di ricerca

Profilo	in servizio al 31-12-2009		2010			2011			2012		
	n.	costo	variazioni	in servizio al 31-12-2010	costo	variazioni	in servizio al 31-12-2011	costo	variazioni	in servizio al 31-12-2012	costo
Assegni per la collaborazione all'attività di ricerca (art. 51 legge 449/1997)	105	2.625.000,00		105	2.625.000,00		105	2.625.000,00		105	2.625.000,00

Tab. 7.4: situazione dei contratti a tempo determinato e degli assegni di ricerca, al 31 dicembre 2009, e programmazione per gli anni 2010, 2011, 2012.

Posizioni da ricoprire per i livelli I e II

Profilo	Livello	Posti a concorso		
		2010	2011 (*)	2012
Dirigente di ricerca	I		10	
Dirigente tecnologo	I		7	
Primo ricercatore	II		20	
Primo tecnologo	II		15	

(*) applicazione art. 15 CCNL

Progressioni economiche nel livello apicale

Profilo	Livello	Posti a selezione		
		2010	2011	2012
Collaboratore tecnico enti ricerca	IV	122		158
Operatore tecnico	VI	40		54
Ausiliario tecnico	VIII	6		1
Funzionario di amministrazione	IV	34		7
Collaboratore di amministrazione	V	40		85
Operatore di amministrazione	VII	4		2
		246		307

Passaggi al livello superiore nel profilo

Profilo	Livello	Posti a selezione		
		2010	2011	2012
Collaboratore tecnico enti ricerca	IV		140	
Collaboratore tecnico enti ricerca	V		50	
Operatore tecnico	VI		9	
Operatore tecnico	VII		3	
Ausiliario tecnico	VIII			
Funzionario di amministrazione	IV		5	
Collaboratore di amministrazione	V		14	
Collaboratore di amministrazione	VI		10	
			231	

Tab. 7.5 Numero di posti a concorso per il triennio 2010-2012, per il I e II livello di Ricercatore e Tecnologo, i livelli apicali e i passaggi a livello superiore per il personale tecnico-amministrativo.

anni 2010, 2011, 2012 e la situazione dei contratti a tempo determinato che gravano sul bilancio ordinario nel rispetto del limite fissato dalla Legge che è pari al 35% della spesa sostenuta per le stesse finalità nell'anno 2003.

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

È altresì da sottolineare che l'Istituto, in virtù delle

sue capacità organizzative e tecnico scientifiche, sta promuovendo la realizzazione della Super B-Factory, aggregando una numerosa e qualificata partecipazione internazionale già attiva nella definizione del TDR.

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
- Applicazioni mediche, tra cui la costruzione del Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica (CNAO)
- Progetti nel campo dell'Energia, tra cui una partecipazione alla costruzione di ITER e di IFMIF-EVEDA.

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.

Nonostante l'esiguità dei posti disponibili in pianta organica, che per ogni anno del piano raggiunge la saturazione a 1906 unità, al fine di massimizzare l'assunzione di giovani e dei contrattisti a tempo determinato, l'Istituto è 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 7.5.

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.

7.2 LE RISORSE FINANZIARIE

L'INFN, fino al 2001, ha perseguito i propri fini istituzionali con finanziamenti pubblici assegnati con provvedimenti legislativi sulla base di piani pluriennali di attività approvati dal CIPE. I finanziamenti diretti all'INFN, con trasferimenti dal Bilancio dello Stato, sono stati attribuiti con la Legge

19 ottobre 1999, n. 370, che prevedeva 555 miliardi di lire (286,6 milioni di euro) per ciascuno degli anni 2000 e 2001.

A partire dal 2002, gli stanziamenti di competenza da destinare all'INFN, affluiscono all'apposito fondo ordinario per gli enti e le istituzioni di ricerca finanziati dal MIUR, previsto all'art. 7 del d.Lgs. 5 giugno 1998, n. 204. Gli stanziamenti di competenza hanno mostrato il seguente andamento (tabella 7.6), costantemente negativo:

valori correnti 2009

	valori storici	€/milioni*	var. anno prec.
2003	280.9	314,4	-0,9%
2004	280.3	307,6	-2,2%
2005	274.7	296,4	-3,6%
2006	272.0	287,7	-2,9%
2007	276.3	287,4	-0,1%
2008	275.7	277,8	-3,3%
2009	270.2	270,2	-2,7%

(*) importi rivalutati secondo l'indice ISTAT a dicembre 2009

Tab. 7.6: Evoluzione negli anni degli stanziamenti di competenza attribuiti all'INFN (milioni di euro).

È da rilevare che la Legge 27 dicembre 1997, n. 449 (misure per la stabilizzazione della finanza pubblica) ha fissato dei limiti nei prelevamenti di cassa degli enti pubblici di ricerca per il triennio 1998/2000. Successivamente, le Leggi 23 dicembre 2000, n. 388 (Legge Finanziaria 2001), 31 dicembre 2002, n. 289 (Legge Finanziaria 2003) e 24 dicembre 2003, n. 350 (Legge Finanziaria 2004) hanno confermato fino al 2006 i limiti ai prelevamenti di cassa, maggiorandone però gli incrementi annuali. Le successive assegnazioni di cassa attribuite all'INFN sono state le seguenti, in milioni di euro (tabella 7.7):

		di cui per rinnovo contrattuale
2006	337,8	23,8
2007	313,7	2,1
2008	307,4	==
2009	310,1	1,6

Tab. 7.7: Evoluzione negli anni delle assegnazioni di cassa attribuite all'INFN (milioni di euro).

La Legge 30 dicembre 2004 (Legge Finanziaria 2005) ha disposto riduzioni per alcune tipologie di spesa. In

particolare, le spese per l'acquisto, la manutenzione, il noleggio e l'esercizio di autovetture non possono superare, per l'anno 2005, il 90% del consuntivo 2004. Tale limite di spesa, a decorrere dal 2006, viene ulteriormente ridotto al 50% rispetto al consuntivo 2004.

La Legge 2 dicembre 2005, n. 248, ed il D.L. 4 luglio 2006, n. 223, convertito nella Legge 4 agosto 2006, n. 248, hanno imposto la riduzione del 10% degli stanziamenti per l'anno 2005 e 2006 riguardanti spese per consumi intermedi. Per l'INFN si è trattato di un'improvvisa indisponibilità di 6,6 milioni di euro nel 2005 e di 2,8 milioni di euro nel 2006, peraltro versate al Bilancio dello Stato nel giugno e nell'ottobre 2006 unitamente all'importo di 10,0 milioni di euro accantonato in attuazione del decreto del Ministro dell'Economia e delle Finanze del 29 novembre 2002. Tali provvedimenti oltre alle conseguenti notevoli difficoltà nella gestione corrente della spesa, hanno comportato una consistente decurtazione del già ridotto bilancio dell'Istituto.

La legge 23 dicembre 2005, n. 266 (finanziaria 2006) confermata anche dalle successive finanziarie, ha disposto ulteriori drastiche restrizioni delle spese, riferite alle relazioni pubbliche e convegni e alla rappresentanza. Sono state inoltre disposte riduzioni ai compensi degli organi di indirizzo, direzione e controllo e limiti e riduzioni ai compensi per incarichi di consulenza.

Il citato D.L. 4 luglio 2006, n. 223, convertito nella Legge 4 agosto 2006, n. 248, oltre a disporre ancora riduzioni delle spese per consumi intermedi, e di altre tipologie di spesa, ha ridotto le diarie delle missioni all'estero del 20% e il trattamento delle missioni in Italia.

L'effetto dei vari provvedimenti suddetti, se da una parte ha costituito un risparmio per la finanza pubblica, ha generato obiettive e costanti riduzioni di finanziamento dell'INFN, solo parzialmente compensate dal ricorso a finanziamenti "esterni" su progetti specifici (ad es.: Comunità Europea, Agenzia Spaziale Italiana, enti pubblici diversi).

Lo stanziamento di competenza 2010 è stato definito con D.M. 12.2.2010, prot. n. 18/Ric, nella misura di euro 273.758.533,00 – inclusivo di euro 3.513.224,00 relativi ad oneri specifici per il personale. Tale importo non include alcuno stanziamento per i programmi internazionali ITER e BROADER Approach per i quali era stata, invece, stanziata la somma complessiva di euro 6.000.000 per l'esercizio 2008. Nel seguito viene riportato il profilo di spesa relativo al triennio 2010-2012 (tabella 7.8).

attività di ricerca	2010	2011	2012
Fisica Subnucleare	20,93	21,56	22,20
ELN	0,15	0,20	0,20
SPARC/ SPARX	0,30	0,40	0,50
Fisica Astroparticellare	14,06	14,48	14,92
Fisica Nucleare	10,71	11,03	11,36
Fisica Teorica	2,68	2,76	2,84
APE	0,20	0,20	0,20
GGI	0,30	0,30	0,40
Ricerche Tecnologiche	4,28	4,41	4,54
NTA	1,60	1,70	1,80
INFN-MED	0,20	0,20	0,20
INFN - E	0,30	0,30	0,40
GRID	0,70	0,80	0,90
Servizi Calcolo e Reti	1,40	1,50	1,60
Superb-TDR	0,50	0,50	0,00
Diffusione cultura e innovazione	0,40	0,40	0,40
TOTALE RICERCA	58,71	60,74	62,46

**PROFILO DI SPESA
2010 - 2012
in milioni di euro**

funzionamento strutture	2010	2011	2012
LNF	10,45	10,76	11,09
LNGS	7,94	8,18	8,42
LNL	7,15	7,36	7,59
LNS	6,73	6,93	7,14
CNAF	1,50	1,60	1,70
Sezioni e Gruppi Collegati	10,20	10,50	10,60
Organi Direttivi e Strutture Centrali	1,90	2,00	2,00
Fondi Centrali	5,75	6,00	6,00
Partecipazione a Consorzi	12,94	12,94	12,94
TOTALE FUNZIONAMENTO STRUTTURE	64,56	66,27	67,48
PERSONALE	154,50	157,59	160,74
TOTALE GENERALE	277,77	284,60	290,68

Tab. 7.8: Profilo di spesa relativo al triennio 2010-2012.

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 riferito all'anno 2009.

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, nonché un elemento fondante del successo delle attività nel contesto nazionale e mondiale.

	totale associazioni
Scientifica Ricercatori/Professori università	524
Scientifica Professori a Contratto	16
Scientifica Dipendenti altri enti	130
Scientifica Istituti secondari	57
Scientifica Enti stranieri (FAI)	1
Scientifica Enti stranieri	42
Scientifica Consorzi Ricerca	2
Scientifica Laureandi Magistrali	138
Scientifica Borse INFN	100
Scientifica Dottorandi, Borse non INFN e Assegni	976
Scientifica Borse Private	2
Scientifica Specializ. Fis. Sanitaria	15
Scientifica Contratti a tempo det. 19	11
Scientifica Personale E.P.	1
Scientifica Senior	89
Scientifica Master	5
Scientifica attribuita dal Presidente	28
Tecnologica Contratti a tempo det. 19	3
Tecnologica Ricercatori/Professori università	108
Tecnologica Altri Enti (laurea o diploma univ.)	9
Tecnologica Laureandi	2
Tecnologica Laurea Magistrale	35
Tecnologica Borse INFN	75
Tecnologica Dottorandi, Borse non INFN e assegni	153
Tecnologica Consorzi ricerca	7
Tecnologica Personale E.P.	6
Borsisti INFN per Estero	2
Incarico di Ricerca scientifica	922
Incarico di Collaborazione Tecnica	119
Incarico di Ricerca attribuito dal Presidente	13
Incarico di Ricerca tecnologica	29
Associazione Tecnica	166
Associazione Tecnica Senior	20
	3756

Tab. 7.9: Distribuzione del personale associato all'INFN.

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. Recentemente 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 2009 sono state bandite:

- 40 borse di formazione tecnica per giovani diplomati;
- 6 borse di formazione e studio per attività amministrativo-gestionali per diplomati;
- 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;
- 4 borse di studio per attività amministrativo-gestionali per laureati;
- 40 posizioni di *Associate (associated member of the personnel)* presso il CERN nell'ambito degli esperimenti a LHC;
- 70 assegni di ricerca scientifica o tecnologica;
- 40 assegni di ricerca dedicati alla valorizzazione, in ambito produttivo, delle metodologie e delle tecnologie legate alle attività di ricerca dell'INFN.

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 LE AZIONI POSITIVE PER LE PARI OPPORTUNITÀ

Il Comitato per le Pari Opportunità (CPO) dell'INFN è stato istituito nel 1999. Si tratta di un organismo paritetico, di natura contrattuale, con la funzione di individuare e proporre misure adatte a creare effettive condizioni di parità tra le donne e gli uomini che lavorano nell'Istituto. Questo avviene principalmente attraverso l'analisi della presenza femminile nel personale INFN, basata su dati di genere ufficiali, in modo da evidenziare eventuali disparità di trattamento, proporre misure per rimuoverle, promuovere l'adozione e l'attuazione dei Piani Triennali di Azioni Positive, in accordo con la normativa vigente.

La distribuzione di genere del personale INFN nei diversi ruoli è rappresentata nella tabella 7.10. I dati mostrano che, nel 2009, le donne rappresentavano il 24,2% del personale INFN. Escludendo i ruoli amministrativi, tale percentuale si riduce al 12,6%. Gli stessi dati evidenziano una divaricazione nelle carriere delle donne e degli uomini sia per i ruoli di ricercatore e tecnologo che nel settore amministrativo.

dipendenti	% donne
ricercatori	20,2
tecnologi	15,4
tecnici	5,4
amministrativi	82,4
dirigenti	0
totali	24,2

Tab. 7.10: Distribuzione di genere del personale INFN (dati fine 2009)

L'INFN ha adottato il Piano Triennale di Azioni Positive 2008-2010 sulla base di un programma di attività proposto dal CPO. Le linee di intervento indicate nel piano si riferiscono ad obiettivi riconducibili alle strategie ufficiali, europea e nazionale, in materia di pari opportunità. Tali obiettivi,

presenti nei precedenti piani di azioni positive e riproposti, ampliati, in quello attuale, in sintesi, sono: la conciliazione tra vita professionale e vita privata, il benessere organizzativo e la qualità dell'ambiente di lavoro, la salute e la prevenzione delle malattie dei lavoratori in ottica di genere, la promozione della presenza femminile nei livelli decisionali, lo sviluppo della cultura di genere. Le principali realizzazioni riguardano il settore della conciliazione tra lavoro e vita privata e quello del benessere nell'ambiente di lavoro.

L'integrazione armonica dei diversi momenti della vita delle persone che lavorano è un elemento chiave nella gestione delle risorse umane ed è un impegno nel quale il CPO è coinvolto a pieno titolo. L'INFN, sulla base di un'ampia campagna di analisi delle necessità del personale per la cura dei figli, effettuata dal CPO, sta realizzando progetti concreti che rispondono alle esigenze emerse, come, ad esempio, la creazione di strutture interne nel caso di alcuni laboratori e la stipula di convenzioni con istituzioni esterne, in altre sedi.

L'attività del CPO in tema del benessere organizzativo ha portato, in particolare, all'adozione del Codice di comportamento per la tutela della dignità delle persone che operano nell'INFN e all'istituzione della figura del Consigliere di Fiducia, persona esterna all'Istituto, che fornisce consulenza e assistenza ai dipendenti che si ritengono vittima di comportamenti lesivi della dignità della persona.

Tuttavia, la realizzazione dei piani di azioni positive è incompleta e il percorso per raggiungere un'effettiva uguaglianza di opportunità tra donne e uomini che lavorano nell'INFN è ancora lungo. La situazione di questo istituto, simile a quella di altri enti di ricerca e istituzioni, nazionali e internazionali, evidenzia innanzitutto la necessità di un percorso di trasformazione culturale per lo sviluppo di un nuovo approccio alla gestione delle risorse umane, finalizzato a valorizzare le differenze tra uomini e donne come risorsa e ricchezza personale e professionale. Infatti, generando la cultura del rispetto del diverso da sé, si riduce l'area delle discriminazioni, dirette e indirette. Lo sviluppo e la promozione della cultura della differenza di genere sono, perciò, temi fondamentali da trattare e richiedono interventi specifici per contrastare stereotipi e pregiudizi e per integrare istruzione, formazione e ricerca con l'inserimento di tematiche della parità. Il CPO, a questo proposito, promuove e organizza regolarmente, nelle sedi dell'INFN, seminari di divulgazione e informazione sulle problematiche di pari opportunità e sugli aspetti di genere dell'organizzazione del lavoro e, recentemente, anche corsi ufficiali di formazione del personale nei diversi ruoli e livelli.

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 2009 a ricercatori ospiti stranieri distinti per nazionalità.

BORSE PER LO SCAMBIO DI 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)

- *Finalit* : 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.

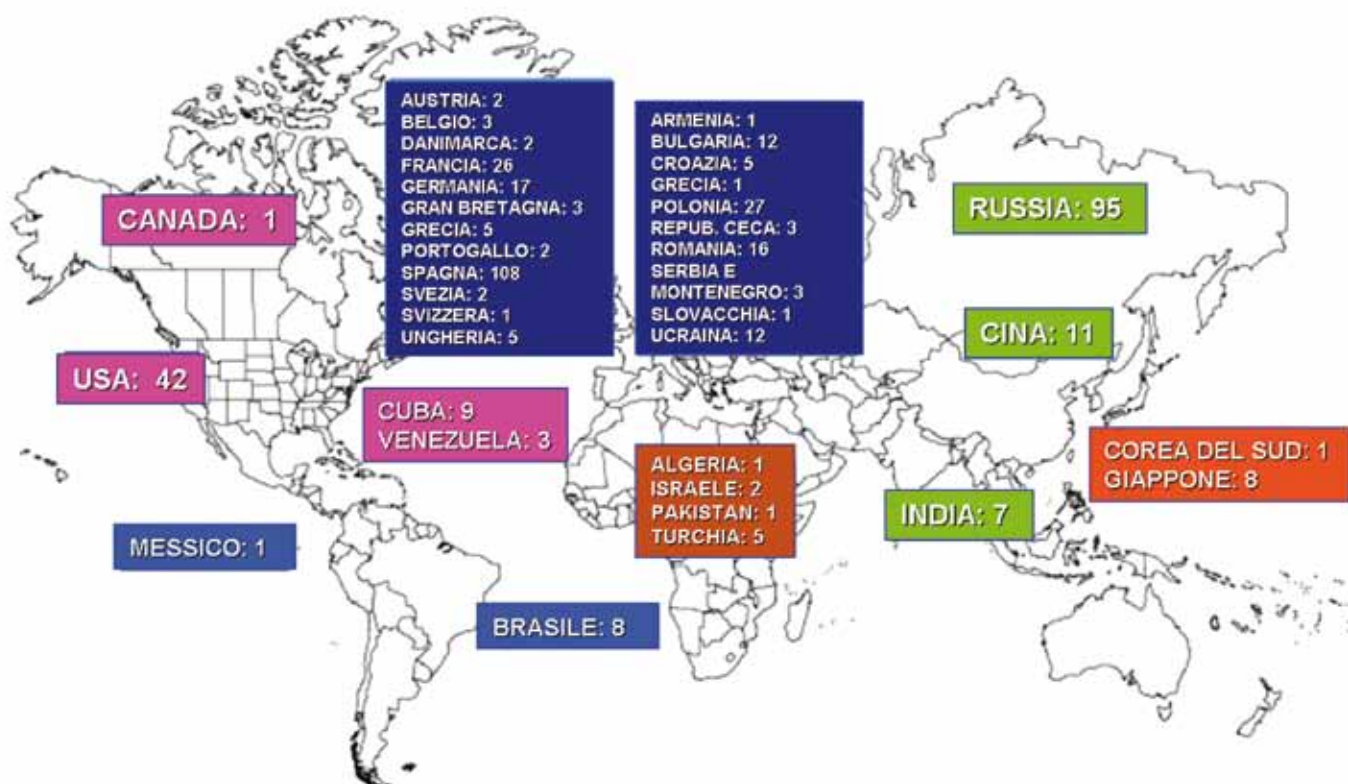


Fig.7.3 : Ricercatori stranieri ospiti presso strutture INFN (FAI) nel 2009 per un totale di 451



Fig. 7.4: Accordi bilaterali in vigore per scambi borsisti

- *Supporto finanziario*: a carico del CERN;
- *Selezione candidati*: 1° livello Stati Membri – 2° livello CERN.

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

- *Numero e durata*: stabilito annualmente da parte di un apposito Comitato congiunto INFN/CAS.;
- *Finanziamento*: a carico INFN;
- *Sedi di destinazione*: sezioni e Laboratori INFN;
- *Selezione candidati*: effettuata da parte della struttura INFN di destinazione su temi di ricerca.

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

- *Numero e durata*: 5 borse di durata annuale;
- *Finanziamento*: a carico INFN;
- *Sedi di destinazione*: Laboratori Nazionali di Legnaro e Laboratori Nazionali del Sud;
- *Selezione candidati*: effettuata da parte della sede di destinazione su temi di ricerca prestabiliti.

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

- *Numero*: 20 borse per fisici italiani presso laboratori USA – 20 borse per fisici USA presso Strutture INFN;
- *Finanziamento*: 10 a carico DOE – 10 a carico NSF – 20 a carico INFN;

- *Destinatari*: laureandi in fisica, ingegneria, informatica;
- *Durata*: soggiorni di 10 settimane (periodo 1° giugno – 30 novembre);
- *Selezione candidati*: effettuata da apposite Commissioni paritetiche INFN/DOE/NSF.

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). 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 vogliamo ottimizzare il rapporto di lavoro, lo dobbiamo "umanizzare", cioè dobbiamo 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 abbiamo deciso di costruire quel futuro.

Assegnazioni 2010

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.

Per consentire lo svolgimento dei Piani Formativi Locali promossi dalle strutture (consultabili sulla pagina web della formazione), per l'anno 2010 è stato disposto uno stanziamento complessivo di circa 1.800 kE.

L'assegnazione complessiva relativa alle iniziative formative delle Commissioni Scientifiche Nazionali relative al 2010 è di 500 kE. Per lo svolgimento del Piano Formativo CCR sono stati assegnati 100 kE.

La linea di tendenza degli ultimi anni è quella di aumentare gradualmente la capacità di spesa delle risorse assegnate contrattualmente.



Una ulteriore novità proposta dalla Commissione Nazionale Formazione nel corso del 2009 riguarda la formazione di giovani ricercatori e tecnologi non dipendenti.

Al riguardo, la CNF riflette sull'importanza di formare i giovani ricercatori e tecnologi titolari di contratti di associazione che, non essendo dipendenti dell'Ente, non possono usufruire delle risorse a disposizione della formazione e propone alla Giunta Esecutiva di mettere una cifra in Bilancio dedicata alla formazione di queste categorie. La cifra di riferimento potrebbe variare tra 200 e 500 kE. Una ulteriore innovazione destinata a questa tipologia di personale riguarda la fruibilità delle iniziative formative INFN in qualità di uditori.

Le attività di comunicazione e di divulgazione scientifica

VIII

Con l'obiettivo di fare sempre più dell'INFN un punto di riferimento per la diffusione della conoscenza nel contesto della fisica fondamentale, l'Ufficio Comunicazione gestisce diverse attività di comunicazione, trasmissione della cultura scientifica e divulgazione, in forme variegata e correlate.

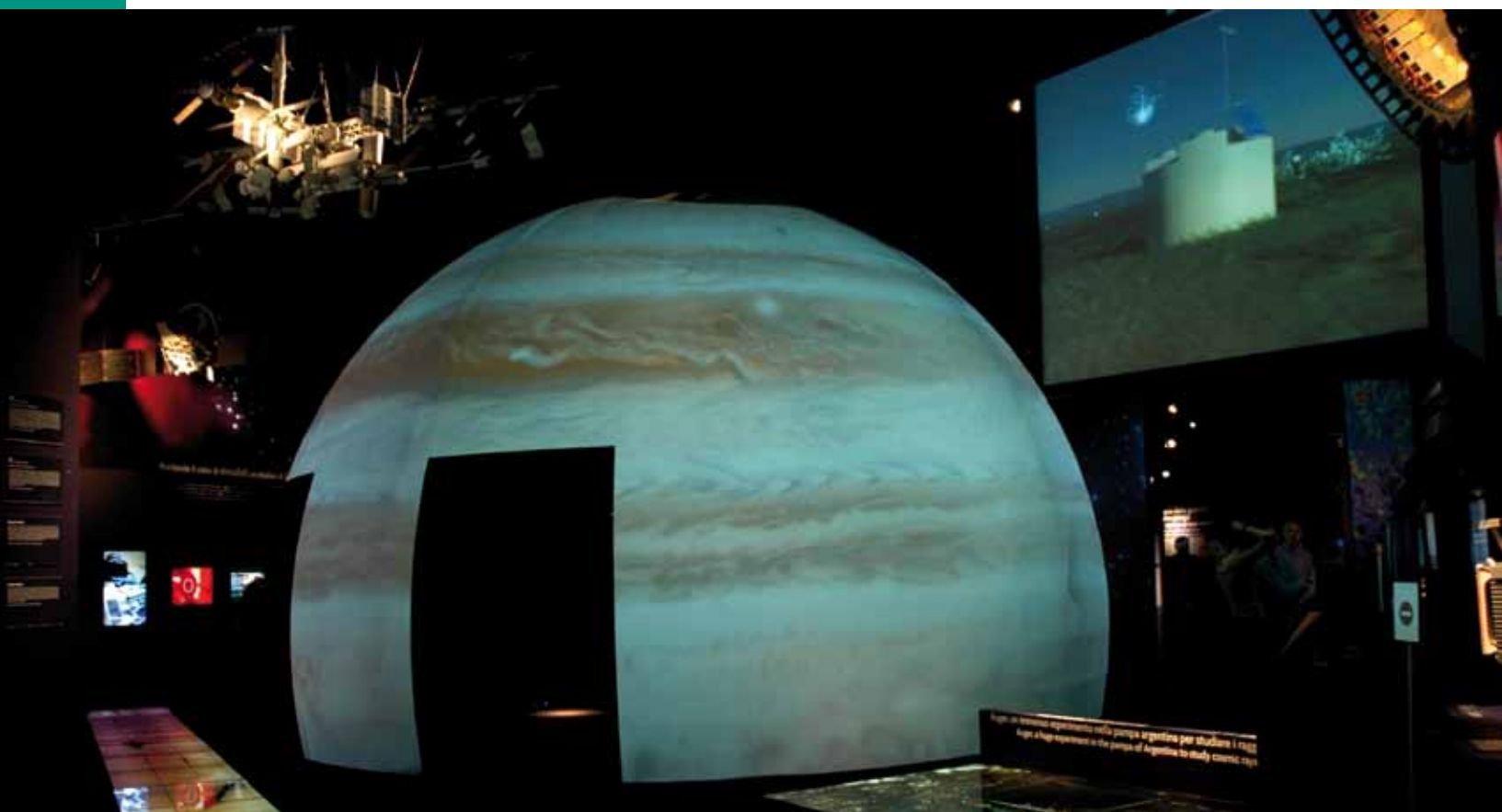
Nei rapporti con i media, in particolare, l'INFN è diventato un importante fonte di informazione per i giornalisti scientifici italiani e le agenzie di stampa e inizia a essere conosciuto anche dal grande pubblico.

Sul fronte della divulgazione e della comunicazione museale, il successo e l'ottima critica ottenute dalla mostra *Astri e Particelle* portano a ritenere che l'innovazione del mezzo comunicativo via allestimenti immersivi e multimediali sia un percorso da perseguire per guadagnare l'interesse del grande pubblico.

Le monografie su temi di fisica fondamentale e di frontiera, offerte al pubblico tramite la rivista *Asimmetrie* e distribuite tra gli altri a tutti i licei italiani, rappresentano una rara opportunità di dialogo con il pubblico scolastico – e non solo – e una ricca risorsa di aggiornamento per gli insegnanti.

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: La sala centrale della mostra *Astri e Particelle* allestita a Roma, a Palazzo delle Esposizioni.





8.1 LA COMUNICAZIONE PER I MEDIA E LA COMUNITÀ LA COMUNICAZIONE DA E VERSO I MEDIA

Nel corso del 2009 l'Ufficio Comunicazione ha consolidato l'immagine dell'INFN sui media stampati, online e radiotelevisivi. Dopo il grande exploit del settembre 2008, con l'inizio della circolazione dei fasci in LHC, occorreva mantenere e rinnovare l'immagine dell'Istituto facendone un punto di riferimento fondamentale per i giornalisti italiani che si occupano di scienza e in particolare di fisica, ricerca spaziale e politica della ricerca.

Il settembre 2008 ha portato, da solo, oltre 500 citazioni sui media cartacei e 85 su quelli radiotelevisivi. Su questi ultimi, in particolare, la presenza dell'INFN nel solo mese di settembre 2008 è stata superiore a quella di tutto il 2007.

Sul piano quantitativo, dunque, si trattava nel 2009 di tenere le posizioni, senza però sperare di raggiungere gli exploit di un anno eccezionale. I dati di consuntivo ci dicono che la visibilità dell'INFN sui media cartacei e online si è avvicinata molto al dato del 2008 (1349 citazioni nel 2009 contro le 1486 di un anno fa) mentre tra i media radiotelevisivi nel 2009 siamo al 60% del dato del 2008 ma anche sopra il dato del 2007 di un buon 20%. Complessivamente, dunque, il consolidamento c'è stato.

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.

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/>) 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.

Per agevolare l'impegno di aumentare la visibilità delle attività dell'INFN, l'Ufficio Comunicazione realizza e aggiorna periodicamente prodotti di comunicazione pensati per un pubblico non specialistico. Nel 2009 è stata realizzata e stampata la brochure "Appunti sull'energia nucleare" in collaborazione con Ansaldo. La brochure, scaricabile per tutti dal web (<http://www.infn.it/energia/>), è stata inoltre distribuita con la rivista dell'INFN *Asimmetrie*, in allegato al numero "Nuclei e Stelle".

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 – *AS*troparticle *Ph*ysics *E*uropean *R*esearch *A*rea – l'Ufficio Comunicazione è impegnato nella gestione della newsletter, del sito di interesse divulgativo www.astroparticle.org, nella realizzazione di mostre sulla fisica delle astroparticelle e nella diffusione di comunicati stampa a interesse europeo. Il 2010 sarà 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.

All'Ufficio Comunicazione è stata data inoltre la responsabilità della comunicazione istituzionale a livello europeo del progetto per l'infrastruttura ELI (*Extreme Light Infrastructure*), attualmente nella fase preparatoria e finanziato dall'Unione Europea. In stretto contatto con il management del progetto, l'ufficio coordina la produzione di una newsletter quadrimestrale, l'aggiornamento del sito istituzionale (<http://www.extreme-light-infrastructure.eu>), la stesura dei comunicati stampa e partecipa all'organizzazione delle conferenze a livello europeo.

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.8.2: Il logo della mostra *Astri e Particelle*.

con particolare attenzione agli allievi delle scuole superiori e ai loro docenti, ha visto crescere quest'anno il numero di libere sottoscrizioni da 1500 a più di 4000. La rivista, dedicata ai temi fondamentali a cui l'INFN contribuisce in modo rilevante, è distribuita ai dipendenti dell'Ente, a una lista di insegnanti delle scuole superiori, costantemente curata ed 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, in progressione logica e



Fig.8.3: da sinistra, il logo e la copertina della rivista *Asimmetrie*, installazioni multimediali della mostra *Astri e Particelle*, brochure sull'energia nucleare.

Come 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 2009 le *Masterclasses* si sono svolte in sette sezioni INFN, ai LNF e contemporaneamente in 23 nazioni europee e negli USA, coinvolgendo più di 6.000 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

in modo tale da avvicinare il lettore ai meccanismi e alle fascinazioni che motivano il lavoro quotidiano dei fisici ricercatori. Congegnate partendo da una grafica coinvolgente, rivolta in particolare a un pubblico giovane, le monografie sono imperniate su un tema di fisica di frontiera, strutturate in articoli scritti dagli stessi ricercatori, a garanzia della correttezza, completezza e attualità delle informazioni. Alcune rubriche inoltre, dal carattere vivace, gettano un ponte diretto tra il ricercatore e chi legge. L'accessibilità di *Asimmetrie* al pubblico a cui la rivista si rivolge è garantita dal lavoro professionale dei redattori dell'Ufficio Comunicazione. La tiratura della rivista è passata da 10.000 copie a 20.000. Ad oggi *Asimmetrie* viene distribuito ai dipendenti INFN (2413 copie) e al personale



Fig. 8.4: Copertina del numero Nuclei e stelle della rivista Asimmetrie.

esterno – ricercatori e professori universitari – associato all’Ente (3783 copie), per un totale di 5752 copie, a 3126 scuole medie superiori, e a 5545 ulteriori 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. Allo stesso indirizzo sono consultabili e scaricabili tutti i numeri di *Asimmetrie*.

come INFN.it o altri) e ben il 60% proviene direttamente dai motori di ricerca. Questo vuol dire che, nonostante il nome “asimmetrie” sia una voce comune sul web, a dimostrazione del corretto lavoro di indicizzazione fatto, il primo risultato della ricerca è sempre il sito ufficiale della rivista.

8.3 MOSTRE E MULTIMEDIA

LA MOSTRA ASTRI E PARTICELLE

La progettazione e realizzazione della mostra *Astri e Particelle* è stato un evento assolutamente straordinario



I riscontri avuti fino a oggi da insegnanti, studenti e cittadini abbonati ad *Asimmetrie* sono molto positive. 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. Nel periodo 1/01/2009-11/01/2010 i visitatori sono stati 20.340: sono 2180 gli accessi in più rispetto allo stesso periodo dell’anno precedente. Il tempo medio di permanenza è stato di 1’47”, con un valore di picco di 6’40”. Interessante per valutare l’indicizzazione del sito (cioè la visibilità sui motori di ricerca) sono le percentuali delle diverse modalità di accesso dei visitatori: il 18% del flusso deriva da traffico diretto (persone che digitano l’indirizzo asimmetrie.it), il 22% da siti di riferimento (link da altri siti,

nell’ambito delle attività INFN di *outreach* e comunicazione verso il pubblico e ha coinvolto a diversi livelli le strutture di comunicazione, le sezioni locali e i laboratori dell’Istituto. L’Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF) e l’Agenzia Spaziale Italiana (ASI) sono stati invitati dall’INFN a divenire partner della cura scientifica e della produzione della mostra. La mostra, allestita al Palazzo delle Esposizioni di Roma dal 26 ottobre 2009 al 14 febbraio 2010, è destinata a divenire parte permanente del Museo della Fisica e dell’Astrofisica dell’INFN, a Teramo.

Astri e Particelle è la prima grande mostra in Italia a presentare la visione scientifica contemporanea del Cosmo. È inoltre il primo esempio, anche in ambito europeo, di

un'esposizione museale interattiva e multimediale sugli sviluppi della ricerca astrofisica e "astroparticellare", uno dei settori di punta della ricerca fondamentale della fisica odierna; allo stesso tempo, la mostra descrive le idee e i metodi più "tradizionali" dell'astronomia e dell'astrofisica. Presentando lo studio dei "messaggeri" cosmici noti solo dall'ultimo secolo (i raggi cosmici, i neutrini e i raggi gamma, ecc.) e i nuovi osservatori appositamente costruiti (laboratori sotterranei, esperimenti sottomarini o sui satelliti, grandi esperimenti a terra ecc.), l'allestimento stimola l'interesse del pubblico per i grandi temi di frontiera, come la rivelazione della materia oscura, l'identificazione dell'energia oscura o le ipotesi cosmologiche.



Il fascino e la suggestione dei contenuti, spesso lontani dall'immaginario comune, sono enfatizzati dall'ambiente immersivo e di forte impatto visivo per il visitatore. Risultato di scelte di comunicazione innovative e originali, l'ambientazione scenica è costellata di installazioni interattive e multimediali, proiezioni e materiale filmico, capaci di rendere attraente e visivamente più immediato il percorso concettuale. Uno spazio evocativo, all'interno del quale sono presentate le testimonianze e i volti della comunità degli scienziati, dà inoltre voce e sguardo al lavoro e i contenuti di una ricerca considerata, e in qualche modo effettivamente, "invisibile".

L'Ufficio Comunicazione INFN, oltre a contribuire alla progettazione del racconto espositivo dei contenuti, ha seguito la produzione e coordinato la regia di tutti gli aspetti multimediali della mostra, che ne costituiscono l'eccezionale trama visiva ed emozionale: per la modalità espositiva di questi temi, sono probabilmente un esempio innovativo a livello mondiale. Lo straordinario successo della mostra, che ha raccolto in tre mesi oltre 140.000 visitatori, e l'altrettanto eccezionale successo degli eventi collaterali, oltre trenta

conferenze, incontri e caffè della scienza (che hanno registrato sempre il tutto esaurito), attestano l'efficacia verso il grande pubblico delle modalità e dei linguaggi di comunicazione scelti, nonostante la complessità dei contenuti proposti.

L'allestimento della mostra *Astri e Particelle*, la promozione, il mantenimento, l'organizzazione e la gestione degli eventi collaterali a Palazzo delle Esposizioni sono il frutto dello sforzo sinergico tra l'INFN e l'azienda speciale Palaexpo del Comune di Roma. È un caso esemplare di successo della sempre più stretta ed efficace collaborazione dell'INFN con le istituzioni locali nell'organizzazione di iniziative di disseminazione culturale.

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, in occasione della mostra *Astri e Particelle* e del Festival della Scienza di Genova.

Estremamente significativa è stata nell'ultimo anno 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. Almeno venti video con questo formato sono stati realizzati per la mostra *Astri e Particelle* e in altre occasioni, ma sono naturalmente riutilizzabili in tutti i contesti già citati.

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 sono state il Festival delle Scienze di Roma, con l'allestimento di una sezione dedicata a LHC, il festival *Sperimentando* di Padova e la manifestazione *La Scienza in piazza* a Bologna con il laboratorio didattico interattivo e itinerante *La Natura si fa in 4*. A uso delle singole sezioni e dei laboratori INFN, delle scuole e delle manifestazioni che ne fanno richiesta,

la mostra interattiva *La Natura si fa in 4* è attiva dal 2007. Ideata e curata dall'Ufficio Comunicazione dell'INFN, la mostra presenta al pubblico le quattro forze fondamentali della Natura e alcuni esperimenti di fisica contemporanea che mirano a spiegarne i risvolti più nascosti.

Nel 2009 si è svolta la quarta edizione di *Fisica in barca*, l'iniziativa di divulgazione scientifica promossa dall'INFN in collaborazione con "Velisti per caso", con la partecipazione di Enel, che coinvolge ogni anno centinaia di studenti italiani. Nel 2009 il tour di Adriatica è partito da La Spezia in aprile ed è giunto a Trieste dopo quattro tappe intermedie. 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 con "Velisti per caso" e si è curato di realizzare un'immagine coordinata.

L'INFN è tra i soci fondatori del Festival della Scienza di Genova. Nel 2009 ha partecipato, tramite la sezione INFN di Genova e l'Ufficio Comunicazione, alla cura della mostra *FantaScienza*, ospitata al Palazzo Ducale nella settimana del Festival. Nella mostra è stata infatti presentata la video-installazione interattiva "La scienza inventa il futuro", curata dall'Ufficio Comunicazione INFN e da un video-artista. L'installazione video, che copre le quattro pareti di una stanza, crea un ambiente suggestivo e immersivo, uno sguardo sul futuro imminente di due ambiti di ricerca correlati particolarmente suggestivi: LHC e Grid. L'installazione video è focalizzata, infatti, sulla possibilità di ricreare in laboratorio i primi istanti dell'Universo e sulle potenzialità di una rete di calcolatori planetaria, in grado di elaborare un'immensa quantità di dati per usi scientifici.

PROSPETTIVE

A partire dal 2010 sono previste diverse iniziative, concentrate su alcuni progetti di grande respiro. In primo luogo, la ripresa dell'attività a LHC e a seguire, il progetto SuperB, il lancio di AMS, la partecipazione dell'INFN a CNAO, l'esperimento ICARUS ai Laboratori del Gran Sasso, SPES, KM3Net, l'implementazione dell'infrastruttura Grid. Per ciascuno di questi temi sono in preparazione eventi e materiali, quali comunicati stampa, info-grafici, audiovisivi e animazioni.

Dopo il riavvio di LHC, in particolare, sono attesi per tutto il 2010 i primi risultati di una fisica nuova e un susseguirsi di contenuti scientifici tali da produrre un nuovo scenario di conoscenza nell'ambito della fisica fondamentale. Il processo in atto, di trasformazione dell'INFN in una fonte di riferimento per i professionisti della stampa, potrà essere

inoltre accelerato e qualificato, incrementando lo spazio e il ruolo della comunicazione verso media e pubblico nel sito web dell'Istituto.

La mostra *Astri e Particelle* vedrà a partire da marzo 2010 il suo secondo allestimento, alla Città della Scienza di Napoli, prima del definitivo trasferimento al Museo della Fisica e dell'Astrofisica dell'INFN, a Teramo. Parallelamente all'allestimento presso il museo di Teramo, un numero limitato di installazioni interattive potrà essere facilmente riprodotto per garantire a una parte della mostra la possibilità di partecipazione a festival della scienza ed eventi internazionali. L'*European Science Open Forum*, previsto nel 2010 a Torino, sarà l'occasione per presentare LHC attraverso un percorso espositivo dal carattere immersivo e coinvolgente. La mostra accompagnerà il pubblico in un viaggio immaginario attraverso i nuovi scenari attesi dalla fisica che si svilupperà in LHC dal 2010 e lo sviluppo delle tecnologie e dalle loro ricadute, presenti e future, della più grande macchina acceleratrice del mondo.

Proseguirà 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. Nel 2010 si punterà a migliorare la rivista sotto il profilo del patrimonio iconografico e a implementarne i contenuti con allegati di approfondimento e dossier.

Per l'immediato futuro si rende inoltre necessaria la produzione di riprese video delle principali facility e dei Laboratori Nazionali, un materiale indispensabile per le relazioni con i media e la cui implementazione si è dimostrata, in più occasioni, necessaria. A partire da questo materiale e da quello immediatamente disponibile realizzato per la mostra *Astri e Particelle*, l'Ufficio Comunicazione ha inoltre in progetto la produzione di moduli multimediali (video e grafici) su aspetti e progetti INFN di particolare rilievo, adatti alla comunicazione istituzionale e alle attività di divulgazione, condotte anche a livello locale. Un archivio audiovisivo così ricco e articolato, utile in occasione di eventi pubblici e ad uso dei giornalisti, del pubblico interessato e di insegnanti e studenti, sarà valorizzato e reso ulteriormente fruibile nel contesto del nuovo sito dell'Ente.

Le attività di impatto socio-economico e di trasferimento tecnologico

IX

9.1 TRASFERIMENTO TECNOLOGICO

Nel corso del prossimo triennio l'Istituto porterà a frutto il percorso intrapreso da circa un anno e volto a ridefinire il quadro regolamentare interno sulla materia della proprietà intellettuale e del trasferimento tecnologico. L'INFN, pur dotato di norme che hanno consentito di raggiungere esemplari forme di sinergia con le industrie e il mondo accademico (fra tutti si vuole citare la collaborazione con l'IBA e il Dipartimento di Fisica dell'Università di Torino), ha avvertito l'esigenza di migliorarle e implementarle per meglio rispondere 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.

E' stato così individuato un gruppo di lavoro composto da soggetti che vogliono rappresentare le varie anime dell'Istituto (direttori di sezione, responsabili di esperimenti e progetti speciali, universitari associati alle attività dell'Istituto) e che ha definito nel corso dell'anno appena trascorso proposte regolamentari che vedranno la loro definitiva approvazione ed applicazione nel periodo di riferimento del presente documento.

La ricerca in Fisica Nucleare e Subnucleare 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 al "lavoro di squadra", su base competitiva ma collaborativa e dove l'individualità viene valorizzata.
- Gli esperimenti richiedono investimenti considerevoli e, sovente, produzioni quantitativamente e qualitativamente significative a livello industriale. Ciò implica, da parte delle aziende fornitrici, innovazione di prodotti o servizi ed una interazione continua con i ricercatori.

Su questa base, si intende definire e implementare una strategia di trasferimento di tecnologia e conoscenza, per passare da risultati significativi ma episodici ad una vera e propria azione di sistema, integrata nel *modus operandi* dell'Istituto.

Alla base del processo, c'è il superamento dello schema in cui si assume che gli istituti di ricerca siano produttori di conoscenza e il mondo produttivo ne sia consumatore, per perseguire un modello in cui Istituto e imprese o altre istituzioni conducono azioni di ricerca collaborativa tramite consorzi, Laboratori congiunti di sviluppo, attività in conto terzi ed eventualmente aziende di nuova creazione (*spin-off company*).

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 comunicativa presso ogni struttura dell'Istituto, al fine di organizzare e strutturare il *know-how***

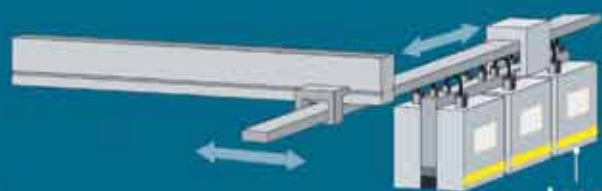
■ BIOSUSCETTOMETRO MID

(MID - *Magnetic iron detector-rivelatore magnetico di ferro*)

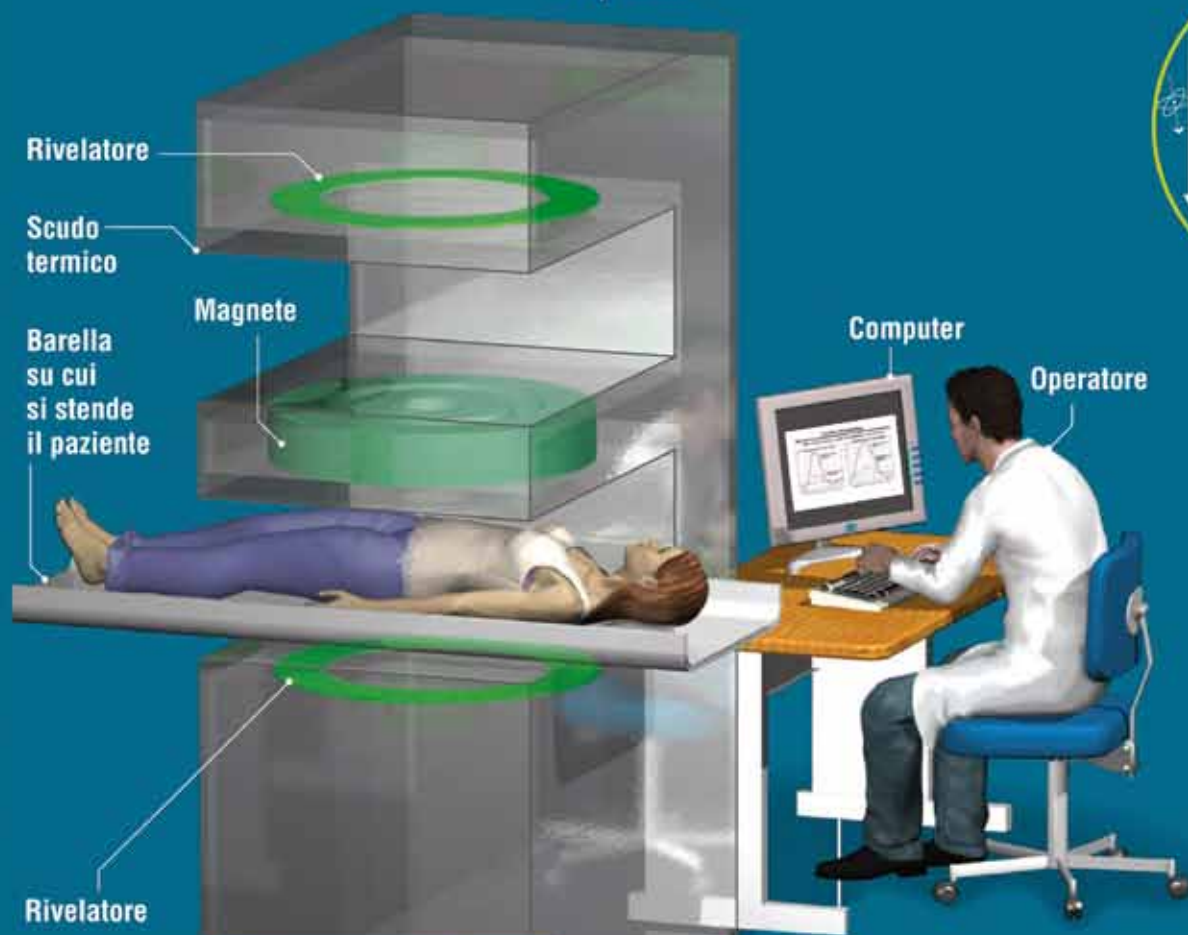
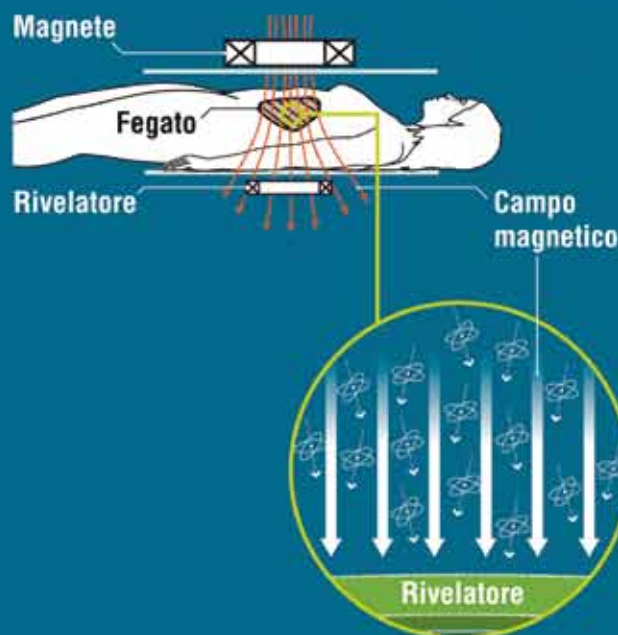
- Un prototipo di biosuscettometro (MID) ideato dall'Infn è in funzione dal 2005 presso il centro di Microcitemia dell'Ospedale Galliera di Genova

■ COME FUNZIONA

Il paziente è sottoposto a un campo magnetico. Il flusso del campo è leggermente modificato dalle proprietà magnetiche degli organi che attraversa. Il MID misura il segnale (la suscettività magnetica) prodotto dal corpo del paziente. Dal segnale si capisce se nel paziente è presente un sovraccarico di ferro



Laser per misurare le caratteristiche antropometriche del paziente



- Misura il sovraccarico di ferro nel fegato (per esempio nei talassemici)
- È una macchina unica al mondo
- Sono stati misurati oltre 600 pazienti ed evitate centinaia di biopsie
- È in fase di progettazione un nuovo biosuscettometro MID: si chiamerà MID 2

pre-istente 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.**

L'INFN si 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, che rinviava però al testo ora in corso di approvazione la definizione dei criteri per la ripartizione e l'assegnazione al fondo di incentivazione del personale di una quota dei corrispettivi derivanti da tali attività. In tale schema è stato proposto di assegnare al predetto fondo una percentuale degli utili, dedotti tutti gli oneri diretti e indiretti, e di prevedere alcune limitazioni sull'impegno temporale massimo che ciascun dipendente può prestare per questo genere di attività, che si svolgono comunque durante l'orario di lavoro.

9.3 SPIN-OFF

Altra importante iniziativa di natura regolamentare riguarda la disciplina sugli *spin-off* dell'INFN. Il Regolamento Generale dell'INFN già prevede all'art. 2, comma 3, lett. d) tra le funzioni dell'Istituto la promozione e la partecipazione: "a consorzi, fondazioni e società anche internazionali, stranieri e comunitari, che abbiano come scopo lo sviluppo

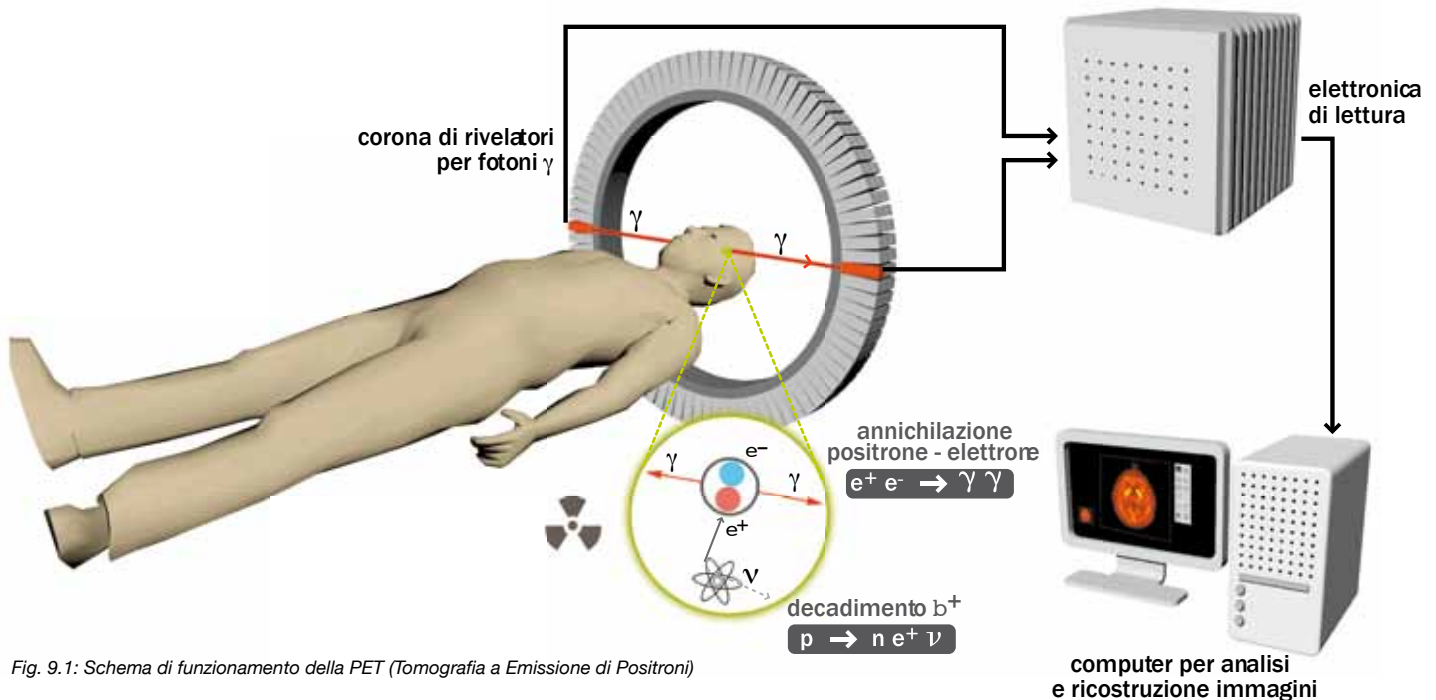


Fig. 9.1: Schema di funzionamento della PET (Tomografia a Emissione di Positroni)

9.2 CONTO TERZI

Nel corso del 2009 è stato predisposto e sottoposto alla trattativa con le competenti OO.SS. uno schema di 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.

delle ricerche, le prestazioni di servizi ad esse attinenti o il trasferimento e la valorizzazione di conoscenze in campi di sua competenza e in campi interdisciplinari e di interesse applicativo". È proprio sulla base di tale richiamo normativo che l'INFN ha partecipato e partecipa a varie realtà imprenditoriali, nazionali e internazionali, descritte altrove nel presente documento.

È mancata finora la disciplina interna, prevista dal Decreto Legislativo 27 luglio 1999, n. 297, contenente il “Riordino della disciplina e snellimento delle procedure per il sostegno della ricerca scientifica e tecnologica, per la diffusione delle tecnologie, per la mobilità dei ricercatori” nonché dal suo regolamento attuativo, contenuto nel D.MIUR 8 agosto 2000 n. 593 recante “Modalità procedurali per la concessione delle agevolazioni previste dal decreto legislativo 27 luglio 1999, n. 297”, per consentire al personale dell’Istituto di promuovere la costituzione di realtà imprenditoriali 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 lo schema di regolamento ora all’esame degli organi direttivi dell’Ente si è quindi disciplinata la procedura autorizzativa che deve essere seguita dal personale interessato, sia dipendente che associato, e sono state previste differenti forme di collaborazione che l’INFN può prestare alla costituenda società: dal mero conferimento in licenza di

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

Particolare attenzione sarà prestata ai processi di brevettazione delle conoscenze sviluppate all’interno delle attività istituzionali dell’Ente con l’auspicio di incrementarne il numero senza però svilirne la qualità e le potenzialità commerciali.

L’INFN è infatti attualmente titolare di 11 brevetti, di cui 5 in comproprietà con altri Enti pubblici o privati, dei quali quattro stranieri. Tutti i brevetti trovano tutela in Italia, due anche in Francia, uno in Europa, uno negli USA, quattro 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.



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.

9.4 BREVETTI E PROPRIETÀ INTELLETTUALE

A completamento del processo di revisione della disciplina

Piano di riammodernamento gestionale

X

10.1 IL QUADRO NORMATIVO

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

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

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

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

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

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

IL REGOLAMENTO GENERALE IN VIGORE E I REGOLAMENTI INTERNI

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

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



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

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

Sono inoltre in via d'adozione il regolamento per l'attività negoziale e il regolamento per il patrimonio, già trasmessi al Ministero per le verifiche di legge, e il regolamento sugli *spin-off* dell'Istituto, attualmente all'esame del Consiglio Direttivo dell'INFN.

LE DISPOSIZIONI LEGISLATIVE GENERALI

La natura pubblica dell'Istituto, l'impiego di risorse umane e in generale il fatto di essere inseriti nella realtà giuridica del Paese, comportano l'obbligo di attenersi: ai principi sulla trasparenza e sui tempi certi dei procedimenti amministrativi (legge 241 del 1990); all'ordinamento del lavoro alle dipendenze delle amministrazioni pubbliche (decreto legislativo 165 del 2001); alla tutela dei dati personali (decreto legislativo 196 del 2003); alla cura della sicurezza dei luoghi di lavoro (decreto legislativo 81 del

2008); al controllo della Corte dei Conti (legge 20 del 1994); alle speciali regole in materia di lavori, servizi e forniture (decreto legislativo 163 del 2006); nonché a tutte quelle altre disposizioni generali che riguardano i singoli settori interessati dalle attività dell'Ente.

10.2 IL SISTEMA INFORMATIVO

Obiettivi e prospettive 2010-2012

Nel corso del 2009 il nuovo sistema informativo dell'Istituto è stato messo in esercizio ed è in uso in tutte le strutture. Per grandi aree il perimetro funzionale attuale prevede:

- Gestione amministrativa e contabile
- Gestione del personale
- Amministrazione del personale
- Portale dell'utente
- Richiesta di missione e di rimborso
- Richiesta di acquisto
- Scheda contabile di progetto.

creando in questo modo le condizioni affinché l'INFN possa perseguire obiettivi più ambiziosi di cui il sistema informativo è condizione necessaria anche se non sufficiente.

Gli obiettivi che l'INFN si dà per il prossimo triennio possono essere così sintetizzati:

- Integrazione di tutte le componenti informative attualmente in esercizio nell'INFN, al fine di garantire un sistema moderno, integrato che possa migliorare l'efficienza nelle sue operazioni e la trasparenza verso il management e gli organi di controllo
- Ottimizzazione dei processi amministrativi trasversali all'INFN ovvero che coinvolgono centro e periferia, redistribuzione delle attività sui processi medesimi,



profittando delle nuove possibilità offerte dal sistema informativo, al fine di garantire una semplificazione delle procedure, una maggiore efficienza ma anche, e soprattutto, un controllo più semplice e una maggiore trasparenza

- Rendere disponibili al management dell'INFN e agli organi di controllo dati sull'andamento economico dei progetti, in modo correlato e tempestivo rispetto alle azioni di spesa sui progetti medesimi; garantire viste integrate e di dettaglio permettendo una facile navigabilità ed aggregazione dei dati presenti nel sistema.

Dati questi obiettivi, è evidente che il nuovo sistema informativo, che ha la caratteristica di essere un sistema informativo integrato, è una componente fondamentale per il loro raggiungimento.

In passato l'INFN ha affrontato il miglioramento di singole attività nell'ambito di unità organizzative indipendenti (rendere più efficiente la richiesta di missione, il suo rimborso, la generazione dell'ordine, la sua fatturazione, ecc.). Queste attività sono supportate dal sistema informativo e verranno rese via via più efficienti. È necessario ora affrontare, per migliorare l'efficienza dell'intera macchina amministrativa, l'insieme di attività ovvero i processi dell'Istituto. Questo però sicuramente comporta migliorare e integrare il sistema informativo, ma anche allineare l'organizzazione con le scelte di miglioramento. Infatti il miglioramento passa anche attraverso la redistribuzione di attività in modo coerente con quanto oggi offre il sistema informativo.

In parallelo al miglioramento sui processi è auspicabile un importante miglioramento sui dati. Anche in questo caso l'INFN è abituato ad analizzare dati di singole unità organizzative (la sezione, il laboratorio, il centro, ecc.); sono ora a disposizione dati uniformi che provengono da differenti strutture organizzative e quindi confrontabili ed aggregabili tra di loro. La possibilità di correlare questi dati è un potente strumento di gestione a disposizione del *management* dell'INFN. L'obiettivo non è solamente individuare tempestivamente azioni di miglioramento nella gestione dei progetti scientifici ma anche di gestire l'andamento dell'Istituto basandosi su analisi numeriche di indicatori secondo le moderne teorie di *management* ("non si può gestire ciò che non si può misurare", Roberto Kaplan, *Balanced Scorecard*).

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

Questo modo di procedere consente di verificare costantemente la bontà dell'impostazione, modulare gli investimenti, massimizzare l'uso delle risorse interne e nel contempo minimizzare gli impatti operativi sulle strutture.

Gli allineamenti verranno di preferenza effettuati rispettando l'architettura e la tecnologia dell'attuale base tecnologica, applicativa e gestionale del sistema informativo, ma nel contempo valorizzando eventuali scelte diverse ove

opportuno o più semplicemente conveniente.

Nel seguente paragrafo vengono delineati alcuni degli elementi di sviluppo che, in coerenza con quanto detto, concorrono al raggiungimento degli obiettivi strategici della gestione di INFN.

ALCUNI ELEMENTI DI SVILUPPO DEL SISTEMA INFORMATIVO

Portale dell Utente

La progressiva evoluzione del sistema informativo renderà opportuno l'allargamento delle funzioni disponibili all'utente con una modalità di fruizione semplice e intuitiva.

Con l'ampliamento del portale si tende a far originare elettronicamente i più rilevanti flussi di lavoro, con grande vantaggio sul carico di lavoro delle strutture di *staff* e semplificazione complessiva degli adempimenti.

stesso organizzativamente costosi. A titolo esemplificativo vengono riportati alcuni dei processi che l'Istituto ha in animo di rendere più efficienti nei prossimi anni:

- Disposizioni, delibere e circolari
- Gestione appalti
- Budget e pianificazione
- Concorsi
- Reclutamento e incarichi

Integrazione con la firma Elettronica

Si prevede che i processi che richiedono un qualche livello autorizzativo verranno integrati con la prevista disponibilità della firma elettronica. A titolo di esempio:

- Richiesta di acquisto
- Emissione ordine
- Autorizzazione al pagamento



Miglioramento di processi di business

La gestione dei documenti di processo proseguirà nel corso del triennio in esame. L'Istituto si propone di continuare nel processo di eliminazione dell'utilizzo della carta nel prossimo triennio, conseguendo nel contempo ampi livelli di miglioramento dell'efficienza organizzativa. I flussi di lavoro automatizzati, l'uso pervasivo della firma elettronica nei processi per i quali si rendono necessari specifici livelli autorizzativi e di sicurezza, permetteranno di raggiungere l'obiettivo, certamente ambizioso, che l'Istituto si pone.

Nei primi mesi del 2010 verrà reso disponibile il "mandato elettronico" per tutte le strutture dell'Istituto.

L'introduzione della firma elettronica è il fattore abilitante per l'informatizzazione di alcuni processi importanti e al tempo

Gestione dei dati

Si prevede di rendere disponibili modelli di dati e relativi strumenti che permettano una facile navigazione dello spazio disponibile nel sistema informativo INFN. Questi modelli, detti di *data mining* o *business intelligence*, permettono di correlare tra loro dati mantenendo aperte le linee di collegamento tra loro o meglio, non "ingessando" a priori le relazioni dei dati medesimi. La conseguenza è una navigazione dello spazio dei dati intuitiva ma complessa tale da permettere analisi di qualunque livello di interesse.

Un grande sforzo verrà profuso in questa direzione per individuare indicatori sintetici, o piuttosto coerenti con il livello di sintesi attesa, misurati e monitorati, che rappresentino il funzionamento dell'INFN, permettendo di mettere sotto controllo il "sistema azienda".

La valutazione interna

XI

Nell'ultimo decennio lo scenario della ricerca scientifica è diventato più complesso e di più difficile gestione: vi è stata, in particolare, una crescente influenza contestuale da parte dei governi, dell'industria e della società in generale, che ha reso strategico il compito di valutare le persone, i progetti e il sistema nel suo complesso.

Da un lato esiste infatti una ovvia esigenza dei finanziatori, pubblici e privati, che si pongono come obiettivo la misura della qualità delle entità finanziate, cercando indicatori quanto più possibile oggettivi, ad esempio numerici, e utilizzabili per un ampio numero di realtà disciplinari. Dall'altro lato le realtà operanti nella ricerca hanno esse stesse la necessità di sottoporsi a un vaglio periodico del loro livello di *performance*, per poter meglio definire i piani di lavoro e le strategie corrispondenti. La valutazione si basa in questo caso, soprattutto nella ricerca fondamentale, su processi di *peer review*, cioè basati sui giudizi di colleghi di alto profilo scientifico, riconosciuti dalla comunità internazionale.

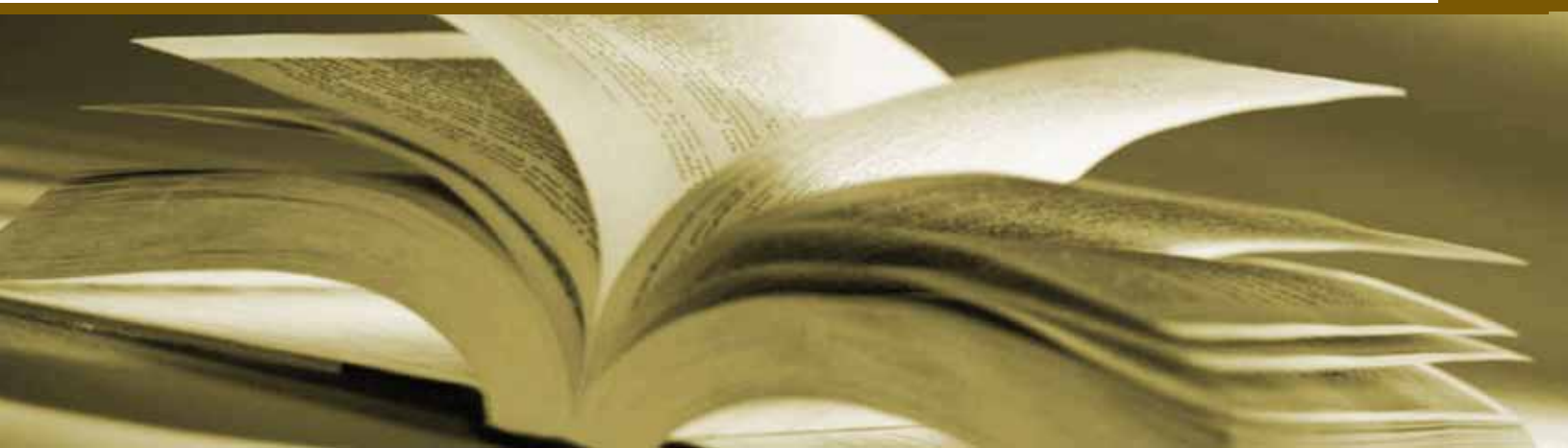
Lo scopo comune di entrambi gli approcci è di permettere all'intero sistema di funzionare nel modo migliore, alla luce degli obiettivi scientifici e sociali: perché la ricerca sia della più alta qualità possibile e della massima rilevanza per la comunità pubblica.

Anche la valutazione degli enti pubblici di ricerca e dei corrispondenti programmi di finanziamento ha di conseguenza ricevuto sempre maggiore attenzione, in particolare da parte delle istituzioni governative. Con la crescente consapevolezza che la ricerca sia alla base di una crescita economica a lungo termine, è infatti più sentita anche la necessità di avere un meccanismo per stabilire l'importanza relativa e l'impatto della ricerca stessa.

In questo contesto, l'INFN è da sempre all'avanguardia nello strutturare in modo regolare la verifica della propria attività scientifica. Questa verifica viene realizzata attraverso diversi organi dell'Istituto, dalla Giunta Esecutiva (GE), al Consiglio Direttivo (CD), alle Commissioni Scientifiche Nazionali (CSN), fino al Consiglio di Coordinamento Scientifico (CCS), di recente costituzione.

In particolare va sottolineato come, fin dal 1997, l'Ente abbia 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 di chiara fama, sia nei campi dove l'Istituto conduce le proprie attività di ricerca, sia in settori che sono interessati o connessi a queste attività, come quello industriale e produttivo o più in generale quello economico. Nessun ricercatore, dipendente o associato INFN, è componente del CVI, e questo 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 che viene consegnata 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 viene inviato 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) il CVI è altresì responsabile della validazione dei prodotti selezionati della ricerca (identificati dai GLV) e della trasmissione al Ministero degli altri dati legati alla *performance* scientifica dell'Ente, in modo da 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.

Nel seguito verranno 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, come uno dei 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*.

NUMERO DI PUBBLICAZIONI ISI

	2008	2007	2004-06	2001-03
CSN1	256	280	296	210
CSN2	219	192	205	169
CSN3	206	266	255	166
CSN4	1191	1236	1127	800
CSN5	333	325	264	240
INFN	2539	2492	2423	1935

Tabella 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 stesura di rapporti per grandi laboratori internazionali come il CERN il Fermilab, o a progetti editoriali simili come 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 SCOAP³ (*Sponsoring Consortium for Open Access Publishing in Particle Physics*). Il finanziamento attraverso un consorzio sembra il più promettente modello commerciale per le attività dell'INFN. Questo approccio è già operativo per la 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 profondamente il panorama globale, se il consorzio dovesse offrire strumenti addizionali come l'analisi delle citazioni o la ricerca di testi.

IMPACT FACTOR MEDIO

	2008	2007	2004-06	2001-03
CSN1	3.10	3.65	3.78	3.45
CSN2	2.80	2.89	2.15	2.16
CSN3	2.80	2.58	2.60	2.66
CSN4	3.47	3.62	3.44	3.50
CSN5	1.70	1.54	1.46	1.33

FRAZIONE DI AUTORI INFN (%)

	2008	2007	2004-06	2001-03
CSN1	42	37	36	27
CSN2	64	64	75	71
CSN3	51	53	47	53
CSN4	63	58	59	65
CSN5	67	56	66	65

Tab. 11.2: Alcuni indicatori di produttività scientifica INFN.

Nella tabella 11.1 è mostrata la produttività totale dell'INFN nel 2008, divisa nelle cinque linee scientifiche e confrontata con i risultati medi della VTR 2001-2003, del triennio successivo e del 2007. 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) 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), od 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 in una determinata rivista su 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 variegate.

Nella tabella 11.2 sono quindi riassunti alcuni altri parametri che vengono 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* come *Nature* o *Science*. Il valor medio della CSN5 è assolutamente tipico delle riviste a carattere tecnologico e strumentale, rispetto a quelle che raccolgono risultati di fisica sperimentale e teorica, ed esemplifica perfettamente il *caveat* esposto sopra sulla necessità di differenziare la valutazione rispetto alle caratteristiche del settore scientifico di riferimento.

La frazione di autori INFN è indicativa del livello di internazionalizzazione caratteristico delle 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-modalità: 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.

Questo esempio è utile anche per illustrare le difficoltà che si incontrano nell'utilizzare il cosiddetto "grado di proprietà" di un articolo (proporzionale direttamente alla percentuale di autori) per definire la qualità e la rilevanza della partecipazione istituzionale alla ricerca corrispondente. Nel caso di grandi collaborazioni internazionali, come quelle in cui operano i ricercatori che afferiscono alla CSN1, il livello di partecipazione si attesta intorno al 15%: questo numero viene a volte erroneamente utilizzato per significare un basso livello del contributo intellettuale INFN alla ricerca in oggetto. Poiché invece si tratta di collaborazioni tra decine di nazioni e centinaia di istituzioni scientifiche, per conoscere il peso reale del contributo INFN rispetto agli altri partner, non si deve considerare il rapporto tra il numero di autori INFN e il totale, ma quello tra il numero di autori INFN e una opportuna media sulle nazioni delle altre istituzioni partecipanti. In questo modo si evidenzia facilmente che il contributo intellettuale dei ricercatori INFN è perfettamente equivalente, e a volte superiore, a quello dei ricercatori degli altri istituti.

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 dei 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 che di personale, alle Collaborazioni suddette. Questa è una ulteriore dimostrazione dell'alto ruolo scientifico che l'Istituto riveste in ambito internazionale ed è

RISPETTO DELLE MILESTONE (%)

	2008	2007	2004-06
CSN1	79	79	80
CSN2	68	70	79
CSN3	83	84	78

RUOLI DI LEADERSHIP (%)

	2008	2007	2004-06
CSN1	26	26	25
CSN2	43	39	51
CSN3	37	37	39

Tab. 11.3: Indicatori di performance per le collaborazioni e i Gruppi di ricerca

La complessità, la dimensione e la durata temporale dei grandi progetti dell'Ente in fisica nucleare, subnucleare e astroparticellare 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 esterni per esaminare lo stato di ogni progetto (tipicamente due volte l'anno). Ogni esperimento, all'atto di sottoporre le richieste finanziarie per l'anno successivo, concorda con i referee anche un insieme di milestone da rispettare nello stesso periodo.

un importante riconoscimento delle capacità scientifiche e manageriali dei suoi ricercatori.

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 che sperimentale.

La *European Science Foundation* (ESF) è una di queste organizzazioni, e è nata sulla spinta di diverse istituzioni e agenzie (ad oggi 80 in 30 nazioni) che si sono poste come fine la cooperazione e la collaborazione nella ricerca scientifica europea, considerando anche le esigenze degli erogatori delle risorse finanziarie (*stakeholders*). La ESF agisce in stretta collaborazione con altre istituzioni a livello europeo, come la Commissione Europea stessa, ALLEA (ALL

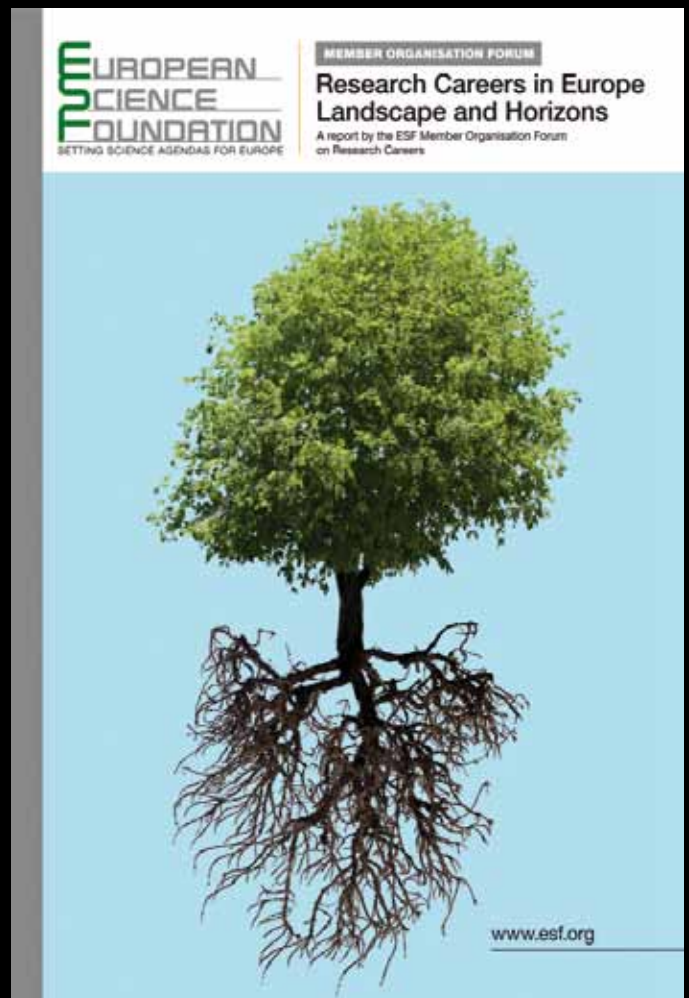
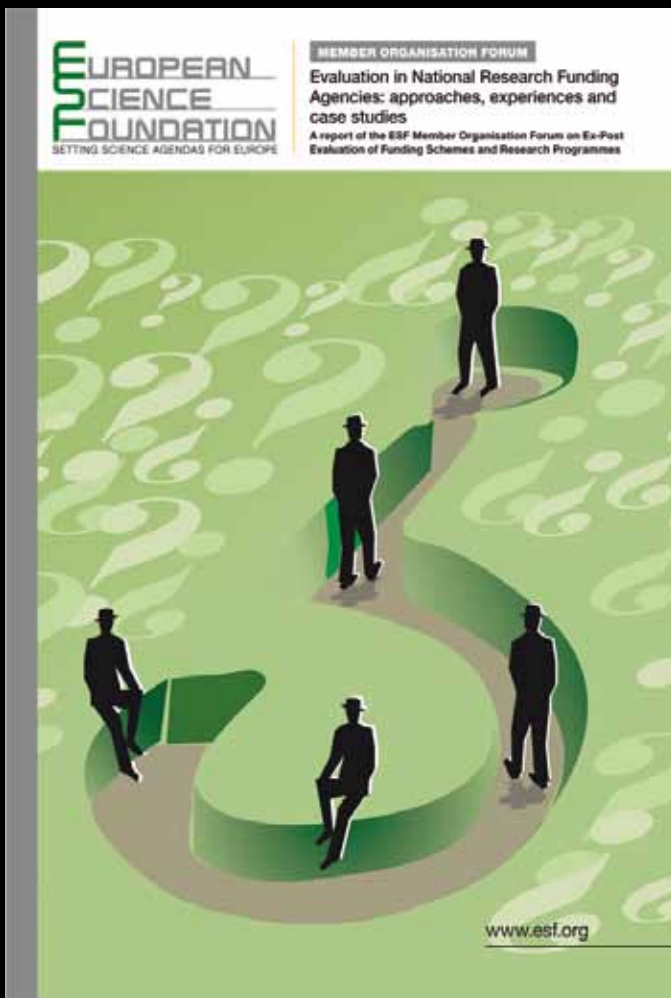
European Academies) e EUROHORCs (*European Heads of Research Councils*), di cui l'INFN è pure membro, e anche con partner come NSF (*National Science Foundation*) e NIH (*National Institutes of Health*) negli Stati Uniti e con l'OECD (*Organization for Economic Cooperation and Development*).

L'INFN fa parte di ESF fin dalla sua istituzione nel 1974 (unica altra istituzione italiana insieme al CNR): è rappresentato in strutture interne dell'organizzazione come il *Physics and Engineering sciences Standing Committee* (PESC) e il *Nuclear Physics European Collaboration Committee* (NuPECC). Da alcuni anni il ruolo di ESF si è focalizzato sulla creazione della *European Research Area*, 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.



In questo contesto, il tema dello sviluppo di nuovi metodi per valutare la qualità e la pertinenza dei risultati scientifici ha recentemente ottenuto maggiore slancio, e le organizzazioni aderenti a ESF sono state invitate a contribuire con la loro esperienza e le loro idee. Per lo studio di una questione così complessa e per individuare i principali temi per le azioni future, ESF ha deciso di aprire così un forum di discussione nel quale l'INFN si è fortemente coinvolto. I Fora della ESF sono infatti strumenti finalizzati allo scambio delle esperienze nazionali, e sono mirati all'identificazione di un insieme condiviso di pratiche, che possano anche essere trasferite in realtà diverse. Grazie alle peculiari caratteristiche di internazionalizzazione della sua attività di ricerca, l'INFN ha assunto un ruolo primario nello studio della standardizzazione dei processi di *peer review*, includendo i temi del controllo di qualità della valutazione e della trasparenza delle procedure. Questo contribuirà a mettere in atto strategie per altre agenzie nazionali di finanziamento o per le organizzazioni di ricerca stesse. Un *peer review* a livello europeo potrebbe svolgere un ruolo importante nella definizione di norme generali e nel *benchmarking* nazionale delle comunità scientifiche, consentendo loro di operare più efficacemente in un contesto globale.

Fig. 11.1: Copertine dei report dell'European Science Foundation.



In particolare, l'accesso a *referee* internazionali è importante per i paesi con comunità di ricerca di piccole dimensioni e per i nuovi stati membri dell'UE, che desiderano mettersi al passo con gli standard mondiali, dopo molti anni di isolamento.

I risultati ottenuti hanno portato il Forum di ESF a essere il punto di riferimento per la Commissione Europea e per EUROHORCs per la costruzione di una guida di *Peer Review*, che risponde ad uno dei punti fondamentali della ESF-EUROHORCs *Roadmap* per la *European Research Area*. La guida, da sviluppare nei prossimi due anni, sarà strutturata a blocchi (*toolbox*), dove per ogni argomento verranno indicati i principi fondamentali e le possibili soluzioni attualmente in uso. La rilevanza di questo lavoro, cui l'INFN sta contribuendo in modo sostanziale, si può anche dedurre dal fatto che ESF sia stata incaricata dalla *European Space Agency* di condurre l'intero processo di *peer review* per il programma di missioni spaziali con uomini a bordo.

USA	5392	Italia 1814
Francia	1592	
Germania	2688	
Spagna	811	
Regno Unito	1538	
Media (F,D,S,UK)	1658	
		INFN 1340

Tab. 11.4: Media delle pubblicazioni per anno su un insieme rappresentativo di riviste.

Il *peer review* gioca un ruolo fondamentale nello sviluppo della scienza, essendo applicato in buona sostanza alla valutazione di tutte le attività di ricerca: selezione dei progetti, valutazione ex-post, pubblicazioni, selezione del personale. In tutti questi casi i risultati influenzano le decisioni di finanziamento. L'identificazione dei criteri per valutare in modo globale le istituzioni di ricerca e i loro programmi costituisce quindi un altro elemento essenziale alla costruzione di un sistema coerente di confronto all'interno della *European Research Area*, che può essere naturalmente utilizzato anche in ogni singola nazione. Di conseguenza, ESF ha lanciato un altro Forum su *Evaluation of Funding Schemes and Research Programmes*, al quale l'INFN partecipa attivamente.

Grazie a questo coinvolgimento, il secondo Workshop è stato organizzato dall'INFN presso la Presidenza a Roma, con la partecipazione di circa 30 organizzazioni dell'ESF,

ed esponenti della Commissione Europea e dell'OECD. Il tema principale emerso è la necessità di creare un insieme comune di indicatori che permettano di confrontare la *performance* delle diverse istituzioni e di definire una piattaforma europea per l'eccellenza della ricerca. Anche la Commissione Europea, attraverso il suo network RTD, è particolarmente interessata a questi sviluppi, per avere un confronto diretto dei diversi Programmi Quadro (FP6 e FP7) e delle attività dello *European Research Council*.

Due azioni congiunte sono state dunque avviate, una su stimolo della Commissione che con un suo gruppo di lavoro sta esaminando la costruzione di nuovi indicatori di internazionalizzazione per comparare i diversi paesi dell'Unione, l'altra, come prolungamento analitico del Forum ESF, per identificare parametri che misurino il grado di coinvolgimento sia europeo che internazionale delle organizzazioni, e i rapporti tra i due livelli di coinvolgimento.

PERCENTUALE DI PUBBLICAZIONI CON COLLEGHI STRANIERI

	2008	2007	2004-06
CSN1	96	95	95
CSN2	68	64	72
CSN3	91	92	95
CSN4	62	60	57
CSN5	21	23	20

Tab. 11.5: Percentuale di pubblicazioni INFN in collaborazione con colleghi stranieri.

I due approcci sono complementari, poiché operano a granularità diverse, e il Forum ESF in particolare risponde esplicitamente a un altro punto della *Roadmap* congiunta ESF-EUROHORCs. I prossimi due anni saranno fondamentali per sviluppare e applicare questi nuovi concetti alla valutazione delle istituzioni europee.

11.3 CONFRONTO INTERNAZIONALE

La produzione scientifica dell'INFN (come si è visto, circa 2500 articoli all'anno) è distribuita su quasi 400 riviste internazionali, tutte accreditate da ISI. Se da una parte questo è un segno del largo spettro di interessi che viene coperto dalle ricerche (e dai ricercatori) dell'Ente, è anche indicativo della situazione nel mondo delle pubblicazioni scientifiche e dei suoi editori.

Naturalmente la distribuzione delle pubblicazioni in queste riviste non è uniforme: in realtà circa 15 riviste integrano da

sole più del 50% di tutta la produttività scientifica dell'INFN. Una analisi condotta su un periodo di vari anni, mostra che in queste riviste, riconosciute internazionalmente nei settori di fisica nucleare, sub-nucleare e astro-particellare (sia sperimentali, sia teorici), circa l'80% degli articoli che contengono autori italiani ha almeno una affiliazione INFN. Questa è una chiara evidenza che in Italia l'INFN conduce la quasi totalità della ricerca in questi settori. Con queste premesse, queste riviste possono dunque essere considerate come rappresentative delle attività di ricerca dell'INFN.

collaborazione internazionale (e che 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. Un esercizio interessante, che è parte di una indagine più ampia condotta da EUROHORCs, è di conoscere quali siano i partner più importanti per i lavori pubblicati in collaborazione internazionale. La tabella 11.6 riporta il risultato ottenuto considerando tutte le pubblicazioni INFN del 2008, su riviste

	INFN	CSN1	CSN2	CSN3	CSN4	CSN5
USA	40	94	57	42	26	25
Germania	35	90	46	43	20	17
Francia	31	79	30	47	18	14
Russia	26	85	27	37	11	18
Regno Unito	26	79	18	33	16	7
Spagna	26	78	35	14	15	9
Svizzera	20	45	35	15	13	13
Giappone	12	36	14	20	5	7



Tab. 11.6: Percentuale di articoli co-firmati per le principali nazioni con cui l'INFN collabora.

La tabella 11.4 mostra i risultati ottenuti, in cui l'Italia, e l'INFN in particolare, si confronta bene con il valor medio delle altre nazioni europee, confermando un ruolo di primaria importanza nel panorama internazionale. Un confronto più dettagliato richiede di poter accedere a dati specifici (spesso sensibili) delle strutture operanti nelle altre nazioni, un'operazione che forse verrà semplificata dall'introduzione degli indicatori di europeizzazione e internazionalizzazione di cui si è detto prima.

Il livello internazionale delle ricerche condotte dall'INFN si evince facilmente anche esaminando il numero di pubblicazioni realizzate in collaborazione con colleghi stranieri. Questo numero è mostrato nella tabella 11.5, che mostra per ogni linea scientifica la percentuale di pubblicazioni in collaborazione internazionale: i differenti valori per le diverse CSN riflettono semplicemente il differente tessuto sociologico (e finanziario) delle linee di ricerca.

CSN1 e CSN3 sono esempi di particolare livello, dove sostanzialmente tutte le pubblicazioni sono condotte in

accreditate da ISI ed escludendo i *proceeding* a conferenze. 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.

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 purtroppo 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 capire se i ricercatori INFN siano apprezzati dalle collaborazioni di cui fanno parte, e quindi ottengano di parlare a nome delle collaborazioni a conferenze internazionali, si può prendere come indicatore il rapporto tra il numero di presentazioni assegnate loro e confrontarlo con quello delle presentazioni assegnate ai ricercatori di altre nazioni.

Il confronto è riportato in tabella 11.7, mediando gli anni 2007 e 2008, utilizzando un insieme di conferenze riconosciute dalla comunità internazionale delle tre linee CSN1, CSN2 e CSN3 (e che si tengano con cadenza regolare) e normalizzando 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.

PRESENTAZIONI

INFN	GERMANIA	FRANCIA	REGNO UNITO
11%	11%	8%	7%

Tab. 11.7: Percentuale di presentazioni a conferenza da parte di ricercatori di varie nazioni.

CREDITI ICONOGRAFICI

p. 2, da sinistra: © CERN, © CERN, © INFN/ Labec
p. 3, da sinistra: © CERN, © INFN/Lnl, © INFN/ Lngs, © INFN/ Lnf, © INFN/ Lns
p. 6 © CERN
p. 8 © INFN/Lngs
p. 9, 10, 11, 14 © INFN
p. 15 © CERN
p. 17 © Asimmetrie/INFN
p. 18 © EGO/ Virgo
p. 20 © Asimmetrie/INFN
p. 23 © Astri&Particelle/INFN
p. 24 © INFN
p. 25 © INFN/Labec
p. 27 © Pamela Collaboration
p. 29 © CERN
p. 31 © CERN
p. 33 © Fermilab
p. 34, 35 © CERN/INFN
p. 36 © INFN/Lnf
p. 37 © INFN/Virgo
p. 38 © INFN/Lngs, Opera
p. 39 © Lmes, Lockheed Martin Engineering Systems
p. 40 © Fermi Collaboration
p. 41 © INFN/YBJ, Argo
p. 44 © INFN/ Lnl, Agata
p. 46 © INFN/da un disegno di Gabriele Veneziano
p. 47 © AEI/ Luciano Rezzolla e Christian Reisswig
p. 48 © GGI, Galileo Galilei Institute
p. 49, 51 © INFN
p. 53 © INFN/Centimetri
p. 55 © INFN
p. 57 © INFN/Lnl, SPES
p. 59 © INFN, CEA, JAEA/ IFMIF
p. 65 © INFN/ APE
p. 70, 71 © INFN/SPES
p. 72 © IGI/ INFN
p. 75 © INFN/ SuperB
p. 77 © INFN
p. 80 © INFN/Labec
p. 82 © INFN, CNAO
p. 87, 88, 89 © INFN/Lnf
p. 90, da sinistra: © INFN/Simone Schiavon, © INFN
p. 91, 93 © INFN/Simone Schiavon
p. 95, 96, 97 © INFN/Lnl
p. 99, 100, 101 © INFN/Lns
p. 103, 104, 105 © INFN/Cnaf
p. 107 © INFN/Centimetri
p. 110, dall'alto: © INFN/Centimetri, © INFN/Nemo
p. 112 © INFN/Centimetri
p. 129, 139, 140 © INFN
p. 142 © Astri&Particelle/INFN
p. 144, 145, 146 © INFN
p. 149 © INFN/Centimetri
p. 150 © Asimmetrie/INFN
P. 160 © ESF, European Science Foundation

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
aggiornato a APRILE 2010

realizzazione grafica
Ufficio Comunicazione
comunicazione@presid.infn.it

