

## **6 – Considerazioni conclusive**

Il Museo della fisica e centro Studi e Ricerche "Enrico Fermi" è stato istituito con legge con la finalità di realizzare una sede museale e di svolgere attività di ricerca per l'ampliamento delle conoscenze nel campo della fisica.

L'indisponibilità dello storico complesso Monumentale di via Panisperna per il protrarsi dei lavori di ristrutturazione continua inevitabilmente a condizionare la completa efficienza operativa e le potenzialità del "Centro Fermi", limitando il pieno perseguimento dei fini istituzionali assegnati dalla legge con specifico riferimento alla funzione museale.

Nel corso dell'anno 2012 e 2013, i lavori di ristrutturazione e adattamento dell'immobile alle esigenze di funzionamento dell'Ente, ripresi nell'anno 2010 dopo una lunga fase di sospensione, hanno registrato un ulteriore e significativo avanzamento.

Allo stato attuale, può ritenersi quasi del tutto ultimata la fase di consolidamento e adeguamento delle strutture dell'immobile.

Non avendo ancora la disponibilità della propria sede, l'Ente prosegue, con le risorse disponibili, nello svolgimento dell'attività di ricerca, realizzata anche con la stipula di convenzioni con Istituzioni, concentrando le assegnazioni finanziarie ricevute in progetti di ricerca di valore e rilievo scientifico.

Parte dell'attività è stata riservata alla divulgazione delle conoscenze, in modo specifico, tra gli alunni di istituti scolastici su tutto il territorio nazionale.

Sul piano ordinamentale, con l'entrata in vigore delle norme di riforma degli Enti di ricerca, introdotte con il decreto legislativo 31 dicembre 2009, n. 213, in ottemperanza all'art. 1 della legge 27 settembre 2007, n. 165, il "Centro Fermi" si è dotato di un apparato organizzativo più agile; in particolare, la diminuzione dei componenti del Consiglio di amministrazione ha consentito una maggiore efficacia decisionale al medesimo Organo di indirizzo e governo.

La scelta, poi, di concentrare nello stesso soggetto l'incarico di Direttore della ricerca e di Direttore amministrativo, ha consentito un significativo risparmio di risorse finanziarie e si è dimostrata efficiente sotto quello funzionale.

Il "Centro Fermi" ha adottato i fondamentali atti, Statuto e regolamenti, tutti debitamente approvati dalle Amministrazioni vigilanti, ed ha assunto per effetto del nuovo assetto organizzativo una più razionale efficienza funzionale e operativa.

Il risultato di amministrazione dell'anno 2012 evidenzia un avanzo di euro 549.931, mentre il conto economico ha registrato un disavanzo di euro 124.143.

L'esercizio 2012 si è chiuso con un avanzo finanziario di competenza di euro 59.538,13 (nell'anno 2011 il disavanzo era stato di euro 386.439,00).

Per la ricerca scientifica sono stati spesi euro 1.124.958 (-11,84% rispetto al precedente esercizio), corrispondente al 58,17% delle entrate correnti.



**MUSEO DELLA FISICA E CENTRO STUDI E RICERCHE  
«ENRICO FERMI»**

**ESERCIZIO 2012**

PAGINA BIANCA

RELAZIONE DEL PRESIDENTE

## REPUBBLICA ITALIANA

*Museo Storico della Fisica e Centro di Studi e Ricerche "E. Fermi"*

DELIBERA N.17(13)

19.04.2013

Stralcio verbale seduta n. 4(13)

IL CONSIGLIO DI AMMINISTRAZIONE

Ha adottato la seguente deliberazione n. 17(13) avente per oggetto:

*"Riaccertamento dei Residui passivi al 31.12.2011"*

Nella seduta del giorno 19 aprile 2013, di cui è indicato a margine il relativo verbale, sono presenti alla deliberazione:

- il Presidente: Professoressa Luisa CIFARELLI;
- **i Membri del Consiglio di Amministrazione: Prof. Enzo IAROCCI e Dr. Francesco TRISCARI BINONI;**
- i Membri del Collegio dei Revisori dei Conti: Dr.ssa Evelina BRANDOLINI, Dr. Alberto GIGLIOTTI;
- il Direttore: Dr. Giancarlo RIGHINI.

Assiste il Magistrato Delegato della Corte dei Conti: Dr. Tommaso BRANCATO.

Svolge le funzioni di Segretario la Dr.ssa Adele CALAMO SPECCHIA.

VISTA la Legge 15 marzo 1999, n. 62 di Trasformazione dell'Istituto di Fisica in Via Panisperna in Museo Storico della Fisica e Centro di Studi e Ricerche "Enrico Fermi";

VISTO il Decreto Interministeriale 5 gennaio 2000, n. 59, con il quale è stato adottato il "Regolamento recante istituzione del Museo";

VISTO il D.Lgs. 31.12.2009 n. 213 - Decreto Legislativo recante "Riordino degli Enti di Ricerca" in attuazione dell'art. 1 della Legge 27.09.2007, n. 165,

VISTO lo Statuto del Centro Fermi, pubblicato in data 1.05.2011 sul Sito MIUR (Gazzetta Ufficiale n. 90 Anno 152 del 19.04.2011);

VISTO il vigente Regolamento di Amministrazione, Finanza e Contabilità del Centro Fermi;

VISTA la Scheda Tecnica, allegata al Consuntivo 2012, con cui il Presidente sottopone all'approvazione del Consiglio di Amministrazione il Riaccertamento dei Residui al 31.12.2011;

VISTO il Verbale del Collegio dei Revisori n. 2 del 12.04.2013;

SENTITA la Relazione del Direttore;

SENTITO il parere favorevole dei Revisori;

SU PROPOSTA del Presidente;

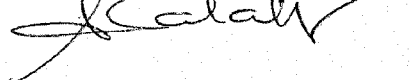
Tutto quanto sopra premesso, all'unanimità dei presenti

DELIBERA

Art. 1) E' approvato il Riaccertamento dei Residui passivi al 31.12.2011, così come esposto nella Scheda Tecnica, allegata al Consuntivo 2012, che costituisce parte integrante della presente deliberazione.

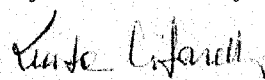
Il Segretario

Dr.ssa Adele Calamo Specchia



Il Presidente

Professoressa Luisa Cifarelli



## REPUBBLICA ITALIANA

*Museo Storico della Fisica e Centro di Studi e Ricerche " E. Fermi "***DELIBERA N.18(13)****19.04.2013**

Stralcio verbale seduta n. 4(13)

IL CONSIGLIO DI AMMINISTRAZIONE

Ha adottato la seguente deliberazione n. 18(13) avente per oggetto:

*"Approvazione Conto Consuntivo 2012"*

Nella seduta del giorno 19 aprile 2013, di cui è indicato a margine il relativo verbale, sono presenti alla deliberazione:

- il Presidente: Professoressa Luisa CIFARELLI;
- i Membri del Consiglio di Amministrazione: Prof. Enzo IAROCCI e Dr. Francesco TRISCARI BINONI;
- i Membri del Collegio dei Revisori dei Conti: Dr.ssa Evelina BRANDOLINI, Dr. Alberto GIGLIOTTI;
- il Direttore: Dr. Giancarlo RIGHINI.

Assiste il Magistrato Delegato della Corte dei Conti: Dr. Tommaso BRANCATO.

Svolge le funzioni di Segretario la Dr.ssa Adele CALAMO SPECCHIA.

VISTA la Legge 15 marzo 1999, n. 62 di Trasformazione dell'Istituto di Fisica in Via Panisperna in Museo Storico della Fisica e Centro di Studi e Ricerche "Enrico Fermi";

VISTO il Decreto Interministeriale 5 gennaio 2000, n. 59, con il quale è stato adottato il "Regolamento recante istituzione del Museo";

VISTO il D.Lgs. 31.12.2009 n. 213 - Decreto Legislativo recante "Riordino degli Enti di Ricerca" in attuazione dell'art. 1 della Legge 27.09.2007, n. 165,

VISTO lo Statuto del Centro Fermi, pubblicato in data 1.05.2011 sul Sito MIUR (Gazzetta Ufficiale n. 90 Anno 152 del 19.04.2011);

VISTO il vigente Regolamento di Amministrazione, Finanza e Contabilità del Centro Fermi;

VISTO il Bilancio di previsione 2012 approvato il 19.12.2011 con deliberazione n. 23(11) e s.m.i.;

VISTA la proposta di Conto Consuntivo dell'esercizio finanziario 2012, comprendente lo stato di attuazione delle attività del 2012 e allegati relativi alla gestione di competenza, alla situazione dei residui attivi e passivi, all'avanzo di amministrazione, ai dati che riguardano il riepilogo per categorie delle entrate e delle uscite, al raccordo della situazione finanziaria con le disponibilità di fine anno dell'Istituto cassiere, al conto economico e al conto patrimoniale, alla situazione del personale;

VISTA la Relazione del Collegio dei Revisori dei Conti di cui al Verbale 2/2013 del 12.04.2013 ove, tra l'altro, si dà atto della corrispondenza tra il Conto Consuntivo 2012 e le scritture contabili;

SU PROPOSTA del Presidente,

Tutto quanto sopra premesso, all'unanimità dei presenti

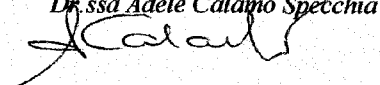
## DELIBERA

Art. 1) Ai sensi dell'art. 30 del Regolamento di amministrazione, finanza e contabilità è approvato il Conto Consuntivo dell'esercizio finanziario 2012 nel testo allegato alla presente deliberazione, di cui costituisce parte integrante e sostanziale.

Art. 2) Ai sensi dell'art. 13, comma 2, del DM n. 59/2000 e dell'art. 30 del Regolamento di amministrazione, finanza e contabilità, la presente deliberazione è trasmessa per l'approvazione al Ministro dell'istruzione, dell'Università e della Ricerca Scientifica, nonché, per quanto di conoscenza e competenza, al Ministro dell'Economia e delle Finanze, al Dipartimento della Funzione Pubblica ed alla Corte dei Conti.

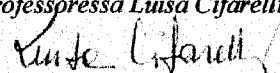
Il Segretario

Dr.ssa Adele Calamo Specchia



Il Presidente

Professoressa Luisa Cifarelli



## CONTO CONSUNTIVO 2012

### Relazione del Presidente

In accordo con gli obiettivi istituzionali e con il Piano Triennale 2012-2014, l'attività svolta nel 2012 dal Museo Storico della Fisica e Centro Studi e Ricerche Enrico Fermi (nel seguito denominato Centro Fermi) è stata articolata su quattro linee principali:

1. Assegnazione di **Grants** per nuovi talenti e per ricercatori a livello Senior e Junior, al fine di indirizzarli verso ricerche originali e di valore interdisciplinare.
2. Realizzazione e promozione di ricerche originali attraverso i **Progetti Interdisciplinari** del Centro.
3. **Diffusione della Cultura Scientifica**, in particolare presso gli Istituti Scolastici Superiori, con la partecipazione di studenti e docenti al Progetto EEE (*Extreme Energy Events*) – La Scienza nelle Scuole.
4. Conservazione della **Memoria Storica**, attraverso il ripristino del Complesso Monumentale di Via Panisperna, di straordinario valore storico, da adibire in parte a **Museo**.

#### SINTESI DELLE ATTIVITÀ

1. L'obiettivo principale del Centro Fermi sin dalla sua istituzione è stato quello di indirizzare i giovani verso gli studi scientifici e in particolare verso la fisica, e di fornire ai più meritevoli l'opportunità di svolgere una attività di ricerca presso Università e Istituzioni di rilievo internazionale. Tale obiettivo è stato perseguito assegnando ogni anno un numero di *Grants* compatibile con la dotazione finanziaria del Centro (con la denominazione di *Grants* intendendo vari rapporti formali, dalle borse di studio agli incarichi di collaborazione e agli assegni di ricerca, comunque sempre comparabili con le migliori borse post-doc europee). Nel 2012 sono stati conferiti 7 nuovi *Grants* e hanno iniziato la loro attività 4 vincitori di *Grants* conferiti nel 2011; inoltre sono stati rinnovati 23 *Grants* assegnati nei due anni precedenti, per cui, in totale, i titolari di *Grant* in attività nel 2012 sono stati 34 (+8 rispetto al 2011).

I *Grants* del Centro Fermi sono assegnati sia su temi di ricerca individuali sia in connessione ai Progetti del Centro, e i titolari di *Grant* svolgono la loro attività presso sedi Universitarie e di Enti di Ricerca (CNR, INFN) sul territorio nazionale, e presso il CERN; nel 2012 le sedi erano:

- CNR, Istituto di Fisica Applicata Nello Carrara (Firenze) – 2 *Grants* –
- INFN, Laboratori Nazionali di Frascati (Roma) – 2 *Grants* –
- Politecnico di Milano
- Scuola Normale Superiore (Pisa)

- Università di Bari
  - Università di Bologna – 8 *Grants* –
  - Università di Catania
  - Università di Padova – 2 *Grants* –
  - Università di Perugia
  - Università di Roma La Sapienza – 9 *Grants* –
  - Università di Roma Tor Vergata
  - Università di Salerno – 2 *Grants* –
  - Università di Torino – 3 *Grants* –
2. Nel 2012 sono stati portati avanti 13 Progetti Interdisciplinari, in collaborazione con 21 Centri ed Enti di Ricerca e Università, che hanno prodotto risultati scientifici di rilievo, presentati a varie Conferenze e documentati da pubblicazioni su Riviste Internazionali. L'attività di ciascun Progetto è brevemente descritta nella sezione successiva. Secondo il *database* ISI-Web of Science, i lavori pubblicati nel 2012, in cui almeno uno degli autori è un Grantista del Centro Fermi, sono stati 62 (rispetto ai 35 nel 2011) e hanno ricevuto un totale di 122 citazioni (di cui 86 nel 2012 e 36 nei primi mesi del 2013). Le principali pubblicazioni sono elencate nell'Allegato 1 alla presente relazione. Sono stati svolti anche 9 Progetti Individuali, di cui 4 portati a conclusione nel corso del 2012. Gli Enti con i quali sono stati svolti programmi in collaborazione sono:
- European Organization for Nuclear Research (CERN) di Ginevra;
  - Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR);
  - Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) di Zurigo;
  - Fondazione Ettore Majorana e Centro di Cultura Scientifica (FEMCCS) di Erice;
  - Fondazione Santa Lucia Istituto di Ricovero e Cura a Carattere Scientifico (IRCCS) di Roma;
  - Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN);
  - Istituto Superiore di Sanità;
  - Joint Institute for Nuclear Research (JINR) di Dubna;
  - Politecnico di Milano;
  - Scuola Normale Superiore di Pisa;
  - Università di Bari;
  - Università di Bologna;
  - Università di Catania;
  - Università di Lecce;
  - Università di Padova;
  - Università di Perugia;
  - Università di Pisa;
  - Università di Roma La Sapienza;
  - Università di Roma Tor Vergata;
  - Università di Salerno;
  - Università di Torino.
3. E' proseguita la realizzazione di una rete di telescopi per raggi cosmici nel quadro del Progetto EEE, che a fine 2012 raccoglieva 36 Istituti Scolastici, distribuiti lungo tutto il territorio nazionale, con il coinvolgimento di centinaia di studenti e docenti, e il supporto di ricercatori del Centro Fermi, dell'INFN e del CERN di Ginevra. Nel corso dell'anno il Centro ha ricevuto nuove richieste di adesione da altri 14 Istituti Scolastici, una parte dei quali entreranno a far parte della rete nel 2013.

4. E' stato seguito con attenzione il progresso dei lavori di ristrutturazione, iniziati alla fine del 2010, dello storico Complesso Monumentale di Via Panisperna, con l'obiettivo di renderlo disponibile per le attività istituzionali entro il biennio 2014-2015.

## I PROGETTI DEL CENTRO FERMI

Le attività di ricerca nel 2012 sono state condotte su 13 Progetti interdisciplinari, di cui 3 nuovi, corrispondenti ai numeri 11-13 nella lista seguente.

1. EXTREME ENERGY EVENTS (EEE) – LA SCIENZA NELLE SCUOLE
2. QUARK-GLUON COLOURED WORLD (QGCW) – ALICE AND BEYOND
3. TECNOLOGIE NON INVASIVE PER LE NEUROSCIENZE (TNIN) – RISONANZA MAGNETICA
4. SISTEMA FOTOVOLTAICO A CONCENTRAZIONE AD ALTA EFFICIENZA PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA
5. STRUMENTI DI INDAGINE INNOVATIVI PER I BENI ARTISTICI E CULTURALI
6. ADROTERAPIA – INNOVATIVE NON INVASIVE IMAGING OF DOSE RELEASE IN HADRON THERAPY
7. SILENZIO COSMICO
8. MICRORISONATORI OTTICI E SENSORI BIOFOTONICI
9. BUCHI NERI ACUSTICI
10. COMPLESSITÀ: DALLE STRUTTURE NANOMETRICHE A QUELLE COSMICHE
11. STORIA DELLA FISICA – L'ATTIVITÀ DI PIETRO BLASERNA, SCIENZIATO, DIRETTORE E PRESIDENTE
12. PROBLEMI APERTI DELLA MECCANICA QUANTISTICA – SISTEMI DI RIVELATORI SSD E MODELLI DI RIDUZIONE DINAMICA
13. SIMULAZIONI MONTE CARLO PER APPLICAZIONI MULTIDISCIPLINARI

Qui di seguito vengono espone sinteticamente, per ciascuno dei primi 11 Progetti, le idee generali e i principali obiettivi raggiunti nel 2012. I Progetti 12 e 13 sono iniziati solo a fine 2012 e la loro attività potrà essere oggetto di consuntivo solo nel prossimo anno.

### 1. EXTREME ENERGY EVENTS (EEE) – LA SCIENZA NELLE SCUOLE [ Responsabile: Antonino Zichichi ]

L'idea di base è stata quella di coinvolgere gli Istituti della Scuola Secondaria Superiore in un esperimento scientifico avanzato, istituendo in ogni Scuola aderente al Progetto un laboratorio di fisica che veda protagonisti gli insegnanti e gli studenti stessi. In ciascuna scuola viene costruito un "telescopio" fatto con i più moderni e avanzati rivelatori di particelle, da mettere in coincidenza con i telescopi di altre scuole allo scopo di rivelare i muoni cosmici e gli sciami estesi prodotti dai raggi cosmici di più alta energia. Ai ragazzi viene dato, inoltre, l'importantissimo compito della costruzione degli stessi rivelatori a partire dai materiali di base, affinché si rendano conto di come si possa passare da materiali poveri a strumenti di altissima precisione.

In particolare, l'attività scientifica del 2012 ha portato a sviluppi sia dell'hardware che del software:

#### HARDWARE:

- creazione di un sistema di misura dell'efficienza in tempo reale. Tale sistema consta di due scintillatori letti mediante fotodiodi multianodo e integrati nel sistema di acquisizione dei telescopi (in funzione presso il Liceo Galileo Ferraris di Torino);
- sviluppo di una scheda VME (Versabus Module Eurocard) che distribuisce un clock esterno a entrambe le schede TDC (Time-to-Digital Converter) per porle in fase (operante in tutti i telescopi di Torino);
- sviluppo e messa in funzione di una centralina per la misura di parametri di pressione, temperatura e umidità (scuole di Torino e di Reggio Emilia-Bologna);

- realizzazione di un immagazzinamento dati con ridondanza di 12 TB (centro di calcolo della sezione di Torino dell'INFN);
- costruzione delle schede di trigger; supporto per l'installazione e la messa in funzione delle schede di trigger (Bologna);
- installazione di un nuovo telescopio (Parma-Bologna)
- messa in funzione di telescopi già installati (Salerno).

**SOFTWARE:**

- ricostruzione degli eventi multi-traccia nell'analisi dati;
- simulazioni Monte Carlo per la valutazione della frequenza attesa di eventi e confronto con i risultati ottenuti con i dati raccolti con telescopi in presa dati;
- sviluppo di un'analisi di correlazione sui dati acquisiti in tutte le sedi del Progetto in cui i telescopi hanno rivelato sciami atmosferici estesi. Sono stati analizzati i dati relativi alle sedi del CERN, de l'Aquila, di Cagliari, di Frascati;
- misure di eventi in coincidenza realizzate a piccole distanze con un piccolo telescopio utilizzando scintillatori.

I principali risultati conseguiti hanno riguardato:

- L'osservazione della variazione del flusso di muoni in coincidenza con la variazione dell'attività solare ("effetto Forbush") avvenuta nel mese di marzo 2012. Pubblicazione in preparazione.
- L'analisi degli eventi con tempo di volo negativo che ha evidenziato un flusso di particelle provenienti dal basso. Si possono individuare almeno due componenti, relativistica e ultrarelativistica, nella radiazione osservata. L'osservazione è parte di un lavoro sottomesso a EPJ-Plus.
- Il confronto dei risultati di due simulazioni Monte Carlo basate su due diversi codici di generazione di sciami estesi, COSMOS e CORSIKA. I risultati ottenuti in termini di eventi attesi evidenziano buon accordo tra le diverse simulazioni e con gli eventi rivelati dai telescopi.

**2. QUARK-GLUON COLOURED WORLD (QGCW) – ALICE AND BEYOND**

[ Responsabili: Luisa Cifarelli e Antonino Zichichi ]

Con l'avvento del Large Hadron Collider (LHC) del CERN, ha preso il via il progetto [Quark-Gluon-Coloured-World (QGCW)] che si propone di studiare il "nuovo mondo" prodotto nelle collisioni tra nuclei pesanti ( $^{208}\text{Pb}^{82+}$ ) alla massima energia mai finora raggiunta, ossia 1150 TeV ( $1.15 \times 10^{15}$  eV).

Il QGCW è un mondo totalmente diverso da quello a noi familiare, fatto del vuoto di QCD [Quantum Chromodynamics] con barioni e mesoni privi di colore. Scopo del progetto è lo studio dell'insorgere di effetti speciali, derivanti dal rilascio della condizione di mancanza di colore.

Lo studio del QGCW può essere effettuato bombardandolo con particelle note (p, n,  $\pi$ , K,  $\mu$ , e,  $\gamma$ ,  $\nu$ ) e misurando le proprietà di quelle che ne emergono tramite uno speciale apparato di rivelazione. Una volta ottenute le collisioni Pb-Pb, il problema è quello di sincronizzare il fascio di protoni con il QGCW che viene prodotto. Tale sincronizzazione richiede un elevatissimo grado di precisione.

Nel quadro del progetto RD12 di LHC, che era già stato lanciato al CERN per studiare soluzioni adeguate alla macchina e agli esperimenti, è stato avviato lo sviluppo e il test di un sistema di temporizzazione, trigger e controllo (TTC) optoelettronico multifunzionale.

Dall'entrata in funzione nel 2009-2010 di LHC, il Centro Fermi partecipa all'esperimento ALICE (A Large Ion Collider Experiment) per quanto riguarda la raccolta e l'analisi dei dati; tale partecipazione costituisce la fase iniziale del più generale Progetto QGCW – ALICE and beyond. L'esperimento ALICE è una delle imprese scientifiche più importanti al mondo, in questo momento, per quanto riguarda lo studio delle collisioni tra nuclei di piombo ad altissima energia. Il contributo del Centro Fermi ad ALICE è stato determinante, sia in termini di tematiche di fisica attuali e future (QGCW), sia in termini di sviluppi tecnologici con l'invenzione e l'installazione di un rivelatore a grande area con una risoluzione temporale da record ( $\approx 50$  ps): il rivelatore a tempo di volo (TOF) costituito da Multigap Resistive Plate Chambers (MRPC). Una variante di questo rivelatore è stata utilizzata nel Progetto Extreme Energy Events (EEE) – La Scienza nelle Scuole.

Uno dei risultati più significativi ottenuti da ALICE nel 2012 consiste nella misura del flusso ellittico di particelle identificate (pioni, kaoni e protoni) in collisioni Pb-Pb a 2.76 TeV per coppia di nucleoni. Questo osservabile permette di caratterizzare il mezzo deconfinato e le sue proprietà idrodinamiche misurando l'effetto dei moti collettivi che ivi si sviluppano su particella di massa differente.

Tale risultato è stato presentato alla conferenza Quark Matter 2012 a Washington DC, USA, e sarà oggetto di un articolo di ALICE prossima pubblicazione.

### 3. TECNOLOGIE NON INVASIVE PER LE NEUROSCIENZE (TNIN) – RISONANZA MAGNETICA [ Responsabile: Bruno Maraviglia ]

Questo progetto si è consolidato negli anni fra il 2004 ed il 2010 ed ha assunto la sua fisionomia attuale con la stabilizzazione degli obiettivi di ricerca su due filoni principali: (i) lo studio della funzione del sistema nervoso centrale (encefalo e midollo spinale), perseguito mediante una crescente sinergia tra risultati sperimentali e modellistica biofisica, e (ii) la caratterizzazione di alcune patologie cerebrali mediante lo sfruttamento complementare di metodiche funzionali e strutturali, principalmente (ma non esclusivamente) in vivo.

Il perseguimento di una maggiore comprensione dei meccanismi metabolici legati all'attività neuronale è stato un punto cardine dell'attività di ricerca di TNIN nel corso di questi anni. L'insieme degli studi nel periodo in esame ha portato chiare evidenze in vivo a favore dell'ipotesi che il metabolismo cerebrale resti sostanzialmente aerobico anche in condizioni di attivazione (al contrario di quanto precedentemente ipotizzato sulla base di studi PET e NMR). Inoltre, l'approccio teorico sviluppato ha permesso di formulare ipotesi importanti sul ruolo specifico dei carboidrati nell'ambito del metabolismo energetico del cervello. Le ipotesi formulate da questo gruppo hanno dato il via a un relativamente nuovo filone di studi sperimentali basato sull'attivazione di aree cerebrali specifiche della corteccia visiva in risposta a stimoli con diverso impatto sulla percezione. Allo studio dell'energetica cerebrale si è poi associato lo studio dell'attività spontanea del cervello e delle sue caratteristiche di rete. E' stato mostrato che l'attività spontanea, lungi dall'essere un fenomeno scollegato dall'attività evocata, è con essa in mutuo interscambio, e in particolare è da questa modulata, in modo parametrico e dipendente dallo stato comportamentale del soggetto. Al fine di superare le limitazioni causate dall'origine del segnale di risonanza magnetica funzionale (fMRI) sono stati ottenuti significativi risultati metodologici nell'ambito della combinazione di fMRI e elettroencefalografia (EEG), che hanno permesso l'acquisizione simultanea con filtraggio on line di EEG e fMRI.

Le applicazioni sono state numerose, specie nel campo delle patologie epilettiche, dove si è potuto localizzare con migliore approssimazione la sorgente dell'attività epilettica. La caratterizzazione delle patologie di interesse neurologico si è svolta in parallelo agli studi summenzionati. Si è evidenziato che alcuni dei danni funzionali prodotti dal morbo di Parkinson sono evidenti al livello cerebrale già in fase precoce, e che i livelli di apatia in soggetti affetti da deterioramento cognitivo lieve (stato di transizione fra invecchiamento fisiologico e demenza di Alzheimer) sono proporzionali al danno microstrutturale.

I principali obiettivi raggiunti nel 2012 hanno riguardato le predizioni teoriche e le relative conferme sperimentali delle ipotesi avanzate sul consumo energetico dell'attività neuronale. In maniera consistente, è stato osservato sperimentalmente che la corteccia visiva umana risponde metabolicamente in modo specifico a stimoli che sopprimono la sua attività di comunicazione a lungo raggio con aree visive di ordine superiore, risultato da noi previsto in precedenza tramite modelli neurofisiologici. Rispetto alla ricerca sul midollo spinale, l'obiettivo principale di questo progetto è stato lo studio delle proprietà del BOLD (Blood Oxygenation Level Dependent) nel midollo spinale e la valutazione della linearità della risposta funzionale ad un task motorio. Per raggiungere questo obiettivo sono stati risolti i problemi tecnico-sperimentali legati alle particolari caratteristiche di questo distretto anatomico e sono state sviluppate adeguate metodologie di post processing per ottimizzare l'analisi funzionale.

### 4. SISTEMA FOTOVOLTAICO A CONCENTRAZIONE AD ALTA EFFICIENZA PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETRICA [ Responsabile: Sandro Centro ]

Lo scopo di questa ricerca è lo sviluppo di un prototipo dimostratore di modulo fotovoltaico a concentrazione ad alta efficienza (*concentrated photovoltaics*: CPV), capace di produrre energia elettrica da energia solare a costi inferiori rispetto ai moduli a silicio attualmente usati e che ne dimostri la fattibilità e la convenienza sia energetica sia economica.

Sono stati studiati sia gli aspetti scientifici sia quelli tecnologici. Dal punto di vista scientifico i temi principali tengono conto del fatto che in un sistema fotovoltaico a concentrazione gli aspetti che maggiormente ne influenzano l'efficienza sono la temperatura delle celle (che deve essere mantenuta la più bassa possibile) e l'uniformità e accettabilità angolare dell'illuminamento della cella, che devono essere i maggiori possibili. Sono perciò stati oggetto di indagine i seguenti argomenti:

- ottiche non-imaging: realizzazione di diverse configurazioni ottiche, analisi delle efficienze in funzione dei diversi parametri, realizzazione di un codice software per la realizzazione automatizzata di ottiche non-imaging a partire da definite condizioni al contorno;
- studio della risposta del sistema a differenti condizioni spettrali di irraggiamento e applicazione dei risultati alla scelta dei materiali;
- analisi dello spettro solare sotto diverse condizioni meteorologiche, misura dell'irraggiamento diretto e globale, analisi della produttività dei moduli nelle diverse condizioni ambientali;

- studio della dipendenza dell'efficienza dalle diverse interfacce termiche e transienti temporali delle temperature.

Gli aspetti tecnologici trattati consistono nell'analisi critica delle soluzioni tenendo conto non solo della massimizzazione dell'efficienza e affidabilità del sistema ma anche dell'impatto che ogni soluzione avrebbe nel costo finale di produzione del sistema. Parametro, quest'ultimo, di fondamentale importanza per un sistema pensato per produrre energia a costo minore di quanto permettano le sorgenti fossili. Sono state quindi analizzate:

- diverse soluzioni per le interfacce termiche fra celle e dissipatori;
- diverse soluzioni geometriche per la costruzione dei moduli;
- diverse soluzioni meccaniche per la costruzione degli inseguitori solari;
- le aree geografiche nelle quali un modulo a concentrazione abbia rendimento energetico più alto rispetto ai moduli standard in silicio;
- la possibilità di integrare architettonicamente i moduli fotovoltaici a concentrazione.

Il principale risultato conseguito è rappresentato dalla utilizzazione di una nuova tecnologia per la costruzione di alimentatori ad alta tensione (100 kV-1 MV) alimentati otticamente e dalla realizzazione di quattro dimostratori di fotovoltaico a concentrazione, che consistono in quattro inseguitori solari, ognuno di potenza installata nominale 5,3 kWp. Ogni inseguitore contiene 16 moduli, di efficienza media 23,5%, con massimo 26%. Sono stati individuati i punti deboli di questa versione ed è già in progettazione (con i primi test già in atto) la prossima versione, dove si prevede che la potenza installata possa salire ad oltre 7 kWp. Inoltre è stato realizzato un prototipo completamente funzionante di generatore di alta tensione (100 kV DC) alimentato otticamente, partendo da 6 W ottici, elettricamente disaccoppiato dalla massa elettrica.

#### **5. STRUMENTI DI INDAGINE INNOVATIVI PER I BENI ARTISTICI E CULTURALI** **[ Responsabili: Franco Casali e Paola Fantazzini ]**

Il progetto è suddiviso in due linee di ricerca, rivolte alla indagine di Beni Artistici e Culturali attraverso, rispettivamente, la Risonanza Magnetica Nucleare (NMR) e la Tomografia con Raggi-X (TAC).

##### **a) Indagine di Beni Artistici e Culturali attraverso la Risonanza Magnetica Nucleare (NMR)**

Nel 2012 è stata ulteriormente sviluppata la strumentazione per studi NMR, volti alla diagnostica, al monitoraggio e alla valutazione delle prestazioni di prodotti usati per proteggere e consolidare materiali porosi d'interesse per i beni culturali. Sono stati sviluppati protocolli di *Rilassometria* NMR per la misura e l'analisi dati che consentono lo studio della struttura di materiali porosi alla scala nano e sub-nanometrica. E' stata iniziata un'attività di *Diffusometria* NMR per lo studio della dipendenza dalla struttura dello spazio poroso del coefficiente di auto-diffusione apparente dell'acqua confinata. Il metodo proposto è stato pensato, in modo del tutto originale, al fine di poter studiare la connettività dello spazio poroso di materiali d'interesse per i beni culturali e delle variazioni di questa a seguito di trattamenti di protezione e consolidamento. Riguardo ai prodotti per il consolidamento e la protezione di manufatti lapidei, nel 2012 è stato dedicato molto tempo allo sviluppo di nuovi materiali. In particolare, nell'ambito del Progetto Regionale "Tecon@BC" cofinanziato dalla Regione Toscana, ci si è occupati sia della sintesi di nuove oligoammidi parzialmente fluorurate per la protezione di rocce ad alta porosità, sia della formulazione di nuove miscele a base di nanosilice e fluoroelastomeri per il consolidamento di tuffi.

##### **b) Indagine di Beni Artistici e Culturali attraverso la Tomografia con Raggi-X (TAC)**

L'attività svolta in questa parte di programma si è mossa su una delle direttrici previste per il prossimo piano triennale e cioè l'azione di recupero e restituzione di tesori nascosti. In particolare il Progetto è stato indirizzato alla tomografia tridimensionale di un certo numero di zolle (definite *pani di terra* dagli archeologi) contenenti monili antichi e conservate al Museo Nazionale Romano.

La misura sarà effettuata utilizzando un tubo a raggi-X (entro un bunker adeguato) e l'immagine tomografica ottenuta sarà elaborata con un opportuno software in grado di "estrarre" in modo virtuale l'oggetto che interessa. Poiché la natura e le dimensioni di queste zolle sono tali da richiedere tubi a raggi-X con un voltaggio di almeno 300 kV (non in dotazione al DIFA - Dipartimento di Fisica e Astronomia dell'Università di Bologna) è stata fatta una ricerca di mercato *ad hoc*. Anche per quanto riguarda il software di ricostruzione è iniziata un'attività di sviluppo che fa riferimento a tecniche di segmentazione.

I principali risultati conseguiti possono essere così riassunti:

- a) NMR:** Strumentazione e protocolli per misure NMR e formulazione di nuovi prodotti per protezione e consolidamento.
  - E' stata caratterizzata mediante *Rilassometria* NMR la struttura a livello nano e sub-nanometrico e lo stato dell'acqua nel C-S-H (calcium silicate hydrate) gel di cemento, le cui proprietà influenzano il comportamento macroscopico del cemento.
  - Sviluppo e validazione in materiali porosi modello del metodo originale di *Diffusometria* NMR del coefficiente di auto-diffusione apparente dell'acqua confinata sfruttando il gradiente di campo magnetico intrinseco dei sensori portatili NMR.
  - Assemblaggio di un rilassometro NMR per campioni di dimensioni fino a 10 cm di diametro.

- Sintesi e caratterizzazione di nuove oligoammidi parzialmente fluorurate per la protezione di manufatti lapidei.
- Nuovi formulati a base di fluoroelastomeri e nanosilice per il consolidamento di materiali altamente porosi e contenenti minerali a reticolo espandibile.

**b) TAC:** Acquisto e caratterizzazione del tubo a raggi-X.

Grazie al finanziamento del Centro Fermi, è stato acquistato un tubo da 320 kV della ditta DIMART. Questa sorgente di raggi-X è stata caratterizzata nel bunker messo a disposizione dalla ditta COMECER. Le misure effettuate hanno riguardato il rateo di dose in funzione: i) del filtraggio, ii) della tensione, iii) della corrente e iv) della durata dell'irraggiamento. Le caratteristiche del tubo sono risultate più che soddisfacenti. Come rivelatore è stato acquistato (grazie a un co-finanziamento INFN) uno schermo di CsI strutturato, di 2 mm di spessore. Attualmente il rivelatore è in fase di messa a punto. Infine, di concerto con l'esperto qualificato del DIFA, si sta studiando la possibilità di utilizzare la strumentazione presso il Museo Nazionale Romano.

## 6. ADROTERAPIA – INNOVATIVE NON INVASIVE IMAGING OF DOSE RELEASE IN HADRON THERAPY

[ Responsabile: Vincenzo Patera ]

Il monitoraggio *on-line* della localizzazione della dose nell'adroterapia è di grande importanza per il controllo di qualità del trattamento. Infatti i trattamenti adroterapici dei tumori solidi raggiungono un'alta conformità del rilascio di dose alla zona tumorale e tale precisione richiede l'utilizzo di tecniche innovative per il monitoraggio della dose. La misura del gamma di eccitazione nucleare e dei protoni secondari prodotti dal fascio adroterapico nel suo tragitto all'interno dei tessuti può fornire una determinazione del profilo longitudinale di dose a causa della sua correlazione con il profilo di emissione dei secondari emessi. Lo spettro dell'energia cinetica dei suddetti protoni ha un intervallo compreso tra i pochi MeV e i 200 MeV, con un decimo del campione ad energie superiori ai 100 MeV, mentre lo spettro dei fotoni emessi è compreso nell'intervallo 1-10 MeV.

L'attività del gruppo impegnato nel Progetto nei primi mesi del 2012 si è concentrata sulla finalizzazione analisi dei dati presi nel 2011 su fascio di  $^{12}\text{C}$  con 80 MeV/nucl di energia cinetica. Successivamente il gruppo ha preso dati al GSI (Darmstadt) su fasci di carbonio di 220 MeV/nucl e al CNAO (Pavia), con protoni di 200 MeV, portandone avanti l'analisi. Parallelamente si è finalizzato il disegno del rivelatore che permette la misura del profilo di dose (*profiler*) durante il trattamento, costituito da un sistema di tracciamento di sei piani, ciascuno a sua volta costituito da due piani ortogonali di fibre scintillanti, accoppiato a un dump/calorimetro di LYSO per la misura dell'energia dei secondari rivelati. Particolare sforzo è stato impiegato nella progettazione del sistema di lettura delle fibre, sviluppato in collaborazione con l'Università di Bari e i Laboratori Nazionali di Frascati (LNF) dell'INFN.

Si è anche sviluppato il software di ricostruzione che permette di tracciare, a partire dalle informazioni delle fibre e dei cristalli scintillanti, le traiettorie sia dei carichi emessi (in maggior parte protoni, deuteroni e trizii) sia dei fotoni di diseccitazione. Questi ultimi vengono ricostruiti quando interagiscono tramite effetto Compton nelle fibre: questo processo permette la ricostruzione cinematica dell'evento tramite il tracciamento dell'elettrone Compton nei piani di fibre e la rivelazione del punto di impatto e dell'energia rilasciata dal  $\gamma$  che ha subito scattering Compton nel cristallo di LYSO (ortosilicato di lutezio e ittrio drogato cerio).

Nel laboratorio del Dipartimento Scienze di Base e Applicate per l'Ingegneria (SBAI) dell'Università di Roma *La Sapienza* è anche in corso di misura l'efficienza e le caratteristiche di diverse fibre scintillanti a sezione quadrata di diametro 1 e 0,5 mm. È stato anche caratterizzato un materiale scintillante studiato dal gruppo e prodotto in collaborazione con chimici afferenti allo stesso dipartimento.

Riassumendo, i principali risultati conseguiti hanno riguardato lo sviluppo della prima versione del codice di simulazione Monte Carlo (basata sul codice FLUKA) del *profiler*; lo sviluppo della prima versione del codice di ricostruzione della direzione di arrivo dei protoni e dei gamma nel *profiler*; la realizzazione del primo prototipo di piano di tracciamento in fibre scintillanti. Inoltre sono stati pubblicati il flusso e lo spettro di protoni, gamma di diseccitazione e gamma di annichilazione  $\beta^+$  generati da  $^{12}\text{C}$  di 80 MeV/nucl su PMMA, ed è in corso di pubblicazione un lavoro sulla acquisizione dati e analisi del flusso e dello spettro di protoni e gamma di diseccitazione generati su fantoccio di PMMA da  $^{12}\text{C}$  di 220 MeV/nucl (GSI) e da protoni di 200 MeV su PMMA (CNAO).

## 7. SILENZIO COSMICO

[ Responsabile: Luigi Satta ]

Questo progetto nasce con l'obiettivo di studiare l'influenza del fondo naturale di radiazioni sul comportamento biochimico e fisiologico degli esseri viventi e di valutare la possibile azione adattativa del fondo naturale di radiazioni ionizzanti. Un approccio sperimentale "ideale" per rispondere a questa domanda è quello di mantenere un sistema biologico in un laboratorio dove la radiazione ambientale sia completamente assente, o, più ragionevolmente, il più possibile ridotta, e confrontare la risposta di questo sistema rispetto a quella dello stesso sistema biologico mantenuto in un laboratorio di riferimento in cui la radiazione ambientale sia invece presente.

I Laboratori Nazionali del Gran Sasso (LNGS) dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) sono localizzati al di sotto della catena montuosa del Gran Sasso, e offrono una opportunità unica di studiare se una significativa riduzione del fondo naturale di radiazioni (LRE: Low Radiation Environment) possa influenzare la biochimica cellulare e la suscettibilità al danno.

Gli esperimenti già condotti in precedenza da questo gruppo suggeriscono che la radiazione ambientale gioca un ruolo importante nel determinare una serie di processi di adattamento cellulare. In particolare, le cellule coltivate in condizioni di riduzione del fondo di radiazioni (LBE) sono meno protette dal danno al DNA indotto da agenti chimici o fisici e mostrano un ridotto potere di detossificazione da specie reattive dell'ossigeno (ROS).

Nel corso del 2012 è iniziata la sperimentazione su colture cellulari della linea A11 e del suo clone POS (ad alta frequenza di inversioni del gene pKZ1). Entrambe le linee cellulari sono derivate da un modello murino molto sensibile alla rilevazione del danno al DNA (pKZ1). Cellule pKZ1 sono state coltivate in due condizioni differenti di fondo naturale di radiazioni: una condizione di "normale" fondo ambientale (RRE: Reference Radiation Environment) presso l'Istituto Superiore di Sanità (ISS) e una condizione di riduzione del fondo di radiazioni ambientali (LRE) presso i LNGS e sono state analizzate per verificare eventuali modifiche nelle vie biochimiche collegate allo stress ossidativo e nelle vie di segnalazione del danno cellulare, nonché delle proteine coinvolte nella regolazione della morte cellulare.

E' stato così ottenuto un risultato molto interessante: cellule pKZ1 cresciute in condizioni diverse di fondo di radiazione mostrano divergenze nell'espressione di geni coinvolti nella detossificazione da ROS. Inoltre tali cellule mostrano una differente concentrazione della proteina Parp1, una proteina chiave sia nel riparo del DNA che in diverse funzioni fisiologiche, sopravvivenza e morte cellulare. La parallela mancanza di divergenze nel danneggiamento del DNA pone luce su una possibile via di percezione e segnalazione delle radiazioni non DNA-centrica.

## 8. MICRORISONATORI OTTICI E SENSORI BIOFOTONICI

[ Responsabile: Stefano Pelli ]

Microcavità ottiche basate sulla propagazione di modi di galleria (WGM – *Whispering Gallery Modes*) costituiscono dei risonatori ottici a elevatissimo fattore di qualità ( $Q \sim 10^5$ ) e sono quindi capaci di confinare la luce in volumi modali estremamente ridotti e per lunghi periodi di tempo. Sono perciò di grande interesse sia per ricerche a livello fondamentale in ottica quantistica o non lineare sia per applicazioni in settori quali la fotonica e la sensoristica.

Nel corso del 2012, le attività del Progetto si sono concentrate sui seguenti obiettivi:

- 1) Dimostrazione della fattibilità, a livello di apparato sperimentale, di biosensori ottici label-free basati su microcavità sferiche per il riconoscimento di proteine e/o di reazioni antigene – anticorpo sia in ambiente tampone che, per la prima volta, in siero umano.
- 2) Un nuovo approccio sensoristico basato sul monitoraggio della posizione della riga di un laser ad anello in fibra avente una microcavità sferica di silice in retroazione sul suo circuito. Si è infatti mostrato come lo spostamento indotto sulla risonanza del microrisonatore, a seguito di un incremento della temperatura in prossimità della microsfera di silice, sia lo stesso di quello della riga laser sull'anello esterno. Poiché la riga laser è molto più stretta di quella della risonanza della microsfera, il metodo proposto offre una migliore risoluzione per il sensore in questione.
- 3) Lo sviluppo di un nuovo sistema di produzione di microrisonatori a "bolla" che utilizza due scariche ad arco parallele per generare un zona di calore omogeneo, di dimensioni analoghe a quelle della sezione trasversale della microbolla, in grado di garantire una maggiore riproducibilità e resa del processo di fabbricazione e una maggiore uniformità dello spessore della parete per il microrisonatore così realizzato.
- 4) La messa a punto di una procedura selettiva ed efficiente di foto-attivazione su capillari di silice in grado di consentire che la reazione biochimica con l'eventuale analita di cui si vuole monitorare la presenza in soluzione avvenga solo nella zona irradiata. Tale procedura potrà essere estesa al caso di microrisonatori a "bolla", al fine di rendere inerte dal punto di vista del legame bio-chimico il resto del capillare al passaggio dell'analita e, contemporaneamente, far sì che la reazione avvenga solo in corrispondenza delle pareti interne della microbolla funzionalizzata.
- 5) Studio preliminare di effetti non lineari in risonatori sferici di silice. Questi dispositivi riescono a immagazzinare energia per un lungo periodo e in un piccolo volume permettendo così un elevato *build-up factor* per le potenze in circolo (si raggiungono valori dell'ordine di  $\text{GW/cm}^2$ ). Questa caratteristica li rende perciò adatti per lo studio delle interazioni della luce con la materia. In particolare, l'attenzione si è concentrata sull'effetto Raman, sul Four-Wave Mixing e sulla generazione di frequenza somma e di terza armonica. Per lo studio di questi fenomeni è stato allestito un set-up basato su di un amplificatore in fibra drogato con erbio in cui l'inversione di popolazione è ottenuta con due laser di pompa in configurazione contropropagante.

Tali obiettivi sono stati tutti raggiunti; in particolare, in laboratorio sono stati caratterizzati biosensori, basati su microrisonatori sferici di silice, per il riconoscimento di proteine (trombina, fattore di crescita endoteliale vascolare) ~~et~~

di reazioni antigene-anticorpo, e sono state effettuate misure preliminari di emissione Raman, di generazione di frequenza somma e/o differenza e di terza armonica in microsfele di silice.

## 9. BUCHI NERI ACUSTICI

[ Responsabile: Roberto Balbinot ]

Nello spirito interdisciplinare che caratterizza il progetto, che ha come obiettivo la rivelazione della famosa radiazione di Hawking per i buchi neri in sistemi di materia condensata, è stato approfondito lo studio dell'analogo dell'effetto Hawking nei condensati di Bose-Einstein (BEC's) con configurazioni di flusso che simulano buchi neri e buchi bianchi acustici.

La radiazione termica quantistica emessa dai buchi neri appare robusta e indipendente dalla struttura a piccole scale della teoria, confermando che l'effetto è di natura idrodinamica. In questo contesto, è stato esaminato il metodo di rivelare l'effetto Hawking in laboratorio con misure di correlazioni di densità delle pseudoparticelle create dai condensati utilizzando, tramite un'analisi numerica, tecniche derivate dalla teoria dei campi in spazi curvi.

Il segnale dell'effetto Hawking per buchi bianchi acustici è invece fortemente dipendente dalla struttura a piccola scala della teoria considerata. Infatti, mentre nei buchi neri acustici vengono creati fononi (eccitazioni idrodinamiche a bassa energia) nei buchi bianchi le particelle emesse sono descritte dal settore ad alta frequenza della teoria, dove il limite idrodinamico non è più valido. In questo senso, il tipo di emissione prodotto nei BECs non ha nessuna relazione con quella che si avrebbe in gravità. Nella pubblicazione del 2011 [NJP13(2011), 025007] si era mostrato che a causa dell'effetto Hawking si forma, nei BECs in configurazione di buco bianco, un'onda macroscopica a frequenza zero (*undulation*) che si propaga all'interno dell'orizzonte, potenzialmente responsabile di instabilità. Nelle configurazioni di buco nero si è trovato un fenomeno simile associato alla componente trasversale dei fononi creati (una specie di massa effettiva).

Sono state effettuate missioni a Parigi all'Università Paris-Sud 11 (Orsay), per prendere contatti con l'équipe sperimentale di C. Westbrook, del Laboratoire Charles Fabry (Institut d'Optique), che recentemente nell'articolo PRL109 (2012), 220401 ha ottenuto risultati molto interessanti riguardanti la creazione di coppie di quasi-particelle per condensati (effetto Casimir dinamico). La tecnica usata delle misure di correlazioni è ispirata dai lavori del gruppo del Centro Fermi.

I principali risultati possono quindi essere così riassunti:

- Sono state utilizzate tecniche di teoria dei campi in spazi curvi, per studiare numericamente il correlatore di densità delle fluttuazioni nei BEC's in configurazione di buchi neri acustici. I risultati ottenuti sono in buon accordo qualitativo e quantitativo con analisi numeriche effettuate utilizzando la teoria BEC's microscopica.
- Si è mostrato che il segnale Hawking caratteristico (emissione termica quantistica) nei buchi bianchi acustici si trova all'interno dell'orizzonte acustico, mentre l'emissione all'esterno è non termica.
- Si è mostrato che il fenomeno dell'*undulation* è presente anche per configurazioni di buchi neri qualora i fononi prodotti abbiano un impulso trasversale non nullo.

## 10. COMPLESSITÀ: DALLE STRUTTURE NANOMETRICHE A QUELLE COSMICHE

[ Responsabili: Luciano Pietronero e Francesco Sylos Labini ]

Lo studio dei sistemi complessi riguarda l'emergenza di proprietà collettive in sistemi con un gran numero di elementi in interazione tra loro. Questa problematica è fondamentale nello studio di molti problemi fisici e la comprensione di alcuni problemi specifici può inoltre dar luogo a una nuova metodologia, con possibilità di applicazioni in altri campi. Nell'ultimo anno l'attenzione è stata focalizzata sul problema della formazione di strutture autogravitanti: sono dunque state studiate le proprietà statistiche e dinamiche di alcuni stati di quasi equilibrio virializzati che si formano in seguito al collasso gravitazionale. In particolare, è stato considerato il collasso di una nube di particelle autogravitanti isolata e inizialmente sferica. Questo semplice sistema rappresenta un esempio paradigmatico per analizzare il processo di rilassamento che porta alla formazione di uno stato quasi-stazionario in equilibrio viriale. È stato quindi analizzato il caso di una nube inizialmente uniforme o con un profilo di densità a legge di potenza, utilizzando la dispersione di velocità iniziale come parametro libero per cambiare il rapporto tra energia potenziale gravitazionale ed energia cinetica. Eseguendo una serie di esperimenti numerici, in cui sono stati variati in maniera sistematica sia i parametri fisici delle condizioni iniziali che i parametri numerici dell'integrazione numerica, è stato mostrato che la struttura virializzata che si forma dopo il collasso ha delle proprietà di universalità indipendenti dalle condizioni iniziali solo nel caso in cui la dispersione di velocità iniziale è molto piccola o nulla; invece, nel caso in cui la dispersione di velocità è grande abbastanza viene preservata memoria delle condizioni iniziali. Queste due serie di condizioni iniziali danno luogo rispettivamente a diversi tipi di rilassamento verso uno stato di quasi equilibrio. Quando l'energia cinetica iniziale è minore dell'energia potenziale gravitazionale iniziale (in modulo) il fattore contrazione del sistema è molto grande e il processo di rilassamento è violento. Quando invece l'energia cinetica iniziale è dell'ordine dell'energia potenziale, il processo di rilassamento è violento. Quando invece l'energia cinetica iniziale è dell'ordine dell'energia potenziale, il processo di rilassamento è violento.