



Nel 1989 Martin Fleischmann e Stanley Pons, due elettrochimici dell'Università dello Utah, annunciarono di aver prodotto energia, sotto forma di calore, da palladio deuterato, mediante procedimento elettrochimico. La cosiddetta "fusione fredda" fu difficile da ripetere attraverso gli esperimenti e fu in larga parte abbandonata. Alcuni istituti e laboratori di ricerca in Francia, Germania, Giappone, Russia, Stati Uniti e Cina hanno continuato però la ricerca in questo campo. In Italia l'ENEA ha brevettato un tipo di metallo che consente di riprodurre in modo affidabile la soglia di concentrazione di deuterio all'interno del reticolo di palladio, necessaria a innescare il fenomeno. A venti anni dall'annuncio di Fleischmann e Pons si è tenuta a Roma, dal 5 al 9 ottobre 2010, la XV Conferenza internazionale sui fenomeni nucleari nella materia condensata, cui hanno partecipato centocinquanta esperti provenienti da tutto il mondo. Si è trattato del maggior evento internazionale su questo tema durante il quale è stato fatto il punto sullo stato di avanzamento della ricerca, scambiando esperienze tra discipline diverse. Pensiamo sia utile e d'interesse per i nostri lettori riportare un'ampia rassegna delle tematiche affrontate nel corso della Conferenza, curata da Violante, Sarto, Castagna e Lecci dell'ENEA.

In tema di fonti rinnovabili, due articoli si occupano dell'energia eolica. Nel primo, Foresta Martin e Calcara ci offrono un breve excursus sull'età pionieristica dell'eolico in Italia, alla fine degli anni Trenta del secolo scorso, quando il fisico Antonino Lo Surdo lanciò l'idea di sfruttare il vento per produrre energia elettrica anche in Italia. Finita la guerra, il progetto non riuscì a decollare, perché l'Italia stava puntando sugli idrocarburi e sull'idroelettrico, e l'energia nucleare sembrava sufficiente a rispondere alla domanda di energia, a prezzi bassissimi. Nel secondo articolo Pagnoni e Bertasi presentano un quadro dell'impatto dell'eolico sull'avifauna, basato su numerosi studi internazionali condotti negli ultimi venti anni. Le conclusioni che se ne possono trarre non sono univoche, né aiuta molto la normativa nazionale e regionale, una ancora carente, l'altra a volte eccessiva. Prosini ci presenta le attività di ricerca ENEA nel campo della produzione d'idrogeno dall'acqua tramite cicli termochimici. Uno di questi, il ciclo NIS, originariamente sviluppato per essere alimentato da energia solare, potrebbe utilizzare energia termica prodotta da reattori nucleari di IV generazione per produrre grandi quantità d'idrogeno.

Borriello, De Maria e Schwarz illustrano un metodo alternativo per rendere più compatibili substrati inorganici idrofilici, quali i filosilicati, con matrici polimeriche idrofobiche. I risultati di una prima indagine dimostrano le potenzialità che la modificazione di substrati inorganici offre per lo sviluppo di materiali alternativi avanzati.

Di nuovi materiali, le fibre di carbonio attivato per il trattamento dei reflui dell'industria tessile, si occupano Donnaperna, Duclaux e Pietrelli. Nell'ambito di una collaborazione con un'università italiana e un centro di ricerca francese, è stata sperimentata, in ambito ENEA, l'applicazione dei tessuti a base di fibre di carbonio, nel trattamento di acque reflue derivanti dall'industria tessile. La ricerca rappresenta la migliore garanzia per assicurare a un paese competitività e benessere economico. L'Unione Europea è in ritardo, in termini di risorse umane impegnate in ricerca e sviluppo, rispetto agli Stati Uniti e al Giappone. Per questo motivo nuove iniziative sono state messe in campo per cercare di colmare questo gap. De Crescenzo le illustra brevemente nel suo articolo.

Nell'articolo di Manilia viene presentato un progetto attuato di concerto con la Regione Siciliana per lo sviluppo di un modello energetico che punti largamente sull'utilizzo di fonti rinnovabili. Si tratta di uno dei compiti dell'agenzia ENEA, di supporto tecnico-scientifico alle amministrazioni locali, in tema di energia.

Infine Amato fornisce un utile vademecum per le piccole e medie industrie per accedere ai progetti europei.

Il Direttore Responsabile
Flavio Giovanni Conti

primo piano

6

LA XV CONFERENZA INTERNAZIONALE SUI FENOMENI NUCLEARI NELLA MATERIA CONDENSATA (ICCF-15), SVOLTASI A ROMA DAL 5 AL 9 OTTOBRE 2009

ICCF-15: 15TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONDENSED MATTER NUCLEAR SCIENCE (ROME, 5-9 OCTOBER, 2009)

Vittorio Violante, Francesca Sarto, Emanuele Castagna, Stefano Lecci

riflettore su

18

UN PIONIERE DIMENTICATO DELL'ENERGIA EOLICA

A FORGOTTEN PIONEER OF WIND ENERGY

Franco Foresta Martin, Geppi Calcara

studi & ricerche

24

PRODUZIONE DI IDROGENO ED ENERGIA ELETTRICA CON REATTORI NUCLEARI DI IV GENERAZIONE

IV GENERATION NUCLEAR REACTORS FOR HYDROGEN AND POWER GENERATION

Pier Paolo Prosinì

38

L'IMPATTO DELL'EOLICO SULL'AVIFAUNA E SULLA CHIROTTEROFAUNA: LO STATO DELLE CONOSCENZE E IL TREND VALUTATIVO IN ITALIA

WIND ENERGY IMPACT ON BIRDS AND BATS: CURRENT KNOWLEDGE AND EVALUATION TREND IN ITALY

Gian Andrea Pagnoni, Fabio Bertasi

48

COMPATIBILIZZAZIONE DI NANOCARICHE INORGANICHE PER LA PREPARAZIONE DI COMPOSITI POLIMERICI

COMPATIBILIZATION OF INORGANIC NANOFILLER TO PREPARE POLYMERIC COMPOSITES

Carmela Borriello, Antonella De Maria, Massimo Schwarz

segue **studi & ricerche**

60

LE INIZIATIVE COMUNITARIE NEL SETTORE DEL CAPITALE UMANO IN RICERCA E SVILUPPO

EU INITIATIVES FOR R&D HUMAN CAPITAL

Vittorio De Crescenzo

64

NUOVI MATERIALI PER IL TRATTAMENTO DI REFLUI DELL'INDUSTRIA TESSILE: LE FIBRE DI CARBONE ATTIVATO

NEW MATERIALS FOR THE TREATMENT OF TEXTILE WASTEWATER: ACTIVATED CARBON FIBERS

Lucio Donnaperna, Laurent Duclaux, Loris Pietrelli

72

REGIONE SICILIANA ED ENEA PER L'ENERGIA, L'AMBIENTE E LO SVILUPPO: IL PROGETTO SICENEA

SICILIAN REGION AND ENEA FOR ENERGY, ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT: SICENEA PROJECT

Emilio Manilia

appunti di

78

ACCESSO DELLE PMI AI PROGETTI EUROPEI: ALCUNE INDICAZIONI PER L'USO

Flavia Amato

cronache

82

DAL MONDO, DALL'UNIONE EUROPEA, DALL'ITALIA, DALL'ENEA, EVENTI, LETTURE

dal Mondo 82
dall'Unione Europea 85
dall'Italia 88
dall'ENEA 91
Eventi 93
Letture 94

Bimestrale dell'ENEA
Anno 56, gennaio-febbraio 2010

Il contenuto degli articoli pubblicati è di esclusiva responsabilità degli autori.
La riproduzione di articoli o parte di essi deve essere autorizzata dall'ENEA.

Direttore responsabile

Flavio Giovanni Conti

Comitato tecnico-scientifico

Oswaldo Aronica, Paola Batistoni, Vincenzo Di Majo,
Stefano Giammartini, Massimo Maffucci, Emilio Santoro

Responsabile editoriale

Diana Savelli

Coordinamento redazionale

Paola Molinas

ENEA – Lungotevere Thaon di Revel, 76 – 00196 Roma
Tel. 06-36272907 – e-mail: paola.molinas@enea.it

Collaboratori

Giuliano Ghisu

Promozione

Paola Crocianelli

Traduzioni

Carla Costigliola

Progetto grafico

Bruno Giovannetti



Lo staff della rivista

Da sinistra: Stefano Giammartini, Paola Molinas, Oswaldo Aronica, Paola Crocianelli, Massimo Maffucci, Giuliano Ghisu, Vincenzo Di Majo, Diana Savelli, Flavio Giovanni Conti, Paola Batistoni, Emilio Santoro, Bruno Giovannetti (foto di Roberta Francescone)

Stampa

Fabiano Group srl - Regione San Giovanni, 40 - 14053 Canelli (AT)

Registrazione

Tribunale Civile di Roma - Registrazione in corso

Pubblicità

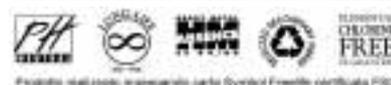
Fabiano Group srl - Regione San Giovanni, 40 - 14053 Canelli (AT)
Tel. 0141 827802 - Fax 0141 827830 - e-mail: info@fabianogroup.com

Abbonamento annuale

Italia € 21,00 + € 8,00 (spese di spedizione), Estero € 21,00 + € 15,00 (spese di spedizione);
una copia € 4,20 - C.C.P. n. 12439121 intestato a Fabiano Group srl
Tel. 0141 8278234 - Fax 0141 8278300 - e-mail: ordini@fabianogroup.com

Finito di stampare nel mese di marzo 2010

www.enea.it



Prodotto negli stabilimenti di proprietà della società Fabiano Group s.p.a. certificata PFC



Fabio Bertasi

Istituto Delta Ecologia Applicata, Ferrara

pag. 38



Franco Foresta Martin

Giornalista scientifico

pag. 18



Carmela Borriello

ENEA, Unità Tecnica Tecnologie Portici

pag. 48



Emilio Manilia

ENEA, Unità Tecnica Efficienza Energetica

pag. 72



Geppi Calcara

INGV e Archivio Centrale dello Stato

pag. 18



Gian Andrea Pagnoni

Istituto Delta Ecologia Applicata, Ferrara

pag. 38



Vittorio De Crescenzo

Parlamento Europeo,
Direzione Generale Politiche Interne,
Scienze and Technology Options Assessment

pag. 60



Loris Pietrelli

ENEA, Sezione Metodi e tecnologie per
la gestione dei rifiuti

pag. 64



Antonella De Maria

ENEA, Unità Tecnica Tecnologie Portici

pag. 48



Pier Paolo Prosinì

ENEA, Unità Idrogeno e Celle a Combustibile

pag. 24



Lucio Donnaperna

Università degli Studi La Sapienza,
Dipartimento di Ingegneria Chimica, dei
Materiali delle Materie prime e Metallurgia

pag. 64



Massimo Schwarz

ENEA, Sezione Tecnologie e processi di
trattamento e rivestimento dei materiali

pag. 48



Laurent Duclaux

Laboratoire de Chimie Moleculaire et
Environnement, Polytech Savie,
Le Bourget du Lac Cedex France

pag. 64

La XV Conferenza internazionale sui fenomeni nucleari nella materia condensata (ICCF-15), svoltasi a Roma dal 5 al 9 ottobre 2009

Vittorio Violante
Francesca Sarto
Emanuele Castagna
Stefano Lecci

ENEA, Unità Tecnica Fusione

La conferenza ha fornito approfondita presentazione tecnica e discussione critica dei risultati più recenti e dei progressi nel campo dei fenomeni nucleari nella materia condensata, ed ha promosso lo scambio di informazioni trasversale tra i diversi settori scientifici connessi con questa area di ricerca altamente interdisciplinare

ICCF-15: 15th International Conference on Condensed Matter Nuclear Science (Rome, 5-9 October, 2009)

The Conference has provided an in depth technical presentation and critical discussion of the latest results and development in the condensed matter nuclear science. It has also promoted the cross-disciplinary exchange of information between the several scientific fields related with such a highly-interdisciplinary research area

Sono trascorsi circa vent'anni dall'annuncio di Martin Fleischmann e Stanley Pons. I due elettrochimici dell'Università dello Utah sostennero, nel corso di una conferenza stampa, di aver prodotto energia, sotto forma di calore, da palladio deuterato mediante procedimento elettrochimico. Secondo l'interpretazione dei due elettrochimici la produzione di energia in eccesso era riconducibile ad una reazione di fusione tra nuclei di deuterio (isotopo dell'idrogeno) nella materia condensata.

Dopo l'annuncio, chi provò a ripetere l'esperimento di Fleischmann e Pons ottenne risultati molto contrastanti. Alcuni laboratori di vari paesi che provarono a ripetere l'esperimento non riuscirono a replicare quello che i due chimici dichiaravano di aver ottenuto. Poiché la riproducibilità è un fattore essenziale per la definizione di un fenomeno scientifico, la fusione cosiddetta "fredda" fu in qualche modo considerata ascrivibile a errori di misura, venendo di fatto abbandonata dalla maggior parte di ricercatori e laboratori. Soltanto un limitato numero di istituti continuò a studiare la materia.

Gli esperimenti, nel corso di questi anni, hanno messo in evidenza che, talvolta, l'eccesso di potenza si manifesta anche con una notevole vivacità. L'istituto californiano SRI International e la IMRA Japan osservarono, all'inizio degli anni 90, che si trattava di un fenomeno 'a soglia', vale a dire che l'eccesso di potenza si innesca solo se si raggiunge un livello di concentrazione di deuterio (ovvero di quantità di atomi di deuterio) all'interno del reticolo di palladio non inferiore ad un certo valore. Dopo diversi anni di studio, l'ENEA ha creato e brevettato una tipologia di questo metallo e un processo per realizzarlo, che consente di riprodurre in modo affidabile la soglia di concentrazione necessaria all'innescarsi del fenomeno.

I materiali prodotti sono stati forniti anche ad altri istituti, come, ad esempio, l'SRI e l'Energetics (Stati Uniti). Anche questi gruppi di ricerca hanno potuto constatare che l'utilizzo di questi materiali aumenta la probabilità di osservare il fenomeno della produzione di eccesso di potenza. Certo, non

si può ancora parlare di riproducibilità controllata, ma senza dubbio si tratta di un notevole passo in avanti nello studio del fenomeno.

Oltre all'Italia, con l'ENEA, l'INFN e alcuni Istituti universitari tra cui il Dipartimento Energetica dell'Università La Sapienza di Roma, vi è una ragguardevole attività negli Stati Uniti. Diversi gruppi svolgono attività di ricerca anche in Francia, Germania, Giappone, Russia e Cina.

Gli studi, sia teorici che sperimentali, condotti nel campo della scienza dei materiali hanno consentito di accrescere il controllo sul fenomeno e di creare le premesse per una sua completa comprensione. Su questo specifico tema cresce l'attenzione a livello di istituzioni: finanziamenti specifici sono stati stanziati in Italia dal Ministero per lo Sviluppo Economico attraverso il Progetto di ricerca "Generazione di Eccesso di Potenza in Metalli Deuterati", condotto dall'ENEA nel biennio 2006-2007. Tutti gli obiettivi fissati dal progetto sono stati ampiamente raggiunti. Anche negli Stati Uniti è in corso un processo di revisione del fenomeno, il lavoro di ricerca è supportato con fondi governativi ed ampio spazio è dedicato alla scienza dei materiali.

Gli incoraggianti risultati fino ad ora ottenuti in questo ambito, con segnali ben superiori all'incertezza di misura ed il trasferimento della riproducibilità, creano una premessa solida affinché il percorso intrapreso secondo questo indirizzo di ricerca continui nel futuro.

Per quanto concerne la natura del fenomeno, si può dire che, sulla base della scienza nota e in base alle misurazioni calorimetriche, è difficile spiegare i fenomeni che si osservano come effetti chimici. Una misura calorimetrica consiste nel bilancio tra la potenza che viene immessa dall'esterno nel sistema e quella che il sistema emette. Nel suo complesso, lo studio è ancora in una fase di ricerca fondamentale e ben lontano dal piano applicativo. Attraverso la ricerca di base occorre ricostruire, definire e comprendere lo scenario di fronte al quale ci troviamo.

Con questo spirito è stata organizzata e condotta

la XV Conferenza internazionale sui fenomeni nucleari nella materia condensata. Si tratta del maggior evento internazionale su questo tema, concernente principalmente la produzione di potenza in idruri metallici, meglio conosciuta come effetto Fleischmann&Pons.

La ricerca in questo campo si inquadra sostanzialmente come ricerca di base; tuttavia essa apre interessanti prospettive scientifiche collegate al tema, di grande attualità, delle energie rinnovabili e sostenibili.

Questa edizione della manifestazione ha avuto una valenza particolare, in quanto il suo svolgimento è coinciso con il ventesimo anniversario della scoperta dell'effetto della produzione dell'eccesso di potenza in palladio deuterato. All'incontro hanno partecipato numerosi esperti provenienti da tutto il mondo (circa 150).

La manifestazione si è svolta con il patrocinio della Società Italiana di Chimica, della Società Italiana di Fisica e del Consiglio Nazionale delle Ricerche. L'apertura dei lavori si è avuta con un intervento del Prof. Fleischmann, il quale ha ricordato l'evolversi della materia fin dalle sue origini nel 1989. Dopo il prof. Fleischman è intervenuto Il Dr. Renzo Tomellini della Direzione Generale del Dipartimento della Ricerca della Commissione Europea, il quale ha parlato del ruolo dei materiali nella società della

conoscenza e della funzione dell'EU attraverso il VII programma quadro. Il Prof. Luigi Campanella, Presidente della Società Italiana di Chimica, nel suo intervento, ha sottolineato il ruolo della chimica nell'energia e nella sostenibilità. Il Dr. Enzo De Sanctis, Vice Presidente della Società Italiana di Fisica, ha chiuso la sessione di apertura della manifestazione ricordando gli aspetti più importanti del lavoro di revisione scientifica in corso in questo settore della ricerca, ossia lo studio delle proprietà dei materiali e l'identificazione del fenomeno.

Il Prof. Robert Duncan, Research Vice Cancellor e Docente presso l'Università del Missouri, ha dato inizio alla prima sessione tecnica, dedicata all'effetto Fleischman e Pons, esponendo il suo punto di vista di osservatore "esterno" alla comunità scientifica che opera in questo settore.

Durante questa sessione, dedicata allo studio della produzione di potenza in eccesso nel palladio deuterato attraverso procedimento elettrochimico, sono stati presentati i risultati ottenuti presso l'SRI International, l'Energetics e l'ENEA nell'ambito dei recenti programmi di ricerca svolti in stretta collaborazione tra gli istituti. È stato dato particolare rilievo alla riproducibilità trasferita del fenomeno e al lavoro rivolto all'identificazione delle caratteristiche del materiale ritenute necessarie per l'ottenimento della produzione di potenza in eccesso.



Figura 1
Laboratorio di Calorimetria presso il centro ENEA Frascati
Fonte: ENEA

Il Naval Research Laboratory ha mostrato l'elevato livello dei risultati raggiunti nello studio dei materiali e nello sviluppo delle tecniche calorimetriche. Senza dubbio, nello studio dell'effetto Fleischmann e Pons, l'evidenza che identiche osservazioni sperimentali siano state effettuate in diversi istituti attraverso l'utilizzo di campioni di palladio, preparati in ENEA e provenienti da identici lotti di materiale, ha elevato il livello di attenzione nei confronti di questa disciplina. Questi risultati sono stati inoltre determinanti per il superamento delle *milestones* previste dai programmi di revisione ai quali si è fatto cenno in precedenza.

Negli esperimenti condotti in elettrolisi, è stata raggiunta una ampiezza dei segnali molto superiore all'incertezza di misura, con guadagni di potenza anche superiori al 500% e con diverse strumentazioni calorimetriche.

Gli studi, sia teorici che sperimentali, condotti nel campo della scienza dei materiali hanno consentito di accrescere il controllo sul fenomeno e di creare le premesse per una sua migliore definizione.

Sono state identificate numerose caratteristiche del materiale (palladio) necessarie per avere una significativa probabilità di osservare la produzione di potenza in eccesso. Resta tuttavia un problema non ancora risolto: quello di riuscire ad ottenere, in maniera riproducibile, un materiale con tali caratteristiche. Ciò ovviamente comporta l'assenza, allo stato attuale, del controllo sia della completa riproducibilità che dell'ampiezza del segnale termico prodotto.

Una sessione della conferenza è stata dedicata agli esperimenti condotti mediante caricamento gassoso del deuterio. Esistono sostanzialmente due tipi di esperimenti di caricamento gassoso: quello statico e quello dinamico. Nel primo caso, il deuterio penetra nel materiale fino al raggiungimento delle condizioni di equilibrio, mentre nel secondo caso il gas si solubilizza nel materiale e diffonde mantenendo uno stato di non equilibrio.

Esperimenti con deuterio gassoso sono stati condotti dai Professori Arata e Zhang presso l'Università di Osaka. Il deuterio compresso fino a circa 15 atm è stato inviato su letti di nano polveri di ZrO_2Pd_{35} , $ZrO_2Ni_3OPd_5$. Misure di temperatura hanno portato a stimare produzione di potenza fino

a 12 W per grammo di palladio nei materiali Zr-NiPd. Esperimenti simili sono stati condotti presso l'Università di Kobe, in collaborazione con la Tecnova e presso l'Università di Tohoku in collaborazione con la Toyota. Esperimenti di questo tipo sono stati condotti anche presso il Naval Research Laboratory di Washington DC, utilizzando zeoliti contenenti nano particelle di palladio. Le misure hanno evidenziato una produzione di calore con il deuterio superiore a quella ottenuta con l'idrogeno. Esperimenti con deuterio gassoso sono stati effettuati anche presso l'INFN.

Di solito, i guadagni di energia ottenuti con gli esperimenti condotti con deuterio gassoso sono risultati inferiori a quelli ottenuti con il procedimento elettrochimico. L'analisi di questi risultati comporta uno studio approfondito dell'interazione degli isotopi dell'idrogeno con le nano-particelle di palladio, partendo dai dati di letteratura che mostrano una notevole differenza tra i valori delle funzioni termodinamiche (i.e. entalpia) quando gli idruri sono ottenuti con nano particelle, rispetto ai valori ottenuti con dimensioni delle particelle metalliche superiori al micron.

Nel quadro dei fenomeni nucleari nella materia condensata, sicuramente le misure delle sezioni d'urto della reazione deuterio-deuterio a bassa energia costituiscono un elemento di novità che merita la massima attenzione.

È stato osservato sperimentalmente che le sezioni d'urto della reazione di fusione tra due nuclei di deuterio aumentano, rispetto alla reazione nel vuoto, anche di diversi ordini di grandezza, se la reazione avviene in materiali deuterati.

Il Prof. Kasagi, dell'Università di Tohoku, ed i Professori Huke e Chersky, dell'Università di Berlino, hanno mostrato i loro risultati relativi all'aumento della sezione d'urto della reazione deuterio-deuterio alle energie dell'ordine del KeV, quando questa reazione avviene in materiali come il palladio, l'ossido di palladio e in altri. La sezione d'urto, al decrescere dell'energia delle particelle, arriva ad aumentare anche di alcuni ordini di grandezza rispetto a quanto avviene nel vuoto o nei plasmi. Questo comportamento si spiega in termini di un forte effetto di *screening*, non noto fino a poco tempo fa. Anche se la reazione è condotta in maniera clas-

sica, con i tipici prodotti di reazione (neutroni, trizio, protoni ed elio tre), resta significativo il fatto che la materia condensata esercita un effetto tutt'altro che trascurabile sulla reazione di fusione.

Materiali

I materiali rivestono un ruolo cruciale nel settore delle reazioni nucleari a bassa energia nella materia condensata (LENR), non solo in quanto adeguate caratteristiche dei materiali sembrano essere una condizione necessaria per l'insorgenza di tali fenomeni, ma anche per ottenere l'affidabilità necessaria per aumentare la riproducibilità ed il controllo del loro verificarsi.

Elementi essenziali della ricerca sono la produzione dei materiali, la loro modifica e caratterizzazione prima, durante e dopo gli esperimenti. Data l'importanza centrale dei materiali, attenzione significativa è stata loro data durante l'ICCF-15.

Lo studio globale dei materiali richiede l'analisi sia della loro composizione che della loro struttura. La determinazione di tali caratteristiche, in particolare su scala nanometrica, sembra essere fondamentale per il raggiungimento della comprensione, della riproducibilità, del controllo e, forse, dello sfruttamento delle LENR.

Bemporad e i suoi collaboratori (Gruppo di Ricerca di Scienza e Tecnologia dei Materiali, Università "Roma Tre") hanno presentato una relazione sull'uso combinato di fasci di ioni focalizzati (FIB) e di micro e nano prove meccaniche per la caratterizzazione delle superfici dei materiali utilizzati negli esperimenti LENR: nel caso di materiali non omogenei e di rivestimenti, l'uso di tecniche di nano-indentazione, anche a profondità di indentazione molto bassa, può essere utile per una rapida identificazione di importanti aspetti micro-strutturali. In particolare, il lavoro presentato suggerisce metodi per eseguire misure di tensioni residue su fogli o tubi di Pd, e per esaminare la superficie e le proprietà meccaniche locali (anche inter-grano): gradienti di densità, modulo elastico reale e apparente, fenomeni di infragilimento.

Inoltre, si suggerisce la possibilità di effettuare indagini su siti specifici sulla superficie e sotto di essa: micro/nano-cambiamenti strutturali (concer-

nenti la formazione di microcavità); analisi elementare via FIB e mediante Microscopio Elettronico a Trasmissione (TEM) della superficie stessa e delle interfacce ai bordi di grano (gradienti); decorazione degli elettrodi o *patterning* per uno studio sistematico dell'influenza della rugosità sui microcambiamenti strutturali occorsi durante l'esperimento; *patterning* ad elevato rapporto di aspetto (ad esempio foreste di pilastri, *pillar forests*) per indagare il rapporto tra effetti di superficie e di volume e fluido-dinamici durante l'esperimento.

Li Voti ed altri (Dipartimento di Energetica, Università "La Sapienza" di Roma) hanno prodotto sia calcoli teorici che risultati sperimentali ottenuti analizzando fenomeni di *scattering* della radiazione luminosa. Il lavoro ha dimostrato la possibilità di stimare i parametri di rugosità di superficie attraverso misure di *scattering*, giungendo ad ottenere valori che sono in ottimo accordo con i dati forniti da misure effettuate con tecniche profilometriche e di microscopia a forza atomica (AFM). È stato inoltre proposto un metodo per prevedere la probabilità di eccitare plasmoni di superficie (modi di eccitazione collettiva degli elettroni associata alle oscillazioni del plasma di elettroni contenuti in un metallo; il plasmone è il quanto delle oscillazioni di plasma) su superfici rugose.

Sarto e collaboratori (ENEA, Centro Ricerche Frascati) hanno discusso il ruolo della morfologia e della rugosità della superficie dei catodi di Palladio nel caricamento elettrochimico di deuterio e nell'amplificazione e localizzazione della radiazione luminosa.

Il lavoro presentato ha sottolineato come gli scenari teorici suggeriscano che effetti elettro-dinamici siano coinvolti nella produzione di eccesso di calore; disomogeneità locali del campo elettro-magnetico (EM) incidono sulla cinetica elettrochimica e sulla ricostruzione dell'interfaccia metallo/elettrolita.

Il campo EM può essere amplificato in prossimità di un'interfaccia metallo-dielettrico tramite l'eccitazione di plasmoni di superficie (SP).

La rugosità superficiale e strutture morfologiche locali rendono possibile l'accoppiamento della sorgente di campo EM con i modi del SP, in quanto

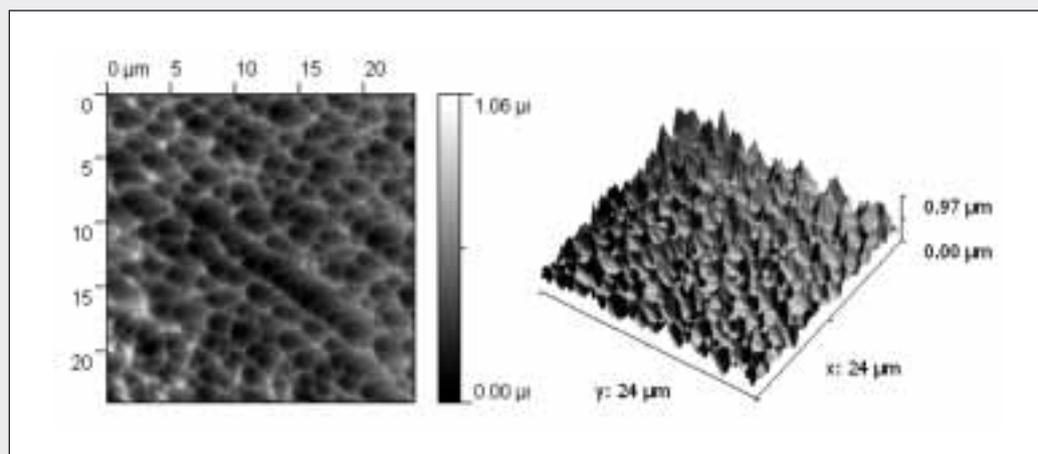


Figura 2
Immagine AFM 2D e 3D di un campione di Pd dopo attacco chimico
Fonte: ENEA

forniscono alla sorgente di campo EM l'incremento del vettore d'onda necessario a soddisfare la necessaria conservazione della quantità di moto: è il "contenuto" di vettore d'onda della morfologia superficiale (cioè lo Spettro di Potenza) che svolge il ruolo fondamentale nell'interazione con il SP. In particolare, i profili di superficie con valori più alti della *Power Spectral Density* (PSD) per valori del vettore d'onda corrispondenti alla condizione di accoppiamento, hanno una maggiore probabilità di sostenere modi propri dei plasmoni di superficie.

Il campo elettrico associato alla carica di oscillazione del SP è amplificato a causa del suo confinamento spaziale vicino all'interfaccia. Una fluttuazione di corrente elettrica nel doppio strato elettrochimico potrebbe innescare eccitazioni dei plasmoni di superficie fino a lunghezze d'onda dell'ordine della frazione di micron.

La morfologia superficiale dei catodi di Pd è stata caratterizzata mediante microscopia a forza atomica (AFM), dopo il caricamento elettrochimico di deuterio.

L'amplificazione del campo elettrico a causa dell'eccitazione del plasmone è stata stimata sulla base delle immagini AFM e dello Spettro di Potenza da queste ricavato. I risultati indicano che l'ampli-

ficazione di campo si può verificare su campioni che forniscono eccesso di calore.

Castagna e colleghi (ENEA, Centro Ricerche Frascati) hanno discusso l'interazione della radiazione elettromagnetica con la superficie di catodi di palladio idrurato. Nel lavoro presentato è stato considerato che la solubilizzazione di idrogeno o deuterio all'interno di un reticolo metallico e la formazione di un idruro metallico perturba in maniera rilevante gli elettroni ed i fononi del materiale ospite; di conseguenza, la densità degli stati elettronici del palladio si modifica all'aumentare della concentrazione di deuterio nel reticolo metallico.

Le variazioni della funzione dielettrica del palladio sono state considerate tenendo conto sia della formazione di idruro di palladio sia della presenza, in una interfaccia elettrochimica sotto polarizzazione catodica, di una elevata concentrazione di carica elettrica superficiale.

Sono state effettuate delle simulazioni le quali hanno mostrato come, su di una superficie di adeguata rugosità, l'eccitazione di plasmoni di superficie (SP) possa essere ottenuta sulla superficie di catodi di palladio idrurati o deuterati. Tale eccitazione, in condizioni adeguate, può dar luogo ad elevate amplificazioni del campo elettromagnetico. Una

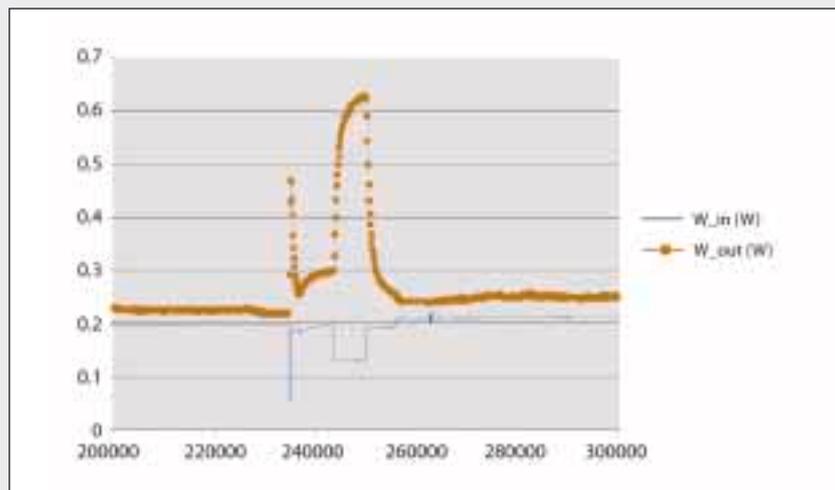


Figura 3
Eccesso di potenza osservato nei laboratori del Centro Ricerche ENEA di Frascati
Fonte: ENEA

modellizzazione avanzata dei processi che si verificano a livello sia dell'interfaccia elettrochimica che nel corpo del metallo sembra essere il primo passo verso l'ingegnerizzazione dei materiali. Violante (ENEA, Centro Ricerche Frascati), il *Chairman* della Conferenza, ha fornito la panoramica

di una collaborazione internazionale volta a trovare una correlazione tra le caratteristiche dei materiali e la produzione di eccesso di calore. Tale collaborazione include scienziati di due laboratori negli Stati Uniti (il Naval Research Laboratory e lo Stanford Research Institute International), di uno in Italia (Università "La Sapienza" di Roma) e uno in Israele (Energetics Technologies Ltd.). Il gruppo di ricerca ha utilizzato tecniche di diffrazione a raggi X per determinare l'orientamento cristallografico in lamine di Pd e tecniche di microscopia a forza atomica per misurare la rugosità superficiale dei campioni.

Le lamine di palladio caratterizzate sono state utilizzate come catodi in esperimenti di calorimetria in elettrolisi. È stato rilevato come campioni che presentano prevalentemente orientazione cristallografica secondo la direzione (100) e adeguata rugosità superficiale mostrino con maggior probabilità produzione di eccesso di calore.

Lecci e colleghi (ENEA, Centro Ricerche Frascati) hanno descritto il database utilizzato per tenere traccia dei molti campioni esaminati e dei risultati da questi ottenuti: un gran numero di catodi di palladio sono stati realizzati, in molti anni, per eseguire esperimenti di caricamento elettro-

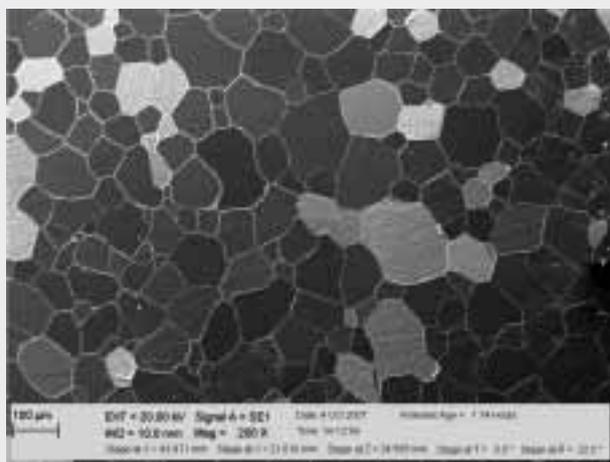


Figura 4
Tipica immagine SEM di un campione di Pd dopo attacco chimico. I grani ed i bordi grano sono ben visibili
Fonte: ENEA

chimico. Questi catodi hanno avuto, molto spesso, storie diverse riguardo ai processi di produzione, alle procedure di caratterizzazione e alle condizioni sperimentali. La necessità di mantenere traccia di tutte le fasi della “vita” di un catodo è stato il punto di partenza per la creazione di un *database*.

La struttura del database è stata organizzata cronologicamente: catodi più recenti sono aggiunti in sequenza, così come in sequenza vengono inserite le operazioni di recente eseguite su di essi. Tutte le informazioni memorizzate per ogni elettrodo sono facilmente accessibili tramite una semplice interfaccia. Il gran numero di informazioni, estese su un ampio periodo di tempo, hanno messo in condizioni, come mostrato in altri lavori degli stessi autori, di cercare di correlare statisticamente il comportamento sperimentale dei catodi con le loro proprietà o con i processi di produzione che essi hanno subito. Molto lavoro supplementare è comunque richiesto per migliorare questo strumento, sia in termini di varietà di informazioni memorizzate che in termini di capacità di selezionare elettrodi che condividono una o più caratteristiche. Nel tempo, verrà incrementato il numero di informazioni e migliorato ancora il database in modo che possa diventare, più di quanto lo sia oggi, uno strumento assolutamente necessario per un approccio sistematico allo studio ed alla comprensione dei fenomeni LENR.

Misure nucleari

Una delle ipotesi formulate sulla causa della produzione di calore in eccesso è quella che fa riferimento all’origine nucleare del fenomeno. Al di là dello sviluppo di un modello teorico in grado di giustificare le osservazioni sperimentali, una consistente attività di ricerca, in diversi laboratori, è dedicata alla misura delle eventuali tracce di reazioni nucleari. L’indagine sperimentale segue tre principali direzioni:

1. la rivelazione degli eventuali prodotti della reazione D+D (deuterio-deuterio che, assieme al Trizio, è un isotopo dell’idrogeno), nei suoi canali di decadimento già noti nel vuoto ed in quello considerato per la materia condensata:

D+D → p (protone) + ³He (elio3);

D+D → n (neutrone) + T (trizio);

D+D → γ (radiaz. gamma) + ⁴He (elio4);

D+D → ⁴He (elio4) + calore (nella materia condensata);

2. la rivelazione degli eventuali prodotti di reazioni nucleari tra il deuterio e gli atomi del metallo (trasmutazioni);

3. la rivelazione di radiazione, o particelle di alta energia emesse durante le reazioni suddette.

Tutti e tre questi settori di ricerca comportano problematiche sperimentali molto complesse, determinate fondamentalmente dalla piccola entità dei segnali che devono essere rivelati e dalla necessità di discriminarli da quelli dovuti a contaminazioni ambientali.

Al fine di favorire una discussione critica dei risultati sperimentali e la loro discriminazione da artefatti di misura, è stato dato ampio spazio, all’ICCF-15, accanto ai lavori sui risultati delle attività propriamente di ricerca, a presentazioni di tipo metodologico, che evidenziassero i limiti e le potenzialità delle varie tecniche di misura utilizzate.

La misura accurata di ⁴He tramite spettrometria di massa, ad esempio, implica l’utilizzo di una macchina di elevatissima risoluzione ($\Delta m/m > 160$), in grado di risolvere il segnale di interesse da quello della molecola del deuterio, che è ovviamente in grande abbondanza nell’ambiente di misura, ma che ha la stessa massa nominale dell’⁴He (presentazione di M.L. Apicella, ENEA). Un altro aspetto critico di questo tipo di misura deriva dal fatto che l’⁴He è presente naturalmente nell’atmosfera in una concentrazione (5,24 ppm) confrontabile con quella attesa come prodotto di reazione nucleare; ciò implica che, al fine di poter escludere in modo assoluto la possibilità di contaminazioni, l’effetto di eccesso di potenza deve essere osservato a livelli sufficientemente elevati o per tempi sufficientemente lunghi da permettere l’accumulo di una quantità totale di energia in eccesso sufficientemente alta, alla quale corrisponda un arricchimento di elio che superi il fondo atmosferico.

La correlazione tra la quantità di elio misurato e quella di calore prodotta nell’esperimento, è un altro aspetto che tende ad avvalorare l’ipotesi nucleare. Risultati in tal senso sono stati riportati da

F. Tanzella e colleghi (SRI, Stati Uniti), che hanno riscontrato valori della concentrazione di ^4He superiori a 7 ppm, correlati linearmente con la quantità di energia in eccesso.

Emissione di particelle energetiche

A differenza di ciò che avviene nella fusione calda, sulla base delle indicazioni sperimentali disponibili, il canale della reazione D+D più probabile sembrerebbe essere quello che produce ^4He , mentre l'osservazione di trizio, di neutroni e di particelle cariche è molto più rara. Anche in questi casi, la misura è molto delicata a causa della piccola entità dei segnali da rivelare. Il principale limite/artefatto strumentale è dovuto al rumore e/o a interferenze elettroniche, tanto più difficili da ridurre quanto più il setup sperimentale è complesso. Angelone (EURATOM-ENEA, Centro Ricerche Frascati) ha riassunto gli aspetti fondamentali delle tecniche di misura dei neutroni, evidenziandone gli aspetti critici.

Afonichev (IMSP RAS, Russia) ha riportato misure di trizio in membrane metalliche permeate con deuterio e riscaldate. Stringham ha osservato segnali attribuibili alla produzione di trizio in esperimenti di cavitazione indotta da ultrasuoni. Toriyabe et al. (Tokohu University, Japan) hanno riportato l'emissione di particelle alfa in un esperimento di cavitazione prodotta sulla superficie di bersagli di litio metallico dal bombardamento con ioni deuterio di energie tra i 10 e gli 80 keV.

Mastromatteo (STM Microelectronics) ha utilizzato rivelatori al CR-39 per evidenziare l'eventuale emissione di particelle durante esperimenti elettrochimici, senza però ottenere risultati positivi.

Kitamura ha tentato di evidenziare la emissione di particelle tramite un rivelatore del tipo camera a bolle, durante il caricamento gassoso di nanoparticelle, in un esperimento replica di quello di Arata, senza però ottenere nessun risultato positivo. Il contributo più importante al campo delle misure nucleari nella materia condensata è certamente quello di Andrei Lipson (Russian Academy of Sciences), purtroppo prematuramente scomparso poco tempo dopo aver presentato i suoi più recenti risultati a ICCF-15. La sua attività di ricerca si era

sviluppata parallelamente sia nel campo della misura della sezione d'urto delle reazioni nucleari a bassa energia nella materia condensata (effetto dello *screening*), sia in quello della rivelazione di particelle e/o radiazione nucleari in esperimenti di idrurazione di catodi metallici tramite bombardamento ionico e *glow discharge*.

In particolare alla ICCF-15 Lipson e i suoi collaboratori (Chernov, Roussetski) hanno riportato evidenze di emissione di particelle nucleari (protoni da 3 MeV e particelle alpha da 11-20 MeV) da catodi metallici impiantati con ioni deuterio e sottoposti a bombardamento elettronico.

Roussetski, del gruppo di Lipson, ha presentato i risultati di un accurato lavoro di verifica dell'emissione di neutroni in esperimenti di elettrolisi. I risultati, ottenuti tramite l'utilizzo di rivelatori al CR-39, nel quale campo il gruppo vanta una ben consolidata e pluriennale esperienza, hanno mostrato una debole, seppur statisticamente significativa, emissione di neutroni veloci in due esperimenti. I dati sono tuttavia discrepanti rispetto alle precedenti misure effettuate originariamente tramite rivelatori al BF_3 , che mostravano segnali molto più elevati, probabilmente inquinati, secondo Roussetski, da rumore elettromagnetico.

Trasmutazioni o contaminazioni?

Per trasmutazione si intende la trasformazione di un elemento atomico in uno di massa più grande, a seguito di una reazione nucleare tra un nucleo di idrogeno o deuterio e uno degli atomi del reticolo ospite. È questo un tema assai controverso nel campo della scienza nucleare nella materia condensata, sul quale lo stato attuale della ricerca non è ancora in grado di fornire una risposta certa. Diversi gruppi hanno riportato evidenze sperimentali tendenti a indicare la presenza di prodotti di trasmutazioni. Dash and Wang (Portland State University) hanno osservato, tramite microscopia elettronica e microanalisi, la presenza di "crateri" sulla superficie di campioni di palladio sottoposti ad elettrolisi, caratterizzati da una accresciuta concentrazione di Ag nella regione centrale del cratere; l'effetto è stato riferito dagli autori come possibile traccia di trasmutazione del Pd in Ag.

A fronte delle varie indicazioni sperimentali, purtuttavia la criticità della misura delle trasmutazioni non ha ancora permesso di ottenere un'evidenza pienamente convincente ed un accordo condiviso sul fenomeno. In effetti, la misura delle trasmutazioni in esperimenti nei quali si registrino eccessi di calore è assai critica. Innanzitutto le quantità di elementi che dovrebbero essere prodotti in tali esperimenti è molto piccola, perché le probabilità di reazione sono assai basse, ed è quindi necessario utilizzare strumenti di analisi ad alta sensibilità. Un altro, fondamentale, problema riguarda la discriminazione di elementi eventualmente prodotti da trasmutazioni, da quelli provenienti da contaminazioni. Se la tecnica di analisi utilizzata è risolta spazialmente, come la microanalisi (SEM-EDX) o la spettrometria di massa da ioni secondari (SIMS), la presenza, a fine esperimento, di elementi non presenti inizialmente non costituisce una prova sicura della loro formazione a causa di un processo di trasmutazione. È infatti possibile che questi elementi inizialmente fossero presenti nella zona di misura con un livello di concentrazione inferiore a quello minimo rivelabile dalla strumentazione. Poi, a causa di processi di trasferimento di massa, la loro concentrazione è aumentata nella zona di misura rendendoli rivelabili.

Inoltre, anche nel caso in cui si utilizzino tecniche di analisi integrali e ad elevata sensibilità, quali l'attivazione neutronica (NAA) o la spettrometria di massa ICP, la comparsa di "nuovi" elementi dopo l'esperimento può essere ascrivibile a contaminanti provenienti dall'ambiente in cui si svolge l'esperimento stesso (componenti della cella elettrolitica, strumenti di analisi e utensili utilizzati nella manipolazione dei catodi ecc.).

Santoro, Rosada (ENEA, Italia) e Avino (ISPESL), hanno riportato i risultati di misure di attivazione neutronica su film sottili di Pd sottoposti ad elettrolisi. Un attento lavoro di verifiche sperimentali su campioni "bianchi" ha dimostrato che le variazioni nella concentrazione dei vari elementi rivelati erano dovute a contaminazioni ambientali piuttosto che alla "comparsa" di nuovi elementi. Infatti, gli autori riferiscono che, a seguito di evidenze sperimentali, i livelli anomali di Ag, Au, Ir, Ta e Zn

sono dovuti a contaminazione dal filo di platino usato come anodo nel processo di elettrolisi, mentre la presenza di Cr, Hf, Mo, W e, nuovamente, Zn può essere attribuita all'intero processo di preparazione del film sottile. Inoltre la contaminazione da Ag, Co, Cr e Fe è attribuibile alla deposizione catodica durante l'elettrolisi di contaminanti presenti nelle soluzioni elettrolitiche utilizzate. Di conseguenza, si configura un processo di arricchimento "apparente" più che un fenomeno di trasmutazione nella materia condensata. È da sottolineare che è stato possibile determinare questi elementi solo grazie all'attivazione neutronica, perché presenti a livelli estremamente bassi.

La tecnica più appropriata per evidenziare le tracce di trasmutazioni è la misura dell'abbondanza isotopica dei presunti prodotti di trasmutazione e l'osservazione della loro eventuale deviazione dal valore naturale. Infatti, se i "nuovi" elementi fossero il risultato di una reazione nucleare, il loro rapporto isotopico dovrebbe essere legato a quello delle specie reagenti, e differire quindi da quello naturale. La misura del rapporto isotopico può essere effettuata tramite spettroscopia di massa; a causa delle piccole quantità dei segnali da misurare, anche in questo caso è necessario però disporre di strumentazione ad alta risoluzione, oltre che ad elevata sensibilità, per poter discriminare le interferenze di massa dovute ai composti (tipicamente organici) con massa nominale pari a quella degli isotopi degli elementi da misurare.

Apicella et al. (ENEA) hanno presentato uno studio di verifica fatto su dati preliminari che evidenziavano un rapporto isotopico anomalo sulla massa del rame, in film di nichel sottoposti ad elettrolisi. Le nuove analisi effettuate sugli stessi campioni con un SIMS a tempo di volo (TOF) ad alta risoluzione (misure effettuate per cortese collaborazione da Mel Brooks c/o Assing) e con un Super-SIMS (misure effettuate per cortese collaborazione da ETH di Zurigo ed NRL) hanno invece mostrato che l'apparente anomalia isotopica era dovuta all'interferenza di massa con un composto organico proveniente dal substrato polimerico del film.

Un esperimento interessante è quello di Iwamura (Mitsubishi Heavy Industries). Analisi effettuate tra-

mite fluorescenza X (XRF) e spettrometria di massa sembrano indicare, in film multistrato Pd/CaO/Pd sottoposti a permeazione con deuterio, la trasmutazione di elementi pesanti in altri di massa superiore (precisamente Ce in Pr e Sr in Mo). L'effetto sarebbe localizzato nelle regioni vicine alle interfacce del film nano-strutturato. Ad ICCF-15 l'autore ha riportato i dati di un sistema sperimentale, basato su tecniche nucleari, sviluppato appositamente per misurare la distribuzione spaziale del deuterio vicino alle interfacce dei film utilizzati nella permeazione. A supporto dei risultati sperimentali, l'autore ha avviato anche un lavoro teorico basato su calcoli da principi primi della struttura elettronica degli elementi prodotto di trasmutazione. L'esperimento di Iwamura è stato oggetto di vari tentativi di replica.

Kitamura et al. (Kobe University) hanno riportato i risultati di un lavoro di replica dell'esperimento di Iwamura molto accurato. Tramite tecniche di analisi basate su acceleratore (*in-situ* ed *ex-situ* PIXE, ERDA), essi hanno riferito risultati "apparentemente" positivi, in 8 esperimenti su 14, della trasmutazione dello Sr in Mo a seguito della permeazione di film multistrato CaO/Sr/Pd con deuterio, sebbene l'identificazione del segnale del Mo non sia priva di incertezza e fenomeni come lo *sputtering* preferenziale possano essere responsabili di parte dei risultati osservati. Esperimenti incrociati di emissione di raggi gamma durante la permeazione con deuterio di campioni impiantati con ^{183}W , finalizzati alla rivelazione della radiazione associata alla reazione di trasmutazione di tale elemento nell'isotopo radioattivo ^{191}Pt , hanno dato esito negativo.

Un altro tentativo di replica dell'esperimento di Iwamura è stato condotto dal Naval Research Laboratory di Washington D.C. (NRL, Dr. Grabrowski) in collaborazione con lo stesso gruppo di Iwamura. Il lavoro di verifica, molto articolato ed accurato, non ha permesso tuttavia di ottenere la conferma dei risultati giapponesi, attribuendo a contaminazioni ambientali, piuttosto che a trasmutazioni, la presenza anomala di alcuni elementi. Il dibattito è comunque tuttora in corso, contestualmente alla raccolta di ulteriori dati di conferma da parte dell'istituto giapponese.

Teorie

I contributi teorici ad ICCF-15 sono stati molto numerosi, più di quelli raccolti su ogni altro argomento.

Per dare spazio al confronto tra i vari modelli ed alla discussione, inoltre, è stata organizzata una tavola rotonda sulle teorie, nella quale si è cercato di far emergere soprattutto gli obiettivi ed i limiti dell'impegno teorico.

Un punto fondamentale, sottolineato da più partecipanti, è senz'altro la necessità di poter disporre di un insieme di risultati sperimentali affidabili, condivisi e criticamente analizzati rispetto ai possibili artefatti strumentali. Tale esigenza è necessaria per poter stabilire univocamente l'obiettivo che ogni interpretazione teorica si propone di raggiungere. Un primo passo in questo senso può essere fatto riducendo l'insieme delle osservazioni sperimentali a quelle più abbondantemente documentate.

Il quesito principale al quale la teoria deve fornire una risposta è quello del superamento della barriera di Coulomb tra due nuclei di deuterio. Un secondo problema è quello di spiegare i valori anomali delle probabilità di reazione osservate, in particolare l'alta probabilità di emissione di calore ed ^4He in assenza di raggi gamma e la bassissima probabilità di emissione di neutroni e trizio, che la reazione D+D dovrebbe avere nella materia condensata, diversamente da quanto avviene nel vuoto.

Un altro aspetto importante che la teoria deve affrontare, è quello della interdisciplinarietà del fenomeno, che implica l'unione di modelli e concetti sia di fisica nucleare che di stato solido, di chimica, di elettrochimica, di scienza di materiali, di nanotecnologia, ciascun settore con il suo proprio linguaggio e formalismo.

Al momento, un modello completamente condiviso e coerente con le varie osservazioni sperimentali non è ancora disponibile, nonostante molti degli impianti teorici proposti siano assai ben strutturati ed elaborati. Senza voler scendere nel dettaglio dei singoli lavori, il che renderebbe questa descrizione troppo specifica, ci limitiamo a citare alcuni concetti, più rappresentativi dei vari approcci teorici utilizzati.

Il lettore interessato potrà trovare maggiori detta-

gli nelle presentazioni già disponibili sul sito web della conferenza (<http://www.iccf15.frascati.enea.it>) o, prossimamente, nelle relazioni che saranno pubblicate nel libro dei *Proceedings* (edizioni ENEA). L'aumento della sezione d'urto della reazione D+D nella materia condensata, dovuto allo *screening* elettronico, è stato descritto nei paragrafi precedenti. Il fenomeno è ben conosciuto e verificato sperimentalmente in un intervallo di energie degli ioni incidenti dell'ordine dei keV e tende ad essere più pronunciato al diminuire di tale energia. L'estrapolazione fino ad energie dell'ordine delle frazioni di eV, quali ci si aspetta di avere negli esperimenti di fusione fredda, porta a prevedere valori molto elevati con il conseguente abbassamento della barriera coulombiana. Tuttavia, tale meccanismo non è da solo sufficiente a spiegare le velocità di reazione che si possono presumere sulla base delle quantità di calore osservate; inoltre, l'estrapolazione delle sezioni d'urto a valori di energia tanto diversi è giustificato solo se fosse pienamente compreso il meccanismo responsabile di tale *enhancement*.

Diversi modelli teorici si basano su fenomeni di coerenza, che possono coinvolgere tanto l'insieme degli ioni deuterio presenti nel reticolo metallico (per es. Kim, con la teoria della condensazione di Bose), come pure il collettivo elettronico del cristallo (per es. Chernov, Sibilia, Frisone). Meccanismi di coerenza sono spesso citati come causa o effetto della produzione di campi locali molto elevati. Campi locali di stress dovuti alla presenza di dislocazioni si assume possano permettere il confinamento spaziale degli ioni deuteri necessario perché avvenga la condensazione di Bose; campi elettrici locali prodotti dalle oscillazioni plasmoniche si stima che possano accelerare due deuteri fino a superare la repulsione coulombiana.

La formazione di *cluster* di ioni deuterio è un altro meccanismo utilizzato da alcuni studiosi per spiegare comportamenti coerenti, che possano rendere possibile una reazione di fusione (Storms, Miley). Un altro concetto ricorrente è quello di

risonanza, applicato alle oscillazioni fononiche ed elettromagnetiche.

Poca attenzione generalmente viene prestata al modello che si assume per descrivere la struttura del nucleo degli atomi del reticolo cristallino del metallo. Un lavoro originale da questo punto di vista è quello di Cook e Dallacasa, che propongono una struttura di tipo cubico a facce centrate (FCC) per il nucleo del Pd, e ne analizzano le possibili implicazioni ai fini di reazioni di trasmutazione.

Alcuni lavori si propongono di descrivere il problema utilizzando il linguaggio della meccanica quantistica (Hagelstein, Takahashi, Tasker). In tal caso, i vari lavori si differenziano per le ipotesi formulate sulla natura delle interazioni tra le varie parti (ioni deuterio, atomi del reticolo, elettroni, fononi [una quasiparticella che descrive un quanto di vibrazione in un reticolo cristallino rigido], fotoni) che formano il sistema.

Infine, un paio di lavori esplorano la possibile relazione tra i meccanismi che spiegano le reazioni "piezonucleari" e quelli che si assumono possano essere alla base del fenomeno della fusione fredda (Pietrucci, Lacidogna). Senza poter, ovviamente, entrare nel merito delle prime, in quanto al di fuori del tema di nostra competenza, ci limitiamo ad osservare che per poter stabilire una plausibile correlazione tra i due fenomeni sarebbe necessario acquisire un maggior grado di conoscenza su entrambi i meccanismi.

Conclusioni

La Conferenza ha creato le condizioni per un confronto scientifico ricco di scambi di idee e di osmosi di conoscenza tra discipline.

La partecipazione di prestigiose istituzioni, il contenuto delle presentazioni e l'accresciuto interesse nei confronti di questa disciplina sono gli indicatori del livello raggiunto dalla conferenza e dell'importanza scientifica della materia.

I risultati calorimetrici presentati non lasciano dubbi sull'esistenza della produzione di eccesso di potenza in palladio deuterato.

Un pioniere dimenticato dell'energia eolica¹

Franco Foresta Martin*
Geppi Calcarà**

* *Giornalista scientifico*

** *INGV e Archivio Centrale dello Stato*

La creazione dell'Istituto Nazionale di Geofisica, l'intuizione e la perseveranza del fisico Lo Surdo, la nascita di un programma di ricerche preliminari, i primi impianti sperimentali: perché negli anni Trenta non decollò l'energia eolica, oggi divenuta, nel panorama internazionale, la fonte di energia rinnovabile più promettente

A Forgotten Pioneer of Wind Energy

The foundation of the Istituto Nazionale di Geofisica (National Institute for Geophysics), the intuition and perseverance of a physicist named Lo Surdo, the creation of a preliminary research programme, the first experimental facilities: here is the reason why wind energy – now internationally acknowledged as the most promising source of renewable energy – did not take off in the Thirties

Autarchia e energia eolica

Nel 1938, in un clima politico e sociale pervaso dai programmi autarchici promossi dal fascismo a sostegno dell'economia di guerra, il direttore del neo costituito Istituto Nazionale di Geofisica (ING), il fisico Antonino Lo Surdo (*figura 1*), formulò una proposta di sfruttamento industriale dell'energia del vento finalizzata alla produzione di elettricità, con vantaggiosi risparmi di combustibili fossili. Si trattava di un campo di applicazioni assolutamente nuovo, nel quale si erano già cimentati con successo gli Stati Uniti e alcuni paesi nordeuropei, in

Lo Surdo intuì che anche in Italia potessero trovarsi diverse località caratterizzate da forza e costanza dei venti tali da permettere l'installazione di impianti eolici ad elevato rendimento e aveva concepito un programma di ricerche preliminari, con lo scopo di raccogliere precisi dati quantitativi sulle caratteristiche dei venti in tutto il territorio nazionale. In una pubblicazione del 1945 sul mensile del CNR *Ricerca scientifica e ricostruzione*, ripercorrendo la storia delle ricerche eoliche iniziate sette anni prima presso l'ING, così il professore motivava la necessità di riprendere quelle ricognizioni:



Figura 1
Antonino Lo Surdo, fisico, fondatore e primo direttore dell'Istituto Nazionale di Geofisica
Fonte: Archivio dell'Istituto Nazionale di Geofisica

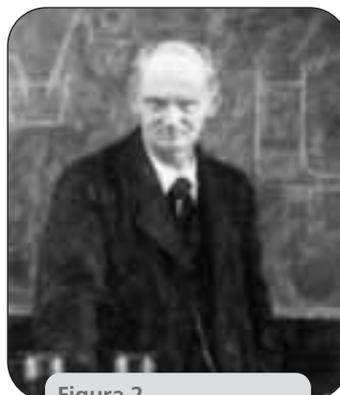


Figura 2
Il meteorologo Poul la Cour
Fonte: Dipinto di J.C. Schlichtkrull, 1914, custodito presso la 'Askov Folk High School', Danimarca

particolare la Danimarca dove, nel 1897, il meteorologo Poul la Cour (*figura 2*) aveva realizzato nella località di Askov (*figura 3*) quella che viene considerata la prima centrale elettrica mossa dal vento in Europa². A questa pionieristica impresa era seguita, in Danimarca, la costruzione di alcuni impianti consimili della potenza di qualche decina di kilowatt ciascuno.

«I dati delle osservazioni anemologiche, eseguite finora in Italia principalmente allo scopo di fornire elementi utili alla climatologia ed alla sicurezza delle rotte aeree, non costituiscono una base sufficiente per la valutazione dell'energia eolica, poiché il vento si presenta con caratteri diversi da una località all'altra... La natura accidentata del suolo ha una grande influenza sul

1. Tratto da: F. Foresta Martin e Geppi Calcara, *Per una storia della Geofisica italiana*, Springer, Milano 2010.
2. Eric Hau, *Wind Turbines*, Springer, Berlin 2009, pp. 24-26.



Figura 3
Centrale di Askov in Danimarca
Fonte: Eric Hau, *Wind Turbines*, Springer, Berlin 2009

regime dei venti, quindi, avanti di fissare il posto in cui può sorgere una centrale eolica di potenza rilevante, occorre evidentemente ricerca-

re ove esistono le condizioni più favorevoli onde ottenere un buon rendimento»³.

Gli strumenti per raccogliere i dati necessari alla compilazione della mappa anemologica erano pronti da tempo. Infatti, nei laboratori dell'ING, nel corso del 1938, era stato progettato e realizzato il prototipo di un nuovo tipo di anemografo (misuratore della velocità del vento) dotato di un apparato di registrazione su carta, capace di funzionare senza particolare assistenza tecnica, in modo da essere installato in una molteplicità di siti non necessariamente sorvegliati (figura 4).

Quindi, la ditta SIAP (Società italiana di apparecchi di precisione) di Bologna era stata incaricata della costruzione di cento di questi anemografi (figura 5) che, dopo i collaudi e le tarature effettuati nelle officine dell'ING, avrebbero dovuto essere installati nelle località prescelte⁴.

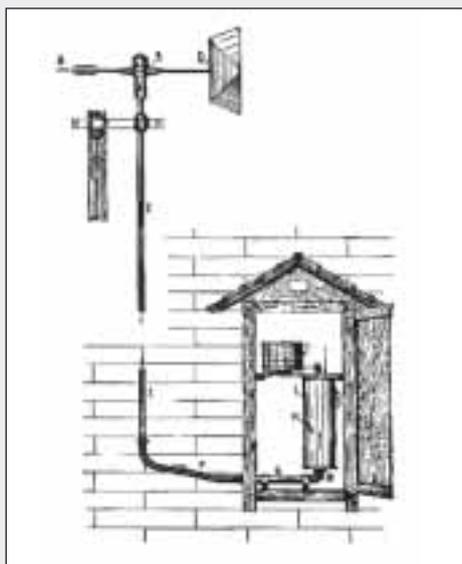


Figura 4
La stazione per la misura dei venti, progettata e realizzata all'ING nel 1938
Fonte: Il disegno è tratto da un'illustrazione del mensile del CNR *Ricerca scientifica e ricostruzione*



Figura 5
Anemografi installati sulla terrazza dell'Istituto di Fisica a Roma
Fonte: Istituto Nazionale di Geofisica, supplemento alla rivista "Annali di Geofisica", Roma, 1949

3. A. Lo Surdo, *Il rilevamento dell'energia del vento ai fini della sua utilizzazione industriale*, in *PING* n.109, estratto da *Ricerca Scientifica e Ricostruzione*, Anno XV, n. 2, 1945.
4. Ivi p. 118.

Indagini anemologiche in tre regioni

Verso la fine degli anni Trenta, le indagini anemologiche stavano per essere avviate in tre regioni, affidate al coordinamento di altrettanti professori universitari: in Liguria Alfredo Pochettino, titolare della cattedra di Fisica Sperimentale a Torino; nell'Istria Francesco Vercelli, dell'Osservatorio geofisico di Trieste; in Calabria Pericle Gamba, fisico terrestre e direttore dell'Ufficio centrale di meteorologia. Altre campagne di osservazione erano state predisposte in Sardegna, Puglia e Sicilia. Tuttavia, l'incalzare degli eventi bellici aveva indotto il CNR, proprio al principio della guerra, a sospendere, fra le tante, anche queste ricerche, a causa delle difficoltà economiche e di trasporto. Gli anemografi, ancora da collocare nei siti prescelti, erano rimasti imballati nei depositi dell'ING per tutta la durata del conflitto⁵.

Finita la guerra, Lo Surdo aveva tentato di rilanciare le ricerche eoliche, riproponendole al Commissario straordinario del CNR Guido Castelnuovo, proprio all'indomani della liberazione di Roma, nell'autunno del 1944:

«A seguito del colloquio avuto con Lei, l'11 ottobre corrente, chiedo che sia confermata a questo Istituto Nazionale di Geofisica, presso il quale sono stati eseguiti finora tutti i lavori preliminari relativi a queste ricerche, l'incarico di continuare appena possibile quest'attività che ha importanza per l'economia della Nazione».⁶

La risposta era stata immediata ma interlocutoria: Castelnuovo aveva confermato la sua convinzione che l'Istituto dovesse continuare a svolgere ricerche sull'utilizzazione dell'energia del vento; tuttavia, a causa delle ristrettezze economiche, aveva comunicato che non poteva far fronte a impegni di spesa immediati⁷.

I tentativi di rilancio postbellico del progetto

L'articolo che il direttore dell'ING scriveva nel 1945 per *Ricerca scientifica e ricostruzione* era, dunque, un tentativo di riprendere il progetto eolico nel contesto del rilancio industriale post-bellico:

«Nonostante l'importanza che ha per l'Italia l'utilizzazione dell'energia dei fenomeni naturali, l'energia del vento, al contrario di quanto è avvenuto per quella idraulica, non è stata finora da noi utilizzata in impianti di notevole potenza. Su ciò può avere influito molto probabilmente il fatto che, mentre l'energia idraulica disponibile può essere stimata facilmente e con sicurezza, la valutazione di quella eolica non può essere fatta con altrettanta facilità poiché dipende da elementi molto variabili col luogo e col tempo...

...l'Istituto Nazionale di Geofisica del Consiglio Nazionale delle Ricerche ha posto tra i suoi compiti quello di organizzare questo speciale rilevamento anemologico»⁸.

In attesa di tempi migliori per rilanciare il progetto su base nazionale, il direttore dell'ING aveva avviato una prima campagna di sondaggi in Sicilia, dove poteva contare su collaboratori all'Università di Messina e conoscenti presso alcuni Comuni che si erano impegnati ad aiutarlo per l'installazione, in economia, degli apparecchi di rilevamento. Il coordinamento della ricerca fu affidato al professor Virgilio Polara, direttore dell'Osservatorio geofisico di Messina, a cui la Giunta Amministrativa dell'ING assegnò la modesta somma di 100.000 lire per l'inizio della campagna di misure.

Così, a partire dal luglio 1948, venti dei cento anemografi in deposito presso l'Istituto furono

5. *Ibid.*

6. Lettera di A. Lo Surdo al Commissario Straordinario del CNR, Roma 13 ottobre 1944, in ACS, CNR, *Comitato Nazionale di Geodesia e Geofisica*, b. 972, in riordinamento.

7. Lettera di G. Castelnuovo al Direttore dell'ING, Roma 18 ottobre 1944, in ACS, CNR, *Comitato Nazionale di Geodesia e Geofisica*, b. 972, in riordinamento.

8. A. Lo Surdo, *Il rilevamento dell'energia del vento*, op. cit. pp.116-119.

trasferiti a Messina e installati in varie località della provincia⁹.

Ma nemmeno questo ulteriore tentativo riuscì a fare decollare il progetto eolico: in quegli anni e nei successivi, le scelte energetiche dell'Italia si stavano indirizzando verso altre mete: innanzitutto la supremazia degli idrocarburi; e, per quanto riguarda le rinnovabili, il potenziamento delle risorse idroelettriche.

In prospettiva, poi, c'era la speranza che lo sfruttamento dell'energia da fissione nucleare, reso praticabile da Enrico Fermi con lo storico esperimento di Chicago del dicembre 1942, potesse soddisfare illimitatamente e a costi vantaggiosissimi la futura e crescente domanda di elettricità. Di lì a poco, negli Stati Uniti sarebbe stato lanciato il programma Atoms for Peace, che lasciava intravedere la possibilità di produrre elettricità talmente abbondante e a buon prezzo da non richiedere, secondo alcuni entusiasti, nemmeno l'uso dei contatori: "too cheap to meter", secondo una battuta che diventò uno slogan¹⁰.

In Italia non solo i governi, ma anche gli scienziati e i tecnologi che si occupavano di questioni energetiche, lasciarono cadere la proposta di Lo Surdo, convinti che l'energia eolica non potesse apportare un contributo significativo al bilancio energetico nazionale. Infine, con la morte di Lo Surdo avvenuta nel 1949, venne meno anche la funzione di stimolo e di riflessione su questo tema che lo scienziato aveva esercitato fra la comunità scientifica. Anche all'ING, tranne una ricerca sulle caratteristiche anemologiche di alcune zone della Sicilia e della Calabria condotta dal geofisico Fabrizio Peronaci durante la direzione Medi¹¹, il tema dell'energia eolica fu praticamente abbandonato.

Soltanto oggi, alla luce del fatto che l'eolica è diventata, nel panorama internazionale, la più promettente fonte di energia rinnovabile¹², e che anche in Italia essa sta avendo una notevole crescita, possiamo apprezzare appieno l'intuizione anticipatrice del primo direttore dell'Istituto Nazionale di Geofisica.

9. Adunanza della Giunta Amministrativa dell'ING del 1 luglio 1948, Ricerche su vento ai fini dell'utilizzazione dell'energia eolica. Concessioni di fondi al prof. Polara, in INGV, *Archivio storico ING*, b. 38, f. 1.
10. La frase: "Our children will enjoy in their homes electrical energy too cheap to meter," fu pronunciata da Lewis L. Strauss, presidente della U.S. Atomic Energy Commission e consigliere del presidente D. Eisenhower, in una conferenza per la National Association of Science Writers di New York City, il 16 settembre 1954, e riportata dal *New York Times* del 17 settembre 1954.
11. F. Peronaci, *Rilevamento dell'energia del vento ai fini della sua utilizzazione mediante aeromotori*, estratto da *Annali di Geofisica*, Vol. III, n. 2, 1950.
12. Negli ultimi anni, in Italia, l'eolico è cresciuto di oltre il 30% ogni anno in termini di nuova potenza elettrica installata, raggiungendo nel 2009 1.114 i MW installati e 6,7 i TWh di elettricità prodotti, pari al consumo domestico di 7 milioni di italiani, con un risparmio di circa 4,7 milioni di tonnellate di anidride carbonica (Comunicato congiunto ANEV, ENEA, APER e ISES, 8 gennaio 2010).

SISTEMI DI PROPULSIONE

ELETTRICA ED IBRIDA

DALLA SORGENTE A BORDO

ALL'ATTUAZIONE MECCANICA

A cura di: *Gianpiero Brusaglino, Giovanni Pedè, Emilio Vitale*



Gli ultimi dieci anni hanno visto il veloce sviluppo di una tecnologia, quella dei veicoli ibridi, che si è progressivamente imposta come una delle maggiori innovazioni nel settore della mobilità individuale. I contemporanei sviluppi della tecnologia dei sistemi di accumulo elettrico, con lo sviluppo delle batterie al litio, hanno poi rivitalizzato anche il settore dei veicoli elettrici, le cui prestazioni, soprattutto in termini di autonomia, sono finalmente cresciute a livelli tali da soddisfare un'ampia serie di esigenze, dal trasporto mirato "porta a porta" a quello dei servizi ad alcune nicchie del trasporto pubblico. A questi temi l'ENEA ha dedicato attenzione e risorse fin dagli anni 80, con competenze e infrastrutture che permettono oggi di accompagnare lo sviluppo dell'industria nazionale in questo settore, da sempre strategico per il nostro paese. L'ENEA si fa adesso promotrice di un'opera, realizzata con la collaborazione di un gruppo di tecnici e ricercatori che operano da anni in questo settore, che raccoglie in modo organico le informazioni e le conoscenze che intervengono nella progettazione e nello sviluppo dei veicoli elettrici ed ibridi.

L'opera si compone di cinque parti, la prima per raccontare la storia di questa tecnologia e le motivazioni alla base della sua diffusione, le tre parti centrali per accompagnare il tecnico nella loro progettazione, la quinta parte per illustrare le applicazioni e le potenzialità. Si rivolge quindi non solo a studenti e tecnici, ma anche a quanti operano nel settore, svolgono azioni di orientamento e partecipano ai processi decisionali, contribuendo in tal modo a rafforzare l'interesse verso un settore in cui è indispensabile investire, soprattutto nelle risorse umane, attraverso un organico sviluppo delle necessarie competenze tecniche e scientifiche.

Euro 25,00

ENEA

Produzione di idrogeno ed energia elettrica con reattori nucleari di IV generazione

Pier Paolo Prosinì

ENEA, Unità Idrogeno e Celle a Combustibile

La produzione di idrogeno da energia nucleare è una opzione economicamente e tecnicamente raggiungibile per soddisfare i fabbisogni energetici delle future generazioni. In questo articolo sono illustrate le attività internazionali per la produzione nucleare di idrogeno tramite scissione dell'acqua. Quindi è stata investigata la possibilità di accoppiare il ciclo NIS, un ciclo termochimico originariamente sviluppato in ENEA per essere alimentato tramite energia solare, con un reattore nucleare di nuova generazione per la produzione massiva di idrogeno

IV Generation Nuclear Reactors for Hydrogen and Power Generation

Hydrogen production by nuclear power is a technically feasible and economically viable option for addressing future national energy needs. In this article the international activities on water splitting for hydrogen production from nuclear power are presented. The NIS cycle – a thermochemical water splitting cycle originally developed in ENEA laboratories for solar hydrogen production – has been investigated to be coupled with new-generation nuclear reactors for massive hydrogen production

Per far fronte al bisogno sempre crescente di energia riducendo le emissioni di gas serra è di vitale importanza lo sviluppo di fonti e vettori energetici non derivanti da combustibili fossili. Tra le varie forme di energia alternative, quella nucleare possiede le potenzialità di soddisfare il fabbisogno energetico mondiale senza che il suo consumo interferisca con i cambiamenti climatici dovuti al rilascio in atmosfera di gas serra. Attualmente l'energia nucleare è utilizzata esclusivamente per la produzione di elettricità che, in assenza di adeguati sistemi di accumulo, deve essere immessa direttamente nella rete elettrica. La difficoltà di stoccare l'elettricità limita notevolmente l'impiego dell'energia nucleare nel campo dei trasporti. Al contrario dell'energia elettrica l'idrogeno può essere accumulato, permettendo in tal modo di stoccare efficacemente l'energia prodotta per via nucleare. In tutto il mondo si stanno compiendo numerosi studi per ampliare le possibilità offerte dall'energia nucleare. I reattori nucleari di IV generazione sono oggetto di una iniziativa avviata dal Dipartimento dell'Energia americano (DoE) nel gennaio 2000. I paesi partecipanti, compresa l'Unione Europea, sono riuniti nel *Generation IV International Forum* (GIF) con lo scopo di sviluppare i sistemi nucleari di nuova generazione. Tali sistemi dovranno rispettare i seguenti requisiti:

1. sostenibilità;
2. economicità;
3. sicurezza ed affidabilità;
4. resistenza alla proliferazione nucleare e protezione fisica.

All'interno della *Technological Roadmap for Generation IV Nuclear Energy System*^[1] sono state selezionate, per essere successivamente sviluppate, sei tipologie di reattore di nuova generazione, che sono riportate in *tabella 1*. Alcuni di questi reattori possono essere accoppiati ad impianti per la scissione chimica dell'acqua per generare, oltre che elettricità, idrogeno. In tal modo l'idrogeno potrebbe essere prodotto a costi ed in quantità necessarie per essere usato come vettore energetico sostenibile nel campo dei trasporti.

Produzione dell'idrogeno

Metodi tradizionali

L'idrogeno non esiste libero sulla Terra e quindi deve essere prodotto. Ci sono due principali modi di produrre l'idrogeno: la scissione dell'acqua e l'estrazione dagli idrocarburi. Quest'ultimo metodo rappresenta attualmente la principale fonte di produzione dell'idrogeno: circa il 96% di tutto l'idrogeno prodotto proviene da combustibili fossili, tramite *steam*

Tabella 1 – Reattori di IV generazione selezionati all'interno del rapporto *The Technological Roadmap for Generation IV Nuclear Energy System* per essere ulteriormente sviluppati

Tipo	Reattore	Acronimo	Temperatura massima di lavoro / °C
Termico	Very High Temperature Reactor	VHTR	> 1.000
	Super Critical Water Reactor	SCWR	550
	Molten Salt Reactor	MSR	700
Veloce	Gas-cooled Fast Reactor	GFR	850
	Sodium-cooled Fast Reactor	SFR	550
	Lead-cooled Fast Reactor	LFR	480

Fonte: Elder, R., Allen, R., 2009, *Nuclear heat for hydrogen production: Coupling a very/high temperature reactor to a hydrogen production plant*. Progress in Nuclear Energy, 51, 500-525

reforming o *thermal craking* del gas naturale, *steam gasification* del carbone o tramite ossidazione e *craking* di oli pesanti. Il restante 4% è prodotto per scissione dell'acqua tramite elettrolisi a bassa temperatura. L'elettrolisi dell'acqua è energeticamente conveniente in quanto circa l'80% dell'energia elettrica utilizzata per la reazione è convertita in idrogeno. Considerando però che l'efficienza di conversione del calore in elettricità nei moderni impianti a turbine è del 45%, la resa di trasformazione del calore in idrogeno tramite elettrolisi risulta solo del 36%.

Elettrolisi ad alta temperatura

Per ridurre la barriera energetica agli elettrodi e diminuire la sovratensione di cella, incrementando in tal modo l'efficienza di conversione, è stato proposto di utilizzare, al posto di acqua in fase liquida, vapore ad alta temperatura (800-1000 °C). In tale metodo, denominato *High Temperature Electrolysis* (HTE), parte dell'energia necessaria alla scissione può essere fornita termicamente e questo porta ad un aumento dell'efficienza di conversione. L'HTE è basata principalmente sulla tecnologia delle celle a combustibile a ossidi solidi *Solid Oxide Fuel Cell* (SOFC), laddove mentre le SOFC consumano idrogeno ed ossigeno per produrre elettricità, l'HTE consuma elettricità, calore e acqua (allo stato vapore) per produrre idrogeno ed ossigeno. Il potenziale di cella richiesto per l'HTE è di circa 0,9 V, circa il 50% in meno di quello richiesto nell'elettrolisi a bassa temperatura. I processi elettrolici, inoltre, avvengono più velocemente in quanto sono più alte le correnti di scambio. Problemi sono legati alla corrosione degli elettrodi che portano alla degradazione della cella elettrochimica con perdite di efficienza anche del 45%^[2]. Recentemente è stato proposto di alimentare la cella con vapore ed anidride carbonica per produrre una miscela di idrogeno e monossido di carbonio (syngas), che può essere usata direttamente o liquefatta per produrre idrocarburi liquidi tramite il metodo Fischer-Tropsch. I primi studi hanno mostrato efficienze del 43-48%^[3].

Scissione termochimica dell'acqua

La scissione dell'acqua, per produrre idrogeno e

ossigeno, è un processo altamente energetico. L'entalpia di reazione è di 241,8 kJ per mole, partendo da acqua allo stato vapore, e sale a 285,8 kJ per mole partendo da acqua liquida (essendo necessarie 44 kJ per l'evaporazione di una mole di acqua liquida). Per tale motivo la scissione termica dell'acqua può avvenire, a velocità ragionevoli, solo a temperature eccedenti i 4.400 °C^[4]. Per tentare di abbassare la temperatura necessaria per la scissione diretta, sono stati elaborati dei cicli termochimici in grado di operare la scissione in due o più passaggi, ognuno dei quali può avvenire a temperature minori rispetto a quella necessaria per la scissione diretta. Tra i numerosi cicli termochimici proposti, quello denominato zolfo-iodio (ciclo S-I dalle iniziali dei due elementi chimici) è stato largamente studiato. Sviluppato originariamente dalla General Atomic (GA) agli inizi degli anni '80^[5] è anche conosciuto come ciclo GA. Dopo una interruzione nelle attività di ricerca e sviluppo, la GA ha recentemente iniziato una serie di studi per migliorare il ciclo. Esso è basato sulla decomposizione termica dell'acido solforico (H₂SO₄) per dare ossigeno ed anidride solforosa, e dell'acido iodidrico (HI), per dare idrogeno e iodio. La prima avviene intorno agli 800-850 °C mentre quella dell'acido iodidrico avviene a temperature inferiori (550 °C). L'anidride solforosa e lo iodio sono poi ricombinati nella reazione di Bunsen per rigenerare gli acidi di partenza. La reazione di Bunsen è una reazione spontanea ed esotermica che avviene già a temperatura ambiente. Per aumentare la velocità di reazione questa è però condotta a temperature comprese tra 80 e 120 °C. Al fine di separare gli acidi si ricorre all'uso di un eccesso, rispetto alle quantità necessarie stechiometricamente, di iodio e di acqua. In tal modo l'acido iodidrico e lo iodio segregano formando una fase più densa, detta soluzione iodidrica, che contiene anche parte dell'acqua con un rapporto stechiometrico HI:H₂O:I₂ pari a 1:5:4. L'acido solforico stratifica sulla soluzione iodidrica, sciolto in acqua con un rapporto stechiometrico compreso tra 1:4 e 1:6. Le due fasi possono essere separate per decantazione e processate per produrre idrogeno e ossigeno. Il prin-

cipale svantaggio del ciclo è legato proprio al metodo di separazione degli acidi. Infatti per poter ottenere gli acidi liberi occorre far evaporare l'acqua e lo iodio in eccesso e questo processo assorbe una gran quantità di calore. Particolarmente energivora risulta la purificazione dell'HI dalla fase iodidrica. La distillazione frazionata e successivamente quella estrattiva sono state proposte per la separazione dell'HI^[5]. Successivamente Roth introdusse la distillazione reattiva^[6], mentre più recentemente è stata proposta l'elettrodialisi^[7] che pare particolarmente interessante nel ridurre il costo energetico della purificazione della fase iodidrica, rendendo il ciclo energeticamente e tecnologicamente vantaggioso. Sempre al fine di diminuire il costo energetico della reazione sono stati sviluppati dei metodi che prevedono l'uso di metalli di transizione come agenti di riciclo. Sato^[8] propose un ciclo termochimico che utilizzava il nichel metallico. Per reazione con gli acidi si formavano il solfato e lo ioduro di nichel che venivano separati per cristallizzazione frazionata. Sviluppando i lavori del gruppo giapponese, all'interno dei laboratori ENEA della Casaccia è stato messo a punto un metodo che consente di trasformare la fase iodidrica in una soluzione acquosa di iodio e ioduro di nichel. In tal modo la distillazione della fase iodidrica è sostituita da una semplice evaporazione riducendo quindi i costi e i tempi della purificazione^[9]. Il ciclo, sviluppato originariamente per essere alimentato con energia solare concentrata, può essere facilmente modificato per poter utilizzare energia termica prodotta da reattori nucleari di IV generazione.

Cicli termochimici ibridi

Una ulteriore possibilità di produrre idrogeno è offerta dai cicli termochimici ibridi che, al fine di diminuire la tensione di cella dell'elettrolizzatore, combinano reazioni ad alta temperatura con processi elettrochimici. Il primo di questi cicli fu sviluppato dalla Westinghouse^[10]. Così come accade nel ciclo GA l'acido solforico è decomposto ad alta temperatura in ossigeno ed anidride solforosa. L'anidride solforosa è raccolta e solubilizzata in acqua. La soluzione è quindi sottoposta ad elettrolisi a bas-

sa temperatura per rigenerare l'acido solforico e sviluppare idrogeno. La tensione di cella necessaria si riduce a poche centinaia di millivolt (0,17-0,20V). La resa teorica calcolata pensando di operare la dissociazione termica dell'acido solforico a 930 °C e 10 bar di pressione è compresa tra il 47% e il 49%. Il ciclo Westinghouse è anche conosciuto come ciclo zolfo ibrido *Hybrid sulphur* (Hy-S).

Impianti nucleari di cogenerazione idrogeno/elettricità

Produzione di idrogeno da fonte nucleare

I metodi di scissione dell'acqua non tradizionali qui considerati (HTE, SI e Hy-S) richiedono tutti una fonte di calore con temperature intorno agli 800-1000 °C che può essere fornita da reattori nucleari ad alta temperatura. Alcuni reattori nucleari di IV generazione sono particolarmente adatti a fornire energia per la produzione di idrogeno sia per le loro caratteristiche intrinseche di sicurezza sia perché alcuni di loro lavorano a temperature compatibili con quelle necessarie alla produzione di idrogeno. Tra questi sia i VHTR che i GFR raggiungono temperature eccedenti gli 800 °C, alte abbastanza per essere usate come fonte di calore per alimentare i cicli SI, Hy-S e HTE^[11]. L'uso dell'energia nucleare per la produzione combinata di idrogeno ed elettricità permette di soddisfare sia le esigenze immediate di energia, immettendo in rete l'elettricità prodotta, sia quelle remote, stoccando l'idrogeno e consumandolo solo quando necessita. L'idrogeno può inoltre essere accumulato a bordo di veicoli ed essere usato come vettore energetico in modo da poter utilizzare l'energia nucleare anche nel campo della trazione.

L'impianto di cogenerazione è costituito da quattro parti distinte:

1. il reattore nucleare ad alta temperatura High Temperature Gas-cooled Reactor (HTGR);
2. il sistema di scambio intermedio del calore Intermediate Heat Exchanger (IEX);
3. il sistema di conversione di potenza Power Conversion System (PCS);
4. l'impianto di produzione dell'idrogeno Hydrogen Production Plant (HPP).

Tabella 2 – Programmi di produzione di idrogeno nucleare con reattori di IV generazione

Gruppo	IAEA	GA	Westinghouse	AREVA
Paese	Giappone	USA	USA	Francia
Reattore	GTHTR300	GT-MHR	PBMR	ANTARES
Potenza MWt	600	550-600	500	600
PCS	Brayton	Brayton	Rankine	Rankine
HPP	SI	HTE/SI	HyS/HTE	SI/ HTE

Fonte: Elder, R., Allen, R., 2009, *Nuclear heat for hydrogen production: Coupling a very/high temperature reactor to a hydrogen production plant*. Progress in Nuclear Energy, 51, 500-525

La tecnologia HTGR

La tecnologia HTGR è stata sviluppata negli ultimi 50 anni ed ha portato alla realizzazione di numerosi impianti tuttora funzionanti. Il concetto HTGR si è evoluto dai primi reattori raffreddati ad anidride carbonica fino ai reattori raffreddati ad elio^[12] che offrono un'efficienza di scambio termico maggiore. Molta della tecnologia utilizzata per disegnare i reattori di IV generazione del tipo HTGR è stata mutuata direttamente dai reattori tedeschi del tipo *Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor (AVR)* e *Thorium High Temperature Reactor (THTR)* e dal reattore americano di Fort St Vrain (FSV). Il reattore AVR da 46 MW_t è stato cronologicamente il primo reattore capace di fornire calore a temperature di 950 °C ed è rimasto in uso per oltre 10 anni^[13]. L'AVR fu seguito dal THTR, che però ebbe vita breve soprattutto a causa di ragioni politiche. In Germania peraltro fu anche avviato un programma di costruzione di reattori di potenza elevata quali l'HTR-500 da 1390 MW_t e 500 MW_e, che comunque non fu mai realizzato.

Reattori nucleari di IV generazione

Al fine di mantenere la temperatura del combustibile sotto i limiti di danneggiamento del materiale utilizzando sistemi di raffreddamento passivi, la potenza termica dei HTGR è stata limitata a 200 MW_t. Data la potenza limitata, questo tipo di reattore risulta però non competitivo da un punto di vista economico. La necessità di aumentare la potenza termica ha portato allo sviluppo di un nuovo concetto di reattore a nocciolo anulare che permette di sviluppare potenze fino a 600 MW_t. Il risultato HTGR è quindi basato su un concetto innovativo sia per le caratteristiche di design sia per la filosofia di sicurezza adottata. Diversi paesi stanno svilup-

pando reattori di alta potenza con nocciolo anulare. La Japan Atomic Energy Agency (IAEA) prevede la costruzione di un *Gas Turbine High Temperature Reactor (GTHTR300)*^[14] da 600 MW_t mentre in America si stanno sviluppando reattori del tipo *Gas Turbine Modular Helium Reactor (GT-MHR)* e *Pebble Bed Modular Reactor (PBMR)*, di potenza leggermente inferiore da 500 fino a 600 MW_t. In Francia la AREVA, una partnership che comprende il Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA) e l'Électricité de France (EDF), sta sviluppando un reattore ANTARES da 600 MW_t. Tutti questi programmi prevedono lo sviluppo di un impianto di produzione di idrogeno alimentato da energia nucleare anche se il sistema di produzione di potenza, quello di scambio termico intermedio ed il layout di impianto differiscono sensibilmente. La *tabella 2* riporta le caratteristiche principali dei programmi di sviluppo descritti in precedenza.

Programmi internazionali di produzione di idrogeno nucleare

Giappone

Il JAEA sta sviluppando un ambizioso programma per ottenere idrogeno da fonte nucleare. A tal fine sono state affrontate tre distinte aree di ricerca:

1. *steam reforming* del metano (SMR);
2. scissione termochimica dell'acqua tramite ciclo SI;
3. elettrolisi del vapore ad alta temperatura (HTE).

Nei piani della JAEA la SMR sarà la prima applicazione che verrà studiata per la produzione di idrogeno. Il calore necessario per la reazione di steam reforming del metano sarà fornito dal GTHTR300. Il metodo sarà gradualmente sostituito dalla scissione termochimica dell'acqua in modo da evitare le emis-

sioni di anidride carbonica associate con il processo SMR. La produzione di idrogeno avverrà per accoppiamento del reattore nucleare con un ciclo SI. A tale sistema di cogenerazione elettrico-idrogeno è stato dato il nome di GTHTR300C, mentre il GTHTR300H è progettato per produrre prevalentemente idrogeno oltre che elettricità. Studi iniziali su scala di laboratorio hanno portato alla realizzazione di un sistema di produzione di idrogeno basato sul ciclo SI capace di generare flussi continui di 30 Nm³/h. Per migliorare l'efficienza di conversione è stato proposto l'uso di membrane di elettrolitici che permettono di concentrare a bassa temperatura la soluzione iodidrica^[15]. La temperatura dell'elio primario è compresa tra 950 e 594 °C. Uno scambiatore intermedio elicoidale separa il circuito primario dal secondario. L'energia termica dell'elio del circuito secondario è utilizzata per decomporre l'acido solforico e l'acido iodidrico. L'impianto di produzione dell'idrogeno è progettato per produrre circa 2 t/h di idrogeno e 200 MW_e, con una efficienza globale compresa tra il 45 e il 48%.

Stati Uniti

La GA ha selezionato due tecnologie per la produzione di idrogeno nucleare, il ciclo SI e l'HTE^[16]. Il sistema integrato di produzione è stato denominato H₂-MHR. Rispetto all'MHR tradizionale la temperatura dell'elio all'uscita del reattore è aumentata a 950 °C, mentre quella in uscita dal HPP è stata portata a 590 °C. Nell'H₂-MHR il PCS è sostituito da un IHX per accoppiarlo direttamente al HPP. Questo è distanziato di oltre 115 m dal MHR per proteggere il reattore da eventuali esplosioni che potrebbero avvenire a livello del HPP. Per diminuire il costo energetico del ciclo SI è prevista una distillazione reattiva che comunque consuma una notevole quantità di energia elettrica. Le potenzialità dell'impianto sono di circa 4,2 t/h di idrogeno, con una resa di conversione energetica del 45%. L'IHX consiste di 40 moduli a circuito stampato, ognuno capace di scambiare 15 MW_t. Alternativamente al ciclo SI l'HTE è stato proposto come metodo di produzione dell'idrogeno. In questo caso l'H₂-MHR fornisce l'energia termica per la produzione sia del vapore destinato all'elettrolisi, sia di quello necessario a produrre energia elettrica tramite il PCS. Circa il 90% dell'energia termica è tra-

sformata in energia elettrica necessaria per la reazione di elettrolisi mentre il restante è utilizzato per generare il vapore ad alta temperatura. L'HPP è dimensionato per produrre circa 3,0 t/h di idrogeno, con una efficienza del 55,8%.

La Westinghouse, in collaborazione con lo Shaw Group, sta sviluppando un ciclo ibrido di produzione dell'idrogeno, ottimizzato per sfruttare al meglio il calore e l'energia elettrica ottenibili per mezzo di un reattore PBMR. Tra le differenti versioni proposte, quella costituita da un PCS indiretto basato su un ciclo Rankine in serie con l'IHX è stata studiata nei particolari. Il sistema è costituito da quattro reattori PBMR da 500 MW_t, ciascuno dei quali accoppiato, tramite uno scambiatore termico intermedio a due stadi, con un impianto di produzione di idrogeno basato sul ciclo Hy-S. Ogni reattore fornisce 200 MW_t all'HPP per la decomposizione dell'acido solforico per un totale di 800 MW_t. Circa la metà di questa energia è poi recuperata per preriscaldare l'acqua in ingresso alla PCS che assorbe anche i restanti 1.200 MW_t erogati dal reattore, producendo elettricità per un totale di 600 MW_e. Tutta l'energia elettrica è quindi utilizzata per la produzione elettrolitica dell'idrogeno che è generato ad una velocità di 7,6 t/h con una efficienza di conversione del 38%.

Francia

Il programma AREVA portato avanti in Francia vede nel ciclo SI e nella HTE i metodi più promettenti per la produzione di idrogeno da fonte nucleare. Il ciclo SI è senza dubbio più studiato rispetto alla HTE. Tutta la potenza del reattore (600 MW_t) è sfruttata per la produzione di idrogeno, che richiede ulteriori MW_e che sono prelevati direttamente dalla rete elettrica. Il trasferimento del calore dal reattore all'HPP è previsto tramite una conduttura isolata lunga 200 m. Le attività sono portate avanti principalmente dal CEA e da EDF e prevedono anche un programma di sviluppo di produzione dell'idrogeno tramite HTE.

Altri programmi

Oltre a questi programmi sono in corso ricerche per la produzione di idrogeno da nucleare finanziate da Unione Europea (HYTECH e RAPHAEL), Corea, Australia e Canada. Per ulteriori approfondimenti sulla produzione di idrogeno da nucleare

si rimanda alla recente survey di Elder e Allen^[16] che riporta in maniera dettagliata gli argomenti fin qui trattati.

Nel 2005 l'ENEA ha iniziato un ambizioso programma per la produzione di idrogeno da energia solare chiamato TEPsi. Il progetto, della durata triennale, ha tre obiettivi principali:

1. produzione di idrogeno per scissione termica dell'acqua tramite cicli termochimici alimentati da energia solare concentrata;
2. sviluppo di nuovi materiali per l'accumulo dell'idrogeno;
3. produzione di idrogeno tramite gassificazione del carbone e sequestro dell'anidride carbonica (Processo ZECOMIX).

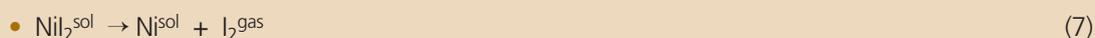
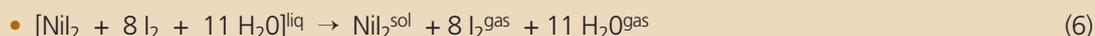
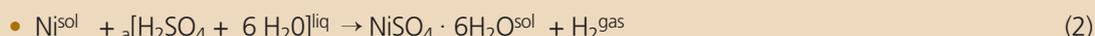
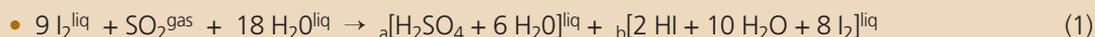
Il primo di questi punti prevede la produzione di idrogeno tramite cicli SI, simili a quelli sviluppati per la produzione di idrogeno da nucleare. All'interno del progetto sono stati effettuati studi sulla reazione di Bunsen alternativa, sulla decomposizione dell'acido iodidrico, su quella dell'acido solforico, sull'uso di membrane distillatrici e sulla decomposizione termica di solfati metallici. Nonostante gli studi siano stati indirizzati alla produzione di idrogeno da energia solare, questi potrebbero trovare applicazione anche per la produzione di idrogeno da energia nucleare. Tra i vari cicli studiati, quello denominato Nichel Sulfur Iodine (NIS) è particolarmente interessante in quanto garantisce rese di produzione di idrogeno elevate con una semplicità impiantistica notevole^[9].

Il ciclo NIS

Descrizione del ciclo

Il ciclo è basato sulle seguenti reazioni chimiche. Reazione di Bunsen (1) condotta in eccesso di iodio ed acqua, nella quale i prodotti di reazione si separano spontaneamente in due fasi liquide. Una fase solforica più leggera contenente principalmente acido solforico ed acqua (fase a) ed una più pesante contenente acido iodidrico, acqua ed iodio (fase b). Reazione del nichel metallico con la fase solforica (a) per produrre idrogeno e solfato di nichel esaidrato (2). Disidratazione dell'esaidrato a formare nichel solfato anidro (3). Decomposizione termica del solfato di nichel a formare ossido di nichel solido ed anidride solforosa ed ossigeno come gas (4). Reazione dell'ossido di nichel con l'acido iodidrico contenuto nella soluzione iodidrica (b) a formare lo ioduro di nichel in soluzione di iodio ed acqua (5). Evaporazione dell'eccesso di acqua e iodio in modo da separare lo ioduro di nichel come solido (6). Decomposizione termica dello ioduro di nichel per formare nichel metallico e iodio (7). Condensazione dei vapori di acqua e iodio (8 e 9). Sommando tutti i membri a sinistra e destra e semplificando si ottiene l'equazione di produzione di idrogeno per scissione dell'acqua come descritto in (10).

Le reazioni possono così essere rappresentate:



Accoppiamento del ciclo NIS con un reattore HTGR

L'accoppiamento del ciclo termochimico NIS per la produzione di idrogeno nucleare è pensato con un reattore HTGR raffreddato ad elio che usa grafite come moderatore capace di sviluppare una potenza di 600 MW_t. La *figura 1* mostra uno schema dell'accoppiamento del ciclo NIS con il reattore HTGR. Uno scambiatore di calore intermedio separa il circuito principale da quello secondario. Il sistema di raffreddamento primario opera tra 950 e 620 °C mentre il secondario tra 900 e 570 °C, con un flusso di elio in entrambi i circuiti di 80 kg/sec. L'elio del circuito secondario scambia calore in cascata con il reattore di decomposizione del solfato, con il

reattore di decomposizione dello ioduro e con il reattore di disidratazione del solfato prima di essere immesso nel circuito dello scambiatore intermedio. Il calore proveniente dal raffreddamento dei solidi (nichel metallico e nichel ossido) e dei gas (anidride solforosa ed ossigeno), quello di condensazione dei vapori di acqua e iodio nonché quello generato durante le reazioni esotermiche è recuperato e trasformato in vapore d'acqua a 550 °C, che serve come fluido di alimentazione per un sistema di turbine operanti con un ciclo Rankine rigenerativo capaci di fornire elettricità con una resa del 45%. Le *tabelle 3* e *4* riportano le singole trasformazioni del ciclo e i corrispondenti calori scambiati. In particolare la *tabella 3* riporta le trasformazio-

Tabella 3 – Descrizione delle trasformazioni endotermiche coinvolte nel ciclo NIS con i rispettivi valori entalpici

#	Elementi chimici	Reazione	Elementi chimici	Entalpia / kJ mole ⁻¹	
1	C NiSO ₄ *6H ₂ O S Cris. T 120 °C	Risc. →	NiSO ₄ *6H ₂ O Cris. 300 °C	35,4	
2	C NiSO ₄ *6H ₂ O S Cris. T 300 °C	Dis. →	NiSO ₄ Cris. 300 °C	6H ₂ O V ap. 300°C	436
3	C NiSO ₄ S Cris. T 300 °C	Risc. →	NiSO ₄ Cris. 800 °C	78,2	
4	C NiSO ₄ S Cris. T 800 °C	Dec. →	NiO Cris. 800 °C	SO ₂ +1/2O ₂ Gas 800 °C	320
5	C NiI ₂ *11H ₂ O *8I ₂ S Liq. T 120 °C	Evap. →	NiI ₂ Cris. 180 °C	11H ₂ O + 8I ₂ Vap. 180 °C	1.092
6	C NiI ₂ S Cris. T 180 °C	Risc. →	NiI ₂ Cris. 600 °C	45,5	
7	C NiI ₂ S Cris. T 600 °C	Dec. →	Ni Cris. 600 °C	I ₂ Vap. 600 °C	137,5
Totale				2.144,6	

Legenda: C = componenti, S = stato fisico, T = temperatura, Risc. = riscaldamento, Dis. = disidratazione, Dec. = decomposizione, Evap. = evaporazione, Cris. = cristallino, Liq. = liquido, Vap = vapore

Fonte: Prosinì, P.P., Cento, C., Giaconia, A., Caputo, G., Sau, S., 2009, *A modified sulphur-iodine cycle for efficient solar hydrogen production*. International Journal of Hydrogen Energy 34, 1218–1225

Tabella 4 – Descrizione delle trasformazioni esotermiche coinvolte nel ciclo NIS con i rispettivi valori entalpici

#	Elementi chimici		Reazione	Elementi chimici		Entalpia / kJ mole ⁻¹	
1	C	Ni	Prod. H ₂ →	H ₂ SO ₄ * 6H ₂ O	NiSO ₄ * 6H ₂ O	53,5	
	S	Cris.		Liq.	Cris.		H ₂ Gas
	T	120 °C		120 °C	120 °C		120 °C
2	C	6H ₂ O	Raff. →	6H ₂ O		315,9	
	S	Vap.		Liq.			
	T	300 °C		60 °C			
3	C	NiO	Raff. →	NiO		42,2	
	S	Cris.		Cris.			
	T	800 °C		60 °C			
4	C	SO ₂ + 1/2O ₂	Raff. →	SO ₂ + 1/2O ₂		52,2	
	S	Gas		Gas			
	T	800 °C		120 °C			
5	C	NiO	Neut. →	[2HI10H ₂ O*8I ₂]	NiI ₂ *11H ₂ O*8I ₂	161,9	
	S	Cris.		Liq.	Liq.		
	T	120 °C		120 °C	120 °C		
6	C	8I ₂	Cond. →	8I ₂		496,0	
	S	Vap.		Liq.			
	T	180 °C		120 °C			
7	C	11 H ₂ O	Cond. →	11 H ₂ O		519,2	
	S	Vap.		Liq.			
	T	180 °C		100 °C			
8	C	Ni	Raff. →	Ni		13,0	
	S	Cris.		Cris.			
	T	600 °C		60 °C			
9	C	I ₂	Raff. →	I ₂		70,2	
	S	Vap.		Liq.			
	T	600 °C		120 °C			
10	C	9 I ₂	Bunsen →	[2HI*10 H ₂ O*8I ₂]	[H ₂ SO ₄ *6H ₂ O]	134,7	
	S	Liq.		Gas	Liq.		Liq.
	T	120 °C		120 °C	120 °C		120 °C
Totale						1.858,8	

Legenda: C = componenti; S = stato fisico, T = temperatura, Prod. H₂ = Produzione di idrogeno, Raff. = raffreddamento, Neut. = neutralizzazione, Cond. = condensazione, Cris. = cristallino, Liq. = liquido, Vap = vapore

Fonte: Prosini, P.P., Cento, C., Giaconia, A., Caputo, G., Sau, S., 2009, *A modified sulphur-iodine cycle for efficient solar hydrogen production*. International Journal of Hydrogen Energy 34, 1218–1225

ni endotermiche e la *tabella 4* quelle esotermiche. La differenza tra i calori totali delle reazioni è pari a 285,8 kJ che rappresenta proprio la quantità di calore sviluppata durante la combustione di una mole di idrogeno per formare acqua. Il passo che richiede maggior energia è l'evaporazione della soluzione salina di ioduro di nichel, acqua e iodio

(punto 5, *tabella 3*) che consuma 1.092 kJ per mole di idrogeno prodotto. Questo calore può essere recuperato tramite compressione dei vapori e loro condensazione a temperatura sufficientemente alta per determinare l'evaporazione della soluzione salina. Dalla *tabella 4* vediamo che 496 kJ possono essere recuperati dalla condensazione dello io-

dio (punto 6, *tabella 4*) e 519,2 kJ dall'acqua (punto 7, *tabella 4*) per un totale di 1.015,2 kJ. Quindi occorrerà fornire circa 76,8 kJ per mole di idrogeno, sotto forma di energia elettrica per la compressione dei vapori. L'HTGR è in grado di fornire 600 MW_t mentre le tre trasformazioni endotermiche alimentate direttamente dal calore scambiato dall'elio del secondario assorbono circa 1.052,6 kJ per mole, per cui la quantità di idrogeno che si potrà generare è pari al loro rapporto e vale 570 moli sec⁻¹, cioè circa 4,1 ton h⁻¹. La *figura 1* mostra i flussi di elio e di acqua, il calore e le temperature

raggiunte nei vari stadi del ciclo. Considerando che sono prodotte 0,57 kmoli di idrogeno al secondo con un potere calorifico di 285,8 kJ per mole, e che la PCS è in grado di erogare circa 209,7 MW_e di cui 43,8 sono necessari per il compressore, la resa di conversione teorica è:

$$\eta = \frac{(0,57 \cdot 285,8) \text{ MW}_H + (209,7 - 43,8) \text{ MW}_e}{600 \text{ MW}_t} = \frac{162,9 \text{ MW}_H + 165,9 \text{ MW}_e}{600 \text{ MW}_t} = 54,8\%$$

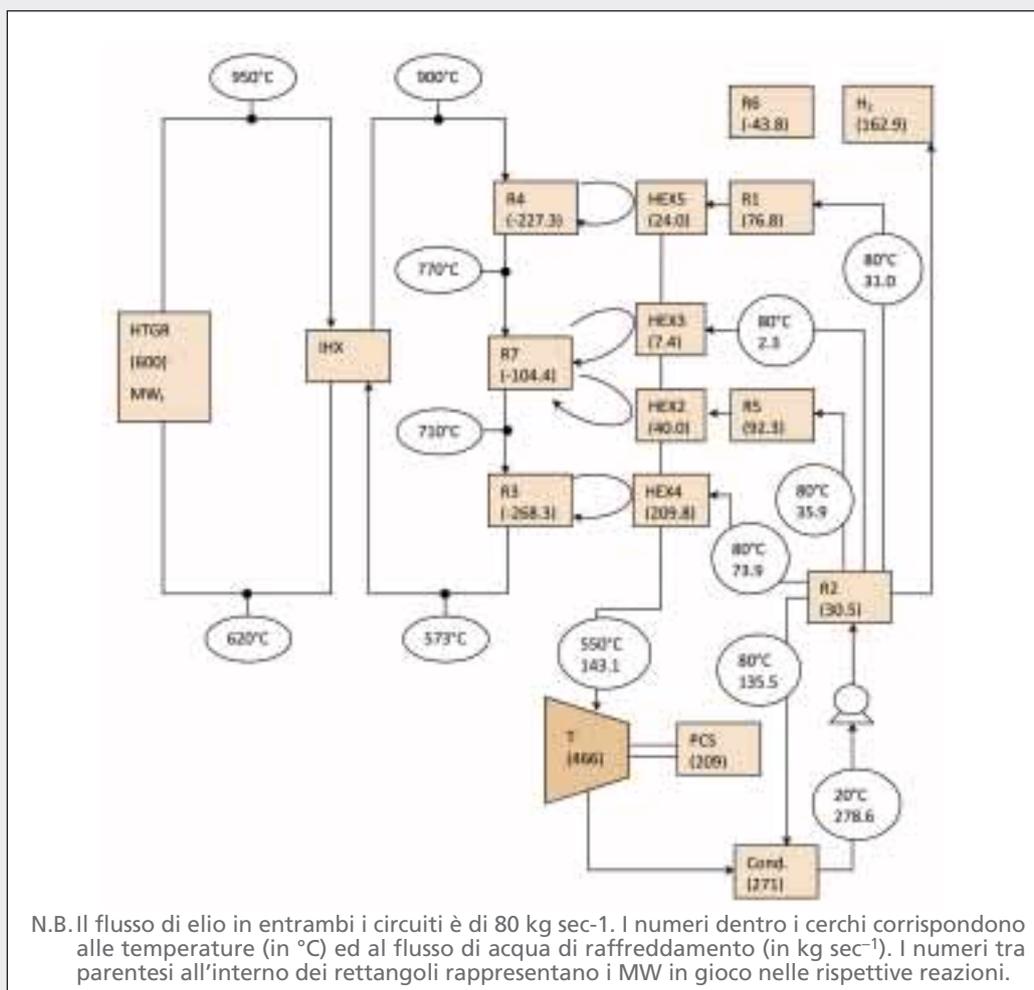


Figura 1
Flow sheet energetico del ciclo NIS
Fonte: ENEA

ta fin quasi a 180 °C. R-6 è un evaporatore multi piatto a letto fluido con tubi di scambio verticali, operante a 180 °C. I vapori di iodio ed acqua che si originano da R-6, sono compressi nel compressore C-1 per aumentarne il contenuto entalpico in modo da recuperare il calore latente di liquefazione. I vapori compressi sono inviati alla serpentina interna di R-6 dove scambiano calore con la soluzione salina, condensando e determinando l'evaporazione dell'acqua e dello iodio. Il condensato è quindi inviato allo scambiatore HEX-1, prima di raggiungere R-1, per preriscaldare la fase iodidrica. Lo ioduro di nichel solido che si forma alla base di R-6 è raccolto nel deposito D-3 e da questo inviato al reattore di decomposizione R-7 che opera tra 770 e 710 °C, alimentato dall'elio del circuito secondario. R-7 è un reattore a forno rotante in cui i vapori di iodio, che si originano dalla decomposizione, fluidizzano lo ioduro solido. I vapori di iodio sono raccolti in alto da R-7, tramite la pompa P-2, ed il calore in esso contenuto è recuperato tramite lo scambiatore HEX-2. Al termine del reattore R-7 vi è uno scambiatore di calore HEX-3 che recupera il calore sensibile del nichel metallico prima che questo venga depositato in D-4. Il nichel metallico è quindi introdotto in R-2. L'acido solforico proveniente dal separatore S-1 è quindi inviato nel reattore per la produzione dell'idrogeno. Al termine della reazione, nel reattore rimane solfato di nichel esaidrato. Il solido è convogliato nel deposito D-5 dal quale viene prelevato per alimentare il reattore di decomposizione R-4. Prima di raggiungere la zona di decomposizione, il solfato è preriscaldato nel reattore R-3 al fine di renderlo anidro. Entrambi i calori necessari per la disidratazione e la decomposizione sono forniti dall'elio del circuito secondario. I vapori di acqua, anidride solforosa ed ossigeno fluidizzano il letto del reattore e sono pompati tramite P-3 per essere inviati allo scambiatore HEX-4. All'uscita dello scambiatore di calore si trova la torre di abbattimento T-1 alimentata anche con l'acqua che sarà poi convertita in idrogeno ed ossigeno. L'acqua scioglie l'anidride solforosa

sa e la soluzione è inviata al reattore di Bunsen R-1. L'ossigeno è eliminato dall'alto di T-1. Infine il nichel ossido prodotto dalla decomposizione del solfato è raffreddato tramite lo scambiatore HEX-5 e stoccato nel deposito D-1.

Conclusioni

I più recenti programmi per lo sviluppo di reattori a gas ad alta temperatura di nuova concezione sono indirizzati alla realizzazione di reattori con nocciolo anulare (VHTR-2 in particolare) che permettono di sviluppare, per singolo reattore, potenze fino a 600 MW_t. Anche se il sistema di produzione di energia elettrica, quello di scambio termico intermedio ed il layout di impianto differiscono sensibilmente, tutti i programmi prevedono lo sviluppo di un impianto di produzione di idrogeno tramite scissione dell'acqua. Le attività di ricerca sono finalizzate alla diminuzione del costo energetico di produzione dell'idrogeno ed alla ottimizzazione del layout di impianto. La cogenerazione di idrogeno ed elettricità, oltre a differenziare l'offerta energetica, permetterebbe di immettere in rete solo la quantità di energia necessaria, stoccando la rimanente come idrogeno. Questo potrebbe essere generato in quantità e a costi tali da permettere il suo uso per la trazione automobilistica, rendendo sostenibile il sistema dei trasporti. In ENEA sono stati effettuati numerosi studi per la generazione di idrogeno dall'acqua tramite cicli termochimici. Tra questi il ciclo NIS è contraddistinto da una alta resa di trasformazione energetica e da una impiantistica relativamente semplice. Sviluppato originariamente per essere alimentato da energia solare concentrata, il ciclo NIS può essere facilmente modificato per poter utilizzare energia termica prodotta da reattori nucleari di IV generazione. L'accoppiamento del ciclo NIS con reattori da 600 MW_t dotati di un sistema di cogenerazione dell'elettricità permetterebbe di ottenere circa 4,2 t/h di idrogeno, corrispondenti a 169,9 MW_h ed una equivalente quantità di energia sotto forma elettrica, con un rendimento globale collettivo di oltre il 54%.

Bibliografia

- [1] US DoE, GIF, 2002, *A technology roadmap for Generation IV nuclear energy systems*. GIF-002-00.
- [2] Herring, J.S., O'Brien, J.E., Stoots, C.M., Hawkes, G.L., Hartvigsen, J.J., Shahnam, M., 2007, *Progress in high-temperature electrolysis for hydrogen production using planar SOFC technology*. International Journal of Hydrogen Energy 32, 440-450.
- [3] Stoots, C.M., O'Brien, J.E., Hartvigsen, J., 2007, *Results of recent high temperature co-electrolysis studies at the Idaho National Laboratory*. AIChE Annual Meeting, 2007, Salt Lake City.
- [4] Funk, J.E., 2001, *Thermochemical hydrogen production: past and present*. International Journal of Hydrogen Energy 26, 185-190.
- [5] Norman, J.H., Besenbruch, G.E., Brown, L.C., O'Keefe, D.R., Allen, C.L., 1982, *Thermochemical water splitting cycle, bench-scale investigations and process engineering*.
- [6] Roth, M., Knoche, K.F., 1989, *Thermochemical water splitting through direct HI-decomposition from H₂O/HI/I₂ solutions*. International Journal of Hydrogen Energy 14, 545-549.
- [7] Kubo, S., Kasahara, S., Okuda, H., Terada, A., Tanaka, N., Inaba, Y., Ohashi, H., Inagaki, Y., Onuki, K., Hino, R., 2004, *A pilot test plan of the thermochemical water-splitting iodine-sulfur process*. Nuclear Engineering and Design 233, 355-362.
- [8] Sato, S., Shimizu, S., Nakajima, H., Ikezoe, Y., 1983, *A Nickel-Iodine-Sulfur Process for Hydrogen Production*. Int. J. Hydrogen Energy 8, 15-22.
- [9] Prosini, P.P., Cento, C., Giaconia, A., Caputo, G., Sau, S., 2009, *A modified sulphur-iodine cycle for efficient solar hydrogen production*. International Journal of Hydrogen Energy 34, 1218-1225.
- [10] Brecher, L., Spewock, S., Warde, C., 1977, *The Westinghouse sulphur cycle for the thermochemical decomposition of water*. International Journal of Hydrogen Energy 2, 7-15.
- [11] Yildiz, B., Kazimi, M.S., 2006, *Efficiency of hydrogen production systems using alternative nuclear energy technologies*. International Journal of Hydrogen Energy 31, 77-92.
- [12] LaBar, M.P., Shenoy, A.S., Simon, W.A., Campbell, E.M., 2004, *The gas-turbine modular helium reactor*. Nuclear Energy 43, 165-175.
- [13] IAEA, 1999, *Hydrogen as an energy carrier and its production by nuclear power*. IAEA-TECDOC-1085.
- [14] Kunitomi, K., Katanishi, S., Takada, S., Takizuka, T., Yan, X., 2004, *Japan's future HTR- the GTH-TR300*. Nuclear Engineering and Design 233, 309-327.
- [15] Hwang, G., Onuki, K., Nomura, M., Kasahara, S., Kim, J., 2003, *Improvement of the Thermochemical water-splitting IS (iodine-sulfur) process by electro-electrodialysis*. Journal of Membrane Science 220, 129-136.
- [16] Elder, R., Allen, R., 2009, *Nuclear heat for hydrogen production: Coupling a veryhigh temperature reactor to a hydrogen production plant*. Progress in Nuclear Energy, 51, 500-525.

ENERGIA DA FUSIONE

STATO, PROSPETTIVE E RICADUTE INDUSTRIALI

A cura di: P. Batistoni, A. Coletti, A. della Corte, F. Gnesotto, E. Lazzaro, P. Martin, A. Pizzuto, I. Ricapito, F. Rosatelli, G. Rostagni, G.P. Sanguinetti, C. Strangio, A. Tuccillo, G. Vlad



La ricerca sulla fusione nucleare, condotta in molti Paesi con l'obiettivo di realizzare una fonte di energia praticamente inesauribile, rispettosa dell'ambiente, sicura ed economicamente competitiva, si trova oggi ad un passaggio importante: la costruzione di ITER, un reattore sperimentale da 500 MW di potenza, frutto di un'ampia collaborazione internazionale e che rappresenta il risultato di decenni di continui progressi nella comprensione della fisica dei plasmi e nello sviluppo delle tecnologie necessarie all'operazione di un reattore a fusione.

Il volume illustra lo stato attuale delle ricerche e gli ulteriori passi necessari per il raggiungimento dell'obiettivo della produzione di energia da fusione, con particolare riguardo alle attività e al ruolo dell'Italia.

Sempre nell'ambito del programma ITER ad esempio, sarà realizzato in Italia da parte del Consorzio RFX l'impianto di sviluppo e prove per il sistema di riscaldamento del plasma in ITER. L'Italia partecipa anche all'accordo Europa-Giappone con la progettazione e realizzazione di 9 delle 18 bobine del magnete toroidale superconduttore e parte delle alimentazioni elettriche di JT-60SA, e dello stadio a bassa energia dell'acceleratore e delle prove per il bersaglio per IFMIF. Il cuore della strategia italiana per i prossimi 10 anni è però rappresentato dall'esperimento FAST (Fusion Advanced Studies Torus), un tokamak satellite che l'Associazione Euratom-ENEA propone di realizzare in Italia, nell'ambito del programma europeo di accompagnamento a ITER. FAST avrebbe l'obiettivo di preparare e ottimizzare in una macchina più semplice e non nucleare gli scenari operativi di ITER, di studiare plasmi prossimi all'ignizione, e di provare componenti innovativi per ITER e DEMO.

Il volume riporta anche gli analoghi progressi conseguiti nelle ricerche sulla fusione a confinamento inerziale, e la proposta del progetto internazionale HiPER, un sistema basato su laser di grandi dimensioni per studi sulla fusione inerziale ed altre applicazioni.

Euro 15,00

ENEA

L'impatto dell'eolico sull'avifauna e sulla chiropterofauna: lo stato delle conoscenze e il trend valutativo in Italia

Gian Andrea Pagnoni
Fabio Bertasi

Istituto Delta Ecologia Applicata, Ferrara

Il lavoro riporta i risultati di numerosi studi condotti a livello mondiale da cui si desumono varie tipologie di impatto e relative misure di mitigazione. Nonostante la ricerca proceda da un ventennio, i risultati non permettono conclusioni univoche, il che, sommato ad una legislazione nazionale insufficiente e a legislazioni regionali eccessive, rende complicato il lavoro dei valutatori e lo sviluppo del settore

Wind Energy Impact on Birds and Bats: Current Knowledge and Evaluation Trend in Italy

This report describes the results obtained from several international studies which different types of impact and the relevant mitigation measures can be inferred from. Despite twenty-year research, results do not provide unique conclusions. Further to insufficient national and excessive regional regulations, this is complicating the evaluators' work and the sector development

Come conseguenza all'aumento del numero di torri aeroportuali meteo e torri per radiocomunicazioni, il numero di report sull'impatto all'avifauna aumentò negli Stati Uniti dagli anni 50 agli anni 60. Negli anni successivi il numero di studi diminuì, forse per le mitigazioni e il minor numero di incidenti, ma anche per la riduzione del pubblico interesse (Drewitt e Langston, 2008). Attualmente, a seguito del rapido incremento dell'eolico in tutto il mondo, è aumentata l'attenzione pubblica, scientifica e politica al tema.

Nonostante alcune amministrazioni competenti al rilascio delle autorizzazioni richiedano talvolta analisi e valutazioni anche su specie non volatrici di interesse conservazionistico (es. lupo, orso, camoscio ecc.), il paesaggio e la tutela della fauna alata sono le componenti ambientali che preoccupano maggiormente le associazioni ambientaliste.

Sebbene studi estensivi sulla avifauna e sulla chiroterrofauna siano disponibili dalla prima metà degli anni 90, ad oggi risulta di fatto impossibile compararne gli esiti. Questo perché, da un lato, le specie indagate, le condizioni ambientali e le metodologie di indagine variano da sito a sito e, dall'altro lato, perché la maggior parte degli studi disponibili sono report o presentazioni a convegni, e solo recentemente vengono pubblicati lavori soggetti a revisione di riviste scientifiche internazionali (Sterner et al., 2007).

Le tipologie di impatto sulla fauna alata sono essenzialmente riconducibili a due categorie:

1. impatti diretti, da collisione con conseguente morte o ferimento di individui;
2. impatti indiretti, quali sottrazione di habitat idoneo, frammentazione ecologica, disturbo e modifica dell'uso del territorio. Il presente lavoro analizza l'evoluzione delle conoscenze scientifiche e lo stato della normativa italiana sulla valutazione ambientale con particolare riferimento alla componente oggetto di studio.

L'impatto sull'avifauna

Il tasso di mortalità negli Stati Uniti e in Europa

Erickson et al. (2001) hanno stimato che le 15.000 turbine operanti negli Stati Uniti alla fine del 2001 potessero determinare la morte di 10.000-40.000 uccelli l'anno, con l'80% di questi concentrato in California.

Il parametro che misura quanti uccelli o chiroteri muoiono contro le torri è espresso in individui morti/aerogeneratore/anno (ind. aer⁻¹. a⁻¹) ed è ricavato dal numero di carcasse rinvenute ai piedi degli aerogeneratori, corretto con fattori di conversione che tengono presente l'attività dei divoratori di carogne, la tipologia territoriale, l'efficienza di ritrovamento della carcassa.

La mortalità dovuta alla collisione con gli aerogeneratori varia notevolmente nei diversi studi, da mortalità nulla (Janss et al., 2001; Percival 1999; Demastes e Trainer, citati in Sterner et al., 2007, pag. 85; Kerlinger, citato in Sterner et al., 2007, pag. 85) ai valori molto elevati di 309 ind. aer⁻¹. a⁻¹ (Benner et al., citato in Everaert e Kuijken, 2007, pag. 6).

Secondo Everaert e Stienen (2007) in Europa il tasso di mortalità medio va da pochi individui a 64 ind. aer⁻¹. a⁻¹. In impianti inshore e semi-inshore in Olanda l'impatto risulta di 14,6-32,8 ind. aer⁻¹. a⁻¹ (Winkelman, 1994). In Navarra (Spagna) durante uno studio di 3 anni condotto su un parco di 277 turbine sono stati rilevati tassi di mortalità medi di 0,43 ind. aer⁻¹. a⁻¹, di cui 0,31 ind. aer⁻¹. a⁻¹ a carico di rapaci, soprattutto grifone (Lekuona e Ursua, 2007). Il tasso di mortalità in impianti inshore della California è di 0,033 ind. aer⁻¹. a⁻¹, dato inferiore al famoso sito inshore californiano di Altamont (0,048), ma superiore allo 0,006 del resto degli Stati Uniti (Sterner et al., 2007). Higgins et al. (2007) a Buffalo Ridge (Minnesota), in un impianto inshore caratterizzato soprattutto da passeriformi, rilevano un impatto trascurabile sull'avifauna.

A Tarifa (un'area inshore prossima allo Stretto di Gi-

**Tabella 1 – Tassi di mortalità per collisione di uccelli
(individui · aerogeneratore⁻¹ · anno⁻¹) negli Stati Uniti e in Europa**

Luogo	Ind. aer ⁻¹ . a ⁻¹	Rap. aer ⁻¹ .a ⁻¹	Autore
Altamont (California)	0,11 – 0,22	0,04 – 0,09	Thelander e Ruge, 2001
Buffalo Ridge (Minnesota)	0,57		Strickland et al., 2000
Altamont (California)		0,05 – 0,10	Erickson et al., 2001
Buffalo Ridge (Minnesota)	0,883 – 4,45	0–0,012	Erickson et al., 2001
Foote Creek Rim (Wyoming)	1,75	0,036	Erickson et al., 2001
United States	2,19	0,033	Erickson et al., 2001
Tarifa (Spagna)	0,03	0,03	Janss 1998
Tarifa (Spagna)	0	0	Janss et al., 2001
Navarra (Spagna)	0,43	0,31	Lekuona e Ursua, 2007
Francia	0	0	Percival, 1999
Sylt (Germania)	2,8 - 130		Benner et al., 1993
Helgoland (Germania)	8,5 - 309		Benner et al., 1993
Zeebrugge (Belgio)	16 - 24		Everaert e Kuijken, 2007
Brugge (Belgio)	21 - 44		Everaert e Kuijken, 2007
Olanda	14,6 - 32,8		Winkelman, 1994
Olanda	2-7		Musters et al., 1996
Norvegia		0,13	Follestad et al., 2007

Fonte: elaborazione degli autori su dati di bibliografia

biterra con un flusso migratorio molto consistente, si registra un inaspettato basso tasso di mortalità (0,03 ind. aer⁻¹. a⁻¹). In un successivo studio che ha compreso le fasi ante-operam, cantiere e post operam, lo stesso autore non rileva alcuna morte da collisione (Janss, 1998; Janss et al., 2001).

Densità di popolazione e nidificazione

In Navarra, l'abbondanza della maggior parte delle specie presenti nell'area non è direttamente correlata con la probabilità di collisione, mentre alcune specie come grifone e gheppio, mostrano la correlazione positiva tra densità e collisioni (Lekuona e Ursua, 2007). Leddy et al. (1997), in uno studio in Minnesota prevalentemente sui passeriformi, evidenziano minori densità degli uccelli all'interno dei parchi eolici. La densità diminuirebbe a partire da 180 m dagli aerogeneratori, riducendosi fino a 10 volte rispetto alle aree di controllo esterne, nella fascia fra 0 e 40 m dagli aerogeneratori.

Winkelman (1994), in una analisi di diversi studi europei, sostiene che riduzioni della densità degli uccelli possano essere molto significative e che l'effetto possa arrivare fino a 250-500 m dalla prima turbina.

Janss et al. (2001) a Tarifa (Spagna), in uno dei pochi esempi di monitoraggio effettuato pre, durante e post costruzione, pur non avendo rilevato collisioni, evidenzia cambiamenti nell'uso del territorio e nella densità dei nidificanti per sei specie di rapaci, in particolare lo spostamento della nidificazione all'esterno dell'area del parco eolico e l'evitamento dell'area vicina agli aerogeneratori. Meek et al. (1993), in due impianti inshore in Scozia, non rilevano significative variazioni nel numero di coppie nidificanti di diverse specie acquatiche e terrestri, mentre riduzione del numero di nidificanti di *Gavia stellata* sono ritenute conseguenti alle attività di cantiere.

Johnsson et al. (citati in Sterner et al., 2007, pag. 92), presso Buffalo Ridge (Minnesota), hanno ve-

rificato la riduzione dell'utilizzo dell'habitat da parte di 7 specie di prateria su 22, in conseguenza della costruzione dell'impianto.

Per quanto riguarda l'impatto sulla nidificazione Erickson et al. (2002) ritengono che l'interferenza negativa con la nidificazione aumenti al diminuire della distanza dalle turbine nei vecchi impianti, risultando invece non significativa nei moderni impianti. Howell e Noone (citati in Sterner et al., 2007, pag. 92) in California hanno trovato le stesse densità di rapaci nidificanti prima e dopo la costruzione dell'impianto. La stessa conclusione si ha a Zeebrugge (Belgio) per alcuni sternidi (*Sterna hirundo*, *S. sandwicensis* e *S. albifrons*), dove la presenza delle turbine non ha influenzato la densità della colonia (Everaert e Stienen, 2007).

Comportamento e biologia

Secondo alcuni autori, a causa delle diversità comportamentali, il rischio di collisione varia tra le specie (Thelander e Rugge, citati in Sterner et al., 2007, pag. 88). Orloff (citato in Sterner et al., 2007, pag. 88) riporta che il 33% dei rapaci osservati a Tehachapi (California) ed il 39% ad Altamont volano ad altezza turbine; al contrario, Thelander e Rugge (2000) rilevano poche interferenze con l'albanella reale (*Circus cianeus*), che vola in prossimità del suolo, il corvo imperiale (*Corvus corax*) e l'avvoltoio collaroso (*Cathartes aura*), che si cibano di carogne al suolo, al di sotto quindi della azione delle pale.

Secondo Orloff e Flanery (citati in Sterner et al., 2007, pag. 88) l'età è un fattore di rischio, perché ad Altamont individui immaturi di aquila reale (*Aquila chrysaetos*) sono soggetti a maggiore probabilità di collisione dovuta forse ad inesperienza. Al contrario, Hunt (citato in Sterner et al., 2007, pag. 88) trovò maggiori mortalità nei subadulti e negli adulti non in riproduzione, dato messo in relazione al fatto che gli adulti in riproduzione non si allontanavano dal sito di nidificazione (generalmente fuori dall'impianto), mentre quelli non in riproduzione passavano molto più tempo ad esplorare il territorio alla ricerca di cibo.

La presenza di prede sembra influenzare il pericolo di collisione dei rapaci. Negli Stati Uniti (Sterner et al., 2007) e in Navarra alcuni impianti mostravano

un impatto maggiore sui rapaci (avvoltoi e nibbi), per la vicinanza di discariche in cui erano presenti carcasse di animali allevati (Lekuona e Ursù, 2007).

Rapaci e non rapaci

Erickson (1999) riporta che solo il 10,7% dei passeriformi vola ad altezze riconducibili all'area di rotazione delle pale, mentre per i rapaci la percentuale è del 47%. Il minor rischio dei passeriformi a causa del loro volo al di sotto dell'area del rotore è confermato a Buffalo Ridge da Higgins et al. (2007). In Navarra – in un habitat dominato da non rapaci (80,6%) – rapaci e ciconiformi mostrano un rischio di collisione significativamente maggiore dei passeriformi, con i rapaci che rappresentano il 72,8% delle collisioni e in particolare il grifone, che da solo rappresenta il 63,1% (Lekuona e Ursù, 2007).

Tali dati contrastano con quelli di Erickson et al. (2002), secondo cui i passeriformi sono il gruppo numericamente più esposto alla mortalità da collisione che in generale costituisce l'80% delle perdite, la metà delle quali avviene di notte, sia a carico di residenti che a carico di migratori.

Secondo Higgins et al. (2007) e Lekuona e Ursù (2007), la stagionalità influenza il pericolo di collisione specifico, con rapaci impattati maggiormente in primavera (marzo-giugno) e in autunno (settembre-novembre), e passeriformi (in particolare migratori notturni) impattati maggiormente nel periodo post-riproduttivo.

Percezione delle pale

Il motivo per cui animali dotati di buona vista, come gli uccelli, o di eco localizzazione, come i chiroteri, subiscono l'impatto dei parchi eolici è ancora oggetto di discussioni. Significative potrebbero essere la difficoltà a percepire strutture aliene al normale contesto. In tal senso le differenze specie-specifiche possono essere ricondotte alle diverse tipologie di visione: focalizzata in un punto per i rapaci, che riduce il campo percettivo, oppure dal cono ottico ampio, ma poco definito, sviluppata da molti uccelli preda (Drewitt e Langston 2008).

Secondo Sterner et al. (2007) la maggior parte degli studi mostra che gli uccelli tenderebbero a pas-

sare sopra o sotto le turbine evitando la collisione. Tali osservazioni sono state confermate a Tarifa (Spagna), dove il 71,2% degli individui volteggianti cambiava direzione al momento della percezione delle pale (De Lucas et al., 2007), a Buffalo Ridge (Minnesota) dove i passeriformi modificano il volo evitando di attraversare l'area del rotore solo quando questo è in funzione (Higgins et al., 2007) e in Olanda, dove le anatre tuffatrici presenti tendono a modificare il volo durante l'avvicinamento evitando la collisione (Dirksen et al., 2007). Secondo Winkelman (1994), reazioni alla presenza delle turbine sono visibili da 100 a 500 metri nei volatori diurni ed entro 20 metri nei volatori notturni. Secondo Dirksen et al. (2007), per questo motivo la maggior parte delle collisioni avviene di notte.

Le specie gregarie, che formano grossi stormi in primavera ed autunno, sembrano più inclini alla collisione, forse a causa della maggiore attenzione agli individui che precedono nello stormo piuttosto che all'ambiente circostante. Inoltre alcune specie sembrano attratte dalla luce che illumina le strutture, che forse vengono utilizzate come indicatori per il volo. Le condizioni atmosferiche influenzano il comportamento degli uccelli. Nebbia, pioggia e neve riducono la visibilità e l'orientamento ponendo i migratori notturni a rischio di collisione (Drewitt e Langston, 2008).

Design e dimensione degli aerogeneratori

Il design e la dimensione degli aerogeneratori è stata oggetto di discussioni e in generale le vecchie turbine a traliccio con travi orizzontali sono ritenute maggiormente impattanti rispetto alle tubulari. Le vecchie torri a traliccio fornirebbero posatoi (per rapaci in particolare) che attirano gli individui (Orloff e Flannery, citati in Sterner et al., 2007, pag. 89), mentre le turbine tubulari di grandi dimensioni, avendo un minor numero di giri del rotore (Thelander e Ruge, 2001) ed essendo in minor numero a parità di potenza dell'impianto (Sterner et al., 2007), avrebbero un effetto barriera inferiore. In realtà, analizzando in dettaglio la mortalità da collisione per tipologia di turbina i dati sono ancora contrastanti. Erickson et al. (2002) sostengo-

no che nei moderni aerogeneratori la mortalità dei rapaci è generalmente molto bassa (0-0,4 rapaci aer.⁻¹ a⁻¹) rispetto ai vecchi generatori di Altamont. Al contrario, Thelander e Ruge (2000) ritengono che anche le strutture tubulari presentino un elevato rischio e secondo Everaert e Kuijken (2007) le turbine di grande taglia (oltre 1,5 MW) hanno probabilità di impatto uguali o maggiori, perché la taglia della turbina è proporzionale alla superficie del rotore e alla probabilità di collisione (Sterner et al., 2007).

Analisi del comportamento dei rapaci indicano che alcune specie sono maggiormente a rischio con pale alte dal suolo, mentre si verifica il contrario per altre specie.

Thelander et al. (2001) rilevarono ad Altamont che i rotori con il centro a 24 metri dal suolo impattavano maggiormente su falco coda rossa (*Buteo jamaicensis*), aquila reale (*Aquila chrysaetos*), gheppio americano (*Falco sparverius*), civetta delle tane (*Athene cunicularia*) e barbagianni (*Tyto alba*), mentre Hunt (citato in Sterner et al., 2007, pag. 90) trovò, nello stesso sito, che le turbine di minori dimensioni impattavano soprattutto su aquila reale (*Aquila chrysaetos*).

L'impatto sulla chiropterofauna

L'impatto dell'eolico sui chiropteri non è attualmente documentato quanto quello sull'avifauna. Le motivazioni risiedono nella minore attenzione conservazionistica e sulla comune assunzione che i chiropteri usino l'ecolocalizzazione per evitare le turbine. I primi studi riportano impatti sostanzialmente nulli (Erickson et al., 2002), ma è solo dal 2003, quando uno studio in Nord America stimò la morte di 1.400-4.000 individui presso un impianto nel West Virginia, che l'impatto su questo gruppo ha cominciato ad essere estensivamente monitorato (Arnett et al., 2008). Recenti studi hanno messo in luce che l'impatto sui chiropteri potrebbe essere sottostimato perché le metodiche di rilevamento sono generalmente specifiche per l'avifauna (in particolare grandi rapaci) e molto probabilmente non consentono il corretto rilevamento di carcasse di chiropteri (Johnson, 2004; Sterner et al., 2007). Infatti, un recente studio in Navar-

ra mostra che i chiroterri rappresentano il 5% delle collisioni totali (Lekuona e Ursua, 2007).

Sebbene non sia ancora chiaro se l'eolico ha una influenza significativa sulle popolazioni di chiroterri, da studi recenti si possono individuare alcuni pattern. Le specie maggiormente impattate appartengono ai generi *Lasiurus* in Nord America e *Nyctalus* e *Pipistrellus* in Europa, e la mortalità è soprattutto a carico di adulti, il che rigetta l'ipotesi che il pericolo di collisione sia soprattutto conseguenza di inesperienza giovanile (Arnett et al., 2008). Sia in Nord America che in Europa, la mortalità è decisamente maggiore su individui in migrazione e il periodo di maggiore impatto va da metà estate all'autunno (Arnett et al., 2008; Erickson et al., 2002; Lekuona e Ursua, 2007; Strickland et al., 2000). Tale dato è in linea con i rilevamenti di collisioni di chiroterri con altre strutture antropiche ed è probabilmente legato all'aumento dell'attività esplorativa degli individui prima e durante la migrazione. Il tasso di mortalità risulta inversamente proporzionale alla velocità del vento ed è anche in relazione a condizioni meteo, in particolare con la presenza di fronti. Non sembrano esserci correlazioni positive tra la mortalità e variabili locali quali l'habitat o la posizione delle singole turbine, ma le collisioni tendono a distribuirsi su tutte le turbine dell'impianto. La sincronia di mortalità tra impianti distanti (Pennsylvania e West Virginia) fa supporre che le collisioni siano in relazione a variabili a scala regionale, come le condizioni meteo e la disponibilità di insetti (Arnett et al., 2008).

L'ecolocalizzazione dei chiroterri e la capacità di evitamento

L'efficienza della ecolocalizzazione deve ancora essere verificata nel rapporto con l'eolico. L'opinione che i chiroterri siano in grado di evitare le turbine potrebbe non essere corretta, dato che l'utilizzo dell'ecolocalizzazione durante la migrazione è poco conosciuto (Horn et al., 2008) e forse per motivi energetici l'ecolocalizzazione sarebbe poco utilizzata durante la migrazione (Keeley et al., 2001). Le attuali conoscenze basate su recenti immagini ad infrarossi indicano da un lato, che i chiroterri sembrano in grado di evitare, spesso con

successo, la pale rotanti, dall'altro che le turbine con pale in movimento a bassa velocità sembrano attraenti per i chiroterri (Horn et al., 2008). Diverse sono le ipotesi, e tra queste il fatto che le specie boschive potrebbero percepire gli aerogeneratori come possibili roost, che le pale potrebbero essere scambiate per prede in movimento, potrebbero produrre rumori "interessanti" o che più semplicemente la struttura potrebbe suscitare curiosità e indurre un atteggiamento perlustrativo (Arnett et al., 2008). Un'altra ipotesi riguarda la possibilità che l'elevata mortalità di chiroterri boschivi migratori contro turbine o altre strutture antropiche sia conseguenza dei tipici atteggiamenti riproduttivi di massa (*flocking*) e che le strutture elevate sul territorio rappresentino dei *land mark* dove incontrarsi durante la migrazione.

Mitigazioni

Johnson et al. (2007) identificano le seguenti tecnologie di riduzione del rischio di mortalità: localizzazione del sito, colorazione delle pale (anche con vernici UV riflettenti), torri tubolari e strumenti dissuasori di sosta, turbine di grandi dimensioni, sagome artificiali, strumenti di disturbo acustico o visivo, modifica dell'habitat e riduzione della densità delle prede per i rapaci.

Secondo Osborn et al. (1998) l'utilizzo dei moderni modelli tubolari di turbine (che non forniscono posatoi per l'avifauna) sono già una forma di mitigazione, ma la differenza di impatto tra i vecchi modelli a traliccio e i nuovi tubolari, come si è sopra analizzato, non è uniformemente condivisa. McIsaac (2001) ha dimostrato che bande colorate trasversali sulle pale vengono avvertite dai rapaci a maggior distanza. Hodos et al. (2001) affermano che, colorando una sola delle tre pale di nero e lasciando le altre due bianche, si riduce l'effetto motion smear (l'effetto che fa percepire come statico un corpo in movimento, per la permanenza dell'immagine sulla retina) e gli uccelli percepiscono meglio il rischio. Va però ricordato che la modifica della percezione delle turbine può confliggere con le norme sulla navigazione aerea o con le indicazioni locali in materia di tutela del paesaggio. Le luci stroboscopiche rosse (raccomandate dalla

Federal Aviation Administration americana) non sembrano influenzare il tasso di mortalità (Arnett et al., 2008); peraltro, l'illuminazione delle torri potrebbe essere un fattore di impatto negativo per migratori notturni, attirati dalle luci soprattutto in condizioni di scarsa visibilità (Drewitt e Langston, 2008).

Una forma di mitigazione comprende la modifica degli habitat presenti nell'area di progetto, in modo da scoraggiare la presenza delle specie potenzialmente a rischio (Johnson et al., 2007). Se l'intento è, ad esempio, quello di preservare specie di rapaci che cacciano in ambienti aperti, potrebbe essere opportuno provvedere alla piantumazione di arbusti nelle immediate vicinanze delle turbine al fine di limitare la densità di roditori e la loro contattabilità, e di conseguenza diminuire l'interesse di rapaci per l'area di progetto. Tali modifiche di habitat vanno attentamente valutate perché possono essere in conflitto con la tutela degli habitat stessi e con la tutela del paesaggio, possono attirare specie eventualmente di maggiore interesse conservazionistico e devono quindi essere progettate in modo da prevedere una riduzione del rischio di collisione assieme all'aumento complessivo della qualità ambientale.

Discussioni e conclusioni

Prendendo il tasso di collisione (individui per turbina per anno) come parametro di confronto, si può vedere che la mortalità negli studi analizzati va generalmente da 0 ad alcuni individui per turbina per anno. Tale parametro, però, è molto generico e può essere utile per comparare impatti di progetti in aree diverse, in quanto presenta un rischio di sottovalutazione specie-specifico. I rapaci (quand'anche non appartenenti a specie protette) sono per loro ecologia poco abbondanti, hanno tassi riproduttivi bassi, per cui lo stesso tasso di collisione su un rapace di interesse conservazionistico rispetto a un passeriforme antropofilo ha un impatto significativamente più elevato sulla componente avifauna. Altrettanto importante è la dimensione del progetto, perché un basso tasso di mortalità in un parco eolico di grandi dimensioni può comunque comportare valori cu-

mulativi significativi. Sebbene i tassi di mortalità ad Altamont siano bassi (0,048 ind. aer⁻¹. a⁻¹), l'elevato numero di aerogeneratori (circa 5.400) comporterebbe una mortalità di circa 1.000 uccelli l'anno, il 50% dei quali appartenerebbe a specie di rapaci di interesse conservazionistico (Sterner et al., 2007; Thelander e Rugge, 2001; Hunt, citato in Sterner et al., 2007, pag. 87). A complicare la ricerca di pattern c'è il fatto che non risulta sempre chiaro fino a che punto un impatto sugli individui si ripercuote negativamente anche sulle popolazioni. Una ricerca ad Altamont su un'area di 30 km ha trovato elevati tassi di collisioni di aquila reale, ma anche una tra le maggiori densità riproduttive del mondo, perché il mantenimento della popolazione veniva garantito dalla immigrazione (Drewitt e Langston, 2008; Hunt, 2002; Hunt e Hunt, 2006).

Ampliando la prospettiva e considerando un maggior numero di cause di mortalità antropica, secondo Erickson et al. (2005) l'eolico rappresenta lo 0,01% della mortalità antropica di avifauna: un valore comparabile con l'impatto da aeromobili e decisamente inferiore ad altre cause antropiche come torri per radiocomunicazioni (0,5%), pesticidi (7%), veicoli (8,5%), gatti (10,6%), elettrodotti (13,7%) e finestre di palazzi (58,2%). Tali dati minimizzano l'impatto dell'eolico rispetto ad altre cause antropiche sulle quali vi è una bassa percezione e una consolidata disponibilità sociale (es. tralicci ed elettrodotti, gatti domestici o autovetture) o per le quali ben poco può essere fatto (edifici).

Sebbene il lavoro di Erickson et al. (2005) rappresenti un'analisi parziale e grossolana, è evidente che il complesso dei dati presentati non permette generalizzazioni conclusive in merito agli impatti dell'eolico sulla fauna alata. I fattori in gioco comprendono la tipologia e il layout degli impianti rispetto all'orografia del territorio, la localizzazione rispetto ad aree di interesse conservazionistico, le specie presenti, la loro biologia, ecologia ed etologia specifiche, l'abbondanza degli individui e delle loro prede, l'uso puntiforme del territorio. Tali fattori agiscono in sinergia e rendono praticamente impossibile prevedere l'interferenza di un progetto con la fauna presente.

In questo contesto di naturale scientifica incertez-

za, i dati dei singoli studi vengono strumentalmente utilizzati dai sostenitori o dai detrattori dell'eolico. Tale atteggiamento, assieme ad una legislazione nazionale insufficiente e ad una legislazione regionale eccessiva, complica il lavoro degli operatori di settore e rende sia lo sviluppo dell'eolico sia la valutazione degli impatti molto ardua.

Nell'ultimo decennio sono state proposte metodologie di studio e di previsione degli effetti dell'eolico sulla fauna (Anderson et al., 1999; Percival, 2007, Strickland et al., 2007), le quali tendono però ad essere utilizzate a livello di ricerca e raramente vengono seguite in piani di monitoraggio propedeutici a Studi di Impatto Ambientale (SIA). Infatti, il monitoraggio ante operam non è obbligatorio per legge, inoltre il SIA è a cura e spese del proponente, il quale tende ovviamente ad evitare spese aggiuntive a meno che non venga esplicitamente richiesto dalla amministrazione competente. Tali fattori comportano automaticamente una strutturale carenza di dati per la componente fauna alata, e i redattori di SIA solitamente valutano le possibili interferenze sulla base di considerazioni ragionevoli: il tasso di mortalità potenziale viene ricavato da bibliografie su aree ecologicamente simili, ma spesso molto lontane, e viene messo in relazione con una ipotetica qualità ambientale dell'area di progetto, ricavata da bibliografie ad area vasta o dalla potenzialità faunistica della vegetazione presente.

Negli ultimi anni molte Regioni si sono dotate di linee guida per l'inserimento dell'eolico nel proprio territorio; alcune di queste (Piemonte con DGR 20/11717/2009, Liguria con LR 38/1998 revisione 2008 e Basilicata con DGR 720/2009) hanno inserito modalità di monitoraggio ante e post operam molto puntuali, il che dimostra una maggior sensibilità al problema della carenza di dati. Nelle more dell'uscita delle linee guida nazionali, previste dal D.Lgs 387/2003, art. 12 comma 10 e attualmente in bozza, diverse Regioni hanno emanato piani, regolamenti e leggi, finalizzati alla tutela delle aree protette (parchi, riserve, vincoli paesaggistici o architettonici ecc.) e l'Abruzzo (con DGR 754/2007) si è spinto ad individuare aree di rispetto per l'orso marsicano, un mammifero terrestre di grandi dimensioni che non ha alcuna possi-

bilità di entrare nel rotore in movimento e per il quale è stato evidentemente invocato il principio di precauzione. Ma in assenza di prove scientifiche che permettano l'individuazione a priori di un impatto su una determinata componente ambientale (paesaggio, fauna, vegetazione ecc.), e in un contesto di impegno nazionale alla proliferazione delle rinnovabili assunto in sede europea e con accordi internazionali, le limitazioni previste dalle norme regionali sono state in alcuni casi impugnate. La Corte Costituzionale riconosce, con sentenza n. 166/2009, che le Linee Guida per l'autorizzazione agli impianti da fonti rinnovabili nel rispetto delle norme in materia ambientale, previste dall'art. 12, comma 10, del D.Lgs. n. 387 del 2003 sono espressione della competenza statale in materia di tutela dell'ambiente. Inoltre nella medesima sentenza (in merito all'art. 6 della LR Basilicata 9/2007) la Corte Costituzionale dichiara l'illegittimità costituzionale nei casi in cui le Regioni provvedano autonomamente alla individuazione di criteri per il corretto inserimento nel paesaggio degli impianti alimentati da fonti di energia alternativa, proprio in considerazione del preminente interesse di tutela ambientale perseguito dalla disposizione statale. Più specificamente in materia di tutela di habitat e specie, il TAR Puglia, con sentenza 2128/2008, ha dichiarato illegittimo il Regolamento Regionale nella parte in cui sono ritenute non idonee le aree pSIC e ZPS per la localizzazione degli aerogeneratori. Tale divieto è in contrasto con l'art. 5 del DPR 357/1997, il quale, per tutti gli interventi che possono avere una interferenza sulle specie e gli habitat presenti nel SIC/ZPS, prevede non già una mera esclusione generalizzata ed aprioristica, bensì l'assoggettamento alla procedura di valutazione di incidenza ambientale. La mancanza di linee guida nazionali, sebbene previste dal D.Lgs 387/2003, ha determinato una proliferazione non coordinata delle norme locali. Tale situazione contrasta con il concetto giuridico di tutela ambientale, di competenza esclusiva dello Stato ai sensi dell'art. 117 della Costituzione; inoltre, l'incertezza normativa e scientifica vanifica i business plan soprattutto di grandi investitori che si spostano ad area sovranazionale e complica la corretta redazione degli studi di impatto am-

bientale. Se per un investitore l'ostacolo principale viene dalla incertezza normativa, per il settore valutazione ambientale la difficoltà maggiore deriva dal fatto che si è puntato più a individuare aree locali aprioristicamente non idonee che a cercare di sviluppare parametri e criteri nazionali per la realizzazione dei monitoraggi ante operam e per la ricerca degli indicatori per l'analisi degli impatti. L'emanazione delle linee guida non sarà certo la soluzione definitiva alla difficoltà valutativa degli impatti sulla fauna alata (che come abbiamo visto è intrinseca a questa

componente ambientale), ma certamente contribuirà a stabilire uno standard di richieste iniziali alle quali i redattori di SIA dovranno uniformarsi. Inoltre, si spera, esse permetteranno una maggiore uniformità nel livello di approfondimento del quadro ambientale iniziale dei SIA, producendo dati analizzabili contemporaneamente a larga scala dalla comunità scientifica.

Ringraziamenti

Si ringrazia il dott. Flavio Bruno per la revisione critica della parte normativa.

Bibliografia

- [1] Anderson, R., Morrison, M., Sinclair, K., Strickland, D. (1999). *Studying wind energy/bird interactions: a guidance document*. Report Avian Subcommittee and National Wind Coordinating Committee. 88 pp.
- [2] Arnett, E.B., Brown, W.K., Erickson, W.P., Fielder, J.K., Hamilton, B.L., Henry, T.H., Jain, A., Johnson, G.D., Kerns, J., Koford, R.R., Nicholson, C.P., O'Connell, T.J., Piorkowski, M.D., Tankersley, R.D. 2008. *Patterns of bat fatalities at wind energy facilities in North America*. Journal of wildlife management, 72 (1): 61-78.
- [3] Benner J.H.B., Berkhuizen J.C., de Graaff R.J., Postma A.D., 1993 - *Impact of the wind turbines on birdlife*. Final report n° 9247. Consultants on Energy and the Environment. Rotterdam, The Netherlands.
- [4] De Lucas M., J. Guyonne, M. Ferrer 2007. *Wind farm effects in the Strait of Gibraltar*. In: de Lucas, M. et al. (Ed.) (2007). *Birds and wind farms: risk assessment and mitigation*, 219-227.
- [5] Dirksen S., A.L. Spaans, J. van Der Winden. 2007. *Wind farm effects in the Strait of Gibraltar*. In: de Lucas, M. et al. (Ed.) (2007). *Birds and wind farms: risk assessment and mitigation*, 201-218.
- [6] Drewitt A., R. Langston, 2008. *Collision effects of wind power generators and other obstacles on birds*. Ann. N.Y. Acad. Sci. 1134:233-266.
- [7] Erickson W.P., Johnson G.D., Strickland M.D., Kronner K., Becker P.S., Orloff s. 1999. *Avian use and behavior at the CARES Wind Plant site, Klickitat County, Aashington*. Report submitted to the National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado. 75 pp.
- [8] Erickson W.P., Johnson G.D., Strickland M.D., Young D.P. Jr., Sernka K.J., Good R.E., 2001. *Avian collision with wind turbines: a summary of existing studies and comparisons to other sources of avian collision mortality in the United States*. National Wind Coordinating Committee (NWCC) Resource Document. 62 pp. <http://www.nationalwind.org/publications/avian.htm>
- [9] Erickson W., G. Johnson, D. Young, D. Strickland, R. Good, M. Bourassa, K. Bay, K. Sernka, 2002. *Synthesis and comparison of baseline avian and bat use, raptor nesting and mortality information from proposed and existing wind developments*. West Inc. <http://www.nationalwind.org/publications/avian.htm>
- [10] Erickson W., G. Johnson, D. Young, 2005. *A summary of bird mortality from anthropogenic causes with an emphasis on collisions*. USDA Forest Services Gen. Tech. PSW-GRT-191.
- [11] Everaert, J., Kuijken, E. (2007). *Wind turbines and birds in Flanders (Belgium)*. <http://www.windaction.org/documents/11725>
- [12] Everaert, J., Stienen, E. (2007). *Impact of a wind turbines on birds in Zeebrugge (Belgium)*. *Biodiversity Conservation*, 16: 3345-3359.
- [13] Follestad, A., O. Reitan, T. Nygård, et al. 2007. *Vindkraft og fugl på Smøla 2003-2006*. NINA Rapport 248. Trondheim.
- [14] Higgins, K., Osborn, R.G., Naugle, D.E. (2007). *Effects of wind turbines on birds and bats in Southwestern Minnesota, USA*. In: de Lucas, M. et al. (Ed.) (2007). *Birds and wind farms: risk assessment and mitigation*, 81-100.
- [15] Hodos W., A. Potocki, T. Storm and M. Gaffney. 2001. *Reduction of Motion Smeared to reduce avian collision with Wind Turbines*. In Schwartz S.S. (Ed.), *Proceedings of national Avian-Wind Power Planning Meeting IV*. May 16-17, 2000, Carmel, California, 88-104. <http://www.nationalwind.org>
- [16] Horn J., E. Arnett e T. Kunz, 2008. *Behavioural responses of bats to operating wind turbines*. *Journal of Wildlife Management* 72:123-132.

- [17] Hunt W., 2000. *Continuing Studies of Golden Eagles at Altamont Pass*. Proceedings of national Avian-Wind Power Planning Meeting IV. May 16-17, 2000, Carmel, California. <http://www.nationalwind.org/publications/avian.htm>
- [18] Hunt W., 2002. *Golden eagle in a perilous landscape: Predicting the effects of migration for energy-related mortality*. California Energy Commission Report P500-02-043F. In Drewitt e Langston (2008).
- [19] Hunt W., T. Hunt, 2006. *The trend of golden eagle territory occupancy in the vicinity of the Altamont Pass Wind Resource Area: 2005 survey*. California Energy Commission Public Interest Energy Research Final Project Report CEC-500-2006-056. In Drewitt e Langston (2008).
- [20] Kochert, M., K. Steenhof, C. McIntyre, E. Craig. 2002. *Golden Eagle (Aquila chrysaetos)*. Pp. 1-44 in A. Poole, F. Gill, eds. *The Birds of North America*, Vol. 684. Philadelphia: The Birds of North America.
- [21] Janss G., 1998. *Bird Behavior In and Near Wind Farm at Tarifa, Spain: Management Consideration*. Proceedings of national Avian-Wind Power Planning Meeting III. May, 1998, San Diego, California. http://www.nationalwind.org/publications/avian/avian98/15-Janss-Tarifa_Spain.pdf
- [22] Janss G., A. Lazo, J.M. Baqués, and M. Ferrer. *Some Evidence of Changes in Use of Space by Raptors as a Result of the Construction of a Wind Farm*. Atti del 4th Eurasian Congress on Raptors. Settembre, 25-29, 2001. Seville, Spain.
- [23] Johnson G., 2004. *Overview of Available Bat Mortality Studies at Wind Energy projects*. National Avian-Wind Power Planning Meeting V. November 2004. <http://www.nationalwind.org/publications/avian/avian04/default.htm>
- [24] Johnson G., Strickland M.D., Erickson W.P., Young D.P. 2007. *Use of data to develop mitigation measures for wind power development impacts to birds*. In: de Lucas, M. et al. (Ed.) (2007). *Birds and wind farms: risk assessment and mitigation*. pp. 242-275.
- [25] Keeley B., Ugoretz S., Strickland D. 2001. *Bat Ecology and Wind Turbine Considerations*. In Schwartz S.S. (Ed.), *Proceedings of national Avian-Wind Power Planning Meeting IV*. May 16-17, 2000, Carmel, California, 135-141. <http://www.nationalwind.org>
- [26] Leddy K.L., K.F. Higgins, and D.E. Naugle 1997. *Effects of Wind Turbines on Upland Nesting Birds in Conservation reserve program Grasslands*. *Wilson Bulletin* 111 (1) 100-104 pp.
- [27] Lekuona J.M., C. Ursua 2007. *Avian mortality in wind power plants in Navarra (Northern Spain)*. In: de Lucas, M. et al. (Ed.) (2007). *Birds and wind farms: risk assessment and mitigation*, 177-192.
- [28] Mclsaac H. 2001. *Raptor acuity and wind turbine blade conspicuity*. In Schwartz S.S. (Ed.), *Proceedings of national Avian-Wind Power Planning Meeting IV*. May 16-17, 2000, Carmel, California, 59-87. <http://www.nationalwind.org>
- [29] Meek E. R., Ribbands J. B., Christer W. G., Davy, P. R., Higginson. I., 1993. *The effects of aerogenerators on moorland bird populations in the Orkney Islands, Scotland*. *Bird Study* 40:140- 143. RSPB, Orkney Office, Smyril, Stenness, Orkney, United Kingdom. (Abstract) <http://www.nrel.gov/wind/avian.html>
- [30] Musters C., M. Noordeveelt, W. Ter Keurs. 1996. *Bird casualties caused by a wind energy project in an estuary*. *Bird Study* 43, pp. 124-126.
- [31] Osborn R.C., Dieter C.D., Higgins K.F., Usgaard R.E. 1998. *Bird Flight Characteristics Near Wind Turbines in Minnesota*. *American Midland Naturalist* 139:29-38
- [32] Percival, S.M. 1999. *Birds and wind turbines: can they live together?*. *Wind Directions*, Apr. 1999, pp.18-20.
- [33] Percival S.M. 2007. *Predicting the effects of wind farms on birds in the UK: the development of an objective assessment method*. In: de Lucas, M. et al. (Ed.) (2007). *Birds and wind farms: risk assessment and mitigation*. pp. 137-152.
- [34] Sterner D., Orloff S., Spiegel L. (2007). *Wind turbine collision research in the United States*. In: de Lucas, M. et al. (Ed.) (2007). *Birds and wind farms: risk assessment and mitigation*. pp. 81-100.
- [35] Strickland D., W. Erickson, D. Young, G. Johnson 2000. *Avian Studies at Wind Plants Located at Buffalo Ridge, Minnesota and Vansycle Ridge, Oregon*. Proceedings of national Avian-Wind Power Planning Meeting IV. May 16-17, 2000, Carmel, California. <http://www.nationalwind.org>
- [36] Strickland D., G. Johnson, W. Erickson, K. Kroner, 2007. *Selecting study designs to evaluate the effect of windpower on birds*. In: de Lucas, M. et al. (Ed.) (2007). *Birds and wind farms: risk assessment and mitigation*. pp. 117-136.
- [37] Thelander G.C., L. Ruge. 2001. *Examining relationships between birds risk behaviours and fatalities at Altamont Wind Resource Area: a second year's progress report*. In Schwartz S.S. (Ed.), *Proceedings of national Avian-Wind Power Planning Meeting IV*. May 16-17, 2000, Carmel, California, 5-14. <http://www.nationalwind.org>
- [38] Thelander G.C., S. Smallwood, L. Ruge. 2001. *Bird risk behaviour and fatalities at the Altamont Wind Resource Area – a progress report*. Proceedings of the American Wind Energy Association, Washington D.C. 16 pp.
- [39] Winkelman J.E., 1994. *Bird/wind turbine investigations in Europe*. In "Avian mortality at wind plants past and ongoing research". National Avian-Wind Power Planning Meeting Proceedings 1994. <http://www.nationalwind.org/publications/avian>

Compatibilizzazione di nanocariche inorganiche per la preparazione di compositi polimerici

Carmela Borriello*
Antonella De Maria*
Massimo Schwarz**

* ENEA, Unità Tecnica Tecnologie Portici

** ENEA, Sezione Tecnologie e processi di trattamento
e rivestimento dei materiali

Alcuni minerali presentano caratteristiche strutturali adatte al loro impiego nella preparazione di nanocompositi polimerici. Tuttavia, per disperdere cariche idrofiliche in matrici polimeriche idrofobiche, è necessario compatibilizzare la superficie del minerale. Di seguito è riportato un esempio di funzionalizzazione mediante organosilani e la successiva preparazione di nanocompositi con migliorate proprietà termiche

Compatibilization of Inorganic Nanofiller to Prepare Polymeric Composites

The structural characteristics of mineral clays make them attractive for the development of polymeric nano-composites. However the dispersion of the hydrophilic charge into the hydrophobic polymer matrix needs a modification of the filler surface to increase the compatibility between the two materials. A filler modification has been realized by using an organosilane agent and nano-composites with enhanced thermal properties have been prepared

L'aggiunta di sostanze di origine naturale o sintetica di dimensioni nanoscopiche (nanocarica o nanofiller) in una matrice polimerica consente di modificare le caratteristiche chimiche e fisiche dei materiali di partenza, dando luogo a materiali compositi (nanocompositi) che presentano proprietà meccaniche, termiche, elettriche, barriera, e quant'altro, migliorate. I materiali nanocompositi polimerici esibiscono spesso, rispetto ai compositi tradizionali, proprietà superiori in presenza di un basso contenuto di nanocarica. Naturalmente ciò li rende più leggeri, più competitivi per applicazioni specifiche ed ottenibili con le tecnologie industriali attualmente utilizzate per processare i materiali polimerici. Inoltre, la tecnologia dei nanocompositi consente di progettare i materiali senza dover necessariamente cercare un compromesso tra le prestazioni desiderate, le proprietà meccaniche e la processabilità; compromesso, necessario per la maggior parte dei compositi polimerici tradizionalmente utilizzati^[1].

Il grado di innovazione e le potenzialità di sviluppo che si possono raggiungere sono straordinariamente elevati: pertanto, essi hanno trovato e troveranno largo impiego in diverse applicazioni industriali in campo automobilistico, tessile, edilizio, aerospaziale, nel packaging alimentare ecc.^[1].

Tra i nanocompositi sono oggetto d'interesse quelli rinforzati con silicati lamellari, in quanto hanno il vantaggio di aumentare le prestazioni di molti polimeri, offrendo una soluzione economicamente competitiva (1,5-5 €/kg) a materiali più costosi (fibre di carbonio, nanotubi di carbonio ecc.), e nel contempo hanno un basso impatto ambientale, essendo facilmente riciclabili^[2].

L'aspetto preparativo è al centro dell'attività di ricerca in questo settore in quanto forma, dimensione, morfologia superficiale e distribuzione del *nanofiller* nella matrice polimerica determinano le proprietà base del nanocomposito. Le particelle di *nanofiller* devono essere singolarmente disperse nella matrice polimerica in modo che ciascuna particella nanometrica contribuisca allo stesso modo

alle proprietà complessive del composito. Un aspetto critico della preparazione dei nanocompositi è quindi la compatibilità tra il polimero idrofobico e la carica idrofila. Generalmente quest'ultimo viene modificato con l'utilizzo di additivi organici che fungono da compatibilizzanti^[2].

Gli agenti compatibilizzanti sono costituiti da un gruppo idrofilo, che si lega a gruppi polari come acqua e argilla, e uno idrofobico affine al polimero. I metodi tradizionali per la preparazione di fillosilicati idrofobi prevedono una reazione di scambio ionico con ioni alchilammonio^[2]. Tale modifica, pur riducendo la polarità della superficie degli strati di alluminosilicato, lascia inalterati i gruppi -OH presenti sui bordi delle lamine, col risultato che la superficie esterna dell'argilla modificata può conservare una polarità abbastanza elevata, tale da ostacolare l'avvicinamento delle catene polimeriche e la loro successiva penetrazione negli spazi interlamellari. Inoltre i sali di alchilammonio sono instabili termicamente e cominciano a degradarsi intorno ai 180–200 °C, temperature di lavorazione della maggior parte dei polimeri di largo consumo^[3]. Per migliorare la stabilità termica delle nanocariche per poter processare i polimeri, sono stati utilizzati sali di fosfonio^[4], imidazolo^[5], piridinio^[6] e liquidi ionici^[7]. Questi composti organici oltre ad essere più costosi e meno disponibili in commercio, non riescono ad aumentare la spaziatura interstrato dei fillosilicati e a migliorare la compatibilità con il polimero allo stesso modo dei più comuni sali di ammonio utilizzati per tale scopo. Quindi l'ottenimento di una carica che abbia buona compatibilità ed una elevata stabilità termica rappresenta un punto chiave per la preparazione di compositi polimero/carica organomodificata.

Una alternativa valida si può ottenere trattando l'argilla, prima o dopo la consueta modifica per scambio ionico, con reagenti capaci di legarsi ai gruppi ossidrilici presenti sulla superficie del silicato^[8], come gli organosilani (vedi riquadro) del tipo $RSiX_3$, dove X è una Cl o un gruppo metossi e R è un alchil o aril-derivato, contenente o meno

Silicati lamellari

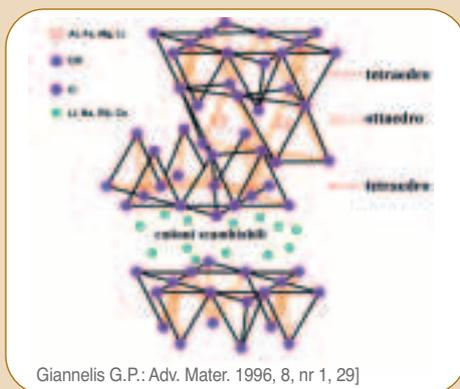
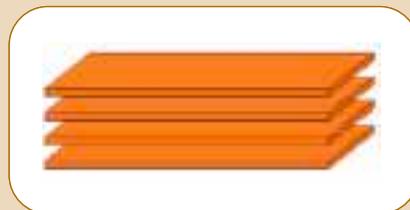
I silicati lamellari più comunemente utilizzati per la sintesi di nanocompositi sono minerali naturali o sintetici appartenenti alla famiglia strutturale dei fillosilicati.

Essi sono costituiti da strati sottili, lamelle, legate tra loro da forze di tipo elettrostatico o di Van der Waals. Ciascuna lamella ha lo spessore di circa 1 nm e dimensioni laterali che possono variare da 30 nm a diversi μm .

La struttura cristallina di ciascuna lamella è a sua volta costituita da stratificazioni differenti: strati tetraedrici in cui il silicio è circondato da quattro atomi di ossigeno e strati ottaedrici in cui un metallo (generalmente alluminio o magnesio) è circondato da otto atomi di ossigeno. Nei fillosilicati di struttura 1:1 (ad es la caolinite), uno strato tetraedrico si fonde con uno strato ottaedrico.

Nei fillosilicati 2:1 (come la montmorillonite) il singolo cristallo del silicato è costituito da due tetraedrici di silice separati da uno strato ottaedrico in modo che gli ossigeni posti ai vertici del tetraedro siano condivisi con lo strato ottaedrico. Il numero di ossigeni terminali degli strati di silicati spesso non è sufficiente

per completare le coordinazioni ottaedriche, e quindi i vertici rimanenti vengono occupati da ioni aggiuntivi OH. Inoltre, per questi minerali spesso avvengono sostituzioni isomorfe in cui per esempio l'alluminio trivalente viene scambiato con magnesio bivalente, come avviene per la montmorillonite, uno dei fillosilicati più utilizzati per la preparazione di nanocompositi. Risultato di questa sostituzione è che complessivamente il cristallo ha una carica negativa. L'eccesso di carica negativa viene compensato da cationi che non potendosi inserire all'interno del cristallo restano situati sui bordi dello stesso. Questa è la ragione per cui le lamelle sono tenute insieme da forze d'interazione deboli e facilmente possono essere separate le une dalle altre.



Giannelis G.P.: Adv. Mater. 1996, 8, nr 1, 29]

un gruppo funzionale^[9]. Il trattamento con gli organosilani dovrebbe migliorare la stabilità delle argille e l'adesione tra quest'ultima e la matrice polimerica.

La reattività dei gruppi silanoli è stata ampiamente studiata per modificare la superficie di vari ossidi minerali (silice, fibre di vetro ecc.). Al contrario, non sono molti gli studi effettuati per sililare la superficie di fillosilicati sintetici e naturali. Studi precedenti relativi all'interazione tra silani e clay hanno proposto tre differenti modelli di introduzione dei silani^[10]: interstrato, sulla superficie esterna ed aggraffati sui bordi "rotti" del filler. Generalmente, il primo caso conduce ad un aumento della spaziatura interstrato della carica^[11,12,13] e converte la superficie interstrato da idrofila ad organofila. L'aggraffaggio sulla superficie esterna non

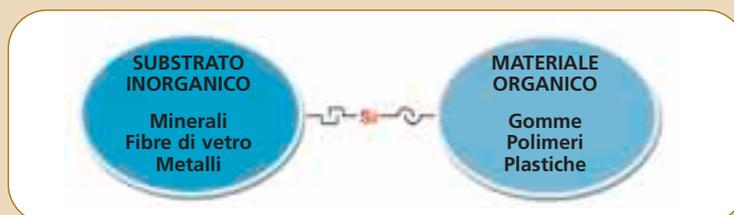
ha alcun effetto sulla distanza interstrato mentre quella sui bordi "rotti" separa le lamelle, probabilmente perché la reazione di sililazione porta alla formazione di silani polimerici che si introducono negli spazi interlamellari distanziandoli^[14].

Pochi sono i lavori relativi alla modificazione dei margini del clay, probabilmente perché l'area di questi ultimi è piccola rispetto alla superficie totale. Sono comunque riportati lavori sul trattamento della montmorillonite (MMT) con tricloro e trialcoxi silani che hanno riportato percentuali di carica del 25% senza alcuna variazione degli spazi interlamellari, suggerendo che i gruppi funzionali si siano legati sui margini esterni^[15].

Naturalmente, il successo della reazione di sililazione dipende dal tipo di silano utilizzato, cioè dal tipo e numero di gruppi funzionali che possiede,

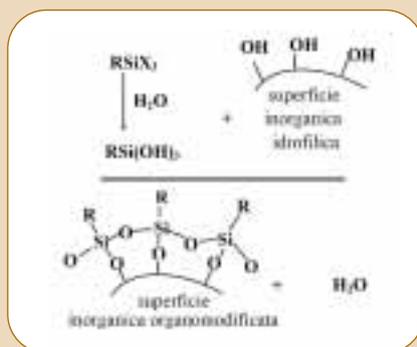
Gli organosilani

Un organosilano agisce all'interfaccia tra un substrato inorganico (ad es. vetro, metallo o minerale) ed un materiale organico (ad es. un polimero, un materiale di rivestimento o adesivo) per renderli compatibili.



Gli organosilani generalmente utilizzati per tali scopi hanno una struttura tipica $RSiX_3$, dove X è un gruppo funzionale idrolizzabile (cloro, metossile, etossile, acetile) ed R è un alchil o aril-derivato, contenente o meno un gruppo funzionale (amminico, epossidico ecc.)^{8,9}.

Avviene facilmente la reazione di idrolisi del gruppo X e si forma il legame Si-OH che reagisce con i gruppi ossidrilici presenti sulle superfici della maggior parte dei substrati inorganici, soprattutto se presentano atomi di Si, Al o metalli pesanti nella loro struttura.



Il gruppo R è determinante, invece, per creare l'interazione con il materiale organico. R può essere un gruppo funzionale organico reattivo o non reattivo, idrofobico o idrofilico, può influenzare la stabilità termica e la solubilità dell'organosilano.

La possibilità di variare le proprietà e la reattività degli organosilani ne consente l'applicazione in numerosi settori: rinforzo e dispersione di minerali, adesione delle vernici, colle e rivestimenti, rinforzo di plastiche e gomme, adesione di sigillanti ed adesivi, repellenti dell'acqua e protezione di superfici.

La scelta dell'organosilano da utilizzare per una particolare applicazione è determinata dal tipo di vantaggio che si vuole ottenere: se il trattamento con il silano deve fornire idrofobicità

ad una superficie, si sceglie un silano con un gruppo idrofobico (butile, ottile ecc.); se deve rendere compatibile un minerale con una matrice polimerica, la natura del gruppo organico del silano deve essere simile alla struttura chimica del polimero (ad es. una lunga catena alchilica aiuta a compatibilizzare e disperdere un minerale in una poliolefina); se invece il silano deve legare un filler ad una matrice polimerica, è necessario utilizzare un organosilano che abbia un gruppo funzionale capace di reagire con i siti reattivi presenti sul polimero.

Gli organosilani sono, quindi, un'importante componente delle moderne sofisticate tecnologie. Essi offrono la possibilità di sviluppare nuovi materiali più facilmente e con caratteristiche migliorate.

così come dipende dalle proprietà del fillosilicato utilizzato¹⁰ (ad es. tendenza al rigonfiamento, proprietà di scambio ionico) che, naturalmente, influenzano le interazioni tra la carica ed altri reagenti chimici.

Al fine di verificare l'efficacia della sililazione di fillosilicati sulla stabilità termica di questi ultimi e sulle loro caratteristiche di idrofobicità, si è pensato di

funzionalizzare con silani e montmorilloniti commerciali, sia naturali che già modificate con un sale di alchilammonio. Si è potuto così stabilire se un miglioramento delle proprietà della carica si possa attribuire alla sola presenza dell'organosilano o la copresenza di due compatibilizzanti (il sale di alchilammonio ed il silano) abbia una incidenza maggiore sulle proprietà della montmorillonite.

Alcune cariche organomodificate sono state inoltre utilizzate per la preparazione di nanocompositi a matrice di polimetilmetacrilato (PMMA) per verificare la compatibilità con il polimero e la capacità di conferirgli maggiore stabilità termica.

Organomodificazione delle montmorilloniti

Attraverso la reazione di sililazione (*schema 1*) con cloro-dimetil-ottadecil silano sono state modificate le montmorilloniti commerciali Dellite HPS (Del HPS) e Dellite 72T (Del 72T), per ottenere rispettivamente come prodotti Del HPS-OS e Del 72T-OS. La Dellite HPS è una montmorillonite naturale purificata, mentre la Dellite 72T è una montmorillonite modificata con sego-diidrogenato di dimetil ammonio (*figura 1*).

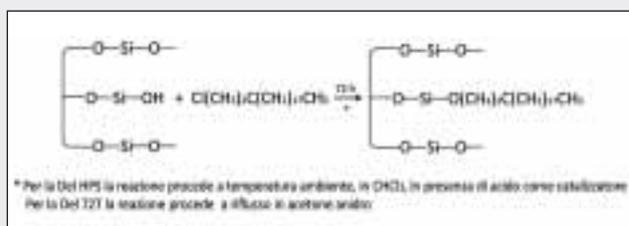
La caratterizzazione delle montmorilloniti è stata effettuata mediante spettroscopia IR, diffrazione ai raggi X, analisi termogravimetrica (TGA) e mi-

sura dell'angolo di contatto. Il confronto, mostrato in *figura 2*, tra gli spettri FT-IR della Del HPS (curva *a*) e la Del HPS-OS (curva *b*) conferma l'avvenuta sililazione. Infatti nella curva *b* non si osserva la banda larga a 3.500–3.400 cm⁻¹, attribuita allo stretching di idrogeni legati al gruppo silanolo, e la banda a 3.420 cm⁻¹ attribuita all'acqua di coordinazione. Compare invece, nello spettro della Del HPS-OS, una banda larga a circa 3.100 cm⁻¹ corrispondente allo stretching dei CH₂ e CH₃ della catena alifatica del dimetilottadecil silano^[16]. Considerazioni analoghe si possono dedurre dal confronto tra lo spettro FT-IR della Del 72T (curva *c*) e Del 72T-OS (curva *d*): anche in questo caso si osserva la scomparsa della banda larga a 3.500–3.400 cm⁻¹ e della banda a 3.420 cm⁻¹; tuttavia, nello spettro della Del 72T-OS non si possono distinguere i segnali della catena alifatica dell'organosilano in quanto cadono nello stesso range dei segnali delle catene alifatiche del sale di ammonio.

In *figura 3* si possono osservare i diffrattogrammi XRD della Del HPS e Del 72T prima e dopo la reazione di sililazione. In entrambi i casi si nota uno spostamento del picco d(001), caratteristico della distanza tra le lamelle, a valori dell'angolo di diffrazione 2θ inferiori: per la Del HPS il picco ha uno spostamento da 6,85° a 5,95°, corrispondente ad una variazione della distanza interlamellare da 1,29 a 1,49 nm; per la Del 72T il picco si sposta da 3,60° a 3,42°, con una variazione di d(001) da 2,45 a 2,58 nm. In entrambe le montmorilloniti, quindi, aumenta la distanza tra le lamelle per cui la reazione di sililazione è avvenuta non solo sulla loro superficie ma anche tra gli strati.

La valutazione dell'effetto sulla compatibilizzazione e sulla stabilità termica del nanofiller organomodificato è stata effettuata mediante analisi termogravimetrica (TG).

I termogrammi relativi alle montmorilloniti naturali presentano al di sotto dei 200 °C una perdita in peso che si attribuisce inizialmente all'acqua fisso e successivamente all'acqua presente nella sfera d'idratazione dei cationi inorganici interstrato. Al di sopra dei 600 °C si verifica invece la deidrossilazione del fillosilicato^[15]. Il termogramma della Del HPS (*figura 4*, curva *a*) mostra una



Schema 1
Sililazione della Dellite HPS con cloro-dimetil-ottadecil silano
Fonte: ENEA

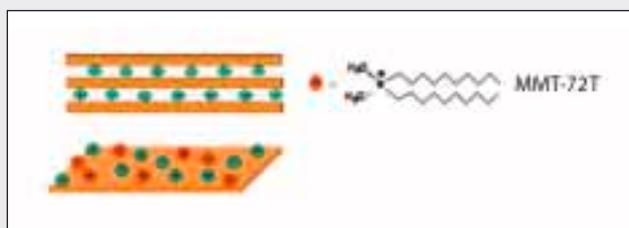


Figura 1
Dellite 72T
Fonte: ENEA

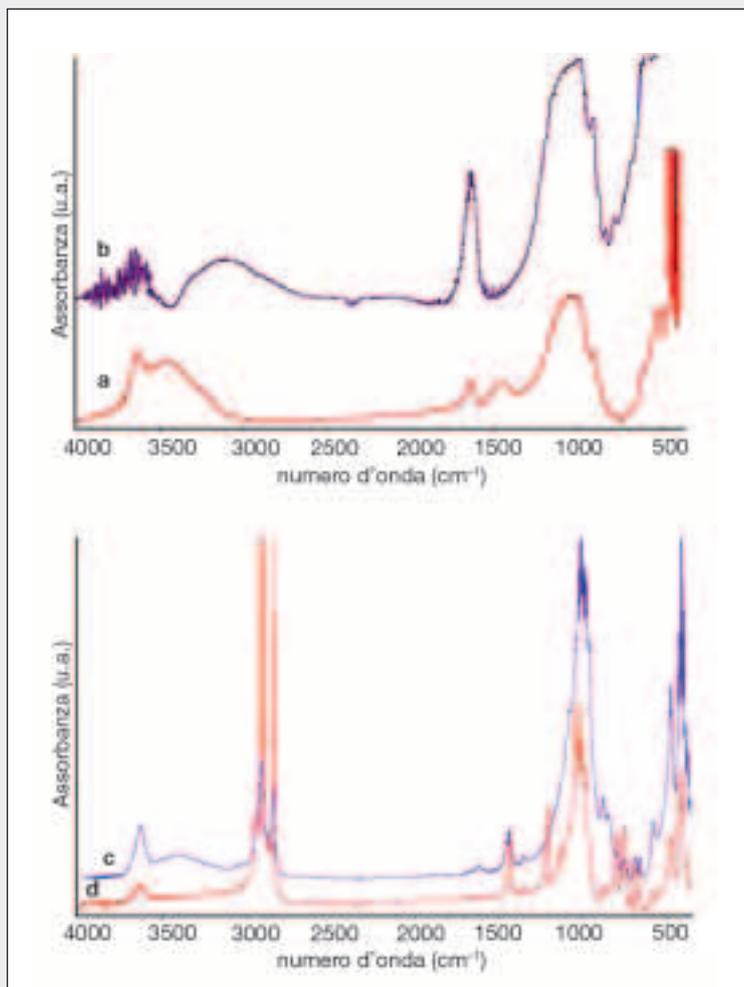


Figura 2
FT-IR di Del HPS (a), Del HPS-OS (b), Del 72T (c), Del 72T-OS (d)
Fonte: ENEA

immediata e sostanziale perdita in peso, attribuibile quindi alla perdita dell'acqua fisisorbita e d'idratazione, che nella curva a' (derivata prima del termogramma) è evidenziata con un picco centrato a 111 °C. Non si osservano ulteriori perdite in peso fino al gradino, centrato a 675 °C, relativo alla deidrossilazione dell'argilla.

Diversamente accade per la Del HPS-OS (curva b e b'): in questo caso infatti bisogna prendere in considerazione anche la decomposizione dell'organosilano sia fisisorbito che intercalato^[10]. La Del HPS-OS comincia a perdere peso in maniera meno

netta nell'intervallo di temperatura 100-300 °C. Ciò è attribuibile solo in parte alla perdita di acqua di idratazione, ma è dovuta anche alla decomposizione dell'organosilano fisisorbito. Nel range 300-600 °C, la derivata della TG (curva b') mostra un unico picco a 582 °C relativo alla decomposizione dell'organosilano intercalato, con una coda dovuta probabilmente alla deidrossilazione dell'argilla^[16].

Nei termogrammi della Del 72T e Del 72T-OS (figura 5) non si osserva una perdita in peso al di sotto dei 200 °C, assegnata alla perdita di acqua resi-

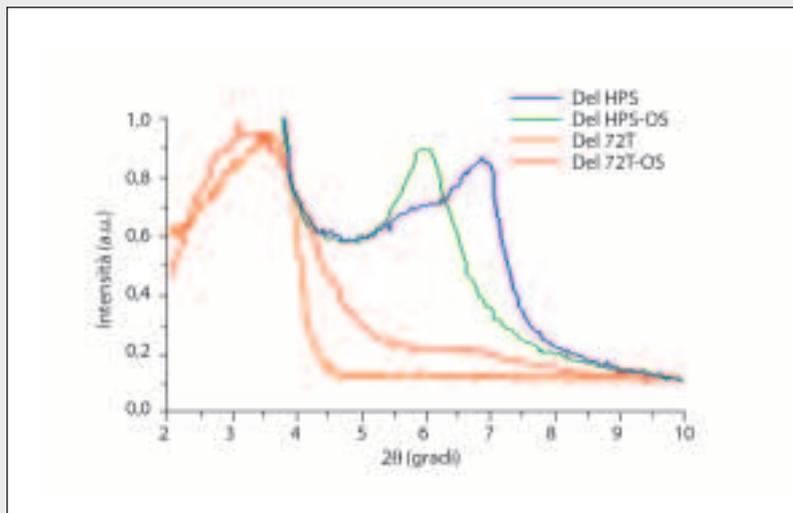


Figura 3
XRD di Del HPS, Del HPS-OS, Del 72T, Del 72T-OS
Fonte: ENEA

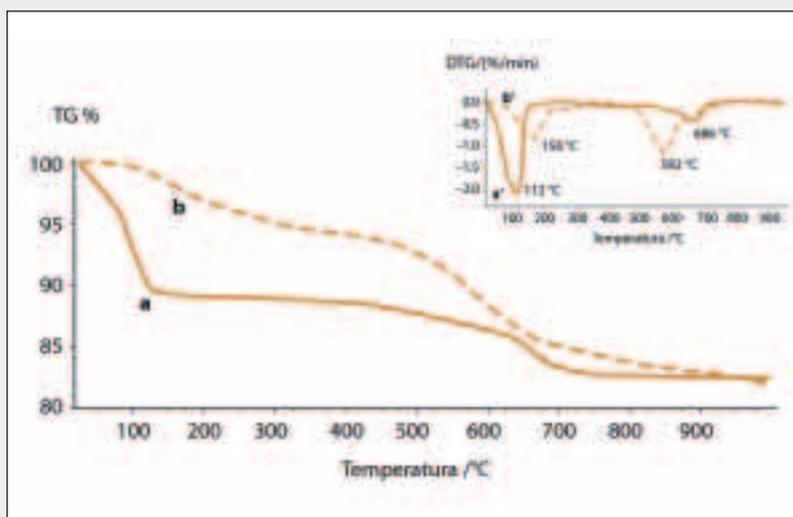


Figura 4
Termogrammi e relative derivate di Del HPS (a, a'), Del HPS-OS (b, b')
Fonte: ENEA

dua presente nei cristalliti di montmorillonite, ciò a conferma della maggiore idrofobicità di questo tipo di argille. La derivata della TG relativa alla Del 72T (curva a') mostra due picchi, centrati a 321 °C e 400 °C, relativi alla decomposizione del sale di

ammonio quaternario^{16]}. Dal termogramma relativo alla Del 72T-OS (curva b) si evince che la presenza dell'organosilano aumenta la stabilità termica della Del 72T; infatti la decomposizione della Del 72T-OS inizia ad una temperatura superiore e ap-

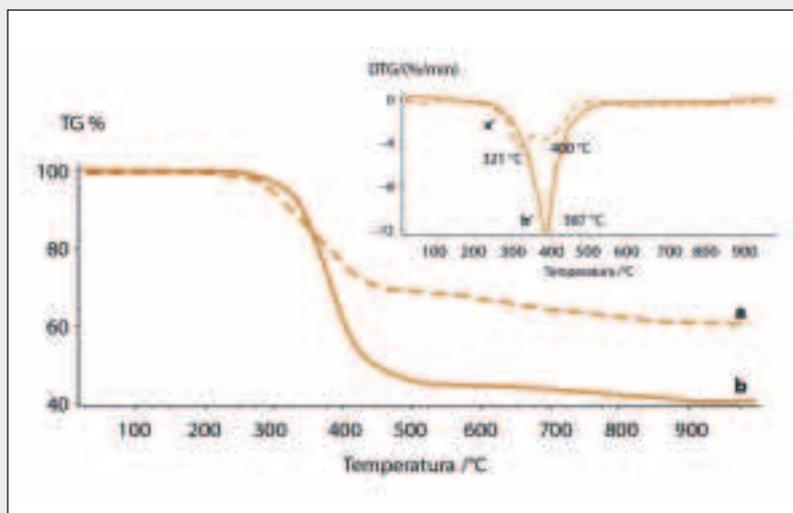


Figura 5
Termogrammi e relative derivate di Del 72T (c, c'), Del 72T-OS (d, d')
Fonte: ENEA

pare nella derivata (curva *b'*) come un picco centrato a 387 °C, relativo alla decomposizione sia dell'organosilano che del sale di ammonio intercalati. Per confermare la maggiore idrofobicità delle argille sililate, sono state eseguite misure dell'angolo di contatto (vedi riquadro) formati tra acqua e diiodometano con i campioni di Del HPS e Del 72T, prima e dopo la reazione di sililazione. Noti

gli angoli di contatto e le energie superficiali dei due liquidi, si sono potute calcolare anche le energie di tensione superficiale delle montmorilloniti come la somma di una componente dispersa (γ_s^d , γ_l^d), attribuita alle forze di attrazione di London, e una componente polare (γ_s^p , γ_l^p), attribuita a legami tra molecole polari come ad esempio il legame dipolo-dipolo (vedi riquadro)^[17,18].

Tabella 1 – Tensioni superficiali di acqua e diiodometano misurate a 20 °C

Campione	$\gamma^d(\text{mJ}/\text{m}^2)$	$\gamma^p(\text{mJ}/\text{m}^2)$	$\gamma(\text{mJ}/\text{m}^2)$
Acqua	21,8	51,0	72,8
Diiodometano	49,5	1,3	50,8

Fonte: ENEA

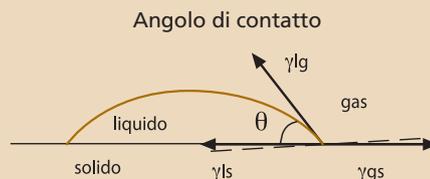
Tabella 2 – Tensioni superficiali di Del HPS e Del 72T prima e dopo la reazione di sililazione

Campione	θ_w	θ_l	$\gamma_s^d(\text{mJ}/\text{m}^2)$	$\gamma_s^p(\text{mJ}/\text{m}^2)$	$\gamma_s(\text{mJ}/\text{m}^2)$
Del HPS	37,0	36,0	42,0	23,7	65,6
Del HPS-OS	55,0	48,0	35,5	16,9	52,4
DEL 72T	84,5	58,0	29,4	4,2	33,6
DEL 72T-OS	127,9	64,9	25,8	1,8	27,6

Fonte: ENEA

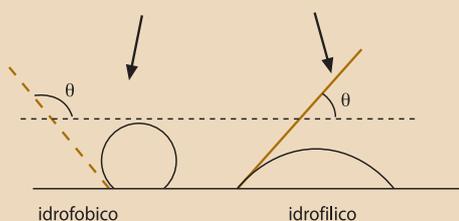
L'angolo di contatto

L'**angolo di contatto** θ (figura in basso) è una grandezza termodinamica descritta dall'angolo formato dall'incontro di un'interfaccia liquido-vapore con un'interfaccia liquido-solido o, meno tipicamente, un'interfaccia liquido-liquido.



Per convenzione si definiscono idrofobiche le superfici aventi un angolo di contatto con l'acqua maggiore di 90 gradi, idrofiliche le superfici con angoli minori di 90 gradi.

Nel caso di una goccia di acqua e una superficie



Angolo di contatto che si forma tra una goccia d'acqua ed una superficie idrofobica ed idrofilica

Tale grandezza è definita per una **superficie ideale**, ossia liscia ed omogenea, dalla relazione di Young: $\gamma_{gs} = \gamma_{ls} + \gamma_{lg} \cos\theta$ dove γ_{gs} è la tensione superficiale del solido in un particolare ambiente, γ_{ls} è l'energia all'interfaccia solido-liquido e γ_{lg} è la tensione superficiale del liquido nello stesso ambiente. Nella sezione di una goccia di liquido depositata su un solido, θ è l'angolo compreso tra la direzione della tensione solido-liquido e la direzione della tensione liquido-vapore, tangente alla superficie esterna della goccia, con il vertice nel punto trifase liquido-solido-vapore.

Se si considera la tensione superficiale del solido e del liquido, secondo la teoria di Fowkes, successivamente rielaborata ed estesa da Owens, Wend e Kaebel^[17,18], come la somma di una componente dispersa (γ_{sd} , γ_{ld}), attribuita alle forze di attrazione di London, e una componente polare (γ_{sp} , γ_{lp}), attribuita a legami tra molecole polari come ad esempio il legame dipolo-dipolo, si può esprimere l'equazione di Young in funzione di queste componenti:

$$(1 + \cos\theta) \gamma_l = 2[(\gamma_{sd} \gamma_{ld})^{1/2} + (\gamma_{sp} \gamma_{lp})^{1/2}]$$

Dalla misura dell'angolo di contatto che si forma all'interfaccia solido-liquido di due liquidi test, di cui sono note le due componenti sopra citate, è possibile risalire al valore della tensione superficiale del solido in esame.

I valori delle tensioni superficiali e delle componenti per l'acqua ed il diiodometano sono riportati in *tabella 1*, mentre gli angoli di contatto misurati, le componenti della tensione superficiale, nonché il valore di quest'ultima per i diversi fillosilicati esaminati sono riportati in *tabella 2*.

Si può notare che, come previsto, la Del 72T e la Del 72T-OS presentano una tensione superficiale

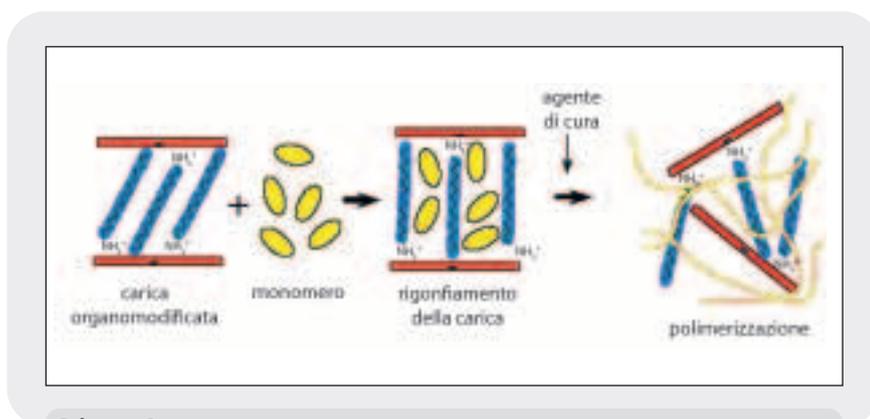
inferiore rispetto a quelle della Del HPS e Del HPS-OS. Inoltre, nel caso delle delliti siliate i valori dell'angolo di contatto, per entrambi i liquidi test, risultano superiori rispetto ai valori riscontrati per le delliti di partenza, conducendo a valori di tensione superficiale inferiori. Ciò suggerisce che l'introduzione dell'organosilano effettivamente aumenta l'idrofobicità dei materiali trattati: infatti

ricordiamo che in acqua una superficie idrofobica ha una energia interfacciale elevata rispetto ad una superficie idrofila.

Sintesi e caratterizzazione dei nanocompositi

Le montmorilloniti Del 72T e Del 72T-OS sono state utilizzate per la preparazione dei nanocompositi con il polimetilmetacrilato (PMMA), contenenti il 5% in peso di carica, mediante polimerizzazione interca-

lativa in situ. Più precisamente, sono stati mescolati il fillosilicato ed il monomero in modo da far penetrare quest'ultimo negli interstrati della carica e successivamente è stata promossa (attraverso l'utilizzo di un iniziatore radicalico) la reazione di polimerizzazione, cosicché il polimero in crescita potesse contribuire a distanziare e disperdere le lamelle di MMT (*schema 2*). I nanocompositi sono stati caratterizzati mediante analisi diffrattometrica ai raggi X (*figura 4*), analisi termogravimetrica (TGA) e calorimetria a scansione differenziale (DSC).



Schema 2
Polimerizzazione intercalativa in situ
Fonte: ENEA

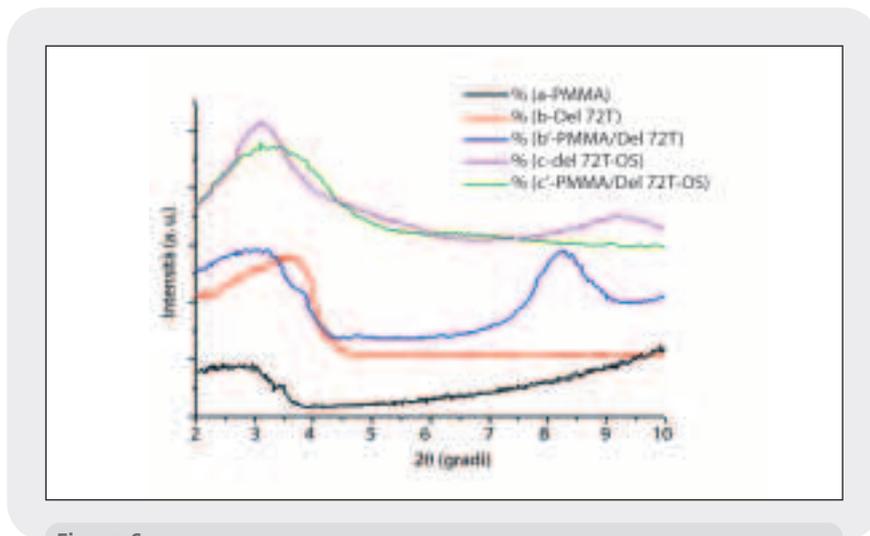


Figura 6
XRD analisi di PMMA (a), Del 72T (b), PMMA/Del 72T (b'), Del 72T-OS (c) PMMA/Del 72T-OS (c')
Fonte: ENEA

Tabella 3 – T_d e T_g dei nanocompositi PMMA/DEL 72T e PMMA/DEL 72T-OS

Campione	T_d (5%)	T_d (flesso)	T_g
PMMA	237	368	101
PMMA/DEL 72T	244	374	113
PMMA/DEL 72T-OS	256	385	115

Fonte: ENEA

La caratterizzazione ai raggi X (figura 6) mostra nei nanocompositi uno spostamento del picco d(001) delle montmorilloniti a valori più bassi dell'angolo di diffrazione 2θ , pertanto le catene polimeriche si sono inserite tra le lamelle di entrambe le montmorilloniti aumentando gli spazi interstrato. La stabilità termica dei nanocompositi e del PMMA è stata studiata mediante analisi termogravimetrica. È stato osservato che la stabilità termica del polimero è migliorata in presenza della montmorillonite. I nanocompositi presentano infatti, rispetto al polimero non caricato, una più alta temperatura di decomposizione termica sia all'inizio della decomposizione (in corrispondenza di una perdita in peso del 5%), che in corrispondenza del punto di flesso della curva termo gravimetrica (tabella 3).

In particolare i nanocompositi contenenti Del 72T-OS mostrano, rispetto al PMMA da solo un aumento dell'8% della temperatura di decomposizione T_d in corrispondenza di una perdita in peso del 5%, mentre la temperatura in corrispondenza del flesso presenta un incremento del 4,5%. La presenza della Del 72T invece aumenta del 3% la T_d (5%) e dell'1,6% la T_d in corrispondenza del flesso. Attraverso la caratterizzazione calorimetrica differenziale a scansione (DSC) è stato possibile verificare che anche le temperature di transizione vetrosa (T_g) dei nanocompositi sono più alte di quella del PMMA. Anche in questo caso il migliore risultato si ottiene in presenza della Del 72T-OS, che consente un aumento del 13,8% della T_g .

Conclusioni

Con il presente lavoro si è proposto un metodo alternativo per rendere più compatibili substrati inorganici idrofilici, quali i fillosilicati, con matrici polimeriche idrofobiche. A tal fine sono state mo-

dificate mediante reazione con un organosilano una montmorillonite naturale, la Del HPS, ed una montmorillonite già modificata con un sale d'ammonio, la Del 72T. Dalla caratterizzazione spettroscopica IR e dall'analisi di diffrazione ai raggi X, abbiamo avuto conferma dell'avvenuta sililazione. Un aumento degli spazi basali delle montmorilloniti modificate lascia pensare all'intercalazione del silano tra le lamelle del fillosilicato. Inoltre, lo studio delle proprietà termiche e dell'energia superficiale ci ha mostrato che il trattamento con il silano conferisce un maggiore carattere idrofobico alle delliti e ne migliora la stabilità termica.

Infine, per verificare l'effetto che l'organomodificazione ha sulla compatibilizzazione delle nanocariche con una matrice polimerica, sono stati preparati nanocompositi con il PMMA contenenti la montmorillonite organomodificata sia solo con il sale di ammonio (Del 72T) che con il sale d'ammonio e l'organosilano (Del 72T-OS). I nanocompositi presentano proprietà termiche migliorate rispetto al polimero non caricato: in particolare, in presenza della Del 72T-OS si ha un aumento della temperatura di decomposizione dell'8% e della temperatura di transizione vetrosa del 13,8% rispetto al polimero non caricato. Evidentemente la presenza dell'organosilano, oltre ad aumentare lo spazio tra le lamelle della montmorillonite, rendendo quindi più semplice l'accesso delle catene polimeriche nell'interstrato, migliora anche l'adesione tra la matrice ed il filler conferendole una maggiore stabilità termica. Naturalmente un'ulteriore indagine con altri tipi di organosilani ed altre matrici polimeriche sarà effettuata, ma i risultati ottenuti da questa prima analisi sono incoraggianti e dimostrano le potenzialità che questo tipo di modificazione di substrati inorganici ha per lo sviluppo di materiali alternativi avanzati.

Bibliografia

- [1] F. Hussain, M. Hodati, M. Okamoto, R.E. Gorga (2006), *Review article: polymer-matrix nanocomposites, processing, manufacturing, and application: An overview*.
- [2] (a) S. Sinha Ray, M. Bousmina (2005), *Biodegradable polymers and their layered silicate nanocomposites: In greening the 21st century materials world*, *Progress in Materials Science*, 50, 962-1079.; (b) S. Sinha Ray, M. Okamoto (2003), *Polymer/layered silicate nanocomposites: a review from preparation to processing*, *Prog. Polym. Sci.* 28, 1539-1641; (c) M. Alexandre, P. Dubois (2000), *Polymer-layered silicate nanocomposites: preparation, properties and uses of a new class of materials*, *Mat. Sci. and Eng.*, 28, 1-63.
- [3] L.A. Utracki (2004), *Clay-Containing Polymeric Nanocomposites*, Vol. 1, 334, Rapra Technology Limited: Shrewsbury.
- [4] H.A. Patel, R.S. Somani, H.C. Bajaj, R.V. Jasra (2007), *Preparation and characterization of phosphonium montmorillonite with enhanced thermal stability*. *Appl Clay Sci*, 35, 194-200.
- [5] F.A. Bottino, E. Fabbri, I.L. Fragala, G. Malandrino, A. Orestano, F. Pilati, A. Pollicino (2003), *Polystyrene-Clay Nanocomposites Prepared with Polymerizable Imidazolium Surfactants*. *Macromol Rapid Commun*, 24, 1079-1084.
- [6] J.F. Xiao, Y. Hu, Z.Z. Wang, Y. Tang, Z.Y. Chen, W.C. Fan (2005), *Preparation and characterization of poly(butylene terephthalate) nanocomposites from thermally stable organic-modified montmorillonite*. *Eur Polym J*, 41, 1030-1035.
- [7] C. Byrne, T. McNally (2007), *Ionic Liquid Modification of Layered Silicates for Enhanced Thermal Stability*. *Macromol Rapid Commun*, 28, 780-784.
- [8] J.A. Rausell-Colom, J.M. Serratosa (1987), *Reactions of clays with organic substances. Chemistry of clays and clay mineral*, ACD Newman, ed. Wiley-Interscience, New York, 371.
- [9] J. Zhang, R.K. Gupta, and C. A. Wilkiem (2006), *Controlled silylation of montmorillonite and its polyethylene nanocomposites*, *Polymer* 47, 4537 - 4543.
- [10] H. He, J. Duchet, J. Galy, J.F. Gerard (2005), *Grafting of swelling clay materials with 3-aminopropyltriethoxysilane*, *Journal of Colloid and Interface Science* 288, 171-176
- [11] K. Isoda, K. Kuroda (2000), *Interlamellar Grafting of α -Methacryloxypropylsilyl Groups on Magadiite and Copolymerization with Methyl Methacrylate*. *Chem. Mater.*, 12, 1702-1707.
- [12] A. Shimojima, D. Mochizuki, K. Kuroda (2001), *Synthesis of Silylated Derivatives of a Layered Polysilicate Kanemite with Mono-, Di-, and Trichloro(alkyl)silanes*. *Chem. Mater.*, 13, 3603-3609.
- [13] K.W. Park, S.Y. Jeong, O.Y. Kwon (2004), *Interlamellar silylation of H-kenyaite with 3-aminopropyltriethoxysilane*. *Appl. Clay Sci.*, 27, 21-27.
- [14] N.N. Herrera, J.M. Letoffe, J.L. Putaux, L. David, E. Bourgeat-Lami (2004), *Aqueous Dispersions of Silane-Functionalized Laponite Clay Platelets. A First Step toward the Elaboration of Water-Based Polymer/Clay Nanocomposites*. *Langmuir*, 20, 1564 -1569.
- [15] K. Song, G. Sandi (2001), *Characterization of montmorillonite surfaces after modification by organosilano*. *Clays Clay Miner.*, 49, 119-125.
- [16] C. Wan, X. Bao, F. Zhao B. Kandasubramanian, M.P. Duggan (2008), *Morphology and Properties of Silane-Modified Montmorillonite Clays and Clay/PBT Composites*. *Journal of Applied Polymer Science*, 110, 550-557.
- [17] F. M. Fowkes (1962), *Determination of interfacial tensions, contact angles, and dispersion forces in surfaces by assuming additivity of intermolecular interactions in surfaces*. *J Phys Chem*, 66, 382.
- [18] D.K Owens, R.C. Wendt (1969), *Estimation of the surface free energy of polymers*. *J Appl Polym Sci*, 13, 1741-1747.

Le iniziative comunitarie nel settore del capitale umano in ricerca e sviluppo

Vittorio De Crescenzo

Parlamento Europeo,
Direzione Generale Politiche Interne,
Science and Technology Options Assessment

Le risorse umane in R&S sono ritenute cruciali per la competitività e la crescita economica di un paese. Il consistente ritardo dell'Europa rispetto a Stati Uniti e Giappone ha reso evidente la necessità di dar vita a misure e iniziative volte a favorirne la crescita quantitativa e qualitativa, per puntare ai traguardi fissati dall'Agenda di Lisbona

EU Initiatives for R&D Human Capital

R&D Human Resources play a crucial role for the competitiveness and the economic growth of a country. In this sector, Europe is remarkably lagging behind US and Japan. New initiatives have been adopted at EU level with a view to promoting the quantitative and qualitative growth of this human capital and meeting the goals of the Lisbon Agenda

Il tema delle risorse umane in Research and Development (R&D) ha costituito una componente costante nel dibattito sulla politica della ricerca sviluppatosi negli ultimi dieci anni. È consolidata, infatti, la consapevolezza di come la disponibilità di numerose e qualificate risorse umane – voce generalmente prevalente della spesa in R&D in ogni paese – rappresenti una “condicio sine qua non” per fare avanzare il fronte delle conoscenze tecnico-scientifiche, dare vita a nuovi prodotti/servizi ed opportunità commerciali e fornire, in ultima analisi, un impulso alla competitività e alla crescita economica. Sono quindi evidenti ed intensi gli agganci tra il tema delle risorse umane in R&D e l’Agenda di Lisbona.

Nonostante tali premesse e nonostante il primato che l’Europa detiene nella produzione di laureati e titolari di dottorato in materie scientifiche, i dati relativi allo scenario internazionale delle risorse umane in R&D proiettano non poche ombre sul sistema europeo. In particolare, si registra:

- un consistente ritardo dell’Europa nei confronti degli Stati Uniti e del Giappone per numero di ricercatori in rapporto alle rispettive “forza lavoro”¹. Rispetto all’Europa, Stati Uniti e Giappone possono inoltre vantare percentuali ben più elevate di ricercatori impegnati nel settore privato²;
- la forte difficoltà dell’Europa (fenomeno tuttavia comune a Stati Uniti e Giappone) nel tenere il passo con le vivaci dinamiche di crescita in ri-

sorse umane delle economie emergenti, quali in particolare Cina, India e Corea³.

Va osservato che i ritardi e le difficoltà complessive dell’Europa sono il risultato di una realtà composta, somma di contesti nazionali molto diversificati delle risorse umane e di livelli nazionali di investimenti in R&D.

Con riferimento al numero di ricercatori per mille unità di forza lavoro, i valori, riferiti al 2006, spaziano da 15,3 della Finlandia (valore ben superiore a Stati Uniti e Giappone) fino a 2,0 di Cipro. Non molto positiva, purtroppo, la situazione dell’Italia (3,4) che, nonostante alcuni progressi conseguiti negli ultimi anni, si attesta, nel quadro della UE27, nelle posizioni di coda seguita solo da Bulgaria, Malta, Romania e Cipro⁴.

Le iniziative in ambito UE

Il progressivo arretramento dell’Europa ha reso sempre più evidente la necessità di dare vita a misure ed iniziative finalizzate a favorire la crescita quantitativa e qualitativa delle risorse umane in R&D per fare fronte alle carenze esistenti e, in una visione prospettica, puntare ai traguardi fissati dall’Agenda di Lisbona⁵.

Tra le iniziative di maggiore rilievo varate negli ultimi anni:

- la Raccomandazione del 2005 della Commissione relativa alla “Carta dei ricercatori ed il Co-

1. Numero di ricercatori per mille unità di forza lavoro: Giappone 10,7; Stati Uniti 9,3; EU 5,6 (dati Eurostat).
2. Percentuale di ricercatori del settore privato: Stati Uniti 80%, Giappone 70%, EU 50% (dati Eurostat).
3. Periodo 2000-2006: Crescita media annuale del numero di ricercatori: Corea 11%, Cina 10%, EU 3,1%, Stati Uniti 1,5%, Giappone 1,5% (dati Eurostat-OECD).
4. Dati OECD – Numero di ricercatori: UE 1.300.000; Stati Uniti 1.380.000; Giappone 710.000; Germania 282.000; Francia 204.000; Regno Unito 183.000; Spagna 115.000; Italia 83.000.
5. È stato stimato che per conseguire l’obiettivo di un investimento in R&D pari al 3% del PIL, si rendono necessari, in aggiunta all’attuale bacino di ricercatori europei, circa 600mila nuove unità.

dice di Condotta per il reclutamento dei ricercatori". La Carta dei ricercatori definisce i principi ed i criteri di riferimento in materia di ruoli e responsabilità cui i ricercatori ed i loro datori di lavoro sono invitati ad uniformarsi. Il Codice di Condotta indica un compendio di modalità per il reclutamento dei ricercatori ispirate a principi di trasparenza ed equità.

- Il pacchetto legislativo sul "Visto Scientifico" approvato nel 2005, che ha stabilito una procedura accelerata per l'ammissione e la concessione della residenza ai ricercatori provenienti da paesi terzi.

Benché queste iniziative, congiuntamente a molte altre tra cui in primis le azioni a favore della mobilità dei ricercatori promosse e finanziate dal Programma Quadro, abbiano fornito un contributo non trascurabile, il percorso per un miglioramento sostanziale dell'assetto europeo nel settore del capitale umano in R&D si presenta ancora lungo ed irto di ostacoli. L'ostacolo principale che involupa tutti gli altri, è senz'altro costituito dalla diffusa e ben nota scarsa sensibilità dei decisori politici nei confronti del tema della ricerca e, più segnatamente, dei ricercatori. Fenomeno, purtroppo, storicamente accentuato in Italia.

Non è un caso se in molti Stati membri l'accoglienza della Carta dei ricercatori e del Codice di reclutamento da parte degli operatori nazionali della ricerca non ha risposto alle attese e se molti Stati membri non hanno ancora recepito negli ordinamenti nazionali la Direttiva sul Visto Scientifico.

In ambito comunitario è andata pertanto maturando l'esigenza di avviare una serie di misure-esercizio centrate sul diretto coinvolgimento dei decisori ed operatori della ricerca nazionali. Ed è appunto in questa sfera che si collocano le iniziative avviate per il rilancio dello Spazio Europeo della Ricerca (ERA), tra cui "la Partnership Europea dei Ricercatori".

La Partnership Europea per i Ricercatori

Nel 2007, il Libro Verde su ERA ha dato inizio ad un ampio dibattito su come rilanciare il processo di costruzione dello Spazio Europeo della Ricerca (il cosiddetto processo di Lubiana). È stata indicata una serie di settori chiave in cui, attraverso una diretta responsabilizzazione degli Stati membri, sia possibile dare vita ad iniziative concrete, in un quadro di collaborazione tra gli Stati membri e la Commissione su obiettivi prioritari e condivisi.

Tra le iniziative proposte⁶: una partnership europea per i ricercatori strutturata sui seguenti quattro obiettivi prioritari (*Key Areas*):

- *Adozione di pratiche e procedure di reclutamento eque e trasparenti dei ricercatori - Portabilità delle sovvenzioni.*

Le azioni previste, oltre all'adozione di criteri di trasparenza ed equità nelle fasi di selezione/assunzione dei ricercatori, spaziano su molteplici settori di intervento tra cui: i) la pubblicizzazione su scala europea delle posizioni vacanti (sito web di riferimento: *Euraxess*), ii) la possibilità per i ricercatori di poter beneficiare di una sovvenzione (o borsa) concessa da uno Stato membro anche in contesti di mobilità presso strutture di ricerca estere.

- *Soddisfacimento delle esigenze in materia di sicurezza sociale e pensioni complementari dei ricercatori in mobilità.*

La misura affronta questioni connesse alla sicurezza sociale ed ai sistemi pensionistici complementari che, per disomogeneità dei regimi nazionali, limitato ricorso agli strumenti normativi previsti in ambito comunitario, tra cui i sistemi di deroga per i lavoratori in mobilità, carenza informativa ecc., rappresentano fattori di ostacolo e penalizzazione alla mobilità dei ricercatori. Tra le azioni individuate: i) miglioramento dell'accesso all'informazione sulle normative nazionali ed europee in materia di sicurezza sociale e

6. Comunicazione della Commissione COM(2008) 317.

di sistemi pensionistici complementari, ii) utilizzo più mirato alle esigenze dei ricercatori del quadro giuridico esistente, anche attraverso accordi bi-multilaterali concernenti il sistema di deroghe previsto dai dispositivi comunitari di settore.

- *Miglioramento delle condizioni di lavoro e delle prospettive di carriera dei ricercatori.*

La misura è centrata sul miglioramento dell'attrattività della professione del ricercatore per avvicinare i giovani alla scienza ed alla ricerca. In una tale ottica, vengono proposti interventi volti a migliorare le condizioni di lavoro dei ricercatori. Tra questi: i) assicurare condizioni contrattuali ispirate ai principi della *flexicurity* che, tra l'altro, garantiscano un'adeguata copertura sociale ai ricercatori che beneficiano di finanziamenti pubblici sotto forma di sovvenzioni o borse, ii) adottare programmi formativi atti a favorire la crescita professionale, iii) attuare una politica "di genere" a sostegno delle donne.

- *Istituzione di programmi di formazione e di valorizzazione dell'esperienza dei ricercatori.*

L'esigenza di complementarità e di sinergia tra i percorsi formativi dei ricercatori ed il processo di Bologna costituiscono l'elemento centrale della misura. Viene, in particolare, sottolineata la forte opportunità di strutturare i programmi di studio di dottorato in una logica di stretto raccordo con il contesto della ricerca. La misura inoltre si sofferma sulle azioni atte a favorire lo sviluppo professionale (e di carriera) dei ricercatori, ponendo l'accento sulla rilevanza delle esperienze di mobilità tra i settori pubblico e privato.

La posizione del Consiglio sulla Partnership Europea dei Ricercatori

Nel settembre del 2008, il Consiglio ha avallato il complesso degli obiettivi e delle azioni della *Partnership* Europea per i Ricercatori, invitando gli Sta-

ti membri alla definizione e *reporting*, entro il 2009, degli obiettivi e delle iniziative nazionali programmate in riferimento alle aree prioritarie indicate dalla *Partnership*.

Per le attività di approfondimento/coordinamento delle iniziative da mettere in campo e per le necessarie azioni di sensibilizzazione e raccordo con le autorità nazionali è stato istituito un gruppo "ad hoc" di rappresentanti nazionali⁷, che affiancherà la Commissione nelle fasi di definizione ed attuazione della *Partnership*.

Tra le altre iniziative si ricorda la Carta, elaborata dai Ministri Portoghese e Lussemburghese – José Mariano Gago e Francois Biltgen – sulle azioni prioritarie da varare in ambito comunitario a sostegno della mobilità e della carriera dei ricercatori.

7. Steering Group on Human Resources and Mobility.

Nuovi materiali per il trattamento di reflui dell'industria tessile: le fibre di carbone attivato

Lucio Donnaperna*
Laurent Duclaux**
Loris Pietrelli***

- * Università degli Studi La Sapienza, Dipartimento di Ingegneria Chimica, dei Materiali delle Materie prime e Metallurgia
- ** Laboratoire de Chimie Moleculaire et Environment, Polytech Savie, Le Bourget du Lac Cedex France
- *** ENEA, Sezione Metodi e tecnologie per la gestione dei rifiuti

I tessuti a base di fibre di carbonio (FCA) sono caratterizzati da una elevata superficie specifica e sono in grado di adsorbire un largo spettro di inquinanti organici da matrici gassose ed acquose. Le FCA sono state applicate, in ambito ENEA, nel trattamento di acque reflue derivanti dall'industria tessile

New Materials for the Treatment of Textile Wastewater: Activated Carbon Fibers

Activated Carbon Fibers (ACF) can adsorb a wide range of organic contaminants and may be also used to treat air, drinking waters and wastewater. Within ENEA, ACF have been applied to the treatment of wastewater coming from textile industries

I tessuti a base di fibre di carbonio (FCA) (*figura 1*) sono apparsi sul mercato sin dagli anni settanta e costituiscono una forma innovativa di materiali a base di carbonio che presentano numerosi vantaggi rispetto ai Carboni Attivi Granulari (CAG)^[1-3]. Questi ultimi, infatti, sono caratterizzati dalla presenza di micropori, mesopori e macropori e la loro struttura porosa è eterogenea, mentre le FCA han-

no una struttura porosa omogenea costituita prevalentemente da micropori connessi direttamente alla superficie esterna della fibra (*figura 2*). Tale caratteristica determina la riduzione della resistenza al trasferimento di massa, rendendoli ottimali per l'adsorbimento di microinquinanti e per la catalisi, considerando anche la loro elevata superficie specifica (500-3000 m²/g). Le FCA sono ottenute a partire da un precursore di origine naturale (cotone) o sintetica (nylon), che contiene una parte significativa di carbonio già in forma polimerica. La fabbricazione delle fibre avviene con modalità che differiscono per l'ordine della sequenza delle fasi costruttive: carbonizzazione, attivazione (chimica o fisica) ed eventualmente ossidazione^[4].

La carbonizzazione, ossia la decomposizione termica ad alta temperatura ottenuta in assenza di ossigeno (pirolisi), trasforma il polimero di partenza in un "materiale strutturato" a base di carbonio. La fase di attivazione^[5-9], di tipo fisico o chimico, genera una microstruttura porosa che facilita l'accesso alla struttura interna, crea nuovi pori ed allarga il diametro di quelli già creati nella carbonizzazione^[10]. La fase di ossidazione^[11-12], che ha luogo

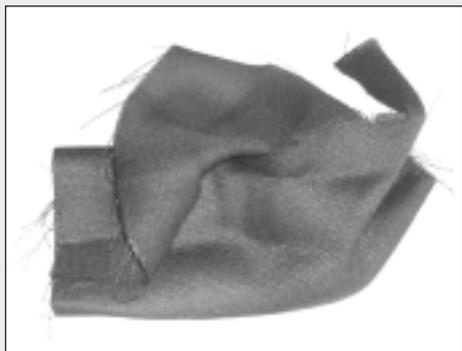


Figura 1a
Il tessuto in fibre di carbone
Fonte: immagine di proprietà degli autori

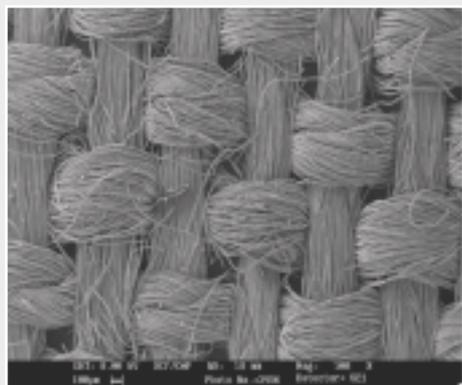


Figura 1b
La trama del tessuto fotografata al SEM
Fonte: immagine di proprietà degli autori

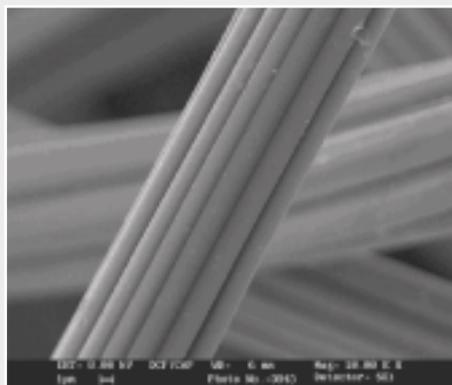


Figura 1c
Singola fibra di carbone fotografata al SEM
Fonte: immagine di proprietà degli autori

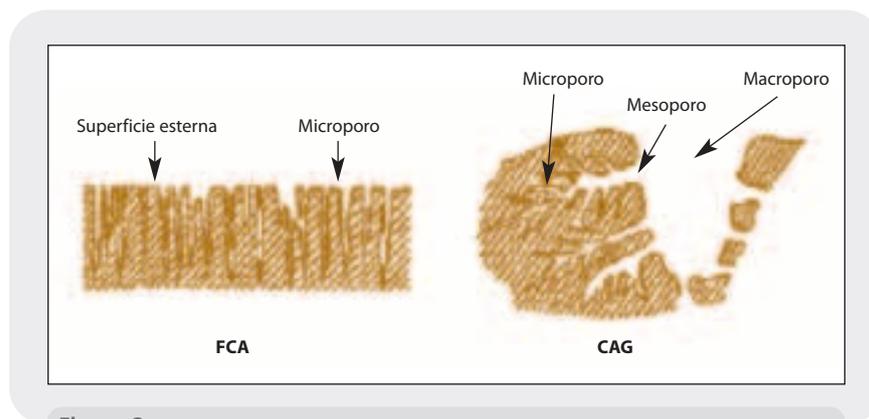


Figura 2

Rappresentazione schematica della struttura porosa degli FCA e dei CAG

Fonte: I. Mochida, Y. Korai, M. Shirahama, S. Kawano, T. Hada, Y. Seo, M. Yoshikawa, A. Yasutake, *Carbon* 38 (2000) 227

dopo lo stadio di attivazione, porta alla modifica della porosità permettendo la funzionalizzazione della superficie e, quindi, alla variabilità negli impieghi delle FCA.

Alcuni impieghi delle Fibre di Carbone Attivo

Le FCA, grazie alla loro elevata superficie specifica (fino a 3000 m²/g) ed alle caratteristiche della superficie, possono essere largamente utilizzate per rimuovere alcuni inquinanti da acqua ed aria ed in particolare:

- *eliminazione di microinquinanti presenti in soluzioni acquose*^[11-12]. Le FCA sono efficaci e selettive nell'adsorbire composti di tipo aromatico nell'acqua destinata al consumo umano, ciò grazie alle cinetiche di adsorbimento 5-10 volte superiori rispetto a quelle riscontrate con il CAG (minore resistenza al trasferimento di massa);
- *eliminazione dell'ossigeno disciolto (OD) presente nell'acqua*: utilizzazione delle FCA come supporto catalitico^[13]. Possono trovare impiego nei circuiti di raffreddamento di grosse centrali per la produzione di energia;
- *effetto battericida in soluzione acquosa*^[14-16]. Le FCA esercitano un'azione battericida se impregnate con metalli, i campi di applicazione possono essere infiniti soprattutto nei presidi sanitari;

- *adsorbimento di composti organici volatili (COV)*;
- *abbattimento di ossidi di zolfo (SO_x)*^[17-19]. L'adsorbimento di anidride solforosa e la sua conversione in H₂SO₄ rappresentano una novità in quanto non si produce gesso (CaSO₄) contrariamente al processo che utilizza calcare;
- *abbattimento degli ossidi di azoto dall'aria*^[20]. Le temperature elevate normalmente utilizzate nei processi fin qui utilizzati, contribuiscono a produrre emissioni inquinanti: le FCA sono efficaci a temperature <300 °C;
- *abbattimento del solfuro d'idrogeno dall'atmosfera*^[21-23].

Numerose ulteriori applicazioni per il trattamento di reflui acquosi e gassosi sono in via di sperimentazione (eliminazione dello iodio radioattivo rilasciato in atmosfera, abbattimento del mercurio ecc.).

Fibre di carbone utilizzate per il trattamento di reflui dell'industria tessile^[24]

Nei laboratori dell'ENEA (Centro Ricerche Casaccia) in collaborazione con l'Università degli Studi della Savoia (Francia) è stata sviluppata un'attività di ricerca relativa al trattamento delle acque reflue derivanti dall'industria tessile. In particolare, sono stati eseguiti test per determinare l'efficacia di adsorbimento ed i parametri operativi per rendere applicabili le fibre di carbonio. Le prove sono state

eseguite utilizzando fibra in carbonio attivato Ac-titex FC 1201 (PICA Italia, Milano) ed un colorante reattivo Remazol Black 5 (Dystar).

La caratterizzazione del materiale (determinazione dei gruppi funzionali in superficie, analisi termogravimetrica, analisi della porosità, determinazione della superficie specifica, potenziale Z ecc.) ha evidenziato la presenza, in superficie, di gruppi ossidrilici e la prevalenza di micropori con

una forte componente di pori <1nm (ultramicro-pori) (figura 3). Le prove per determinare le cinetiche e le isoterme di adsorbimento sono state eseguite in batch.

Le cinetiche di adsorbimento sono state studiate a pH=2.5 e sono stati utilizzati tre modelli (primo ordine, $q_t=q_e(1-e^{-kt})$, secondo ordine, $q_t=q_e[k_2q_e t/(1+k_2q_e t)]$ e diffusione intra-particellare, $q_t=kit^{1/2}$) per studiare il comportamento del colorante quan-

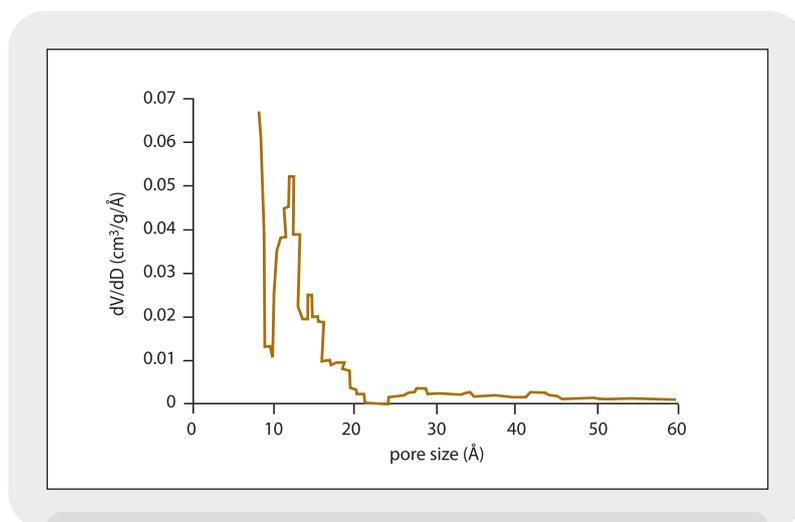


Figura 3
Distribuzione dei pori sulle fibre di carbone
Fonte: elaborazione degli autori

Tabella 1 – Caratteristiche principali della FCA Actitex FC 1201

H ₂ O	20%	Mesopori	0,10 cm ³ /g
pH-PZC	4,8	Principali gruppi in superficie	
Sup. specifica	1.405 m ² /g	Carbossili in sup.	0,027 meq/g
Volume tot pori	0,64 cm ³ /g	Lattoni in sup	0,139 meq/g
V. Ultrapori	0,34 cm ³ /g	Fenoli	0,677 meq/g
	0,20 cm ³ /g	Carbonili	0,238 meq/g

Fonte: elaborazione degli autori

Tabella 2 – Caratteristiche principali del colorante Remazol Black 5

Fornitore	DYSTAR	Dimensioni	0,92-3,15 nm
Classe	Di-azo	MW	991
Solubilità	50 g/l	pKa	3,8 e 6,9

Fonte: Adsorbimento di Remazol Black a pH=2,5

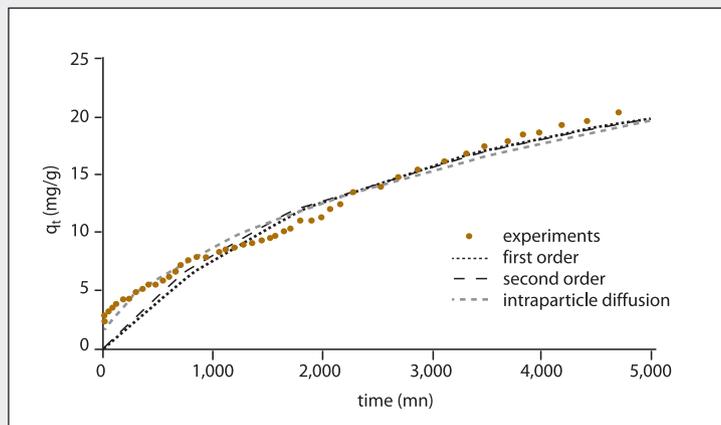


Figura 4
Adsorbimento di Remazol Black a pH=2,5
Fonte: elaborazione degli autori

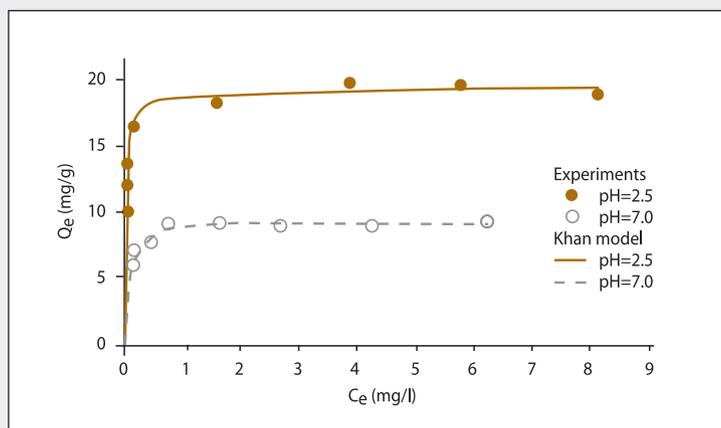


Figura 5
Isotherme di adsorbimento
Fonte: elaborazione degli autori

Tabella 3 – Parametri relativi ai modelli utilizzati per le cinetiche di adsorbimento

1° ordine	2° ordine	Diffusione intraparticellare	
k_1 (min ⁻¹)	k_2 (gmg ⁻¹ min ⁻¹)	$1,0 \times 10^{-7}$	k_3 (gmg ⁻¹ min ^{-1/2})
q_e (mg/g)	q_e (mg/g)	31,7	R ² 0,977
R ²	R ²	0,976	SSE 42
SSE	SSE	103	

Fonte: elaborazione degli autori

Tabella 4 – Parametri relativi alle isoterme di adsorbimento

Langmuir		Freundlich		Khan	
q_{\max} (mg/g)	19,54	k_f ($\text{mg}^{1-1}/\text{nL}^1/\text{ng}^{-1}$)	17,21	q_{\max} (mg/g)	18,04
b (L/mg)	50,35	n	11,63	b/a	60,9 / 0,99
R^2	0,94	R^2	0,86	R^2	0,95
SSE	5,58	SSE	14,17	SSE	5,27

Fonte: elaborazione degli autori

do viene adsorbito dalla fibra di carbone.

Le isoterme di adsorbimento sono state studiate utilizzando i modelli di Langmuir ($q_e = q_{\max} b C_e / (1 + b C_e)$), Freundlich ($q_e = K_f C_e^{1/n}$) e di Khan ($q_e = q_{\max} b C_e / (1 + b C_e)^{ak}$). Dai dati sperimentali si evince che, dal punto di vista cinetico, il modello della diffusione intraparticellare sembra controllare il fenomeno dell'adsorbimento del colorante anionico e ciò giustifica elevati tempi di adsorbimento. La capacità di adsorbimento per il colorante è bassa (21 mg/g) a conferma che anche le dimensioni del colorante, maggiori rispetto a quelle dei pori della fibra, contribuiscono al basso grado di adsorbimento del colorante.

Il modello di Khan può essere applicato in quanto meglio di altri si accosta alle isoterme di adsorbimento sperimentali. Test di adsorbimento eseguiti in funzione della temperatura hanno mostrato che il processo di adsorbimento è spontaneo, essendo l'entalpia di adsorbimento pari a -38.2 kJ/mole. Il valore dell'entropia riscontrato è stato pari a $+9.7$ J/mole.K, a conferma che il meccanismo di adsorbimento di questo specifico colorante (neutro o leggermente carico a bassi valori di pH) dipende dalla dispersione delle molecole e dalle relative interazioni che determinano un addensamento sulla superficie del materiale adsorbente.

Bibliografia

- [1] Wang Y.L., Wan Y.Z., Dong X.H., Cheng G.X., Tao H.M., Wen T.Y., *Preparation and characterization of antibacterial viscose-based activated carbon fiber supporting silver*. Carbon, 36, 1998, 1567-1571.
- [2] Ryu Z., Zheng J., Wang M., Zhang B., *Characterization of pore size distributions on carbonaceous adsorbents by DFT*, Carbon, 37, 1999, 1257-1264.
- [3] Ryu Y.K., Kim K.L., Lee C.H., *Adsorption and Desorption of n-Hexane, Methyl Ethyl Ketone, and Toluene on an Activated Carbon Fiber from Supercritical Carbon Dioxide*, Ind. Eng. Chem., 39, 2000, 2510-2518.
- [4] Osmond N. M., *Ads. Sci. Technol.*, 18, 2000, 529-539.
- [5] Cazorla-Amoros D., Salinas-Martinez C., Alcaniz-Monge J., Gardner M., North A., Dore J., Carbon, 36, 1998, 309-312.
- [6] Alcaniz-Monge J., Cazorla-Amoros J., Linares-Solano D., Yoshida S., Oya A., *Formation of mesopores in phenolic resin-derived carbon fiber by catalytic activation using cobalt*. Carbon, 33, 1995, 1085-1090.
- [7] Pastor A.C., Rodriguez-Reinoso F., Marsh H., Martinez M.A., *Preparation of activated carbon cloths from viscous rayon. Part I. Carbonization procedures*. Carbon, 37, 1999, 1275-1283.
- [8] Pradhan B.K., Sandle N.K., *Effect of different oxidizing agent treatments on the surface properties of activated carbons*. Carbon, 37, 1999, 1323-1332.
- [9] Mangun C.L., Benak K.R., Daley M.A., *Economy J., Oxidation of Activated Carbon Fibers: Effect on Pore Size, Surface Chemistry, and Adsorption Properties*, Chem. Mater., 11, 1999, 3476-3483.
- [10] Molina-Sabio M., Gonzalez M. T., Rodriguez-Reinoso F., Sepulveda-Escribano A., *Effect of steam and carbon dioxide activation in the micropore size distribution of activated carbon*. Carbon, 34, 1996, 505-509.
- [11] Murayama H., Moriyama N., Mitobe H., Mukai H., Takase Y., Shimizu K. -I., Kitayama Y., *Evaluation of activated carbon fiber filter for sampling*

of organochlorine pesticides in environmental water samples. Chemosphere, 52, 2003, 825-833.

- [12] Shen Z., Wang W., Jia J., Ye J., Feng X., Peng A., *Degradation of dye solution by an activated carbon fiber electrode electrolysis system. Journal of Hazardous Materials, B84, 2001, 107-116.*
- [13] Moon J.S., Park K.-K., Kim J.-H., Seo G., *Reductive removal of dissolved oxygen in water by hydrazine over cobalt oxide catalyst supported on activated carbon fiber. Applied Catalysis A: General, 201, 2000, 81-89.*
- [14] Oya A., Yoshida S., *Preparation and properties of an antibacterial activated carbon fiber containing mesopores. Carbon, 34, 1996, 53-57.*
- [15] Le Pape H., Solano-Serena F., Contini P., Devillers C., Maftah A., Leprat P., *Evaluation of the antimicrobial properties of an activated carbon fibre supporting silver using a dynamic method. Carbon, 40, 2002, 2947-2954.*
- [16] Piskin E., Atac A. *Glow-discharge modified activated carbon cloths as skin substitutes. J. Biomed. Mater. Res., 30, 1996, 493-499.*
- [17] Ling L., Li K., Li L., Miyamoto S., Korai Y., Kawano S., Mochida I., *Removal of SO₂ over ethylene tar pitch and cellulose based activated carbon fibers. Carbon, 37, 1999, 499-504.*
- [18] Mochida I., Kuroda K., Kawano S., Matsumura Y., Yoshikawa M., *Kinetic study of the continuous removal of SO_x on polyacrylonitrile-based activated carbon fibres: 1. Catalytic activity of PAN-ACF heat-treated at 800°C. Fuel, 76, 1997, 533-536.*
- [19] Muniz J., Herrero J.E., Fuertes A.B., *Treatments to enhance the SO₂ capture by activated carbon fibres. Appl. Catal. B: Environmental, 18, 1998, 171-179.*
- [20] Muniz J., Marban G., Fuertes A.B., *Low temperature selective catalytic reduction of NO over modified activated carbon fibres. Applied Catalysis B: Environmental, 27, 2000, 27-36*
- [21] Bouzaza A., Laplanche A., Marsteau S., *Adsorption-oxidation of hydrogen sulfide on activated carbon fibers: effect of the composition and the relative humidity of the gas phase. Chemosphere, 54, 2004, 481-488.*
- [22] Ampelogova N.I., Kritskii V.G., Krupennikova N.I., Skvortsov A.I., *Carbon-Fiber Adsorbent Materials for Removing Radioactive Iodine from Gases. Atomic Energy, 92, 2002, 336-340.*
- [23] Hayashi T., Lee T.G., Hazelwood M., Hedrick E., Biswas P., *Characterization of activated carbon fiber filters for pressure drop, submicrometer particulate collection, and mercury capture. Journal of the Air & Waste Management Association, 50, 2000, 922-929.*
- [24] Donnaperna L., Duclaux L., Gaudiou R., Hirn M.P., Merli C., Pietrelli L., *Comparison of adsorption of Remazol Black B and Acidol Red on microporous Activated Carbon Felt., J. Coll. Sci. And Techn. 2009, 339, 2009, 275-284.*

TECNOLOGIE AMBIENTALI PER LO SVILUPPO SOSTENIBILE TECNOLOGIE DI PROCESSO, DI PRODOTTO E CERTIFICAZIONE AMBIENTALE

A cura di: *Claudia Brunori e Roberto Morabito*



Nel gennaio 2004 la Commissione Europea ha presentato una comunicazione al Consiglio ed al Parlamento Europeo su: "Incentivare le tecnologie per lo sviluppo sostenibile: Piano d'Azione per le tecnologie ambientali nell'Unione Europea (ETAP)". Uno degli obiettivi principali del Piano è quello di far diventare l'Unione Europea il continente leader nello sviluppo e diffusione di tecnologie ambientali entro il 2010.

Secondo l'ETAP le tecnologie compatibili con l'ambiente non sono solo tecnologie singole, ma sistemi totali che comprendono know-how, procedure, beni e servizi, apparecchiature e procedure organizzative e di gestione. Da tale definizione si evince la vastità delle tipologie dei settori di applicazione delle tecnologie ambientali.

Nel volume, dopo un capitolo dedicato allo scenario di riferimento delle tecnologie ambientali, verranno trattate soltanto le tecnologie di processo, di prodotto e la certificazione ambientale, sia in generale che con esempi di loro applicazione in settori definiti (ultimi due capitoli). Altre tipologie di tecnologie ambientali, quali ad esempio quelle energetiche o quelle di abbattimento delle emissioni in atmosfera o relative ai rifiuti, saranno solo accennate ma non saranno trattate in questa pubblicazione.

Euro 15,00



Regione Siciliana ed ENEA per l'energia, l'ambiente e lo sviluppo: il Progetto SICENEA

Emilio Manilia

ENEA, Unità Tecnica Efficienza Energetica

Obiettivo del Progetto è stato quello di attivare, d'intesa con la Regione, un programma integrato di azioni volto allo sviluppo di un modello energetico fortemente orientato all'utilizzazione delle fonti rinnovabili. Destinatari dell'azione territoriale ENEA, di stimolo ed accompagnamento allo sviluppo, sono la Regione, gli Enti Locali, i professionisti operatori di settore, il mondo scolastico

Sicilian Region and ENEA for Energy, Environment and Development: SICENEA Project

The Project objective is to adopt – in collaboration with the Sicilian Regional Authority – an integrated programme of measures aimed at developing an energy model mainly exploiting renewable energy sources. The end-users of ENEA's action on the territory, with a view to fostering and supporting development are: Sicilian Region, local administration authorities, energy managers/operators, and schools

Il progetto SICENEA e il suo ruolo attivo nell'evoluzione della cultura energetica dell'isola

Partiamo da alcuni elementi di orientamento tratti dal bilancio energetico siciliano.

La voce consumi finali nel 2007 segna 19.080 GWh di cui 5.908 nel residenziale e poco meno nel terziario¹. Rilevante l'incidenza dei prodotti petroliferi (64%) sull'energia elettrica (19%) e sul gas naturale (in crescita), con un contributo ancora residuale di fonti rinnovabili (2,5%). Per quanto riguarda le emissioni di CO₂, l'ultimo dato disponibile si assesta per l'anno 2005 a Mt 32,4².

Il Piano Nazionale di Assegnazione delle emissioni di anidride carbonica per il Protocollo di Kyoto attribuisce alla Regione Siciliana, per il 2005, un limite di 24,3 milioni di tonnellate di emissioni. Altro elemento di quadro è l'annosa vicenda del Piano Energetico Regionale (PER) che dopo un'attesa oltremodo ben ponderata di 17 anni sta per vedere luce. Le linee guida trasmesse dall'assessorato all'industria presentano una buona attenzione alle fonti rinnovabili.

Fotovoltaico, eolico, produzione da biomassa e termodinamica, un Polo industriale mediterraneo per la ricerca e lo sviluppo, una filiera sul solare, sono tutti termini che ricorrono con insistenza nel PER. Nel PER sono quantificate in circa 100 le autorizzazioni sinora concesse alla costruzione ed esercizio di impianti alimentati da fonti rinnovabili, di cui 27 per impianti eolici per una potenza complessiva pari a 955,70 MW, 10 impianti alimentati da biomassa per una potenza pari a 100 MW, impianti fotovoltaici per circa 20 MW, un impianto solare termodinamico di valenza scientifica per 6 MW. Pur tuttavia la Regione ha vincoli di natura indu-

striale estremamente pesanti, per via della presenza di molte industrie ad elevata intensità energetica, delle raffinerie attive – che incidono per il 40% sulla capacità di raffinazione nazionale – nonché di stabilimenti petrolchimici. Cionondimeno, notevoli sono i margini di miglioramento nei settori dell'efficienza energetica (residenziale e non residenziale) e dell'uso sostenibile dell'energia. Grazie a sole, vento e acqua, la Sicilia potrebbe rappresentare un modello energetico alternativo e innovativo, un esempio per tutto il paese. C'è una ulteriore richiesta di installazione di piccoli impianti eolici per una produzione di 5.000 MWh annui. Una misura di tutto rispetto, tanto più se si considera che in Spagna si producono 34.000 MWh e che in Germania se ne producono 41.000. Per produrre 5.000 MW di energia elettrica sarebbero necessari 4 milioni di tonnellate di carbone oppure 3 milioni di tonnellate di petrolio. Altro elemento che attesta la vivacità della rinascita energetica verso il rinnovabile è l'incremento notevole di domande per impianti fotovoltaici che interessano tutte le provincie dell'isola.

I numeri di SICENEA

È in questo quadro che può essere dunque valutato l'impatto positivo di un progetto come SICENEA. Per ciò che ha rappresentato, per le sfide affrontate e superate, per la qualità delle competenze impiegate sul campo, per la sua "geometria variabile", ovvero per essersi saputo rapportare ad un arco multiforme di soggetti interessati: dalle aziende agli amministratori locali, dall'utenza diffusa ai protagonisti della formazione scolastica di ogni ordine e grado.

Si può cioè ben affermare che SICENEA ha in qual-

1. http://www.regione.sicilia.it/Industrialuse/Dati_Osservatorio su dati Terna.

2. *Inventario nazionale delle emissioni su scala regionale*. Rapporto 2008, ENEA.

che modo valorizzato le potenzialità di agenzie delle unità ENEA impegnate. Tali unità hanno svolto il proprio ruolo in modo dinamico, non limitandosi alla fornitura di servizi o al semplice monitoraggio di risorse e criticità, tutt'altro. SICENEA ha di fatto operato per la messa in rete di funzionalità e di saperi, di competenze tecniche e scientifiche in diretta connessione con le amministrazioni locali, le sole in grado, per ruolo e conoscenze, di agire sul territorio.

I numeri di SICENEA sono di per sé eloquenti. Nel corso dei tre anni che corrispondono alla durata del progetto si è dato corso alla:

- definizione e messa in funzione di 9 Uffici Energia presso tutte le Province Regionali;
- formazione specialistica di 20 tecnici in grado di operare nei suddetti Uffici Energia;
- fornitura di hardware informatico, strumentazione adeguata e relativi codici per la diagnostica energetica;
- realizzazione di seminari tecnico-scientifici in occasione del lancio degli Uffici Energia;
- sponsorizzazione dell'impianto dimostrativo Solar Cooling realizzato dal Dipartimento DREAM dell'Università di Palermo;
- realizzazione di 25 corsi di aggiornamento tecnico per progettisti con l'ausilio di impianti dimostrativi. Tali corsi, che hanno visto la partecipazione di oltre 3.800 unità interessate – tra progettisti, installatori e Energy manager – hanno comportato 100 giornate e 800 ore di didattica;
- realizzazione e partecipazione di 20 seminari di sensibilizzazione, svoltisi nei centri attivi del territorio siciliano;
- realizzazione di strumenti innovativi per l'aggiornamento tecnologico, tra cui materiali informativi e promozionali, opuscoli della Collana "Energia sostenibile", Quaderni della Collana "Tecnologie energetiche per la sostenibilità", materiale didattico a supporto delle attività di formazione, CD-ROM e sito WEB particolarmente pensato per la rete degli Uffici Energia (figura 1);
- indagine demoscopica con 1.500 interviste e colloqui;
- produzione di 83 dispense per l'aggiornamento tecnico, 8 opuscoli divulgativi e 5 pubblicazioni scientifiche;
- campagna di comunicazione che nei periodi novembre 2007 e ottobre 2008 ha coperto il ter-



Figura 1
Esempi di materiale informativo prodotto nell'ambito del Progetto SICENEA
Fonte: ENEA

itorio siciliano e gli aeroporti di Fiumicino, Palermo e Catania.

Una particolare attenzione è stata dedicata ad attività di sensibilizzazione e diffusione di cultura scientifica presso le scuole, dalle elementari alle superiori, sulle problematiche connesse all'uso delle risorse energetiche e allo sviluppo sostenibile su scala locale e globale. Tali attività di collaborazione tecnico-scientifica, sia per l'aspetto didattico che per quello formativo, hanno operato in modo da prefigurare una vera rete attiva di scuole siciliane destinata a durare ben oltre la durata del Progetto. Anche su questo versante sono eloquenti i numeri di un'attività che ha visto:

- coinvolgimento di oltre 200 scuole nel progetto denominato "Sicilia Educarsi al Futuro", per un totale di circa 700 classi e più di 2.000 alunni;
- realizzazione di 35 seminari provinciali per l'aggiornamento dei docenti;
- istituzione del Premio "Sicilia Educarsi al futuro", con il coinvolgimento di 381 classi, 98 scuole e 64 progetti didattici;
- realizzazione di 2 convegni regionali con assegnazione alle scuole di premi in denaro e fornitura di 40 kit fotovoltaici;
- collaborazione con UNESCO, nell'ambito del Decennio dell'Educazione allo Sviluppo Sostenibile (DESS 2005-14), per l'organizzazione di cicli annuali di seminari di aggiornamento scientifico dei docenti, in collaborazione con istituti e fondazioni tra cui il Centro Studi "E. Morin" dell'Università di Messina, le Associazioni di Insegnanti di Fisica, Scienze Naturali e Chimica e la Società Filosofica Italiana;
- realizzazione di workshop per la progettazione di nuovi percorsi e materiali didattici;
- realizzazione del sito web www.educarsiaifuturo.it;
- messa in cantiere di esperienze di cooperazione internazionale con progetti di sviluppo sostenibile e lotta alla povertà, basati su nuove tecnologie e produzione di energia da fonti rinnovabili.

Tutte le azioni, previste dal Programma SICENEA, articolate nelle diverse linee di attività, sono state di supporto tecnico e scientifico alla Regione Siciliana nella direzione dello sviluppo delle fonti rinno-

vabili e dell'uso efficiente dell'energia nell'Isola. Possiamo ben dire che il lavoro di rete predisposto per la politica energetica regionale, la messa a disposizione di competenze specifiche su tematiche non semplici e di frontiera per gli operatori, unita ad una maggiore consapevolezza sull'uso corretto dell'energia e delle fonti rinnovabili da parte dei cittadini, prefigura l'inesco di un circolo virtuoso promosso dall'amministrazione che coinvolge utenti e istituzioni con ricadute evidenti sul mercato in termini di benefici economici e occupazione. Del resto l'importanza e l'interesse della Regione si è concretizzato nel cofinanziamento all'80% del Programma SICENEA (2,8 milioni di €), con risorse dell'Accordo di Programma Quadro (APQ Sicilia).

Per limitarci agli effetti collaterali messi in moto nel sistema regionale, con SICENEA è stato dato impulso alla certificazione degli edifici con l'utilizzo e la diffusione di metodologie semplificate, come quella DOCET dell'ENEA, per la qualificazione energetica del patrimonio edilizio siciliano. Si è anche divulgata la semplificazione amministrativa dei sistemi di incentivazione degli interventi di sfruttamento delle fonti rinnovabili e la diffusione di meccanismi incentivanti che tutelino il consumatore ed il mercato, evitando l'aumento dei costi di realizzazione degli impianti. Un discorso merita anche il sito web, che con SICENEA è stato messo a punto, e attraverso il quale è stata definita la possibilità di accedere, per le Province e i Comuni della Sicilia, ad una consulenza "a sportello" riguardo le tematiche tecniche del settore civile.

Forse anche in forza di questa azione di sensibilizzazione tecnica e comunicazione, la Sicilia è risultata prima nell'utilizzazione dei fondi del Ministero dell'Ambiente per la realizzazione di impianti fotovoltaici nelle scuole e ci si augura anche di riuscire a massimizzare l'utilizzazione dei fondi statali degli sgravi IRPEF (55%), agendo sulla strada della riqualificazione energetica del patrimonio edilizio, con ricadute e benefici in un settore, quello dell'edilizia, che in Sicilia rappresenta più del 40% per PIL.

Ma c'è dell'altro. L'adozione, ad esempio, del Piano Energetico Regionale e l'attuazione delle politiche di asse della nuova programmazione 2003-

2007, impongono di fissare programmi ed azioni. Obiettivo primario dovrebbe essere quello di accelerare, nel settore dell'energia, il programma di azioni volto allo sviluppo di un modello energetico ed economico orientato alla utilizzazione delle fonti rinnovabili e dell'efficienza. In altre parole, l'idea di un Piano per lo sviluppo di un'industria locale delle rinnovabili, del solare termico e del fotovoltaico, delle biomasse e del bioetanolo, piuttosto che dell'idrogeno, settore questo che vede già in Sicilia un centro di eccellenza nel centro CNR ITAE di Messina, o dell'eolico, in incredibile fase di sviluppo (allo stato attuale copre già circa il 2% del fabbisogno elettrico dell'isola), che veda la Sicilia soggetto produttivo attivo nelle diverse filiere e non semplice fruitore di tecnologie e capacità progettuali ed industriali esterne.

Considerazioni finali

Spesso, a proposito della questione energetica, si è giustamente sottolineata la necessità di saper fornire risposte adeguate e flessibili a domande articolate e complesse provenienti dalle realtà diffuse. Tale atteggiamento, fatto di sensibilità e competenza, sta alla base del rapporto che candida l'ENEA come partner d'eccellenza per le Amministrazioni locali.

Infatti ben vasto è il contributo che ENEA a tal riguardo può fornire: dal supporto all'attuazione e revisione dei Piani Energetici Regionali fino alla valutazione e certificazione delle politiche di risparmio, dalla promozione sul territorio delle tecnologie più innovative alla creazione di una rete tra le Amministrazioni, che permetta la diffusione delle soluzioni ottimali (best practices) d'efficienza ener-

getica, dalla connessione con lo sviluppo di distretti industriali all'elaborazione di piani per l'adeguamento ai nuovi obiettivi reclamati dal Protocollo di Kyoto e dallo stesso processo post-Kyoto.

Di notevole rilevanza è poi la richiesta di inserimento nelle dinamiche interistituzionali messe in moto dalle normative emanate dall'Unione Europea e dall'adesione a trattati internazionali.

Come da più parti rimarcato, in mancanza di una chiara linea di distinzione di ruoli tra Centro e Regioni per la politica energetica, sulle amministrazioni "di prossimità" rischiano spesso di ricadere impegni e carichi di lavoro impossibili da affrontare con i tradizionali strumenti di governance, e del tutto lontani dalle professionalità espresse dalla Pubblica Amministrazione. È dunque in questo quadro che l'azione dell'ENEA acquista una valenza significativa, per la sua collocazione in ambito nazionale ed internazionale e la multidisciplinarietà dei suoi indirizzi di ricerca, per il suo rapporto sensibile con Province e Comuni che spesso vedono nei Centri ENEA la prima risposta più qualificata alla domanda di *assessment* metodologici, di *expertise* ambientali e di *advisor* tecnologico, e infine per la sua caratteristica di "agenzia tecnica" dinamica e qualificata, capace di relazionare soggetti diffusi, forze imprenditoriali e risorse della scuola, partenariato sociale e settori qualificati presenti nel territorio.

Ed è su questa linea che i numeri di SICENEA acquistano corpo e spessore. È con la forza di esperienza vincente che SICENEA va dunque considerato come investimento utile, risorsa da estendere all'intero sistema Italia e non solo un patrimonio di esperienze riservato a limitate realtà geografiche del Paese.

BIODIVERSITA'

RISORSE PER LO SVILUPPO

A cura di: *Laura Maria Padovani, Paola Carrabba, Barbara Di Giovanni, Francesco Mauro*



Nel 1992 la Convenzione sulla Diversità Biologica delle Nazioni Unite ha dato voce all'impegno della comunità internazionale per la salvaguardia della biodiversità. Nel 2002, a distanza di dieci anni, nel corso del Summit di Johannesburg sullo Sviluppo Sostenibile, la stessa comunità internazionale ha ribadito la necessità urgente di intensificare e coordinare gli sforzi per arrestare, o perlomeno ridurre in misura significativa, la perdita di biodiversità al più tardi entro il 2010. Tale iniziativa globale, divulgata con il nome di "Countdown 2010", fa riferimento all'impegno siglato nel lontano 1987 con il "Rapporto Brundtland", che rappresenta l'eredità che le generazioni presenti intendono lasciare a quelle future.

L'Italia ha aderito formalmente al "Countdown 2010" durante la riunione del gruppo di lavoro sulle aree protette della Convenzione sulla Diversità Biologica, che si è svolta a Montecatini nel giugno 2005.

La più recente "Carta di Siracusa", firmata al G8 Ambiente nell'aprile 2009, riafferma l'importanza della biodiversità e la volontà italiana di porre le basi per uno sviluppo dell'economia compatibile con la tutela dell'ambiente.

Nel volume sono raccolte definizioni, conoscenze, storia, stato, proposte e problemi della diversità biologica, con particolare attenzione al quadro nazionale e mediterraneo, mettendo a frutto l'esperienza professionale ed interdisciplinare dagli autori. Il testo vuole, inoltre, rappresentare il contributo ENEA alla celebrazione dell'Anno Internazionale della Biodiversità, proclamato dalle Nazioni Unite per il 2010.

GRATUITO

ENEA

Accesso delle PMI ai progetti europei: alcune indicazioni per l'uso

Flavia Amato

ENEA, Unità Relazioni Internazionali

"Le microimprese e le piccole e medie imprese (PMI) costituiscono il motore dell'economia europea. Sono una fonte essenziale di lavoro, generano spirito imprenditoriale e innovazione nell'UE e sono quindi essenziali per favorire la competitività e l'occupazione", così si è espresso il Commissario uscente per le imprese e l'industria Günter Verheugen. Le istituzioni comunitarie riconoscono, infatti, a questa particolare tipologia di aziende, una funzione chiave per la crescita e l'occupazione dell'intera Unione Europea.

Pertanto, lo sforzo a livello europeo è stato e continua ad essere quello di creare le migliori condizioni regolamentari e amministrative per incentivare l'attività di questa categoria di imprese e supportarle nei settori, quali l'innovazione, la ricerca e sviluppo, in cui la propensione agli investimenti risulta ancora insufficiente.

L'attenzione posta verso il coinvolgimento delle imprese si traduce da una parte, nell'attivazione di programmi e schemi di finanziamento dedicati o, comunque, incentivanti e, dall'altro, nel mettere a disposizione delle strutture di sostegno alla progettualità imprenditoriale, in grado di aiutare gli utenti ad orientarsi nel vasto panorama di offerte proposte.

Definizione UE di PMI

Prima di entrare nel merito dei meccanismi che, a giudizio di chi scrive, risultano essere di maggior interesse per le PMI, occorre chiarire il concetto di PMI utilizzato dalle istituzioni europee e a cui è necessario riferirsi quando si appropria un programma comunitario.

La definizione generale di PMI a livello europeo è in vigore dal 1° gennaio 2005 e combina vari criteri:

Tipo	Occupati		Fatturato (milioni di €)		Totale di bilancio (milioni di €)
Media impresa	< 250	e	≤ 50	oppure	≤ 43
Piccola impresa	< 50	e	≤ 10	oppure	≤ 10
Micro impresa	< 10	e	≤ 2	oppure	≤ 2

Fonte: Raccomandazione 2003/361/CE

Oltre a questi criteri soglia, la definizione europea per il riconoscimento dello status di PMI identifica il requisito dell'indipendenza: in linea generale, si considera indipendente una PMI che ha una partecipazione inferiore al 25% del capitale o dei diritti di voto in una o più imprese e/o non vi sono soggetti che detengono una quota del 25% del capitale o dei diritti di voto della PMI.

I programmi di maggiore interesse

Come accennato, esiste una molteplicità di iniziative volte ad incentivare la partecipazione alla progettualità imprenditoriale e ogni programma è governato da regole proprie. Tra gli strumenti a gestione diretta, ovvero quelli in cui il ruolo della Commissione europea (o dell'Agenzia delegata) è diretto, non mediato da altri soggetti coinvolti, sia nella fase di valutazione che in quella di finanziamento e controllo, che possono suscitare un elevato interesse per le PMI, rientrano sicuramente il Settimo Programma Quadro di Ricerca e Sviluppo Tecnologico (VII PQ) e il Programma Competitività e Innovazione (CIP).

Il PQ 2007-2013 costituisce, a livello europeo, uno dei principali strumenti volti a stimolare gli sforzi delle PMI in materia di RST. In effetti, pur rappresentando la principale fonte di finanziamento pubblica a livello continentale per la ricerca, il PQ riconosce un'importanza primaria all'incremento degli investimenti privati. Il PQ si articola in quattro Programmi Specifici (PS):

- Cooperation*, per ottenere la leadership europea a livello mondiale in aree scientifiche e tecnologiche strategiche;
- Ideas*, per promuovere la ricerca alle "frontiere della conoscenza";
- People*, per incentivare i giovani ad intraprendere la ricerca scientifica ed incoraggiare l'integrazione delle competenze tra accademia e industria;
- Capacities*, per migliorare le competenze di ricerca e innovazione in tutta l'Europa e garantirne il loro uso ottimale.

Essendo le PMI un anello chiave nella catena di trasformazione della conoscenza in prodotti, processi e servizi, ogni PS contiene uno spazio dedicato a queste specifiche realtà produttive. Lo schema è il seguente:

PROGRAMMI SPECIFICI VII PQ			
Cooperation	Ideas	People	Capacities
Aree tematiche	Ricercatori provenienti dall'industria	Percorsi industria-accademia	Ricerca a beneficio delle PMI

In particolare, la rubrica "Ricerca a beneficio delle PMI", del blocco "Capacities", che raccoglie l'eredità dei vecchi "CRAFT", consente di potenziare lo sviluppo di prodotti, processi e servizi basati su nuove tecnologie attraverso l'affidamento in *outsourcing* da parte dell'industria, della attività di R&S, allo scopo di accorciare il divario tra ricerca ed innovazione.

Per la realizzazione dei propri obiettivi, il programma prevede due tipologie di strumenti:

1. **ricerca per le PMI**, di cui possono avvalersi piccoli gruppi di PMI per risolvere problemi tecnologici comuni o complementari; la durata prevista del progetto è compresa tra un anno e mezzo e i due anni e mezzo;
2. **ricerca per le associazioni di PMI**, per loro natura deputate a conoscere dei punti di forza e di debolezza dei propri aderenti e in grado di svolgere una funzione di moltiplicatrici di conoscenze, grazie alla possibilità di trasferire i risultati ai propri associati; la durata prevista varia dai due anni e mezzo ai tre anni e mezzo.

Entrambi gli schemi prevedono un approccio *bottom-up* e attivano tra PMI committenti ed esecutori di R&S (cd "RTD performers") un rapporto di tipo consumatore/fornitore, con l'acquisizione, in generale, da parte delle PMI, dei diritti di proprietà emergenti dalle attività di ricerca. Inoltre, in aggiunta alle attività di sviluppo tecnologico e di dimostrazione, i progetti possono (e auspicabilmente dovrebbero) contenere una parte di attività collaterali quali formazione, disseminazione, valorizzazione e utilizzazione dei risultati.

Programma Competitività ed Innovazione (CIP)

Il CIP rientra tra i programmi di nuova generazione lanciati dalla programmazione 2007-2013, con un budget di 3,6 miliardi di euro. Il CIP punta alla razionalizzazione di strumenti dedicati a settori strategici quali la capacità di innovazione, lo sviluppo di una società dell'informazione e la crescita sostenibile. Il programma si suddivide in tre blocchi in cui il tema dell'eco-innovazione¹ risulta trasversale:

(a) imprenditorialità e Innovazione, che racchiude numerose iniziative volte al supporto delle varie tipologie di imprese;

(b) sostegno alla politica in materia di ICT;

(c) energia Intelligente per l'Europa per lo sviluppo e all'applicazione della normativa energetica europea.

Il CIP è complementare al VII PQ, e non comprende, di conseguenza, le attività di ricerca e sviluppo tecnologico. In particolare "Imprenditorialità e Innovazione" (CIP-EIP) racchiude numerose iniziative volte al supporto delle varie tipologie di imprese, quali *start-up*, «gazzelle» (imprese a forte potenziale di crescita) ad alta tecnologia, fino alle microimprese e alle imprese familiari. Nello specifico, CIP-EIP intende sostenere, migliorare, incoraggiare e promuovere:

(a) l'accesso al credito per l'avviamento e la crescita delle PMI e gli investimenti in progetti di innovazione;

(b) la creazione di un ambiente favorevole alla cooperazione tra le PMI, in particolare quella transfrontaliera;

(c) l'eco-innovazione;

(d) la cultura dell'imprenditorialità e dell'innovazione;

(e) le riforme economiche ed amministrative a favore delle imprese e dell'innovazione. Il programma si attua attraverso strumenti volti ad agevolare l'accesso al credito nelle fasi di costituzione, avviamento, espansione e trasferimento dell'impresa.

Fonti di informazione e strumenti di assistenza

Le fonti di informazione messe disposizione dall'UE alla platea dei potenziali utenti, in particolare PMI, sono molteplici e ricche di dettagli tanto da poter essere, per chi vi si affaccia per la prima volta, addirittura confondenti.

1. *Eco-innovation* comprende tutte le attività di innovazione che hanno come effetto o che sono espressamente vocate alla protezione ambientale. Per una definizione più completa si rimanda a: http://ec.europa.eu/environment/eco-innovation/what_en.htm

Un buon punto di partenza potrebbe essere il Portale europeo delle PMI, reperibile sul web², le cui pagine offrono una vasta panoramica sulle opportunità offerte alle imprese suddivise per aree tematiche, alcune dedicate specificatamente all'innovazione. Il portale può costituire una prima bussola per orientarsi nel complesso labirinto dei finanziamenti europei.

Una volta ristretto il focus sul programma che si intende approcciare è necessario recuperare il bando (*call for proposals, call for applications*) pubblicato sulla Gazzetta ufficiale dell'Unione Europea, che costituisce lo strumento ufficiale di attuazione del programma. Appare utile sottolineare che ogni programma ha regole proprie, che possono divergere da un programma all'altro, e che sono anche soggette a variazione nell'arco di vita del programma stesso, ciò che rende necessario riferirsi sempre ad informazioni specifiche ed aggiornate.

Pur nella unicità di ciascuno schema, ciascun bando fornisce indicazioni in merito a: descrizione del programma, del bando e degli obiettivi; dotazione finanziaria, requisiti minimi di idoneità (es. localizzazione territoriale, numero minimo e tipologia di partecipanti); termini di presentazione delle proposte e strumenti di invio; criteri di selezione e rimando ad ulteriori fonti di informazione.

A ciascun bando è generalmente associato un "pacchetto informativo", da richiedere agli Uffici competenti quando non disponibile online oppure sulle pagine dedicate al programma e gestito dalle Direzioni generali della Commissione che hanno in carico il programma, contenente il programma di lavoro valido per quel bando, una guida per i proponenti (*Guidelines, guide for applicants, guide for proposals* ecc.), la modulistica e il dettaglio sulla modalità di presentazione della proposta. Inoltre, all'interno dei siti è generalmente possibile accedere alle sezioni dedicate a progetti già finanziati, la cui consultazione è ovviamente utile sia per comprendere meglio la struttura dei progetti che hanno già superato la selezione europea che, come noto, ha standard altissimi, che per evitare di duplicare un progetto già esistente.

Internet³ costituisce senz'altro lo strumento privilegiato della Commissione Europea per raggiungere la platea degli interessati. Generalmente però le informazioni fornite consentono anche di identificare soggetti che, a livello territoriale, sono istituzionalmente preposti alla "materiale" assistenza ai proponenti: si tratta dei *National contact point, dei Focal points, Antenne*, o delle *Europe enterprise networks*⁴. Tali strutture sono incaricate per mandato di supportare gli interessati sia in fase pre- che post-progettuale. Tra i servizi offerti rientrano generalmente: orientamento progettuale tra i diversi programmi; attivazione di contatti nell'ottica della costruzione dei partenariati; assistenza nella compilazione dei moduli; *screening* pre-progettuali, supporto in fase di negoziazione e contratto con la Commissione Europea, sostegno alla gestione del budget; formazione degli utenti.

All'assistenza da parte delle strutture incaricate centralmente dalla Commissione Europea, e scegliendo di non prendere in considerazione le società di consulenza private, si sommano, ad esempio, i servizi di supporto erogati dalle istituzioni nazionali o locali. Anche le Regioni italiane e gli enti locali, ad esempio, si stanno dotando sempre più spesso di pagine web e di servizi in genere dedicati alla progettualità europea, con informazioni sempre aggiornate e con focus sulle opportunità di finanziamento che insistono sul loro territorio.

Conclusione

Anche se i dati registrati dallo European Innovation Scoreboard mostrano che, anche in Italia, gli investimenti privati in ricerca e innovazione tendono a migliorare, permane un gap dell'Italia rispetto alla UE dovuto anche e soprattutto al fatto che, a differenza di altri paesi, le PMI costituiscono il 99% delle imprese nel nostro paese.

I finanziamenti europei, oltre ad essere – è chiaro – una risorsa in sé, consentono alle PMI di rafforzare i partenariati pubblico-privati, entrando in rete con strutture di ricerca pubbliche e con altre imprese innovatrici, percorso necessario per mantenere e sviluppare la competitività del Paese.

2. http://ec.europa.eu/enterprise/smeifunding_it.htm

3. Cf. per il VII PQ, http://cordis.europa.eu/home_it.html o per il CIP, http://ec.europa.eu/cip/index_en.htm

4. http://www.enterprise-europe-network.ec.europa.eu/index_en.htm

5. http://www.proinno-europe.eu/EIS2008/website/docs/EIS_2008_Final_report.pdf

TRASPORTI

ANALISI E PROPOSTE DI INTERVENTO

PER LA SOSTENIBILITA'

A cura di: Gabriella Messina, contributi di V. Conti, S. Haragonzo, M. Lelli, S. Mitrovich, G. Pede, M. Romanazzo, E. Rossi, G. Valenti, M.P. Valentini



Il volume riporta un'analisi multidisciplinare del settore trasporti, localizzando l'attenzione particolarmente sugli aspetti energetici ed ambientali, di più stretta competenza dell'ENEA. Nel quadro di riferimento sono state caratterizzate sia la domanda di mobilità che l'offerta di infrastrutture e servizi di trasporto; sono stati inoltre analizzati gli impatti sui diversi ambiti: energia, ambiente, sicurezza, economia. Per alcuni aspetti tematici rilevanti si è ritenuto opportuno effettuare degli approfondimenti, in particolare: sulla mobilità passeggeri di corto raggio, sul trasporto pubblico locale, sul trasporto intermodale delle merci e sul ruolo della telematica (evidenziando i contributi di ricerca ENEA nello sviluppo di strumenti di supporto alla pianificazione e gestione dei sistemi di trasporto urbano ed extraurbano di passeggeri e merci).

Una sezione importante del lavoro è stata dedicata ai veicoli a basso impatto energetico e ambientale, ai nuovi materiali usati dall'industria automobilistica, ai biocombustibili, anche relativamente agli aspetti di Life Cycle Assessment.

Inoltre, dopo una disamina delle strategie d'intervento e dei provvedimenti in atto (a livello comunitario, nazionale e locale), è stato valutato il potenziale di riduzione dell'impatto energetico ed ambientale sia per le misure "tecnologiche" che per le misure "gestionali/organizzative" maggiormente considerate. Infine sono state indicate alcune priorità d'intervento tenendo conto delle peculiarità del contesto italiano.

Euro 15,00

ENEA

Il contributo del settore energetico per l'accordo sul clima

La IEA (International Energy Agency - Agenzia dell'OCSE dedicata all'energia) ha pubblicato nel novembre scorso il World Energy Outlook 2009. Il documento intende dare un impulso ai negoziati previsti nella *Climate Change Conference* organizzata dall'ONU a Copenhagen nel dicembre 2009.

Il rapporto ha preso in esame tre aree politico-economiche: i Paesi industrializzati OCSE (USA, Giappone, Unione Europea ecc.), le altre maggiori eco-

nomie (Cina, Russia, Brasile, Medio Oriente, Sud Africa ecc.), i rimanenti Paesi (tra cui l'India). Vengono confrontati i dati di interesse (popolazione, PIL, emissioni di gas serra, domanda di energia ecc.) riferiti al 1990 e al 2007, e su di essi sono costruiti due scenari per i prossimi decenni: uno di riferimento (basato sui trend previsti in demografia, PIL, energia, emissioni), l'altro basato su ulteriori politiche e misure di riduzione delle emissioni di gas serra, definito Scenario 450 perché limiterebbe la concentrazione dei gas serra in atmosfera a 450 parti per milione di CO₂ equivalente, assumendo che tale concentrazione limiti il riscaldamento del pianeta a 2 °C sopra il livello attuale.

I due scenari sono a loro volta articolati in due diversi orizzonti temporali, il 2020 e il 2030, anno questo in cui le politiche e misure adottate comincerebbero a determinare la riduzione delle emissioni globali di gas serra. Le proiezioni indicano anche gli investimenti e i costi necessari a tale riduzione, articolandoli per settore e per area/Paese.

Per raggiungere questo obiettivo è stato stimato un investimento totale cumulato da oggi fino al 2030 di circa 10,5 migliaia di miliardi di \$. La maggior parte di questi investimenti dovrebbe essere concentrata nel settore dei trasporti (45%) e in quello dell'efficienza energetica degli edifici (24%). Il 48% degli investimenti sarà realizzato dai Paesi industrializzati occidentali, il 30% dalle altre maggiori economie (Cina, Russia, Brasile ecc.), il 18% dai restanti Paesi, il 4% infine dal settore aereo internazionale.

Fonte: IEA http://www.iea.org/weo/docs/weo2009/climate_change_excerpt.pdf

Investimenti in ricerca e sviluppo del Department of Energy USA

Dall'inizio del 2009 fino ad oggi, il Department of Energy degli Stati Uniti ha annunciato numerosi investimenti per attività di ricerca e sviluppo sulle energie rinnovabili e sull'efficienza energetica. Il 92% di questi investimenti è finanziato dai fondi provenienti dall'*American Recovery and Reinvestment Act* (ARRA), lanciato dal Presidente USA a febbraio 2009, mentre il restante 8% è coperto con fondi propri del Department.

L'investimento previsto per il breve termine dal Department of Energy, diretto ad attività vere e proprie di ricerca e sviluppo, training dei ricercatori e progetti di dimostrazione su vasta scala di tecnologie già sviluppate, equivale quindi a circa 1,28 miliardi di dollari. Questi programmi di investimento si indirizzano in misura preponderante a tecnologie per aumentare l'efficienza energetica (circa 56% dei fondi totali), mentre alle energie rinnovabili è destinato circa il 21% delle risorse.

Per quanto riguarda le sole tecnologie per la produzione di energia, l'investimento preponderante (106 milioni di \$, 35%) è quello per la ricerca e lo sviluppo di energia eolica, seguono il solare a concentrazione e il geotermico (entrambi 17%), il nucleare di IV generazione (15%), le celle a combustibile (14%) ed infine i biocarburanti (2%).

Un altro significativo piano di investimento riguarda le *smart grids*, che prevede circa 3,9 miliardi di \$ in sussidi ad *utilities* e gestori delle reti di trasmissione

dal Mondo

Il contributo del settore energetico per l'accordo sul clima

Investimenti in ricerca e sviluppo del Department of Energy USA

Energia dalle biomasse per le auto: produrre elettricità o biocombustibili?

Passi avanti nell'immagazzinamento chimico dell'idrogeno con ammonio borano

USA e Cina nuovi competitor nel solare fotovoltaico

dell'energia elettrica. Questo intervento non finanzia attività di ricerca e sviluppo, ma solo la produzione, l'acquisto e l'installazione di tecnologie per le *smart grids*.

Più in generale, questi primi dati sugli investimenti in ricerca programmati dall'inizio della presidenza Obama mostrano una preferenza verso soluzioni per l'efficienza energetica, mentre per quanto riguarda le tecnologie *low-carbon* per la produzione di energia si è scelto di suddividere l'investimento quasi equamente tra le principali tecnologie. Queste scelte evidenziano un bilanciamento del rischio dell'investimento, essendo diretti ad investimenti in due diverse tipologie: investimenti per tecnologie già relativamente consolidate, che potranno essere implementate su vasta scala nel breve-medio termine (interventi per l'efficienza energetica) ed altri per tecnologie per le quali è ancora necessario uno sforzo di ricerca, orientati dunque al lungo periodo (energie rinnovabili, celle a combustibile, nucleare di IV generazione).

Energia dalle biomasse per le auto: produrre elettricità o biocombustibili?

I combustibili come il bioetanolo, utilizzato diffusamente in Brasile e negli USA, rappresentano una alternativa ai prodotti petroliferi per l'alimentazione dei veicoli, ma la crescita dei campi coltivati per produrre questi carburanti può competere con la produzione di alimenti (con ripercussioni sui prezzi dei beni agroalimentari) e, nei paesi del terzo mon-

do, ridurre le foreste per espandere le coltivazioni generando emissioni aggiuntive di gas serra.

Di qui la necessità di sfruttare razionalmente la biomassa, scegliendo coltivazioni e prodotti finali con il maggiore rendimento.

Alcuni ricercatori della Stanford University, del Carnegie Institution for Science e della NASA, coordinati da Elliott Campbell, hanno realizzato uno studio per confrontare vari utilizzi della biomassa verificando il metodo migliore per percorrere, con l'auto, più "miglia per acro" coltivato a biomassa. I ricercatori USA hanno eseguito un'analisi del ciclo di vita della bioelettricità e del bioetanolo, calcolando non solo l'energia producibile con ciascuna delle due alimentazioni, ma anche l'energia consumata per produrre i relativi veicoli e combustibili.

Lo studio, pubblicato sulla edizione on-line della rivista *Science*, ha concluso che è preferibile generare energia elettrica piuttosto che produrre bioetanolo. Hanno infatti stimato che l'energia elettrica prodotta da centrali alimentate da biomasse coltivate in un acro di terra (ad es. graminacee come il mais o il panico verga), se utilizzata per alimentare veicoli elettrici a batteria può far percorrere un tragitto fino all'80% superiore a quello ottenuto con etanolo, prodotto da piante coltivate nel medesimo acro di terra, e utilizzato nei motori a combustione interna.

Il motore a combustione interna è più inefficiente, hanno concluso i ricercatori californiani: anche con la migliore tecnologia per la produzione di etanolo e con veicoli ibridi (termico-elettrici) non si supera il gap con il propulsore elettrico. Per quanto riguarda poi le

emissioni di gas serra, un acro di terreno coltivato con piante a base di cellulosa, utilizzate come fonte per la generazione elettrica, evita l'immissione di 108 tonnellate di CO₂ rispetto all'etanolo prodotto da piante coltivate nel medesimo acro e utilizzato in un veicolo con motore a combustione interna. Oltretutto le centrali elettriche potranno presto utilizzare tecnologie di cattura dell'anidride carbonica emessa con la combustione, cattura evidentemente non possibile nei veicoli.

Naturalmente, perché il confronto sia corretto, bisogna anche tenere conto del consumo di acqua, delle emissioni di inquinanti convenzionali e dei costi economici che, riconoscono i ricercatori, non sono stati presi in considerazione nello studio realizzato. Sicuramente, per le emissioni di gas serra, la bioelettricità è risultata migliore del biocarburante.

Elliott Campbell era già noto per un precedente studio, in cui sosteneva che si poteva soddisfare fino al 6% del fabbisogno energetico USA con biocombustibili ottenuti da coltivazioni in terreni abbandonati o degradati.

Fonte:

<http://www.scienceonline.org/cgi/content/short/1168885v1>

http://www.ciw.edu/news/bioelectricity_promises_more_miles_acre_ethanol

Passi avanti nell'immagazzinamento chimico dell'idrogeno con ammonio borano

Un gruppo di ricercatori dei Los Alamos National Laboratory e dell'Università dell'Alabama all'interno del Chemical

Hydrogen Storage Center of Excellence del Department of Energy degli Stati Uniti ha annunciato la passi in avanti in uno dei metodi di immagazzinamento dell'idrogeno.

Una delle sfide da affrontare per utilizzare l'idrogeno, ad esempio come carburante per autotrazione, oltre a produrlo da una fonte economicamente ed ecologicamente sostenibile, riguarda il suo stoccaggio in sicurezza e una rapida reversibilità nel conservarlo senza occupare troppo spazio. L'idrogeno ha una bassa densità, che va quindi limitata o impone di porre il gas sotto pressione, necessità che rappresenta un pericolo per la sicurezza e che richiede di identificare opportuni materiali assorbenti, chiamati anche depositi chimici.

La ricerca americana si è focalizzata su una classe di materiali noti come idruri metallici, noti per la loro capacità d'immagazzinamento dell'idrogeno.

Un deposito chimico interessante per lo stoccaggio dell'idrogeno è costituito dalle molecole dell'ammonio borano (vedi anche *Energia, ambiente e innovazione* n. 1/2007, pagg. 49-50), un solido cristallino, stabile a temperatura ambiente, che inizia a rilasciare idrogeno se scaldato a 120-130 °C.

La sua percentuale in peso di idrogeno, superiore al 19%, lo rende uno dei materiali con la più alta capacità teorica d'immagazzinamento.

Uno dei vantaggi dell'ammonio borano e di altri depositi chimici per l'idrogeno è che l'idrogeno può essere facilmente rilasciato per essere utilizzato dalle celle a combustibile, ma hanno anche un grande limite: far assorbire loro l'idrogeno e farlo rilasciare ri-

chiede una rilevante quantità di energia.

Lavorando a questo problema, i ricercatori di Los Alamos e dell'Università dell'Alabama hanno scoperto che una particolare forma di combustibile deidrogenato, denominato poliborazilene, potrebbe essere riciclato con un modesto dispendio di energia. Tale circostanza potrebbe consentire di compiere rilevanti passi nell'utilizzazione dell'ammonio borano come possibile vettore energetico nel campo del trasporto.

Fonte: ScienceDaily
<http://www.sciencedaily.com/releases/2009/09/090901143317.htm>

USA e Cina nuovi competitor nel solare fotovoltaico

Una crescente competizione e la crisi economica globale minacciano produzione e mercato dell'energia solare fotovoltaica in Europa. Europei e giapponesi, finora dominatori del mercato, dovranno fronteggiare due grandi competitori: Cina e USA. Secondo uno studio della Frost & Sullivan, il crollo del prezzo del silicio policristallino e dei moduli fotovoltaici hanno infatti consolidato il ruolo della Cina quale destinazione preferita nella manifattura, erodendo le quote di mercato dei produttori europei e giapponesi.

Anche gli USA avranno sempre più un ruolo di rilievo per quanto riguarda la capacità energetica installata, data la loro politica volta a garantire una maggiore indipendenza energetica.

Il futuro del mercato dell'energia solare fotovoltaica in Europa non è comunque in discussione: oltre alla Germania, che

ha rappresentato negli ultimi anni la destinazione manifatturiera dominante nel mercato solare globale, ci sono altri mercati emergenti.

Ci si attende che l'Europa riesca a ritenere una quota sostanziale del mercato per avere sviluppato una industria solare basata sulla ricerca, una forte base manifatturiera e un supporto governativo.

Crisi economica e ridotto sostegno governativo potranno però sfolire le fila dei produttori lasciando sul campo solo quelli che offrono i prodotti migliori a prezzi minori. Le piccole aziende produttrici europee saranno le vittime della globalizzazione dell'industria solare, chiudendo o finendo acquisite dalle aziende più grandi.

Per quel che riguarda i mercati nazionali, il mercato tedesco continuerà ad essere il più importante in Europa, con discrete prospettive per i progetti di natura commerciale. Fra essi, la costruzione di una grande centrale solare da 63 MW di capacità. La Francia ha privilegiato le tecnologie solari integrate nell'edilizia, applicazioni cui vengono riconosciute tariffe più elevate, fino a € 0,55/kWh, rispetto ad altri tipi di installazioni. Con l'implementazione di un nuovo modello tariffario nella primavera del 2007 (€ 0,42 per kWh), la Spagna è diventata attivissima nel mercato solare globale.

L'Italia e la Grecia hanno il potenziale per diventare mercati emergenti di successo, considerate le tariffe molto attraenti, ma la burocrazia costituisce un continuo ostacolo alla crescita. La Repubblica Ceca ha lanciato in forze l'industria del solare nel 2007 e potrebbe diventare uno dei Paesi con le migliori performance di crescita nel 2009.

Rapporto della Piattaforma Tecnologica Europea per l'Energia Solare Termica

Circa 100 esperti della Piattaforma Tecnologica Europea per l'Energia Solare Termica, struttura che vede la collaborazione della Federazione Europea dell'Industria del Solare Termico e dell'Agenzia Europea dei Centri di Ricerca per le Energie Rinnovabili (EUREX Agency), hanno stilato un rapporto in cui sono descritte le tendenze attuali, le prospettive tecnologiche e la visione futura per il 2030. Viene quindi

fornito il tracciato operativo per il raggiungimento di tale prospettiva. Sono infine descritte l'agenda strategica di ricerca e l'infrastruttura di ricerca necessarie per il raggiungimento degli obiettivi. Di seguito una sintesi dei punti salienti del rapporto.

Stato attuale - Il fabbisogno di riscaldamento e raffreddamento rappresenta il 49% dell'intero fabbisogno energetico in Europa e si riferisce per la maggior parte a temperature medio-basse (fino a 250 °C). Le tecnologie per una copertura sempre maggiore di tale fabbisogno con le applicazioni del solare termico sono disponibili o possono essere sviluppate. L'energia solare termica è già adesso una tecnologia avanzata per quanto riguarda la preparazione di acqua calda sanitaria ed il riscaldamento degli ambienti, con un'elevata percentuale di diffusione in alcuni Paesi.

Visione 2030 - Il solare termico può coprire a medio termine (2030) il 20% dell'intero fabbisogno termico e a lungo termine (2050) il 50%. Tale fabbisogno dovrebbe però essere preventivamente ridotto del 40% (dai circa 6500 TWh del 2004 ai circa 4000 nel 2030) mediante misure per il risparmio energetico. Per raggiungere quegli obiettivi è necessario sviluppare e mettere in atto nuove applicazioni. Le principali sono la costruzione di nuovi edifici con sistemi solari integrati, la ristrutturazione di edifici esistenti, le applicazioni industriali fino a 250 °C, l'impiego di calore solare per il riscaldamento e il raffreddamento urbani.

Per raggiungere questo obiettivo a lungo termine occorrerà sia lo sviluppo delle tecnologie attuali (business as usual), sia la penetrazione avanzata

di mercato di nuove tecnologie e settori applicativi, sia nuove applicazioni che richiedono ricerca e sviluppo per poter essere diffuse (come l'accumulo termico compatto ed i collettori ad alta temperatura).

Road map - Il tracciato operativo mostra la ricerca, lo sviluppo e le dimostrazioni che sono necessari per lo sviluppo dei principali campi di applicazione: edifici residenziali e commerciali, calore per processi industriali, dissalazione, trattamento dell'acqua e riscaldamento urbano. Oltre agli sviluppi tecnologici sono descritte anche le questioni di mercato.

L'agenda strategica di ricerca - Per raggiungere l'obiettivo di fornire il 50% del fabbisogno termico, è necessario sviluppare una nuova generazione di tecnologie solari termiche per nuove aree di applicazione. Le principali nuove applicazioni sono: sistemi solari combinati che fanno uso di accumulo stagionale compatto, collettori ad alta temperatura per applicazioni industriali e raffreddamento solare.

Le principali sfide per la ricerca sono:

- lo sviluppo di sistemi compatti di accumulo di calore efficiente a lungo termine. La tecnologia di accumulo dovrebbe rendere possibile l'accumulo di calore in estate per l'uso invernale in modo efficiente dal punto di vista dei costi;
- lo sviluppo di nuovi materiali per sistemi solari. Sono necessari nuovi materiali perché i materiali attualmente impiegati hanno prestazioni tecniche limitate e potrebbero teoricamente essere sostituiti con varianti più economiche;
- la ricerca di base finalizzata

dall'Unione Europea

Rapporto della Piattaforma Tecnologica Europea per l'Energia Solare Termica

Banca dati su produzione e disponibilità di biomassa in Europa: il progetto AQUATERRE

al miglioramento del raffreddamento solare, dei collettori solari ad alta temperatura e della dissalazione solare.

Per ogni campo di applicazione si descrive in dettaglio lo sviluppo industriale e la ricerca di base necessari.

L'infrastruttura di ricerca - L'infrastruttura di ricerca necessaria per realizzare l'agenda di ricerca è data dalla collaborazione strutturata di istituti di ricerca e industria.

Essa include:

- un Network RD&D (Ricerca, Sviluppo e Dimostrazione);
- un Laboratorio Europeo Associato dedicato al raffreddamento solare e al calore di processo;
- Centri Regionali per lo Sviluppo del Raffreddamento Solare e del Calore di Processo per dimostrazione, trasferimento tecnologico e formazione.

Azioni future - Per raggiungere gli obiettivi è necessaria una serie di attività, che vanno dalla ricerca di base alla promozione, perché il solare termico include sia applicazioni efficienti dal punto di vista dei costi (come gli scaldacqua solari in regioni soleggiate), sia tecnologie completamente nuove (come l'accumulo termochimico compatto). Lo sviluppo dei mercati attuali ne rappresenta la base. Con tali tecnologie esistenti è possibile sviluppare nuove aree di applicazione, come il calore industriale e le abitazioni multifamiliari. Il miglioramento delle tecnologie può aprire ulteriormente questi mercati ed espanderli al raffreddamento solare, alla dissalazione solare e alle applicazioni ad alta temperatura. La ricerca di base dovrebbe condurre ad una nuova generazione di tecnologie solari come l'accumulo stagio-

nale di calore termico ed una nuova generazione di sistemi solari con migliorato rapporto prezzo/prestazione.

Fonte: European Solar Thermal Technology Platform (ESTTP), www.esttp.org

Banca dati su produzione e disponibilità di biomassa in Europa: il progetto AQUATERRE

Dato il crescente interesse per la produzione di biomasse per usi energetici e industriali, la Commissione Europea, nell'ambito del Settimo Programma Quadro di Ricerca e sviluppo Tecnologico (2007-2013), ha finanziato il progetto AQUATERRE per realizzare EUBIDA (European Biomass Database), una banca dati sulle biomasse dell'Unione Europea.

L'obiettivo principale è quello di contribuire a colmare la carenza di informazioni su produzione e disponibilità di risorse di biomassa in molti paesi europei, uno dei maggiori problemi per la loro raccolta e utilizzazione.

Il progetto, in corso da circa un anno, si concluderà nel 2011 (www.aquaterre.info). Il costo complessivo ammonta a circa 862 mila euro, per il 90% coperto da stanziamenti della Commissione Europea.

Coordinato dall'Università austriaca BOKU, il progetto vede la presenza di partner provenienti da Italia, Belgio, Bulgaria, Danimarca, Finlandia, Francia, Germania, Lituania, Paesi Bassi, Regno Unito, Romania, Spagna, Svezia e da Stati europei non membri della UE come Islanda e Ucraina.

Al progetto partecipa anche l'ENEA (Gruppo Sistemi Vegetali per Prodotti Industriali - Centro della Casaccia) con un investimento di 37 mila euro, per l'89% coperto dalla Commissione Europea; coinvolti anche Enti di ricerca pubblici e privati, università e associazioni di categoria.

Sul piano delle metodologie e strumenti di analisi saranno utilizzati l'LCA (*Life Cycle Assessment*) e il GIS (*Geographical Information System*). L'LCA permette di identificare le migliori opzioni per la produzione, raccolta, trasporto, stoccaggio e conversione delle biomasse a seconda delle differenti aree territoriali considerate. Il GIS rappresenta geograficamente le informazioni e i dati sulla disponibilità delle risorse di biomassa, correlandole ai principali aspetti geografici e socio-economici di ogni specifico paese.

In ENEA una particolare attenzione è stata rivolta alla realizzazione di un inventario (*Matrix of biomass inventory*) che raccoglie i dati sulla disponibilità di biomasse in 28 paesi europei oggetto dell'indagine comprendenti, oltre ai 16 prima elencati, anche Estonia, Grecia, Irlanda, Lussemburgo, Malta, Norvegia, Portogallo, Repubblica Ceca, Slovenia, Slovacchia, Svizzera e Ungheria.

L'inventario costituirà la base per la realizzazione del database EUBIDA. Una volta ultimata la raccolta dati da parte di tutti i partner, l'ENEA svilupperà le funzioni di rappresentazione cartografica ed analisi proprie di un WebGIS e il database sarà accessibile al pubblico interessato.

Ulteriori informazioni possono essere richieste a nicola.colonna@enea.it (Chiara Clementel)

NUCLEARE DA FISSIONE

STATO E PROSPETTIVE

A cura di: P. Agostini, F. De Rosa, G. Gualdrini, A. Lantieri, A. Luce, S. Migliori, S. Monti, F. Padovani, R. Tinti, F. Troiani, E. Vettriano



La necessità di ridurre sia la dipendenza dalle fonti energetiche estere che i rischi di approvvigionamento legati agli aspetti geo-politici del mercato del petrolio e del gas, nonché di tener conto degli obiettivi europei del "20-20-20", impongono un cambiamento nel mix energetico nazionale. La fonte nucleare possiede i requisiti per fornire risposte efficaci a tale problematica.

Le recenti iniziative del Governo e l'ampio dibattito pubblico in tema di energia nucleare hanno creato le premesse per il rientro del nostro Paese in una nuova filiera produttiva del nucleare da fissione.

CENEA ha avuto sin dai primissimi del nucleare in Italia un ruolo preminente nelle attività di ricerca e sviluppo e, grazie alla partecipazione a programmi internazionali, ha mantenuto nel tempo qualificate competenze e infrastrutture che permettono oggi di rendere possibile il ritorno dell'opzione nucleare in Italia.

Questo volume analizza lo stato dell'arte e le prospettive di sviluppo del nucleare da fissione per la produzione di energia nel mondo e in Italia. Esso considera tutti gli aspetti, inclusi quelli relativi al ciclo del combustibile, al trattamento dei rifiuti e all'individuazione e la realizzazione di siti di smaltimento dei rifiuti radioattivi.

Rivolto a quanti operano nel settore, svolgono attività di orientamento e partecipano ai processi decisionali, il volume offre spunti ed elementi di riflessione anche alla nascente generazione di ricercatori e ingegneri, contribuendo in tal modo a rinnovare l'interesse verso un settore in cui è indispensabile investire nelle risorse umane necessarie attraverso uno sviluppo capillare di competenze tecniche e scientifiche.

Euro 15,00

ENEA

Accordo di collaborazione scientifico-tecnologica Italia-Israele

Sono stati firmati il 12 ottobre scorso, alla Farnesina, tre Memorandum of Understanding per l'istituzione di altrettanti Laboratori Congiunti fra i maggiori Centri ed Agenzie di ricerca italiani e le più prestigiose università israeliane, nel quadro dell'Accordo di Collaborazione Scientifico-Tecnologica fra Italia e Israele, la cui dotazione finanziaria è stata triplicata con una delibera parlamentare del giugno scorso, passando da 1

milione a 3 milioni di euro. I tre Laboratori Congiunti verranno costituiti fra ENEA e Università Ben Gurion del Negev su energie solari e rinnovabili; fra LENS (Laboratorio Europeo di Spettroscopia non lineare) di Firenze ed Istituto Weizmann sulla fisica degli atomi freddi, il cui ambito di applicazione è, fra l'altro, quello degli orologi atomici; fra Università di Tel Aviv e CNR sulle neuroscienze, nell'aspettativa di importanti progressi nella cura di malattie come l'Alzheimer e il Parkinson.

I Laboratori consentiranno a circa quindici ricercatori italiani di lavorare allo sviluppo di progetti congiunti in uno dei Paesi leader nel campo della Ricerca e Sviluppo e dell'alta tecnologia, alimentando la presenza di una comunità scientifica italiana presso università che vantano indiscusso prestigio al livello mondiale, come testimoniato, da ultimo, dal conferimento del Premio Nobel per la chimica ad una ricercatrice israeliana dell'Istituto Weizmann, Ada Yonath.

In tale contesto, l'Accordo con Israele, corroborato dall'apporto di risorse aggiuntive, ha consentito di approvare 17 nuovi progetti congiunti e di mettere in cantiere il Biennio italo-israeliano della Scienza e della Tecnologia 2010-2011, di cui si erano fatti promotori i Presidenti Peres e Napolitano nel corso della visita di Stato da questi svolta in Israele nell'ottobre dello scorso anno.

Un risultato significativo che fa guadagnare all'Italia la posizione di primo partner scientifico di Israele fra i Paesi eu-

ropei, e di secondo in assoluto dopo gli Stati Uniti.

-20% di emissioni serra entro il 2020 per i Comuni della Provincia di Roma

Ridurre di oltre il 20% le emissioni di gas serra, promuovere l'uso delle fonti rinnovabili, favorire politiche di risparmio energetico e sostenere il miglioramento dell'efficienza energetica. Questo prevede il Patto dei Sindaci, iniziativa promossa dall'Unione Europea al fine di coinvolgere le amministrazioni locali e i cittadini nella lotta contro il riscaldamento del pianeta.

Se l'iniziativa è diretta principalmente ai Comuni, anche le amministrazioni intermedie sono chiamate a giocare un ruolo. È quel che ha deciso di fare la Provincia di Roma. Il Protocollo di intesa, sottoscritto dal Presidente della Provincia di Roma Nicola Zingaretti e dal direttore generale aggiunto della Commissione Europea Fabrizio Barbaso, prevede che la Provincia agisca da struttura di supporto per promuovere l'adesione al Patto dei Sindaci nei 121 Comuni.

La strategia delineata prevede:

- la fase di analisi della situazione dei singoli Comuni dal punto di vista dell'efficienza energetica;
- la predisposizione di un Piano d'Azione che comprenda interventi di risanamento ed efficientamento energetico sull'edilizia pubblica;
- la fase attuativa, attraverso

dall'Italia

Accordo di collaborazione scientifico-tecnologica Italia-Israele

-20% di emissioni serra entro il 2020 per i Comuni della Provincia di Roma

Geotermia per usi termici: sperimentata nelle Marche sonda innovativa

Costituito ACCREDIA, ente unico di accreditamento nazionale

Decreto governativo per raddoppiare la geotermia

la realizzazione di investimenti nei singoli Comuni. I Comuni potranno contare sul supporto dell'amministrazione provinciale per la predisposizione di tutti gli atti tecnici amministrativi necessari e per i rapporti con la BEI, che, nello schema comunitario è chiamata a finanziare gli interventi individuati nei piani di sostenibilità energetica.

Geotermia per usi termici: sperimentata nelle Marche sonda innovativa

Un'applicazione delle risorse geotermiche che sta conoscendo negli ultimi anni una rapida diffusione in Europa, ed anche in Italia, è quella delle cosiddette pompe di calore geotermiche, utilizzate per la climatizzazione estiva ed invernale di edifici, per la produzione di acqua calda sanitaria e per la produzione di "caldo/freddo" per cicli produttivi industriali ed alimentari.

I sistemi sono costituiti da tre componenti: un sistema di scambio geotermico (terreno, acqua sotterranea o superficiale), una pompa di calore e un sistema di riscaldamento/refrigerazione collocato all'interno di un edificio. Le pompe di calore geotermiche funzionano come un refrigeratore reversibile che rimuove calore da un luogo per depositarlo in un altro, ad es. dal terreno verso l'edificio in periodo invernale (riscaldamento) e in direzione opposta in periodo estivo (raffrescamento). Per Energy Resources, azienda nata ad Ancona che opera

nel campo delle rinnovabili, uno dei principali freni al pieno sviluppo della geotermia per uso residenziale in Italia è il costo legato alla perforazione del terreno e all'installazione delle sonde, quasi la metà del costo di un impianto geotermico. Da qui l'idea della sonda geotermica a spirale, che consente di ridurre la profondità di perforazione a 25 metri rispetto ai circa 100 dei sistemi tradizionali, mantenendo immutata la superficie di scambio del calore. La sonda è frutto del progetto di ricerca "Sistemi avanzati di produzione per geotermia", cofinanziato dalla Regione Marche e condotto da Università Politecnica delle Marche, Università di Urbino, Università di Camerino e laboratorio di ricerca Eta.

La sonda ha notevoli potenzialità in terreni con falda superficiale, circolazione di fluidi e continua rigenerazione termica del sottosuolo, come avviene nelle pianure alluvionali. Inoltre, è necessario che l'impianto funzioni a pieno regime sia in estate che in inverno per evitare che il terreno si raffreddi dopo qualche anno. Sarebbe auspicabile, secondo i ricercatori delle Università e i progettisti dell'azienda marchigiana, realizzare una cartografia tematica del potenziale geotermico in regioni come le Marche, che ha in programma la costruzione di nuovi impianti con pompe di calore geotermico. Disponendo di carte del sottosuolo della predisposizione naturale allo scambio termico, si potrebbero progettare piani energetici ad hoc su scala provinciale e regionale.

La sonda è stata applicata con

successo, tra l'altro, nella sede della casa cinematografica Rainbow a Loreto e nell'eco-resort Ca' Virginia a San Giorgio di Montecalvo in Foglia (Pesaro) e promette di essere conveniente anche nelle normali abitazioni.

In un impianto domestico di medie dimensioni, grazie alla detrazione fiscale del 55 per cento e ad altri incentivi disponibili, sarebbe possibile recuperare l'investimento iniziale in 1-3 anni, e il risparmio annuo ammonterebbe a circa 1.500-2.000 euro rispetto al sistema tradizionale.

Fonte: Galileo net e www.geologi.info

Costituito ACCREDIA, ente unico di accreditamento nazionale

ACCREDIA, associazione senza scopo di lucro, il 22 dicembre 2009 è stata riconosciuta dallo Stato come Ente unico nazionale di accreditamento. Con la costituzione di ACCREDIA l'Italia si è adeguata al Regolamento del Parlamento Europeo e del Consiglio n. 765, del 9 luglio 2008, che dal 1° gennaio 2010 sarà applicabile per l'accreditamento e la vigilanza del mercato in tutti i paesi UE.

Ogni Stato europeo ha il suo Ente di accreditamento. L'Ente nazionale, sorto dalla fusione di SINAL e SINCERT, è responsabile per l'accreditamento in conformità agli standard internazionali della serie ISO 17000 e alle guide e alla serie armonizzata delle norme europee EN 45000.

ACCREDIA valuta la competenza tecnica e l'idoneità professionale degli operatori di valutazione della conformità (Laboratori e Organismi), accertandone la conformità a regole obbligatorie e norme volontarie, per assicurare il valore e la credibilità delle certificazioni.

Le attività dell'Ente si articolano in quattro Dipartimenti:

- organismi di certificazione e ispezione;
- laboratori di prova;
- laboratori di prova per la sicurezza degli alimenti;
- laboratori di taratura.

L'accreditamento è un servizio svolto nell'interesse pubblico perché gli utenti business e i consumatori finali, ma anche la Pubblica Amministrazione quando ricorre a fornitori esterni, possano fidarsi, fino all'ultimo anello della catena produttiva e distributiva, della qualità e sicurezza dei beni e dei servizi che circolano su un mercato sempre più globalizzato.

La fiducia reciproca tra il produttore e l'acquirente di un bene, tra il fornitore e l'utente di un servizio è una conquista per il funzionamento efficiente del mercato - o meglio dei mercati contemporanei, sul piano sia pubblico che privato, in ambito nazionale come internazionale.

L'accreditamento garantisce che i rapporti di prova e di ispezione e le certificazioni (di sistema, prodotto e personale) che riportano il marchio ACCREDIA siano rilasciate nel rispetto dei più stringenti requisiti internazionali in materia di valutazione della conformità, e dietro una costante e rigorosa azione di

sorveglianza sul comportamento degli operatori responsabili (Laboratori e Organismi).

L'ENEA è uno dei soci promotori di ACCREDIA, assieme ad altri enti di ricerca (CNR, ISPRA, Istituto Superiore di Sanità).

Fonte: www.accredia.it

Decreto governativo per raddoppiare la geotermia

Regole semplificate per valorizzare l'uso del calore della terra a fini energetici, una fonte preziosa di cui è ricco il sottosuolo italiano, non solo in Toscana, ma in numerose regioni italiane, tra cui Lombardia, Veneto, Emilia Romagna, Lazio, Campania, Calabria e Sicilia. Le detta il decreto legislativo "Riassetto della normativa in materia di ricerca e coltivazione delle risorse geotermiche" (attuativo della legge 99/2009) approvato dal Consiglio dei Ministri, che accorcia l'iter burocratico per ottenere le autorizzazioni in questo settore, allo scopo di rendere più facile l'attuazione di progetti per lo sfruttamento della geotermia per la produzione di energia elettrica e termica.

Il provvedimento contemporaneamente le esigenze dello sviluppo economico con quelle della tutela ambientale, prevedendo il coinvolgimento del Ministero dell'Ambiente nel rilascio delle autorizzazioni finali necessarie per espletare le attività di ricerca e di coltivazione delle risorse geotermiche.

Con tale provvedimento questa energia potrà essere utilizzata maggiormente non solo per la produzione di elettricità, ma anche come fonte diretta di calore per il riscaldamento: la geotermia, fonte rinnovabile seconda solo all'energia idroelettrica, ha per il Ministero dello Sviluppo Economico un grande potenziale di sviluppo e consentirà di raggiungere più facilmente l'obiettivo del 25 per cento di energia prodotta da fonti pulite.

Attualmente con la geotermia si producono 5 miliardi di kWh l'anno, sufficienti ai bisogni di energia elettrica di oltre un milione e mezzo famiglie, corrispondenti a circa 5 milioni di persone. Questa risorsa rappresenta ora il 10% delle fonti rinnovabili italiane e si prevede che possa così raddoppiare, contribuendo a ridurre la dipendenza energetica nazionale dall'estero e a contenere le emissioni di CO₂. Di pari passo si potrà sviluppare la filiera italiana anche in termini di componentistica e ricerca per tecnologie di futura applicazione.

Fonte: www.governo.it

Il Commissario ENEA alla Conferenza Internazionale di Parigi sul nucleare civile

L'ing. Giovanni Lelli, Commissario dell'ENEA, è intervenuto il 9 marzo alla tavola rotonda "Le prospettive dell'energia nucleare a medio e lungo termine", tenutasi a Parigi nell'ambito della Conférence Internationale sur l'accès au nucléaire civil. La Conferenza, organizzata dal Governo francese, ha avuto luogo presso la sede dell'OCSE. La tavola rotonda è stata mo-

derata dal prof. Bernard Bigot, Amministratore Generale della Commissione francese per le energie rinnovabili e l'energia atomica (CEA), e vi hanno partecipato anche i massimi rappresentanti dell'istituto francese per la sicurezza nucleare e per la radioprotezione del Department of Energy (DOE) degli Stati Uniti, delle Agenzie del Giappone e della Corea per l'energia atomica e del Generation IV International Forum.

L'ing. Lelli ha dichiarato: "L'Italia si avvia a riprendere l'opzione nucleare e l'ENEA costituisce il soggetto pubblico in grado di fornire supporto alla nascente Agenzia per la Sicurezza Nucleare ed al sistema delle imprese di questo settore energetico, mettendo a disposizione le sue competenze ed i suoi laboratori per qualificare componenti e sistemi con un processo di validazione che va dalla fase di prefattibilità alla fase di esercizio dell'impianto".

"La partecipazione dell'ENEA ai più rilevanti accordi e programmi internazionali di ricerca e sviluppo per la fissione e per la fusione nucleare - ha proseguito l'ing. Lelli - ha consentito un continuo aggiornamento e l'acquisizione delle conoscenze più avanzate per un ulteriore sviluppo delle tecnologie nucleari". L'evento si era aperto il giorno precedente alla presenza del Presidente francese Nicolas Sarkozy, del Presidente della Commissione Europea José Manuel Barroso, del Direttore Generale dell'AIEA Yukiya Amano e del Segretario Generale dell'OCSE Angel Gurría.

Software di mappatura ultrasonora per componenti industriali e aeronautici

L'ENEA ha sviluppato, per le proprie attività di ricerca sui nuovi materiali e componenti utilizzati in campo industriale e civile, un software di acquisizione ed elaborazione dedicato ai controlli non distruttivi. Questi controlli rappresentano, tra le metodologie di indagine disponibili, gli esami sui materiali e sui componenti costituenti un qualsiasi manufatto eseguiti per garantire, in termini di affidabilità, sia strutturale che prestazionale, l'efficace comportamento del componente stesso.

Le prove utilizzano i metodi applicati negli esami clinici, quali radiografia ed ultrasuoni e diversi altri, più specifici, in grado di garantire l'assenza di difetti che ne compromettano il funzionamento, e allo stesso tempo non "invadono" o distruggono l'oggetto esaminato. Il software gestisce, tramite computer e schede elettroniche, dei sistemi motorizzati ed acquisisce i segnali provenienti dai sensori relativi al metodo utilizzato. I dati ottenuti sono elaborati per ottenere delle mappe in bianco e nero e falsi colori che evidenziano i difetti presenti nel materiale.

Tutti i metodi si avvalgono di sistemi automatici che aiutano l'esperto a valutare la salute del componente in modo veloce e ripetibile sollevandolo da un compito certo volte lungo e stancante. Il software

dall'ENEA

Il Commissario ENEA alla Conferenza Internazionale di Parigi sul nucleare civile

Software di mappatura ultrasonora per componenti industriali e aeronautici

Vito Pignatelli eletto Presidente dell'Associazione Italiana Biomasse

Seminario al Centro Ricerche Bologna sul bruciamento degli attinidi minori

utilizzato, C_Scan, è stato sviluppato per numerosi progetti italiani ed europei tra cui il progetto del reattore a fusione nucleare ITER.

L'esame ultrasonoro è un metodo molto efficace se abbinato ad un sistema d'ispezione motorizzato. Gli ultrasuoni sono onde meccaniche smorzate di frequenza maggiore di 20 kHz e sono generate da una sonda piezo-elettrica.

Possono essere analizzate sia superfici piane che oggetti tridimensionali.

Quattro sistemi automatici (basati su ultrasuoni, *eddy current*, esami visivi e raggi X) sono stati utilizzati presso i Centri Ricerche ENEA di Casaccia e Brindisi per il controllo di componenti ferroviari, aeronautici e del divertore del reattore ITER. Altri sistemi automatici sono installati presso lo stabilimento Agusta di Anagni (Frosinone) per il controllo del rotore secondario dell'elicottero EH109 e per il controllo di mozzo e pale del rotore principale dell'elicottero EH101.

(Angelo Tati)

Vito Pignatelli eletto Presidente dell'Associazione Italiana Biomasse

Vito Pignatelli, responsabile in ENEA del Gruppo Sistemi vegetali per Prodotti Industriali, è il nuovo Presidente dell'ITABIA (Italian Biomass Association). ITABIA è un'Associazione indipendente e senza fini di lucro fondata nel 1985 per promuovere e diffondere la produzione, il recupero, il riciclo, la trasformazione, l'utilizzo produttivo delle biomas-

se a fini energetici, industriali e di salvaguardia ambientale. Il Presidente uscente Giuseppe Caserta è stato per molti anni responsabile in ENEA per le attività relative alla valorizzazione energetica delle biomasse; il neo-presidente Vito Pignatelli ha partecipato fin dai primi anni alla vita della Associazione Italiana per le Biomasse, contribuendo con la propria esperienza a diversi progetti, studi e iniziative a carattere dimostrativo nel settore specifico della produzione e utilizzazione di biocombustibili e biocarburanti.

La nomina di Pignatelli a Presidente dell'ITABIA contribuirà a rafforzare la lunga e proficua collaborazione tra l'Associazione e l'ENEA, con l'obiettivo comune di favorire la crescita e la diffusione della bioenergia nel nostro Paese.

Fonte: www.itabia.it

Seminario al Centro Ricerche Bologna sul bruciamento degli attinidi minori

La chiusura del ciclo è requisito fondamentale per la sostenibilità dell'energia nucleare. I reattori sottocritici *Accelerator Driven System* (ADS) avranno il compito di trasmutare estensivamente gli attinidi minori, la cui radiotossicità è particolarmente elevata e di lunga durata, accumulati dall'attuale e futuro parco nucleare (in attesa della quarta generazione), che non possano essere diversamente trattati.

Nell'ambito del 6° Programma Quadro dell'Unione Europea, è stata effettuata la progetta-

zione di massima dell'ADS EFIT (*European Facility for Industrial Transmutation*), cui è richiesto di bruciare al meglio gli attinidi minori e di produrre nel contempo energia.

Le attività relative hanno portato alla formulazione del cosiddetto "Concetto 42-0", che ha trovato una certa notorietà tra gli addetti ai lavori, anche oltre l'ambito europeo. Come è stato spiegato nel corso del seminario, tenutosi presso il Centro Ricerche Bologna il 12 novembre scorso, un nocciolo ADS realizzato secondo tale concetto è in grado di fissionare esclusivamente gli attinidi minori, lasciando inalterato nel combustibile il contenuto di plutonio, che viene pertanto a svolgere un ruolo simile ad un catalizzatore. In più è stato dimostrato come i criteri di ottimizzazione della funzione "bruciatore di attinidi minori" siano coincidenti con quelli orientati alla economicità della produzione di energia associata. Uno specifico grafico "A-BAQUS", elaborato nell'occasione, è stato in grado di raccogliere i principali parametri di un reattore ADS, mostrando visivamente le loro mutue relazioni funzionali.

Nel corso del seminario sono mostrati e discussi l'origine e i fondamenti del "Concetto 42-0", il grafico "A-BAQUS", alcuni punti salienti della progettazione del nocciolo EFIT e le sue prestazioni.

Carlo Artioli

(carlo.artioli@enea.it)

Incontro internazionale ISO presso la sede di Federparchi

Il 5 e il 6 ottobre scorso, presso la sede di Federparchi-Europarc Italia, ha avuto luogo l'incontro del gruppo internazionale che sta seguendo lo sviluppo di uno standard per la qualità dei servizi turistici erogati dagli enti gestori delle aree protette.

L'ISO (l'Organizzazione Internazionale di Standardizzazione) si occupa di definire i requisiti di qualità di servizi o prodotti in maniera con-

cordata tra esperti provenienti da ogni nazione partecipante.

L'UNI (Ente Nazionale di Unificazione) è il soggetto che rappresenta l'ISO in Italia.

L'ISO ha istituito un gruppo tecnico (TC/228) sul turismo. Al suo interno si sono costituiti gruppi di lavoro con l'obiettivo di stabilire i criteri di qualità per una serie di servizi turistici.

L'Italia partecipa con la presenza di un esperto, la dr.ssa Lucia Naviglio dell'ENEA.

L'obiettivo dello standard in elaborazione da parte del WG6 è quello di fornire indicazioni agli enti gestori delle aree protette al fine di garantire, nell'erogazione di servizi ai visitatori dell'area protetta, un livello di qualità adeguata alle funzioni e al ruolo di un ente parco.

Si è operato in modo tale che il concetto di qualità includa non solo la soddisfazione dell'utente, la sua sicurezza e la salute, ma anche i principi di sostenibilità ambientale (ancor più fondamentale all'interno di aree protette) e sociale (ad esempio per quel che concerne l'accessibilità globale).

Al gruppo di lavoro erano presenti esperti di turismo e di normazione di Spagna, Portogallo, Argentina e Kenia, oltre agli italiani. I francesi hanno contribuito per via informatica.

L'Italia sta svolgendo un ruolo molto attivo all'interno dei gruppi di lavoro del TC/228 dell'ISO e si appresta ad ospi-

tare, nel 2011, l'incontro di tutti i rappresentanti mondiali dell'ISO, oltre a gestire la segreteria tecnica di nuovi gruppi di lavoro, tra cui uno sui servizi turistici connessi con la fruizione dei beni culturali.

La sede di Federparchi era quella ideale per ospitare il gruppo "aree protette", sia per la propria rappresentatività, sia quale portavoce della grande esperienza accumulata dai parchi nazionali e regionali italiani nella gestione delle problematiche turistiche e nella gestione dei visitatori.

(Lucia Naviglio)

Eventi

Incontro internazionale ISO presso la sede di Federparchi

Legno ed energia. Come produrre energie con le biomasse legnose

Antonio Brunori
Edagricole, Edizioni Agricole
de Il Sole 24 ore, 2008,
pagine 148, euro 15,00

In Italia ci sono oltre 10 milioni di ettari coperti da boschi, cui occorre aggiungere coltivazioni arboree e siepi presenti nelle pianure, spesso non censite, che tuttavia costituiscono biomassa utilizzata a livello domestico.

Si può affermare quindi che la risorsa in Italia è tutt'altro che limitata, la superficie forestale è raddoppiata negli ultimi 50 anni, ma non è sfruttata adeguatamente e molta parte del potenziale "combustibile" resta a marcire in sottoboschi troppo fitti e senza manutenzione.

Attualmente la coltivazione del legno sta suscitando l'interesse degli amministratori locali che ne comprendono l'importanza per il mantenimento e lo sviluppo delle economie montane e rurali. Nel testo l'autore parte dai concetti botanici che definiscono il legno e la sua composizione chimica, per poi descrivere come questa sostanza "costruita" attraverso la fotosintesi sprigiona energia attraverso il processo di combustione che ne distrugge i legami chimici.

L'energia chimica si trasforma in energia luminosa e termica. In modo semplice e chiaro anche attraverso tabelle esplicative, vengono spiegati concetti come Potere Calorifico, l'umidità e le unità di misura commerciali del legno. Il lettore trova la classificazione delle principali tipologie arboree in rapporto al rendimento calorico e le più comuni forme di legno per l'energia, come la legna in pezzi, il cippato, il pellet e le briquette.

Di particolare interesse è la descrizione delle diverse tipologie impiantistiche comprese il teleriscaldamento (con l'analisi dei punti di forza e le criticità). Il legno ultimamente trova utilizzo non

solo come fonte termica ma come fonte energetica per la produzione di energia elettrica in quel processo che viene definito cogenerazione e di cui vengono esaminati i vantaggi e i limiti.

Nell'ultimo capitolo l'autore descrive alcune tipologie abitative individuando il tipo di caldaia e di combustibile più appropriato.

Questo testo scorrevole e chiaro permette a qualsiasi lettore di conoscere più da vicino quelle che vengono definite "biomasse", che per millenni hanno rappresentato l'unica fonte di energia termica e luminosa, mentre attualmente possono rappresentare una risorsa rinnovabile e alternativa ai combustibili fossili.

Riciclo dei rifiuti

Lucia Rigamonti,
Mario Grosso
Editore Dario Flaccovio, 2009,
pagine 288, euro 34,00

Quale destino attende carta, plastica, vetro, acciaio, alluminio, legno, in vista della loro fuoriuscita dal mondo dei rifiuti e del loro rientro nel circolo dei materiali di consumo? Fino a che punto spingere le raccolte? Quali sono i materiali che è più conveniente riciclare? Quali le priorità? Come si collocano tali operazioni nei confronti del recupero di energia e più in generale nell'ambito di una gestione sostenibile dei rifiuti?

Lecture

Legno ed energia.
Come produrre energie
con le biomasse legnose

Riciclo dei rifiuti

Istruzioni per
una "fabbrica intelligente"

Il gas naturale liquefatto
per l'Europa

Questi sono solo alcuni degli interrogativi a cui il volume, frutto di una serie di ricerche svolte presso la Sezione Ambientale del Dipartimento IIAR del Politecnico di Milano, si propone di rispondere, con un taglio molto tecnico e utilizzando l'approccio dell'analisi del ciclo di vita (LCA) per le valutazioni comparative.

Il volume risulta così ricco di informazioni sulle tecnologie di riciclo dei materiali da imballaggio, sulle emissioni nell'ambiente, i consumi energetici e di materie prime, ideale per tutti coloro che decidono di avventurarsi nel "mondo del riciclo" con uno sguardo attento e critico.

Istruzioni per una "fabbrica intelligente"

Proposte progettuali per l'uso efficiente dell'energia e la valorizzazione delle fonti energetiche rinnovabili nelle aree industriali

Camera di Commercio e Confindustria di Padova
Opuscolo, 28 pagine

L'opuscolo è strutturato in schede analitiche per ogni diverso tema (dai pannelli solari alle pareti attive, dalle schermature solari alle facciate ventilate, e ancora motori ad alta efficienza, caldaie a biomassa, impianti radianti a pavimento, serramenti a

bassa trasmittanza ecc.), propone semplici indicazioni di prodotti, tecniche di installazione, sistemi di efficientamento energetico da utilizzare in caso di ristrutturazioni e/o nuove costruzioni industriali e riconversioni edilizie. Sono descritti in modo semplice gli obiettivi, le strategie, lo stato dell'arte della tecnologia, i costi e i benefici, le azioni di marketing e gli eventuali incentivi legislativi attualmente in vigore, pur se materia soggetta a continue modificazioni.

Come spiegato nella prefazione, "la Fabbrica Intelligente vuole essere un modello da sviluppare e promuovere non solo nell'ambito industriale ma anche nell'ambito artigianale, commerciale ed anche agricolo", perché "adottando isolamenti termici di spessore maggiorato e installando impianti termici ad alta efficienza energetica, si può ottenere un risparmio fino al 50% rispetto alle costruzioni di attuale edificazione che pur rispettano i limiti stabiliti dalle norme vigenti".

La pubblicazione prende nome dall'articolato progetto nel quale hanno unito forze e competenze CCIAA e Unindustria padovane, realizzando anche l'omonimo concorso di idee, volto a scoprire realtà imprenditoriali "amiche dell'ambiente" grazie a tecnologie, prodotti, servizi e sistemi di gestione capaci di contribuire a significativi miglioramenti ambientali. Il concorso, alla sua prima edizione e rivolto a imprese

ed Enti pubblici operanti su tutto il territorio nazionale, ha premiato tre aziende che hanno dimostrato di adottare innovazioni amiche della mobilità, dell'edilizia e del clima.

Nell'ambito del convegno "Risparmio energetico ed energie rinnovabili", sono state premiate:

- la padovana Solon Spa di Carmignano di Brenta, leader in Italia nella produzione di moduli e sistemi fotovoltaici (che con il progetto Solar Mobility mette a disposizione dei suoi dipendenti per il tragitto casa-lavoro scooter e bici elettriche ricaricati gratuitamente sfruttando l'energia prodotta dai moduli fotovoltaici aziendali);
- la fiorentina Lape Srl di Empoli (che ha sviluppato prodotti innovativi ed eco sostenibili, nella produzione di polistirene espanso per l'isolamento termico e l'imballaggio, alcuni realizzati con materiali riciclati fino al 100%);
- la trevigiana Gava Imballaggi Sas di Godega Sant'Urbano (che produce pallet eco-compatibile quale elemento fondamentale per una filiera bosco-legno-consumatore improntata alla responsabilità sociale d'impresa).

Realtà virtuose che avranno diritto all'uso del logo «La Fabbrica Intelligente» per un anno.

L'opuscolo è scaricabile dalla pagina http://www.scienzae-governo.org/n/075/075_06fabbricaintelligente.pdf

Il gas naturale liquefatto per l'Europa

Le ragioni, l'impatto sul mercato e le prospettive

A cura di Susanna Dorigoni
FrancoAngeli, 2009,
pagine 219, euro 27,00

L'approvvigionamento energetico per tutti i paesi industrializzati è da anni un problema di grande importanza. Una parziale soluzione a questo problema è la differenziazione sia delle fonti energetiche che della loro provenienza. In particolare per un paese come l'Italia, con scarsa autonomia di risorse, avvalersi di diversi mercati diventa imperativo categorico.

Negli scorsi inverni la crisi politica dei paesi fornitori di gas naturale ha messo in discussione la sicurezza delle forniture.

Non solo, la liberalizzazione del mercato del gas avrebbe dovuto sollecitare il mercato a differenziare concretamente il prezzo fin dalla fonte di approvvigionamento ovvero dai produttori: il costo del gas alla fonte è in realtà rimasto invariato, mentre si è registrato un aumento di concorrenza a livello di gestori/distributori.

Questo volume riassume i risultati della ricerca "Il poten-

ziale ruolo del GNL nell'incremento della concorrenzialità dei mercati e nella sicurezza dell'approvvigionamento energetico" portata a termine dall'Istituto di economia e politica dell'energia e dell'ambiente (IEFE-Università Bocconi).

Il trasporto con gasdotto, così come attuato fino ad ora in prevalenza, rappresenta un vero e proprio legame con i paesi produttori, legame fisico inscindibile tra produttore e acquirente ma che spesso coinvolge anche paesi terzi attraverso cui passano i gasdotti.

L'importazione di gas naturale liquefatto (GNL) permette di ovviare ai problemi creati ultimamente non tanto dai paesi produttori o destinatari bensì dai paesi che vengono attraversati dalle linee di gasdotti.

Questa modalità prevede la liquefazione del gas, lo stoccaggio e carico in navi cisterne, il trasporto verso i paesi acquirenti e la successiva rigassificazione.

Lo studio ha individuato le condizioni per l'affermazione del GNL e i relativi ostacoli.

Vengono posti in evidenza due punti di problematicità; uno a livello infrastrutturale e uno a livello economico. Il primo è un nodo che può concretamente compromettere lo sviluppo di questa modalità di utilizzo del gas, sottostà infatti alla reale

presenza delle infrastrutture necessarie come impianti di liquefazione e rigassificazione.

Dal punto di vista economico, invece, si può essere più ottimisti perché l'investimento in GNL si presenta sicuramente competitivo soprattutto in un'ottica futura. Tuttavia lo sviluppo della concorrenza all'interno del grande mercato europeo è indubbiamente legato alla capacità d'investimento che possa stimolare la produzione e il trasporto.