

2. SISTEMI ENERGETICI AVANZATI

2.1. *Il sistema vettore idrogeno*

Le attività svolte in questo settore nel corso del 2005 possono essere raggruppate in tre tipologie:

- analisi delle problematiche connesse con l'introduzione dell'idrogeno;
- analisi di tecnologie, definizione di programmi, partecipazione alle collaborazioni internazionali e informazione;
- sviluppo di tecnologie.

Le analisi delle problematiche connesse con l'introduzione dell'idrogeno sono state condotte nell'ambito di diversi progetti europei.

In particolare, è stato concluso il Progetto HySociety, che ha analizzato le maggiori barriere che ostacolano la diffusione dell'idrogeno e ha individuato un piano di azione per la rimozione delle stesse, che coinvolge i diversi soggetti pubblici e privati interessati (governi, imprese, scuole e università, cittadinanza, organizzazioni non governative, ecc.). Il documento conclusivo costituisce un riferimento importante per orientare gli sforzi di tutti gli operatori, soprattutto nel breve termine.

Nel 2005 si è conclusa anche la prima fase del Progetto Hyways, che ha la finalità di sviluppare e valutare la roadmap europea per l'idrogeno. In tale ambito, l'ENEA ha operato come riferimento italiano per fornire al progetto gli scenari nazionali, coinvolgendo tutte le organizzazioni nazionali potenzialmente interessate nei diversi settori che vanno dalla produzione agli usi finali, attraverso una serie di incontri che hanno permesso di analizzare i risultati delle analisi effettuate e di porre le basi per gli ulteriori approfondimenti previsti nella seconda fase del progetto. In tale fase si procederà a rielaborare la roadmap dei diversi Paesi, creando una base coerente e attendibile per produrre la roadmap europea dell'idrogeno. L'ENEA è stato anche responsabile dell'analisi di impatto ambientale, che ha portato a quantificare i vantaggi derivanti dall'uso dell'idrogeno nei singoli contesti nazionali, in termini di riduzione delle emissioni nocive soprattutto nelle aree urbane.

Un altro progetto europeo (ENCOURAGED) è stato avviato nel 2005, con la finalità di prevedere come i corridoi tra l'Unione Europea e i Paesi confinanti potranno essere usati in futuro per l'approvvigionamento di elettricità, gas naturale e idrogeno. L'ENEA è coinvolto negli studi riguardanti l'idrogeno, in particolare per quanto attiene alla creazione di corridoi con i Paesi del Nord Africa, possibili candidati alla produzione di idrogeno da rinnovabili. Nel corso del 2005 sono stati identificati gli scenari praticabili ed è stata fatta una valutazione economica della convenienza dei corridoi.

Un ultimo progetto europeo avviato nel 2005 è HARMONHY, che ha lo scopo di analizzare la situazione delle norme, dei regolamenti e della ricerca prenormativa al fine di raccomandare alla Commissione Europea le azioni da avviare per agevolare l'introduzione delle tecnologie dell'idrogeno. In tale ambito l'ENEA ha condotto un approfondito esame dei programmi e dei progetti pubblici relativi alla ricerca prenormativa a livello europeo e internazionale.

Per quanto riguarda l'analisi delle tecnologie e la definizione di programmi di intervento nel settore, l'ENEA ha partecipato attivamente ai lavori della Piattaforma Nazionale su Idrogeno e Celle a Combustibile, promossa dal MIUR, e a quelli dell'iniziativa analoga in corso a livello europeo. In entrambi i casi è stata definita la strategia di intervento e individuate le azioni

principali da portare avanti per lo sviluppo delle diverse tecnologie e per la loro introduzione nel mercato.

La partecipazione alle collaborazioni internazionali ha riguardato in maniera prevalente l'Implementing Agreement IEA sull'idrogeno (attività del Comitato Esecutivo e degli Annex su accumulo dell'idrogeno e analisi dei sistemi integrati) e l'International Partnership for Hydrogen Economy (presenza nell'Implementation and Liaison Committee e contributo agli scoping papers su "Fuel cells" e "Hydrogen Storage").

Per quanto riguarda lo sviluppo delle tecnologie, sono state completate le attività del progetto biennale (2003-2005) relativo allo sviluppo di sistemi di accumulo dell'idrogeno a base di leghe metalliche da utilizzare a bordo di veicoli (progetto finanziato dal MIUR (FISR) e coordinato dall'ENEA, con la partecipazione di CNR-ITAE, INFN e SAES Getters). In tale ambito, le attività di ricerca sui materiali hanno consentito di sviluppare leghe a base di magnesio con caratteristiche interessanti, ma non ancora adeguate per un uso automobilistico, date le temperature di desorbimento ancora superiori ai 200 °C. Sono stati inoltre realizzati dei serbatoi, progettati dall'ENEA, ed è stata completata la costruzione di una stazione di prova per sistemi di taglia significativa.

Il completamento di un parallelo progetto FISR, coordinato dal CNR e relativo allo sviluppo di microcelle a combustibile, ha consentito all'ENEA di sviluppare un sistema particolarmente interessante di accumulo di idrogeno basato sull'uso di sodio boro idruro: su piccole taglie ed a livello preliminare sono state ottenute capacità di accumulo dell'idrogeno superiori al 9% in peso.

2.2. Celle a combustibile

Sono proseguite le attività di ricerca e sviluppo delle celle ad elettrolita polimerico e a carbonati fusi e dei sistemi per le loro applicazioni, sia stazionarie che di trazione, condotte nell'ambito di programmi nazionali ed europei in collaborazione con industrie, strutture di ricerca, pubblica amministrazione e utenti.

Celle ad elettrolita polimerico

Si è concluso nel 2005 un progetto biennale, coordinato dall'ENEA e parzialmente finanziato dal MIUR (FISR), che ha coinvolto diverse aziende (Arcotronics Fuel Cells e Ponte di Archimede) e strutture di ricerca (4 università e 3 istituti del CNR). Obiettivi del progetto sono stati lo sviluppo di soluzioni innovative per quanto riguarda l'ingegneria dello stack e i catalizzatori da impiegare nei vari stadi del processo di produzione dell'idrogeno con purezza adatta all'impiego nelle celle polimeriche.

In tale ambito, le attività di competenza ENEA hanno riguardato lo studio delle problematiche relative all'ingegneria sia di cella singola che di stack. In particolare:

- sono stati affrontati i problemi relativi alla comprensione e al controllo dei fenomeni fluido-dinamici e di gestione dell'acqua interni alla cella con tecnologia dei piatti in grafite ed introdotti criteri e concetti utili alla progettazione ed al funzionamento stabile della cella stessa;
- sono stati studiati e realizzati piatti bipolari dal disegno innovativo per permettere l'alimentazione dell'aria catodica a bassa pressione (<50 mbar), apportando modifiche al disegno dei canali di alimentazione e introducendo trattamenti superficiali che hanno permesso di migliorare il funzionamento della cella;

- sono state svolte prove in cella singola e in ministack da 5 celle per verificare la bontà delle soluzioni adottate a livello di componenti e di ingegneria;
- sono stati sviluppati piatti bipolari in materiali alternativi alla grafite, con selezione dei materiali metallici e dei rivestimenti, attraverso la caratterizzazione sia chimico-fisica che elettrochimica degli stessi.

Nella seconda metà del 2005 è stato avviato il nuovo progetto FISIR sulle celle a combustibile (2005-2008), che per le celle polimeriche prevede tre diverse linee di attività:

- ricerca e sviluppo di materiali e componenti innovativi (catalizzatori, nuovi elettroliti, nuove tecnologie di fabbricazione dei componenti);
- sviluppo stack e nuove configurazioni di cella (celle e stack di area superiore a 500 cm²; celle multiple sullo stesso piano; microcelle alimentate a sodio boro idruro)
- realizzazione e sperimentazione di stack e sistemi da 1-5 kW, con diversi combustibili (idrogeno, gas da reforming del metano, GPL).

In questo ambito, sono proseguite, tra l'altro, le attività di realizzazione e sperimentazione di componenti, celle e ministack e sono iniziate le attività per l'allestimento di una stazione di prova per un sistema da 1 kW alimentato a GPL, con l'individuazione delle apparecchiature e della strumentazione necessaria.

Celle a carbonati fusi

In questo settore sono state completate nel corso del 2005 le attività di due progetti, uno nazionale (FISIR), coordinato dall'ENEA e svolto in collaborazione con Ansaldo Fuel Cells, CESI, CNR e varie università, ed uno europeo (IRMATECH), relativi entrambi allo sviluppo di materiali e componenti innovativi.

In tale ambito, il contributo ENEA è stato relativo alla messa a punto, a livello di laboratorio, di un sistema di alluminizzazione dei componenti metallici di stack e alla individuazione di due possibili soluzioni per catodi alternativi all'ossido di nichel: Ni ricoperto di cobaltite e catodo in Ni/Mg/Fe. Ambedue le soluzioni si sono dimostrate efficaci su scala laboratorio ed il loro ulteriore sviluppo, con scale up dei processi, è previsto nell'ambito del nuovo progetto FISIR sulle celle a combustibile, avviato nella seconda metà del 2005.

Tale progetto prevede, oltre ad una linea di sviluppo di componenti innovativi, due linee di attività di tipo impiantistico. La prima è relativa alla sperimentazione, presso il Centro della Trisaia, di un sistema da 125 kW, realizzato nell'ambito di un progetto europeo attraverso l'accoppiamento di uno stack con un impianto di gassificazione delle biomasse. La seconda prevede lo studio di sistemi combinati cella/turbina, attraverso la realizzazione e sperimentazione, presso il Centro della Casaccia, di un sistema da 125 kW costituito da un emulatore di cella accoppiato con una turbina.

Celle ad ossidi solidi

Sono state portate a termine, nell'ambito di un progetto FISIR per lo sviluppo delle celle ad ossidi solidi, coordinato dal CNR-ITAE di Messina, le attività relative alla produzione di anodi supportanti di dimensioni superiori ai 150 mm attuali, condotte dall'ENEA in collaborazione con FN. Sulla base dei risultati ottenuti durante il 2004, è stato possibile, nel corso del 2005, mettere a punto il processo di colatura su nastro sino alla produzione di un tape di dimensioni 600 x 3000 mm², da cui è stato possibile ricavare sia anodi supportanti sinterizzati in aria delle dimensioni 200 x 200 mm², sia anodi sinterizzati in atmosfera inerte delle dimensioni 450 x 450 mm².

2.3. Cicli energetici innovativi

Simulazione di processi di combustione di syngas in turbine a gas

Nel corso dell'anno, sono stati condotti diversi lavori teorici finalizzati allo studio della combustione di syngas in bruciatori per turbogas

Uso di syngas in luogo di gas naturale. Partendo dall'approfondimento degli aspetti relativi alle applicazioni di fluidodinamica computazionale alle tematiche connesse ai processi di diffusione e mixing turbolento di getti in ambienti parzialmente confinati, sono state sviluppate una serie di simulazioni di campi in regimi turbolenti debolmente comprimibili, passando da biogas prodotti dalla gassificazione di biomasse, a syngas derivanti dalla gassificazione di carbone, per finire con una miscela costituita per il 50% da metano e per il restante 50% da idrogeno (altresi nota come hythane).

Sviluppo di metodi di progettazione ingegneristici. Si è investigata la possibilità d'applicazione di un codice industriale (FLUENT) nella simulazione di flussi in regime turbolento in condizione di elevata comprimibilità, collaborando con il gruppo di lavoro operante presso il DIME dell'Università di Napoli. È stato realizzato un appropriato schema geometrico per la simulazione numerica del campo fluidodinamico associato ad un componente essenziale per camere di combustione utilizzate negli impianti con turbina a gas ANSALDO V64 e V94. Lo studio è teso alla risoluzione di seri inconvenienti, quali le fluttuazioni di pressione, che tali sistemi energetici presentano nelle ordinarie condizioni di funzionamento reale, ed è stato orientato all'ottenimento di risposte significative sia sul piano scientifico, che industriale, definendo un insieme di diagrammi che forniscono l'analisi di sensitività rispetto ad importanti parametri ingegneristici. Questo studio è stato condotto considerando gas naturale e syngas come combustibile, con le implicazioni che comporta in termini di progetto geometrico dei bruciatori industriali considerati

Sistemi di diagnostica avanzata per la termo-fluidodinamica, la chimica ed il controllo della combustione

Nel corso del 2005 sono proseguiti con successo l'applicazione e sviluppo di dispositivi diagnostici avanzati, per il monitoraggio ed il controllo della combustione. I risultati più significativi di quest'attività sono riportati nel seguito.

Sistema per Anemometria Ottica basato su tecnologia ODC. È stato sviluppato un sistema che utilizza due sensori ottici ODC (fotodiodi) allineati secondo la direzione del flusso. Il sistema si basa fundamentalmente sulla capacità delle strutture fluidodinamiche prodotte di conservare per un certo tempo le proprie caratteristiche dinamiche: tali caratteristiche, rilevate dal primo dispositivo ottico, si ripropongono con una forma simile al secondo sensore (l'indice di cross-correlazione valuta quanto i due segnali sono simili), dopo essere state trasportate dal flusso.

Gli aspetti interessanti del dispositivo risiedono nella semplicità del sistema di acquisizione, nella capacità di fornire l'informazione in tempo reale, nella capacità di operare in ambienti fortemente ostili remotizzando e miniaturizzando il punto di misura grazie all'impiego di fibre ottiche, ed infine nell'essere immune agli stati di anomalia funzionale del combustore (come l'humming). È in corso la procedura di brevetto del sistema.

Sistema per Termometria Ottica basato su tecnologia ODC I segnali acquisiti dai due sensori ottici possono essere utilizzati per calcolare la velocità del suono nel mezzo e di conseguenza calcolare la temperatura media tra i due sensori.

Per l'analisi acustica si utilizza un'analisi del segnale nel dominio della frequenza. La metodologia si basa sull'analisi del cross spettro di potenza tra i segnali acquisiti dai due sensori, a distanza nota come nello strumento "anemometro". Nello spettro si cerca la frequenza generata da un emettitore acustico noto, ed in corrispondenza di essa si misura la

differenza di fase tra i due sensori. Dalla misura dello sfasamento si calcola il tempo caratteristico di propagazione dell'onda tra i due rivelatori. Misurato tale tempo caratteristico, nota la distanza tra i sensori, si ricava la velocità del suono nel mezzo.

Poiché il segnale acustico emesso in camera di combustione è generato in maniera indipendente dal "rumore" intrinseco proprio della fiamma, mediante un cannone acustico, è stato possibile analizzare la frequenza acustica generata per ricavare tale valore di velocità.

Il bassissimo costo di realizzazione dello strumento, se paragonato a quelli attualmente utilizzati in ambito industriale e di ricerca, rende questa nuova tecnologia estremamente promettente per una sua espansione futura; è in corso la procedura di brevettazione del sistema.

Sistema integrato LIF-PIV per la contemporanea caratterizzazione fluidodinamica e chimica in sistemi reattivi Il sistema integra un dispositivo PIV (Particle Image Velocimetry), apparato per mappature bidimensionali istantanee non invasive del campo di velocità, con un sistema LIF (Laser Induced Fluorescence) per mappature istantanee non invasive di concentrazione di specie (tipicamente radicali di combustione)

Cuore del sistema è un laser pulsato di potenza, il cui raggio è separato in due componenti, l'una dedicata alla linea di misura PIV, l'altra dedicata alla linea LIF. Entrambi i raggi così prodotti, attraverso l'impiego di apparati ottici, che ne determinano anche l'opportuno shift infrequenza, producono due distinte "lame di luce", che vengono fatte coincidere sul medesimo piano di misura, relativamente al quale saranno fornite le misurazioni previste. Le lame di luce sono pulsate con frequenza di 10 Hz (ciò determina la frequenza di ripetizione della misura) e particolare cura deve essere posta nella coerenza temporale dei due eventi, al fine di avere "contemporaneamente" la duplice informazione fluidodinamica e chimica. Di fatto il sistema consente di ottenere il campo di velocità nel piano di indagine, sovrapposto alla distribuzione di concentrazione di specie quali ad esempio i radicali OH o CH.

Lo strumento è stato realizzato e testato su di un primo significativo campione di fiamme premiscelate e diffusive.

3. FUSIONE NUCLEARE

3.1. *Il quadro di riferimento internazionale*

Dopo una lunga trattativa, il 28 giugno del 2005, a Mosca, i rappresentanti dell'EURATOM e dei governi degli Stati Uniti d'America, del Giappone, della Repubblica di Corea, della Federazione Russa e della Repubblica Popolare Cinese hanno concordato che il reattore sperimentale ITER sarà costruito a Cadarache (Francia) e che tutte le trattative ancora pendenti saranno completate con la massima urgenza, al fine di iniziare la costruzione il più presto possibile. A seguito di questa storica decisione, il 7 novembre è stato nominato il direttore di ITER nella persona dell'ing Kaname Ikeda (Giappone) e sono proseguiti in maniera serrata i negoziati per definire l'organizzazione e gli accordi finanziari, in modo da iniziare i lavori di costruzione entro il 2006. Al progetto ITER si è di recente associata anche l'India. L'obiettivo di ITER è di generare almeno 500 MW di potenza di fusione per almeno 400 secondi, e di operare una parziale integrazione delle tecnologie e dei sistemi del futuro reattore commerciale. La costruzione di ITER durerà circa 10 anni; sono previsti 20 anni di operazione.

3.2. *Fisica del confinamento magnetico*

Esperimento con litio liquido

Per la prima volta in un tokamak di medie dimensioni è stato esposto al plasma una superficie liquida. L'esperimento con litio liquido è una collaborazione con il colleghi russi del TRINITI. Il litio inizialmente solido, prima di essere inserito all'interno della camera da vuoto, è riscaldato fino alla temperatura di liquefazione. I risultati sono estremamente positivi ed incoraggianti. Un miglior controllo della densità elettronica associata ad una minore radiazione e quindi un plasma con grado di purezza maggiore sono alcuni dei risultati più importanti ottenuti che sono migliori di quelli ottenuti condizionando le pareti con il boro. Inoltre la parete esposta ha sopportato carichi termici tra 1 e 10 MW/m² senza subire danneggiamenti superficiali, aprendo nuove interessanti prospettive per un futuro reattore.

3.3. *Tecnologie della fusione*

Sviluppi nel campo della tecnologia Hot Radial Pressing per la fabbricazione di componenti ad alto flusso termico.

Il processo di giunzione per diffusione denominato 'Hot Radial Pressing', che è coperto da una serie di brevetti, ha superato con risultati eccellenti la fase di messa a punto in laboratorio ed è pronto per la fase di ingegnerizzazione ed industrializzazione. Questa tecnologia è molto apprezzata anche dal sistema industriale, tanto che Ansaldo Ricerche ha stipulato con ENEA un accordo di collaborazione che prevede la realizzazione in due anni di una linea pilota ed un business plan per partecipare alle gare di fornitura per ITER dei componenti del cosiddetto 'Divertore' (il componente che deve assorbire i flussi termici del plasma) per un valore di almeno 60 M€.

Dati nucleari

I dati nucleari per neutroni da 14 MeV rappresentano una attività molto importante e strategica in vista della progettazione, conduzione e valutazione di sicurezza delle macchine per la

fusione operanti in trizio. JET, ITER ed il futuro reattore necessitano di una validazione sperimentale delle librerie costruite estrapolando dati da fissione.

Durante il 2005 è stato condotto un esperimento dedicato alla caratterizzazione e validazione di un simulacro di mantello fertile da provare in ITER. La misura più importante, oltre la determinazione delle sezioni d'urto, del calore di decadimento e della distribuzione effettiva dei flussi, è stata quella della determinazione della produzione di trizio. Questa misura, effettuata in collaborazione con istituti europei per avere un benchmark qualificato, ha mostrato che le tecniche di misura messe a punto sono state molto efficaci anche in una situazione in cui la produzione di trizio è stata estremamente limitata.

Impianto TRIEX

È stata completata la costruzione dell'impianto sperimentale TRIEX, col il quale sarà possibile sperimentare su larga scala le tecnologie di estrazione degli isotopi dell'idrogeno dal piombo litio. L'impianto TRIEX è stato progettato in ENEA e realizzato su contratto da una ditta esterna. L'apparecchiatura in oggetto è stata realizzata per studiare e qualificare i sistemi di estrazione del trizio dalla lega eutettica litio piombo. Come è ben noto, nei reattori a fusione la lega litio piombo allo stato liquido costituisce uno dei possibili materiali generatori di trizio che costituisce il combustibile di questi reattori. Il problema dell'estrazione di questo isotopo dell'idrogeno dal materiale di generazione, e il suo invio nella camera del plasma, è uno dei problemi cruciali per il funzionamento del reattore. L'impianto TRIEX, che ha una capacità di 100 litri totali con portate di 70 litri/ora, consiste in serbatoio per la circolazione della lega litio piombo, di un sistema per la saturazione della lega liquida mediante idrogeno/deuterio e una colonna di separazione liquido gas. Nella colonna vengono studiate diverse soluzioni fluidodinamiche e diverse tipologie di riempimento per massimizzare l'efficienza dell'estrazione dell'idrogeno/deuterio dal litio piombo. Scopo ultimo dell'impianto è consentire il progetto e la realizzazione del sistema per l'estrazione del trizio sia per i Test Blanket Module di ITER quanto per il reattore di potenza.

Manutenzione remotizzata

Nel campo delle tecnologie della manutenzione remotizzata del divertore di ITER, è stato realizzato il software del sistema di controllo del dispositivo chiamato Plasma Facing Components Transporter ed è stata effettuata la relativa integrazione con i sistemi robotici esistenti. Nei reattori a fusione, all'interno dell'anello toroidale dove avviene la reazione, il divertore costituisce uno dei componenti critici. Tali componenti, infatti, sono sottoposti a carichi termici molto rilevanti (valori medi di 5 MW/m^2) e questo richiede che tali strutture siano protette sulla superficie da elementi sacrificali che si usurano nel servizio. Tali elementi, definiti come bersagli, debbono avere anche la caratteristica che il materiale rilasciato non inquina in maniera rilevante il plasma. Per questa ragione tali bersagli debbono essere strutture mobili, quindi rimpiazzabili, agganciate ad una struttura fissa (denomina cassetta). Ovviamente, poiché questi componenti sono altamente radioattivi, dopo l'esercizio in reattore tutte le operazioni di manutenzione debbono essere svolte in cella calda. Presso ENEA (Brasimone), esiste una struttura che simula una cella calda delle dimensioni di $4 \times 8 \text{ m}$ ed è stato recentemente realizzato un simulacro di cassetta per il divertore di ITER. Su progetto ENEA, avviato nel 2004 e completato nel 2005, è stato realizzato un sistema per lo smontaggio e la rimozione dei bersagli dalle cassette in manutenzione. Il sistema, che ha sei gradi di libertà, è costituito da un carrello mobile posto su rotaie installate a 4 metri dal suolo, e quindi al di sopra delle cassette in riparazione, equipaggiato con un sistema di aggancio servo comandato che è in grado di agganciare i bersagli, rimuoverli e trasportarli all'esterno della cella calda. Il sistema, denominato Plasma Facing Components Transporter (PFCT), è stato completato nel

2005 con un idoneo software di comando che rende pressoché automatiche le procedure di installazione/rimozione dei bersagli lasciando all'operatore, che segue in remoto la manovra, l'intervento nelle sole fasi finali. Il sistema, che costituisce il prototipo operativo per ITER, ha il duplice scopo di mettere a punto le procedure di riparazione delle cassette e di costituire un banco di addestramento futuro per il personale.

Tecnologia delle membrane

Le attività svolte per il ciclo del combustibile hanno avuto come ricaduta la messa a punto di una tecnica per ottenere membrane e catodi in palladio con capacità di assorbire idrogeno prossima al rapporto 1:1. Tale materiale è stato oggetto di brevetto.

Altro filone di attività è quello dello sviluppo di membrane ad altissima selettività da utilizzare per ottenere idrogeno ultrapuro. Nel 2005, oltre alle classiche membrane in palladio argento sono state studiate e provate membrane di materiale meno pregiato (Nb, Mo, Ni).

3.4. Superconduttività

Superconduttività a bassa temperatura critica

EFDA (European Fusion Development Agreement) ha lanciato all'inizio del 2004 un programma che ha portato allo sviluppo su scala industriale di un filo superconduttore in Nb₃Sn con prestazioni "avanzate", da utilizzare per la futura manifattura dei magneti CS (Central Solenoid) e TF (Toroidal Field) di ITER.

Nell'ambito di tale programma di ricerca e sviluppo, utilizzando il layout del filo definito nel 2004, si è effettuato durante il 2005 un approfondito studio dell'influenza degli stress meccanici sulle sue proprietà superconduttive.

Superconduttività ad alta temperatura critica

Nel corso del 2005, l'attività di studio sui nastri superconduttori ad alta temperatura critica a base di YBa₂Cu₃O_{7-d} (YBCO) è proseguita sulle stesse linee iniziate l'anno precedente. I principali risultati scientifici possono riassumersi brevemente nello sviluppo di un substrato metallico dotato di tessiture non ottenibili con il semplice processo termo-meccanico "standard" e nella messa a punto di un processo di deposizione di YBCO coated conductors in continua.

In particolare, si è verificato come un film di Pd depositato epitassialmente sulla superficie del nastro metallico migliori sensibilmente la tessitura cubica originaria del nastro stesso. Il grado di miglioramento dipende da diversi fattori, quali la rugosità superficiale del nastro metallico, la temperatura di deposizione e lo spessore del film di Pd. Il dato relativo allo spessore è di particolare importanza perché ha evidenziato come il grado di allineamento cristallino tra i grani del palladio sia il risultato di un processo che avviene già nelle prime fasi della crescita del film. Questo è un dato molto importante per gli aspetti economici legati all'eventuale uso del palladio. Dato che la corrente trasportata dai coated conductors è strettamente correlata al grado di tessitura del film di YBCO, il film di Pd dovrebbe fornire dei vantaggi in termini di proprietà di trasporto. La struttura Ni-W/Pd è quindi una possibile soluzione come substrato metallico per la realizzazione di nastri coated conductors a base di YBCO. Utilizzando questa soluzione (con un film di spessore pari a 200 nm di Pd), sono stati ottenuti campioni di nastro con densità di corrente, J_c, superiori a 2 MA/cm² alla temperatura dell'azoto liquido (77 K) e in assenza di campo magnetico esterno, raggiungendo così prestazioni simili a quelle ottenute per film "single-crystal" di uguale spessore.

Collaudo di discendenti per i magneti superconduttori del Large Hadron Collider (CERN)

Durante la prima parte del 2005 si è conclusa presso l'ENEA la campagna di collaudo dei discendenti prototipo assemblati al CERN, necessaria per avviare la produzione industriale dei discendenti. Sono stati testati con pieno successo i prototipi da 600 A (52 pezzi), da 6 kA (20 pezzi) e da 13 kA (4 pezzi). Nella seconda parte dell'anno, sono stati effettuati test criogenici sulla produzione industriale di discendenti provenienti dalla Russia (6 kA, 44 pezzi) e dalla ditta Italiana CECOM (13 kA, 14 pezzi). L'apparato sperimentale progettato e realizzato dall'ENEA si è rivelato perfettamente in grado di sostenere i ritmi di lavoro richiesti dal contratto.

3.5. IGNITOR

Nel corso dell'anno 2005, sono continuate, con l'importante contributo dell'industria nazionale, le attività di progettazione di dettaglio e si è avviato lo studio di scenari sperimentali diversi, e del loro impatto sulla macchina, anche per tener conto degli sviluppi teorici e sperimentali avvenuti nel campo della fusione. Già nel 2004 il livello di maturità raggiunto dal progetto era tale da poter avviare, in caso di decisione positiva sulla realizzazione della macchina, la stesura delle specifiche di gara di componenti fondamentali come il magnete toroidale, la struttura di supporto e le bobine poloidali esterne. Durante il 2005, è stato completato il progetto di dettaglio della prima parete e sono stati portati ad un livello molto avanzato di completamento (circa l'80%) quelli della camera da vuoto e dei poloidali interni con il trasformatore centrale. Per quanto concerne gli impianti ausiliari, è stato completato il progetto del sistema di "remote handling" dei componenti interni alla macchina, del sistema di raffreddamento criogenico (30 K) e del sistema di vuoto della macchina, nonché l'ottimizzazione del progetto del sistema di alimentazioni elettriche pulsate (circa 2600 MW installati e circa 1000 MVA assorbiti dalla rete a 400kV). Anche per questi sistemi le gare potrebbero essere lanciate. Per l'iniettore di pellet (quattro pellet di D-T contemporanei ad alta velocità, 4 km/sec) nel plasma è stato completato un prototipo full-scale in deuterio che verrà provato presso gli Oak Ridge National Laboratories. Per il sistema ICRH (nel campo di frequenza 80-120 MHz con potenza fino a 15 MW ad 80 MHz) è stato definito lo schema di principio e si sono avviati studi di dettaglio su alcuni particolari.

4. PRESIDIO NUCLEARE

4.1. *Disattivazione impianti nucleari e condizionamento rifiuti radioattivi*

Nel corso del 2005, le attività dell'ENEA sono state finalizzate al conseguimento di due principali obiettivi programmatici:

- caratterizzazione/trattamento dei rifiuti radioattivi pregressi e sistemazione delle materie nucleari;
- svolgimento di tutte le azioni di competenza necessarie per il passaggio delle attività a SOGIN, in accordo all'OPCM 3267.

Sono state, inoltre, effettuate, come proseguimento delle attività del 2004, azioni di supporto agli obiettivi principali, quali:

- predisposizione degli iter autorizzativi c/o di legge con le amministrazioni ministeriali e di controllo;
- coordinamento, supervisione e controllo delle attività condotte nell'ambito della Convenzione ENEA-NUCLECO per la gestione, a livello nazionale, del Servizio Integrato per il ritiro, trattamento, condizionamento e smaltimento dei rifiuti radioattivi provenienti dal comparto medico-ospedaliero, di ricerca e industriale;
- attività di ricerca e sviluppo nel settore dei rifiuti radioattivi e della relativa strumentazione, svolte principalmente dal Laboratorio di Caratterizzazione;
- supporto specialistico al MAP per gli impegni istituzionali coordinati dal Gruppo Questioni Atomiche;
- partecipazione a convegni, congressi, gruppi di lavoro nazionali ed internazionali (AIEA, NEA) sulle problematiche specifiche di interesse nel campo della gestione dei rifiuti radioattivi;
- attività di formazione e informazione nel settore dei rifiuti radioattivi.

Laboratorio di caratterizzazione

Il Laboratorio di Caratterizzazione rappresenta una struttura tecnico-scientifica essenziale per la manipolazione di materiali contenenti radioisotopi e la caratterizzazione radiochimica; le attività sono svolte presso i laboratori di Casaccia e di Saluggia. Il Laboratorio è membro permanente dell' "European network of testing facilities for the quality checking of radioactive waste packages", e partecipa attivamente ai programmi di ricerca comunitari. Inoltre, il Laboratorio è uno dei responsabili della trasmissione di segnalazioni al Punto di Contatto interno per la lotta contro il traffico illecito dei materiali nucleari, istituiti dal Ministero dell'Interno presso il Dipartimento della Pubblica Sicurezza.

Su richiesta di vari committenti interni o esterni all'ENEA, il Laboratorio ha svolto e continua svolgere attività di servizio analitico volte alla determinazione della composizione e delle impurezze metalliche di vari materiali e alla certificazione del tipo e del tenore di impurezze chimiche e radiochimiche in farmaci e traccianti radiologici.

Attività di formulazione e qualificazione di matrici cementizie

L'impegno nel campo della formulazione e qualificazione di matrici cementizie per il condizionamento di rifiuti radioattivi, ha riguardato lo svolgimento di attività, sperimentali e/o tecnico-scientifiche in accordo, principalmente, a programmi residuali dagli anni precedenti.

A partire dall'inizio dell'anno sono state effettuate prove di resistenza all'attacco batterico di provini ottenuti dall'impasto di cemento, acqua ed additivo Durasil, in conformità al piano periodico di validazione delle procedure operative interne. La preparazione dei ceppi di microrganismi e quindi degli inoculi è avvenuta con il supporto del Laboratorio di microbiologia dell'UTS PROT

Servizi analitici per conto terzi

Già da parecchi anni l'ENEA fornisce un servizio analitico specialistico ad alcuni committenti esterni che intendono avvalersi delle competenze dei laboratori radiochimici e convenzionali dell'Ente.

Nel corso del 2005, è stato fornito il servizio di caratterizzazione di parametri chimici di alcuni preparati (prodotti da GI-PHARMA s.r.l, una Società del comprensorio industriale di Saluggia) destinati al confezionamento di radiofarmaci; in totale, sono stati esaminati 295 campioni.

Trasporti nucleari/contenitori di materiali radioattivi

In passato, l'ENEA ha svolto un'intensa attività nel settore del trasporto della materie radioattive, collaborando con l'AGIP Nucleare e con l'Università degli Studi di Pisa per poter certificare imballaggi di tipo B italiani per combustibile nucleare. Il C.d.A. dell'ENEA ha, tra l'altro, già approvato una tariffa per i contenitori del Tipo CF6 (25 esemplari) e del Tipo CF66 (2 esemplari) permettendo così in modo rapido l'affitto degli stessi per servizi esterni.

Tutti i contenitori italiani per materiali radioattivi sono stati qualificati con il contributo determinante dell'Università degli Studi di Pisa che gestisce una stazione di prova (Laboratorio Scalbatraio) dove sono presenti molte apparecchiature ENEA. Le attività effettuate nel 2005 riguardano:

- la ricertificazione dei contenitori CF6 e CF66;
- la definizione di alcune modifiche per aumentarne la capacità di trasporto dei CF66;
- la qualificazione degli imballaggi industriali e di tipo A per materiali radioattivi;
- la collaborazione con organizzazioni nazionali ed internazionali per l'aggiornamento e la revisione della normativa sui trasporti.

Inoltre, è stata condotta una serie di indagini sperimentali su modelli reali di un sistema di isolamento modulare di sostanze radioattive; tale sistema è definito "modulo" ed è composto esternamente da un cassone in calcestruzzo armato all'interno del quale i fusti metallici contenenti le sostanze radioattive solidificate vengono inseriti e immobilizzati con una speciale malta cementizia ("grout").

Ai fini sperimentali, sono stati realizzati quattro prototipi di contenitore modulare ed è stato studiato e messo in opera un "grout" di adeguata durata; nel corso delle prove è stata simulata la maggior sollecitazione prevedibile per il sistema in termini di scossa sismica, e sono stati evidenziati gli effetti del fenomeno del "leakage" che potrebbe insorgere nel caso di infiltrazione di acque meteoriche; sono attualmente in corso indagini volte ad una maggiore comprensione e quantificazione del fenomeno.

I risultati sinora ottenuti hanno attestato in generale l'affidabilità del sistema e, evidenziando le difettosità del contenitore modulare, hanno suggerito una migliore tipologia concettuale e realizzativa.

4.2. Servizio Integrato

Le attività afferenti al Servizio Integrato 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.

Per lo svolgimento dei propri compiti, la NUCLECO si avvale di un complesso di strutture, impianti, depositi e relative autorizzazioni, dell'ENEA 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 e deposito temporaneo 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 del ciclo di gestione, compreso il futuro smaltimento definitivo dei rifiuti stessi.

Nel corso dell'anno sono stati raccolti circa 200 metri cubi di rifiuti radioattivi solidi e liquidi e circa 6.500 piccole sorgenti radioattive; i materiali ritirati sono stati, per la maggior parte, trattati e condizionati.

Nel medesimo periodo, è proseguita la campagna di smaltimento di rifiuti solidi ex radioattivi di origine medico-ospedaliera, mediante l'incenerimento di ulteriori 48 tonnellate di rifiuti.

Infine, è proseguita, su richiesta da APAT, la campagna di caratterizzazione di 217 colli di rifiuti radioattivi contenenti uranio e torio; il completamento delle attività è previsto per il 2006.

4.3. Supporto specialistico alla Pubblica Amministrazione

L'ENEA svolge un'azione di supporto specialistico delle Amministrazioni competenti, per l'adempimento degli obblighi derivanti dalla ratifica di Trattati e Accordi internazionali; tale azione riguarda, in particolare:

- la legge di ratifica del Protocollo Aggiuntivo in materia di salvaguardie nucleari;
- la ratifica della Convenzione AIEA del 1997 in materia di gestione sicura dei rifiuti radioattivi e del combustibile esaurito;
- la Convenzione AIEA sulla protezione fisica dei materiali e degli impianti nucleari emendativa di quella del 1979;
- la lotta contro il traffico illecito di materiali radioattivi nell'ambito del "Programma di prevenzione e lotta al traffico illecito di materiale nucleare".

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

Le attività derivanti dall'applicazione del Protocollo Aggiuntivo, previste in Convenzione, hanno impegnato l'ENEA sia nel completamento di idonee infrastrutture sia nelle prestazioni professionali previste, con relativo impiego di personale tecnico ed amministrativo, presso i propri Centri, i siti interessati e presso le organizzazioni di controllo.

Il supporto per l'elaborazione del Decreto Ministeriale di cui all'art. 4 della citata legge (decreto che precisa i tempi e le modalità di invio delle informazioni richieste dal Protocollo Aggiuntivo) fornito principalmente nel 2004, è terminato con l'emissione del decreto e la sua pubblicazione sulla Gazzetta Ufficiale del maggio 2005.

La consegna delle attrezzature, il cui acquisto è stato effettuato nel 2004, ha permesso al personale ENEA di modernizzare il proprio sistema di elaborazione e gestione dei documenti tecnici ed ha comportato un lavoro di trasferimento dei file e programmi elaborati in

precedenza. Oltre alla installazione del software CAPE, revisionato dalla Commissione Europea, sono stati installati i due software specifici per la traduzione dell' Help in linea del CAPE. Nei primi mesi del 2005, sempre in mancanza del decreto attuativo, l'Ente si è fatto carico di recepire i primi commenti della Commissione Europea sui dati inviati nella prima applicazione del Protocollo Aggiuntivo, e di integrare tutte le dichiarazioni inviate in stretta collaborazione con i Rappresentanti dei Siti, come indicato dal Ministero della Attività Produttive.

4.4. Smaltimento dei rifiuti da fissione nucleare: sistemi ADS

Le attività nel campo della fissione nucleare si sono svolte principalmente nell'ambito di progetti europei inseriti nel 5° e 6° Programma Quadro e/o di collaborazioni internazionali quali IAEA, OECD NEA, IRSN. Nell'ambito del 5° Programma Quadro, si sono concluse le attività del progetto PDS-XADS con l'effettuazione di un'analisi comparativa delle tre soluzioni progettuali sviluppate nel corso del progetto finalizzata alla selezione della soluzione di reattore sottocritico, refrigerato con l'eutettico della lega Piombo Bismuto, su cui concentrare l'attenzione nei successivi programmi quadro della CE.

Le attività sui dati nucleari hanno riguardato principalmente il processamento dati nucleari finalizzato alla produzione di librerie di sezioni d'urto per calcoli di trasporto neutronico e fotonico e sono state indirizzate a preparare librerie basate sul nuovo file di dati nucleari europeo JEFF-3.1. Si è anche conclusa con esito positivo una lunga ed approfondita analisi di fattibilità, indirizzata a verificare la possibilità di generare, tramite i sistemi di processamento dati nucleari NJOY e SCAMPI, una libreria di lavoro di sezioni d'urto a gruppi JEFF-3.1 in formato FIDO, dedicata specificamente ai codici di trasporto deterministici; questa libreria permetterà di affrontare in maniera soddisfacente le problematiche di danneggiamento dei vessel e schermaggio di reattori ad acqua leggera di nuova generazione.

4.5. Progetto europeo PDS-XADS

Le attività del progetto PDS-XADS (Preliminary Design Study of an eXperimental Accelerator Driven System), finanziato dalla Comunità Europea nell'ambito del V programma quadro ed iniziato nel novembre 2001, sono terminate a marzo 2005, con un ritardo di qualche mese rispetto alla pianificazione iniziale delle attività ma con il completo conseguimento di tutti gli obiettivi previsti. Tali obiettivi sono: 1) dimostrazione della fattibilità di un impianto nucleare costituito da un sistema sottocritico pilotato da un acceleratore lineare di protoni ad alta energia (600 MeV) in grado di trasmutare in condizioni di sicurezza i rifiuti provenienti dal riprocessamento del combustibile esaurito proveniente dai reattori in esercizio; 2) progettazione concettuale di tre soluzioni di riferimento proposte rispettivamente dall'Italia (impianto da 80 MW termici refrigerato con l'eutettico della lega piombo bismuto), dalla Francia (impianto da 80 MW termici refrigerato a gas elio) e dal Belgio (impianto di piccola taglia da 50 MW termici refrigerato con l'eutettico della lega piombo bismuto); 3) selezione della soluzione progettuale da sviluppare nel successivo programma quadro e definizione di un programma di R&D a supporto delle attività di progettazione. L'ENEA ha partecipato a tutte le attività relative alla soluzione proposta dall'Italia. Le competenze interdisciplinari presenti nell'Ente sono quindi state coinvolte nella progettazione dei principali sistemi dell'impianto: il sistema sottocritico, il target, che è che è uno dei sistemi più critici dell'impianto per le elevati dosi di irraggiamento radioattivo e l'elevato carico termico dovuto alle reazioni di spallazione, e l'acceleratore. In particolare, per il sistema sottocritico l'ENEA è stata responsabile della

progettazione di un nocciolo che soddisfacesse i requisiti di progetto concordati con i partner industriali all'inizio delle attività. È stata definita una configurazione di nocciolo a due arricchimenti e sono state effettuate valutazioni dei parametri nucleari, quali potenza, flusso, coefficienti di reattività, per differenti valori del bruciamento del combustibile (inizio vita, fine vita, ecc). Sono state anche eseguite valutazioni sul danneggiamento neutronico dei principali componenti (vessel, griglia, elemento di combustibile, ecc), sull'attivazione dei materiali e sulla capacità di trasmutazione di un core caricato con elementi di combustibile contenenti alte percentuali di attinidi e prodotti di fissione a vita lunga ed altamente tossici. Per il target è stata effettuata la progettazione neutronica, termoidraulica e meccanica della soluzione ritenuta più idonea per aumentare la vita utile del sistema (soluzione senza finestra). In questa soluzione, che permette di aumentare la vita utile da tre mesi a tre anni, il fascio protonico irraggia direttamente il piombo bismuto in cui avvengono le reazioni di spallazione. In particolare, è stata valutata la produzione dei prodotti di spallazione, l'efficienza della sorgente neutronica, il calore prodotto dalle reazioni di spallazione ed infine il danneggiamento dei materiali dovuto alle radiazioni. L'attività relativa al target è stata completata con l'analisi incidentale e con la verifica strutturale delle parti ritenute critiche per i carichi termici conseguenti ai transitori incidentali individuati. Per l'acceleratore sono state eseguite valutazioni sull'affidabilità e disponibilità della macchina al fine di rispettare il requisito di avere un numero limitato di interruzioni del fascio protonico imposto dalla resistenza a fatica dei materiali con cui sono realizzati i componenti del sistema sottocritico. In parallelo a queste valutazioni, sono state identificate le sequenze incidentali derivanti dal malfunzionamento di componenti e sistemi dell'acceleratore basandosi sui dati disponibili in letteratura o, quando non disponibili, su valutazioni ingegneristiche effettuate sulla base sull'esperienza derivanti da studi analoghi. Per quanto riguarda l'impianto nel suo complesso ENEA ha partecipato con ottimi risultati allo studio del suo comportamento in condizioni incidentali. ENEA ha inoltre contribuito in modo significativo alla definizione di un approccio di sicurezza per questo tipo di impianti altamente innovativi, e della metodologia da utilizzare per l'analisi comparativa delle tre soluzioni studiate. I risultati ottenuti da ENEA hanno evidenziato i vantaggi derivanti dalla scelta della tecnologia a metallo liquido per la realizzazione di questo tipo di impianti, hanno fornito la dimostrazione della capacità di bruciamento dei rifiuti radioattivi (attinidi e prodotti di fissione a vita lunga ed altamente tossici) già a potenze basse e hanno permesso l'individuazione dell'intervallo di potenza da prendere in considerazione per rendere economicamente competitivo a livello industriale un impianto trasmutatore.

5. CLIMA E CAMBIAMENTI CLIMATICI

5.1. *Modellistica del clima*

La modellistica climatica sviluppa, a diverse scale spaziali e temporali, strumenti numerici e metodologie di analisi capaci di simulare e di analizzare il clima attuale e quello futuro. Attualmente, gli strumenti numerici più idonei a tale scopo sono i modelli accoppiati, ossia modelli che, pur simulando separatamente le diversi componenti del clima (per esempio oceano, atmosfera, vegetazione etc...), sono connessi attraverso uno scambio continuo di informazioni; quindi dall'insieme dei dati che emergono dalle diverse componenti modellistiche (sistema accoppiato) si può dedurre l'evoluzione e la variabilità del sistema climatico in tutta la sua complessità.

In ENEA negli ultimi anni sono state sviluppate notevoli competenze in modellistica oceanografica ed atmosferica sia a scala globale che regionale, ed attualmente sono in fase di messa a punto gli strumenti informatici e numerici per attuare l'accoppiamento tra i due sistemi.

Modellistica oceanografica e analisi dati

Analisi della tendenza della temperatura superficiale del Mar Mediterraneo

Nell'ambito del Progetto MFSTEP è stata sviluppata una procedura di analisi aggiuntive per la produzione giornaliera di mappe di temperatura superficiale del mare (SST) interpolate nello spazio e nel tempo sul grigliato regolare del modello operativo di previsione della circolazione nel mar Mediterraneo.

Il buon risultato della validazione ha permesso di riutilizzare la serie temporale per l'analisi degli andamenti delle temperature del mare negli ultimi 20 anni. Questa analisi ha evidenziato la presenza di trends in temperatura di circa 0.03 °C/year su base annuale. Il trend di temperatura mostra una decisa variabilità spaziale (maggiore ad est che ad ovest) e una più marcata tendenza ad intensificarsi nei periodi estivi (0.06°C/year) rispetto a quelli invernali (0.02 °C/year).

Analisi di dati satellitari e dati modellistica sui campi del vento in area mediterranea

Il risultato dell'analisi è che i modelli tendono a sottostimare il vento reale e che questa sottostima cresce al crescere dell'intensità del vento. L'analisi ha anche dimostrato che i dati di vento scatterometrici sono i più affidabili per la misura del vento, anche se la loro acquisizione, discontinua nel tempo e nello spazio, impedisce un loro utilizzo esclusivo. La soluzione proposta è l'uso di prodotti cosiddetti "blended" in cui i dati scatterometrici vengono combinati con le stime dei modelli.

Circolazione generale del Mar Mediterraneo

Sono state condotte delle analisi della simulazione climatica della circolazione termalina del Mediterraneo per lo studio della variabilità naturale del bacino. In passato questi studi erano condotti attraverso l'utilizzo del modello MOM, mentre nel 2005 sono state avviate simulazioni con il modello oceanografico del MIT (MITgcm), configurato in modo tale da essere accoppiato con un modello atmosferico.

Con il modello MOM sono state sviluppate delle tecniche per la produzione di mappe di probabilità di dispersione nel Mar Mediterraneo ottenute dai Campi di Velocità Euleriani del progetto MFS. Le mappe sono disponibili sul sito web <http://clima.casaccia.enea.it/riskmap>.

Simulazione e studio dei processi fisici nello Stretto di Gibilterra

I processi che hanno luogo nello stretto di Gibilterra sono indispensabili per valutare l'effetto climatico del bacino mediterraneo sul clima del nord Atlantico. A tal fine, è stato sviluppato un modello 3D ad alta risoluzione spaziale, sia orizzontale che verticale, nella regione dello stretto di Gibilterra partendo dal modello 'Princeton Ocean Model (POM)'. I risultati forniti dal modello hanno definitivamente confermato che lo stretto di Gibilterra può essere descritto come un sistema a tre strati, dove lo strato intermedio svolge funzioni attive sia in termini di trasporto orizzontale che verticale. Inoltre, i risultati della simulazione sono stati utilizzati per determinare per la prima volta in modo dettagliato i trasporti, sia di volume che di massa, che caratterizzano gli scambi tra l'oceano Atlantico ed il mar Mediterraneo. Le ricadute di tale studio potranno essere direttamente utilizzate nel miglioramento della rappresentazione dell'influenza della circolazione interna del mar Mediterraneo sulla circolazione oceanica atlantica nei modelli a grande scala.

Simulazioni e studi sulla circolazione del Mar Tirreno

Il Tirreno riveste un'importanza fondamentale sia in un contesto climatico, sia in quello ambientale. È stata realizzata un'implementazione del codice POM ad alta risoluzione spaziale per permettere una descrizione ottimale della complessa geometria del bacino tirrenico. I primi risultati ottenuti hanno consentito una profonda comprensione della sensibilità del Tirreno ai flussi extratirrenici. Inoltre, sono stati realizzati esperimenti numerici con venti medi tipici di condizioni stagionali ottenuti dalla banca dati ECMWF e sono stati valutati i loro effetti sulla circolazione. Tale strumento modellistico, oltre ad essere utile per studi di tipo climatologico, verrà utilizzato anche per applicazioni di oceanografia operativa.

Modellistica atmosferica

Le attività di modellistica atmosferica sono proseguite lungo le medesime direttrici indicate l'anno passato, sviluppando ulteriormente sia lo studio della variabilità a bassa ed alta frequenza dell'atmosfera, sia l'analisi dei principali parametri di interesse climatologico attinenti l'area euro-mediterranea.

Nello studio della variabilità climatica a larga scala dell'emisfero nord, in particolare durante il periodo invernale, rimane ancora aperto il problema di quali meccanismi regolino le fluttuazioni atmosferiche su scale di tempo superiori ai 10 giorni. Questo problema è rilevante sia per la possibilità di estendere le previsioni meteorologiche oltre le odierne scale temporali, sia per la comprensione di come e quanto alcune forzanti esterne (quali l'anidride carbonica e la radiazione solare) possano influenzare la variabilità atmosferica. In quest'ambito, sono stati sviluppati tre temi di ricerca:

- verifica della risposta non lineare delle onde planetarie al variare della corrente a getto troposferica;
- analisi della variabilità spettrale, espressa in termini di onde viaggianti e stazionarie, contenuta nelle due rianalisi prodotte dai centri NCEP-NCAR e ECMWF, utilizzando i dati giornalieri compresi nelle serie temporali che vanno dal 1958 al 2002;
- analisi della variabilità spettrale contenuta nei risultati numerici ottenuti impiegando modelli accoppiati.

Per quanto riguarda le medie latitudini, è noto che il principale forzante della variabilità atmosferica su scale temporali interannuali è costituito dall'oceano tropicale. Perciò, nel corso dell'anno, sono state sviluppate le attività di ricerca relative al Progetto AMMA (African Monsoon Multidisciplinary Analysis) a cui l'ENEA partecipa. Tali attività sono state finalizzate al raggiungimento di alcuni obiettivi intermedi compresi nel progetto: