

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, l’ENEA ha partecipato allo studio del nuovo layout del filo avanzato ed ha sviluppato un sistema sperimentale che verrà utilizzato nel corso del 2005 per lo studio dell’influenza degli stress meccanici sulle proprietà superconduttive di tali fili “avanzati”.

Durante il 2004 è stata eseguita una caratterizzazione elettrica completa delle proprietà di 3 differenti fili prodotti da 3 delle 6 diverse industrie europee coinvolte nel programma. È stato dimostrato che tali fili soddisfano pienamente le prestazioni richieste (corrente minima a 12 T, 4.2 K: 200 A; obiettivo finale: 280 A, equivalente ad una densità di corrente critica di 1100 A/mm²) e che sarà quindi possibile, all’occorrenza, lanciare una produzione su scala industriale di tale materiale.

Superconduttività ad alta temperatura critica

Nel corso del 2004, sono stati ottenuti due importanti risultati nel campo dello sviluppo dei coated conductors: l’ottimizzazione delle proprietà di trasporto con l’impiego di un film intermedio di Pd e l’applicazione di tecniche chimiche di crescita di film di YBa₂Cu₃O_{7-δ} (YBCO). Nel primo caso, è stato osservato in due differenti tipi di substrati Ni₉₅W₅ (Ni-W) e Ni₈₈Cr₈W₄ (Ni-Cr-W) che l’introduzione di un layer di Pd tra il substrato e i cosiddetti strati di “buffer layers” migliora considerevolmente le proprietà strutturali e superconduttive. Nel caso di substrati di Ni-Cr-W, i nastri di YBCO con l’introduzione di Pd migliorano di più di ordine di grandezza la J_c arrivando a 5 x 10⁵ A/cm² a 77 K. Per le lamine di Ni-W, anche se l’aumento di J_c deve ancora essere quantificato, il sottile strato di Pd determina un miglioramento sorprendente del grado di allineamento dei grani del film di YBCO (superiore anche del 50% rispetto al caso senza layer intermedio di Pd). Questo dato fornisce ottime prospettive considerando che l’allineamento dei grani è il primo fattore limitante le proprietà di trasporto nei nastri di YBCO.

Per quanto riguarda le tecniche di deposizione mediante soluzione chimica sono stati conseguiti ottimi risultati con il metodo denominato “TFA-MOD” studiato in collaborazione con l’Università TUCN di Cluj (Romania). Ottimizzando la tecnica ed adattandola al caso dei nastri metallici, sono stati ottenuti film di YBCO di elevata qualità strutturale e superconduttiva con T_c ≈ 92 K. Va sottolineato che le tecniche di deposizione mediante metodi chimici rappresentano una enorme possibilità per i nastri coated conductors perché renderebbero più economico e semplice il processo di fabbricazione.

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

Il funzionamento del Large Hadron Collider, il nuovo acceleratore di particelle in costruzione al CERN, richiede per il suo funzionamento circa 8000 magneti superconduttori, operanti a diversi valori di corrente.

Elementi essenziali per l’alimentazione di tali magneti sono i discendenti di corrente: questi rappresentano il collegamento elettrico fra le connessioni del generatore di corrente a temperatura ambiente, e le terminazioni superconduttive alla temperatura dell’elio liquido, che portano la corrente ai magneti. Tali dispositivi devono pertanto operare con un elevato gradiente di temperatura (300K-4K) e, a seconda del tipo di magnete da alimentare, a correnti fra 600A e 13000A. In fase operativa saranno necessari circa 1000 discendenti.

Nel 2004, a seguito di una gara internazionale, l’ENEA si è aggiudicata il collaudo criogenico di 453 discendenti per un prezzo di circa 1 milione di euro.

Una volta creato il gradiente di temperatura lungo i discendenti, il test consiste nell’alimentare per circa un’ora i discendenti stessi con la corrente per cui sono dimensionati, controllando che

i parametri che ne indicano il corretto funzionamento (caduta di tensione lungo la parte resistiva e temperatura della sezione superconduttiva) si mantengano nei valori di sicurezza. Nel corso del 2004 è stato progettato e realizzato l'intero apparato sperimentale per i collaudi e ha iniziato con pieno successo la campagna sperimentale che si concluderà nel 2006.

Tecnologie della fusione

Applicazione del processo di giunzione per diffusione "Hot Radial Pressing" ai compositi di grafite

Il processo di giunzione per diffusione denominato Hot Radial Pressing, già brevettato per giunzioni tra tubi in rame e tegole in tungsteno, è stato ulteriormente sviluppato per poter essere utilizzato anche con tegole in grafite composita.

Il problema da affrontare era duplice. Da un lato, era necessario pre-trattare la superficie della grafite, in modo da far aderire il rame e realizzare una corrugazione per aumentare l'area di contatto e, allo stesso tempo, formare una zona di transizione tra rame e grafite che riducesse gli sforzi dovuti al ritiro differenziale; dall'altro, trattandosi di un processo nel quale si utilizza una pressione elevata (circa 700 bar), era necessario sviluppare un sistema di contenimento della grafite in modo da non danneggiarla durante la pressurizzazione.

L'attivazione della superficie è stata ottenuta tramite uno speciale processo di brasatura seguita da una colata di rame fuso; la corrugazione è stata realizzata scavando dei solchi elicoidali; il sistema di contenimento è stato ottimizzato con una fase di progettazione molto dettagliata che è stata necessaria per scegliere i materiali e le geometrie da utilizzare.

Il campione realizzato applicando questa tecnica è stato testato con successo fino a un flusso termico di 25 MW/m².

Grazie a questo risultato è stato possibile ottenere insieme ad Ansaldo un ordine di fornitura di componenti per ITER a cui si darà esecuzione nel 2005.

Il nuovo processo è stato brevettato come estensione del precedente brevetto.

Indentatore portatile

È stato ideato un sistema portatile di prove meccaniche per la caratterizzazione dei materiali basato sul principio dell'indentazione basata. Il sistema permette di effettuare prove sul campo e su componenti reali invece che su provini. Il sistema è stato brevettato insieme all'Università di Tor Vergata.

Membrane di palladio ad altissimo assorbimento di idrogeno

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. L'interesse suscitato nel campo degli esperimenti di fusione fredda in altri laboratori pubblici e privati è stato molto forte tanto che una società americana (la Energetics) ha commissionato materiale e consulenza per un valore di 100 k€ per il solo 2004; il contratto è stato rinnovato per il 2005.

8.2. Il progetto IGNITOR

Durante il 2004, è proseguita la progettazione di IGNITOR che è pervenuta ad un grado di definizione tale da permettere l'emaneazione delle gare per il 75% dell'intero apparato.

Precisamente, i componenti per i quali si può ritenere conclusa la progettazione, anche a valle di un lavoro che negli anni ha visto la verifica sperimentale dei processi produttivi e la realizzazione di prototipi, sono le bobine per la generazione del campo magnetico toroidale, una parte delle bobine per la generazione del campo magnetico poloidale, la struttura meccanica di supporto dell'intera macchina, il criostato di contenimento della macchina alla temperatura di 30K, l'impianto di raffreddamento ad elio gassoso alla temperatura di 30K, il sistema delle alimentazioni elettriche pulsate della macchina. La progettazione dei rimanenti componenti verrà conclusa entro il 2005.

Appare a questo punto indifferibile una decisione circa la costruzione della macchina, pena la perdita di momento per tutto il progetto. Naturalmente, la realizzazione di IGNITOR non deve essere vista come un'azione alternativa ad ITER, ma piuttosto come un'azione complementare e di supporto per la costruzione di un'ampia data base della fisica del burning plasma, stato che solo ITER e IGNITOR possono studiare. IGNITOR è dunque un esperimento di elevatissimo livello scientifico, la cui realizzazione porterebbe ad un decisivo avanzamento nella necessaria comprensione della fisica del plasma in quelle che saranno le condizioni operative del reattore a fusione. IGNITOR consentirebbe ricerche complementari a quelle di ITER e permetterebbe di esplorare in anticipo scenari utili per ITER stesso, diventerebbe polo di attrazione mondiale per la sua valenza scientifica internazionalmente riconosciuta e, infine, consentirebbe all'Italia un rientro nel nucleare soft e privo di rischi ambientali.

Le attività svolte in ENEA nel 2004 hanno riguardato la continuazione della progettazione di dettaglio, anche per tener conto degli sviluppi teorici e sperimentali avvenuti nel campo della fusione. È inoltre da ricordare che le notevoli sollecitazioni termo-elettro-meccaniche imposte ai componenti più critici della macchina, per il raggiungimento dell'ignizione del plasma (risultato che attualmente solo IGNITOR si prefigge al mondo), unite alle dimensioni molto contenute della stessa, comportano notevoli stress sui materiali - tali da farli operare talvolta in regime non lineare - e richiedono, quindi, analisi di dettaglio spinte su molti particolari. La progettazione 2004 ha riguardato la camera da vuoto, la prima parete, gli avvolgimenti poloidali e toroidali (ottimizzati anche rispetto alle ricadute tecnico-economiche sulle relative alimentazioni elettriche), il remote handling e l'integrazione dei vari componenti di IGNITOR. Queste attività sono state condotte con il significativo contributo dell'industria nazionale ed il livello di maturità raggiunto è stato tale da poter avviare, in caso di decisione positiva sulla realizzazione della macchina, la stesura delle specifiche di gara per i principali componenti di IGNITOR (magnete toroidale, struttura di supporto, bobine poloidali).

Nel 2004 è stato dato anche un significativo impulso al progetto dei più importanti impianti ausiliari, come il sistema criogenico di raffreddamento a 30K, il sistema di alimentazioni elettriche pulsate (circa 2600 MW installati e circa 1000 MVA assorbiti dalla rete a 400kV), il sistema per iniettare contemporaneamente quattro pellet di D-T ad alta velocità (4 km/sec) nel plasma, il sistema di riscaldamento addizionale ICRH (nel campo di frequenza 80-120 MHz con potenza fino a 15 MW ad 80 MHz), il sistema da vuoto e del trizio. I sistemi criogenico e delle alimentazioni elettriche (studiati in collaborazione con l'industria nazionale ed estera) sono stati sviluppati ad un punto tale da poter avviare, se richiesto, la stesura delle relative specifiche di gara. Per il pellet è in via di realizzazione un prototipo full-scale in deuterio in collaborazione con Oak Ridge National Laboratories. Il sistema ICRH necessita di ulteriore sviluppo di dettaglio sia teorico che sperimentale (in collaborazione con Università e Centri di Ricerca anche internazionali) su alcuni componenti critici.

Nel 2004 è anche stata studiata, con successo, la fattibilità della sperimentazione remota di IGNITOR, costruito nel nord Italia, dai Laboratori ENEA di Frascati. Questo consentirebbe di

sfruttare tutta l'esperienza e la capacità di diagnostica dei ricercatori ENEA di Frascati, nonché molti sistemi di controllo e trattamento dati oggi esistenti in questi laboratori.

Un tale sistema costituirebbe poi un valore aggiunto a livello nazionale, consentendo una importante estensione della rete ad alta velocità per lo scambio veloce di grandi masse di dati.

8.3. *Sviluppo e uso di acceleratori di elettroni e protoni in terapia oncologica*

Alla fine del 2004, è stato predisposto quanto necessario al trasferimento del sistema IORT-1 per la radioterapia intraoperatoria nell'Ospedale di Cosenza dove la macchina è stata installata con successo nel gennaio 2005. Il Progetto IORT (IntraOperative Radiation Therapy), finanziato da MIUR/UE tramite la Legge 488/92 nell'ambito del Piano "Nuove Tecnologie Diagnostiche, Chirurgiche e Terapeutiche", è stato attuato dall'ENEA in collaborazione con esperti del settore e con l'industria nazionale. La terapia IORT consiste nell'erogazione di una dose unica ed elevata su un tumore o un letto tumorale esposto durante un intervento chirurgico tramite un fascio di elettroni prodotto da un acceleratore. In particolare, dal punto di vista tecnico, sono stati completati con successo i test previsti per l'ottenimento della marcatura CE, e dal punto di vista amministrativo è stato redatto un contratto di comodato gratuito con lo stesso presidio ospedaliero, che nel frattempo ha ottenuto i permessi necessari all'impiego clinico del sistema.

Nell'ambito della Convenzione tra l'Istituto Superiore di Sanità (ISS) e l'ENEA per la realizzazione di un acceleratore lineare di protoni (progetto TOP - Terapia Oncologica con Protoni), è stata progettata e realizzata una cavità di prebunching a 3 GHz a 3 gaps per la linea di trasporto del fascio dell'iniettore (7 MeV) che è stata misurata a piena potenza (1 kW di picco) senza dare problemi di multipactoring.

È stato infine progettato per la linea per la produzione di radioisotopi PET un sistema di trasporto del fascio basato sull'impiego di ottupoli allo scopo di ottenere una distribuzione trasversalmente uniforme sul "target".

8.4. *Modellistica e calcolo alte prestazioni*

Il grande strumento avanzato "Modellistica e calcolo ad alte prestazioni" rende disponibile un supporto di alto profilo nello svolgimento di attività di modellistica e simulazione e nello sviluppo di codici, tecnologie e sistemi per il calcolo, l'addestramento e il supporto alle decisioni, nei settori a maggiore impatto computazionale, complessità e trasversalità nel contesto programmatico dell'ENEA. Le attività vengono svolte nell'ambito di gruppi interdisciplinari di ricercatori, tecnologi e progettisti, appartenenti anche a organizzazioni esterne e riguardano un ampio spettro di problematiche fisiche, chimiche, strutturali e ingegneristiche di grande complessità.

In particolare, le attività svolte nel corso del 2004 hanno riguardato: architetture, componenti e tecnologie di calcolo e reti ad alte prestazioni; algoritmi, tecniche di modellistica e simulazione, sia numerica, sia qualitativa; sviluppo ed ottimizzazione di codici di calcolo; architetture basate su tecnologie ad Agenti Intelligenti per il monitoraggio e la riconfigurazione dinamica di sistemi e reti ad alta complessità; sistemi di addestramento e supporto alle decisioni basati sui concetti più innovativi di knowledge-management; realizzazione e analisi di modelli funzionali alla valutazione dell'affidabilità, della sicurezza ed della qualità dei servizi;

applicazioni di elaborazione di immagini e realtà virtuale; interfacce visuali avanzate per basi di dati e sistemi informativi multimediali ad elevato grado di usabilità.

Le principali applicazioni realizzate nel corso del 2004 hanno riguardato i seguenti settori:

- biotecnologie
- automazione e sicurezza di impianti, infrastrutture e sistemi complessi,
- patrimonio artistico.
- tecnologie per il nucleare

Applicazioni di modellistica e informatica avanzata alle biotecnologie

La convergenza tra il settore delle biotecnologie e la computer science comporta in ENEA il raggiungimento di interessanti risultati nei campi dell'analisi delle sequenze genomiche e proteomiche e della modellistica di sistemi biologici.

Con la conclusione del progetto SPRINT (MIUR/FISR) è stato portato a termine il lavoro di modellizzazione e di simulazione di una rete di proteine interagenti il cui comportamento presiede alla trasduzione del segnale, in una specifica classe cellulare. Questa attività, svolta in collaborazione con la società LayLine Genomics SpA di Castel Romano, ha prodotto come risultato la realizzazione di un server che (in modalità "asp") consente la simulazione del comportamento della rete ad un utente esterno. La disponibilità di tale modello ha consentito di approfondire aspetti connessi con l'influenza della struttura topologica di una rete di interattori chimici sulla sua funzionalità. Nello svolgimento della ricerca non sono stati trascurati gli aspetti connessi con la complessità computazionale. Pertanto è stata effettuata un'analisi di fattibilità per la realizzazione di un dispositivo dedicato in grado di effettuare una parte delle computazioni previste per la simulazione quantitativa della rete.

Nell'ambito delle attività di ricerca riguardanti l'analisi di sequenze geniche (progetto GENEFUN, finanziato dai Fondi Speciali del MIUR), svolte in collaborazione con l'Ospedale S. Raffaele (HSR) di Milano e il Dipartimento di Biologia dell'Università di Roma "Tor Vergata", sono stati ottenuti risultati di rilievo relativamente a:

- ottimizzazione della piattaforma di calcolo; è stato realizzato un coprocessore dedicato, formato da una catena di DSP (Digital Signal Processors), per l'incremento delle velocità di esecuzione dei codici;
- ottimizzazione (adattamento ad ambiente parallelo) dei codici di analisi delle sequenze geniche per la determinazione dei siti di trascrizione, con particolare riferimento alla ricerca di coppie di siti contestualmente attivati per la trascrizione del gene in proteina;
- messa a punto di nuovi modelli più efficaci per la ricerca dei fattori di trascrizione; in particolare è stata mutuata una tecnica algoritmica proveniente da un settore ingegneristico, modificata opportunamente per corrispondere alle richieste di un nuovo algoritmo ideato per la soluzione del problema di ricerca dei fattori di trascrizione.

Modellistica e calcolo per la sicurezza

L'utilizzo di strumenti ad alte prestazioni e di tecnologie avanzate per la simulazione, quali ad esempio le piattaforme di calcolo parallelo, consente di effettuare analisi di tipo what-if di grande utilità ed interesse al fine di valutare varianti decisionali, anche in tempo reale, in occasione di particolari emergenze.

La sicurezza delle infrastrutture critiche

Il progetto SAFEGUARD (5° programma quadro della ricerca europea) ha l'obiettivo di migliorare la capacità di sopravvivenza delle infrastrutture critiche di tipo "Information Intensive".

Il progetto è terminato ufficialmente nel giugno del 2004 e con esso si sono conseguiti i seguenti risultati:

- è stata messa a punto una piattaforma di integrazione per il sistema (composta da sette workstations connesse su rete locale); sulla piattaforma è integrato un simulatore della rete elettrica ed un emulatore del relativo sistema di supervisione e controllo (SCADA);
- la piattaforma contiene anche un ambiente software sul quale è possibile progettare, eseguire e controllare delle sequenze temporali di guasti o attacchi al sistema elettrico simulato;
- la piattaforma ha consentito la integrazione di vari componenti, sviluppati dai vari gruppi di ricerca in un ambiente agent-based, aventi lo scopo di diagnosticare anomalie dovute a guasti o attacchi sulla infrastruttura elettrica e di supportare l'operatore della rete nelle conseguenti azioni di salvaguardia;
- di particolare interesse sono gli agenti preposti al rilevamento precoce di anomalie sui processi (per la cui realizzazione ci si è avvalsi di tecniche di "event based reasoning"), anomalie nei flussi di informazioni (per cui si sono adottate tecniche di "Data mining"), corruzione dei dati (basati sull'utilizzo di reti neurali).

L'ottimizzazione e la sicurezza nei trasporti

Sistema Esperto SETRAM - Il progetto SETRAM (Sistema Esperto con funzioni di simulazione delle modalità di TRASporto Merci e di selezione dei percorsi sulla base di multicriteria) si propone di realizzare uno strumento particolarmente evoluto in grado di supportare gli operatori, che svolgono ruoli aziendali importanti nell'ambito della logistica delle merci, nei casi in cui debbano essere ponderate decisioni che prevedono una approfondita conoscenza ed esperienza operativa, anche di casi non ortodossi. Di fatto, SETRAM è in grado di calcolare, mirando ad una soluzione ottima o quasi ottima, i percorsi multi-modal, comprensivi di servizi logistici presso piattaforme attrezzate, di processi di spedizione dalla loro origine alla loro destinazione finale.

L'introduzione di un sistema esperto nei processi aziendali di una impresa di logistica risponde a tre ordini di requisiti:

- la rilevanza per l'azienda del problema da affrontare e risolvere;
- l'esistenza di conoscenze sparse ed eterogenee relativamente al problema;
- la scarsità di veri esperti e l'eccessivo costo per l'acquisizione e l'addestramento di nuove risorse umane.

In tali situazioni il Sistema Esperto incorporato in SETRAM è in grado di fornire utili risposte alle esigenze aziendali. Infatti, questo sistema propone soluzioni a istanze di servizi logistici, inerenti le fasi di pianificazione e programmazione delle spedizioni di merci di varia natura e con prassi di attuazione spesso intermodale (strada, rotaia, nave). Un approccio colloquiale ai problemi della organizzazione di spedizioni riflette, in maniera sufficientemente verosimile, la logica procedurale di un Operatore Logistico particolarmente esperto, facilitando in questo modo la manipolazione corretta di dati su clienti e merci. L'obiettivo è infatti quello di consentire a personale ancora non completamente operativo, di prendere decisioni con un efficacia prossima a quella di un Operatore molto preparato.

Il Sistema Esperto, per essere fruibile su territorio nazionale, si avvale della collocazione della piattaforma SETRAM su rete Internet e ha come fondamento una architettura basata su componenti eterogenei. Infatti, se da un lato il motore inferenziale è presente solo sul lato

server, al contempo questo Sistema Esperto è in grado di supportare un ragionamento multi-utente colloquiando contemporaneamente con più Operatori Logistici. La sua interfaccia utente, che opera all'interno di un generico Browser, è costituita da pagine dinamiche generate sulla base dello sviluppo di ciascuna interazione con l'utente. Così queste regole possono dispiegare il loro "ragionamento" sia attraverso la logica proposizionale (ad esempio: se merce deperibile, allora applicare priorità alla spedizione) che con la logica dei predicati (ad esempio: per ogni cliente classificato con un certo grado di importanza, applicare speciale convenzione tariffaria). Con questi strumenti, il sistema, inizialmente filtra le richieste inesaudibili e fornisce una vista preliminare sullo stato delle risorse che potrebbero essere assegnate alle richieste di specifici servizi.

La struttura del Sistema Esperto si basa sull'uso combinato di regole e algoritmi. Nella "costruzione" degli input per la fase algoritmica un modulo di processamento preliminare si occupa di raggruppare, spazialmente e cronologicamente, l'insieme delle domande che hanno merceologie compatibili, contribuendo in tale modo a ridurre la complessità computazionale del problema di ottimizzazione. Sintetizzando, il sistema esperto provvede a ritagliare lo spazio delle soluzioni, potenzialmente ammissibili, per gli algoritmi di ottimizzazione applicando vincoli e preferenze inserite direttamente dall'Operatore Logistico (ad esempio: richiesta esplicita di servizi in piattaforma logistica che tuttavia possono essere fruibili solo in determinati periodi) o residenti nella Base di Dati (ad esempio: transito vietato oppure obbligato attraverso nodi per problemi contingenti relativi alla rete infrastrutturale).

Ulteriori compiti del Sistema Esperto consistono poi nell'interpretazione delle soluzioni fornite dagli algoritmi, nella visualizzazione dei risultati e nel calcolo (nelle circostanze in cui ciò sia possibile) delle differenze tra le varie soluzioni risultanti, giustificando in tal modo le scelte operate. Con analogo principio, il Sistema Esperto si incarica di generare nuovi vincoli o rilassare quelli esistenti (ad esempio quello sui tempi di consegna di una spedizione) qualora un ottimo o un sub-ottimo non sia stato raggiunto, ma questa reiterazione può essere innescata sempre e solo su consenso dell'operatore logistico.

Progetto SAFETUNNEL - Obiettivo del progetto europeo SAFETUNNEL, concluso il 31/12/04, è stato la realizzazione di un sistema di tele controllo per il miglioramento della sicurezza nei tunnel alpini mono tubo. Il sistema è basato su rete pubblica mobile per connessioni in voce e dati (GSM e GPRS) tra veicoli strumentati ed il Tunnel Control Centre. L'attività ENEA nell'ambito di tale progetto è stata la modellazione del sistema di tele controllo e la sua validazione. A questo scopo, sono stati adottati i due approcci di seguito sinteticamente descritti.

- **Analisi funzionale del sistema di telecontrollo.**

Con questo metodo è stato possibile verificare le interazioni tra le politiche di controllo ed il dimensionamento della rete di comunicazione. L'analisi funzionale è stata condotta mediante tecniche di verifica formale basate su model checking. A partire dal modello del sistema di telecontrollo, che descrive con il necessario dettaglio la rete di comunicazione, sono state formalmente verificate alcune proprietà di sicurezza del sistema (tempo massimo di risposta della rete di comunicazione) in tutte le possibili combinazioni di condizioni di traffico veicolare del tunnel (registrazione di veicoli all'ingresso del tunnel, anomalie e guasti di veicoli, incidenti severi nel tunnel).

- **Analisi stocastica.**

Si tratta in questo caso di verificare se eventi di guasto/riparazione della rete pubblica mobile, combinati con eventi di sovraccarico di richieste di connessione, possono ridurre i margini di sicurezza previsti dal progetto. Per l'analisi è stato usato un

formalismo stocastico che è una estensione delle reti di Petri. Sono stati costruiti i modelli per la connessione in voce e dati e sono state condotte le misure.

Modellistica e calcolo per il patrimonio artistico

Le attività svolte in questo campo hanno riguardato l'applicazione di metodologie di elaborazione di immagini a fini diagnostici e l'utilizzo di tecniche di realtà virtuale per la fruizione remota di beni artistici e monumentali.

Per quanto riguarda il primo punto, in collaborazione con l'Università di Ferrara sono stati sviluppati metodi di indagine diagnostica basati sull'analisi multivariata di immagini spettrali.

Le immagini acquisite nelle varie bande dello spettro sono state rese congruenti dal punto di vista geometrico attraverso un opportuno pre-processing che ha tenuto conto delle caratteristiche ottiche e geometriche dello strumento di acquisizione. La metodologia messa a punto è stata applicata all'analisi del Crocifisso di San Damiano di Assisi e ha permesso di valutare, in modo obiettivo, lo stato di conservazione dell'opera.

Le tecniche di realtà virtuale sono state applicate, a titolo di sperimentazione, alla ricostruzione virtuale 3D di parte della Chiesa di Santo Stefano in Bologna (Cappella della Consolazione e Cortile di Pilato), nonché alle chiese del Santo Sepolcro e dei SS. Vitale e Agricola.

L'attività svolta dall'ENEA ha coperto tutte le fasi tipiche del processo di ricostruzione: la campagna di acquisizione degli elementi architettonici e pittorici, la modellazione tridimensionale, la realizzazione delle funzioni di navigazione in stereo 3D.

Modellistica e calcolo per le tecnologie nucleari

Calcolo ingegneristico

Nell'ambito dell'attività commissionata da EFDA-EURATOM (Accordo ENEA-EURATOM) riguardante la macchina a fusione ITER, è stata effettuata la simulazione numerica dei processi di saldatura ad arco sommerso con apporto di materiale delle casse per il contenimento delle bobine dedicate alla creazione del campo magnetico di confinamento del plasma.

Tecniche di modellazione analoghe a quelle impiegate per l'applicazione ITER, sono in fase di messa a punto nell'ambito del progetto IGNITOR, per la simulazione del processo di saldatura (laser + saldatura ad arco TIG) della camera da vuoto, iniziata nella seconda metà del 2004.

Realtà virtuale

In collaborazione con Sogin e l'Istituto di ricerca norvegese IFE, è stata messa a punto una versione aggiornata del sistema di modellazione tridimensionale e simulazione virtuale Virtualdecom, finalizzato alla visualizzazione, pianificazione ed ottimizzazione delle procedure di movimentazione e smantellamento delle scatole a guanti dell'impianto Plutonio dell'ENEA (CR Casaccia).

Sono state migliorate le caratteristiche di usabilità e flessibilità del sistema, il realismo simulativo dei movimenti dei manichini e delle apparecchiature, e sono state studiate ed inserite le procedure di smontaggio identificate dagli esperti dell'impianto, in modo da minimizzare la dose da irraggiamento proveniente dagli isotopi radioattivi presenti nelle scatole.

9. A.4 NUOVE TECNOLOGIE PER LA COMPETITIVITÀ

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

9.1. *Materiali funzionali e loro tecnologie di integrazione*

Le attività svolte nell'ambito di questo macroobiettivo sono orientate alla sperimentazione di nuovi materiali e delle relative tecnologie, fino alla loro integrazione in prototipi di sensori e di dispositivi elettronici.

Nel seguito, vengono illustrati i risultati tecnici ottenuti nel corso dell'anno.

Materiali funzionali "integrabili"

In questo settore le attività sono state focalizzate sullo studio di proprietà fondamentali e di caratteristiche funzionali di materiali quali vernici sensibili ai gas, polimeri compositi sensibili ai gas e semiconduttori organici.

Le vernici sensibili sono concepite per la rivelazione ottica di campi di pressione su componenti aeronautici e automobilistici: la infiltrazione dell'aria nel volume del materiale produce una variazione della sua luminescenza, misurabile con opportuni sensori ottici. Nel 2004, sono stati effettuati progressi sulla preparazione di nanoparticelle di silicio attive, e della matrice polimerica permeabile all'ossigeno che li deve contenere. In particolare, è stato sperimentato un polimero appartenente alla famiglia dei polisilsesquiossani.

Riguardo alla preparazione di compositi polimerici sensibili ai gas, per applicazione al rilevamento di gas inquinanti in ambiente urbano, è stata intensificata la comparazione dei materiali attivi, i quali variano la propria resistività in funzione dei gas circostanti. Si è arrivati a individuare e realizzare parzialmente un modello comportamentale termodinamico, che descrive la resistività in funzione della reazione con i gas e della composizione, e riproduce le curve di percolazione della corrente elettrica, ottenuta negli esperimenti.

Nel settore dei materiali semiconduttori organici e polimerici, sono stati investigati vari materiali semiconduttori elettroluminescenti ed altri materiali integrativi, che ne favoriscono la elettroluminescenza. Sono stati investigati in particolare degli strati intermedi che migliorano l'iniezione di corrente dai contatti, come il poli(3,4)etilendiossitiofene/polistirenesulfonato (PEDOT/PSS) e la polianilina drogata con acido canforsulfonico (PANI-CSA), che hanno anche la capacità di planarizzare il profilo degli anodi iniettanti, costituiti da ossido di indio e stagno (ITO), rispetto ai sottilissimi strati di semiconduttori organici (20 – 30 nm). Questi ultimi sono stati investigati sia nella forma molecolare: triidrossiquinolato di alluminio (Alq3), trimetilfenildifenildiamina (TPD), polivinilcarbazolo (PVK), sia in quella polimerica: polifluoreni e polioissadiazoli (provenienti da collaboratori esterni).

Una breve menzione meritano vari esperimenti di ricerca fondamentale eseguiti nel 2004, che afferiscono al settore delle nanotecnologie. In particolare è stato realizzato un "interruttore" a base di nanotubi di carbonio e cristalli liquidi, che cambia la propria conducibilità di diversi ordini di grandezza allorché i nanotubi vengono trascinati a piacere dalle molecole di cristallo liquido. Inoltre, è stata studiata la deposizione e l'immobilizzazione su diverse superfici di DNA e di virus vegetali filamentosi che potrebbero essere idonei per favorire il nano-assemblaggio di semiconduttori; nonché la deposizione di strati di platino ad altissima uniformità per la realizzazione di nano-elettrodi.

Integrazione dei materiali in dispositivi e prototipi

Le principali realizzazioni del 2004 consistono nella fabbricazione di sensori per gas e per applicazioni biomediche, e di diodi elettroluminescenti, concepiti per un futuro trasferimento agli schermi piatti.

Per i sensori a base di compositi polimerici, è stata studiata la stabilità e l'isteresi dei sensori di NO_2 , basati su una membrana di silicio poroso sensibile, mettendo a punto un processo di pre-trattamento a temperatura ambiente che permette di migliorare sia la risposta dinamica che di ridurre l'isteresi. Inoltre è stato fabbricato e caratterizzato un sensore di umidità relativa con struttura a diodo, ed è iniziato lo studio e la fabbricazione di silicio poroso per la realizzazione di un sensore per l' SO_2 . Tali sensori confluiranno in una centralina multi sensore, per la analisi in campo della qualità dell'aria, realizzata su specifiche dell'ENEA.

Per i sensori di gas a base di onde acustiche, sono state studiate le proprietà funzionali dei nanotubi di carbonio per la rivelazione di vapori organici polari e non-polari (etanolo, etilacetato, toluene) caratterizzati mediante trasduttori ad onda acustica superficiale e trasduttori a microbilancia di quarzo. È stato progettato e sviluppato un sistema a 24 canali per sensori eterogenei (acustici e resistivi), ed è in corso di sviluppo l'elettronica ed il relativo hardware per un sistema di sensori acustici per il monitoraggio di liquidi.

Nel settore dei dispositivi biomedici, dedicati alla identificazione di DNA e proteine tramite la rivelazione elettronica della fluorescenza di opportune molecole biologiche marcate, sono stati selezionati i materiali biologici di riferimento ed identificato nella Ficoeritrina il colorante che meglio si accorda con la sensibilità spettrale dei fotodiodi su vetro, funzionanti, che ENEA ha realizzato presso il centro di Portici, integrandoli con transistori realizzati al CNR. Allo stesso settore dei dispositivi biomedici afferiscono i dispositivi di rivelazione dei raggi gamma, emessi da opportuni traccianti radioattivi inseriti in radiofarmaci (sensori a scintigrafia). Nel corso del 2004, è stata studiata l'architettura generale del dispositivo e sono stati effettuati i test preliminari dei rivelatori a stato solido (fotodiodi a valanga), elaborando gli schemi della elettronica di discriminazione e conteggio.

Nel settore dei diodi elettroluminescenti (OLED), sono stati realizzati svariati dispositivi: a doppio strato con emissione nel verde, generata da materiali organici del tipo TDP e Alq_3 , che hanno tensione di accensione (VON) di circa 3 volt; a doppio strato e singolo strato, con polimeri e oligomeri ossadiazolici sintetizzati alla Università di Salerno (blu, $\text{VON}=8\text{-}12\text{ V}$); a doppio strato, a base di polimeri fluorenici del Politecnico di Bari (blu, $\text{VON}=7\text{-}8\text{ V}$). È stato identificato completamente il processo di fabbricazione generale dei diodi; la versione a base di Alq_3 è stata oggetto di un trasferimento di know-how ai laboratori STM di Catania, nel luglio 2004.

Nuove tecnologie

Sono stati infine elaborati i piani di attività per avviare la sperimentazione di nuove tecnologie nel contesto del progetto CAMPEC. In particolare, verrà realizzato uno specifico laboratorio, dedicato ai trattamenti di film polimerici high-tech per l'elettronica e la sensoristica e alle tecnologie di stampa diretta dei materiali funzionali. Sono stati definiti e sono in via di approvvigionamento: un sistema di irraggiamento laser per il trattamento superficiale di coatings su rulli polimerici high-tech, un sistema di stampa completo per la stampa ink-jet di materiali funzionali su rulli di polimero, un sistema di goffratura per la funzionalizzazione morfologica dei polimeri termoplastici mediante la loro microstrutturazione superficiale.

9.2. *Qualificazione di materiali e componenti e metodologie di misura e metrologia*

Nel campo della qualificazione di materiali e dispositivi per l'ingegneria civile sono state completate numerose campagne di prova come previsto nei diversi progetti finanziati dal MIUR (direttamente o attraverso commesse da parte di partecipate ENEA quali CETMA, TRE, ecc.).

In particolare, sono state sperimentate alcune tecnologie di consolidamento, recupero ed adeguamento di edifici ed infrastrutture civili in zona sismica, basate sull'applicazione su calcestruzzo di fibre di vetro o carbonio su base polimerica (FRP), e sono state concluse le relative prove dimostrative di durabilità mediante invecchiamento accelerato.

Sono state messe a punto e validate le procedure di prova, inclusi gli invecchiamenti accelerati, di alcune applicazioni quali FRP su muratura e tecniche CAM e sono inoltre iniziate le attività sperimentali.

È stata effettuata la progettazione, la realizzazione e la messa in funzione di un sistema di monitoraggio ad ultrasuoni tale da permettere il controllo on-line delle variazioni delle proprietà elastiche di resine consolidanti per l'edilizia e di compositi polimerici. I dati raccolti con gli ultrasuoni verranno confrontati con quelli delle prove meccaniche effettuate su campioni con la stessa storia, al fine di trovare una correlazione tra moduli dinamici e moduli statici del materiale in esame.

È stato notevolmente rafforzato il posizionamento strategico dell'ENEA nel campo delle prove dinamiche e di vibrazione, con particolare riguardo alle prove sismiche, mediante:

- la stipula di un accordo di collaborazione con il consorzio Reluis (Rete di Laboratori Universitari per l'Ingegneria Sismica, formato dalle Università Federico II di Napoli, di Basilicata, di Pavia e di Trento) ed il Dipartimento della Protezione Civile. Dato il carattere volutamente complementare dei laboratori Universitari con quelli dell'ENEA l'accordo offre una rete di laboratori unico in Europa per potenziale tecnologico;
- il consolidamento del ruolo dei laboratori della Casaccia nella rete europea INTRAEDGE che vede la partecipazione di tutti gli istituti europei dotati di laboratori per prove dinamiche;
- il potenziamento degli stessi laboratori (tavole vibranti) mediante la progettazione esecutiva, fatta interamente da ENEA, e l'avvio della costruzione di un sistema attuatore dinamico da 250 kN e struttura di contrasto che consentirà la esecuzione di prove dinamiche su particolari strutturali (travi, pilastri ecc);
- la progettazione esecutiva, fatta interamente da ENEA, e l'avvio della costruzione di un sistema per prove combinate di sollecitazioni pseudo dinamiche (attuatore da 250 kN), temperatura, umidità, UV, da installarsi presso il centro di Portici nell'ambito del progetto CAMPEC. Tale struttura è unica in Europa.

Per quanto riguarda le applicazioni industriali è stato messo a punto un sistema automatizzato per la identificazione con ultrasuoni di difetti di saldatura su palette di turbine per uso aeronautico mediante tecnica phased array (AWFORS).

Inoltre è stato messo a punto il sistema di misura C-Scan per analizzare differenti tipologie di giunto (laminato in PP fibrorinforzato, materiale nanocomposito, ecc.) al fine di individuare elementi di criticità delle fasi assemblaggio di strutture realizzate con profilati in termoplastico, materiale che si vorrebbe utilizzare per la realizzazione di carrozze ferroviarie.

È stata avviata la valorizzazione dei laboratori metrologici della Trisaia realizzati nell'ambito dell'Intesa di Programma ENEA-MIUR. I laboratori di "Controllo Qualità" (camere

climatiche, CND, ecc.) e le relative competenze sono stati utilmente e pienamente inseriti in nuovi progetti finanziati dal MIUR ed indirizzati verso la specializzazione “metodologie e prove di invecchiamento accelerato”.

9.3. *Metodi e processi di sintesi e caratterizzazione di materiali nanofasici e nanostrutturati*

Sintesi e caratterizzazione di metalli e di semiconduttori sotto forma di nanoparticelle

Per la sintesi di nanofasi metalliche e semiconduttrici sono stati messi a punto protocolli semplici e scalabili, che consentano il controllo delle caratteristiche dimensionali attraverso i parametri di processo. È stato messo a punto un metodo innovativo di sintesi di nanoparticelle di CdS mediante pirolisi di opportuni precursori direttamente in matrice polimerica per applicazioni in dispositivi elettroluminescenti (LED) e fotovoltaici. Inoltre, è stata esplorata con successo la possibilità di inglobare le nanoparticelle metalliche in matrici vetrose tramite sol-gel.

Per quanto riguarda la sintesi di nanofasi mediante impiantazione ionica, sono stati approfonditi gli studi sulla sintesi di nanofasi di leghe magnetiche a forte anisotropia ($\text{Pd}_x\text{Fe}_{1-x}$) e composti semiconduttori III-V (InP) in matrice amorfa mediante impiantazione sequenziale accompagnata da trattamento termico, individuando i limiti e le potenzialità della metodologia e delineando le strategie per la sintesi di materiali con forte potenzialità tecnologica.

Per quanto riguarda la manipolazione di nanoparticelle mediante elettrodeposizione, sono stati ottimizzati i parametri di processo per substrati con differenti caratteristiche chimico strutturali e geometriche depositando clusters di Ni monodispersi, sia su supporti piani che su fibre di carbonio, con lo scopo di realizzare catalizzatori adatti alla crescita di nanotubi di carbonio.

Le attività di modellistica su scala atomica hanno fornito supporto all'analisi degli spettri sperimentali di diffrazione di raggi X e di ELNES, attraverso la simulazione mediante dinamica molecolare classica di piccoli cluster di Co e Au, ricavandone dati termodinamici, spettri di fononi e strutture di equilibrio.

Materiali nanostrutturati per applicazioni energetiche

La messa a punto di processi per produrre idrogeno mediante cicli termochimici basati sull'acqua ha visto la sintesi di ferriti miste di manganese in forma nanofasica mediante meccanochimica e chimica delle micelle, che hanno consentito di individuare cammini di reazione ad elevatissimo rendimento sia per quanto riguarda la reazione diretta che per quella inversa. Il processo è stato oggetto di un brevetto.

Per quanto riguarda i materiali per lo stoccaggio di H_2 , le attività hanno seguito due filoni relativi al trattamento di quantitativi significativi di materiali tradizionali ed allo sviluppo di leghe leggere.

Nella prima attività, è stato sviluppato un processo meccanochimico per leghe AB_5 e sono state individuate le condizioni ottimali per ridurre il deterioramento delle capacità di accumulo in esercizio. È stata inoltre brevettata una procedura per la macinazione di leghe idrurabili ad alta reattività ambientale.

Per quanto riguarda le leghe a base di Mg, sul sistema Mg-Fe è stata indotta una veloce cinetica di desorbimento che consente il rilascio di circa il 5 wt% di H_2 in 3000s a 265°C, ottimizzando congiuntamente la quantità di catalizzatore ed i parametri di processo. Si sono poi trovate le

condizioni per la sintesi di materiale composito a base Mg_2NiH_4 (35 wt.%) - MgH_2 (65 wt.%) che, mantenendo una elevata capacità di accumulo rilasci idrogeno con cinetica veloce a temperature dell'ordine di 300°C grazie ad effetti sinergici che si instaurano fra le due fasi. Dal punto di vista della modellizzazione teorica, lo studio della formazione di una soluzione solida Mg:H , da considerarsi come ipotetico precursore dell'idruo stechiometrico, ha permesso di evidenziare aspetti importanti dell'energetica del legame di H interstiziale in Mg metallico con una metodologia che verrà estesa a soluzioni solide contenenti anche metalli di transizione.

Sintesi e caratterizzazione di nanotubi di carbonio

Le attività di sintesi sono proseguite lungo due direttrici: deposizione chimica da fase vapore (CVD) e scarica ad arco in ambienti non convenzionali.

L'attività mediante CVD è stata indirizzata verso lo sviluppo di nuovi dispositivi sperimentali e verso la comprensione dei meccanismi di crescita. Nel primo caso, è stata condotta una intensa attività di messa a punto del reattore CVD termico (realizzato nell'anno precedente) ottimizzandone la resa; come risultato, è possibile ottenere 15mg di prodotto (costituito prevalentemente da CNT) per mg di Ni, utilizzando un catalizzatore commerciale in pellet. Per quanto riguarda invece la crescita di CNT su substrati patternati mediante HFCVD, sono state condotte prove di crescita su substrati piani costituiti da multistrati sottili basati su elementi diversi dal Ni (precedentemente studiato ed ottimizzato), con lo scopo di ottimizzarne la densità, la qualità e la orientazione.

Per quanto riguarda la scarica ad arco, è stata collaudata la nuova apparecchiatura in grado di omogeneizzare la scarica e di mantenerne costante la corrente. E' stata messa in luce la possibilità di influenzare la tipologia di nanocarbonio sintetizzato, variando la potenza della scarica e l'ambiente di sintesi. Si è messa a punto una procedura di sintesi - in significativa quantità e senza la necessità di alcun catalizzatore - di nanostrutture di carbonio a parete singola (nanohorns).

È stata modellizzata la struttura atomica ed elettronica di nanotubi metallici saldati in maniera covalente identificando un comportamento a punto quantico della regione di saldatura. La conducibilità classica di una rete di nanotubi dispersi in matrice dielettrica ed in contatto superficiale è stata poi studiata mediante modelli di meccanica statistica, evidenziando il ruolo della resistenza di contatto e razionalizzando una ampia base di dati sperimentali apparentemente contrastanti.

9.4. Processi e tecnologie di sintesi, trattamento e rivestimento di materiali e componenti

Rivestimenti a base di carbonio con tecniche CVD

Sono stati realizzati rivestimenti di diamante policristallino e nanocristallino su bundles di fibre di carbonio di tipo commerciale, sia Pan che Pitch, adottando una procedura di preparazione del campione e parametri di crescita ottimizzati precedentemente. Sono quindi iniziate le prove di immersione delle fibre rivestite in matrici polimeriche e sono state eseguite prove meccaniche preliminari sui compositi così ottenuti al fine di valutare l'eventuale miglioramento di prestazioni rispetto a un composito di tipo tradizionale. Al contempo, è stato perfezionato il processo di crescita di nanotubi di carbonio sulle stesse fibre commerciali, ottenendo un nuovo materiale composito, che combina le proprietà delle fibre su scala micrometrica con quelle dei nanotubi su scala nanometrica. Il materiale così ottenuto è potenzialmente un elemento di rinforzo innovativo per compositi a matrice polimerica tradizionalmente rinforzati con fibre di

carbonio, in quanto le proprietà all'interfaccia fibra-polimero verrebbero modificate e presumibilmente migliorate dalla presenza dei nanotubi.

E' stato inoltre realizzato e caratterizzato un sistema di polarizzazione del substrato nel reattore HFCVD. E' stato quindi avviato lo studio sugli effetti della polarizzazione del substrato sulla densità di nucleazione del diamante, ottenendo una densità di nuclei di 10^{11} nuclei/cm².

Deposizione di strati catalitici su elettrodi per celle a combustibile ad elettrodi polimerici (PEFC).

Le attività descritte in questo paragrafo sono attività preliminari allo svolgimento del Progetto "Celle a Combustibile", già approvato dal MIUR, che avrà inizio nel 2005.

Sono state avviate attività sperimentali volte alla realizzazione di elettrodi innovativi per PEFC, utilizzando tecniche di deposizione di film sottili, basate su processi di deposizione fisica da fase vapore (PVD) e di elettrodeposizione galvanostatica a singolo impulso (GED) e ad impulsi multipli (PED). L'utilizzo di tali tecniche permette di localizzare il catalizzatore esclusivamente sullo strato più superficiale dell'elettrodo, riducendo di fatto la quantità di materiale impiegato rispetto a tecniche di preparazione tradizionali. Inoltre, la superficie catalitica attiva viene massimizzata, ottenendo una densa distribuzione di nanoparticelle piuttosto che un film continuo. Cluster di Pt ad elevata densità sono stati depositati mediante RF sputtering su substrati tradizionali a diffusione gassosa e hanno mostrato un'attività catalitica di un ordine di grandezza superiore a quella di elettrodi commerciali. Questo risultato, ottenuto impiegando una quantità di Pt pari a 0.01 mg/cm², si attesta tra le migliori prestazioni riportate in letteratura per carichi di un ordine di grandezza superiori.

Analoghi risultati sono stati ottenuti con elettrodeposizione. Sono state inoltre effettuate prove preliminari di deposizione del catalizzatore su nanotubi di carbonio, allo scopo di verificare se l'attivazione del Pt sia ulteriormente migliorata dell'interazione con tale tipo di supporto. Le tecniche GED e PED hanno consentito di controllare la morfologia delle particelle di Pt (20-70 nm) e di ottenere una nanostruttura superficiale costituita da particelle di 2-4 nm estremamente reattive nei confronti dell'ossidazione del metanolo.

Deposizione di film sottili e spessi

Sono stati realizzati e studiati singoli strati di nitruri di metalli di transizione come ZrN, Zr₃N₄, TiN. Un modello di crescita (sputtering reattivo con assistenza di particelle energetiche) è stato messo a punto e testato in base ad un'analisi composizionale e strutturale. Multistrati ZrN/TiN sono stati realizzati al variare delle condizioni operative al fine di studiare i parametri che influenzano l'evoluzione di un multistrato in superreticolo e poi in un composito. Uno strain-gauge incollato sul retro di un cantilever di silicio è stato usato per misure di stress residuo in situ per coating metallici.

Sono stati realizzati, tramite co-evaporazione di grafite e metalli, i rivestimenti da utilizzare come materiali di riferimento certificati per le procedure di calibrazione dell'efficienza degli spettrometri a dispersione di energia di raggi x (EDS).

Sono state svolte attività inerenti il rivestimento di materiali mediante EPD (deposizione elettroforetica) con polveri ceramiche; in particolare, sono stati ottimizzati i parametri per la deposizione di un coating formato da polveri di allumina su vari substrati a geometria semplificata. È stata utilizzata una tipologia di trattamento non convenzionale - il fascio elettronico - per densificare lo strato deposto e migliorarne l'adesione al substrato. Con questo metodo sono stati raggiunti risultati più che soddisfacenti riguardo la densificazione di uno strato di polvere di allumina deposto su acciaio.

Tecnologie di giunzione e saldatura con fascio elettronico e laser

È stato analizzato lo stato dell'arte relativo all'impiego degli acciai nelle costruzioni navali ed è stato scelto il materiale più idoneo a quanto richiesto dalle specifiche predefinite (acciaio a grano fine normalizzato S460NL (UNI EN 10113-2) con spessori di 5 e 8 mm).

Sono stati definiti i parametri di saldatura laser, per lo spessore 5 mm, con accoppiamento testa-testa, ed è stata iniziata l'analisi metallografica.

Analoga procedura è stata seguita per la scelta delle leghe di alluminio. L'indagine sullo stato dell'arte ha indicato le leghe AA5383 (Sealium) e AA5059 (Alustar) come le più idonee per l'impiego navale, date le loro particolari caratteristiche meccaniche e di resistenza alla corrosione. Utilizzando lamiere da 3 e 6 mm, sono stati definiti i parametri di processo a fascio elettronico per le giunzioni testa-testa e a sovrapposizione e sono stati eseguiti gli accoppiamenti necessari alla realizzazione dei provini per le caratterizzazioni meccaniche e strutturali.

Per quanto riguarda il titanio, sono state utilizzate lamiere di spessore 3 mm (Grade 5) e 1,5 mm (Grade 2); su quest'ultimo tipo, sono state effettuate prove di saldabilità con laser Nd-Yag. Sono inoltre proseguite le attività di simulazione al calcolatore dei trattamenti superficiali e di saldatura mediante fasci ad alta densità di energia. In particolare, è stato elaborato un modello di calcolo avente lo scopo di modellizzare la formazione di plasma in presenza di ionizzazioni multiple del "plume" di evaporazione.

9.5. Materiali strutturali monolitici e compositi**Ceramici e compositi**

Nell'ambito del progetto europeo BAYHEX, che prevede la realizzazione ed il testing di uno scambiatore di calore ad alta temperatura con elementi di scambio in ceramico a base SiC, è stata completata la fase di montaggio dello scambiatore presso la centrale ENEL di Livorno. In parallelo alla fase di assemblaggio dello scambiatore di calore ad alta temperatura, è stata condotta una intensa campagna di caratterizzazione (materiale e componenti tubolari) i cui risultati sono stati utilizzati nella messa a punto di metodologie di verifica dell'affidabilità dei componenti, con entrambi gli approcci: probabilistico e deterministico. L'attività è stata richiesta dagli enti di certificazione per soddisfare le indicazioni, peraltro non ben definite, della normativa nazionale che non contempla l'esercizio, anche solo per sperimentazione, di dispositivi assimilabili a recipienti in pressione realizzati in materiali innovativi, che non risultano compresi negli elenchi dei materiali ammissibili.

Gli studi condotti hanno permesso di approfondire e mettere a punto le metodologie di progettazione di componenti realizzati con materiali a bassa tenacità e, in particolare, di trasferire i risultati delle prove sui campioni alla previsione di comportamento dei componenti reali. Le metodologie verranno validate attraverso le attività previste nello studio di rivestimenti ceramici di camere di combustione.

La bassa tenacità e la scarsa resistenza all'ossidazione in condizioni particolarmente aggressive sono limiti del SiC. Per il superamento di tali limiti, è stata avviata una fase di studio e sviluppo di nuove composizioni. I risultati ottenuti con nuove formulazioni di compositi a base SiC, per quanto riguarda la resistenza all'ossidazione, hanno portato alla presentazione di un brevetto.

L'impianto di infiltrazione in fase vapore, in corso di realizzazione e che sarà ultimato nel prossimo anno, è stato studiato e progettato con l'obiettivo di accrescere la velocità di deposizione della matrice nei processi di fabbricazione di compositi a fibre lunghe. Si

renderanno in questo modo disponibili, a costi compatibili con le applicazioni industriali, materiali compositi che contribuiranno a superare l'eccessiva fragilità dei ceramici monolitici. Nell'ambito della modellistica sono state svolte simulazioni di dinamica molecolare dell'interazione tra fibre lunghe e microcricche in carburo di silicio con il potenziale Tersoff. I risultati a scala atomica vengono integrati in modelli multicampo con microstruttura, sia come equazioni costitutive che come microcampi.

Il modello multicampo con microstruttura in fase di sviluppo è stato implementato in un codice ad elementi finiti sviluppato dall'ENEA (MUSCAFE) e permette l'introduzione di microcampi scalari aggiuntivi rispetto al tradizionale campo di spostamenti (Cauchy). Il solutore è limitato al caso bidimensionale, con un generatore esterno di mesh triangolare.

Polimeri

Le attività sui materiali polimerici si sono svolte principalmente su due linee.

La prima linea riguarda le tecnologie e i processi produttivi innovativi, con riferimento allo sviluppo e alla messa a punto di nuovi materiali polimerici additivati con polveri/materiali ultrafini e/o nanostrutturati destinabili ai settori packaging e trasporti. In particolare, sono stati oggetto di studio processi di sintesi di nanoparticelle di silice all'interno di un polimero "modello" e di CNTs da utilizzare come fase di rinforzo di compositi polimerici. Parallelamente, sono state sviluppate la preparazione e la caratterizzazione, sia dal punto di vista morfologico e strutturale sia da quello chimico-fisico (proprietà barriera, caratteristiche antifiamma), di miscele di resine termoplastiche (poliolefine e poliammidi) con polveri di fillosilicati lamellari, con attenzione alla montmorillonite.

La seconda linea riguarda le tecnologie e lo sviluppo applicativo dei materiali compositi a matrice polimerica in campo strutturale. Particolare attenzione è stata dedicata alla valutazione dell'invecchiamento dei materiali compositi sulle prestazioni del rinforzo strutturale. In riferimento all'applicazione dei materiali compositi nel rinforzo di elementi in cemento armato si è rilevato che le conoscenze degli effetti dell'invecchiamento sulle prestazioni strutturali sono molto carenti.

Sono state condotte prove in ambiente controllato con escursioni termiche nell'intervallo -30, +80°C, in condizioni di umidità controllata ed irraggiamento UV. Sono state condotte inoltre prove preliminari di applicazione di carichi statici (lungo l'asse e trasversali) per simulare condizioni di sollecitazione e deformazione dovute a fenomeni sismici.

Materiali tradizionali

Le attività svolte in questo campo hanno permesso di fornire un importante supporto alle imprese nazionali produttrici di materiali da costruzione in laterizio, attraverso lo sviluppo di metodologie di qualifica e la partecipazione alla stesura di normative Europee di riferimento per il settore.

Si sono consolidate le attività di qualifica e certificazione di prodotti per coperture, secondo le attuali normative europee, accolte da un numero significativo di importanti aziende, aderenti alla massima associazione Confindustriale del settore (ANDIL).

In accordo con le scelte del gruppo di lavoro per lo sviluppo di nuove normative europee (TC 128 del CEN), ed in seguito all'interesse delle industrie del settore, sono state consolidate procedure innovative, elaborate con il contributo significativo dell'ENEA, attualmente in fase di approvazione o discussione come norme Europee.

Riguardo ai prodotti in laterizio per murature faccia a vista, è stata completata l'attività di qualificazione secondo una nuova norma Europea, in fase di introduzione in Italia, che riguarda la caratterizzazione delle proprietà fisiche significative per l'esposizione ambientale (gelo/disgelo). I risultati di questa attività hanno permesso alle imprese di conoscere il livello di