

I tempi ristretti di progettazione e realizzazione, imposti dall'ordinanza stessa, hanno richiesto l'affidamento delle responsabilità di gestione ad una pluralità di soggetti all'interno dell'Ente. Le principali opere eseguite nel corso dell'anno hanno riguardato:

- il completamento dell'argine perimetrale, per uno sviluppo complessivo di circa 1600 m, costituito da diaframmi in cemento armato profondi 15-18 m e da un muro in elevazione, sovrastante i diaframmi, emergente fuori terra per circa 5 m;
- la realizzazione un canale artificiale (savanella) in sponda destra del fiume Dora Baltea, in corrispondenza del sito, lungo circa 1500 m e capace di una portata di 800-1000 m³/sec, per la mitigazione dei fenomeni di erosione del sito nucleare;
- la realizzazione di due rampe di scavalco dell'argine, per consentire l'accesso ai mezzi ordinari e straordinari, e la realizzazione di un blocco scale/ascensori di scavalco dell'argine, per consentire l'accesso pedonale al Centro;
- la realizzazione di sistemi di scavalco dell'argine per i servizi tecnologici e gli scarichi controllati in Dora.

Inoltre, sono stati avviati e portati ad un elevato stato di realizzazione, i lavori riguardanti:

- la realizzazione di un nuovo sistema di allarme, di antintrusione e di protezione fisica, costituito da una doppia recinzione a pannelli di rete metallica, di cui una montata sul muro e dotata di sensori e allarmi, e la realizzazione di una seconda portineria asservita alla rampa di accesso per i mezzi ordinari;
- il ripristino delle funzionalità del Centro (in particolare, la realizzazione di un nuovo impianto elettrico e di illuminazione), la realizzazione di un nuovo parcheggio, il ripristino dei servizi, della viabilità e delle aree verdi e di stazionamento;
- la realizzazione di rivestimenti in pietra del muro e dei rilevati in terra per la mitigazione dell'impatto ambientale.

L'obiettivo principale dell'intervento, cioè quello di sottrarre alle spinte dinamiche dell'onda di piena il deposito dei rifiuti radioattivi liquidi, è stato completamente raggiunto; restano da completare, entro il primo semestre 2003, le opere secondarie per la mitigazione dell'impatto ambientale e quelle riguardanti gli accessi e la protezione fisica.

Trattamento e condizionamento dei rifiuti radioattivi

Sono proseguiti presso i tre Centri le azioni di caratterizzazione e di trattamento dei rifiuti radioattivi da sottoporre a condizionamento.

E' stata conclusa la fase di accreditamento, da parte del Sistema Nazionale Accreditamento Laboratori (SINAL), delle misure mediante gamma-scanning e neutronica passiva e delle prove di caratterizzazione dei rifiuti radioattivi cementati, messe a punto dal Laboratorio di caratterizzazione.

Inoltre, per il combustibile irraggiato della Trisaia, è stato completato il progetto del contenitore "dual purpose" per lo stoccaggio ed il trasporto, ed è stata ottenuta la licenza per il trasporto presso l'Autorità Competente francese, paese in cui ha avuto luogo la progettazione del contenitore (della licenza francese è stata richiesta l'estensione per l'Italia).

Presso l'Impianto OPEC della Casaccia, è stato avviato lo studio per la sistemazione del combustibile irraggiato, anche in questo caso in contenitori "dual purpose".

Infine, sono proseguite le azioni volte ad alienare il materiale nucleare fresco giacente presso i centri ENEA.

Nel corso dell'anno, inoltre, è stato ampiamente rivisto il progetto di solidificazione dei rifiuti liquidi ad alta attività dell'impianto EUREX e rinegoziato il contratto per la realizzazione dell'impianto CORA, la cui progettazione preliminare si concluderà nel primo semestre 2003. E' stato avviato lo studio di fattibilità di un impianto (Waste Management Facility) per il trattamento e il condizionamento dei rifiuti radioattivi alfa contaminati, presenti presso l'impianto Plutonio, e sono state definite le scelte progettuali per un impianto di trattamento e condizionamento dei residui liquidi presenti presso il Centro della Trisaia (prodotto finito contenente U233 e U235 e soluzione U-Th non irraggiata). Il Laboratorio di caratterizzazione ha portato a termine la prima fase del programma di pre-qualificazione delle matrici cementizie per il condizionamento della soluzione di questo tipo di rifiuto.

Trattamento dei rifiuti liquidi ad alta attività: il Progetto CORA

L'ENEA ha avviato, presso il Centro Ricerche Saluggia, le attività necessarie per realizzare il condizionamento, cioè l'immobilizzazione in matrice solida, dei rifiuti radioattivi prodotti localmente, nel proprio impianto pilota di ritrattamento EUREX, durante le campagne effettuate negli anni 70÷74 (MTR) e 80÷83 (CANDU), mediante la costruzione di un impianto di solidificazione denominato "CORA".

Il Progetto CORA prevede di realizzare, mediante opportune modifiche, l'inserimento delle nuove apparecchiature e sistemi nell'esistente edificio dell'Impianto EUREX, con il relativo collegamento alla esistente rete dei servizi, nell'intenzione di massimizzare il riutilizzo dell'esistente.

Il condizionamento dei rifiuti radioattivi sarà effettuato con i seguenti processi e tecnologie:

- solidificazione tramite vetrificazione per tutti i rifiuti liquidi compatibili con tale tecnologia, con produzione dei manufatti di III^a Categoria, secondo la Guida tecnica 26 dell'ANPA;
- solidificazione tramite cementazione per i rifiuti secondari di bassa attività provenienti dalla vetrificazione e per le altre correnti provenienti da processi di pretrattamento, con produzione di manufatti di II^a Categoria.

La sezione di vetrificazione e sistemi connessi sarà ospitata in alcune celle del pre-esistente Impianto EUREX, smantellate ed opportunamente predisposte, mentre la sezione di cementazione, con una unità tipo MOWA, sarà ospitata in un nuovo edificio leggero, da realizzare in un'area prospiciente l'impianto.

Nel corso dell'anno le attività progettuali affidate all'esterno sono state ferme a seguito della sospensione del relativo contratto, mentre si è provveduto ad un'approfondita revisione del lay-out progettuale, includendo nel progetto le sezioni d'impianto non previste nel progetto originario, ed alla rinegoziazione del contratto stesso di progettazione.

Il nuovo contratto comprende anche la redazione del progetto di massima e del rapporto preliminare di sicurezza sia dell'impianto di vetrificazione revisionato, sia della stazione di cementazione dei residui secondari, nonché di tutti i sistemi ausiliari e di un edificio per lo stoccaggio di rifiuti solidi di II Categoria.

Nell'ambito dei nuovi accordi contrattuali, è prevista presso il CEA a Marcoule la costruzione di un mock-up in scala 1:1 con lo scopo di completare la qualificazione della matrice vetrosa, mediante la realizzazione di prove addizionali rispetto a quelle già svolte, e di dimostrare l'affidabilità della tecnologia di vetrificazione, basata sul crogiuolo freddo (CCM, "cold crucible melting").

Smantellamento impianti

Ai fini dello smantellamento degli impianti, è stata eseguita la riprogrammazione di tutte le attività fino alla completa chiusura degli impianti stessi e sono state eseguite le attività di “due diligence”, connesse al trasferimento degli impianti ENEA del ciclo del combustibile alla SOGIN.

In particolare, sono state completate le attività relative al sito di Saluggia ed avviate quelle per il sito di Trisaia e del sito di Casaccia.

Presso l'impianto EUREX, inoltre, è stata avviata l'ultima fase relativa allo smantellamento delle celle 010 e 011, che verranno utilizzate per la installazione dell'impianto CORA. La cella 011 è stata completamente smantellata e deve essere decontaminata per l'accesso libero del personale; lo smantellamento della 010 è in corso.

Servizio Integrato

L'ENEA ha continuato l'attività di raccolta e gestione dei rifiuti radioattivi di origine non elettronucleare, prodotti dal comparto medico-ospedaliero, dall'industria e dagli enti di ricerca. L'insieme di queste attività, attuate in stretta collaborazione con NUCLECO, si configura in uno strumento tecnico-operativo denominato *"Servizio Integrato per la gestione dei rifiuti radioattivi"*.

Nel corso dell'anno 2002, sono stati raccolti 538 metri cubi (pari a 221 t) di rifiuti radioattivi ed è stata effettuata la compattazione di 1899 fusti da 200 l, ottenendo 497 “overpack” da 400 l.

Inoltre, è stata portata a termine la quarta campagna di smaltimento di rifiuti decaduti, con lo smaltimento di circa 23 t di rifiuti declassati.

7.5. Protezione dalle radiazioni ionizzanti

Le attività in questo campo sono mirate alla protezione dell'ambiente e della salute dell'uomo, mediante l'acquisizione di strumenti conoscitivi adeguati alla prevenzione. Le ricerche in corso sono indirizzate alla valutazione dell'impatto sull'uomo e sugli ecosistemi dovuto alla presenza nell'ambiente delle radiazioni ionizzanti.

In particolare, le attività programmatiche svolte nel periodo di riferimento sono distribuite su due linee di attività: Radioprotezione e Metrologia delle radiazioni ionizzanti.

Radioprotezione

I principali risultati conseguiti in questo campo comprendono lo sviluppo di modelli e metodi di misura per la stima delle dosi da contaminazione interna da uranio e radionuclidi transuranici, la messa a punto dei metodi di analisi della concentrazione di uranio negli escreti tramite spettrometria di massa induttivamente accoppiata, la caratterizzazione del materiale per dosimetri individuali per neutroni e la progettazione del dosimetro per le estremità per radiazione beta di bassa energia. Inoltre, nei 4 laboratori dell'Istituto, sono state svolte attività di servizio e di analisi, sia verso utenti interni che esterni:

- analisi per dosimetria interna da radionuclidi incorporati;

- analisi dirette sull'uomo tramite Whole Body Counter (oltre 400 analisi, di cui circa il 50% afferenti a ditte/enti esterni);
- analisi radiochimiche (radiotossicologia, RTX) su escreti (circa 2000 analisi, di cui il 30% afferenti a ditte/enti esterni);
- tarature e certificazioni eseguite dal Centro SIT IRP di Bologna Montecuccolino (circa 50, di cui il 90% per ditte/enti esterni);
- attività del Servizio Dosimetria Esterna IRP Bologna Montecuccolino (circa 70.000 letture dosimetri, di cui circa l'80% per ditte/enti esterni);
- misure per radioprotezione operativa sugli impianti ENEA (circa 15.000);
- raccolta ed analisi di campioni per sorveglianza ambientale (circa 2000).

Metrologia delle radiazioni ionizzanti

L'attività è stata concentrata prevalentemente sulla linea di sviluppo e di mantenimento dei campioni primari, al fine di soddisfare quanto richiesto dai vincoli posti dagli accordi internazionali sulla metrologia (MRA-BIPM).

I principali risultati ottenuti sono i seguenti:

- caratterizzazione delle condizioni sperimentali per la riproducibilità delle misure assolute mediante il nuovo campione "calorimetro ad acqua", per la qualificazione e la taratura dei dosimetri usati nella radioterapia con fasci di fotoni, elettroni e protoni;
- messa a punto del revisionato sistema dosimetrico campione per la misura delle alte dosi, quali quelle impiegate nelle nuove tecniche di radioterapia di tipo IORT e nei processi industriali di radiosterilizzazione di materiali;
- determinazione teorico-sperimentale del fattore di perturbazione "K-wall" per il campione nazionale di misura del "kerma in aria" in fasci di fotoni. A tale scopo, è stato necessario effettuare prolungate misure in fasci di fotoni ed estensivi calcoli analitici e simulazioni Monte Carlo;
- messa a punto di una metodologia per migliorare la riproducibilità delle misure di radionuclidi emettitori gamma con energia inferiore a 60 keV, mediante il sistema campione "camera a ionizzazione a pozzetto";
- messa a punto di un metodo di preparazione di sorgenti su film sottili (utilizzando sorgenti di Zn-65) necessarie per migliorare l'efficienza del sistema campione di misura in "coincidenze beta-gamma";

Inoltre, l'ENEA ha continuato a svolgere i propri compiti istituzionali nel settore "Accreditamento e tarature", assicurando:

- il mantenimento dell'accreditamento dei centri di taratura SIT, attraverso le periodiche verifiche tecniche ispettive sulle condizioni operative dei centri SIT e grazie alla possibilità accordata da parte dei laboratori del BIPM (Sèvres, Francia) di effettuare presso di loro le misure necessarie allo scopo;
- l'attuazione di una parte del Sistema Qualità previsto dagli accordi internazionali per le attività di certificazione; a tal riguardo, sono stati portati ad un sensibile stadio evolutivo il Manuale della Qualità dell'Istituto e la definizione di numerose altre procedure tecniche;
- la preparazione di tutta la documentazione tecnica riguardante il Nulla Osta alla detenzione e all'impiego delle sorgenti di radiazione necessarie all'attività metrologica istituzionale.

7.6. Ricerca e sviluppo nel campo della fissione nucleare

L'attività si è articolata nelle seguenti azioni:

- Sviluppo in ambito europeo della soluzione progettuale PDS-XADS proposta da ENEA, INFN, Ansaldo.
- Sviluppo tecnologico per l'ADS
- TRADE
- Metodi per la sicurezza e le tecnologie nucleari

Il programma PDS-XADS

Il progetto preliminare di un impianto sperimentale dimostrativo da 80 MW termici, con target e sistema sottocritico a metallo liquido (Eutettico Piombo-Bismuto, LBE), completato nel 2001, è stato proposto e accettato come soluzione di riferimento nell'ambito del programma europeo PDS-XADS. La riunione del gruppo di lavoro PDS-XADS che ha sancito questa scelta si è tenuta a Genova il 22-23 aprile 2002. Relativamente allo sviluppo definitivo del target ADS, il risultato rilevante è il completamento del codice di produzione-evoluzione SP-FISPACT per la determinazione dell'inventario dei prodotti di spallazione nel target e nel reattore con relativa evoluzione temporale.

Sviluppo tecnologico per l'ADS

La dimostrazione della fattibilità e della convenienza economica dell'ADS ha richiesto l'impegno dell'ENEA sulle attività di sperimentazione e sviluppo tecnologico per la fattibilità di un target in metallo pesante fuso e per l'operabilità di soluzioni tecnologiche del sistema sottocritico raffreddato con lega di piombo fusa. In questo ambito, era previsto il conseguimento di tre obiettivi: 1) la conclusione delle attività sperimentali sulla termoidraulica di MEGAPIE; 2) la caratterizzazione in lega di piombo ad alta temperatura di materiali strutturali per l'ADS; 3) l'inizio dell'esercizio sperimentale del circuito CIRCE. I primi due obiettivi relativi allo sviluppo tecnologico dell'ADS sono stati raggiunti. In particolare, in relazione alle attività dei Programmi Europei TECLA e MEGAPIE TEST, nel corso del 2002 è proseguita la campagna sperimentale dell'impianto LECOR. In questo contesto, sono stati ottenuti i primi dati di corrosione per acciaio martensitico T91, per acciaio austenitico AISI 316L e per metalli refrattari (W, Mo, Ta), e sono stati messi a punto i processi per tenere sotto controllo l'ossigeno disciolto nella lega eutettica; i risultati della campagna sperimentale hanno permesso di valutare il comportamento delle sonde per la misura dell'ossigeno disciolto nella lega eutettica fornite da IPPE.

Per quanto riguarda CIRCE, il circuito è pronto per essere riempito e per l'avvio della sperimentazione. In particolare, sono stati realizzati interventi per migliorare sicurezza ed affidabilità dell'impianto, alla luce delle problematiche relative all'uso della lega eutettica emerse durante l'esercizio dell'impianto CHEOPE (ricristallizzazione). Gli interventi realizzati hanno migliorato il sistema di riscaldamento nel serbatoio di stoccaggio, hanno reso drenabile i diversi tratti di tubazioni non interessati allo stoccaggio a caldo ed hanno adeguato i sistemi di collegamento fra i serbatoi (tubi, valvole, sistemi saldanti), così da consentire l'operatività in sicurezza dell'impianto.

E' stato anche provveduto all'installazione di strumentazione aggiuntiva, tra cui un sistema di rilevamento del livello di ossigeno nei locali dell'impianto. L'impianto CIRCE è pronto per l'esecuzione delle prove di validazione del concetto di pompaggio Ansaldo denominato "Gas-

Lift". Ansaldo ha inoltre fornito un dispositivo sperimentale di supporto, atto a caratterizzare il sistema di misura della pressione adottate per CIRCE ed a valutarne l'affidabilità. Le prove sperimentali da condurre per mezzo di tale dispositivo sono iniziate a fine 2002, e sono attualmente in via di conclusione. In particolare, le 70 tonnellate di eutettico sono state consegnate al Brasimone nell'aprile 2002, e sono in corso le ulteriori verifiche sulla strumentazione della prima sezione di prova, preliminari al riempimento con eutettico fuso.

Il progetto TRADE

Come noto, le attività e gli studi effettuati nel 2001 e fino a circa metà 2002 da un gruppo di lavoro ENEA, CEA, CERN ed ANSALDO hanno condotto all'emissione di:

- Un rapporto preliminare di fattibilità dell'esperimento TRADE emesso in giugno 2001;
- Un rapporto finale di fattibilità, comprensivo di una valutazione dei tempi e dei costi dell'esperimento, emesso in marzo 2002 ed approvato dai vertici dell'ENEA e del CEA in un incontro fra le parti svoltosi il 7 maggio 2002;
- Un "Progress Report" emesso in luglio 2002;
- Un secondo "Progress Report" emesso in marzo 2003.

Grazie a due contratti di consulenza con altrettanti soggetti esterni, il progetto beneficia anche di:

- Un progetto preliminare concettuale di un ciclotrone superconduttivo capace di produrre fasci di 2 mA di protoni da 115 MeV; tale studio è stato analizzato, con esito positivo, da un Panel di esperti internazionali, istituito dall'ENEA (rapporto di valutazione emesso in marzo 2002).
- Uno studio di fattibilità per un'unità di produzione di radioisotopi ad uso medicale, da realizzare eventualmente presso il Centro della Casaccia, utilizzando il medesimo ciclotrone previsto per l'esperimento TRADE.

Inoltre l'ENEA, a partire da inizio 2001, ha avviato un confronto, informale ma positivo, con l'Autorità di Sicurezza (ANPA ora APAT) che ha permesso di identificare le varie procedure di "licensing" previste per l'ottenimento dell'autorizzazione alla progettazione, realizzazione ed operazione dell'acceleratore ed alle modifiche del reattore TRIGA della Casaccia necessarie per effettuare l'esperimento TRADE.

Il progetto TRADE e, in particolare i risultati dello studio di fattibilità, è stato presentato ufficialmente alla comunità internazionale impegnata nello sviluppo dei sistemi ADS, nel corso di un Workshop organizzato dall'ENEA a Roma il 7 giugno 2002. Nella medesima riunione è stato deciso di costituire un gruppo di "contact person" delle varie organizzazioni potenzialmente interessate all'esperimento, col mandato di definire le basi comuni per una collaborazione internazionale e sviluppare ulteriormente il progetto dal punto di vista tecnico. Le organizzazioni che hanno deciso di aderire all'iniziativa e che, conseguentemente, hanno espresso una propria "contact person" sono (in ordine alfabetico): AAA (Francia), AIMA (Francia), ANSALDO (Italia), CEA (Francia), CIEMAT (Spagna), CNRS/IN2P3 (Francia), DOE (USA), ENEA (Italia), FZK (Germania), IBA (Belgio), JRC-ITU (EU), PSI (Svizzera), SCK.CEN (Belgio). A queste "contact person" si aggiungono alcuni ricercatori del CERN di Ginevra, sebbene non formalmente indicati dal CERN stesso.

A partire da metà 2002, le "contact person" ed alcuni esperti delle varie organizzazioni (d'ora in avanti citati complessivamente e genericamente come "la collaborazione internazionale

TRADE”) - oltre ad incontrarsi bimestralmente (a rotazione presso le sedi di ENEA, CEA e FZK) in occasione di cosiddetti “General Progress Meeting” per verificare lo stato di avanzamento del progetto, organizzare le attività dei sottogruppi ed assumere le principali decisioni per i successivi sviluppi progettuali - si sono impegnate in una serie di attività tecniche e gestionali che hanno permesso, da un lato di progredire ulteriormente nella definizione dell’esperimento e del progetto della facility individuando nuove soluzioni assai promettenti e, dall’altro, di definire il contributo finanziario e di risorse umane dei partner, nonché di delineare la struttura organizzativa per la gestione della collaborazione internazionale.

Più specificamente, le attività tecniche svolte dalla collaborazione internazionale TRADE hanno riguardato:

- L’analisi critica generale da parte dei partner delle scelte progettuali e del lavoro tecnico svolto durante lo studio di fattibilità;
- Il progetto concettuale della linea di trasporto del fascio dal ciclotrone al bersaglio e dei magneti;
- Il progetto concettuale preliminare di un ciclotrone ad H^- da 2 mA e 115 MeV (proposta IBA), alternativo rispetto a quello proposto da AIMA;
- Il calcolo degli schermaggi e delle dosi attorno alla linea di trasporto del fascio;
- Lo sviluppo di nuove idee per la soluzione progettuale dello schermaggio della linea di trasporto del fascio;
- Il calcolo del danneggiamento degli eventuali magneti permanenti;
- Un’analisi critica – condotta in continua interazione con i Laboratori Nazionali di Los Alamos - del progetto del bersaglio di spallazione, relativamente alla scelta del materiale del bersaglio ed al suo sistema di raffreddamento. In particolare, a seguito di un’analisi approfondita delle proprietà del W e del Ta – ritenuti, in base all’esperienza maturata a livello internazionale, i materiali più promettenti per le prestazioni richieste per TRADE – è stata costruita una matrice per comparare le performance delle varie soluzioni progettuali di bersaglio relativamente ai parametri nucleari, termici, termo-meccanici, ecc. in gioco. Una volta assegnati i pesi ai vari parametri, l’analisi comparativa consentirà la scelta finale della soluzione progettuale più idonea.
- Un set di calcoli 3D in circolazione naturale per il sistema bersaglio-core; tali calcoli, effettuati dal CEA con un codice avanzato di termo-idraulica del core, hanno messo in evidenza le potenzialità ed i pro ed i contro della circolazione naturale per il raffreddamento non solo del core ma anche del bersaglio. L’analisi critica dei risultati finora ottenuti ha anche permesso di identificare, in particolare da parte dell’FZK, le necessità sperimentali per validare il concetto;
- Il progetto concettuale di un bersaglio di spallazione raffreddato in circolazione forzata, sviluppato da ENEA;
- La revisione del progetto nell’interessante ipotesi di poter aumentare l’energia del fascio protonico da 110 a 140 MeV. Tale analisi ha riguardato le ricadute sul progetto e sul costo dell’acceleratore, sul progetto della linea di trasporto del fascio e sulla fisica del bersaglio. Ulteriori valutazioni, finalizzate al consolidamento di questa opzione, sono tuttora in corso.
- Il lancio di un benchmark di neutronica – per il quale alcuni risultati prodotti da ENEA, CEA e DOE (ANL) sono già disponibili – per mettere a punto i codici di calcolo di neutronica che verranno utilizzati sia per il progetto neutronico che per l’interpretazione dei risultati della sperimentazione;
- La ricostruzione, da parte dell’ENEA, della storia di irraggiamento degli elementi di combustibile del reattore TRIGA a partire dal 1967. La conoscenza del burn-up degli

elementi di combustibile è fondamentale per la successiva analisi delle configurazioni di nocciolo ipotizzabili nei vari esperimenti;

- La preparazione di un documento finalizzato a fornire elementi per la motivazione dell'esperimento, i tipi di esperimenti effettuabili in TRADE rilevanti per lo sviluppo del concetto di ADS (procedure di start-up e shut-down, beam trips, monitoraggio durante l'operazione del sistema, ecc.), la rappresentatività di tali esperimenti, le tecniche sperimentali previste, ecc.; un estratto del documento verrà presentato nella sessione plenaria (ad invito) della Conferenza "AccApp'03 - Accelerator Applications in a Nuclear Renaissance" organizzata da ANS a San Diego dall'1 al 5 giugno 2003.

Inoltre, dopo una fase preparatoria di definizione dettagliata del programma sperimentale della fase IA (obiettivi, requisiti, strumentazione necessaria, manpower, tempi, costi, ecc.), nei mesi di novembre e dicembre 2002 un gruppo congiunto ENEA/CEA/DOE(ANL) ha effettuato una prima campagna sperimentale sul reattore TRIGA non modificato, finalizzata - alle misure delle caratteristiche di riferimento del reattore TRIGA, che ha riguardato:

- misure di flusso neutronico e test delle camere a fissione disponibili, per varie configurazioni di nocciolo;
- misure del valore di reattività degli elementi di combustibile e di grafite;
- calibrazione delle barre di controllo;
- misure dei coefficienti di reattività di temperatura.

Più in generale, per ciascuna delle attività sopra menzionate, sono stati prodotti documenti tecnici di supporto e/o sono state effettuate specifiche presentazioni ai vari General Progress Meeting o ai "Technical Meeting" finora effettuati. La descrizione di queste attività e dei relativi risultati (a volte preliminari) sono confluiti in un secondo "Progress Report" recentemente emesso dalla collaborazione TRADE.

Va anche sottolineato che il 7 giugno 2002 l'ENEA (presentatore della proposta), il CEA, l'FZK e l'ANSALDO hanno sottomesso alla Commissione Europea una "Espressione di interesse" – denominata TRADE-PLUS – al fine di accedere ai finanziamenti previsti nel VI Programma Quadro europeo (area tematica prioritaria "Gestione Rifiuti Radioattivi" – sotto-tema: "Partizione e Trasmutazione"). La proposta, che si riferisce ad alcune tematiche a prevalente contenuto di R&ST incluse nel progetto TRADE (sviluppo del bersaglio di spallazione e sua qualificazione sperimentale, linea di trasporto del fascio, misure sperimentali in pila, analisi di sicurezza, commissioning, ecc.), ambisce ad ottenere un finanziamento comunitario di 10 M€.

Metodi per la sicurezza e le tecnologie nucleari

Nel corso del 2002, è continuata l'attività di sviluppo e validazione di metodi con la partecipazione a undici progetti europei del V Programma Quadro sulla sicurezza nucleare e a due programmi internazionali (PHEBUS-PF, MASCA). I metodi sviluppati hanno una valenza generale, possono essere applicati a tutte le attività di analisi integrata di sistema di impianti complessi (ADS, sorgenti neutroniche intense, impianti nucleari per la fusione, ecc.) e possono essere utilizzati per attività di consulenza a supporto della Pubblica Amministrazione nel caso ipotetico di possibili situazioni di emergenza derivanti da incidenti su impianti nucleari dislocati nelle immediate vicinanze del confine italiano. Un risultato non previsto inizialmente, e conseguito nel 2002 con la partecipazione al progetto

MICHELANGELO, è la disponibilità dei risultati e della documentazione prodotta nell'ambito dell'iniziativa americana "Generation IV", lanciata dal DOE. Inoltre, sono state completate con risultati soddisfacenti le prove di verifica delle prestazioni di un sistema innovativo per il raffreddamento in condizioni di emergenza di impianti di nuova generazione. Il sistema, sviluppato da ENEA in collaborazione con la società partecipata SIET, sarà proposto a paesi interessati alla progettazione e realizzazione di nuovi impianti che producono meno rifiuti radioattivi. Caratteristica comune dei metodi sviluppati è la loro versatilità. Una applicazione di alcuni metodi è stata fatta agli impianti ITER e IFMIF (International Fusion Materials Irradiation Facility).

Complessivamente, nell'ambito delle attività sulla fissione nucleare, sono state prodotte 7 pubblicazioni e 29 comunicazioni a congressi e convegni.

7.7. Protezione della salute

Le moderne tecniche di biologia molecolare consentono di mimare il danno che agenti nocivi fisici e chimici possono introdurre nel patrimonio genetico di un organismo, mediante inattivazione di singoli geni, così da permettere lo studio degli effetti di una alterazione in un punto preciso del genoma. In tale ottica, sono stati indagati alcuni meccanismi molecolari che si attivano in una cellula per riparare un danno indotto da radiazioni ionizzanti o agenti chimici sul DNA, per bloccare la proliferazione cellulare, o per indirizzare la cellula verso la morte programmata (apoptosi), allo scopo di individuare specifiche molecole che diano una misura della sensibilità cellulare e forniscano informazioni sulla suscettibilità individuale al danno. L'obiettivo finale è quello di fornire un prodotto/processo che sia utilizzabile per una valutazione sensibile e puntuale del danno subito ed eventualmente indicare strategie di tipo protezionistico o terapeutico. Sono stati sviluppati tecnologie e modelli per la valutazione del rischio da agenti nocivi, con particolare riguardo alla identificazione di nuovi biomarcatori di esposizione, effetto e suscettibilità ad agenti tossici di rilevanza ambientale e alla elaborazione di modelli per la stima del rischio mediante valutazioni in gruppi di popolazioni esposte. I dati ottenuti su biomarcatori a breve termine vengono correlati con le stime di effetti a lungo termine (compromissione del potenziale di fertilità, insorgenza di tumori). Sono state anche effettuate elaborazioni statistiche per la valutazione dello stato di salute delle popolazioni residenti in diversi contesti territoriali, avvalendosi della Banca Dati Epidemiologica dell'ENEA.

Studio di meccanismi molecolari della risposta cellulare al danno da radiazioni ionizzanti e agenti chimici

Cancerogenesi da radiazioni.

Sono proseguiti gli studi su di un modello murino geneticamente modificato costituito da topi knockout per il gene patched (ptc), che mostrano una predisposizione allo sviluppo di tumori spontanei sia del sistema nervoso centrale che dei tessuti molli. Per la loro ipersensibilità alle radiazioni ionizzanti, tali topi costituiscono un modello unico per lo studio dei meccanismi con cui le radiazioni inducono lo sviluppo di tumori. In seguito ad irraggiamento neonatale con raggi X, sono stati indotti medulloblastomi nel 51% dei topi irraggiati, con un aumento di circa sette volte rispetto al tasso di incidenza spontaneo: nel 94% di tali tumori è stata rilevata la perdita dell'allele funzionale di ptc. Analogamente, sono stati indotti carcinomi della cute a

cellule basali (BCC), che rappresentano la forma di tumore più diffusa nell'uomo, nel 20% circa degli animali irraggiati a 60 giorni di età. Questi studi hanno dimostrato che in soggetti eterozigoti la perdita della parte funzionale del gene *ptc* è un evento precoce e probabilmente iniziante del processo di tumorigenesi in seguito ad esposizione alle radiazioni. Sono in corso esperimenti volti a determinare l'influenza del background genetico sull'aploinsufficienza di *ptc*. A questo scopo, topi eterozigoti per *ptc* su background genetico CD1 sono stati incrociati con due linee murine, Car-S e Car-R, selezionate nei laboratori ENEA, rispettivamente suscettibili e resistenti alla cancerogenesi cutanea.

Riparazione del danno al DNA indotto dalle radiazioni su tessuti normali e tumorali.

E' stato ulteriormente dimostrato, in un diverso tipo di tumore, che l'espressione e l'attività di legame al DNA della proteina Ku, coinvolta nelle prime fasi della riparazione delle rotture a doppia elica del DNA, è differenzialmente modulata nei tessuti normali rispetto a quelli tumorali. In particolare, esperimenti condotti in vitro su due linee cellulari di derivazione vescicale, una tumorale RT112 ed una normale PNT2, hanno evidenziato che nella linea tumorale l'attività di legame di Ku al DNA è presente anche nel citoplasma, ipotizzando una aumentata sintesi e trasferimento della forma attivata della proteina dal nucleo al citoplasma. Tali dati suggeriscono la possibilità di identificare bersagli terapeutici selettivi per sensibilizzare le cellule neoplastiche alla radioterapia.

Differenziamento e proliferazione cellulare.

E' stato dimostrato che il gene IGFBP-5 (proteina che lega i fattori di crescita IGF) è coinvolto nel controllo della proliferazione di cellule di neuroblastoma. Tali risultati sono stati ottenuti utilizzando una strategia di ablazione selettiva dell'espressione di IGFBP-5 per mezzo di microRNA interferenti, che silenziano l'azione del gene. Sono stati inoltre chiariti i meccanismi di regolazione trascrizionale di IGFBP-5 durante il differenziamento neurale. Esperimenti di visualizzazione del legame DNA-proteine e saggi funzionali hanno permesso di identificare i fattori di trascrizione SMAD e Sp come principali responsabili di questa regolazione. Da questi studi emerge sempre più il ruolo fondamentale dell'asse IGF nel controllo proliferativo di neuroblastoma e probabilmente di altri tipi di tumore.

Risposta immunitaria.

Sono stati caratterizzati i meccanismi attraverso i quali il recettore CTLA-4 controlla il differenziamento dei linfociti Th2. Questi linfociti promuovono risposte immunitarie protettive contro patogeni extracellulari, ma sono coinvolti anche nella promozione di allergie. Le ricerche condotte hanno dimostrato che la stimolazione di CTLA-4 inibisce la trascrizione di mRNA per la citochina IL-4 attraverso l'inibizione di due fattori di trascrizione necessari per il differenziamento dei linfociti Th2. Questi risultati rivelano quindi un nuovo meccanismo per il controllo delle risposte allergiche e suggeriscono nuovi possibili bersagli terapeutici.

7.8. Valutazione del rischio per la salute da agenti fisici e chimici mediante nuovi modelli e tecnologie sperimentali

Test a breve termine, predittivi della trasformazione neoplastica.

Sono stati valutati gli effetti del melphalan in topi eterozigoti p53+/- . Il test della cometa è stato utilizzato per avere una stima del danno indotto al DNA in vari organi bersaglio. E' stata inoltre valutata l'induzione di micronuclei in eritrociti policromatici di midollo osseo ed in

eritrociti di sangue periferico. I risultati ottenuti con il test della cometa hanno mostrato che il danno indotto dal melphalan è costituito essenzialmente da legami crociati nella molecola di DNA. Il test del micronucleo ha mostrato differenze di risposta tra topi di genotipo p53 +/- e p53 +/+ . Questo risultato è stato interpretato come una conseguenza di un effetto dominante negativo della mutazione knockout nel gene p53 sulla efficienza di controllo del ciclo cellulare e/o della risposta apoptotica stimolata dal trattamento con melphalan.

Studio degli effetti di sostanze ambientali con potenziale azione interferente con l'omeostasi ormonale (endocrine disruptors).

E' stata studiata in un sistema sperimentale murino la tossicità riproduttiva del DES (dietilstilbestrolo, un ormone sintetico ad attività estrogenica) a seguito di esposizione durante lo sviluppo prenatale. I risultati hanno dimostrato che tale composto induce alterazioni permanenti nel sistema germinale maschile di topi adulti con un meccanismo mediato dalle cellule di Sertoli di sostegno, che non altera la cinetica della spermatogenesi né l'integrità della cromatina dello spermatozoo maturo.

Marcatori di sensibilità individuale al rischio riproduttivo.

Sono stati confrontati diversi approcci molecolari per l'analisi del danno indotto a livello del DNA dello spermatozoo murino (TUNEL, Comet, SCSA) da radiazioni ionizzanti. Tutti i test impiegati hanno messo in evidenza una relazione dose-effetto tra frazione di spermatozoi alterati e dose di radiazione. Inoltre, uno studio epidemiologico, che ha coinvolto circa 200 individui giovani, ha individuato, quali parametri indicativi della ridotta funzionalità testicolare e delle ghiandole accessorie, alterazioni della struttura della cromatina dello spermatozoo. In particolare, la frazione di spermatozoi con cromatina alterata nel seme umano sembra correlata con i livelli ematici di ormoni sessuali ed i livelli seminali di zinco e fruttosio. Le correlazioni sono comunque deboli, come previsto nel caso di un processo multifattoriale, quale quello della spermatogenesi.

Bioelettromagnetismo.

Non sono stati evidenziati ad oggi effetti biologici né sulla funzionalità dell'apparato uditivo di piccoli roditori esposti a 900 MHz, per dosi diverse corrispondenti alle norme europee vigenti, né sul sistema immunitario di organi linfatici centrali (timo) e periferici (milza e linfonodi) in topi immunizzati e non, esposti fino a 4 settimane a 900 MHz. Non sono stati rilevati effetti genotossici in linfociti umani esposti in vitro a 50 Hz ed esaminati con diverse metodologie. Anche studi a livello molecolare su un modello cellulare neurale esposto a 50 Hz non hanno evidenziato effetti sul differenziamento, l'induzione di oncogeni e la morte cellulare programmata; il processo di differenziamento è stato inoltre analizzato con il medesimo modello cellulare per esposizioni a 900 MHz senza peraltro mostrare effetti. Sono stati realizzati sistemi espositivi elettromagneticamente caratterizzati per le frequenze della telefonia cellulare e con condizioni ambientali controllate, con gestione automatizzata della sperimentazione secondo procedura a doppio cieco.

7.9. Sviluppo di prodotti/processi a base biologica

Le attività sono finalizzate al miglioramento genetico delle piante, orientato ad aspetti della salubrità dell'alimento (per esempio, realizzazione di piante resistenti a fitopatie; miglioramento della sintesi biologica di 'nutraceuticals', come vitamine o antiossidanti) e ad aspetti di forte contenuto innovativo, come l'utilizzo di piante per la produzione di anticorpi ricombinanti e di vaccini e lo sviluppo e applicazione di tecnologie microbiologiche.

Caratterizzazione e miglioramento genetico di piante tipiche mediterranee (per resistenza a stress biotici e abiotici)

Il pomodoro è stato caratterizzato dal punto di vista di profili di espressione per lo studio dei geni che possono influenzare la salubrità dell'alimento in termini di contenuto in "nutraceuticals", di architettura della pianta e di resistenza a fitopatie. Sono stati costruiti "microarrays" di circa 1000 geni di pomodoro contenenti geni espressi nella bacca in maturazione e geni coinvolti nelle vie di percezione degli stimoli luminosi.

Nello studio delle infezioni virali sono stati messi in evidenza alcuni meccanismi fondamentali implicati nel "gene silencing" indotto da virus vegetali.

Produzione di anticorpi ricombinanti e di vaccini da piante

Da un repertorio sintetico di 10^7 diversi anticorpi, sono stati selezionati alcuni ligandi contro il virus CMV (Cucumber Mosaic Virus), un patogeno estremamente dannoso per molte colture ortive, e specialmente per il pomodoro. Questi ligandi sono rivelati strumenti utili per la diagnostica e sono stati anche utilizzati per costituire linee di pomodoro protette dall'infezione virale mediante immunoterapia.

E' stato messo a punto un prototipo di vaccino terapeutico di origine vegetale per il tumore del collo dell'utero e altri tumori associati al virus del papilloma umano di tipo 16 (HPV16). Questo tipo di vaccino basato sull'espressione della oncoproteina E7 utilizzando il virus X della patata (PVX), si è rivelato altamente efficace in modelli sperimentali murini che hanno mostrato protezione contro lo sviluppo del tumore, maggiore rispetto ad un vaccino standard. I risultati ottenuti aprono nuove e interessanti prospettive per la formulazione di nuovi vaccini e adiuvanti derivati da pianta.

Infine, è stato espresso in pianta un anticorpo contro l' antigene tumorale HER2 che si è dimostrato funzionale nel riconoscimento dell'antigene sia in vitro che in preparati istologici umani.

Sviluppo e applicazioni di tecnologie microbiologiche

Sono stati studiati rizobatteri in grado di promuovere lo sviluppo di piante di interesse agronomico (Plant Growth Promoting Rhizobacteria, PGPR), in particolare *Burkholderia cepacia*, un complex costituito da 9 specie e/o genomovars caratterizzato da plasticità genomica e versatilità metabolica, con elevate potenzialità di utilizzo in campo agricolo ma implicato anche in patologia umana nella sindrome della fibrosi cistica

7.10. Sicurezza alimentare e ambientale

Le attività hanno riguardato lo studio dell'impatto dei composti agrochimici (fertilizzanti e pesticidi) sull'ambiente e sulla catena alimentare, lo studio dell'inquinamento atmosferico da processi industriali e da servizi sulle colture agrarie e sulle catene alimentari ed alcune attività di sviluppo e applicazione in campo di nuove tecnologie biologiche antiparassitarie. Sono stati anche preparati materiali di riferimento (sedimenti di lago) per esercizi interlaboratorio (svolti nell'ambito di Corsi di addestramento sulla produzione ed utilizzo di materiali di riferimento nei settori ambientale ed alimentare) e materiali di riferimento (di pomodoro) e soluzioni di taratura di Pb, Mn e Ni per analisi chimiche nell'ambito del progetto di ricerca "Metrologia chimica e qualità delle misure" (Piano Nazionale di Ricerca Chimica II).

Studio dell'impatto dei composti agrochimici sull'ambiente e sulla catena alimentare

Mediante l'applicazione del modello previsionale PELMO, sono stati identificati i suoli più vulnerabili all'inquinamento da parte delle sostanze antiparassitarie utilizzate in agricoltura nella Regione Emilia-Romagna. Tali suoli sono quelli classificati dalla regione con la sigla CER1, CON1, SMB1, BAR1. I principi attivi antiparassitari risultati potenzialmente contaminanti delle falde acquifere sono: Clopiralid, Nuarimol, Etofumesate, Halloxyfop-etossietile, Cloradizon, Pirimicarb, Fipronil, Metolaclo, Halloxyfop-R-metilestere, Flusilazol, Carbofuran, Metomyl, Fentin acetato, Metamitron, Glufosinate ammonio, Lenacil, Propiconazolo, Lindano, Imidacloprid.

Tali risultati verranno utilizzati in piani di monitoraggio delle acque nella regione Emilia-Romagna.

Nell'ambito delle attività di supporto alla Commissione Consultiva Nazionale per i Prodotti Fitosanitari del Ministero della Salute, sono stati valutati, dai dossier presentati dalle ditte produttrici, 11 sostanze attive e prodotti commerciali (diserbanti, fungicidi, insetticidi, fumiganti), al fine della registrazione ed autorizzazione al commercio ed all'uso, secondo l'attuazione della Direttiva CEE 91/414). Per il principio attivo Mepanipyrim (fungicida), per la quale l'Italia era designata dalla Commissione Europea come Stato Rapporteur, è stata redatta la monografia per gli effetti ecotossicologici.

Infine, sono state valutate 12 sostanze chimiche di interesse industriale.

Studio dell'impatto dell'inquinamento atmosferico sulle colture agrarie e sulle catene alimentari

Nello studio dell'impatto delle emissioni del polo industriale di Milazzo sull'agroecosistema, è stato stimato che in due dei 15 comuni esaminati le concentrazioni in atmosfera di SO₂ provocano cali di resa rilevanti nelle colture degli agrumi (9-10%) e della patata, cali che sembrano riconducibili solo potenzialmente alle emissioni industriali. Le elevate concentrazioni di O₃ misurate, i cui precursori sono contenuti anche nelle emissioni industriali, provocano in quasi tutto il territorio perdite di raccolto elevate (tra il 15-35%) per il frumento, gli agrumi e la patata. Le concentrazioni di elementi tossici presenti nei suoli analizzati non costituiscono rischio ambientale secondo il D.M. 471/99, né i residui degli stessi elementi nei prodotti ortofrutticoli (arance, limoni, olive ed alcune orticole) evidenziano rischi di esposizione da ingestione per i consumatori.

Sviluppo e applicazione di nuove tecniche biologiche antiparassitarie

Bioinsetticidi. Risultati positivi sono stati ottenuti nelle prove di laboratorio e in pieno campo con diverse formulazioni di neem (principio attivo estratto dalla pianta esotica *Azadiractha indica*) con estratti metanolici dell'olivo e con sostanze naturali (ad es. il pigmento floxina) contro insetti nocivi in agricoltura, quali la mosca della frutta, la mosca delle olive, la tignola e la dorifora della patata, la tignoletta dell'uva.

Sostanze attrattive. In collaborazione con Istituzioni italiane (Istituto sperimentale per la Frutticoltura) e straniere (USDA, Stati Uniti; Plant Protection Institute, Budapest), è stata validata in pieno campo l'efficacia di attrattivi alimentari sulla mosca mediterranea della frutta per l'applicazione in situazioni aziendali, ottimizzando l'uso di diversi tipi di trappole.

Lotta biologica. In collaborazione con istituti italiani e con istituzioni straniere (CABI, Regno Unito; USDA, Stati Uniti; Russian Academy of Sciences; Univ. di Adana e di Erzurum, Turchia, Univ. di Nitra, Slovacchia), sono stati individuati e selezionati organismi specifici per la lotta biologica ad alcune rilevanti piante infestanti. Sono state messe a punto le modalità di lanci inoculativi e l'acclimatamento di un parassitoide della sesamia del mais (*Sesamia nonagrioides*).

7.11. Il sistema dei trasporti: sicurezza e compatibilità ambientale

Le attività svolte in questo settore includono principalmente lo sviluppo di tecnologie per i trasporti che hanno grande valenza anche in tema di miglioramento dell'efficienza energetica, e che quindi sono strettamente connesse con le attività della finalità "Energia per il Futuro".

Strumenti informatici per il trasporto intermodale e la pianificazione della mobilità

Sono stati completati due sistemi informatici di immediata applicabilità per gli operatori pubblici nel settore trasporti:

- **MOBILITY**, sistema per la pianificazione della mobilità urbana, di supporto alla elaborazione dei Piani Urbani Mobilità (PUM). Il sistema costituisce l'evoluzione di un sistema più limitato, sviluppato nel triennio 1998-2000, e consente di simulare il sistema di trasporto urbano privato e pubblico, di valutare gli impatti di scenari di intervento, sia tecnologici ed infrastrutturali (nuove strade, nuove linee di trasporto collettivo, sistemi di regolazione del traffico), sia di gestione della domanda di mobilità, e di rappresentare sinteticamente i risultati mediante un sistema geografico. La valutazione viene effettuata mediante la stima di indicatori di tipo trasportistico (entità del traffico), di consumo energetico, di emissione di inquinanti e di rumore. La struttura del software prevede una banca dati ed un insieme di modelli matematici indipendenti, ma completamente integrati nel sistema, che sono gestiti da un'interfaccia grafica avanzata sviluppata in ambiente GIS. Il sistema, realizzato nel triennio 2000-2002, è stato completato nel corso del 2002 con la realizzazione di manuali per l'utente e con lo sviluppo di un metodo per la stima dei costi esterni generati dal traffico urbano. Rispetto al sistema precedentemente disponibile, il nuovo **MOBILITY** consente la valutazione dell'emissione dei gas serra, la valutazione dell'evoluzione della domanda di mobilità e la possibilità di simulare interventi infrastrutturali e tecnologici.

- SYLOG, sistema per la valutazione del trasporto intermodale delle merci che fornisce gli elementi conoscitivi e gli strumenti analitici necessari ad effettuare valutazioni energetico-ambientali e confronti multicriteriali di scenari tecnologici ed infrastrutturali del trasporto intermodale delle merci. Sylog integra in un sistema GIS una banca dati alfanumerica relativa al Sistema Logistico Italiano ed una catena di modelli i cui input ed output sono contenuti nella stessa banca dati. La catena di modelli è composta da:
 - modelli per la simulazione del traffico delle merci, che consentono di simulare il comportamento dell'utenza di un dato sistema di trasporto, ricostruendo itinerari, origine e destinazione, nonché flussi di traffico relativi agli archi ed ai nodi della rete multimodale (strada-ferrovia-nave),
 - moduli informatici per la stima delle caratteristiche funzionali dei nodi di interscambio (porti ed interporti),
 - modelli per la stima dei consumi e delle emissioni dei principali inquinanti atmosferici,
 - modelli per la valutazione economica delle varie alternative (individuazione degli itinerari multimodali a minimo costo generalizzato).

Il sistema SYLOG è stato realizzato con il Consorzio TRAIN nell'ambito del programma Ship-Road-Rail cofinanziato dal MURST, nel periodo 2001-2002. Nel corso del 2002 è stata ultimata la realizzazione del sistema informatico, sono state messe a punto le banche dati relative al sistema logistico nazionale ed è stata effettuata la simulazione dei benefici economici ed ambientali ottenibili con l'introduzione nella rete intermodale nazionale di tecnologie innovative per ottimizzare lo smistamento delle merci nei nodi di interscambio.

8. A.3 I GRANDI STRUMENTI AVANZATI

Nel seguito viene riportata, per le principali linee di attività svolte nel 2002, una sintetica descrizione dei risultati più rilevanti ottenuti nel corso dell'anno.

8.1. *Fusione nucleare*

Le attività sulla fusione sono articolate su quattro linee principali:

- fisica del confinamento magnetico
- fisica del confinamento inerziale
- tecnologie
- IGNITOR

Fisica del confinamento magnetico

Il programma principale è consistito nella sperimentazione con il Tokamak FTU; un importante impegno è stato anche dedicato alla partecipazione al JET.

La macchina FTU e gli impianti connessi hanno funzionato con notevole affidabilità: in particolare, si sono avute sessioni sperimentali per 89 giorni, effettuando complessivamente 2167 “spari”, di cui 1915 (88%) completati con successo. La media degli spari giornalieri è stata di 24,35, di cui 21,52 in media portati a termine con successo.

Per quanto riguarda l'attività sperimentale di FTU, il risultato più importante è stato l'ottenimento in maniera riproducibile di configurazioni di plasma con basso trasporto turbolento di calore (barriere di trasporto), a densità di plasma pari a quella del futuro reattore sperimentale ITER e in condizioni di plasma pulito. La principale novità dei risultati 2002 riguarda la durata della configurazione, che è stata mantenuta in condizioni quasi stazionarie senza accumulo di impurezze.

Per quanto riguarda la partecipazione al JET, l'ENEA ha un ruolo di coordinamento in tre Task Force su sette. Sul lato dell'attività sperimentale, sono proseguiti gli studi intesi a riprodurre su JET le configurazioni con barriere di trasporto interne ottenute su FTU. L'attività teorica è stata focalizzata allo studio delle instabilità prodotte dalle particelle alfa nei plasmi termonucleari. Lo studio è stato effettuato mediante codici di simulazione a particelle, e ha posto in evidenza le compatibilità tra le configurazioni proposte per il mantenimento dello stato stazionario su ITER e i regimi di buon confinamento delle particelle alfa. E' stato effettuato un Workshop internazionale di valutazione della proposta della macchina Protosphaera, un impianto nel campo del confinamento magnetico diverso dai Tokamak usuali e proposto dai ricercatori di Frascati. Il Workshop ha fornito una valutazione positiva della proposta con l'indicazione di alcuni approfondimenti di natura tecnica, in particolare prove per verificare il corretto funzionamento degli elettrodi.

Nello specifico, inoltre, vanno citati anche i seguenti risultati:

- è stata completata la costruzione e la caratterizzazione in laboratorio del nuovo tipo di antenna PAM (Passive Active Multijunction) per l'immissione di radiofrequenza nel plasma ai fini del suo riscaldamento e controllo. Questo tipo di antenna consente di iniettare onde alla frequenza ibrida inferiore, necessarie per la generazione della corrente di plasma, in condizioni tali da consentire un efficace raffreddamento della