

Sono state, inoltre, effettuate azioni di supporto agli obiettivi principali, quali:

- la predisposizione degli iter autorizzativi e/o di legge con le amministrazioni ministeriali e di controllo;
- il coordinamento, la supervisione ed il controllo delle attività condotte nell'ambito della Convenzione ENEA-NUCLECO per la gestione, a livello nazionale, dal Servizio Integrato per il ritiro, trattamento, condizionamento e smaltimento dei rifiuti radioattivi provenienti dal comparto medico-ospedaliero, di ricerca e industriale;
- l'applicazione di un sistema avanzato per la programmazione ed il controllo delle attività, nell'ambito di un ampio programma di riorganizzazione;
- attività di ricerca e sviluppo nel settore dei rifiuti radioattivi e della relativa strumentazione, svolte principalmente dal Laboratorio di Caratterizzazione;
- partecipazione a convegni, congressi, gruppi di lavoro nazionali ed internazionali (AIEA, NEA) sulle problematiche specifiche di interesse nel campo della gestione dei rifiuti radioattivi.

A seguito della cessione delle attività di smantellamento degli impianti a SOGIN, e dopo il completamento di questo processo, le attività dell'ENEA in questo settore saranno oggetto di una fase di riorganizzazione e ridefinizione degli obiettivi strategici.

Per lo svolgimento delle attività, l'ENEA si è avvalsa delle strutture sperimentali descritte di seguito.

#### **Laboratorio di caratterizzazione della Casaccia**

È un laboratorio di categoria A (D.Lgs. 230) che svolge principalmente misure non distruttive basate sulla spettrometria gamma mediante il sistema di misura SRWGA (SEA Radioactive Waste Gamma Analyser) e strumentazione mobile da campo.

La prova eseguita con il sistema SRWGA ha continuato a mantenere l'accreditamento al SINAL (Sistema Nazionale di Accreditamento dei Laboratori).

Le principali attività svolte nel 2004 sono state:

- attività di gestione e mantenimento in sicurezza (manutenzione ordinaria sistemi rilevanti, controlli di sicurezza, revisione situazione di licensing ecc.);
- interventi di manutenzione straordinaria; sono state definite le specifiche tecniche per l'assegnazione di un contratto ad una società di ingegneria per la revisione dello stato delle infrastrutture e dei sistemi rilevanti per la sicurezza per adeguamento impianto ventilazione, condizionamento, antincendio ecc;
- riattivazione della linea ad umido; sono state acquisite alcune scatole a guanti analitiche con attrezzature varie di laboratorio e strumentazione di misura ed è iniziato l'allestimento di una scatola a guanti dotata di ventilazione con gas inerte per attività sperimentali legate a processi pirometallurgici per la separazione di uranio;
- progettazione e realizzazione di apparecchiature per controlli non-distruttivi; è stato acquisito il sistema di misura ISOCS per l'effettuazione di misure da campo.

#### **Laboratorio di radiochimica di Saluggia**

Dopo la perdita, conseguente l'affidamento a SOGIN dell'Impianto EUREX, del Laboratorio di radiochimica, completo di tutto il corredo delle attrezzature e apparecchiature analitiche, la prosecuzione degli impegni derivanti dalle attività in ambito europeo, dalle attività di servizio e

da altre attività di ricerca e sviluppo rendono necessario l'allestimento di un nuovo laboratorio di radiochimica. Di conseguenza, nel corso dell'anno, sono state effettuate:

- la definizione del layout del nuovo laboratorio
- la progettazione di massima e analisi di sicurezza.

#### **Laboratorio CETRA della Casaccia**

Presso il C.R. Casaccia, è operativo il laboratorio specializzato nella formulazione e nella caratterizzazione di matrici (soprattutto cementizie) per il condizionamento dei rifiuti radioattivi e/o tossico-nocivi (laboratorio CETRA).

La capacità di questo laboratorio di sviluppare opportune formulazioni di materiali e di processi per l'inglobamento di rifiuti, unitamente al complesso delle prove fisiche, chimiche, tecnologiche e biologiche alle quali sono normalmente assoggettati i materiali cementizi utilizzati per l'immobilizzazione dei rifiuti, costituiscono una "prova" accreditata presso il SINAL (Sistema Nazionale di Accreditamento dei Laboratori) secondo la ISO 17025.

Fra le attività svolte nel 2004, vanno ricordate quelle per:

- il mantenimento dello stato di accreditamento presso il SINAL
- l'upgrading della strumentazione di prove e misure.

Infine, nel corso dell'anno, sono iniziati il recupero e la ristrutturazione di una grande hall tecnologica in Casaccia.

Tra i risultati più rilevanti ottenuti nel corso del 2004, si evidenziano, in particolare, quelli riportati nel seguito.

#### **Servizio Integrato**

L'ENEA ha messo a disposizione del Paese, da oltre quindici anni, un sistema operativo, denominato "Servizio Integrato", per la gestione dei rifiuti radioattivi, essenzialmente di media e bassa attività, di origine non elettronucleare.

Le attività afferenti questo Servizio comprendono la raccolta, il trasporto, la caratterizzazione, l'immagazzinamento, il trattamento-condizionamento e, per alcune tipologie (medicali di 1a categoria) lo smaltimento in esenzione dei rifiuti originariamente radioattivi.

Le altre tipologie di rifiuti vengono trattate e condizionate ed i relativi manufatti conservati in deposito in attesa che si renda disponibile il sito nazionale di smaltimento.

L'azione di indirizzo, coordinamento, supervisione e pianificazione delle attività del Servizio Integrato è svolta dall'ENEA, che stabilisce fra l'altro la tipologia dei rifiuti conferibili e la loro modalità di confezionamento e trasporto; la gestione commerciale ed operativa delle suddette attività è invece affidata dall'ENEA alla Società partecipata NUCLECO, nell'ambito di una specifica Convenzione.

Per lo svolgimento dei propri compiti, la NUCLECO si avvale di un complesso di strutture, impianti, depositi situati nel CR Casaccia.

Al Servizio Integrato, oltre alla NUCLECO, aderiscono i principali soggetti privati nazionali operanti nello specifico settore. Essi provvedono autonomamente all'attività di raccolta dei rifiuti radioattivi, conferendoli poi, in tutto o in parte, all'ENEA, che si fa quindi carico, attraverso la NUCLECO, di tutte le altre fasi gestionali, compreso lo smaltimento definitivo dei materiali presi in consegna.

Gli operatori che intendono aderire al Servizio Integrato vengono qualificati dall'ENEA.

I rifiuti radioattivi raccolti, dalla Nucleco e tramite gli operatori privati, provengono in gran parte dal comparto medico-sanitario e in minor misura da quello industriale e della ricerca scientifica.

Nel corso dell'anno in riferimento sono stati raccolti circa 220 metri cubi di rifiuti radioattivi e circa 11 mila piccole sorgenti radioattive. Per la maggior parte i materiali ritirati sono stati trattati e condizionati.

Inoltre, è proseguita la campagna di smaltimento di rifiuti solidi ex radioattivi di origine medico-ospedaliera, iniziata nel 2003. La campagna, affidata tramite gara ad una ditta privata che opera nel settore, riguarda lo smaltimento, mediante incenerimento di circa 270 tonnellate di rifiuti e dovrebbe concludersi entro l'anno.

Nel corso del 2004, infine, è iniziata una campagna di caratterizzazione di 217 colli di rifiuti radioattivi, richiesta da APAT, il cui completamento è previsto per l'anno prossimo.

#### **Servizio di scuola/formazione/informazione**

Si tratta di una nuova iniziativa da organizzare anche di intesa con le istituzioni pubbliche (Regioni, Università) con lo scopo di offrire al Paese, in particolare alle Istituzioni Pubbliche e Private (ASL – Province – Regioni – Ospedali – Cliniche – Piccola e Media Industria) comunque coinvolte in attività comportanti rischio radiologico un vero e proprio strumento di formazione/informazione, tra cui, in particolare, per:

- formazione di tecnici per l'impiego di macchine radiogene e/o sorgenti radioattive (in prevalenza per ospedali/cliniche, medici privati e parzialmente industria del settore);
- scuola e formazione per il conseguimento degli attestati di legge per la conduzione/manutenzione di impianti nucleari (patenti per operatori di impianti, Esperti Qualificati di 1°, 2° e 3°, ecc.);
- formazione di dipendenti istituzionali (es. VV.F.) per interventi in aree contaminate e/o controllate;
- collaborazioni con Enti di Ricerca/Università per corsi post-laurea/dottorati;
- informazione generale con lezioni e temi/visite guidate, ad ogni livello scolastico: elementari, medie, superiori.

L'addestramento potrà essere svolto mediante appositi "Moduli di Formazione" sia con carattere teorico che pratico presso i laboratori dell'ENEA.

#### **Convenzione MAP-ENEA relativa al protocollo aggiuntivo di cui alla legge 332/03**

Le attività derivanti dall'applicazione del Protocollo Aggiuntivo (PA), previste in Convenzione, hanno impegnato l'ENEA sia nell'allestimento di idonee infrastrutture e nell'organizzazione interna, sia nelle prestazioni professionali previste, con il relativo impiego di personale tecnico ed amministrativo, di differente livello professionale, in sede, sui siti interessati e presso le organizzazioni di controllo.

Per effettuare le varie elaborazioni e la conservazione dei dati, inoltre, è stato necessario costituire ambienti di lavoro protetti.

Per effettuare le varie elaborazioni e la conservazione dei dati, inoltre, è stato necessario utilizzare il software CAPE, predisposto dalla Commissione Europea per l'inserimento in formato elettronico di tutte le informazioni previste dal Protocollo. In questa fase è stato, pertanto, possibile verificare il software proposto dalla Commissione Europea, indicare alla stessa le necessarie modifiche e permettere a tutti gli operatori interessati l'utilizzo di un software affidabile.

Anche sulla base del software CAPE, l'ENEA ha predisposto il modello di schede cartacee, riportate in allegato al Decreto Ministeriale.

In particolare, l'azione di supporto al MAP ha richiesto i seguenti interventi:

- individuazione di tutti gli operatori coinvolti nella dichiarazione di cui all'art. 2 a) iii del PA per la definizione dei siti in collaborazione con la Commissione Europea, con sopralluoghi sui siti per illustrare i nuovi requisiti del PA e le modalità di invio delle informazioni all'AIEA come destinatario finale. I sopralluoghi hanno interessato i siti di Pavia, Segrate, Montecuccolino, Padova, Saluggia, Palermo, Garigliano, Trisaia, Latina, Medicina (Bo) e Bologna. Nel caso di problematiche aperte sono state inviate in formato elettronico al MAP apposite note per concordare le azioni future;
- i dati che gli operatori dovranno inviare direttamente alla Commissione Europea (non appena il decreto di cui sopra verrà emesso) sono stati raccolti dall'ENEA e trasmessi al MAP per l'invio alla Commissione Europea. In particolare, tale raccolta è stata effettuata per il sito di Bologna, Casaccia, Politecnico di Milano, Università di Palermo, Saluggia-Avovadro, Saluggia-SORIN ed Università di Pavia, producendo così sia il file database che il file xlm come previsto dal software CAPE. Molte informazioni cartacee sono state trasferite su computer per rispettare gli accordi verbali presi con la Commissione Europea;
- un lavoro di coordinamento e ricerca dati è stato svolto per il sito della Casaccia, dove sono presenti tre operatori (NUCLECO-ENEA e SOGIN), data la moltitudine di attività svolte nel passato e la notevole estensione del sito. Tale coordinamento è stato richiesto espressamente anche dalla IAEA, al fine di sopperire alla attuale mancanza del Rappresentante del sito. Grazie anche alla collaborazione degli operatori, l'ENEA è riuscita ad inserire le informazioni sul software CAPE, in tempo per la trasmissione al MAP. Lavoro analogo è stato svolto per il sito di Bologna dove sono presenti l'ENEA e l'Università di Bologna.
- su richiesta dell'AIEA e con l'accordo del MAP, l'ENEA ha raccolto i dati dalla SORIN che in una prima analisi era stata considerata fuori dal PA;
- sono state fornite indicazioni sull'utilizzo del software CAPE alla SOGIN, al Ministero della Difesa (CISAM) ed al Politecnico di Milano in tutte le varie fasi, dalla installazione alla immissione dei dati;
- l'ENEA ha fornito supporto al MAP nei contatti e nelle riunioni con i rappresentanti della Commissione Europea e dell'AIEA, per chiarire l'applicazione del PA e le modalità di invio dei dati in mancanza del decreto applicativo della legge di ratifica; considerando i tempi limitati a disposizione, inoltre, l'ENEA ha curato per il MAP anche la trasmissione delle informazioni del Protocollo Aggiuntivo alla Commissione Europea, fornendo tutti i supporti informatici necessari;
- infine, l'ENEA ha partecipato ad alcuni seminari e incontri indetti dalla Commissione sulla portata e le modalità di applicazione del PA, nonché del nuovo Regolamento Euratom (in corso di adozione) inteso a rendere il regime Euratom sulle salvaguardie coerente con le disposizioni del PA.

### **7.8. Radioprotezione**

Le attività in questo campo, svolte dall'Istituto di Radioprotezione (IRP), si articolano in:

- ricerca, sviluppo e qualificazione delle tecniche e delle procedure di monitoraggio e dosimetria delle radiazioni ionizzanti;
- sorveglianza fisica di radioprotezione;
- prestazione di servizi tecnici di dosimetria per terzi.

#### **Ricerca, sviluppo e qualificazione**

La attività di ricerca è rivolta prevalentemente allo sviluppo di tecnologie e ottimizzazione delle tecniche di dosimetria, sia ambientale che individuale. Fra i risultati più rilevanti ottenuti nel corso dell'anno, si citano i seguenti:

- Sono stati qualificati i metodi di dosimetria neutronica con rivelatori di CR39 attraverso procedure di controlli di qualità dal sistema di produzione presso la ditta alla caratterizzazione della qualità del prodotto con test di irraggiamento;
- è stata applicata la tecnica ICP-MS per misure di Uranio e Torio su campioni ambientali e vegetali, a seguito di studi preliminari di fattibilità. La stessa tecnica è stata testata anche per misure di Torio su campioni biologici;
- è stato messo a punto il metodo di analisi per la determinazione radio-analitica di Americio e Plutonio nelle urine attraverso test sperimentali con l'utilizzo di diverse resine estrattive;
- sono stati ottimizzati, in termini di prestazione dosimetrica, dosimetri passivi per il monitoraggio del radon oggetto di brevettazione. Sono in preparazione richieste di brevettazione su modifiche migliorative dei dosimetri già esistenti;
- è stato realizzato un sistema automatico ad alta prestazione per la lettura di rivelatori esposti in dosimetri passivi per il monitoraggio del radon che permette la gestione in larga scala di rivelatori processati.

#### **Sorveglianza fisica di radioprotezione in ENEA**

La attività di sorveglianza fisica di radioprotezione comprende:

- funzione di esperto qualificato per le attività con rischio da radiazioni ionizzanti;
- sorveglianza di radioprotezione operativa (dosimetria ambientale, sopralluoghi periodici negli impianti/laboratori, misure di caratterizzazione radiologica degli ambienti di lavoro);
- dosimetria ambientale secondo le prescrizioni tecniche delle autorizzazioni ministeriali degli impianti TRIGA e TAPIRO del CR Casaccia;
- dosimetria individuale esterna ed interna per i lavoratori ENEA esposti alle radiazioni.

In particolare, nell'anno 2004:

- è stata garantita la funzione di Esperto Qualificato su tutti gli impianti ENEA dei centri di Bologna (Medicina, Montecuccolino, Faenza), Brasimone, Brindisi, Casaccia, Frascati, Portici, S.Teresa, Saluggia, Trisaia;
- sono stati effettuati i controlli di radioprotezione operativa sugli impianti TRIGA, TAPIRO e CALLIOPE dell'ENEA e nei laboratori del CR Casaccia e Frascati.
- sono stati forniti i dosimetri personali (per corpo intero ed estremità) per tutti i tipi di radiazione per tutto il personale esposto dei CR ENEA;
- sono state effettuate misure di dosimetria interna utilizzando metodi diretti (Whole Body Counter) e misure radiotossicologiche (RTX) e misure chimiche (ICP-MS) su escreti di lavoratori esposti;
- è stata garantita la sorveglianza ambientale di radioattività per gli impianti ENEA (ex Capo VII D.Lgs. 230/95). Ciò ha comportato il campionamento regolare delle matrici

ambientali e alimentari (aria, terreno, acque, latte, frutta, ortaggi, pesce, etc.), il trattamento chimico e l'analisi radio-chimica dei campioni e misure dirette di intensità di esposizione e di radioattività mediante una ampia gamma di sistemi di misura.

L'attività di fisica di radioprotezione svolta nel 2004 per i vari centri ENEA è sintetizzata nella tabella seguente.

Attività di sorveglianza fisica di radioprotezione svolte per ENEA	N. misure	
Interventi di radioprotezione operativa presso impianti e laboratori	2000	
Dosimetria esterna (dosimetri forniti)	7000	
Dosimetria interna (misure effettuate)	3000	
Dosimetria su campioni ambientale (misure effettuate)	8500	
Monitoraggio radon	Sopralluoghi	10
	Misure	50
Taratura strumentazione radioprotezione e dosimetri	100	

#### Prestazioni di servizi tecnici per terzi

Le tecniche di dosimetria sono oggetto di servizio svolto per terzi sulla base di tariffe ENEA. Il servizio di radioprotezione fornito a SOGIN, sulla base del vigente Accordo Quadro ENEA-SOGIN, costituisce una significativa parte di questa attività. Il servizio a SOGIN nell'anno 2004 ha compreso:

- funzione di Esperto Qualificato per gli impianti EUREX di Saluggia e IPU e OPEC di Casaccia;
- campionamento e misure di matrici ambientali ed alimentari secondo le prescrizioni tecniche della licenza di esercizio e redazione del rapporto annuale di radioattività ambientale come richiesto dalle autorità vigilanti (APAT e Ministeri vigilanti);
- analisi radiometriche su campioni di impianto e campioni e/operlevati in ambienti di lavoro, analisi di dosimetria individuale, interna ed esterna, per i lavoratori operanti presso gli impianti.

L'attività svolta per terzi nell'anno 2004 è sintetizzata nella tabella seguente.

Servizio	Utenti	N. misure per utenti esterni	N. misure fornite a SOGIN
Dosimetria esterna	250	80 000	1000
Monitoraggio radon	50	10 000	10
Dosimetria interna	10	250	500
Dosimetria ambientale	5	100	3000
Taratura strumentazione	20	30	5

Nel mese di ottobre 2004, infine, presso il CR Casaccia, in collaborazione con la Scuola Superiore di Radioprotezione "Carlo Polvani" di Villa Olmo dell'AIRP, è stato organizzato un corso teorico-pratico sul tema "Dosimetria individuale da contaminazione interna: conoscenze, metodologie, pratica". Il corso di dosimetria interna, dove circa il 70% delle lezioni e dimostrazioni sono state tenute da ricercatori IRP, ha permesso per la prima volta una

trattazione pratica di problematiche di dosimetria interna, dalla metodologia di misura alla valutazione di dose finale.

Sono stati trattati i diversi aspetti della dosimetria interna: grandezze, modelli, strumenti matematici per la valutazione di dose, aspetti di ricerca in biocinetica ed in dosimetria interna (calcolo delle SAF con modellistica Monte Carlo), aspetti normativi e di esperienza nei diversi ambiti italiani, esercitazioni di laboratorio con misure dirette ed indirette a supporto della valutazione di dose interna, esercitazioni pratiche in simulati casi di contaminazione interna. E' stato inoltre fornito un CD, completo di tutte le relazioni, riferimenti bibliografici e normativi che costituisce un ottimo strumento di formazione e aggiornamento anche per coloro che non hanno potuto partecipare direttamente al corso.

### **7.9. Metrologia delle radiazioni ionizzanti**

L'attività dell'Istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti ha riguardato, come per gli anni passati, il ruolo di "Istituto Metrologico Primario" nel settore delle radiazioni ionizzanti assegnato all'ENEA dalla legge n. 273/1991. L'attività dell'Istituto ha riguardato inoltre i ruoli assegnati all'ENEA dalla legge n. 132/1988 (procedure e prove per l'omologazione degli strumenti di misura in ambito UE) e dai dlgs. n. 230/1995 e n. 241/2000 (obblighi di taratura e i criteri di approvazione dei dosimetri delle radiazioni ionizzanti). In base a questi compiti, l'Istituto ha proseguito nel 2004 il proprio impegno nello sviluppo dei campioni primari nazionali per la misura delle radiazioni ionizzanti, validandone la qualità mediante confronti internazionali, al fine di realizzare nel Paese le condizioni di base per l'affidabilità delle misure delle radiazioni ionizzanti nei settori della radioprotezione e delle applicazioni mediche e industriali.

In particolare, l'attività metrologica e di certificazione svolta dall'Istituto è stata essenziale per i "Sistemi Qualità" riguardanti la misura delle radiazioni ionizzanti nei seguenti campi: terapia e diagnostica medica; radioprotezione in campo ambientale, ospedaliero e industriale; trattamento, sterilizzazione e diagnosi di materiali mediante radiazioni, ricerca scientifica.

#### **Campioni primari nazionali**

L'attività sui campioni primari ha riguardato lo sviluppo di nuovi campioni, i controlli sulla efficienza e sulla stabilità di quelli già operanti e lo svolgimento di interconfronti internazionali per soddisfare quanto richiesto dai vincoli posti dagli accordi internazionali sulla metrologia (MRA-BIPM/1999).

I principali obiettivi conseguiti nel corso del 2004 sono elencati nel seguito con riferimento alle diverse tipologie di attività sui campioni primari.

#### **Campioni per la dosimetria di radiazione x, gamma ed elettroni**

- È stata ultimata la messa a punto di un nuovo complesso di campioni prototipi (realizzati su progetto dell'Istituto), basato su 6 camere a ionizzazione in grafite, per la misura assoluta di kerma in aria dovuta a radiazione gamma e caratterizzato anche mediante calcoli Monte Carlo del fattore correttivo  $K_{wall}$ ;
- è stata ultimata la messa a punto del nuovo dispositivo per la misura dei coefficienti di attenuazione in aria della radiazione x di bassa energia (10-50 kV), associato al campione nazionale di kerma in aria, camera ad aria libera per basse energie. Le misure dei suddetti coefficienti sono previste nel 2005. Sono state effettuate prolungate

misurazioni di prova con la camera ad aria libera, il campione nazionale di kerma in aria dovuto a radiazione x di media energia (50kV-100 kV), per la eliminazione di problemi sperimentali verificatisi per danneggiamento al sistema di isolamento elettrico;

- sono stati effettuati due confronti internazionali con il campione di misura del kerma in aria dovuto alla radiazione gamma del Co-60. Il campione è stato confrontato a luglio 2004 con l'analogo campione dell'OMH (Ungheria), i risultati sono in corso di analisi e valutazione. Il campione è stato inoltre confrontato nel dicembre 2004 con l'analogo campione del BIPM (Bureau International des Poids et Mesures) con risultati preliminari soddisfacenti. La conclusione del confronto prevede lo svolgimento di ulteriori misure presso i laboratori dell'Istituto previste per marzo 2005;
- sono stati calcolati con il codice Monte Carlo PENELOPE alcuni importanti fattori correttivi per le due camere ad aria libera, campione nazionale di kerma in aria dovuto a radiazione x di bassa (10-50 kV) e media (100-250kV) energia. In particolare è stato messo a punto un programma per il calcolo dei fattori  $k_{sc}$ ,  $k_{fl}$  e  $k_e$  che correggono rispettivamente per gli effetti dovuti alla radiazione diffusa, ai fotoni di fluorescenza e alla perdita di elettroni negli elettrodi. I fattori,  $k_{sc}$ ,  $k_{fl}$  e  $k_e$ , sono stati calcolati in funzione dell'energia simulando il trasporto di fotoni monoenergetici nelle geometrie che descrivono le due camere campione. L'adozione di questi nuovi fattori correttivi sarà ufficialmente formalizzata in occasione dei prossimi confronti internazionali con questi campioni, previsti presso il BIPM per la fine del 2005.

#### **Campioni per la misura dei radionuclidi**

- *Sviluppo di nuovi campioni primari per la misura del  $^{99m}\text{Tc}$*

Nel quadro della collaborazione tra l'ENEA-INMRI e l'Ospedale Pediatrico Bambino Gesù (OPBG, Roma) sulle applicazioni della metrologia dei radionuclidi alla radioterapia pediatrica e in riferimento al Progetto di Rivalutazione del programma dosimetrico del reparto di Medicina Nucleare dell'OPBG, si è sviluppato il campione primario di  $^{99m}\text{Tc}$ , per poter impiegare questa sorgente radioattiva di particolare importanza nella diagnostica (mediante SPECT) di alcuni tumori infantili.

Il  $^{99m}\text{Tc}$  è stato prodotto presso l'OPBG mediante il generatore  $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$  ELU-III-4 SN JBED04 da 4 GBq. La tecnica usata presso l'ENEA-INMRI per la standardizzazione di tale nuclide fa uso di un rivelatore ad alta efficienza NaI(Tl) 5"x5" a geometria a pozzetto, di cui è fondamentale la conoscenza della risposta in efficienza alle radiazioni rivelate. A tale scopo si è utilizzato il codice di calcolo GEANT 3.21/LINUX per riprodurre la curva di efficienza di singolo fotone e di singolo elettrone con il rivelatore NaI(Tl) 5"x5". Il programma di simulazione così realizzato consente di stimare l'efficienza di conteggio per qualunque radionuclide in qualunque geometria (puntiforme, fiala) misurato con il sistema di conteggio  $4\pi$ . L'efficienza ottenuta è stata utilizzata per normalizzare i dati sperimentali e misurare l'attività del  $^{99m}\text{Tc}$ . Tale quantità ha permesso di tarare il calibratore di dose ACN.ISODOSE dell'OPBG consentendo un notevole miglioramento dell'affidabilità delle misure e della qualità delle immagini diagnostiche effettuate presso tale centro. Una misura indipendente del  $^{99m}\text{Tc}$  è stata effettuata anche mediante i sistemi di riferimento per spettrometria gamma, ottenendo, rispetto alla misura assoluta, uno scarto di -0,74 %.

- *Sviluppo di nuovi campioni primari per la misura del  $^{18}\text{F}$*

A seguito delle richieste, da parte degli ospedali italiani, di misurare l'attività di sorgenti di  $^{18}\text{F}$  usato per la radiodiagnostica medica mediante tomografia ad emissione di positroni (PET), si è sviluppato un campione primario per poter misurare la concentrazione di attività di soluzioni radioattive di  $^{18}\text{F}$ . La tecnica del conteggio con

scintillatori liquidi e tracciamento dell'efficienza (nota in letteratura come metodo CIEMAT/NIST) è stata a tale scopo applicata e sviluppata con successo presso l'ENEA-INMRI. In tal caso è stata applicato il metodo di calcolo dell'efficienza basato sul software CN2001/A ed usando come tracciante il  $^3\text{H}$ . Particolare attenzione è stata posta nella determinazione dell'impurezza nella soluzione di  $^{18}\text{F}$  caratterizzata da una piccola concentrazione di attività di  $^{48}\text{V}$ , identificata attraverso una peculiare analisi dei conteggi integrali, acquisiti per circa un mese, messa a punto per mezzo del codice di calcolo PAW del CERN. Il nuovo campione primario di  $^{18}\text{F}$  è stato quindi utilizzato per la taratura della strumentazione (quale la camera a ionizzazione) operante presso il sito di produzione del FDG della Officina Farmaceutica Amersham Health (situata nel Joint Research Center di Ispra) fornitrice in Italia di sorgenti di  $^{18}\text{F}$  per la PET.

- *Standardizzazione del  $^{125}\text{I}$  con il metodo del picco somma*  
Il metodo del conteggio in coincidenza nel picco somma è stato applicato alla misura assoluta della concentrazione di attività di una soluzione di  $^{125}\text{I}$  nel riferimento di un interconfronto organizzato dal BIPM, conclusosi a novembre 2004. Lo  $^{125}\text{I}$  è un nuclide particolarmente utilizzato nell'ambito della medicina nucleare (diagnostic imaging, SPECT imaging, mappatura di recettori nel cervello, brachiterapia, trattamento del cancro della prostata, etc.). La misura è stata eseguita con rivelatori NaI(Tl), a geometria a pozzetto e di volume diverso, i cui segnali sono stati elaborati da differenti sistemi di elaborazione ed acquisizione dati. La peculiarità dello schema di decadimento del nuclide (con emissione di un fotone da 35,5 keV e di una serie di raggi x di circa 28 keV) ha consentito di applicare questa il metodo assoluto di conteggio in coincidenza nel picco somma, potendo distinguere nello spettro in energia acquisito un picco di singolo fotone ed un picco (picco somma) di circa 57 keV di energia dovuta ad eventi in coincidenza.
- *Metodi di misura assoluta del radon*  
È stato realizzato un nuovo campione primario per la misura del radon in aria basato sulla estrazione del radon da sorgenti di sali di Radio in soluzione acquosa ed il suo completo trasferimento in un circuito di volume noto, entro cui è inserito uno strumento (del tipo Alphaguard) per il monitoraggio del radon. Questo circuito sarà usato per la taratura di un rivelatore basato su un cristallo di NaI(Tl) a pozzetto. Introducendo nel circuito il radon contenuto in una ampolla di vetro, precedentemente misurato nel rivelatore a pozzetto, si possono confrontare direttamente le attività delle sorgenti di radio con quelle delle ampolle e quindi determinare l'efficienza del rivelatore NaI.

#### **Standardizzazione e affidabilità delle misure delle radiazioni ionizzanti**

Nel campo dei metodi finalizzati al miglioramento dell'affidabilità delle misure delle radiazioni ionizzanti, gli obiettivi conseguiti sono i seguenti.

- Nell'ambito dell'attività di riferimento svolta dall'Istituto per la qualificazione e la caratterizzazione degli acceleratori clinici del tipo Novac, costruiti in Italia e usati a livello nazionale e internazionale per la radioterapia intraoperatoria (IORT), è stata effettuata la simulazione con codice Monte Carlo BEAMnrc dei fasci di elettroni prodotti dall'acceleratore Novac 7. In particolare sono stati simulati i diversi tipi di fasci prodotti dall'acceleratore per le diverse esigenze pratiche della radioterapia. Il modello di calcolo è stato convalidato confrontando le distribuzioni di dose calcolate con quelle ottenute sperimentalmente. Per tutte le configurazioni simulate è stata determinata la distribuzione spettrale, spaziale e angolare degli elettroni all'uscita di ciascun applicatore clinico utilizzato. E' stata inoltre valutata la componente di fotoni presente nei fasci. Le informazioni sulle caratteristiche dei fasci di elettroni ottenute con

BEAMnrc sono state utilizzate per il calcolo del valore del rapporto del potere frenante acqua-aria in funzione della profondità in acqua per i diversi fasci simulati. I valori calcolati sono stati confrontati con quelli riportati nei protocolli di dosimetria in radioterapia per fasci di elettroni convenzionali.

- Nel quadro della collaborazione fra l'Istituto e i laboratori del "Sincrotrone di Trieste" per lo sviluppo di un sistema di misura dei fasci di radiazione ("luce di sincrotrone") riferibile ai campioni nazionali dell'Istituto, sono state effettuate prove di stabilità del fascio di radiazione prodotto dall'impianto Elettra (l'acceleratore dedicato alla produzione di luce di sincrotrone) e dell'efficacia del sistema di monitoraggio, propedeutiche alla effettuazione di misure assolute di questo tipo di radiazione. I risultati ottenuti hanno individuato la necessità di modifiche nelle procedure di misura e nell'apparato sperimentale che sono in corso di predisposizione da parte degli esperti di Elettra.
- È stato portato a termine un programma in collaborazione con altri laboratori dell'ENEA per adeguare e standardizzare l'impianto a raggi x utilizzato per l'irraggiamento di cellule e piccoli animali. L'adeguamento ha comportato la progettazione e la messa a punto di un nuovo sistema di posizionamento del materiale da irraggiare rispondente alle caratteristiche richieste dai protocolli internazionali per una corretta valutazione della dose impartita. La collaborazione si è conclusa con la partecipazione ad un confronto internazionale in ambito EULEP nel quale l'ENEA ha conseguito uno dei migliori risultati sia in termini di dose che di omogeneità di irraggiamento.
- È proseguito il programma di ricerca per la determinazione dell'efficienza di raccolta in camere a ionizzazione in fasci di elettroni ad alta dose per impulso, prodotti da acceleratori di elettroni per radioterapia intraoperatoria (IORT) di tipo Novac. Si sono svolte misure comparative fra camere a ionizzazione e rivelatori a solfato ferroso. Per questo tipo di fasci, l'applicazione alle camere a ionizzazione delle tradizionali correzioni per ricombinazione non fornisce risultati in accordo con metodi dosimetrici indipendenti dalla dose per impulso. Dai risultati già ottenuti si prevede di concludere il programma entro giugno 2005 con la individuazione di una procedura definitiva per la misura di questi particolari fasci di elettroni.

#### **7.10. Smaltimento dei rifiuti da fissione nucleare: amplificatori di energia ADS**

L'attività si è articolata nelle seguenti azioni:

- Progetto preliminare per l'implementazione dell'impianto TRADE
- Progetto europeo PDS-XADS
- Sviluppo tecnologico per l'ADS
- Messa a punto e convalida dei metodi di progetto
- Dati Nucleari.

#### **Progetto preliminare per l'implementazione dell'impianto TRADE**

Sono state determinate ed ottimizzate le caratteristiche neutroniche del sistema target-core della facility per un'energia di riferimento di 140 MeV del fascio di protoni. Simulazioni simili sono state poi ripetute per configurazioni a 200 ed a 300 MeV, che corrispondono a differenti modalità di funzionamento del sistema, a differenti requisiti del suo disegno ed a caratteristiche diverse del ciclotrone proposto e, di conseguenza, del fascio di protoni. Sono state poi eseguite approfondite analisi di comparazione dei parametri fisici principali, anche per valutare vantaggi e svantaggi dell'utilizzo delle diverse energie del fascio di protoni nel determinare il disegno

del target di spallazione, al fine di ottimizzare l'ingegneria dell'intera facility TRADE. Il disegno del sistema target ha richiesto infatti un approccio multidisciplinare al problema, che ha compreso la scelta del materiale, la fisica di spallazione dei targets, studi termomeccanici, termoidraulici e gli aspetti di sicurezza.

È stato messo a punto un efficace metodo di calcolo, denominato "metodo MSM – Modified Source Multiplication Method", come supporto modellistico al programma sperimentale "in pila" e destinato a valutare le adeguate correzioni da apportare alle misure di reattività per differenti livelli di sottocriticità. In tale ambito, è stato concluso il lavoro di progettazione, con codici di trasporto Montecarlo, degli schermi da disporre nella sala reattore del TRIGA. La modifica dell'impianto e l'introduzione di una linea di fascio dell'acceleratore all'interno della sala reattore rende infatti necessaria la presenza di schermature per attenuare le dosi dovute alle perdite del fascio ed i neutroni creati dai fenomeni di spallazione nel target. Sono state eseguite diverse simulazioni per dimensionare gli schermi al fine di rispettare le dosi richieste dalla normativa vigente. Sono stati calcolati la deposizione di potenza, l'attivazione ed il calore di decadimento nel target di spallazione.

Sono stati inoltre sviluppati modelli per la simulazione dinamica del reattore TRIGA RC-1 nell'attuale configurazione ed in configurazione sottocritica TRADE, utilizzando il codice RELAP/PARCS, ed è stata portata a termine la validazione dei modelli su recenti dati sperimentali. Sono state definite le procedure di start-up e shut-down per il reattore sottocritico con il supporto dei suddetti codici. È stato completato il progetto concettuale del target di spallazione solido, a forma conica, realizzato in tantalio e quello del relativo sistema di raffreddamento, sono state effettuate verifiche termomeccaniche del componente in condizioni di funzionamento normali e incidentali e la stesura del programma di qualificazione dei materiali e del componente. È stata portata a termine l'attività per la progettazione preliminare di un ciclotrone da 300 MeV, 10 mA a settori separati, e sono state calcolate le specifiche tecniche di un ciclotrone compatto H- da 140 MeV, 500 mA, per il suo acquisto presso una ditta specializzata. Sono stati eseguiti calcoli di simulazione della linea di trasporto fascio (lunga circa 30 m) dal ciclotrone al reattore nucleare TRIGA determinando la posizione e la qualità delle diagnostiche e producendo due possibili soluzioni (una compatta ed una non compatta) per il sistema acromatico a due magneti di curvatura finale del fascio.

#### **Progetto europeo PDS-XADS**

Il progetto PDS-XADS (Preliminary Design Study of an Experimental Accelerator Driven System) è stato approvato dalla UE nel novembre 2001 e terminerà nel primo quadrimestre del 2005. Nel corso dell'anno, sono stati raggiunti obiettivi importanti e sono state poste le basi per poter affrontare in maniera adeguata le problematiche che si presenteranno nel corso del successivo progetto IP-EUROTRANS che inizierà nel 2005. Sono stati effettuati studi preliminari sulla convertibilità del sottocritico XADS in un impianto trasmutatore, la progettazione termoidraulica e termomeccanica del bersaglio, l'analisi di sicurezza sia dell'impianto refrigerato ad eutettico Pb-Bi e di quello a elio. Gli studi effettuati hanno anche riguardato la valutazione delle dosi nel locale sovrastante il reattore per la soluzione definitiva del bersaglio ottimizzata sulla base di calcoli effettuati nel 2003. È stata completata l'analisi incidentale per l'opzione XADS refrigerato a Pb-Bi (codice RELAP/PARCS per studio T/H-neutronica accoppiate) e contemporaneamente sono stati analizzati particolari scenari incidentali per l'opzione XADS a gas. Sono state condotte dettagliate analisi con il codice SIMMER, utilizzando i risultati delle esperienze condotte sulla facility CIRCE, per lo studio della circolazione naturale, assistita con iniezione di gas, del refrigerante Pb-Bi nel circuito primario del reattore XADS. Sono state effettuate, utilizzando il codice TRANSURANUS per

analisi termomeccaniche di barretta, analisi deterministiche e statistiche sul comportamento di combustibile per XADS, implementando i modelli per tener conto dell'acciaio speciale T91.

#### **Sviluppo tecnologico per l'ADS**

Nel corso del 2004 sono stati conseguiti significativi risultati scientifici e tecnici. È stata fornita assistenza alla realizzazione del dispositivo di carico e scarico del metallo liquido dal target di MEGAPIE presso la ditta CRIOTEC ed è stato sviluppato un nuovo sistema filtrante innovativo per il Piombo Bismuto. Si sono concluse le prove di circolazione assistita del Piombo Bismuto mediante iniezione di gas nel circuito "CIRCE", è stata effettuata la completa caratterizzazione chimica e fisica delle impurezze metalliche e non metalliche nel piombo bismuto e di quelle presenti come aerosol nel gas di copertura. Si è conclusa la prima campagna sperimentale di corrosione in piombo bismuto in presenza di ossigeno disciolto nel metallo liquido (impianto CHEOPE) e sono state completate le analisi termomeccaniche connesse alla ricristallizzazione del piombo bismuto.

Come naturale prosecuzione delle attività che negli anni precedenti hanno riguardato lo sviluppo di una tecnica elettrochimica di separazione dei lantanidi dagli attinidi (Progetto PYROREP -5° FP della UE) nei primi mesi del 2004 è stato avviato, nell'ambito del 6° FP, il programma IP-EUROPART. Nel corso dell'anno è stato riprogettato e modificato l'impianto, denominato PYREL II, presso il Centro ENEA del Brasimone, destinato all'esecuzione di prove di elettrorefinazione su rifiuti radioattivi simulati e sono state effettuate le prime prove sperimentali. Inoltre, in collaborazione con il Politecnico di Milano, sono state eseguite, con successo, prove di sintesi della sodalite, quale matrice per il condizionamento di rifiuti salini a base di cloruri, utilizzando la tecnica delle microonde.

#### **Messa a punto e convalida dei metodi di progetto**

Le attività di messa a punto e validazione di metodi di progetto e processi sono proseguite con lo sviluppo e la validazione di metodi per l'analisi integrata e la sicurezza di sistemi nucleari complessi anche attraverso l'interpretazione di esperienze nell'ambito di collaborazioni internazionali e bilaterali (ENEA-CEA/IRSN); queste attività sono state finanziate o da contratti della UE o tramite commesse da istituzioni esterne. Nell'ambito del Network of Excellence della UE SARNET (sviluppo di un codice europeo per l'analisi di sicurezza degli impianti nucleari) sono stati validati modelli di termoidraulica e degradazione nocciolo del codice ASTEC attraverso l'analisi dell'incidente TMI-2 confrontando i risultati ottenuti con quelli forniti dai codici ICARE/CATHARE e SCDAP/RELAP5. Sempre in tale ambito è stato effettuato uno studio comparativo e riassuntivo dei differenti modelli di ossidazione del combustibile nucleare al fine di proporre miglioramenti da introdurre nel modello di ossidazione del codice ASTEC (modulo DIVA-ELSA) e sono state analizzate le problematiche di degradazione nocciolo durante un incidente severo, attraverso l'interpretazione dell'esperienza FPT2 realizzata nel reattore PHEBUS e dedicata all'analisi del comportamento del combustibile (interazioni chimiche, fusione) in atmosfera povera di vapore e ricca di idrogeno.

I risultati dei calcoli ICARE2, eseguiti da ENEA e IRSN, sono stati utilizzati per sintetizzare lo stato dell'arte sulla validazione del codice ed il bisogno di acquisire dati ulteriori, particolarmente sulla fenomenologia della liquefazione precoce del combustibile a causa delle reazioni chimiche con gli altri materiali presenti.

Sono state completate le attività previste dal progetto europeo DEEPSSI (5° FP). In tale ambito è stata completata l'attività di validazione del modello CATHARE di iniettore di vapore proposto per l'alimentazione di emergenza del generatore di vapore. Un modello CATHARE

per un sistema innovativo per Decay Removal System (DHR) è stato sviluppato e validato sui dati della facility PERSEO della società SIET.

#### **Dati nucleari**

Per quanto riguarda le attività sui dati nucleari, molto lavoro è stato fatto sia nella messa a punto di metodi di processamento dati che nella produzione di librerie di sezioni d'urto. In collaborazione con ricercatori di istituti russi, è stato corretto il modulo MALOCS del sistema di processamento dati nucleari americano SCAMPI (ORNL). La versione corretta di MALOCS, con il relativo Rapporto Tecnico, è stata inviata ad OECD/NEA Data Bank, col consenso ORNL. Tale Agenzia ha provveduto poi ad inserire la versione corretta del modulo MALOCS nel package del sistema SCAMPI ed ad assicurarne la distribuzione come nuova versione SCAMPI, revisionata da ENEA. E' stato concluso il lavoro dedicato alla creazione della libreria multigruppo accoppiata neutronica e fotonica MATJEF22.BOLIB in formato MATXS per applicazioni di fissione nucleare. Tale libreria, basata sul file di dati nucleari europeo JEF-2.2, ha una struttura caratterizzata da 199 gruppi neutronici e 42 gruppi fotonici, contiene 138 materiali e non ha equivalente nelle librerie internazionali, basate su JEF-2.2, liberamente disponibili. Si è conclusa la campagna di misure di sezioni d'urto neutroniche nell'ambito della Collaborazione n\_TOF coordinata dal CERN, in cui personale ENEA è membro del gruppo teorico.

#### **7.11. Il sistema dei trasporti: sicurezza e compatibilità ambientale**

Gli interventi in questo campo riguardano lo sviluppo di tecnologie per la gestione e il controllo della mobilità e del traffico finalizzate all'aumento dell'efficienza energetica e alla riduzione dell'impatto ambientale e la sperimentazione di nuovi sistemi di trazione per autoveicoli innovativi, principalmente veicoli ibridi. In quest'ambito è stata sviluppata una piattaforma software per l'ottimizzazione dei sistemi di distribuzione delle merci in area urbana (sistema DILOG) ed è stato messo a punto un emulatore per sistemi di trazione alimentati con celle a combustibile.

Le attività hanno grande valenza anche in tema di miglioramento dell'efficienza energetica, e quindi sono strettamente connesse con le attività della finalità "Energia per il Futuro".

#### **Sistema software per la distribuzione ottimizzata delle merci in città**

Il codice denominato DILOG è stato prodotto nell'ambito della collaborazione fra ENEA e il Dipartimento di Idraulica, Trasporti e Strade dell'Università La Sapienza di Roma sulle tematiche relative alla logistica della distribuzione urbana delle merci.

DILOG si propone di realizzare un sistema di supporto alle decisioni per ottimizzare il dimensionamento e la gestione dinamica del trasporto delle merci in ambito urbano, nonché l'ubicazione ed il dimensionamento dei centri di raccolta e distribuzione delle merci.

Il codice è stato realizzato implementando algoritmi genetici multistringa per la soluzione di un problema multicriteriale. Con DILOG è possibile definire quale sia, all'interno di un dato sistema urbano di trasporti e per determinate esigenze di distribuzione dei prodotti e delle merci nell'area, la configurazione ottimale del sistema logistico formato da uno o più centri di distribuzione e dalla flotta veicolare in essi impiegata. Si tratta, quindi, di uno strumento utilizzabile in fase di pianificazione. L'ottimizzazione è stata impostata in modo tale che

possano essere tenuti in considerazione parametri non solo economici e funzionali ma anche ambientali.

Il sistema è stato applicato nell'area urbana di Terni, dove è stata analizzata la localizzazione ottimale dell'hub di distribuzione fra tre possibili siti alternativi e la dimensione della flotta necessaria per distribuire i prodotti ordinati via internet in un futuro scenario di sviluppo dell'e-commerce.

#### **Emulatore di un sistema di generazione con celle a combustibile per autotrazione ibrida**

L'apparecchiatura sperimentale è stata realizzata con l'obiettivo di riprodurre il funzionamento del sistema di generazione di un sistema di trazione costituito da un convertitore AC/DC bidirezionale e da una centralina di gestione.

I principali vantaggi derivanti dalla disponibilità dell'apparato sperimentale sono:

- possibilità di simulare fuel-cell di più tipi e/o diverse potenze
- gestione più semplice e veloce per la mancanza degli ausiliari
- affidabilità aumentata per l'eliminazione di eventuali problemi dovuti alla cella
- costi nettamente inferiori

L'apparato è costituito da un ponte a tiristori controllato da un modello sviluppato dal Centro Ricerche Fiat ed implementato dall'ENEA nella centralina Prometeus.

La cella a combustibile simulata ha le caratteristiche limite sotto riportate:

Tensione a vuoto di sistema:	250 V
Tensione minima a potenza massima:	150 V
Corrente massima:	200 A

Le prove sono state eseguite riproducendo l'effetto della temperatura dello stack e dei reagenti in relazione alla potenza massima ottenibile ed alla corrispondente dinamica del sistema e sono state ripetute, con valori crescenti della corrente.

Nel confronto si è dimostrato che la cella più piccola, pur dovendo generare di più per le perdite nelle batterie, lavora in punti a rendimento più elevato e consuma circa la stessa quantità di idrogeno. La sperimentazione ha quindi dimostrato l'utilità dell'emulatore nell'affrontare problemi di ottimizzazione di sistema e di messa a punto della gestione dei flussi di potenza.

## 8. A.3 I GRANDI STRUMENTI AVANZATI

Nel seguito viene riportata, per le principali linee di attività svolte nel 2004, una sintetica descrizione dei risultati più rilevanti ottenuti nel corso dell'anno.

### 8.1. *Fusione nucleare*

Le attività sulla fusione svolte dall'ENEA e, più in generale, dai Paesi europei hanno risentito nel corso del 2004 della situazione di stallo del progetto ITER.

ITER ha l'obiettivo di essere l'ultimo passo prima della realizzazione di un reattore a fusione che immetta potenza sulla rete elettrica (DEMO), di rispondere alle questioni di fisica ancora aperte per la produzione e il controllo del plasma, nonché di collaudare molte delle tecnologie che dovranno venire applicate sul reattore commerciale. La durata prevista è di circa 10 anni per la costruzione e 20 anni per la sperimentazione. I costi previsti sono circa 10 miliardi di Euro nei trenta anni, ma si prevede che il capitale mobilizzato sia dell'ordine di tre volte quello citato. I partner dell'impresa sono UE, Federazione Russa, Giappone, USA, Cina e Corea del Sud.

Nel 2004, le trattative per ITER sono arrivate ad un punto morto: l'Europa, appoggiata da Federazione Russa e Cina, sostiene il sito francese di Cadarache mentre il Giappone, appoggiato da USA e Corea del Sud, sostiene il sito di Rokkasho.

Dopo un anno di incontri e trattative, nella riunione del 26 novembre il Consiglio Europeo ha rotto gli indugi e, assumendo che ITER venga costruito a Cadarache, ha cambiato mandato alla propria delegazione, incaricandola di verificare a quali condizioni gli altri partner, o almeno alcuni, siano disponibili a partecipare. La UE contribuirebbe per il 40% al costo totale; la Francia, quale nazione ospite, potrebbe contribuire fino al 20%; Italia e Spagna hanno anticipato che forniranno un contributo aggiuntivo (dell'ordine del 5% globale). Ci si aspetta che Federazione Russa e Cina, che sono favorevoli a Cadarache, contribuiscano ognuna per il 10%.

La situazione di stallo ha comportato che le attività nel campo della fusione in Europa, e quindi anche presso l'ENEA, proseguissero semplicemente per continuità, senza particolari innovazioni dal punto di vista programmatico.

Occorre segnalare, comunque, che anche nel 2004 è proseguita la politica di rafforzamento della posizione italiana in sede europea, ponendo personale italiano in posizioni che possano rilevarsi importanti per tutelare la rilevanza scientifica e le ricadute industriali nazionali; in particolare, è stato ottenuto un prolungamento fino ad ottobre 2005 dell'incarico dell'attuale Leader dell'EFDA (European Fusion Development Agreement, il Consorzio di Associazioni che gestisce le tecnologie e il JET) per le tecnologie (in scadenza originariamente il 31/12/2004) e la sua sostituzione a termine di mandato con un altro italiano.

Inoltre, è proseguita la politica di rafforzamento delle collaborazioni con le Università con lo scopo di acquisire un ulteriore supporto scientifico e tecnico e di interessare i giovani alle attività sulla fusione, in modo di alimentare nel futuro il necessario ricambio generazionale. In particolare, è stata rafforzata la collaborazione con l'Università di Roma Tor Vergata, situata ai confini del Centro ENEA di Frascati. A tal fine, nel 2004, tale Università è stata inserita fra i partner ENEA nel contratto di Associazione EURATOM-ENEA (insieme con i preesistenti

partner Politecnico di Torino, Consorzio Universitario CREATE, Università di Catania) per attività nel campo dei rivelatori per neutroni e dei sistemi di controllo.

Nel 2004 è stato anche realizzato un accordo di collaborazione con l'Associazione Romana con EURATOM. Tale accordo permette di sviluppare sinergie con l'Associazione (essenzialmente le Università di Bucarest e di Cluj-Napoca) in campi di comune interesse (in particolare superconduttività, metodi di giunzione di materiali speciali, rivelatori di neutroni, codici di calcolo) ed avvia una politica di collaborazione con le Associazioni dei Paesi che sono recentemente entrati o che entreranno nel prossimo futuro a far parte dell'Unione Europea.

Nello specifico, le attività sono state articolate sulle seguenti linee:

- Fisica del confinamento magnetico
- Superconduttività
- Tecnologie della fusione

### **Fisica del confinamento magnetico**

#### *Sviluppo degli scenari di ITER*

La possibilità di raggiungere condizioni di funzionamento stazionario di un reattore a fusione dipende dal raggiungimento di particolari regimi di operazione, noti come "scenari avanzati". Questi regimi sono caratterizzati dalla soppressione dei meccanismi di trasporto turbolento del calore e vengono ottenuti mediante il controllo della configurazione magnetica ed in particolare della distribuzione di corrente all'interno del plasma. FTU è dotato di un impianto di generazione di corrente mediante onde a radiofrequenza (8GHz) che consente di variare la distribuzione di corrente e di studiare le condizioni ottimali per il raggiungimento dei regimi avanzati. Nel corso del 2004, tale filone di ricerca ha portato all'ottenimento di questi regimi alle densità più elevate finora raggiunte (una volta e mezzo quelle previste per ITER) e in condizioni quasi stazionarie.

#### *Studio degli effetti collettivi dovuti alle particelle alfa*

La differenza più importante tra i plasmi prodotti nelle macchine esistenti e quelli prodotti in ITER è la presenza delle particelle alfa prodotte nelle reazioni di fusione, che possono generare nuovi classi di instabilità. Il codice di simulazione sviluppato a Frascati per lo studio di questo problema è stato utilizzato per verificare la stabilità di diversi scenari di ITER. Lo scenario di riferimento di ITER è previsto essere debolmente influenzato da questo tipo di fenomeni. Gli "scenari avanzati" potrebbero essere al contrario influenzati dalla presenza di modi collettivi destabilizzati dalle particelle alfa. Lo studio ha indicato che tipo di direzione seguire nello sviluppo di scenari compatibili con la presenza delle particelle alfa.

#### *Macchina FTU*

E' necessario anche citare l'alto livello di affidabilità raggiunto dal Tokamak FTU di Frascati. Va inoltre sottolineato che FTU fra le grandi macchine per fusione in esercizio è una delle poche che opera correttamente alle massime prestazioni nominali di progetto. Durante il 2004, la macchina è stata operata a tali alte prestazioni (circa 90% di impulsi di successo). Sono stati eseguiti 1996 spari utili in 89 giorni sperimentali, con una media di 22.5 colpi/giorno.

### **Superconduttività**

#### *Sviluppo di fili superconduttori in Nb<sub>3</sub>Sn ad alte prestazioni (Advanced Strand)*

EFDA (European Fusion Development Agreement) ha lanciato all'inizio del 2004 un programma finalizzato allo sviluppo su scala industriale di un filo superconduttore in Nb<sub>3</sub>Sn